คู่มือการใช้งานและการดูแลรักษาหม้อน้ำ

โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยแก่สถานประกอบการ
: ความปลอดภัยในการใช้งานหม้อน้ำ

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม
พ.ศ. 2553

คำนำ

หม้อน้ำเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในระบบไอน้ำซึ่งเป็นระบบผลิตพลังงานความร้อนที่มีใช้งานอยู่ทั่วไป ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและในสถานประกอบการภาคธุรกิจ เนื่องจากการที่หม้อน้ำทำงานภายใต้ความดันที่สูงมาก ประกอบกับการที่หม้อน้ำจะสามารถทำงานได้นั้นจำเป็นต้องระบบและอุปกรณ์ข้างเคียงอีกเป็นจำนวนมาก เช่น อุปกรณ์ความปลอดภัย สัญญาณเตือนภัย ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อน ระบบเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ ระบบการจัดการพลังงาน เป็นต้น ดังนั้นผู้ควบคุมหม้อน้ำจึงควรศึกษาหาความรู้ ทำความเข้าใจ และเพิ่มประสบการณ์ในการใช้งาน และการควบคุมหม้อน้ำและระบบไอน้ำที่ถูกต้อง เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายแก่ตัวหม้อน้ำและระบบไอน้ำ หรืออาจร้ายแรงถึงขั้นเป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้ปฏิบัติงานหรืออาจเป็นผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำแต่อยู่บริเวณใกล้เคียง ตลอดจนทรัพย์สินที่อยู่รอบข้างหม้อน้ำ

ดังนั้น กรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีหน้าที่ควบคุม ดูแลและรับผิดชอบด้านความปลอดภัยในการใช้งานหม้อน้ำ จึงได้จัดทำคู่มือการใช้งานและดูแลบำรุงรักษาหม้อน้ำเล่มนี้ เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถนำไปปฏิบัติให้เกิดประโยชน์ต่อโรงงานอุตสาหกรรม โดยเนื้อหาประกอบไปด้วยทั้งหมด 6 บท ได้แก่ บทที่ 1 พื้นฐานของหม้อน้ำและระบบไอน้ำ โดยรายละเอียดของเนื้อหาจะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานและหลักการเบื้องต้นของหม้อน้ำและระบบไอน้ำ นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงคำแนะนำในการติดตั้งหม้อน้ำอีกด้วย บทที่ 2 การใช้งานหม้อน้ำ กล่าวถึงขั้นตอนการปฏิบัติในการใช้งาน การเก็บรักษา และการเคลื่อนย้ายหม้อน้ำ บทที่ 3 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำ โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งาน คงสภาพและประสิทธิภาพ และเพื่อความปลอดภัยและการป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นในการใช้หม้อน้ำ บทที่ 4 อุปกรณ์และระบบความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำ จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐาน หลักการทำงานเบื้องต้น ข้อบังคับ ความเหมาะสมในการใช้งาน ตลอดจนการติดตั้ง การใช้งาน การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษา ของอุปกรณ์และระบบความปลอดภัยตามที่ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549 กำหนดไว้ บทที่ 5 คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ กล่าวถึงระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้กันโดยทั่วไป คุณสมบัติของน้ำป้อนและน้ำในหม้อน้ำที่เหมาะสม การทดสอบคุณภาพน้ำ ปัญหาและการควบคุมปัญหาที่เกิดจากน้ำ ตลอดจนการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ และบทที่ 6 เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา กล่าวถึงเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการเผาไหม้ หัวเผา การปรับแต่งหัวเผา ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบหัวเผาและระบบเชื้อเพลิง และการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหัวเผาและระบบเชื้อเพลิง นอกจากนี้ตอนท้ายของคู่มือเล่มนี้ยังได้กล่าวถึงกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการใช้งานหม้อน้ำ และสิ่งแวดล้อม ระเบียบเอกสาร และขั้นตอนตามกฎหมายของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนแบบฟอร์มเอกสารประกอบการตรวจสอบและขึ้นทะเบียนต่างๆ ที่อยู่ภายใต้การควบคุมของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

สารบัญ
คู่มือการใช้งานและการดูแลรักษาหม้อน้ำ

หน้า

คำนำ

บทที่ 1 พื้นฐานของหม้อน้ำและระบบไอน้ำ
1.1 โครงสร้างหม้อน้ำ **1-2**
1.2 ประเภทของหม้อน้ำ **1-2**
1.2.1 หม้อน้ำแบบท่อไฟ **1-2**
1.2.2 หม้อน้ำแบบท่อน้ำ **1-9**
1.2.3 หม้อน้ำแบบอื่น ๆ **1-11**
1.3 ระบบกำเนิดไอน้ำ **1-18**
1.3.1 อุปกรณ์ในระบบน้ำป้อน **1-18**
1.3.2 อุปกรณ์ในระบบวัดและควบคุมความดันไอน้ำ **1-20**
1.4 ระบบจ่ายและหมุนเวียนไอน้ำ **1-21**
1.4.1 อุปกรณ์ในระบบท่อไอน้ำ **1-21**
1.4.2 อุปกรณ์ในระบบระบายน้ำออกจากหม้อน้ำ หรือระบบโบลว์ดาวน์ **1-29**
1.4.3 อุปกรณ์ในระบบจัดการคอนเดนเสท **1-29**
1.5 คุณลักษณะและการติดตั้งหม้อน้ำ **1-35**
1.5.1 การเลือกซื้อและเลือกใช้หม้อน้ำที่เหมาะสม **1-35**
1.5.2 พิกัดหรือขนาดหม้อน้ำ **1-38**
1.5.3 การติดตั้งหม้อน้ำ **1-40**

บทที่ 2 การใช้งานหม้อน้ำ
2.1 ขั้นตอนการปฏิบัติในการใช้งานหม้อน้ำ **2-1**
2.1.1 ก่อนเดินเครื่องหม้อน้ำ **2-1**
2.1.2 ขณะเดินเครื่องหม้อน้ำ **2-2**
2.1.3 การหยุดเดินเครื่องหม้อน้ำ **2-3**
2.1.4 การจดบันทึกข้อมูลการใช้งานหม้อน้ำประจำวัน **2-3**
2.1.5 การปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน **2-5**

2.2 การเก็บรักษาและการเคลื่อนย้ายหม้อน้ำ **2-10**
2.2.1 การเก็บหม้อน้ำแบบเปียก **2-10**
2.2.2 การเก็บหม้อน้ำแบบแห้ง **2-10**
2.2.3 การเคลื่อนย้ายหม้อน้ำ **2-10**
2.2.4 การยกเลิกการใช้หม้อน้ำ **2-11**

บทที่ 3 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำ
3.1 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำทั่วไป **3-1**
3.2 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำแบบท่อน้ำ **3-13**
3.3 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำฝั่งสัมผัสน้ำ **3-15**
3.4 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำแบบท่อไฟ **3-18**
3.5 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำฝั่งสัมผัสไฟ **3-20**

บทที่ 4 อุปกรณ์และระบบความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำ
4.1 เครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำ **4-1**
4.2 ลิ้นนิรภัย **4-8**
4.3 อุปกรณ์แสดงระดับน้ำ **4-10**
4.4 ลิ้นกันกลับ **4-13**
4.5 มาตรวัดความดันไอน้ำ **4-16**
4.6 ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ **4-19**
4.7 ฉนวนกันความร้อน **4-31**
4.8 ลิ้นจ่ายไอน้ำ **4-42**
4.9 เครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ **4-43**
4.10 สวิตช์ควบคุมความดัน **4-50**
4.11 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ **4-57**
4.12 มาตรวัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย **4-59**
4.13 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปล่องไอเสีย **4-60**
4.14 บันไดและทางเดิน **4-61**

บทที่ 5 คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ
5.1 ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ **5-1**
5.1.1 ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบนอกหม้อน้ำ **5-3**
1) ระบบถังกรองทราย 5-3
2) ระบบถังกรองน้ำอ่อน 5-3
3) ระบบถังกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนไอออน 5-6

4) ระบบถังกรองน้ำแบบดีอัลคาไลซ์ 5-7
5) ระบบถังกรองน้ำแบบรีเวิร์สออสโมซีส 5-8
6) ระบบถังไล่อากาศ 5-11
5.1.2 ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบในหม้อน้ำ 5-14
5.2 คุณสมบัติของน้ำและการทดสอบคุณภาพน้ำ 5-16
5.2.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง 5-16
5.2.2 ความกระด้างรวม 5-20
5.2.3 ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ 5-21
5.2.4 การเก็บน้ำตัวอย่าง 5-22
5.2.5 ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำ 5-23
5.3 ปัญหาและการควบคุมปัญหาที่เกิดจากน้ำ 5-28
5.3.1 ปัญหาเรื่องการกัดกร่อนของน้ำ 5-28
5.3.2 ปัญหาเรื่องตะกรันในหม้อน้ำ 5-32
5.3.3 ปัญหาเรื่องแคร์รีโอเวอร์ในหม้อน้ำ 5-35
5.4 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ 5-38

บทที่ 6 เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา
6.1 เชื้อเพลิง 6-1
6.1.1 เชื้อเพลิงแข็ง 6-1
6.1.2 เชื้อเพลิงเหลว 6-4
6.1.3 เชื้อเพลิงก๊าซ 6-6
6.1.4 พลังงานไฟฟ้า 6-8
6.1.5 คุณสมบัติและค่าความร้อนของเชื้อเพลิง 6-8
6.2 การเผาไหม้ 6-16
6.3 หัวเผา 6-19
6.3.1 หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว 6-19
1) หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมัน 6-19
2) หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ไอน้ำหรืออากาศ 6-21
3) หัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน 6-22
6.3.2 หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ 6-24
6.3.3 การควบคุมหัวเผา 6-26
1) หัวเผาแบบตัด-ต่อ 6-26
2) หัวเผาแบบไฟมาก-น้อย 6-26
3) หัวเผาแบบไฟมาก-กลาง-น้อย 6-27
4) หัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่อง 6-28

6.4 การปรับแต่งหัวเผา 6-30
6.4.1 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการปรับแต่งหัวเผา 6-30
6.4.2 การตรวจวัดและการคำนวณที่ใช้ในการปรับแต่งหัวเผา 6-35
6.4.3 วิธีการปรับแต่งหัวเผา 6-44
1) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบตัด-ต่อ 6-48
2) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟมาก-น้อย 6-49
3) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟมาก-กลาง-น้อย 6-54
4) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่องแบบสองขั้นตอน 6-54
5) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง 6-56
6) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้อากาศหรือไอน้ำ ควบคุมแบบต่อเนื่อง 6-59
7) การปรับแต่งหัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน ควบคุมแบบต่อเนื่อง 6-61
6.4.4 การปรับแต่งหัวเผาจากการสังเกตเปลวไฟด้วยตาเปล่า 6-62
6.5 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบหัวเผาและระบบเชื้อเพลิง 6-63
6.6 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหัวเผาและระบบเชื้อเพลิง 6-70
6.6.1 ระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง 6-70
6.6.2 ระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว 6-74
6.6.3 ระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ 6-84

ภาคผนวก ก กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำ และหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน
1.1 กฎหมายด้านความปลอดภัย ก-1
1.1.1 กฎหมายด้านความปลอดภัยของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ก-1
1) กฎกระทรวง กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549 ก-2
2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549 ก-5
3) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549 ก-20
4) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549 ก-26
1.1.2 กฎหมายด้านความปลอดภัยของกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน ก-26
1) กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร ปั้นจั่น และหม้อน้ำ พ.ศ. 2552 ก-26
1.2 กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อม ก-29
1.2.1กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ก-29
1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำโรงสีข้าวที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง พ.ศ. 2549 ก-30

2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำของโรงงาน พ.ศ. 2549 ก-34
3) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 ก-35

1.2.2 กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ก-39

1) ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของโรงสีข้าวที่ใช้หม้อน้ำ พ.ศ. 2548 ก-39
2) ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ พ.ศ. 2548 ก-40
3) ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ พ.ศ. 2548 ก-41
4) ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2549 ก-42

1.3 ระเบียบ เอกสาร และขั้นตอนตามกฎหมายของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ก-46

1.3.1 การขึ้นทะเบียนโรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ก-46

1.3.2 การตรวจทดสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ก-47

1.3.3 การหยุดใช้งานชั่วคราวและการยกเลิกการใช้งานหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ก-60

1.3.4 การขึ้นทะเบียนและต่ออายุทะเบียนผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ก-60

1.3.5 การขึ้นทะเบียนและต่ออายุทะเบียนวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ ก-60

1.3.6 การขึ้นทะเบียนและต่ออายุทะเบียนวิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้ม ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ก-60

1.3.7 การขึ้นทะเบียนและต่ออายุทะเบียนวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ก-67

1.3.8 ขั้นตอนการจัดการเอกสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ก-67

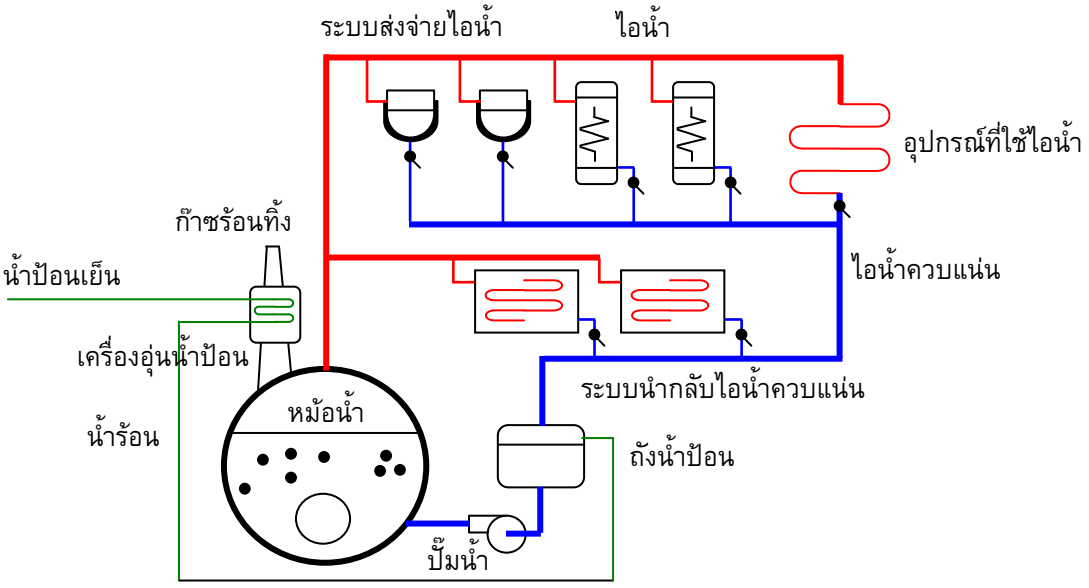
ภาคผนวก ข ตารางแปลงหน่วย

บรรณานุกรม

บทที่ 1
พื้นฐานของหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

ระบบไอน้ำ หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วย หม้อน้ำ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้แก่ หม้อน้ำ ระบบส่งจ่ายไอน้ำ ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่นหรือคอนเดนเสท (Condensate) และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ (ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง) ดังแสดงในรูปที่ 1-1 ระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้พลังงานพื้นฐานที่มีการใช้งานและสามารถพบเห็นได้ในหลายอุตสาหกรรม

จากรูปที่ 1-1 น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกผ่านเข้าไปยังหม้อน้ำ เพื่อรับความร้อนจากก๊าซเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตในโรงงาน ผ่านระบบส่งจ่ายไอน้ำ ไอน้ำหรือน้ำร้อนควบแน่นที่เหลือจากกระบวนการผลิตจะถูกนำกลับมาเก็บไว้ในถังน้ำป้อนเพื่อรวมกับน้ำเติม ก่อนที่จะส่งไปยังหม้อน้ำ และผลิตเป็นไอน้ำต่อไป



รูปที่ 1-1 องค์ประกอบของระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อน้ำ

หม้อน้ำ เป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตไอน้ำ เพื่อนำไอน้ำไปใช้ประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรมด้านต่างๆ โดยสามารถผลิตไอน้ำได้ทั้งปริมาณและความดันที่ต้องการ ดังนั้นหม้อน้ำ จึงมีหลายแบบตามความเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) จะใช้ในการถ่ายเทความร้อน (Heat Exchanger) ในกระบวนการผลิต และไอน้ำยิ่งยวด (Superheat Steam) ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะใช้เป็นต้นกำลัง (Power Plant) เช่น ขับเครื่องกังหันไอน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น คำจำกัดความของหม้อน้ำตามกฎกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549 ระบุว่า หม้อน้ำ หมายถึง ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำที่มีปริมาณความจุเกิน 2 ลิตรขึ้นไป เมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานความร้อน

อื่น น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำภายใต้ความดันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล หรือ ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำซึ่งใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนตั้งแต่ 8 ตารางเมตรขึ้นไป

1.1 โครงสร้างหม้อน้ำ

หม้อน้ำ ทุกแบบจะต้องประกอบด้วย

1) เตา (Furnace) หรือห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) เป็นส่วนสำหรับให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้หรือสันดาปกับอากาศ

2) ส่วนที่เก็บน้ำ (Water space) เป็นส่วนที่เก็บน้ำไว้ภายในหม้อน้ำ

3) ส่วนที่เก็บไอน้ำ (Steam space) คือ ส่วนที่สะสมไอน้ำที่เกิดจากการผลิตไอน้ำ

การออกแบบหม้อน้ำโดยทั่วไปจะต้องคำนึงถึงรายละเอียดโครงสร้าง และส่วนประกอบต่างๆ เพื่อให้โครงสร้างมีความแข็งแรง สามารถใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความปลอดภัย ซึ่งต้องมีการออกแบบให้สามารถรับความเค้นจากความดันไอน้ำ และอุณหภูมิขณะทำงานได้ ตัวอย่างรายละเอียดโครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อไฟ ชนิด 3 กลับ แสดงได้ดังรูปที่ 1-2

1.2 ประเภทของหม้อน้ำ

หม้อน้ำปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะโครงสร้างคือ หม้อน้ำแบบท่อไฟ หม้อน้ำแบบท่อน้ำ และหม้อน้ำแบบอื่นๆ ซึ่งไม่สามารถจัดอยู่ในหม้อน้ำสองประเภทแรกได้ ซึ่งรายละเอียดของหม้อน้ำแต่ละประเภทมีดังต่อไปนี้

1.2.1 หม้อน้ำแบบท่อไฟ

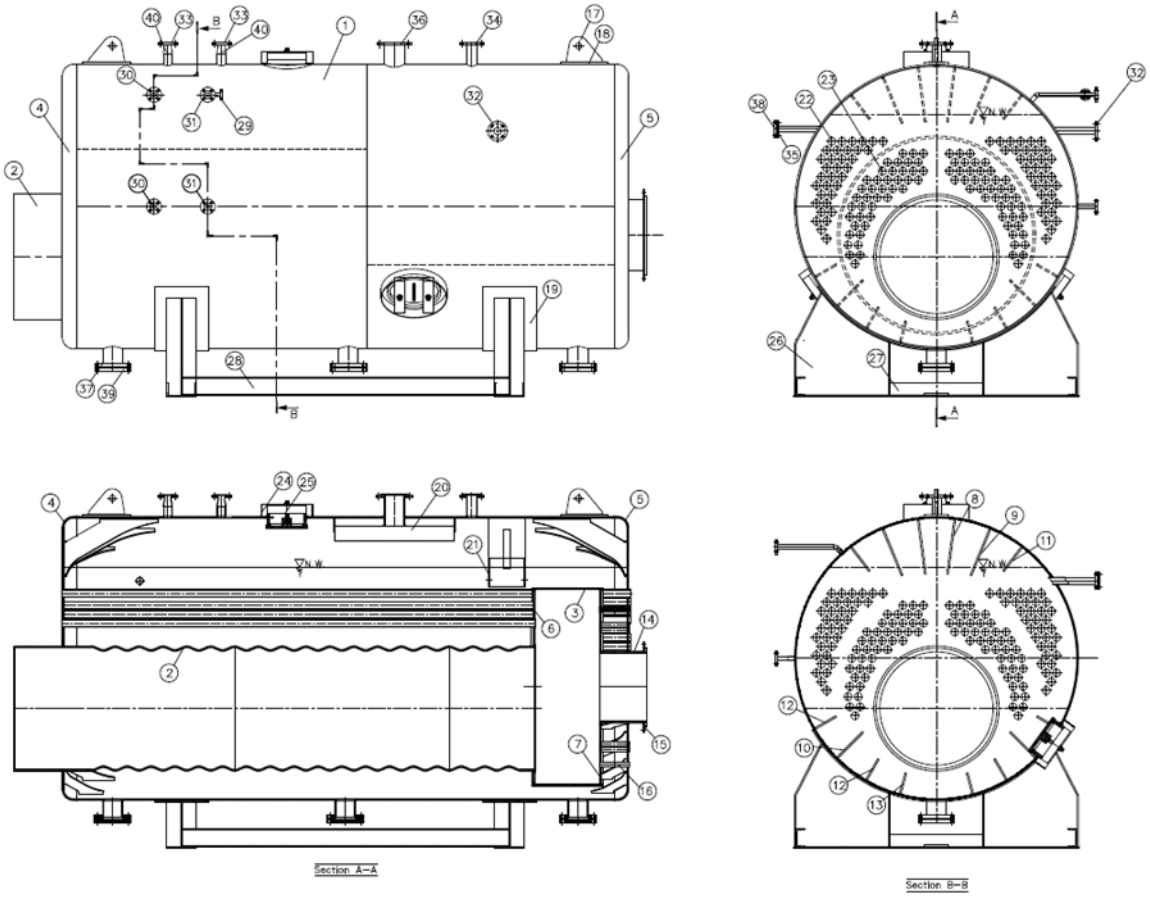
หม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler) คือ หม้อน้ำที่มีท่อไฟที่ก๊าซร้อนไหลผ่านอยู่ในท่อ และมีน้ำที่รับความร้อนเพื่อกลายเป็นไอน้ำอยู่ภายนอกท่อ หม้อน้ำแบบท่อไฟมีลักษณะโครงสร้างดังต่อไปนี้

(ก) เปลือกหม้อน้ำ

เปลือกหม้อน้ำ (Boiler shell) หมายถึง เปลือกเหล็กของหม้อน้ำภายในบรรจุน้ำและไอน้ำที่มีความดัน จึงต้องได้รับการออกแบบและสร้างอย่างแข็งแรง แต่ไม่ได้หมายรวมถึงอิฐหรือฉนวนความร้อนที่หุ้มหม้อน้ำ เปลือกหม้อน้ำมีทั้งที่ทำด้วยเหล็กกล้าและเหล็กหล่อ แต่ที่ทำด้วยเหล็กหล่อจะเป็นหม้อน้ำขนาดเล็ก ส่วนหม้อน้ำขนาดใหญ่จะทำด้วยแผ่นเหล็กกล้า (เช่น ASTM SA516-70 ตามมาตราฐาน ASME Section II) ม้วนขึ้นรูปให้มีรูปทรงกระบอก

(ข) ผนังหน้าและผนังหลังหม้อน้ำ

ผนังหน้าและผนังหลังหม้อน้ำ (End plate or tube sheet) คือ ส่วนที่ปิดหัวปิดท้ายของเปลือกหม้อน้ำ ผนังหม้อน้ำมีทั้งแบบแผ่นเหล็กเรียบ แบบขึ้นรูปเป็นแผ่นโค้ง และแบบขอบโค้ง ผนังหม้อน้ำแบบแผ่นโค้งสามารถรับความดันไอน้ำได้ดี แต่มีความยุ่งยากในการสร้างที่ต้องเจาะรูเพื่อใส่ท่อไฟ ผนังหม้อน้ำแบบแผ่นเรียบทำได้ง่าย เหมาะสำหรับเป็นผนังที่ต้องเจาะรูเพื่อใส่ท่อไฟ แต่ผนังแผ่นเรียบแข็งแรงน้อยกว่าจะต้องออกแบบให้มีความหนาของแผ่นเหล็กมากกว่า และจะต้องออกแบบติดตั้งเหล็กยึดโยงเพื่อเสริมความแข็งแรงของผนังเปลือกหม้อน้ำ



รายการชิ้นส่วน

1-เปลือกหม้อน้ำ	15-หน้าแปลนท้าย	25-ช่องคนลง	34-หน้าแปลนยึดอิเลคโทรด
2-ท่อไฟใหญ่	16-เหล็กยึดโยง	26-แท่นเครื่อง	35-หน้าแปลนช่องระบายผิว
3-ห้องไฟกลับ	17-หูหิ้ว	27-เหล็กยึดฐาน	36-หน้าแปลนท่อจ่ายไอน้ำ
4-ผนังหน้า	18-19-แผ่นเชื่อมยึด	28-เหล็กฐาน	37-หน้าแปลนช่องคนลง
5-ผนังหลัง	20-อุปกรณ์แยกน้ำจากไอน้ำ	29-ลิ้นตรวจระดับน้ำ	38-แผ่นปิดช่องท่อระบาย
6-ผนังหน้าห้องไฟกลับ	21-กล่องน้ำเข้า	30-หน้าแปลนยึดแท่งแก้วดูระดับน้ำ	39-แผ่นปิดช่องมือลอด
7-ผนังหลังห้องไฟกลับ	22-ท่อไฟเล็กกลับที่ 3	31-หน้าแปลนยึดชุดลูกลอยระดับน้ำ	40-ข้อลด
8-13-หูช้าง หรือเหล็กยึดโยง	23-ท่อไฟเล็กกลับที่ 2	32-หน้าแปลนท่อน้ำเข้า	
14-แผ่นครอบ	24-แผ่นเสริมยึดช่องคนลง	33-หน้าแปลนยึดลิ้นนิรภัย	

รูปที่ 1-2 ตัวอย่างรายละเอียดโครงสร้างของหม้อน้ำ

(ค) เหล็กยึดโยง

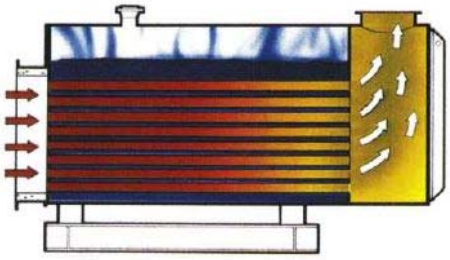
เหล็กยึดโยง (Stay) ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงของผนังหม้อน้ำ โดยการดึงผนังหม้อน้ำเอาไว้ อาจจะดึงผนังไว้กับเปลือกหม้อน้ำ หรือดึงระหว่างผนังหน้ากับผนังหลังหม้อน้ำเอาไว้ด้วยกัน มีทั้งแบบเหล็กแท่งกลม (Stay Rod) แบบหูช้าง (Gusset stay) หรือเป็นท่อกลวง (Stay tube) เพื่อถ่ายเทความร้อนด้วย

(ง) ท่อไฟใหญ่หรือลูกหมู

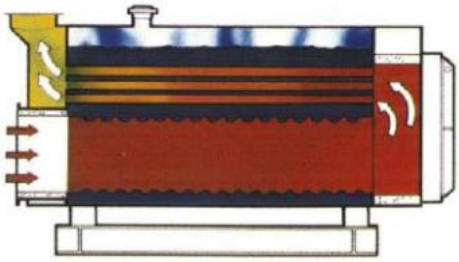
ท่อไฟใหญ่หรือลูกหมู (Furnace) คือท่อนำก๊าซร้อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่มักจะเป็นห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ มีทั้งแบบขึ้นรูปเป็นลอนที่แข็งกว่าและถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าแบบท่อไฟเรียบ ที่ต้องมีความหนามากกว่าและต้องมีวงแหวนเสริมความแข็งแรง (Reinforce ring) ภายนอก

(จ) ท่อไฟเล็กหรือจุ๊ป

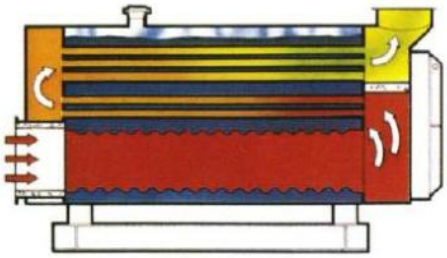
ท่อไฟเล็กหรือจุ๊ป (Fire tube) คือท่อขนาดเล็กที่ให้ก๊าซร้อนไหลผ่านภายในท่อ มีการติดตั้ง 2 ลักษณะคือ แบบเชื่อม และแบบเบ่ง สำหรับถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่ภายนอกท่อ และทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงของผนังหม้อน้ำ(กรณีติดตั้งแบบเชื่อม) โดยการดึงผนังหม้อน้ำ ท่อไฟเล็กมีทั้งแบบเกลียวและแบบเรียบ ซึ่งส่วนมากมักจะเป็นท่อเรียบ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 4 นิ้ว ความหนาของท่อระหว่าง 2.5-3.5 มิลลิเมตร แต่หม้อน้ำบางยี่ห้ออาจจะเป็นท่อไฟเล็กแบบเกลียวเพื่อให้ก๊าซร้อนเกิดการหมุนวนเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน หม้อน้ำทั่วไปจะมี การออกแบบท่อไฟเล็กในหม้อน้ำให้ก๊าซร้อนมีทิศทางการไหลกลับไปกลับมาอยู่ภายในหม้อน้ำ เพื่อเพิ่มระยะทางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงของหม้อน้ำสูงขึ้นตามไปด้วย เรียกจำนวนครั้งในการไหลกลับไปกลับมาของก๊าซร้อนในท่อไฟทั้งหมดภายในหม้อน้ำว่า จำนวนกลับ (Pass) ดังแสดงในรูปที่ 1-3 นอกจากนี้ตรงบริเวณหัวและท้ายหม้อน้ำซึ่งเป็นส่วนที่ไฟมีการกลับทิศทางการไหล จะเรียกบริเวณนี้ว่า ห้องไฟกลับ หากห้องไฟกลับนั้นมีน้ำล้อมรอบภายนอก จะเรียกว่า แบบหลังเปียก (Wet back) ในทางกลับกัน หากห้องไฟกลับไม่มีน้ำล้อมรอบ หรือเป็นแบบห้องที่ก่อด้วยอิฐทนไฟยื่นออกไปนอกตัวหม้อน้ำ จะเรียกว่า แบบหลังแห้ง (Dry back) ดังแสดงในรูปที่ 1-4 และโครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อไฟแสดงได้ดังรูปที่ 1-5



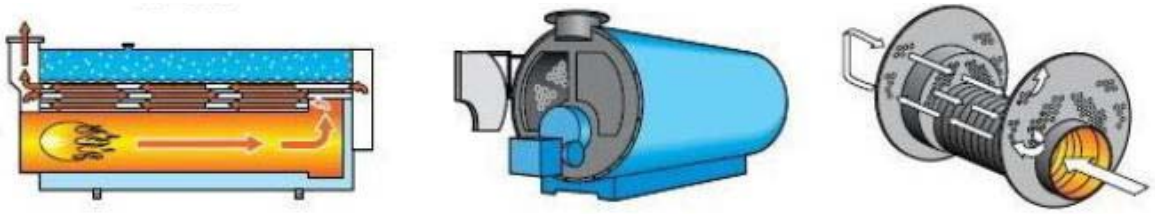
(ก) ท่อไฟแบบ 1 กลับ



(ข) ท่อไฟแบบ 2 กลับ

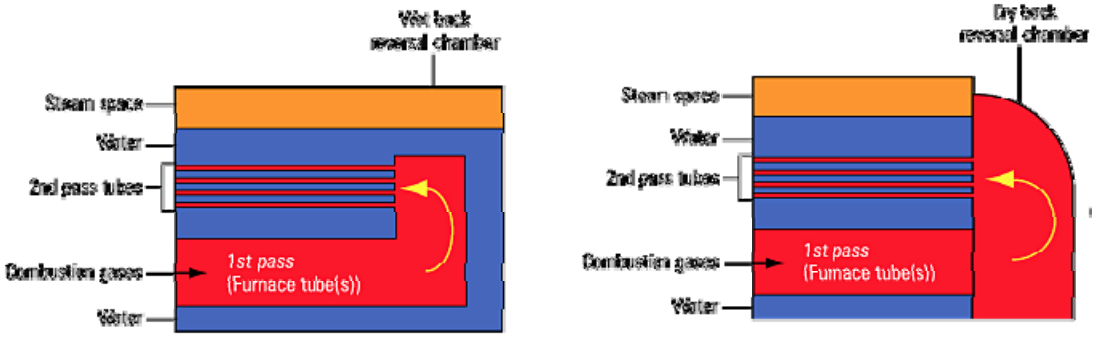


(ค) ท่อไฟแบบ 3 กลับ



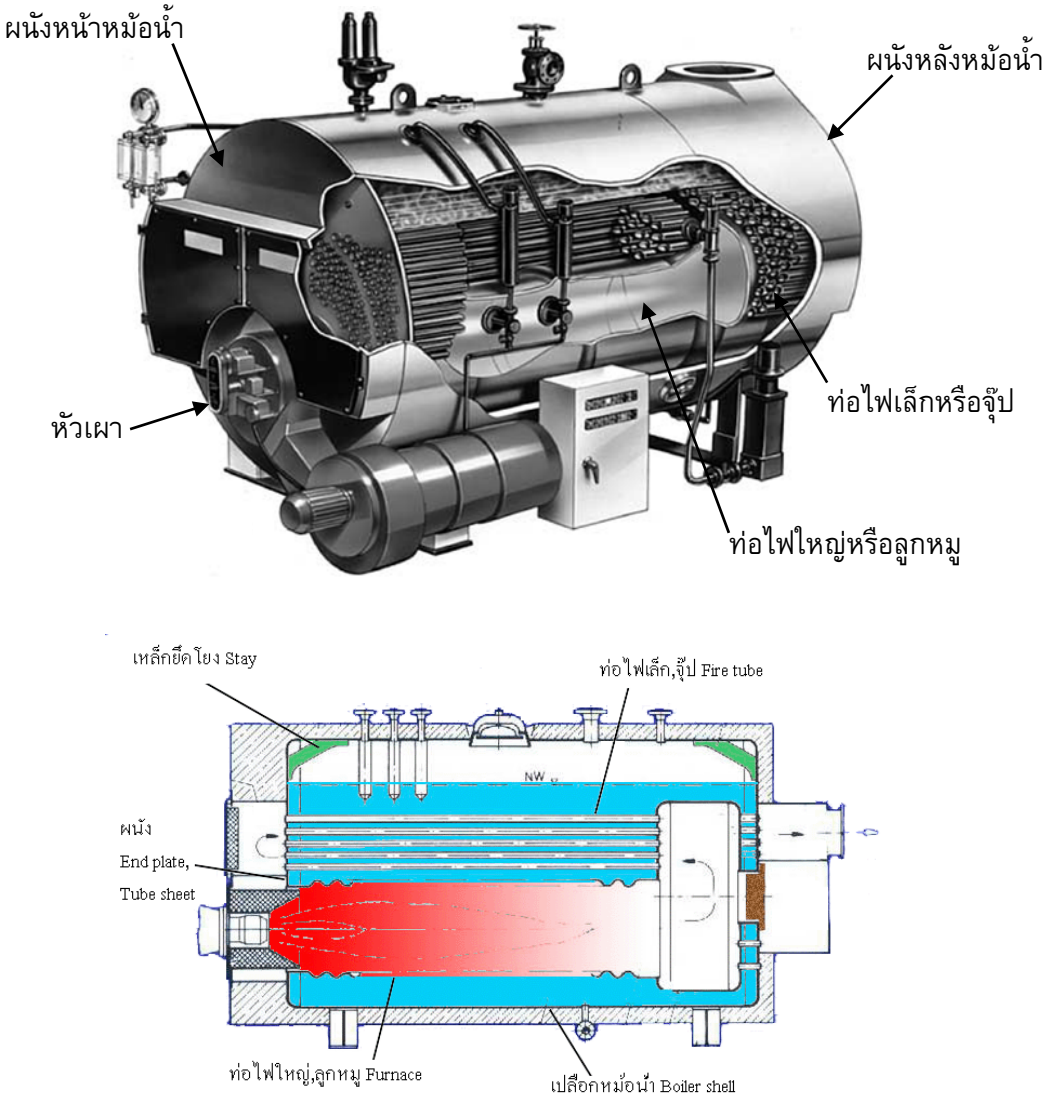
(ง) ท่อไฟแบบ 4 กลับ

รูปที่ 1-3 จำนวนกลับของท่อไฟ



(ก) แบบหลังเปียก (ข) แบบหลังแห้ง

รูปที่ 1-4 ห้องกลับไฟ



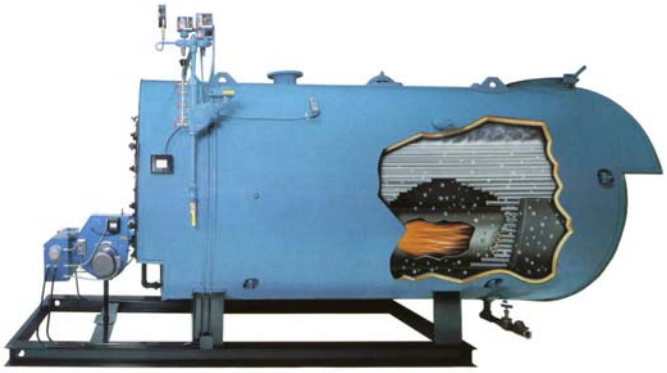
รูปที่ 1-5 โครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อไฟ

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งหม้อน้ำแบบท่อไฟตามลักษณะการจัดวางท่อไฟได้อีก 3 ประเภทย่อย ได้แก่

(ก) หม้อน้ำแบบท่อไฟนอน

หม้อน้ำแบบท่อไฟนอน (Horizontal package fire tube boiler) เป็นหม้อน้ำที่มีท่อไฟที่ก๊าซร้อนไหลผ่านอยู่ในท่อ และมีน้ำที่รับความร้อนจากก๊าซร้อนเพื่อกลายเป็นไอน้ำอยู่ภายนอกท่อไฟนั้น โดยมีเปลือกหม้อน้ำรูปทรงกระบอกนอนเป็นภาชนะรับความดันไอน้ำและเก็บกักน้ำไว้ ขนาดของหม้อน้ำแบบท่อไฟนอนส่วนใหญ่จะมี ขนาดกำลังผลิตไอน้ำ อยู่ประมาณ 100-12,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (MAWP) อยู่ประมาณ 1-2 MPa สำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟที่มีขนาดกำลังผลิตไอน้ำและความดันอนุญาตใช้งานสูงสุดที่สูงกว่านี้ จะเป็นหม้อน้ำที่ต้องออกแบบเป็นพิเศษจึงที่มีใช้งานกันไม่มาก เนื่องจากข้อจำกัดทางโครงสร้างการออกแบบ

หม้อน้ำแบบท่อไฟสำเร็จรูป (Package fire tube boiler) ที่ใช้งานกันมากที่สุด คือ หม้อน้ำแบบท่อไฟ 3 กลับ หลังเปียก (3-pass wet back fire tube boiler) ประมาณ 80% ของหม้อน้ำที่มีใช้ในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 1-6 รองลงมา คือ หม้อน้ำแบบท่อไฟ 4 กลับ หลังแห้ง (4-pass dry back fire tube boiler) ประมาณ 10% ของหม้อน้ำที่มีใช้ในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 1-7 หม้อน้ำทั้ง 2 แบบ เป็นหม้อน้ำแบบสำเร็จรูปแบบท่อไฟนอน ขนาดของหม้อน้ำแบบนี้ ส่วนใหญ่จะมีขนาดกำลังผลิตไอน้ำอยู่ระหว่าง 500 – 12,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (WAWP) อยู่ระหว่าง 1-2 MPa และส่วนใหญ่ประมาณ 70% ของผู้ใช้หม้อน้ำแบบนี้ จะผลิตไอน้ำที่ความดัน 750 kPa มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำอยู่ระหว่าง 80-93% (LHV)



รูปที่ 1-6 หม้อน้ำแบบท่อไฟ 3 กลับ หลังเปียก

รูปที่ 1-7 หม้อน้ำแบบท่อไฟ 4 กลับ หลังแห้ง

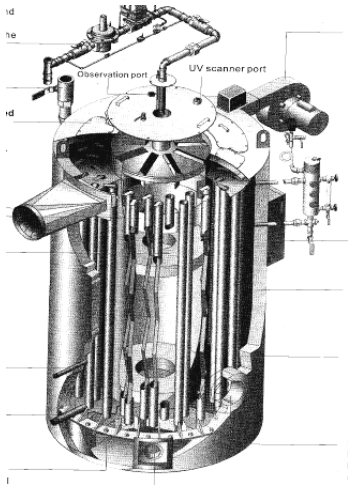
(ข) หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้ง

หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้ง (Vertical fire tube boiler) เป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟขนาดเล็ก มีเปลือกหม้อน้ำรูปทรงตั้งที่เก็บน้ำอยู่ประมาณ 80% ของความสูงของหม้อน้ำ มีท่อไฟขนาดเล็กจำนวนหลายท่อเพื่อรับการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนซึ่งไหลภายในท่อไฟ ตำแหน่งห้องเผาไหม้หรือลักษณะการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต ดังแสดงในรูปที่ 1-8

หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งเหมาะกับการผลิตไอน้ำปริมาณไม่มาก ขนาดไม่ใหญ่และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของภาระไอน้ำ (Steam load) อย่างรวดเร็ว เป็นหม้อน้ำที่ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยมาก มีทั้งหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ แต่ไม่เหมาะกับการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง เพราะหม้อน้ำขนาดเล็กอาจมีปัญหาเรื่องเขม่าควันอุดตัน และต้องล้างทำความสะอาดหัวฉีดน้ำมันเตาบ่อย ถ้าต้องการจะใช้หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งที่ใช้น้ำมันเตาแบบเชื้อเพลิง ควรจะเป็นหม้อน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซ เพราะมีราคาค่าเชื้อเพลิงถูกกว่าและการเผาไหม้สะอาด

ขนาดกำลังผลิตไอน้ำของหม้อน้ำแบบนี้อยู่ระหว่างประมาณ 10-2,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (MAWP) ไม่เกิน 1 MPa มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำประมาณ 75-85% (LHV)

หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่น แต่มีราคาเครื่องต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่น



รูปที่ 1-8 หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้ง

(ค) หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กหรือไม่มีจุ๊ป

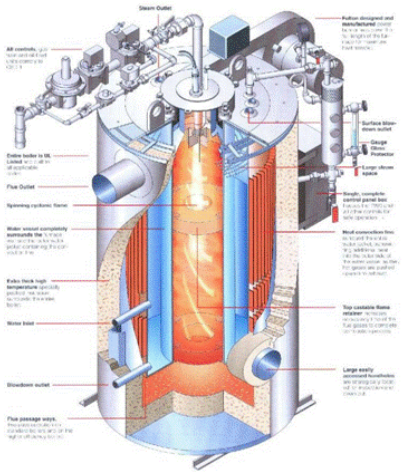
หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็ก (Tubeless boiler) มีรูปร่างโครงสร้างคล้ายกันกับหม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งเป็นอย่างมาก เพียงแต่ภายในหม้อน้ำไม่มีท่อไฟเล็ก แต่หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กถือเป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟ เพราะมีท่อไฟใหญ่เป็นห้องเผาไหม้อยู่ตรงกลาง หรืออาจจะนับเป็นหม้อน้ำแบบลูกหมูตั้งก็ได้ เพราะมีลักษณะคล้ายกับหม้อน้ำแบบลูกหมูของโรงสี แต่หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กเป็นหม้อน้ำท่อไฟตั้งสมัยใหม่ ที่ใช้ระบบหัวพ่นไฟและระบบความปลอดภัยที่ทันสมัย ดังแสดงในรูปที่ 1-9

หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กเป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟขนาดเล็ก เหมาะกับการผลิตไอน้ำปริมาณไม่มาก และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของภาระไอน้ำ (Steam load) อย่างรวดเร็ว เป็นหม้อน้ำที่ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยมาก มีทั้งหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ แต่ไม่เหมาะกับการใช้น้ำมันเตาเชื้อเพลิง เพราะหม้อน้ำขนาดเล็กอาจมีปัญหาเรื่องเขม่าควันอุดตัน และต้องล้างทำความสะอาดหัวฉีดน้ำมันเตาบ่อย

เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซ เพราะมีราคาค่าเชื้อเพลิงถูกกว่าและมีการเผาไหม้สะอาด

ขนาดกำลังผลิตของหม้อน้ำแบบนี้อยู่ระหว่างประมาณ 10-1,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (WAWP) ไม่เกิน 1 MPa มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำประมาณ 75-80% (LHV) ซึ่งน้อยกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งเล็กน้อย

หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่นๆ แต่มีราคาเครื่องต่ำกว่าหม้อไอแบบอื่นๆ



รูปที่ 1-9 หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็ก

1.2.2 หม้อน้ำแบบท่อน้ำ

หม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler) เป็นหม้อน้ำที่มีน้ำอยู่ภายในท่อน้ำ รับความร้อนจากก๊าซร้อนที่ไหลผ่านอยู่ภายนอกท่อเพื่อระเหยกลายเป็นไอน้ำ หม้อน้ำแบบท่อน้ำมีหลากหลายประเภทมาก มีขนาดกำลังผลิตไอน้ำตั้งแต่ขนาดเล็กๆ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จนถึงขนาดใหญ่มากที่สามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่า 1,300 MW ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (MAWP) อยู่ระหว่างประมาณ 1-31 MPa และอุณหภูมิสูงถึง 593 ^{o}C

สำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำ ที่มีขนาดกำลังผลิตไอน้ำมากกว่า 5,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มักจะเป็นหม้อน้ำที่ผลิตไอน้ำที่ความดันสูงกว่า 1 MPa เนื่องจากลักษณะทางโครงสร้างที่สามารถรับความดันไอน้ำได้สูงกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟซึ่งใช้เปลือกหม้อน้ำเป็นส่วนรับความดัน จึงไม่สามารถรับความดันไอน้ำที่สูงมากได้

การเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำ ควรจะเลือกใช้งานในกรณีที่ต้องการผลิตไอน้ำความดันสูงกว่า 1.5 MPa หรือต้องการปริมาณไอน้ำมากกว่า 15,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ถ้าต้องการผลิตไอน้ำความดันและปริมาณต่ำกว่านี้ ไม่ควรเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำ เพราะการดูแลบำรุงรักษาที่ยุ่งยากกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟมาก

โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่ควรเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีสารกำมะถันสูง และหม้อน้ำต้องมีการหยุดเครื่องบ่อยและเป็นเวลานานหลายวัน เพราะแม้ว่าหม้อน้ำจะมีระบบ Boiler lay-up ทำการอุ่น

หม้อน้ำไม่ให้เกินการกัดกร่อนของกรดกำมะถัน (Cold end corrosion) แต่ก็ต้องใช้พลังงานในการอุ่นหม้อน้ำให้ร้อนอยู่ตลอดเวลา

โครงสร้างหลักของหม้อน้ำแบบท่อน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1-10 ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

(ก) ถังไอ

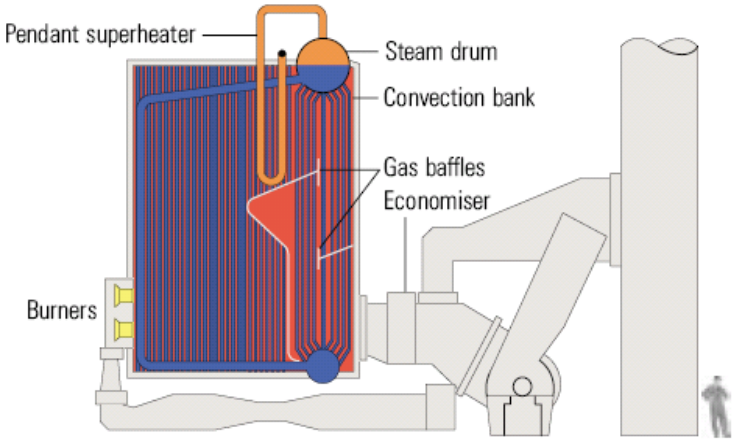
ถังไอ (Steam drum or Upper drum) เป็นโครงสร้างเหล็กทรงกระบอกที่อยู่ด้านบนของหม้อน้ำแบบท่อน้ำ เป็นที่เกิดหรือแยกตัวของไอน้ำที่ระเหยขึ้นมาจากผิวน้ำ โดยปรกติระดับน้ำจะอยู่ประมาณระดับครึ่งหนึ่งของถังไอนี้ ส่วนด้านล่างของถังไอจะเป็นส่วนที่ท่อน้ำจำนวนมากเข้ามาต่อชน เพื่อให้น้ำในท่อน้ำที่ได้รับการถ่ายเทความร้อนเวียนขึ้นมาแยกตัวเป็นไอน้ำ หม้อน้ำแบบท่อน้ำที่ดีจะมี Steam separator หรือ Steam purifier อยู่ในถังไอด้านบน เพื่อแยกน้ำและสิ่งสกปรกออกจากไอน้ำ เพื่อทำให้ไอน้ำแห้งและสะอาดขึ้น

(ข) ถังโคลน

ถังโคลน (Mud drum or Lower drum) เป็นโครงสร้างเหล็กทรงกระบอกที่อยู่ด้านล่างของหม้อน้ำแบบท่อน้ำ มักจะมีขนาดเล็กกว่าถังไอ ถังโคลนทำหน้าที่คล้ายท่อร่วม (Header) ของท่อน้ำ โดยส่วนด้านบนของถังโคลนจะเป็นส่วนที่ท่อน้ำจำนวนมากจากด้านบนเข้ามาต่อชน ในขณะผลิตไอน้ำจะมีการหมุนเวียนของน้ำในท่อมาก ตะกอนหนักจะตกลงสะสมที่ถังโคลนนี้ส่วนตะกอนเบาจะถูกหมุนเวียนไปตามธรรมชาติของความแตกต่างกันของอุณหภูมิน้ำ ดังนั้นน้ำที่ป้อนเข้าหม้อน้ำจะต้องมีความสะอาดมาก เพราะสิ่งสกปรกที่เป็นของแข็ง เช่น ทราย สนิม ขี้เชื่อมโลหะ ฯลฯ จะขัดสีภายในท่อน้ำ เพราะการหมุนเวียนของน้ำในท่อ จนทำให้ท่อน้ำบางลงจนแตกได้

(ค) ท่อน้ำ

ท่อน้ำ (Water tube) คือท่อที่ให้น้ำไหลผ่านภายในท่อ โดยรับความร้อนจากก๊าซร้อนภายนอกท่อถ่ายเทให้กับน้ำที่อยู่ภายในท่อ ท่อน้ำเป็นส่วนที่รับความร้อนส่วนใหญ่จากก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ ดังนั้นท่อน้ำจึงต้องสะอาด ปราศจากตะกรัน ถ้าภายในท่อน้ำมีตะกรันเพียงบาง ๆ ท่อน้ำอาจเกิดการเสียหายได้ เนื่องจากโลหะผิวนอกท่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากถ่ายเทความร้อนได้น้อยลงทำให้เกิดการสะสมความร้อนของเนื้อโลหะ (Overheat) จนโครงสร้างโลหะของเหล็กเสียไป ไม่สามารถรับความดันได้ (Long term overheat) ท่อน้ำมักจะเป็นท่อเรียบหรืออาจมีครีบ (Fin) ภายนอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ½" ถึง 3" (12.7-76.2 มิลลิเมตร) ความหนาของท่อ 2.0-3.5 มิลลิเมตร



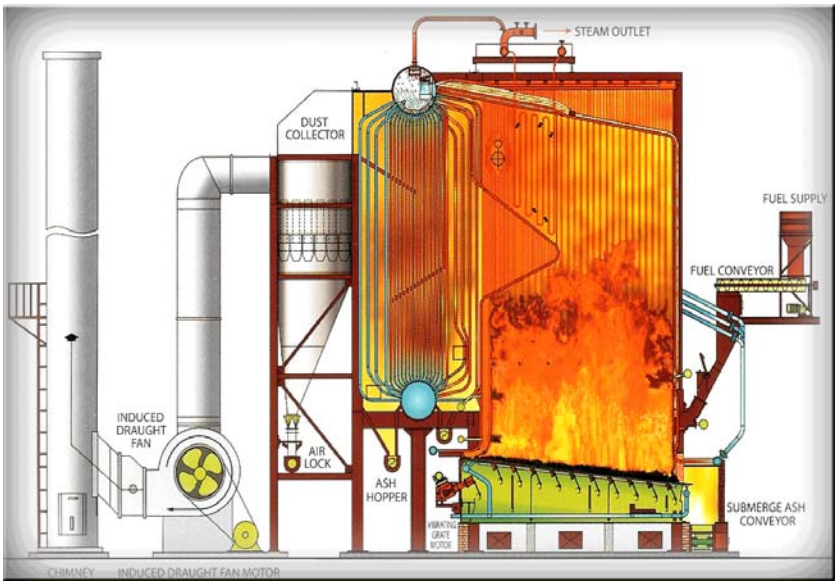
รูปที่ 1-10 โครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อน้ำ

1.2.3 หม้อน้ำแบบอื่น ๆ

(ก) หม้อน้ำโรงไฟฟ้า

หม้อน้ำโรงไฟฟ้า (Power plant boiler) เป็นหม้อน้ำที่มีขนาดใหญ่มาก ดังแสดงในรูปที่ 2-11 ทำหน้าที่ผลิตไอน้ำยิ่งยวด (Superheated steam) ที่มีความดันสูงมากถึง 4-20 MPa เพื่อจ่ายไอน้ำให้กับกังหันไอน้ำ (Steam turbine) เพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตไฟฟ้า เชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะเป็นเชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงก๊าซ เนื่องจากมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงมาก จึงต้องเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาต่ำที่สุด ระบบหม้อน้ำมีความซับซ้อนมาก เพราะจะต้องมีระบบอุปกรณ์สนับสนุนทั้งหลาย ที่ต่างไปจากหม้อน้ำขนาดเล็กทั่วไป เช่น Superheater, Desuperheater, Economizer, หรือ Recuperator ระบบการเก็บลำเลียงและย่อยถ่านหิน และระบบลดมลพิษทางอากาศ เป็นต้น

ในปัจจุบันเนื่องจากราคาของเชื้อเพลิงที่แพงขึ้น จึงมีการส่งเสริมให้เอกชนสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้าขนาดที่เล็กกว่า 10 MW (VSPP) เพื่อใช้เองหรือขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับระบบ โดยใช้หม้อน้ำขนาดเล็กลง และใช้เชื้อเพลิงทางการเกษตรมาเผาไหม้ที่หม้อน้ำแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล

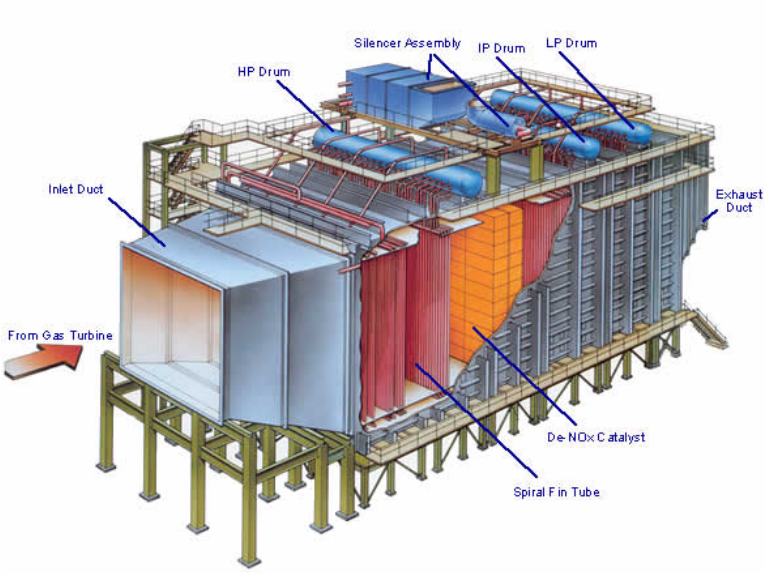


รูปที่ 1-11 หม้อน้ำโรงไฟฟ้า

(ข) หม้อน้ำแบบท่อความร้อนทิ้ง

หม้อน้ำแบบท่อความร้อนทิ้ง (Waste heat boiler or heat recovery steam generator, HRSG) เป็นหม้อน้ำที่ผลิตไอน้ำจากก๊าซร้อนที่ทิ้งจากขบวนการเผาไหม้ต่างๆ ลักษณะที่นิยมใช้กันมาก คือการผลิตไอน้ำร่วมกันกับ Gas turbine ที่มีไอเสียอุณหภูมิสูงมากซึ่งได้มาจากเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า (Cogeneration or combined cycle) หม้อน้ำแบบนี้อาจจะสามารถผลิตไอน้ำได้หลายระดับความดันในเครื่องเดียวกัน สามารถติดตั้งหัวเผาที่ปล่องไอเสีย (Duct burner) ก่อนที่จะเข้าหม้อน้ำ หรือติดตั้งหัวพ่นไฟที่ตัวหม้อน้ำเอง เพื่อเพิ่มปริมาณความร้อนในการผลิตไอน้ำให้มากขึ้น เพื่อจ่ายไอน้ำให้กับกังหันไอน้ำ (Steam turbine) หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกจากนี้ หม้อน้ำ HRSG สามารถติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมต่างๆ เหล่านี้ ได้แก่ ชุด

Superheater, Desuperheater, Economizer, Air preheater, Duct burner และ Diverter หากต้องการให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น หม้อน้ำแบบท่อความร้อนทิ้งมีลักษณะดังรูปที่ 1-12

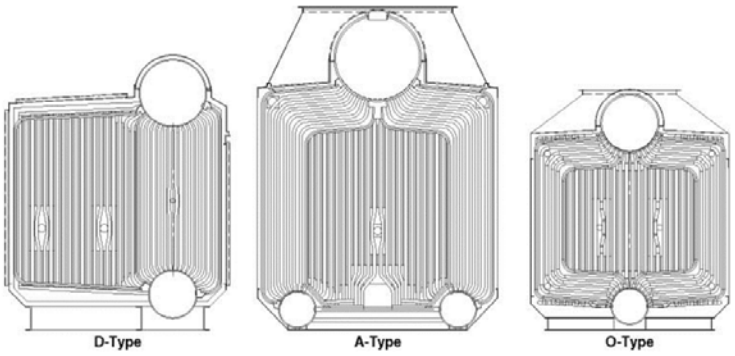


รูปที่ 1-12 หม้อน้ำแบบท่อความร้อนทิ้ง

(ค) หม้อน้ำแบบท่อน้ำรูปตัว A, D และ O

หม้อน้ำแบบท่อน้ำรูปตัว A, D และ O (A, D and O type water tube boiler) ดังแสดงในรูปที่ 1-13 เป็นหม้อน้ำแบบท่อน้ำสำเร็จรูป (Package water tube boiler) สามารถผลิตไอน้ำความดันสูงตั้งแต่ 1.8-10 MPa ขนาดกำลังผลิตไอน้ำประมาณ 5,000-100,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปกติจะผลิตไอน้ำอิ่มตัว แต่สามารถติดตั้ง Superheater ในห้องเผาไหม้เพื่อผลิตไอน้ำยิ่งยวดได้อุณหภูมิไอน้ำถึง 570 ^{0}C เชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะเป็นเชื้อเพลิงเหลวหรือเชื้อเพลิงก๊าซ แต่หม้อน้ำแบบท่อน้ำรูปตัว A สามารถสร้างให้มีระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่ด้านล่างระหว่างถังโคลน (Mud drum) ทั้งสองได้ และมีระบบอุปกรณ์สนับสนุนต่างจากหม้อน้ำขนาดเล็กทั่วไป เช่น ระบบ Superheated, Desuperheater, Economizer, Recuperator, ระบบการเก็บลำเลียงและย่อยถ่านหิน และระบบลดมลพิษทางอากาศ เป็นต้น

การเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำแบบนี้ จะเลือกใช้งานที่ต้องการผลิตไอน้ำความดันสูงกว่า 1.5 MPa หรือต้องการปริมาณไอน้ำมากกว่า 15,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ถ้าต้องการผลิตไอน้ำความดันและปริมาณต่ำกว่านี้ ไม่ควรเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำนี้ เพราะจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า และการบำรุงรักษาที่ยุ่งยากกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟมาก จึงไม่ควรเลือกใช้หม้อน้ำแบบนี้ ถ้าจะเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีสารกำมะถันสูง และหม้อน้ำต้องหยุดเครื่องบ่อยและเป็นเวลานานหลายวัน เพราะแม้ว่าหม้อน้ำจะมีระบบ Boiler lay-up อุ่นไม่ให้เกิดการกัดกร่อนของกรดกำมะถัน (Cold end corrosion) แต่ก็ต้องใช้พลังงานในการอุ่นหม้อน้ำให้ร้อนอยู่ตลอดเวลา



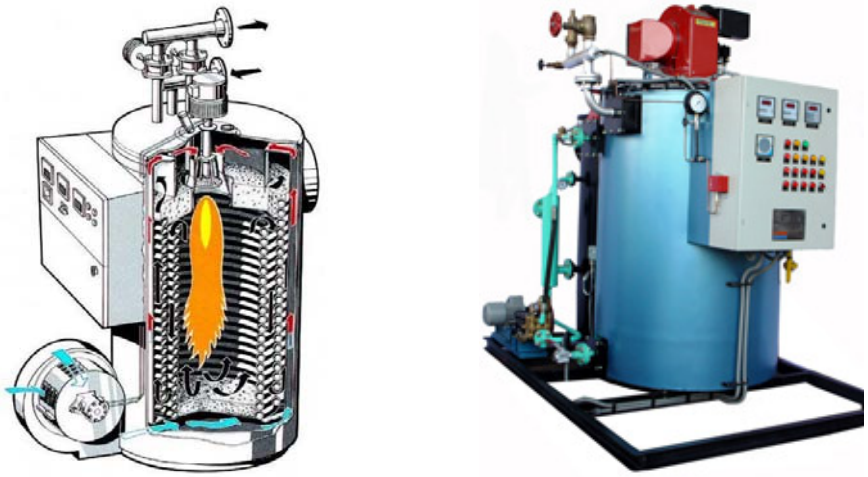
รูปที่ 1-13 หม้อน้ำแบบท่อน้ำรูปตัว A, D และ O

(ง) หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียว

หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียว (Once-through coiled water tube boiler) เป็นหม้อน้ำที่ส่วนใหญ่มีท่อน้ำขดเป็นวงกลมโดยน้ำอยู่ภายในท่อ มีหัวเผาอยู่ตรงกลางของชุดท่อน้ำที่ขดเป็นวงกลมนั้น น้ำจะถูกป้อนเข้าที่ปลายท่อน้ำด้านหนึ่งของชุดขดท่อน้ำ แล้วไหลผ่านรับความร้อนออกไป กลายเป็นไอน้ำที่ปลายของท่อน้ำอีกด้านหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1-14 หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียว สามารถผลิตไอน้ำได้เร็วมาก สามารถปรับอัตราการป้อนน้ำและอัตราการเผาไหม้ให้ผลิตเป็นไอน้ำยิ่งยวดได้ แต่ถ้าปรับไม่ถูกต้องจะผลิตไอน้ำที่ความชื้นสูงออกมาแทน เป็นหม้อน้ำที่ต้องการน้ำที่สะอาดมาก ถ้ามีตะกรันในท่อน้ำ ท่อน้ำจะแตกออก หรือถ้ามีการกัดกร่อนจนท่อน้ำทะลุจะต้องเปลี่ยนชุดขดท่อน้ำทั้งชุด

หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียวมีทั้งหม้อน้ำที่ใช้น้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงก๊าซ แต่เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซ เพราะมีราคาค่าเชื้อเพลิงถูกกว่า และการเผาไหม้สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล

หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียวถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่น มีตั้งแต่ขนาดเล็กกำลังผลิตไอน้ำ 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จนถึงขนาดใหญ่มากที่สามารถใช้ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 1,000 MW เหมาะที่จะเลือกใช้หม้อน้ำแบบนี้เมื่อต้องการความดันไอน้ำสูงกว่า 1.5 MPa ในจนถึงความดันไอน้ำระดับ Super critical

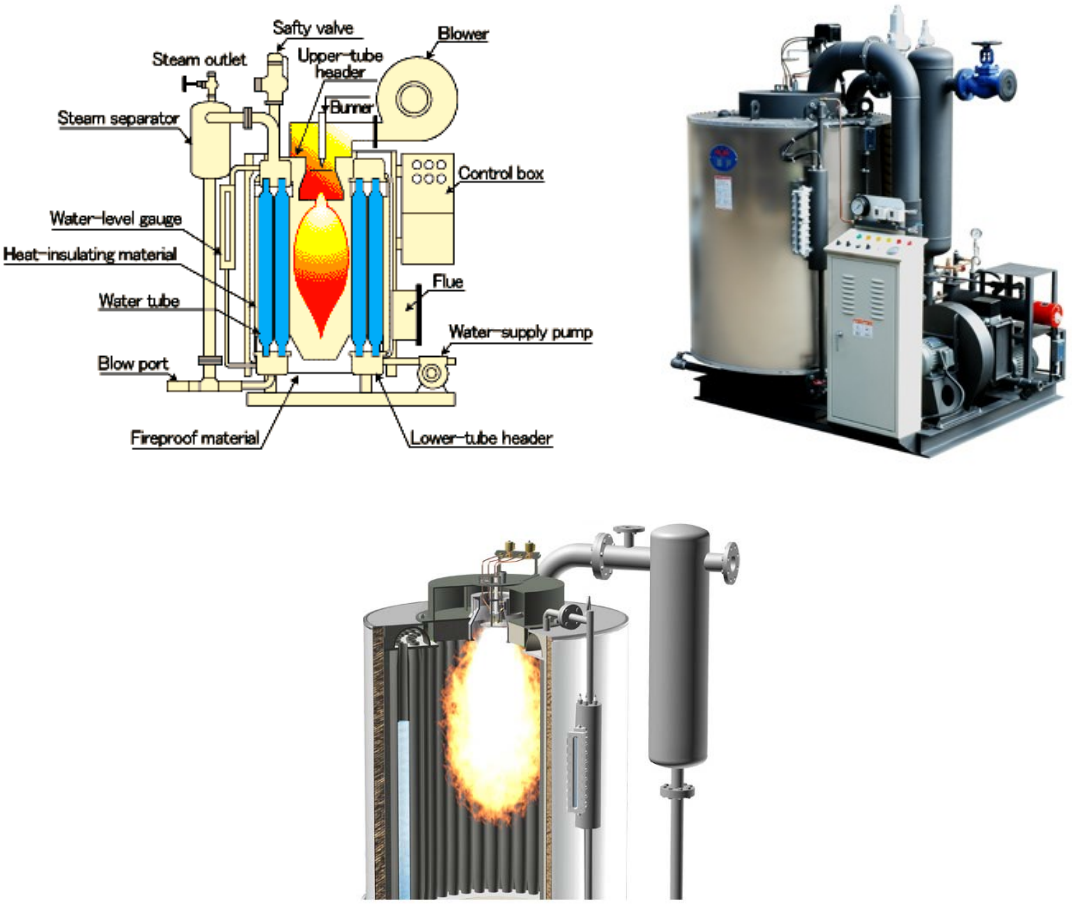


รูปที่ 1-14 หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียว

(จ) หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้ง

หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้ง (Vertical water tube boiler) เป็นหม้อน้ำแบบท่อขนาดเล็ก โครงสร้างมีท่อน้ำขนาดเล็กจำนวนหลายท่อประกอบกับท่อร่วม (Header) ด้านบนและด้านล่าง โดยเรียงท่อเป็นรูปวงกลมคล้ายทรงกระบอก และเว้นพื้นที่บริเวณตรงกลางเครื่องไว้สำหรับเป็นห้องเผาไหม้ โดยมีหัวพ่นไฟอยู่ตรงกลางที่ด้านบนของหม้อน้ำ ดังรูปที่ 1-15 หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้งเหมาะกับการใช้ไอน้ำปริมาณไม่มาก และไม่เปลี่ยนแปลงภาวะไอน้ำอย่างรวดเร็ว ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยมาก มีทั้งหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ แต่ไม่เหมาะกับการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง เพราะหม้อน้ำขนาดเล็ก หัวพ่นไฟมีรูหัวฉีดน้ำมันเตาขนาดเล็กมาก ทำให้ฉีดพ่นน้ำมันเตาได้ไม่ค่อยดี และต้องล้างทำความสะอาดหัวฉีดน้ำมันเตาที่อยู่ด้านบนบ่อย ถ้าต้องการจะใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้งที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ควรจะเป็นหม้อน้ำที่มีขนาดใหญ่ 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุด สำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซ เพราะมีราคาเชื้อเพลิงถูกกว่า และการเผาไหม้สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้งนี้จัดเป็นหม้อน้ำแบบไหลผ่านครั้งเดียว (Once-through boiler) ด้วยเช่นกัน

หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้งมีขนาดกำลังผลิต 10-2,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลิตไอน้ำอิ่มตัว ความดันสูงสุดไม่เกิน 2 MPa ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำประมาณ 80-85% (LHV) ซึ่งถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่น แต่ถ้ามีราคาเครื่องต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่น จึงเหมาะที่จะเลือกใช้เป็นหม้อน้ำขนาดเล็กกำลังผลิตไอน้ำไม่เกิน 800 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

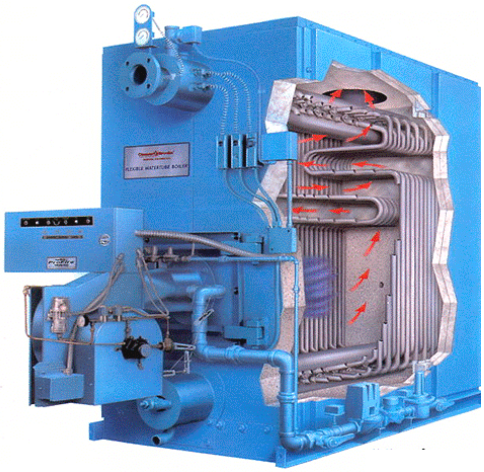


รูปที่ 1-15 หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้ง

(ฉ) หม้อน้ำแบบท่อน้ำดัดถอดประกอบได้

หม้อน้ำแบบท่อน้ำดัดถอดประกอบได้ (Bend water tube knock down boiler) เป็นของหม้อน้ำแบบท่อน้ำที่ดัดท่อให้เป็นรูปร่างเฉพาะ เพื่อกำหนดทิศทางการไหลของก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 1-16 ท่อน้ำที่ถูกดัดประกอบปลายท่อทั้งสองด้านเข้ากับท่อร่วม (Header) โดยปลายท่อน้ำถูกออกแบบให้มีความหนาขึ้นและเป็นรูปกรวยเรียวลง แล้วใช้ตัวประกับที่มีน๊อตสำหรับขันอัดให้ปลายท่อน้ำเข้าไปอัดแน่นอยู่ในรูท่อที่ท่อร่วม เวลาขนส่งหม้อน้ำแบบนี้ สามารถจะขนส่งหม้อน้ำมาเป็นชิ้นๆ แล้วใช้เวลาในการประกอบบนแท่นเครื่องเพียง 2 วัน ซึ่งการออกแบบหม้อน้ำเช่นนี้ จะใช้เป็นหม้อน้ำที่ใช้เปลี่ยนทดแทนหม้อน้ำเก่า ที่อยู่ในห้องหม้อน้ำที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายหม้อน้ำเครื่องใหม่เข้าไปเปลี่ยนได้ เช่น หม้อน้ำที่ติดตั้งอยู่บนชั้นใต้ดินที่แคบ หรือบนอาคารที่สูงมาก เนื่องจากลักษณะทางโครงสร้างของหม้อน้ำแบบนี้ หม้อน้ำจึงใช้ได้เพียงเชื้อเพลิงดีเซลหรือเชื้อเพลิงก๊าซ แต่เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซ เพราะมีราคาค่าเชื้อเพลิงถูกกว่าและการเผาไหม้สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล

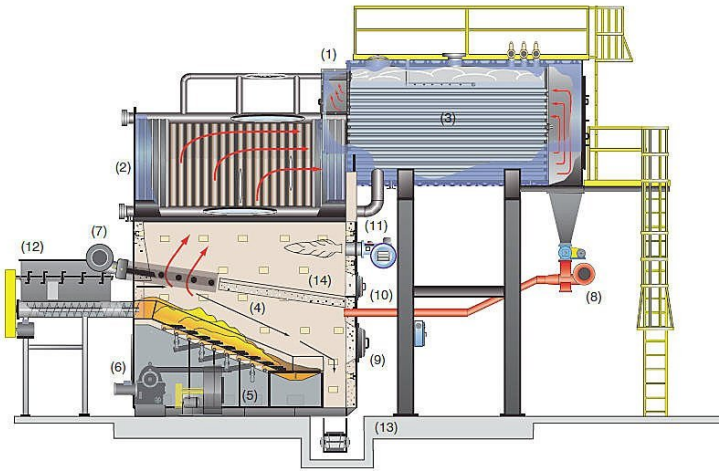
หม้อน้ำแบบท่อน้ำดัดถอดประกอบได้ มีขนาดกำลังผลิตไอน้ำ 300-3,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลิตไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงสุดไม่เกิน 1 MPa ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำประมาณ 80-85% (LHV) ถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่นๆ เหมาะที่จะใช้เป็นหม้อน้ำไว้เปลี่ยนทดแทนหม้อน้ำเก่าที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายหม้อน้ำเครื่องใหม่แบบปกติเข้าไปเปลี่ยนทดแทนได้



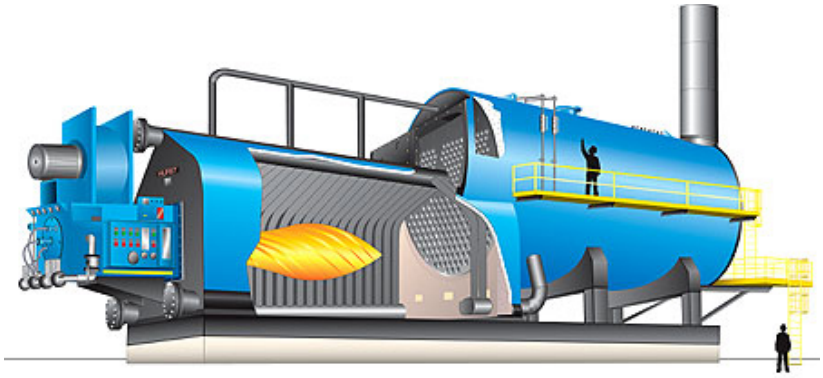
รูปที่ 1-16 หม้อน้ำแบบท่อน้ำดัดถอดประกอบได้

(ช) หม้อน้ำแบบผสม

หม้อน้ำแบบผสม (Hybrid boiler) เป็นหม้อน้ำที่มีทั้งหม้อน้ำแบบท่อน้ำและหม้อน้ำแบบท่อไฟอยู่ในเครื่องเดียวกัน ส่วนใหญ่จะเป็นหม้อน้ำใช้เชื้อเพลิงแข็ง โดยสร้างให้หม้อน้ำแบบท่อน้ำที่อยู่ด้านล่างเป็นส่วนของห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง ส่วนโครงสร้างที่เป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟที่อยู่ด้านบนจะเป็นส่วนที่รับการถ่ายเทความร้อนที่เหลือออกมาจากส่วนโครงสร้างหม้อน้ำแบบท่อน้ำ ดังในรูปที่ 1-17 หรือหากใช้เชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ การออกแบบอาจจัดวางให้ทั้งหม้อน้ำแบบท่อน้ำและหม้อน้ำแบบท่อไฟอยู่ข้างกันในแนวระดับเกือบเสมอกัน ดังแสดงในรูปที่ 1-18 ขนาดกำลังผลิตไอน้ำของหม้อน้ำแบบผสม ประมาณ 5,000-20,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความดันไอน้ำจึงถูกจำกัดด้วยโครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อไฟ จึงผลิตความดันไอน้ำสูงสุดไม่เกิน 2 MPa



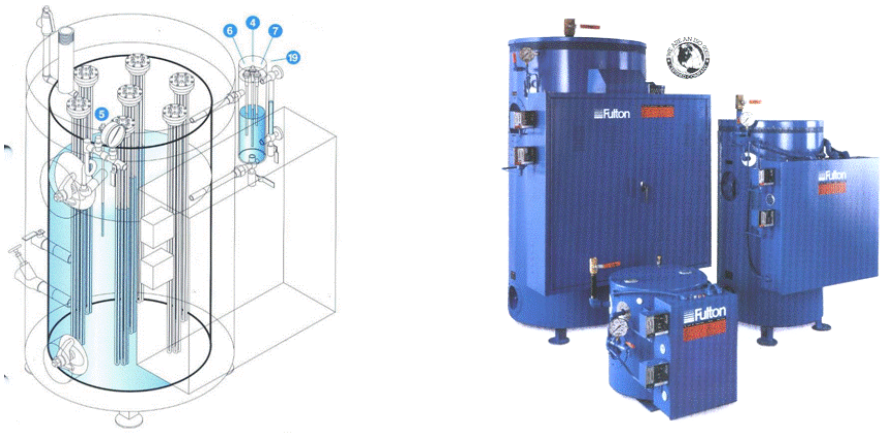
รูปที่ 1-17 หม้อน้ำแบบผสม กรณีใช้เชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 1-18 หม้อน้ำแบบผสม กรณีใช้เชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ

(ซ) หม้อน้ำไฟฟ้า

หม้อน้ำไฟฟ้า (Electrical boiler) มีกำลังผลิตไอน้ำประมาณ 10-3,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลิตไอน้ำอิ่มตัวความดัน 1-2 MPa เป็นหม้อน้ำที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทำให้สะอาดเพราะไม่มีระบบลำเลียงเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ ปราศจากมลพิษทางอากาศ เหมาะกับการผลิตไอน้ำปริมาณไม่มาก แต่การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตไอน้ำ มีต้นทุนในการผลิตไอน้ำสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น หม้อน้ำไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 1-19



รูปที่ 1-19 หม้อน้ำไฟฟ้า

1.3 ระบบกำเนิดไอน้ำ

หม้อน้ำมีหน้าที่ในการผลิตไอน้ำที่มีความดันสูง ในระบบกำเนิดไอน้ำ นอกจากจะประกอบด้วยตัวหม้อน้ำแล้ว ยังต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ในระบบย่อยต่างๆ อีกหลายระบบดังต่อไปนี้

1.3.1 อุปกรณ์ในระบบน้ำป้อน

ระบบน้ำป้อน (Feed water system) เป็นระบบแรกสุดที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากน้ำป้อนเปรียบเสมือนวัตถุดิบต้นทางในการผลิตไอน้ำ คุณภาพของน้ำป้อนส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของหม้อน้ำและความปลอดภัยในการใช้งานหม้อน้ำ ระบบน้ำป้อนประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

(ก) ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ (Water treatment system) หรือบางครั้งเรียกว่าระบบกรองน้ำ มีหน้าที่ขจัดความกระด้างของน้ำที่มาจากเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total dissolved solids, TDS) ซึ่งเป็นต้นเหตุให้เกิดตะกรันเกาะผิวถ่ายเทความร้อนภายในหม้อน้ำ การปรับปรุงคุณภาพน้ำสามารถทำได้หลายวิธี รายละเอียดของการปรับปรุงคุณภาพน้ำจะกล่าวถึงโดยละเอียดในบทที่ 5

(ข) ถังน้ำป้อน

ถังน้ำป้อน (Feed water tank) ใช้บรรจุน้ำป้อนที่จะนำไปใช้ในหม้อน้ำ โดยทั่วไปแล้วจะมีระบบนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ เพื่อให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงในการต้มน้ำให้ได้มากที่สุด เมื่อคอนเดนเสทที่นำกลับมาลงถังน้ำป้อนผสมกับน้ำป้อนจากเครื่องทำน้ำอ่อนซึ่งในระบบนี้จะเรียกว่าน้ำเติม (Make up water) แล้ว อุณหภูมิของน้ำผสมควรจะมีค่าใกล้ 100 °C ที่สุดเท่าที่จะทำได้เนื่องจาก

- น้ำที่ป้อนเข้าหม้อน้ำ ถ้ามีอุณหภูมิร้อนขึ้นทุก 10 °C จะประหยัดเชื้อเพลิงได้ 1.6%
- อุณหภูมิน้ำป้อนใกล้ 100 °C จะช่วยไล่ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ที่ปนอยู่ในน้ำออกได้ดีเกือบเทียบเท่าการใช้ถังไล่อากาศหรือถังดีแอเรเตอร์ (Deaerator)

ท่อนำน้ำคอนเดนเสทที่บริเวณก่อนเข้าถัง ควรมีท่อแยกพร้อมวาล์ว เพื่อใช้เปิดคอนเดนเสททิ้งในกรณีที่พบว่าน้ำคอนเดนเสทไม่บริสุทธิ์ เนื่องจากเหตุใดๆ ก็ตาม หรืออาจใช้เพื่อแบ่งน้ำคอนเดนเสทไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ตามต้องการได้

การติดตั้งถังน้ำป้อนมีข้อแนะนำดังต่อไปนี้

- สำหรับระบบการใช้ไอน้ำที่มีคอนเดนเสท (Condensate water return) กลับมาเติมหม้อน้ำมีมากกว่า 75% ถังน้ำป้อนซึ่งเป็นถังน้ำหุ้มฉนวน ก็สามารถใช้งานแบบทั่วๆ ไปได้
- ถังน้ำป้อนสามารถสร้างด้วยเหล็กแผ่นความหนาอย่างน้อย 4.5 มิลลิเมตร (จะมีอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 10 ปี) ม้วนเป็นรูปทรงกระบอกนอน หัวท้ายแบบเรียบเป็นที่นิยมใช้งานกันทั่วไป เพราะไม่มีความดันภายในถัง ส่วนถังทรงกระบอกตั้งหรือถังรูปทรงเหลี่ยมไม่นิยมใช้งานกัน นอกจากจะมีปัญหาเรื่องพื้นที่ที่จำกัด เพราะถังทรงกระบอกตั้งแบบหัวท้ายเรียบและถังรูปทรงเหลี่ยม

อาจจะเกิดเสียงลั่นของแผ่นเหล็กที่ขยับตัว เนื่องจากน้ำหนักของน้ำที่กดลงบนผนังของถัง

- ถังน้ำป้อนควรออกแบบให้เก็บน้ำเพื่อใช้ป้อนหม้อน้ำได้นานอย่างน้อย 5 นาที ถ้ามีคอนเดนเสทกลับมาน้อย หรืออย่างน้อย 10 นาที หากมีคอนเดนเสทกลับมามาก
- ควรจะมีระบบอุ่นน้ำในถังน้ำป้อน หากน้ำในถังน้ำป้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่า 90 °C หรือมีคอนเดนเสทกลับมาน้อยกว่า 50% เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาการกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting corrosion) กับหม้อน้ำ
- สิ่งที่ต้องระวังที่สุดของถังน้ำป้อนและถังคอนเดนเสท (Condensate tank) ก็คือท่อระบายไอ (Vent) จะต้องมีขนาดใหญ่พอ และอยู่ด้านบนของถัง และต้องไม่มีวาล์วใดๆ ที่ท่อระบายไอ เพราะบางครั้งในระบบการใช้ไอน้ำอาจมีกับดักไอน้ำ (Steam trap) รั่วซึม หรือมีการเปิด By pass valve ที่กับดักไอน้ำ ทำให้มีไอน้ำย้อนกลับเข้ามาที่ถังน้ำป้อน จนอาจทำให้ถังน้ำป้อนระเบิดได้
- นอกจากนี้ท่อระบาย (Vent) ก็ไม่ควรใช้ร่วมกันกับท่อน้ำล้น (Over flow) ของถังน้ำป้อน เพราะท่อน้ำล้นอาจเกิดตีบตันเนื่องจากตะกรัน อาจทำให้ถังน้ำป้อนระเบิดได้เช่นเดียวกัน
- ถังน้ำป้อนจะต้องประกอบด้วยหลอดแก้วดูระดับน้ำ เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิน้ำ ระบบเติมน้ำอัตโนมัติ และอาจจะต้องมีท่อ High pressure condensate return สำหรับระบบที่มีการปล่อยน้ำ Condensate return ความดันสูงกลับมา
- แม้ว่าถังน้ำป้อนที่ทำด้วยเหล็กจะมีการกัดกร่อนบ้าง แต่ก็ไม่ควรเคลือบด้วยวัสดุใดๆ เพราะอาจหลุดร่อนเนื่องจากความร้อนและการขยายตัวและหดตัวได้ ทำให้หลุดลอดเข้าไปในหม้อน้ำได้ และถังพักน้ำของหม้อน้ำจะทำงานที่ความอุณหภูมิเกิน 60 °C และมักจะมีประจุคลอไรด์ในน้ำ จะทำให้ถังเหล็กกล้าไร้สนิมแตกร้าวได้ง่ายจากปัญหา Stress corrosion cracking

(ค) ระบบปั๊มน้ำป้อน

ระบบปั๊มน้ำป้อน (Feed water system) ประกอบด้วยตัวปั๊ม ท่อป้อน มิเตอร์วัดปริมาณน้ำป้อน และวาล์วกันกลับป้องกันน้ำในหม้อน้ำไหลย้อนกลับได้ ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทที่ 4

(ง) ระบบปั๊มสารเคมีเข้าหม้อน้ำ

ระบบปั๊มสารเคมีเข้าหม้อน้ำ (Chemical feed system) ประกอบด้วยถังน้ำยาเคมี เครื่องกวน และปั๊มน้ำยาเคมีที่มีคุณสมบัติพิเศษคือทนการกัดกร่อนได้เป็นอย่างดี ระบบปั๊มสารเคมีเข้าหม้อน้ำทำหน้าที่ป้อนสารเคมีเข้าผสมกับน้ำป้อนหรือน้ำที่อยู่ในหม้อน้ำ เพื่อปรับสภาพทางเคมีให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ถือเป็นระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบเกิดภายในหม้อน้ำ (Boiler internal water treatment) รายละเอียดของระบบปั๊มสารเคมีเข้าหม้อน้ำอธิบายไว้ในบทที่ 5

1.3.2 อุปกรณ์ในระบบวัดและควบคุมความดันไอน้ำ

ไอน้ำที่เกิดขึ้นในหม้อน้ำจะมีความดันที่สูงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ หากได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องไม่จำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้งระบบวัดและควบคุมความดันไอน้ำ เพื่อตรวจสอบและป้องกันไม่ให้ความดันไอน้ำสูงเกินกว่าความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (Maximum allowable working pressure) ระบบวัดและควบคุมความดันไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

(ก) มาตรวัดความดันไอน้ำ

มาตรวัดความดันไอน้ำ (Pressure gauge) ทำหน้าที่วัดและแสดงค่าความดันของไอน้ำตรงตำแหน่งที่ติดตั้งมาตรวัด หน้าปัดของมาตรวัดความดันไอน้ำต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 100 มม. มีสเกลซึ่งสามารถวัดได้ 1.5 ถึง 2 เท่า ของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด และต้องมีเครื่องหมายแสดงระดับความดันใช้งาน (Operating pressure) และความดันอันตรายไว้ให้เห็นได้ชัดเจน มาตรวัดความดันไอน้ำสำหรับวัดความดันในหม้อน้ำมักจะติดตั้งใกล้ตัวหม้อน้ำมากที่สุดเพื่อให้ค่าที่อ่านได้ตรงตามความเป็นจริง รายละเอียดการใช้งานและการบำรุงรักษามาตรวัดความดันไอน้ำแสดงไว้ในบทที่ 4

(ข) สวิทช์ควบคุมความดัน

สวิทช์ควบคุมความดัน (Pressure switch) เป็นสวิทช์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผา เพื่อรักษาความดันไอน้ำใช้งานให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ทำงานโดยอาศัยหลักการขยายตัวของปรอทที่บรรจุในหลอดแก้ว โดยเมื่อความดันไอน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง เบลโลว์ (Bellow) หรือแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm) ที่ติดตั้งเข้ากับบริเวณที่ต้องการวัดและควบคุมความดันไอน้ำจะเกิดการขยายหรือหดตัว ทั้งเบลโลว์และไดอะแฟรมต่างมีกลไกเชื่อมโยงไปยังสวิทช์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าเพื่อควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่วงจรควบคุมทำงานของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาต่อไป รายละเอียดการใช้งานและการบำรุงรักษาสวิทช์ควบคุมความดันแสดงไว้ในบทที่ 4

(ค) สวิทช์ควบคุมความดันไอน้ำแบบต่อเนื่อง

สวิทช์ควบคุมความดันไอน้ำแบบต่อเนื่อง (Modulating pressure control switch) ทำหน้าที่ควบคุมวงจรไฟฟ้าสำหรับควบคุมการเร่งหรี่ของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาอย่างต่อเนื่อง สวิทช์ควบคุมความดันไอน้ำแบบต่อเนื่องจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงความดันเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยอาศัย Potentiometer แล้วส่งสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปยังวงจรควบคุมการทำงานของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาต่อไป

(ง) สวิทช์จำกัดความดันไอน้ำสูงสุด

สวิทช์จำกัดความดันไอน้ำสูงสุด (High limit pressure switch) เป็นสวิทช์ปรอทเช่นเดียวกับสวิทช์ควบคุมความดันไอน้ำ แต่ทำหน้าที่เพื่อความปลอดภัยเป็นหลัก ในกรณีที่ความดันไอน้ำเกินกว่าความดันไอน้ำใช้งานที่ตั้งไว้ สวิทช์นี้จะตัดวงจรไฟฟ้าของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาให้หยุดการทำงานทันที อาจมีสัญญาณเตือน (Alarm) ดังขึ้น และสวิทช์จะล็อกตัวเองทันที หากทำการแก้ไขข้อบกพร่องของระบบที่ทำให้ความดันมีค่าสูงเกินกว่าความดันไอน้ำใช้งานที่ตั้งไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว และต้องการจะเดินระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาใหม่ จะต้องกดปุ่มปลดล็อก (Reset) เสียก่อน ระบบทั้งหมดจึงจะสามารถเริ่มต้นการทำงานได้ตามปกติ

1.4 ระบบจ่ายและหมุนเวียนไอน้ำ

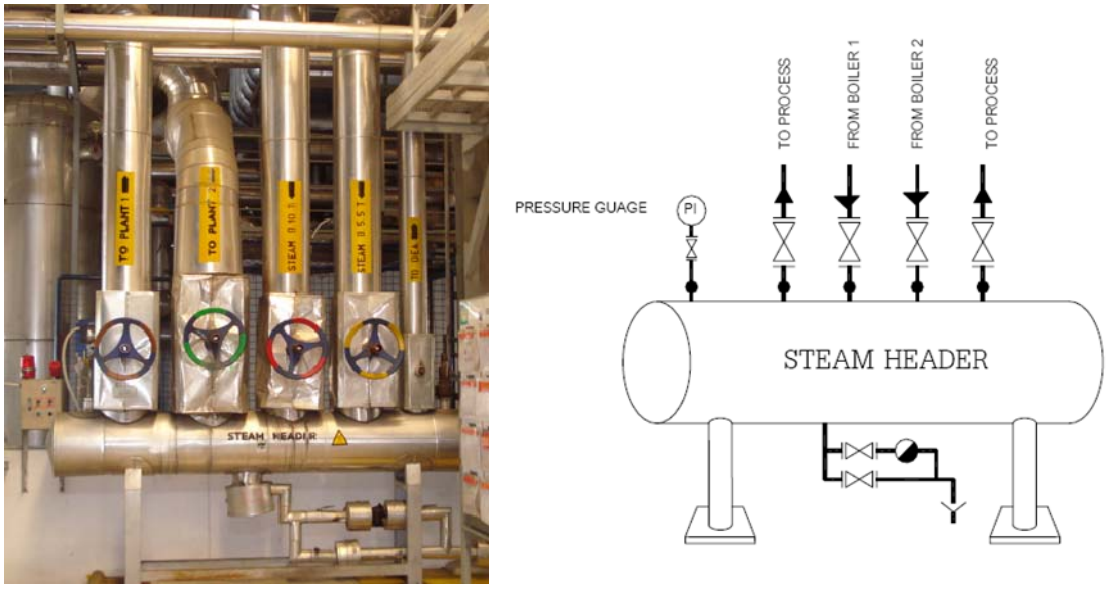
ในการใช้งานไอน้ำ ไอน้ำจะถูกลำเลียงผ่านระบบจ่ายไอน้ำไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำที่ติดตั้งอยู่ทั่วทั้งบริเวณของสถานประกอบการ เมื่อไอน้ำถ่ายเทความร้อนให้แก่อุปกรณ์ใช้ไอน้ำดังกล่าวแล้ว จะมีความดันและอุณหภูมิที่ลดลง เกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลวกลั่นตัวหรือคอนเดนเสท (Condensate) คอนเดนเสทเปรียบเสมือนกับน้ำกลั่นที่มีความบริสุทธิ์สูงมากและยังคงมีความร้อนหลงเหลืออยู่ หากสามารถนำกลับไปใช้ร่วมกับน้ำป้อนที่ผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยผ่านทางระบบหมุนเวียนไอน้ำ จะเป็นการลดต้นทุนในการผลิตไอน้ำได้หลายทาง เช่น ลดปริมาณน้ำป้อน ยืดอายุสารกรองในระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อน ช่วยเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนก่อนเข้าสู่หม้อน้ำ เป็นต้น

1.4.1 อุปกรณ์ในระบบท่อไอน้ำ

ไอน้ำความดันสูงพร้อมใช้งานที่ผลิตจากหม้อน้ำจะถูกลำเลียงผ่านระบบท่อไอน้ำไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำที่ติดตั้งอยู่ทั่วทั้งบริเวณของสถานประกอบการ นอกจากนี้หากมีการติดตั้งหม้อน้ำมากกว่าหนึ่งเครื่องและทุกเครื่องทำงานพร้อมกันแบบเสริมกันแล้ว การรวมไอน้ำไปใช้งานต้องอาศัยอุปกรณ์เฉพาะและได้รับการติดตั้งอย่างเหมาะสม อุปกรณ์ในระบบท่อไอน้ำมีดังนี้

(ก) ท่อรวมไอน้ำ

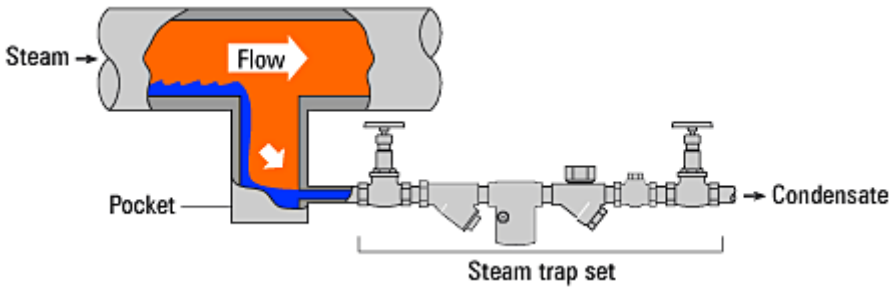
ท่อรวมไอน้ำ (Steam header) ทำหน้าที่เป็นที่พักรวมไอน้ำจากหม้อน้ำเครื่องต่างๆ และแจกจ่ายไอน้ำไปใช้งานตามอุปกรณ์ต่างๆ โดยทั่วไปมักจะติดตั้งเหนือพื้นห้อง ใกล้ๆ ตัวหม้อน้ำ เพื่อสะดวกแก่การเปิดปิดวาล์วไอน้ำ มีการติดตั้งเกจวัดความดันไอน้ำอยู่ด้านบน และด้านล่างมีท่อระบายน้ำคอนเดนเสทพร้อมกับดักไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1-20 นอกจากนี้ต้องทำการติดตั้งลิ้นกันกลับ (Check valve, non-return valve) ที่ท่อจ่ายไอน้ำของหม้อน้ำทุกเครื่อง เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของไอน้ำจากท่อรวมไอน้ำไปยังหม้อน้ำเครื่องที่มีความดันไอน้ำน้อยกว่าความดันไอน้ำในท่อรวมไอน้ำ



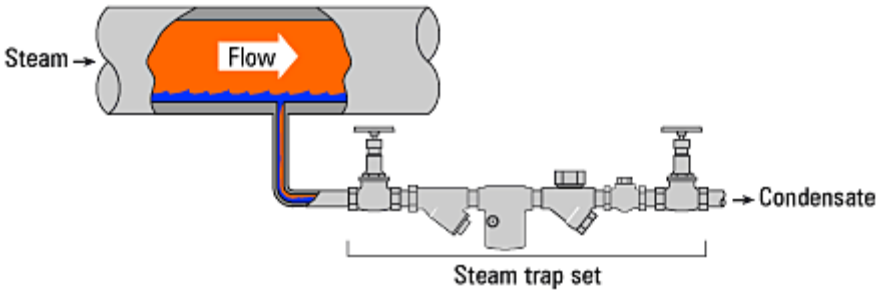
รูปที่ 1-20 ท่อรวมไอน้ำ

(ข) ท่อไอน้ำ

ท่อไอน้ำ (Steam line) ประกอบไปด้วยท่อประธานหรือท่อเมน (Main steam line) และท่อแยก (Branch steam line) ทำหน้าที่ลำเลียงไอน้ำไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำที่ติดตั้งอยู่ในแผนกต่างๆ ท่อไอน้ำมักจะถูกออกแบบให้มีขนาดโตพอที่จะจ่ายไอน้ำได้เพียงพอต่อการใช้งาน โดยที่ความดันไอน้ำปลายทางไม่ตกลงมาก หากท่อไอน้ำมีความยาวมาก ไอน้ำบางส่วนจะควบแน่นกลายเป็นคอนเดนเสท คอนเดนเสทที่เกิดขึ้นนี้หากไหลไปพร้อมกับไอน้ำจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่าค้อนน้ำ (Water hammer) ซึ่งสามารถก่อให้เกิดความเสียหายแก่ท่อและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำได้ ดังนั้นท่อไอน้ำทุกระยะ 30-50 เมตร ต้องมีการติดตั้งถังพักคอนเดนเสท (Pocket) ที่มีขนาดใหญ่เพียงพอ และท่อระบายคอนเดนเสทผ่านกับดักไอน้ำ (Steam trap) ออกไป ดังรูปที่ 1-21 (ก) หากไม่มีการติดตั้งถังพักคอนเดนเสทหรือถังพักคอนเดนเสทมีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้ไม่สามารถระบายคอนเดนเสทออกจากท่อได้ทัน ดังรูปที่ 1-21 (ข) ซึ่งขนาดของถังพักคอนเดนเสทสามารถคำนวณได้จากตารางที่ 1-1 นอกจากนี้ต้องมีข้อต่อขยายความยาว หรือทำการดัดท่ออ่อนให้งอเป็นวง (Expansion joint, expansion loop, omega loop, or full loop) เพื่อให้ท่อสามารถยืดและหดได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 1-22 ถึงรูปที่ 1-24



(ก) แบบมีถังพักคอนเดนเสท

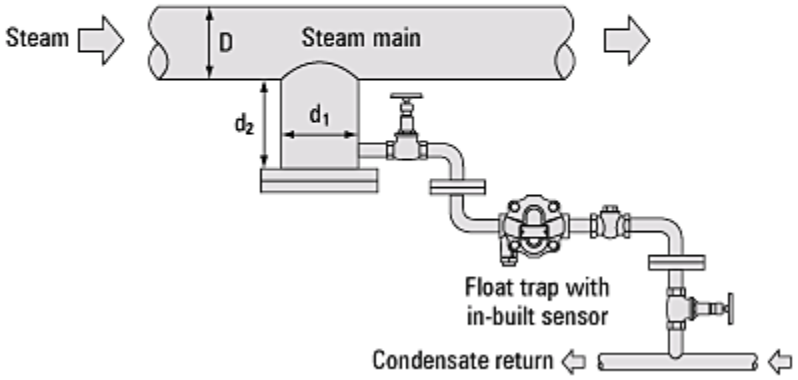


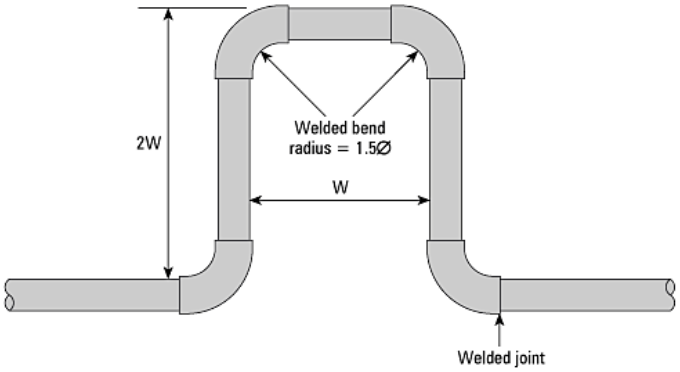
(ข) แบบไม่มีถังพักคอนเดนเสท

รูปที่ 1-21 การติดตั้งท่อระบายน้ำคอนเดนเสทเข้ากับท่อไอน้ำ

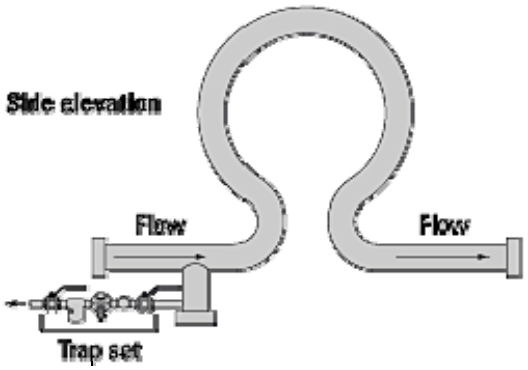
ตารางที่ 1-1 การคำนวณขนาดถังพักคอนเดนเสท

Mains diameter - D	Pocket diameter - d_1	Pocket depth - d_2
Up to 100 mm nb	$d_1 = D$	Minimum d_2 = 100 mm
125 - 200 mm nb	d_1 = 100 mm	Minimum d_2 = 150 mm
250 mm and above	$d_1 \geq D/2$	Minimum $d_2 = D$

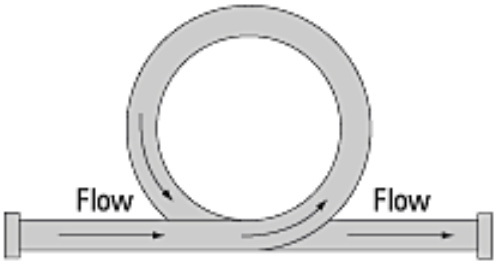




รูปที่ 1-22 Expansion loop



รูปที่ 1-23 Omega loop



รูปที่ 1-24 Full loop

การออกแบบท่อ ข้อต่อ และวาล์วในระบบท่อไอน้ำเพื่อให้เกิดความปลอดภัยมีข้อแนะนำดังต่อไปนี้

- มาตรฐานท่อในระบบไอน้ำ ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้มาตรฐาน ASME, API, ANSI ของอเมริกา, BS ของอังกฤษ, DIN ของยุโรป, JIS ของญี่ปุ่น หรืออื่นใดที่เป็นมาตรฐานสากล
- มาตรฐาน ASME, ASTM, API, ANSI เป็นมาตรฐานท่อที่มีของครบถ้วนในท้องตลาดและใช้งานแพร่หลายเป็นส่วนใหญ่ในประเทศไทย รหัสมาตรฐานของท่อ การเชื่อมท่อ ข้อต่อท่อ และวาล์ว ตามมาตรฐาน ASTM แสดงได้ดังในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 รหัสมาตรฐานของท่อ การเชื่อมท่อ ข้อต่อท่อ และวาล์ว ตามมาตรฐาน ASTM

Pipe	Weld fitting	Screwed and socket fitting	Flange	Valve
A-53	A-234 WPB	A-105	A-105-71	B62, A-105
API-5L	A-234 WPB	A-105-71	A181 Gr.I	B62, A-216 WCB
A-106B	A-234 WPB	A-105 Gr.I,II	A-105 Gr.I,II A-182 Gr.I,II	A-105 Gr.II A-216 WCB
A-335-P11	A-234 WP11	A-182-F11	A-182-F11	A-182-F11 A-217 WC6

- ท่อไอน้ำควรเป็นท่อเหล็กเกล้าคาร์บอนสูง (High carbon steel pipe) และการต่อท่อทำโดยวิธีการเชื่อมไฟฟ้า
- สำหรับท่อที่ใช้งานที่ความดันไอน้ำต่ำกว่า 0.1 MPa อาจจะใช้การเชื่อมต่อท่อแบบเกลียวได้โดยเฉพาะท่อที่มีขนาดเล็กกว่า 50 มิลลิเมตร
- การใช้วาล์วเหล็กหล่อในระบบท่อไอน้ำ ควรใช้ด้วยความระมัดระวัง และต้องมีการตรวจสอบอยู่เสมอ เนื่องจากมีประวัติแตกระเบิดในขณะใช้งาน

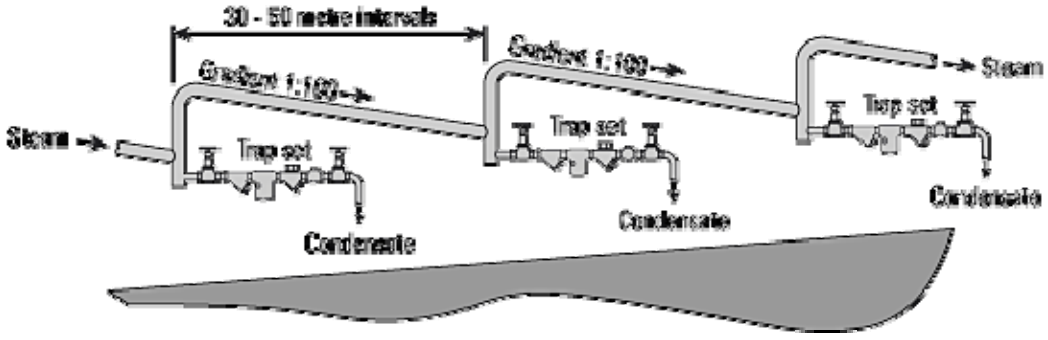
- สำหรับท่อเหล็ก ความหนาเบอร์ 40 (Sch.40) และต่อท่อโดยใช้เกลียว กำหนดให้มีความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด ตามมาตรฐาน ASTM ดังแสดงในตารางที่ 1-3
- การกำหนดของขนาดของท่อไอน้ำอิ่มตัว กำหนดขนาดจากความเร็วของไอน้ำที่ไหลในท่อระหว่าง 15-40 เมตรต่อวินาที ซึ่งต้องหาปริมาตรจำเพาะของไอน้ำที่แปรไปตามความดันไอน้ำในท่อนั้นก่อน แล้วจึงนำมาคำนวณความเร็วของไอน้ำที่ไหลในท่อโดยที่ความเร็วของไอน้ำอิ่มตัวที่ไหลในท่อที่เหมาะสมที่สุดจะมีความเร็ว 25 เมตรต่อวินาที
- การกำหนดของขนาดของท่อไอน้ำยวดยิ่ง กำหนดขนาดจากความเร็วของไอน้ำที่ไหลในท่อระหว่าง 50-100 เมตรต่อวินาที
- ในการออกแบบท่อไอน้ำ ความหนาท่อไอน้ำควรใช้ตัวคูณความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 2 เนื่องจากภายในท่อไอน้ำอาจเกิดปรากฏการณ์ค้อนไอน้ำ (Water hammer) ขึ้นอย่างรุนแรงได้ และท่อไอน้ำควรมีความหนาไม่น้อยกว่า Sch.40

ตารางที่ 1-3 ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด ตามมาตรฐาน ASTM

ASTM schedule 40 steel pipe				
	Grade			
	A-53B A-106B		A-53B	
Nominal pipe size	Type: Seamless		Type: ERW	
mm (in)	SE (psi)	SE (MPa)	SE (psi)	SE (MPa)
15 (1/2)	2222	15.31	1896	13.06
20 (3/4)	1915	13.19	1634	11.26
25 (1)	1736	11.96	1482	10.21
30 (1 1/4)	1528	10.53	1304	8.99
35 (1 1/2)	1429	9.85	1220	8.41
50 (2)	1280	8.82	1093	7.53
65 (2 1/2)	1290	8.89	1100	7.58
80 (3)	1193	8.22	1018	7.01
100 (4)	1096	7.55	935	6.44
125 (5)	1022	7.04	872	6.01
150 (6)	978	6.74	834	5.75
200 (8)	926	6.38	790	5.44

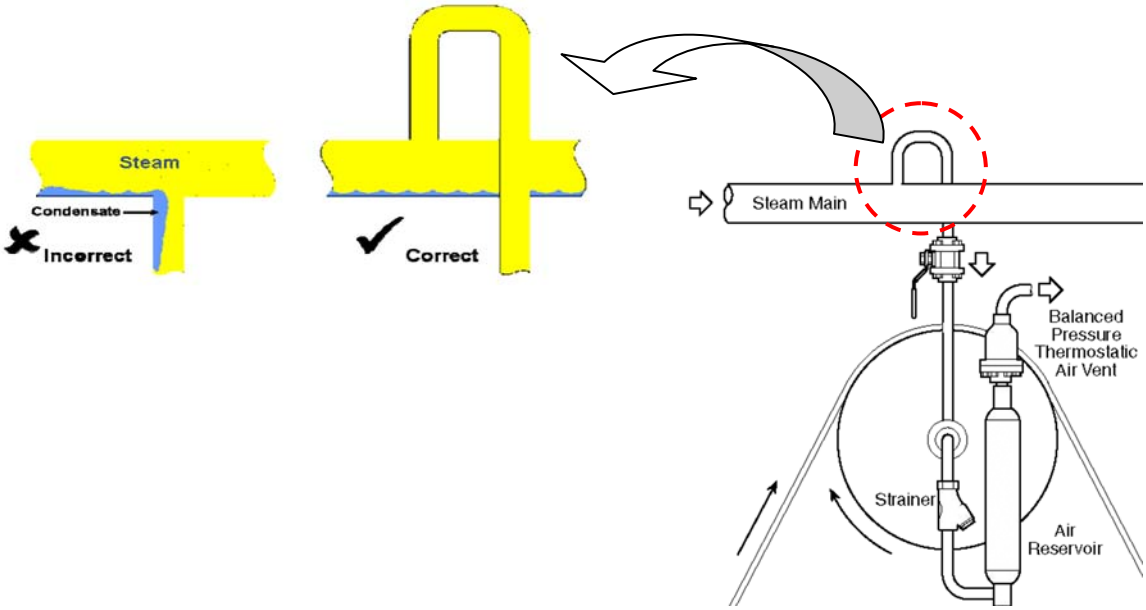
หมายเหตุ: Seamless หมายถึง ท่อไม่มีตะเข็บ
ERW (Electrical resistance welding) หมายถึง ท่อมีตะเข็บ เชื่อมโดยใช้ไฟฟ้า
SE หมายถึง Stress endurance

- หากท่อไอน้ำมีความยาวน้อยกว่า 30 เมตร ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องพิจาณาถึงความดันไอที่จะลดลงที่ปลายท่อ (Friction loss) เนื่องจากความดันตกคร่อมมีไม่มาก แต่ถ้าเป็นท่อไอน้ำที่มีความยาวมากกว่า 30 เมตร จะต้องพิจารณาถึงความดันไอน้ำที่จะลดลงที่ปลายท่อ เนื่องจากความดันไอน้ำที่จะลดลง อาจจะมากจนมีผลต่อการใช้งานไอน้ำของเครื่องจักร
- ต้องหุ้มฉนวนกันความร้อนอุปกรณ์ในระบบท่อไอน้ำทั้งหมด เช่น ท่อจ่ายไอน้ำ ลิ้นจ่ายไอน้ำ วาล์ว และข้อต่อต่างๆ
- ท่อไอน้ำจะต้องให้มีการลาดเอียงลงในอัตราส่วน 1:100 ถึง 1:250 เพื่อให้น้ำกลั่นตัว หรือคอนเดนเสท (Condensate) ในท่อไอน้ำ สามารถไหลไปในท่อได้แม้ว่าจะไม่มีการไหลของไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1-25



รูปที่ 1-25 การติดตั้งท่อไอน้ำให้มีความลาดเอียง

- ท่อไอน้ำจะมีการขยายตัวตามแนวความยาวของท่อเมื่อมีไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงไหลผ่าน ดังนั้นการออกแบบท่อไอน้ำจะต้องมีการออกแบบให้มีการรองรับการขยายตัวของท่อจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้ตามหลักทางวิศวกรรม
- การต่อท่อไอน้ำแยกออกไปใช้งานจากท่อประธานหรือท่อเมน จะต้องต่อท่อแยกออกจากทางด้านบนของท่อประธานเท่านั้น เพื่อไม่ให้คอนเดนเสทไหลลงไปในท่อแยกได้ ดังแสดงในรูปที่ 1-26

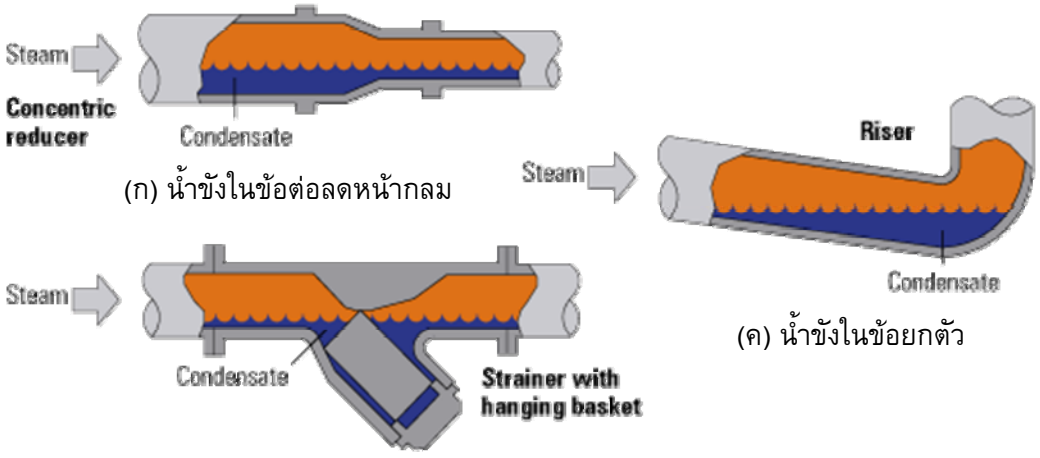


รูปที่ 1-26 การต่อท่อไอน้ำแยกออกจากท่อประธาน

- การติดตั้งอุปกรณ์ในท่อไอน้ำต้องหลีกเลี่ยงจุดที่จะทำให้คอนเดนเสทเกิดการขังตัวขึ้นได้ เช่น ไม่ควรใช้ข้อลดหน้าตัดกลม ดังรูปที่ 1-27 (ก) ในการลดขนาดท่อไอน้ำ ควรใช้ข้อลดหน้าตัดเบี้ยวแทน หรือติดตั้งไส้กรองสิ่งสกปรกซึ่งติดตั้งในแบบห้อยลงด้านล่าง เป็นต้น ดังรูปที่ 1-27 (ข)
- บริเวณที่มีการใช้ท่อยกตัว (Riser) จะมีคอนเดนเสทขังอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 1-21 (ค) ดังนั้นต้องมีจุดพักรับคอนเดนเสทพร้อมระบบอุปกรณ์กับดักไอน้ำที่จะปล่อยคอนเดนเสทออกไปจากท่อไอน้ำ
- ที่ปลายสุดของท่อไอน้ำนอกจากจะต้องมีถังพักรับคอนเดนเสท พร้อมระบบอุปกรณ์กับดักไอน้ำที่จะปล่อยคอนเดนเสทออกไปจากท่อไอน้ำแล้ว จะต้องมีชุดระบายอากาศออกแบบอัตโนมัติติดตั้งไว้ด้วย
- การออกแบบตัวรองรับท่อไอน้ำ และระยะห่างระหว่างตัวรองรับท่อไอน้ำ จะต้องเผื่อมวลของน้ำในขณะไหลเต็มท่อและมวลของฉนวนกันความร้อนด้วย ข้อแนะนำสำหรับระยะห่างระหว่างตัวรองรับท่อไอน้ำแสดงในตารางที่ 1-4

ตารางที่ 1-4 ข้อแนะนำสำหรับระยะห่างระหว่างตัวรองรับท่อไอน้ำและท่อคอนเดนเสท

Nominal pipe size (mm)		Interval of horizontal run (m)		Interval of vertical run (m)	
Steel (Bore)	Copper (Outside dia.)	Mild steel	Copper	Mild steel	Copper
	15		1.2	2.4	1.8
15		1.8		3.0	
20	22	2.4	1.2	3.0	1.8
25	28	2.4	0.5	3.0	2.4
32	35	2.4	1.8	3.7	3.0
40	42	2.4	1.8	3.7	3.0
50	54	2.4	1.8	4.6	3.0
65	67	3.0	2.4	4.6	3.7
80	76	3.0	2.4	4.6	3.7
100	108	3.0	2.4	5.5	3.7
125	133	3.7	3.0	5.5	3.7
150	159	4.5	3.7	5.5	
200		6.0		8.5	
250		6.5		9.0	
300		7.0		10.0	



(ก) น้ำขังในข้อต่อลดหน้ากลม

(ค) น้ำขังในข้อยกตัว

(ข) การติดตั้งไส้กรองแบบห้อยลงด้านล่าง

รูปที่ 1-27 การหลีกเลี่ยงไม่ให้คอนเดนเสทขังอยู่ในท่อ

1.4.2 อุปกรณ์ในระบบระบายน้ำออกจากหม้อน้ำ หรือระบบโบลว์ดาวน์

โดยทั่วไป น้ำภายในหม้อน้ำจะมีของแข็งแขวนลอยและแร่ธาตุต่างๆ เจือปนอยู่ เมื่อน้ำถูกผลิตเป็นไอน้ำแล้ว ความเข้มข้นของสารเจือปนเหล่านี้จะสูงขึ้นและเกิดการตกตะกอนหรือตกผลึก ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อการลดลงของประสิทธิภาพของหม้อน้ำ รวมถึงความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อป้องกันปัญหาเหล่านี้ จึงจำเป็นต้องมีการระบายน้ำในหม้อน้ำทิ้งผ่านระบบโบลว์ดาวน์ รายละเอียดของระบบโบลว์ดาวน์จะกล่าวอย่างละเอียดอีกครั้งในบทที่ 4 อุปกรณ์ในระบบระบายน้ำออกจากหม้อน้ำประกอบด้วย

(ก) วาล์วระบายน้ำจากด้านล่างหม้อน้ำ

วาล์วระบายน้ำจากด้านล่างหม้อน้ำ (Bottom blow down valve) ทำหน้าที่ระบายโคลนตะกอนที่สะสมที่ก้นหม้อน้ำออกไป เพื่อรักษาคุณภาพน้ำในหม้อน้ำไว้ตามเกณฑ์

(ข) วาล์วระบายน้ำจากด้านบนหม้อน้ำ

วาล์วระบายน้ำจากด้านบนหม้อน้ำ (Surface blow down valve) ทำหน้าที่ระบายเพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ

1.4.3 อุปกรณ์ในระบบจัดการคอนเดนเสท

หลังจากที่ไอน้ำคายความร้อนและกลั่นตัวกลายเป็นคอนเดนเสท จำเป็นต้องมีการระบายคอนเดนเสทออกจากอุปกรณ์ใช้ไอน้ำอย่างรวดเร็วและถูกวิธี นอกจากนี้การที่คอนเดนเสทที่เกิดขึ้นนั้นยังมีความร้อนหลงเหลืออยู่ ทำให้คอนเดนเสทมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องอยู่ค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงควรมีระบบนำคอนเดนเสทกลับไปใช้ใหม่โดยการนำไปผสมกับน้ำป้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนก่อนเข้าสู่หม้อน้ำ ถือเป็นการลดการใช้พลังงานได้อีกทางหนึ่ง ระบบจัดการคอนเดนเสทประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่อไปนี้

(ก) กับดักไอน้ำ

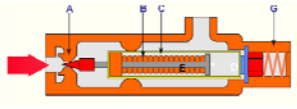
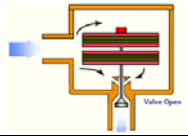
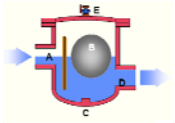
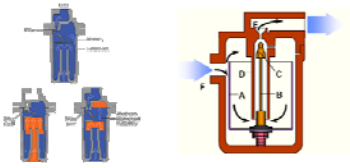
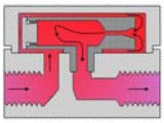
เมื่อไอน้ำให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิตต่างๆ ไอน้ำจะคายพลังงานความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัสออกมา ขณะเดียวกันจะกลั่นตัวเป็นของเหลวควบแน่นหรือคอนเดนเสท ซึ่งจำเป็นต้องระบายออกให้ทัน เนื่องจากน้ำคอนเดนเสทที่ค้างอยู่ในอุปกรณ์ใช้ไอน้ำจะทำให้เครื่องหรืออุปกรณ์ไม่ร้อน และเกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ได้ วิธีการระบายน้ำคอนเดนเสทที่ดีและมีประสิทธิภาพ คือการใช้วาล์วอัตโนมัติที่เรียกกันว่า กับดักไอน้ำ (Steam trap) กับดักไอน้ำสามารถปรับปริมาณการระบายคอนเดนเสทได้ตามปริมาณคอนเดนเสทที่เกิดขึ้นจริง เช่นเมื่อคอนเดนเสทเกิดมาก วาล์วก็จะเปิดมาก หากเมื่อคอนเดนเสทเกิดน้อย วาล์วก็จะหรี่เองโดยอัตโนมัติ และถ้าอุปกรณ์ใช้ไอน้ำมีแต่ไอน้ำโดยที่ไม่มีคอนเดนเสทเกิดขึ้น วาล์วก็จะปิดสนิทเพื่อไม่ให้ไอน้ำไหลออก ดังนั้นการเลือกใช้กับดักไอน้ำ ขนาด ชนิด การติดตั้งและการดูแลตรวจสอบบำรุงรักษา จึงเป็นสิ่งสำคัญของเครื่องใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต

กับดักไอน้ำนอกจากทำหน้าที่แยกน้ำที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำหรือเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำออกไปจากระบบแล้ว ยังทำหน้าที่ป้องกันการอั้นตัวของน้ำ (Water locked) อันอาจนำไปสู่การเกิดแรงกระแทกอย่างรุนแรง หรือที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ค้อนน้ำ (Water hammer) ซึ่งมีผลทำให้ท่อ ข้อต่อ และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำต่างๆ ในกระบวนการผลิตเกิดความเสียหาย กับดักไอน้ำยังมีหน้าที่ในการระบายก๊าซและอากาศออกจากระบบโดยไม่เกิดการสูญเสียไอน้ำ ก๊าซและอากาศเหล่านั้นสามารถแทนที่ไอน้ำ ซึ่งทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดลง และยังกั้นไม่ให้ไอน้ำไปถึงพื้นผิวถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์

ต่างๆ ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตด้วย และในกรณีที่เลวร้ายที่สุดก็คือ ท่อหรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์เกิดอากาศอัด (Air locked) ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไม่ได้ ซึ่งแม้แต่ไอน้ำควบแน่นก็ไม่สามารถไหลออกไปได้

สามารถสรุปลักษณะการระบายคอนเดนเสทของกับดักไอน้ำได้ดังตารางที่ 1-5 และนอกจากนี้ กับดักไอน้ำแต่ละประเภทต่างมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียได้ดังตารางที่ 1-6

ตารางที่ 1-5 สรุปลักษณะการระบายคอนเดนเสทของกับดักไอน้ำ

ชนิดของกับดักไอน้ำ	ลักษณะการระบายคอนเดนเสทในขณะใช้งานตามปกติ
กับดักไอน้ำทำงานเทอร์โมไดนามิกส์แบบจาน	ระบายออกสม่ำเสมอ มีไอออกเล็กน้อยก่อนวาล์วปิด
กับดักไอน้ำทำงานโดยความร้อนการขยายตัวของของเหลว 	ระบายออกสม่ำเสมอและปรับได้ มีไอออกน้อยก่อนวาล์วปิด
กับดักไอน้ำทำงานโดยความร้อนแบบโลหะสองชนิด 	ระบายออกสม่ำเสมอ แต่ถ้าติดตั้งไม่ถูกต้องหรือภาระผันแปรมาก จะมีไอพ่นออกพอสมควรก่อนปิด
กับดักไอน้ำทำงานโดยกลไกแบบลูกลอย 	ระบายตามปริมาณของน้ำกลั่นตัว
กับดักไอน้ำทำงานโดยกลไกแบบถ้วยคว่ำ และถ้วยหงาย 	พ่นแรงตามปริมาณน้ำ เริ่มทำงานช้าในครั้งแรก
กับดักไอน้ำทำงานเทอร์โมไดนามิกส์แบบออริฟิส 	พ่นแรงเป็นจังหวะ มีไอออกเล็กน้อยก่อนวาล์วปิด

ตารางที่ 1-6 ข้อดีและข้อเสียของกับดักไอน้ำแต่ละประเภท

	แบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
กับดักไอน้ำทำงานโดยกลไก	*แบบถ้วยหงาย*	- การทำงานแม่นยำ - ไอน้ำไม่รั่วไหลเนื่องจากมี Water seal	- รูปร่างและขนาดใหญ่ - การระบายอากาศทิ้งไม่ดี
	แบบถ้วยคว่ำ	- การระบายอากาศทิ้งดี	- การติดตั้งไม่สะดวก - ประสิทธิภาพการระบายน้ำคอนเดนเสทไม่ดี
	แบบลูกลอย	- เหมาะสมกับความดันต่ำและภาระต่ำ - โครงสร้างง่าย - ปล่อยทิ้งอย่างต่อเนื่องและการทำงานเงียบ - เปลี่ยนลูกลอยและบ่าลิ้นได้ง่าย	- ไม่ทนต่อ Water hammer - จำเป็นต้องติดตั้งในแนวระนาบจึงมีข้อจำกัดด้านสถานที่ติดตั้ง
กับดักไอน้ำทำงานโดยความร้อน	*แบบเบลโลว์*	- สามารถปรับตั้งและควบคุมอุณหภูมิน้ำระบายได้ - การระบายอากาศทิ้งดี	- ไม่ทนต่อ Water hammer - ไม่เหมาะสมกับความดันสูง
	แบบโลหะสองชนิด	- ไม่มีปัญหาลิ้นปิดตาย - การระบายอากาศทิ้งดี	- ผลต่างอุณหภูมิสำหรับเปิดปิดลิ้นสูง - คุณสมบัติของไบเมทัลเปลี่ยนแปลงไปในขณะใช้งาน
กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์	*แบบออริฟิซ*	- ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา - เหมาะกับความดันสูง อุณหภูมิสูง	- ไอน้ำรั่วไหลมาก - มีปัญหาการขัดข้องของชิ้นส่วนที่มีความเที่ยงตรงสูงบ่อยครั้ง - มีขีดจำกัดความดันย้อนกลับ (30%)
	แบบจาน	- ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา - โครงสร้างง่าย - สามารถใช้กับไอดงได้ - ทนต่อ Water hammer ได้	- ต้องมีผลต่างความดันทำงานอย่างต่ำสุด 0.3 kg/cm^2 - มีขีดจำกัดความดันย้อนกลับ (30%)

(ข) ท่อลำเลียงคอนเดนเสทกลับไปใช้ใหม่

การเก็บคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ (Condensate recovery or condensate return) หมายถึงการนำคอนเดนเสทกลับไปลงในถังน้ำป้อน (Feed water tank) ผ่านทางท่อลำเลียงคอนเดนเสท โดยผสมกับน้ำป้อนที่ผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ เพื่อป้อนเข้าสู่หม้อน้ำต่อไป คอนเดนเสทสามารถมีอุณหภูมิเกิน 100 °C ได้ โดยขึ้นอยู่กับความดันไอน้ำเข้าเครื่อง เนื่องจากความดันไอน้ำยิ่งสูง อุณหภูมิคอนเดนเสทก็จะ

สูงตาม ดังนั้นในการเก็บคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ จึงควรตั้งเป้าหมายว่า อุณหภูมิน้ำในถังน้ำป้อนจะต้องเพิ่มขึ้นใกล้เคียง 100 °C ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ข้อดีของการนำคอนเดนเสทกลับไปใช้ใหม่มีดังต่อไปนี้

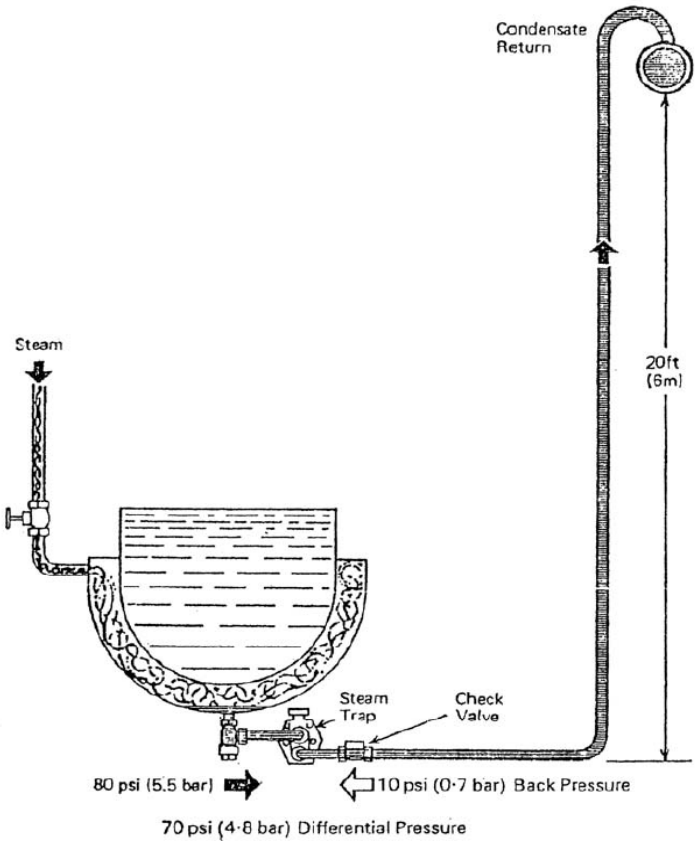
- น้ำป้อนที่เข้าหม้อน้ำ ถ้ามีอุณหภูมิร้อนขึ้นทุก 10 °C จะประหยัดเชื้อเพลิงได้ 1.6%
- ประหยัดค่าน้ำ ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และค่าใช้จ่ายในการฟื้นสภาพเรซิน (Regeneration)
- ประหยัดค่าสารเคมีปรุงคุณภาพน้ำในหม้อน้ำ
- ลดปริมาณโบลว์ดาวน์
- น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิใกล้ 100 °C จะช่วยไล่ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์
- ถ้ามีไอน้ำรั่วผ่านกับดักไอน้ำ ก็ยังสามารถเก็บกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ โดยเก็บคืนมาได้ทั้งความร้อนและน้ำ
- สภาวะแวดล้อมในการทำงานดีขึ้น เปรียบเทียบกับการปล่อยน้ำคอนเดนเสทลงท่อระบายน้ำ

สามารถแบ่งวิธีการนำคอนเดนเสทกลับไปยังหม้อน้ำได้ 2 วิธี คือ

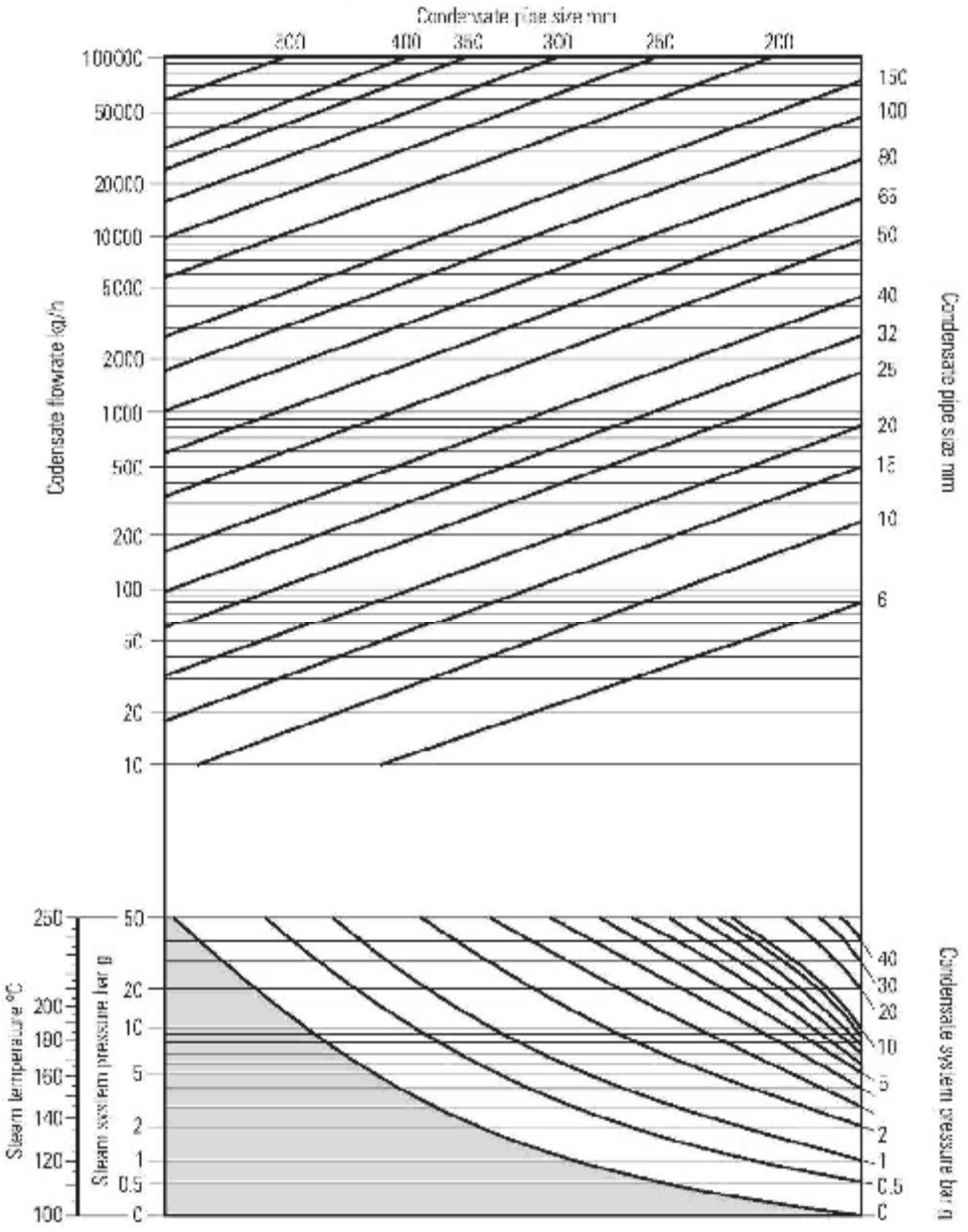
- นำกลับไปใช้ใหม่โดยอาศัยปั๊มพิเศษเข้าสู่หม้อน้ำโดยตรง วิธีนี้สามารถเก็บคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ได้หมด ไม่มีการสูญเสียใดๆ แต่มีข้อเสียคือ การลงทุนมีมูลค่าสูงมาก ต้องวิเคราะห์การประหยัดและการคืนทุนอย่างรอบคอบ
- นำกลับไปใช้ใหม่โดยอาศัยความดันของตัวเอง แบ่งย่อยได้ 3 ลักษณะ ได้แก่
  - แบบท่อลำเลียงสู่ถังน้ำป้อนโดยตรง ลักษณะนี้คอนเดนเสทจะถูกรวบรวมจากอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่างๆ เข้าสู่ท่อลำเลียงที่ติดตั้งไปตามพื้นหรือในท่อระบายน้ำ ไปลงยังถังน้ำป้อน มักใช้กับโรงงานที่มีอุปกรณ์ไม่มาก ระยะระหว่างอุปกรณ์และถังน้ำป้อนไม่ไกล แต่มีข้อเสียคือท่อผุกร่อนง่ายเนื่องจากการล้างพื้น และไม่สามารถหุ้มฉนวนได้
  - แบบท่อลำเลียงสู่ถังรับคอนเดนเสท ลักษณะนี้คอนเดนเสทจะถูกรวบรวมไปลงที่ถังรับคอนเดนเสท และใช้ปั๊มส่งคอนเดนเสทไปยังถังน้ำป้อนอีกต่อหนึ่ง แบบนี้มักจะเกิดการสูญเสียเป็นไอน้ำแฟลช ออกไปทางท่อระบายอากาศ (Vent pipe) เป็นปริมาณมาก
  - แบบท่อลำเลียงคอนเดนเสทอยู่สูงจากพื้น (Condensate lift) ลักษณะนี้จะทำการติดตั้งท่อลำเลียงให้สูงกว่าพื้น เพื่อให้คอนเดนเสทไหลลงไปยังถังน้ำป้อนได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ดังรูปที่ 1-28 ถ้ายกท่อต้นทางสูง 6 เมตร จะเกิดความดันต้านกลับที่ทางออกของกับดักไอน้ำประมาณ 0.7 บาร์ ซึ่งถือว่าไม่มากจนเกินไป นอกจากนี้ควรติดตั้งวาล์วกันกลับ (Check valve) หลังกับดักไอน้ำเสมอ เพื่อป้องกันคอนเดนเสทที่ค้างอยู่ในท่อไหลกลับเข้าอุปกรณ์ใช้ไอน้ำเมื่ออุปกรณ์ไม่ได้ใช้งาน

การออกแบบท่อ ข้อต่อ และวาล์วในระบบท่อคอนเดนเสทเพื่อให้เกิดความปลอดภัยมีข้อแนะนำดังต่อไปนี้

- การกำหนดขนาดของท่อน้ำ กำหนดจากความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อประมาณ 15-40 เมตรต่อวินาที และจะต้องพิจารณาถึงความดันน้ำที่จะลดลงที่ปลายท่อ เนื่องจากความดันน้ำที่จะลดลงอาจจะมากจนมีผลต่อการไหลเข้าเครื่องจักร
- สำหรับท่อคอนเดนเสท สามารถใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสี (Galvanized steel pipe) ได้ แต่ห้ามเชื่อมต่อท่อด้วยการเชื่อมไฟฟ้า ควรใช้การเชื่อมต่อท่อแบบเกลียวเท่านั้น
- ความหนาของท่อคอนเดนเสท ควรใช้ท่อความหนาไม่น้อยกว่า Sch.40
- การออกแบบตัวรองรับท่อคอนเดนเสท และระยะห่างระหว่างตัวรองรับท่อคอนเดนเสท จะต้องเผื่อมวลของคอนเดนเสทในขณะไหลเต็มท่อและมวลของฉนวนกันความร้อนด้วย ข้อแนะนำสำหรับระยะห่างระหว่างตัวรองรับสำหรับท่อคอนเดนเสทแสดงในตารางที่ 1-4
- แต่หากมีไอน้ำในท่อหรือไม่แน่ใจว่ามีหรือไม่ ให้กำหนดขนาดของท่อคอนเดนเสท จากความดันในท่อไอน้ำ หรือ ความดันในท่อคอนเดนเสท และอัตราการไหลของคอนเดนเสท จากรูปที่ 1-29



รูปที่ 1-28 ท่อลำเลียงคอนเดนเสทแบบอยู่สูงจากพื้น



รูปที่ 1-29 การหาขนาดท่อคอนเดนเสทในกรณีไม่ทราบสถานะของไหลภายในท่ออย่างแน่ชัด

1.5 คุณลักษณะและการติดตั้งหม้อน้ำ

1.5.1 การเลือกซื้อและเลือกใช้หม้อน้ำที่เหมาะสม

1) การเลือกซื้อหม้อน้ำ

กรณีที่ซื้อหม้อน้ำจากต่างประเทศ ต้องเลือกหาหม้อน้ำที่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐานสากล ได้แก่ ASME, JIS, EN หรือมาตรฐานเทียบเท่า หากเป็นหม้อน้ำเก่าที่ใช้งานแล้วต้องมีเอกสารประวัติการใช้งาน การซ่อมแซมและการตรวจสอบ พร้อมได้รับการพิสูจน์โดยหน่วยงานรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ สำหรับผู้ที่ซื้อหม้อน้ำผลิตในประเทศ ควรเลือกซื้อจากบริษัทหรือโรงงานที่มีการออกแบบ และคำนวณและสร้างให้เป็นมาตรฐานสากล ได้แก่ ASME, JIS, EN หรือมาตรฐานเทียบเท่า และต้องให้มีหน่วยรับรองด้านหม้อน้ำ หรือวิศวกรผู้ควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ ทำการตรวจสอบและรองรับแบบ พร้อมทั้งโรงงานจะต้องมีบุคลากรและเครื่องมือต่างๆ ดังนี้

- มีวิศวกรประจำหรือมีหน่วยงานรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ
- มีเครื่องมือสร้างหม้อน้ำที่ทันสมัย
- ใช้วัสดุสำหรับสร้างหม้อน้ำโดยตรงและมีเอสารรับรองคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุในส่วนที่รับแรงดันที่สามารถตรวจสอบแหล่งที่มาได้
- ใช้อุปกรณ์หม้อน้ำที่ได้มาตรฐาน
- มีผลงานการสร้างหม้อน้ำมานานจนเป็นที่ยอมรับ
- โรงงานผู้ผลิตหม้อน้ำที่มีการผลิตหรือการสร้างตามแบบที่ได้มีการออกแบบตามมาตรฐานสากลดังกล่าวและมีการรับรองแบบแล้ว

กรณีที่ซื้อหม้อน้ำเก่า ผู้ซื้อควรจะหาผู้ที่มีความชำนาญมาตรวจสอบ และพิสูจน์หม้อน้ำว่าได้สร้างตามมาตรฐานสากล

2) การเลือกใช้หม้อน้ำ

ในการพิจารณาเลือกใช้หม้อน้ำแบบใดนั้น ควรพิจารณาดังนี้

(ก) ชนิดของไอน้ำที่ต้องการใช้

หม้อน้ำแบบท่อน้ำที่มี Superheater จึงจะผลิตไอน้ำยวดยิ่ง (Superheated steam) ได้ ส่วนหม้อน้ำแบบท่อไฟหรือหม้อน้ำแบบท่อน้ำที่ไม่มี Superheater จะผลิตเพียงแต่ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated steam) แต่ถ้าต้องการใช้ไอน้ำยวดยิ่งในปริมาณไม่มาก อาจจะสามารถทำได้โดยการผลิตไอน้ำอิ่มตัวและติดตั้งอุปกรณ์ External superheater ที่มีหัวเผาต่างหากเป็นของตัวเอง (ไอน้ำยวดยิ่ง คือไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันเดียวกัน)

(ข) ความดัน และอุณหภูมิของไอน้ำ

หม้อน้ำแบบท่อไฟส่วนใหญ่จะออกแบบผลิตไอน้ำความดันสูงสุดต่ำกว่า 2 MPa ซึ่งมีอุณหภูมิไอน้ำสูงสุด 212 °C ถ้าต้องการจะใช้งานไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิที่สูงกว่านี้ควรใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำ

(ค) ลักษณะของภาระไอน้ำ

หม้อน้ำแบบท่อน้ำ ควรใช้งานกับภาระไอน้ำ (Steam load) แบบค่อนข้างคงที่ (Steady load) แต่ถ้า ภาระไอน้ำเป็นแบบมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็ว (Fluctuated load) ไม่ควรใช้

หม้อน้ำแบบท่อน้ำ เพราะหม้อน้ำแบบท่อน้ำจะมีปริมาณน้ำเก็บในตัวหม้อน้ำน้อยเมื่อเทียบกับหม้อน้ำแบบท่อไฟในขนาดเท่าๆ กัน ถ้าภาระไอน้ำเป็นแบบเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็ว น้ำในหม้อน้ำแบบท่อน้ำจะกระเพื่อมมากและไอน้ำไม่แห้ง

(ง) พื้นที่ที่จะติดตั้งหม้อน้ำ

ถ้ามีพื้นที่ที่จะติดหม้อน้ำน้อย ควรเลือกใช้หม้อน้ำแบบตั้ง หรือหม้อน้ำแบบท่อน้ำ เนื่องจากหม้อน้ำแบบท่อน้ำจะมีขนาดเล็กกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟในขนาดที่เท่า ๆ กัน ถ้าเป็นหม้อน้ำที่ใช้ทดแทนเครื่องเก่าที่อยู่บนตึกสูง ที่หม้อน้ำเครื่องใหม่ไม่สามารถยกเคลื่อนย้ายขึ้นไปเปลี่ยนใหม่ได้ อาจต้องใช้หม้อน้ำที่ออกแบบพิเศษที่สามารถถอดประกอบ (Knock down) ไปประกอบติดตั้งที่ตำแหน่งที่ติดตั้งได้

(จ) มาตรฐานในการออกแบบและการสร้าง

หม้อน้ำจะต้องมีมาตรฐานในการสร้าง เพื่อให้ใช้งานได้อย่างปลอดภัย เช่นหม้อน้ำที่ผลิตตามมาตรฐาน ASME ของอเมริกา, EN ของยุโรป, BS ของอังกฤษ, JIS ของญี่ปุ่น หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของไทย

(ฉ) ชนิดของเชื้อเพลิง

ควรเลือกหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาต่อพลังงานต่ำที่สุดเป็นอันดับแรก เช่น เชื้อเพลิงวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น แกลบ ชานอ้อย เมล็ดฝ้าย นุ่น เมล็ดปาล์มน้ำมัน หรือถ่านหิน เป็นต้น จะทำให้ต้นทุนในการผลิตไอน้ำต่ำกว่าเชื้อเพลิงที่ราคาสูงกว่า หรือ ถ้าโรงงานที่มีท่อก๊าซธรรมชาติผ่าน ก็ควรเลือกใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ถ้าต้องใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ก็ควรเลือกใช้หม้อน้ำที่จะสามารถเผาไหม้น้ำมันเตาเกรด C ได้ สำหรับหม้อน้ำน้ำมันดีเซลควรเลือกเป็นอันดับรองสุดท้าย เพราะราคาเชื้อเพลิงจะแพงมาก จึงไม่ควรใช้งานกับหม้อน้ำขนาดใหญ่กว่า 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนการใช้ไฟฟ้ามาผลิตไอน้ำ ต้นทุนในการผลิตไอน้ำจะสูงที่สุด จะเลือกใช้งานเฉพาะเมื่อพลังงานไฟฟ้าถูกมากหรือไม่ต้องการให้มีมลภาวะทางอากาศเลย การเปรียบเทียบราคาและต้นทุนการผลิตไอน้ำระหว่างเชื้อเพลิงเหลวกับเชื้อเพลิงก๊าซและถ่านหินแสดงในตารางที่ 1-7 ส่วนการเปรียบเทียบราคาและต้นทุนการผลิตไอน้ำระหว่างน้ำมันเตา C กับเชื้อเพลิงแข็งแสดงในตารางที่ 1-8

ตารางที่ 1-7 การเปรียบเทียบราคาและต้นทุนการผลิตไอน้ำระหว่างเชื้อเพลิงเหลว เชื้อเพลิงก๊าซ และถ่านหิน

เชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล	น้ำมันเตา	ก๊าซหุงต้ม	ก๊าซธรรมชาติ	ถ่านหิน
พิกัดหม้อน้ำ (kg/h)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
ค่าความร้อน (kcal/kg)	10,200	9,000	11,000	7,000	6,000
ราคาเชื้อเพลิง (บาท/kg)	29.37	15.00	16.81	8.50	2.50
ปริมาณเชื้อเพลิง (kg/1,000 kg ไอน้ำ)	68.09	70.15	58.70	99.80.848	184.35
ค่าเชื้อเพลิง (บาท/1,000 kg ไอน้ำ)	2,000	1,052	987	848	431

สามารถสรุปการเรียงลำดับต้นทุนเชื้อเพลิงต่อหน่วยความร้อนจากสูงที่สุดไปหาต่ำที่สุดได้ดังนี้

1. ไฟฟ้า
2. น้ำมันดีเซล
3. น้ำมันเตา A (600), C (1500) และ D (2500) ตามลำดับ
4. ก๊าซหุงต้ม
5. ก๊าซธรรมชาติ
6. ถ่านหิน
7. ก๊าซชีวภาพ
8. เศษวัสดุการเกษตร

ตารางที่ 1-8 การเปรียบเทียบราคาและต้นทุนการผลิตไอน้ำระหว่างน้ำมันเตา C กับเชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิง	น้ำมันเตา C	กะลาปาล์ม	ขี้เลื่อย	ถ่านหิน	ไม้	แกลบ
พิกัดหม้อน้ำ (kg/h)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
ค่าความร้อน (kcal/kg)	9,900	4,700	2,800	6,000	2,800	3,300
ราคาเชื้อเพลิง (บาท/kg)	15.00	2.7	1.60	2.50	1.00	1.00
ปริมาณเชื้อเพลิง (kg/1,000 kg.ไอน้ำ)	70.15	186.89	313.70	184.35	313.70	249.05
ค่าเชื้อเพลิง (บาท/1,000 kg. ไอน้ำ)	1,052	505	502	461	314	249

หมายเหตุ: ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงจะแปรตามค่าความชื้นและราคาในขณะนั้น

(ช) ลักษณะการส่งเชื้อเพลิงเข้าเผาไหม้

ระบบการส่งเชื้อเพลิงเข้าเผาไหม้แบบอัตโนมัติมีความปลอดภัยสูง ต้องการจำนวนผู้ควบคุมหม้อน้ำน้อยกว่า ใช้แรงงานน้อยกว่าการส่งเชื้อเพลิงเข้าเผาไหม้ด้วยคน

(ช) ลักษณะการปรับอัตราการส่งเชื้อเพลิงเข้าเผาไหม้

การควบคุมการทำงานของหัวเผา และการปรับอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าเผาไหม้แบบตัดต่อ (On-Off) หม้อน้ำจะตัดต่อการทำงานบ่อย ประสิทธิภาพหม้อน้ำจะต่ำที่สุด ส่วนหม้อน้ำที่เดินเครื่องแบบเร่งหรี่อย่างต่อเนื่อง (Modulating control) หม้อน้ำจะทำงานตลอดโดยไม่มีการตัดดับบ่อย

(ฌ) อัตราส่วนการเร่งหรี่การเผาไหม้

อัตราส่วนการเร่งหรี่การเผาไหม้ (Turn down ratio) ของหม้อน้ำ คือ อัตราส่วนปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงเมื่อ หม้อน้ำเร่งเครื่องสูงสุด 100% ต่อ อัตราส่วนปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงเมื่อหม้อน้ำหรี่ลงสุด โดยที่การเผาไหม้ยังไม่ดับ เช่น Turn down ratio เท่ากับ 2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 8:1, 10:1 หรือ 15:1 ยิ่ง Turn down ratio มีสูง หม้อน้ำก็จะสามารถลดการผลิตไอน้ำในช่วงหรี่การเผาไหม้ได้ต่ำมากเท่านั้น เช่น หม้อน้ำสำเร็จรูปส่วนใหญ่จะมี Turn down ratio เท่ากับ 4:1 จะสามารถลดการผลิตไอน้ำลงเหลือเพียง 25% ของกำลังผลิตไอน้ำสูงสุด โดยที่หม้อน้ำไม่มีการตัดการเผาไหม้

(ญ) พื้นที่การถ่ายเทความร้อน

หม้อน้ำแบบเดียวกัน ถ้ามีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนสูงกว่าหม้อน้ำเครื่องอื่น จะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า ทำให้ใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่า แม้แต่หม้อน้ำที่ผลิตจากประเทศเดียวกันและใช้มาตรฐานการผลิตเดียวกัน เช่น อเมริกา มีการผลิตหม้อน้ำที่มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนต่างๆ กัน เช่น 3, 4 และ 5 ตารางฟุตต่อแรงม้าหม้อน้ำ (17.8, 23.7 และ 29.7 m^2/ton/hr) เป็นต้น

(ฏ) จำนวนการไหลวนของก๊าซร้อนภายในหม้อน้ำก่อนออกปล่อง

จำนวนการไหลวน (จำนวนกลับ หรือ Pass) ของก๊าซร้อนภายในตัวหม้อน้ำก่อนออกปล่องไฟของหม้อน้ำแบบท่อไฟมีแบบกลับเดียว, 2 กลับ, 3 กลับ และ 4 กลับ หม้อน้ำแบบท่อไฟที่ความยาวเท่ากัน ถ้ามีจำนวนการไหลวนของก๊าซภายในหม้อน้ำหลายครั้งก่อนออกปล่องและก๊าซร้อนมีเวลาอยู่ถ่ายเทความร้อนในเครื่องนานขึ้น ก็จะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า ทำให้สิ้นเปลืองใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่า

(ฐ) ประสิทธิภาพรวมของหม้อน้ำ

ประสิทธิภาพรวมของหม้อน้ำ (Overall boiler efficiency) คือประสิทธิภาพการเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำ (Fuel to steam efficiency) เมื่อหักการสูญเสียความร้อน (Heat loss) ทั้งหมดแล้ว ถ้าหม้อน้ำมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำสูง หม้อน้ำจะใช้เชื้อเพลิงน้อยลง ในประเด็นเรื่องการวัดประสิทธิภาพรวมของหม้อน้ำ ให้ตั้งข้อสังเกตว่า หม้อน้ำที่ผลิตในประเทศไทย ยุโรป ญี่ปุ่น จะคิดประสิทธิภาพโดยใช้ค่าความร้อนต่ำสุดของเชื้อเพลิง (Lower heating value, LHV) จึงทำให้ตัวเลขประสิทธิภาพสูงกว่าหม้อน้ำอเมริกาประมาณ 4-5% ทั้งๆ ที่ในทางปฏิบัติมีประสิทธิภาพเท่ากัน เนื่องจากหม้อน้ำอเมริกาคิดประสิทธิภาพโดยใช้ ค่าความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิง (Higher heating value, HHV)

(ฑ) องค์ประกอบอื่นๆ

เช่น ราคา การติดตั้ง ความยากง่ายในการซ่อมแซม บำรุงรักษา อุปกรณ์ที่ติดมากับเครื่องอะไหล่ และบริการภายหลังการขาย

1.5.2 พิกัดหรือขนาดหม้อน้ำ

พิกัดหรือขนาดของหม้อน้ำที่ใช้กันในปัจจุบัน มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท ได้แก่

(ก) พิกัดหม้อน้ำเปรียบเทียบ

ขนาดหม้อน้ำเปรียบเทียบ (Equivalent boiler capacity) ไม่ใช่กำลังผลิตไอน้ำภายในสภาพที่เป็นจริงที่หม้อน้ำจะผลิตได้ เนื่องจากขนาดหม้อน้ำที่แสดงในเอกสารรายละเอียด (Catalog) เครื่องจักรจะแสดงด้วยค่ามาตรฐานเดียวกันหมด คือ แสดงเป็นขนาดหม้อน้ำเปรียบเทียบซึ่งจะแสดงขนาดกำลังผลิตไอน้ำของหม้อน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C และความดันไอน้ำที่บรรยากาศ หน่วยของขนาดหม้อน้ำเปรียบเทียบที่นิยมใช้มี 2 หน่วยดังนี้

- ตันต่อชั่วโมง

  หน่วยตันต่อชั่วโมง (Ton/hr) นิยมใช้ในกลุ่มประเทศในยุโรป ส่วนญี่ปุ่นนิยมใช้เป็น กิโลกรัมต่อชั่วโมง (kg/hr) พิกัดหม้อน้ำขนาด 1 ตันต่อชั่วโมง หมายถึง ความสามารถของหม้อน้ำที่จะต้มน้ำ 1,000 กิโลกรัม จากอุณหภูมิ 100 °C ที่ความดันบรรยากาศ ให้ระเหยกลายเป็นไอได้หมดภายใน 1

ชั่วโมง โดยที่พลังงานความร้อนของไอน้ำที่ออกจากหม้อน้ำเท่ากับความร้อนแฝงของน้ำเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความดันบรรยากาศ

- แรงม้าหม้อน้ำ
  หน่วยแรงม้าหม้อน้ำ (Boiler horse power, BHP) เป็นหน่วยที่ประเทศสหรัฐอเมริกานิยมใช้ พิกัดหม้อน้ำขนาด 1 แรงม้าหม้อน้ำ คือความสามารถของหม้อน้ำ ที่จะต้มน้ำ 34.5 ปอนด์ จากอุณหภูมิ 212 °F ที่ความดันบรรยากาศระเหยได้หมดภายใน 1 ชั่วโมง พลังงานความร้อนของไอน้ำที่ออกจากหม้อน้ำที่เท่ากับความร้อนแฝงของน้ำ 34.5 ปอนด์ต่อชั่วโมง ที่ความดันบรรยากาศ

การเปรียบเทียบระหว่างพิกัดหม้อน้ำในหน่วยตันต่อชั่วโมง และหน่วยแรงม้าหม้อน้ำ

หม้อน้ำ 1 Ton/hr = (1,000 kg x 2.2 lb / kg) / 34.5 lb BHP
= 63.9 BHP

ค่าความร้อนที่หม้อน้ำผลิต (kJ/hr) = m x h_{fg} (ที่ความดันบรรยากาศ)

เมื่อ m คือ ขนาดหม้อน้ำ (kg/hr)
h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่ความดันบรรยากาศ (2,257 kJ/kg)

(ข) พิกัดหม้อน้ำผลิตจริง

พิกัดหม้อน้ำผลิตจริง (Actual boiler capacity) คือความสามารถในการผลิตไอน้ำที่แท้จริงของหม้อน้ำในหนึ่งหน่วยเวลา ความจำเป็นที่ต้องมีการพิจารณาถึงพิกัดหม้อน้ำผลิตจริงนั้นเนื่องมาจากเมื่อติดตั้งหม้อน้ำแล้ว อัตราการผลิตไอน้ำจริงของหม้อน้ำจะลดลง (แต่พลังงานความร้อนเท่าเดิม) เนื่องจากอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าไม่ใช่ 100 °C และความดันไอน้ำที่ผลิตไม่ใช่ความดันบรรยากาศ ซึ่งโดยปรกติสำหรับหม้อน้ำที่ใช้งานกันส่วนใหญ่ อัตราการผลิตไอน้ำของหม้อน้ำจะลดลงประมาณ 10-20% เนื่องจากผลต่างของพลังงานความร้อน (Enthalpy) ของไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิใช้งาน กับพลังงานความร้อนของน้ำป้อนที่อุณหภูมิเข้าหม้อน้ำ จะมากกว่าค่าความร้อนแฝง (Latent heat) ของน้ำที่ความดันบรรยากาศจึงทำให้หม้อน้ำผลิตไอน้ำได้ปริมาณน้อยลง แต่ค่าความร้อนออกจากหม้อน้ำยังคงเท่ากัน

พิกัดหม้อน้ำผลิตจริง = $m \times h_{fg} / (h_g - h_f)$

โดยที่ m คือ พิกัดหม้อน้ำเปรียบเทียบ (kg/h)

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝง (Latent heat) ของไอน้ำที่ความดันบรรยากาศ (2,257 kJ/kg)

h_g คือ พลังงานความร้อน (Enthalpy) ของไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิที่ใช้งาน (kJ/kg)

h_f คือ พลังงานความร้อน (Enthalpy) ของน้ำที่อุณหภูมิเข้าหม้อน้ำ (kJ/kg)

1.5.3 การติดตั้งหม้อน้ำ

ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่จะติดตั้งหม้อน้ำ ต้องจัดให้มีวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ เป็นผู้ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง รวมถึงระบบท่อต่างๆ

การนำหม้อน้ำ ที่นำเข้าจากต่างประเทศมาใช้ในโรงงาน ต้องเป็นหม้อน้ำที่ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐานสากล ได้แก่ มาตรฐาน ASME, JIS, EN หรือเทียบเท่าและได้รับการตรวจพิสูจน์จากหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ ทั้งนี้ ในกรณีที่เป็นหม้อน้ำที่ใช้งานแล้วต้องมีเอกสารประวัติการใช้งาน การซ่อมแซมและการตรวจสอบ แต่ด้วยความในวรรคแรก มิให้ใช้บังคับกับหม้อน้ำประเภทไหลผ่านทางเดียว (Once through boiler) ที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนไม่เกิน 10 ตารางเมตร ความดันใช้งานสูงสุด (Maximum allowable working pressure) ไม่เกิน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่การคำนวณ การออกแบบ การสร้าง ให้เป็นไปตามหลักวิศวกรรม โดยมีวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ ทำการตรวจพิสูจน์

ในส่วนของ สถานที่ติดตั้งและฐานรากหม้อน้ำ ต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

- หม้อน้ำที่ติดตั้งในอาคารต้องมีระยะห่างจากเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับระบบหม้อน้ำไม่น้อยกว่า 2.5 เมตร และห่างจากผนังอาคาร หม้อน้ำและเพดานไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร ยกเว้นหม้อน้ำแบบไหลผ่านทางเดียว (Once Through Boiler) ที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนไม่เกิน 10 ตารางเมตร และความดันใช้งานสูงสุด ไม่เกิน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้ ระยะดังกล่าวต้องเพียงพอต่อการบำรุงรักษาและตรวจสอบ
- สถานที่ติดตั้งต้องมีทางเข้าออกอย่างน้อย 2 ทาง มีความกว้างอย่างน้อย 0.6 เมตร ความสูงอย่างน้อย 2 เมตร และต้องปราศจากสิ่งกีดขวางบริเวณทางเข้าออก
- ในกรณีที่จำเป็นต้องเก็บเชื้อเพลิงไว้ในบริเวณสถานที่ติดตั้ง ต้องเก็บอยู่ห่างจากหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่น้อยกว่า 1 เมตร
- ฐานรากสถานที่ติดตั้งหม้อน้ำและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดต้องมั่นคงแข็งแรง

บทที่ 2
การใช้งานหม้อน้ำ

หม้อน้ำเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในระบบไอน้ำซึ่งเป็นระบบผลิตพลังงานความร้อนที่มีใช้งานอยู่ทั่วไป ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและในอาคารกลุ่มโรงแรม โรงพยาบาล ระบบไอน้ำและหม้อน้ำถือเป็นระบบที่ใช้เชื้อเพลิงในปริมาณสูง และอาจก่อมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้เนื่องจากการที่หม้อน้ำทำงานภายใต้ความดันที่สูงมาก ประกอบกับการใช้เชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นหากผู้ควบคุมหม้อน้ำไม่มีความรู้ ความเข้าใจ และไม่มีประสบการณ์ในการใช้งาน และการควบคุมหม้อน้ำและระบบไอน้ำที่ถูกต้อง อาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ตัวหม้อน้ำและระบบไอน้ำ หรืออาจร้ายแรงถึงขั้นเป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้ปฏิบัติงานหรืออาจเป็นผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำแต่อยู่บริเวณใกล้เคียง ตลอดจนทรัพย์สินที่อยู่รอบข้างหม้อน้ำอีกด้วย ด้วยเหตุนี้การจัดการเพื่อให้ระบบไอน้ำสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ตลอดเวลาจะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ลดมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งเป็นการเพิ่มความปลอดภัยในการทำงานร่วมกับหม้อน้ำ เมื่อผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำเกิดความมั่นใจว่าอันตรายจากการใช้งานหม้อน้ำไม่มีทางเกิดขึ้นได้ ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานได้อย่างมีความสุข ส่งผลให้สภาพแวดล้อมในการทำงานดีขึ้น ท้ายที่สุดผลผลิตที่ได้จากการผลิตจะมีคุณภาพที่ดีตามไปด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นเห็นได้ว่า ผู้ที่ต้องปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับหม้อน้ำต้องมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานของหม้อน้ำและระบบไอน้ำ ผนวกกับความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับการใช้งาน และการควบคุมหม้อน้ำ ควบคู่กันไปทั้งหมด ดังนั้นในบทนี้จึงจะกล่าวถึงส่วนต่อจากพื้นฐานของหม้อน้ำและระบบไอน้ำที่ได้กล่าวมาในบทที่แล้ว คือ เรื่องการใช้งาน และการควบคุมหม้อน้ำ ตลอดจนอุปกรณ์ในระบบไอน้ำทั้งหมด ยกเว้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย ที่ระบุไว้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549 ซึ่งการใช้งาน และการควบคุม อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยจะกล่าวโดยละเอียดในบทที่ 4

2.1 ขั้นตอนการปฏิบัติในการใช้งานหม้อน้ำ

2.1.1 ก่อนเดินเครื่องหม้อน้ำ

ขั้นตอนในการเริ่มเดินหม้อน้ำที่ถูกต้องมีดังนี้

- ก่อนการเริ่มเดินหม้อน้ำ ผู้ควบคุมหม้อน้ำควรตรวจสอบอุปกรณ์รอบหม้อน้ำว่ามีใครมาทำอะไรที่ไม่ถูกต้องในวันหยุดหรือไม่
- ตรวจสอบระดับน้ำในหม้อน้ำ เปิดวาล์วระบายอากาศ วาล์วน้ำเข้า ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตา ความดันเชื้อเพลิงก๊าซ ฯลฯ
- เปิดระบายน้ำ (Drain) ที่กับดักไอน้ำ (Steam trap) ที่อยู่ใต้ท่อร่วมไอน้ำ (Steam header) ท่อไอน้ำสำหรับอุ่นหัวเผา (Steam atomizing pipe) และ เครื่องผลิตไอยิ่งยวด (Superheater) (ถ้ามี) เป็นต้น

- ปรับสวิตช์เร่งหรี่เป็นแบบธรรมดา (Manual) ที่ตำแหน่งหรี่สุด เพื่อให้การเผาไหม้เริ่มติดในตำแหน่งเปลวไฟเล็กสุด
- เปิดสวิทซ์การทำงานของหม้อน้ำ ให้เกิดการเผาไหม้ขึ้น อย่าให้หม้อน้ำร้อนขึ้นทันทีทันใด ควรให้หม้อน้ำร้อนขึ้นอย่างช้าๆ ประมาณ 50 °C/hr
- ปิดวาล์วไล่อากาศเมื่อวาล์วระบายอากาศที่ด้านบนหม้อน้ำมีไอน้ำพ่นออกมา
- ให้ไอน้ำในหม้อน้ำมีความดันเกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยเฉพาะหม้อน้ำแบบท่อน้ำ ควรให้หม้อน้ำมีความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นไม่เกิน 700 kPa/hr
- ค่อยๆ เปิดวาล์วจ่ายไอน้ำให้ช้าที่สุด ป้องกันการเกิดค้อนไอน้ำ (Steam hammer) ในท่อไอน้ำ
- สามารถปิดท่อระบายน้ำที่เครื่องผลิตไอยิ่งยวด (Superheater) ได้ก็ต่อเมื่อสามารถจ่ายไอยิ่งยวดในระบบได้เรียบร้อยแล้ว
- อย่าใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ไวไฟช่วยจุดเชื้อเพลิงแข็งโดยเด็ดขาด เพราะอาจเกิดการระเบิดจนหม้อน้ำเสียหาย หรืออาจเกิดการย้อนกลับของเปลวไฟ (Back fire) จนทำให้เกิดอันตรายกับผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ

2.1.2 ขณะเดินเครื่องหม้อน้ำ

การเดินหม้อน้ำใช้งานที่ถูกต้องโดยทั่วไปมีข้อปฏิบัติดังนี้

- เปลี่ยนสวิทซ์เร่งหรี่ไปเป็นแบบอัตโนมัติ เมื่อหม้อน้ำมีความดันไอน้ำใกล้กับความดันใช้งาน
- มีการระบายน้ำใต้ลูกลอยและหลอดแก้วทุกวัน เพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่อาจจะมาอุดตันช่องทางของอุปกรณ์ทำให้การทำงานของอุปกรณ์นั้นผิดพลาด
- มีการปล่อยน้ำก้นเตาทุกวัน เพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่อาจจะตกตะกอนอยู่ด้านล่างหม้อน้ำ เนื่องจากตะกอนเหล่านี้จะสะสมอยู่ที่ท้องหม้อน้ำมากขึ้นจนทำให้น้ำไม่สามารถหล่อเลี้ยงส่วนล่างของท่อไฟใหญ่ทำให้ท่อไฟใหญ่ส่วนล่างมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเกิด Overheat ซึ่งจะทำให้โครงสร้างท่อไฟใหญ่ไม่สามารถรับแรงดันไอน้ำจนทำให้หม้อน้ำระเบิดได้
- ต้องมีการวัดคุณภาพน้ำและเคมีอย่างน้อยที่สุดวันละครั้ง ถ้าเป็นหม้อน้ำขนาดใหญ่หรือหม้อน้ำที่ใช้ความดันไอน้ำสูงจะมีการวัดคุณภาพน้ำและเคมีทุกๆ ชั่วโมง
- มีการจดบันทึก และสังเกตสิ่งผิดปรกติ เช่น น้ำมันรั่วในห้องเผาไหม้ ความดันแก๊ส อุณหภูมิน้ำมันเตา ระดับน้ำ การทำงานของปั๊มน้ำ เปลวไฟ อุณหภูมิที่ปล่อง เป็นต้น
- มีการวัดและปรับประสิทธิภาพการเผาไหม้อย่างน้อยที่สุดสัปดาห์ละครั้ง
- ถ้ามีการใช้ถังพักน้ำ น้ำในถังพักน้ำควรมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 70 °C หม้อน้ำจะได้ไม่ถูกกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting corrosion)

2.1.3 การหยุดเดินเครื่องหม้อน้ำ

เมื่อต้องการหยุดเดินหม้อน้ำชั่วคราวเป็นระยะเวลาสั้นๆ ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

- ปรับสวิตช์เร่งหรี่เป็นแบบธรรมดา (Manual)
- ปรับการเร่งหรี่การเผาไหม้ไปที่ตำแหน่งหรี่สุด เพื่อให้เปลวไฟดับที่เปลวไฟลูกเล็กที่สุด เพื่อป้องกันการเกิดเปลวไฟย้อนกลับ (Back fire) จนหม้อน้ำเสียหาย
- ปิดสวิทซ์หยุดการทำงานของหม้อน้ำ เมื่อการเผาไหม้อยู่ที่ตำแหน่งหรี่สุดเป็นเวลาครู่หนึ่ง
- ถ้าใช้เชื้อเพลิงแข็ง ให้เปิดพัดลมดูดอากาศ (Induced draft fan) ไว้ประมาณ 5 นาที ก่อนที่จะหยุดการทำงานของหม้อน้ำ
- ปิดวาล์วต่างๆ เช่น วาล์วเชื้อเพลิง วาล์วฮีตเตอร์อุ่นน้ำมัน วาล์วปั๊มน้ำมัน วาล์วจ่ายไอน้ำ วาล์วน้ำเข้า ฯลฯ
- ระวังอย่าปิดวาล์วที่หม้อน้ำทุกตัวจนหมด เพียงเพราะเกรงว่าอากาศจะเข้าไปในหม้อน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากหากปิดวาล์วทั้งหมดของหม้อน้ำเมื่อหม้อน้ำเย็นตัวลงจะเกิดสูญญากาศภายในหม้อน้ำซึ่งอาจทำให้หม้อน้ำยุบตัวได้
- เมื่อความดันไอน้ำในหม้อน้ำเหลือ 15 kPa ทำการเปิดวาล์วระบายอากาศปล่อยให้ไอน้ำที่เหลือในหม้อน้ำค่อยๆ ระบายออกไป
- กรณีที่หยุดหม้อน้ำเป็นเวลานาน เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากก๊าซออกเจน ควรเติมสารจับก๊าซออกซิเจนในน้ำในปริมาณที่เหมาะสม เช่น ปริมาณไฮดราซีน (Hydrazine) ควรอยู่ที่ 10-20 ppm

2.1.4 การจดบันทึกข้อมูลการใช้งานหม้อน้ำประจำวัน

การจดบันทึกข้อมูลการใช้งานหม้อน้ำประจำวันมีประโยชน์ดังนี้

- เพื่อเป็นรายงานการทำงานของผู้ควบคุมดูแลหม้อน้ำ
- เพื่อเป็นข้อมูลสถิติ ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของหม้อน้ำให้เพิ่มขึ้น
- ข้อมูลที่บันทึก สามารถจะบอกถึงข้อบกพร่องของหม้อน้ำ ทำให้แก้ไขปัญหาได้ทันก่อนที่หม้อน้ำจะเสียหายมาก
- ข้อมูลที่บันทึก สามารถนำมาใช้ตรวจสอบหาสาเหตุการชำรุดเสียหาย หรือการเกิดอุบัติเหตุของหม้อน้ำได้

รายละเอียดต่างๆ ของข้อมูลการใช้งานหม้อน้ำที่ควรจดบันทึกมีดังต่อไปนี้

- ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้
- ปริมาณไอน้ำที่หม้อน้ำผลิตได้ หรือปริมาณน้ำที่เข้าหม้อน้ำ
- จำนวนชั่วโมงการใช้งาน
- อุณหภูมิของน้ำที่เข้าหม้อน้ำ
- อุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง

- อุณหภูมิของไอเสียที่ปล่องไอเสีย
- ปริมาณก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรืออากาศส่วนเกินในปล่องไอเสีย
- ความดันไอน้ำที่ใช้งาน
- ความดันลมหรือไอน้ำที่หัวฉีด สำหรับพ่นน้ำมันให้เป็นฝอย
- ความดันเชื้อเพลิงหัวฉีด
- ความดันน้ำที่เข้าหม้อน้ำ
- ความกระด้างของน้ำที่เข้าหม้อน้ำ
- ความเข้มข้นของแข็งที่ละลาย (Total Dissolved Solid, TDS) ในน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อน้ำ
- ความเข้มข้นของแข็งที่ละลายในน้ำในหม้อน้ำ
- ปริมาณสารละลายต่างๆ และเคมีในหม้อน้ำ
- บันทึกการซ่อมแซม หรือปรับแต่งหม้อน้ำ

การบันทึกข้อมูลต่างๆ ในแต่ละวัน สามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน ทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพหรือหาข้อบกพร่องของหม้อน้ำได้ดังนี้

- จากปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้กับปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ สามารถนำมาเปรียบเทียบอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่อไอน้ำที่ผลิตได้ตามปรกติ สำหรับเชื้อเพลิงแต่ละชนิดไม่ควรจะได้ต่ำกว่ากำหนดไว้ เช่น ถ่านหิน 1 กิโลกรัม ควรผลิตไอน้ำได้มากกว่า 8 กิโลกรัม หรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม ควรผลิตไอน้ำได้มากกว่า 15 กิโลกรัม
- ชั่วโมงการใช้งานสามารถบ่งบอกถึงอายุการทำงานของชิ้นส่วนต่างๆ ได้ เช่น ระบบควบคุมทางไฟฟ้า ลูกปืนต่างๆ เป็นต้น ถ้าอายุการใช้งานชิ้นส่วนเหล่านั้นครบตามกำหนดแล้ว ควรจะเตรียมอะไหล่ไว้และจัดการเปลี่ยนใหม่
- อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อน้ำยิ่งสูงก็จะประหยัดเชื้อเพลิงได้มาก ถ้าอุณหภูมิน้ำป้อนเพิ่มขึ้นจากเดิมทุก 10 $^{\circ}$C จะประหยัดเชื้อเพลิงได้ 1.6%
- หากต้องการให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวสมบูรณ์ ต้องมีการอุ่นเชื้อเพลิงให้มีอุณหภูมิสูงเพื่อลดความหนืด โดยอุณหภูมิการอุ่นเชื้อเพลิงแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับมาตรฐานของผู้ผลิต
- อุณหภูมิของไอเสีย จะเป็นตัวชี้ถึงสภาพของหม้อน้ำได้ สำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟในสภาพปรกติ อุณหภูมิไอเสียไม่ควรเกินกว่าอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันขณะนั้นแล้วบวกด้วย 50 $^{\circ}$C ($T_{exhaust\ gas} < T_{saturated\ steam} + 50\ ^{\circ}C$) ส่วนสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิไอเสียสูงมากกว่าปรกติเนื่องมาจาก
  - (ก) มีเขม่าจับที่ท่อมาก ความร้อนจากก๊าซร้อนถ่ายเทให้น้ำได้ไม่เต็มที่ เพราะเขม่าเป็นฉนวนความร้อน
  - (ข) มีตระกรันหนาที่ผิวสัมผัสน้ำ ซึ่งตระกรันเป็นฉนวนความร้อนเช่นเดียวกับเขม่า
  - (ค) ผนังกั้นชั้นไฟภายในหม้อน้ำพัง ทำให้เกิดการรั่วของก๊าซร้อนระหว่างชั้นไฟ
  - (ง) น้ำแห้ง หรือระดับน้ำภายในหม้อน้ำต่ำกว่าปรกติมาก

- การบันทึกความดันไอน้ำจะช่วยเป็นประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพของผลผลิต
- ความดันลมที่เข้าหัวฉีดถ้าสูงมากกว่าปรกติแสดงว่าหัวฉีดอาจจะอุดตันเนื่องจากสิ่งสกปรก
- ความดันปั๊มน้ำป้อนเข้าหม้อน้ำตามปรกติจะสูงกว่าความดันไอน้ำภายในหม้อน้ำเล็กน้อย ถ้าความดันปั๊มน้ำป้อนสูงกว่ามากๆ แสดงว่าท่อทางเข้าของน้ำป้อนที่เข้าสู่หม้อน้ำเริ่มตีบตัน หรือวาล์วน้ำเข้าหม้อน้ำไม่ได้เปิด หรือวาล์วกันกลับ (Check Valve) ที่ท่อน้ำเข้าหม้อน้ำไม่เปิด
- ถ้าน้ำป้อนมีความกระด้าง จะเป็นต้นเหตุของการเกิดตะกรันในหม้อน้ำได้
- ปริมาณสารละลายในหม้อน้ำ ถ้าสูงเกินจากข้อแนะนำ จะเกิดการเดือดเป็นฟอง ทำให้มีละอองน้ำปนออกไปกับไอน้ำ (Carry Over) น้ำในหม้อน้ำจะเกิดการเดือดแบบปะทุ และเกิดตะกรันภายในหม้อน้ำได้

ตัวอย่างตารางจดบันทึกข้อมูลการใช้งานหม้อน้ำประจำวัน แยกตามชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ แสดงได้ดังตารางที่ 2-1 ถึง 2-3

2.1.5 การปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน

หากเกิดอุบัติเหตุขึ้นกับหม้อน้ำ อย่าตื่นตระหนก ให้ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องรวบรวมสติ แล้วดำเนินการตามข้อแนะนำดังนี้

- ถ้าไม่เห็นน้ำในหลอดแก้วบอกระดับน้ำ ให้ลองเปิดวาล์วระบายน้ำทำความสะอาดชุดวาล์วใต้หลอดแก้ว
- ถ้ายังไม่เห็นน้ำในหลอดแล้ว หรือได้กลิ่นเหม็นไหม้ ให้ปิดเครื่องสูบน้ำป้อนเข้าหม้อน้ำและดับการเผาไหม้ ห้ามเติมน้ำเข้าหม้อน้ำโดยเด็ดขาด เพราะจะเกิดระเบิดได้
- หากภายในหม้อน้ำยังมีความดันให้ยกลิ้นนิรภัยหรือเปิดวาล์วระบายไอน้ำทิ้ง จนไม่มีความดันภายในหม้อน้ำ
- ปล่อยให้หม้อน้ำเย็นลงตามธรรมชาติด้วยตัวเอง
- ให้วิศวกรเข้าตรวจสอบความเสียหายของโครงสร้างหม้อน้ำและวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้น้ำแห้ง
- หากเป็นหม้อน้ำแบบท่อน้ำที่มีพัดลมแบบดูด (Induced draft fan) ห้ามปิดพัดลมอย่างทันทีทันใด เพราะอาจทำให้อุณหภูมิเตาและโครงสร้างหม้อน้ำร้อนจัดจนอาจเกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้ได้
- ถ้าเป็นการระเบิดในห้องเผาไหม้ ให้ปิดเครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำทันที และรีบตรวจสอบว่าควรจะต้องทำอย่างไรบ้าง เพื่อป้องกันไม่ให้หม้อน้ำเสียหายมากขึ้น
- ถ้าเป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นกับท่อน้ำหรือท่อไฟ ให้รักษาระดับน้ำในหม้อน้ำเอาไว้ ปล่อยให้ความดันไอน้ำตกลง และให้หม้อน้ำค่อยๆ เย็นลง

- ถ้าเป็นการระเบิดของโครงสร้างของหม้อน้ำ และมีผู้บาดเจ็บ ให้รีบปฐมพยาบาลผู้บาดเจ็บเบื้องต้นก่อน แล้วจึงนำส่งโรงพยาบาลโดยด่วนที่สุด
- ถ้ามีเพลิงไหม้ ให้รีบดับเพลิงและปิดวาล์วเชื้อเพลิงทุกชนิด
- อย่าดัดแปลง เคลื่อนย้ายหม้อน้ำ เพราะอาจจะทำให้ไม่สามารถหาสาเหตุที่แท้จริงได้
- ให้แจ้งกรมโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเข้าตรวจสอบหาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

ตารางที่ 2-1 รายงานประจำวันในการควบคุมหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง

วันที่ ..... หม้อน้ำ หมายเลข ..... ชนิดเชื้อเพลิง ..... ชื่อ-นามสกุล ผู้ควบคุมหม้อน้ำ .....

เวลา	ความดันไอน้ำ	น้ำป้อน					น้ำในหม้อน้ำ						เชื้อเพลิงและการเผาไหม้		ระบบความปลอดภัย		
		ความดัน	อุณหภูมิ	เลขมิเตอร์	pH	Hardness	pH	Hardness	TDS	ระดับน้ำในหลอดแก้ว		เวลาโบลว์ดาวน์	อัตราการใช้เชื้อเพลิง	อุณหภูมิปล่องไอเสีย	เครื่องควบคุมระดับน้ำ	ลิ้นนิรภัย	สัญญาณเตือนภัย
										1	2						
	( )	( )	( )	( )		( )		( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )			

หมายเหตุ: ให้กรอกข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง สรุปการทำงานของหม้อน้ำและอุปกรณ์: ☐ ปรกติ ☐ ไม่ปรกติ มีปัญหา คือ .....

ตารางที่ 2-2 รายงานประจำวันในการควบคุมหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว

วันที่ ..... หม้อน้ำ หมายเลข ..... ชนิดเชื้อเพลิง ..... ชื่อ-นามสกุล ผู้ควบคุมหม้อน้ำ .....

เวลา	น้ำป้อน						น้ำในหม้อน้ำ						เชื้อเพลิงและการเผาไหม้					ระบบความปลอดภัย		
	ความดันไอน้ำ	ความดัน	อุณหภูมิ	เลขมิเตอร์	pH	Hard-ness	pH	Hard-ness	TDS	ระดับน้ำในหลอดแก้ว		เวลาโบลว์ดาวน์	ความดัน	อุณหภูมิ		เลขมิเตอร์	อุณหภูมิปล่องไอเสีย	เครื่องควบคุมระดับน้ำ	ลิ้นนิรภัย	สัญญาณเตือนภัย
										1	2			ก่อนอุ่น	หลังอุ่น					
	( )	( )	( )	( )		( )		( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )			

หมายเหตุ: ให้กรอกข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง สรุปการทำงานของหม้อน้ำและอุปกรณ์: ☐ ปรกติ ☐ ไม่ปรกติ มีปัญหา คือ .....

ตารางที่ 2-3 รายงานประจำวันในการควบคุมหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ

วันที่ ..... หม้อน้ำ หมายเลข ..... ชนิดเชื้อเพลิง ..... ชื่อ-นามสกุล ผู้ควบคุมหม้อน้ำ .....

เวลา	น้ำป้อน						น้ำในหม้อน้ำ						เชื้อเพลิงและการเผาไหม้				ระบบความปลอดภัย			
	ความดันไอน้ำ	ความดัน	อุณหภูมิ	เลขมิเตอร์	pH	Hard-ness	pH	Hard-ness	TDS	ระดับน้ำในหลอดแก้ว		เวลาโบลว์ดาวน์	ความดัน	อุณหภูมิ	เลขมิเตอร์	อุณหภูมิปล่องไอเสีย	เครื่องตรวจวัดการรั่วของก๊าซ	เครื่องควบคุมระดับน้ำ	ลิ้นนิรภัย	สัญญาณเตือนภัย
										1	2									
	( )	( )	( )	( )		( )		( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )				

หมายเหตุ: ให้กรอกข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง สรุปการทำงานของหม้อน้ำและอุปกรณ์: ☐ ปรกติ ☐ ไม่ปรกติ มีปัญหา คือ .....

2.2 การเก็บรักษาและการเคลื่อนย้ายหม้อน้ำ

2.2.1 การเก็บหม้อน้ำแบบเปียก

1) การเก็บหม้อน้ำแบบเปียกของหม้อน้ำแบบท่อไฟ

หลังจากถ่ายน้ำในหม้อน้ำทิ้ง และทำความสะอาดเสร็จแล้ว ให้เติมน้ำให้เกือบเต็ม เปิดวาล์วที่สูงที่สุดของหม้อน้ำแล้วเดินเครื่องจนเกิดไอน้ำชั่วขณะ จากนั้นเติมน้ำให้เต็มหม้อน้ำ แล้วเติมโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) หรือไฮดราซีน (N_2H_4) ลงไปในน้ำให้มีความเข้มข้น 100 ppm (Na_2SO_3 หรือ N_2H_4 หนัก 680 กรัม ต่อน้ำที่เติมเข้าไป 378 ลิตร) แล้วเติมโซดาไฟ (NaOH) ให้มีความเข้มข้นประมาณ 400 ppm (โซดาไฟหนัก 1,364 กรัม ต่อน้ำที่เติมเข้าไป 3,780 ลิตร) เพื่อทำให้เกิดสภาพเป็นด่างและเพื่อไล่ออกซิเจนในน้ำออกจนหมด

2) การเก็บหม้อน้ำแบบเปียกของหม้อน้ำแบบท่อน้ำ

ใช้ไอน้ำความดันต่ำ 100 kPa ปล่อยเข้าไปทางด้านในหม้อน้ำ โดยปรกติหากมี Lay-up coil ที่ Mud drum ให้ใช้ไอน้ำความดันต่ำ 100 kPa ปล่อยเข้าไปใน Lay-up coil ด้วย เพื่อให้มีการอุ่นน้ำในหม้อน้ำตลอดเวลา

2.2.2 การเก็บหม้อน้ำแบบแห้ง

หลังจากถ่ายน้ำในหม้อน้ำทิ้ง ทำความสะอาดทางด้านสัมผัสไฟ และล้างตะกรันทางด้านสัมผัสน้ำของหม้อน้ำออกให้หมดแล้ว ต้องทำให้ภายในหม้อน้ำแห้งอย่างรวดเร็วโดยการเป่าด้วยอากาศจนแห้ง แล้วใส่สารที่ดูดความชื้น เช่น ปูนขาว (Quick lime) ซิลิกาเจล (Silica gel) ปริมาณ 3 kg/m^3 หรือ แอกติเวทเตดอลูมินา (Activated alumina) ลงไปในถาดแล้วใส่ไว้ภายในหม้อน้ำ แล้วปิดฝาต่างๆ ที่เปิดอยู่เพื่อป้องกันความชื้นและอากาศเข้าไป คอยเปิดตรวจสอบสารดูดความชื้นทุกๆ 3 เดือน ถ้าสารดูดความชื้นหมดสภาพการใช้งาน ให้ทำการเปลี่ยนสารดูดความชื้นใหม่

ในกรณีหม้อน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งใช้ความดันสูง การเก็บแบบแห้งนี้จะอัดก๊าซไนโตรเจน (N_2) เข้าไปในหม้อน้ำ โดยเปิดลิ้นระบายใต้หม้อน้ำเพื่อให้ก๊าซไนโตรเจนไล่อากาศและความชื้นออกไปให้หมด จากนั้นจึงปิดลิ้นระบายใต้หม้อน้ำแล้วอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าหม้อน้ำจนได้ความดันประมาณ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และพยายามรักษาความดันนี้ให้คงที่

2.2.3 การเคลื่อนย้ายหม้อน้ำ

การเคลื่อนย้ายหม้อน้ำมีข้อพึงปฏิบัติดังต่อไปนี้

- การย้ายหม้อน้ำต้องทำด้วยความระมัดระวังเช่นเดียวกันกับการติดตั้งหม้อน้ำใหม่
- ภายหลังจากการติดตั้งหม้อน้ำที่ทำการย้ายสถานที่แล้ว จะต้องทำการตรวจสอบความปลอดภัยตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549 เช่นเดียวกันกับการตรวจสอบความปลอดภัยประจำปี แม้ว่าหม้อน้ำเครื่องนั้นจะเพิ่งได้รับการตรวจสอบความปลอดภัยประจำปีมาไม่นาน
- ภายหลังจากการติดตั้งหม้อน้ำที่ทำการย้ายสถานที่แล้ว จะต้องรายงานการเคลื่อนย้ายหม้อน้ำต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการ

ความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549 แม้ว่าจะเป็นการเคลื่อนย้ายหม้อน้ำในบริเวณโรงงานเดียวกันก็ตาม

2.2.4 การยกเลิกการใช้หม้อน้ำ

เมื่อหยุดเดินหม้อน้ำเป็นที่เรียบร้อยแล้ว หากต้องการยกเลิกหรือพักการใช้หม้อน้ำเป็นระยะเวลานาน ให้ทำการถ่ายน้ำในหม้อน้ำทิ้ง ทำความสะอาด และเก็บหม้อน้ำตามขั้นตอนที่แนะนำดังต่อไปนี้

- หากหม้อน้ำยังมีอุณหภูมิอยู่ห้ามถ่ายน้ำในหม้อน้ำออก เพราะหม้อน้ำจะเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน (Thermal shock)
- หยุดหม้อน้ำรอจนกระทั่งหม้อน้ำเย็นลงเอง เปิดวาล์วระบายอากาศเพื่อให้ดูดอากาศเมื่อจะถ่ายน้ำ เพื่อให้น้ำในหม้อน้ำระบายออกมาได้ และป้องกันหม้อน้ำยุบตัวเนื่องจากเกิดสูญญากาศภายในหม้อน้ำ
- ทดลองเปิดวาล์วระบายน้ำ แล้วเอามือจับท่อระบายเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำระบาย
- ถ้ายังไม่สามารถจับท่อระบายน้ำค้างไว้ได้ เพราะน้ำยังร้อนอยู่ ให้ปิดวาล์วระบายน้ำแล้วรอให้หม้อน้ำเย็นต่อไป อิฐทนไฟในหม้อน้ำที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่สามารถทำความเสียหายให้หม้อน้ำได้ หากในหม้อน้ำไม่มีน้ำ
- หากลองเปิดวาล์วระบายน้ำ แล้วถ้าสามารถเอามือจับท่อค้างไว้ได้ แสดงว่าหม้อน้ำเย็นพอที่จะถ่ายน้ำออกทั้งหมดได้
- ข้อควรระวังสำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำ คือ ห้ามถ่ายน้ำทิ้งโดยเด็ดขาด แม้เครื่องจะอุ่นแล้วต้องรอให้หม้อน้ำเย็นลงจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องมากที่สุด
- ปิดช่องปล่องไฟที่หม้อน้ำ ป้องกันไม่ให้ดูดอากาศผ่านปล่องไฟเข้าไปในตัวหม้อน้ำเพราะจะทำให้หม้อน้ำกัดกร่อนมากเนื่องจากความชื้นในอากาศจะทำปฏิกิริยากับเขม่าของเชื้อเพลิงซึ่งมีกำมะถันสูง
- ทำความสะอาดเขม่า อาจใช้น้ำด่างฉีดล้าง แล้วรีบเป่าให้แห้ง เพื่อป้องกันกรดกำมะถันกัดกร่อนเหล็ก
- หากต้องการหยุดการใช้หม้อน้ำเป็นระยะเวลาไม่เกิน 3 เดือน ควรทำการเก็บแบบเปียก แต่หากต้องการหยุดการใช้งานหม้อน้ำเป็นระยะเวลานานเกิน 3 เดือน ควรทำการเก็บแบบแห้ง

บทที่ 3
การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำ

การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำมีความสำคัญมาก จุดประสงค์ไม่เพียงแต่เป็นการยืดอายุการใช้งานและคงสภาพและประสิทธิภาพเท่านั้น แต่ยังมีความหมายรวมไปถึงความปลอดภัยและการป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นในการใช้หม้อน้ำ การบำรุงรักษาหม้อน้ำไม่ว่าจะส่วนใดก็ตาม ควรจะได้มีการวางแผนไว้เพราะการวางแผนที่ดี จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อม และหลีกเลี่ยงอันตรายที่จะเกิดขึ้นและสามารถทำให้หม้อน้ำทำงานได้อย่างปรกติ การบำรุงรักษาหม้อน้ำควรกำหนดเป็นเวลาที่แน่นอน และปฏิบัติเป็นประจำ อาจกำหนดเวลาเป็นการบำรุงรักษาประจำวัน ประจำสัปดาห์ ประจำเดือน ประจำหกเดือน และประจำปี ขึ้นอยู่กับการวางแผนการบำรุงรักษาและปฏิบัติส่วนใดของหม้อน้ำ ในที่นี้ได้แบ่งหัวข้อรายละเอียดของการตรวจสอบสภาพ การบำรุงรักษาหม้อน้ำ ออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ ซึ่งได้แก่

- การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำทั่วไป
- การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำแบบท่อน้ำ
- การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำฝั่งสัมผัสน้ำ
- การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำแบบท่อไฟ
- การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำฝั่งสัมผัสไฟ

นอกจากนี้ ยังมีส่วนย่อยที่รวมไปถึงอุปกรณ์และระบบความปลอดภัยของหม้อน้ำ ซึ่งส่วนนี้มีความสำคัญ ถ้าขาดการบำรุงรักษาจะก่อผลให้เกิดอันตราย และความเสียหายอย่างมาก ทั้งนี้ได้อธิบายการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาอุปกรณ์และระบบความปลอดภัยโดยแยกตามชนิดอุปกรณ์ไว้ในบทที่ 4

3.1 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำทั่วไป

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำทั่วไป ซึ่งจะบรรยายเฉพาะรายละเอียดในการทำการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษา ทั้งหม้อน้ำแบบท่อไฟ หรือท่อน้ำ และไม่ว่าจะใช้เชื้อเพลิงชนิดใดก็ตาม ก็จะมีรายละเอียดที่เหมือนกัน ส่วนในรายละเอียดปลีกย่อยที่ขึ้นอยู่กับชนิดของหม้อน้ำและฝั่งสัมผัสน้ำหรือไฟ สามารถศึกษาได้จากหัวข้อที่ 3.2 ถึง 3.5 โดยการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำทั่วไป มีดังต่อไปนี้

(ก) การตรวจสอบความปลอดภัยหม้อน้ำประจำปี มีดังต่อไปนี้

- หม้อน้ำทุกเครื่องต้องมีการตรวจสอบความปลอดภัยในการใช้งานปีละครั้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549 และกฎหมายของกระทรวงแรงงาน

- การตรวจสอบความปลอดภัยประจำปีหม้อน้ำ ต้องตรวจทดสอบโดยวิศวกรเครื่องกลระดับสามัญวิศวกรขึ้นไปที่ขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น
- ต้องมีการตรวจสอบอย่างละเอียดจริงทุกครั้ง
- การออกใบรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำโดยไม่มีการตรวจสอบจริง จะเป็นอันตรายกับหม้อน้ำอย่างมาก
- รายละเอียดการตรวจสอบ ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549
- ทำความสะอาดอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำและควบคุมความดันทุกตัวด้วยทุกครั้ง
- ต้องตรวจสอบและปรับตั้งวาล์วนิรภัยทุกตัว
- ต้องมีการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ความปลอดภัยของหม้อน้ำ (Functional test)
- ถ้ามีปลั๊กหลอมละลาย (Fusible plug) จะต้องเปลี่ยนปลั๊กหลอมละลายใหม่
- ต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องเที่ยงตรงของเกจวัดความดันไอน้ำของหม้อน้ำ
- ต้องมีการตรวจสอบประวัติการใช้งานและประวัติการซ่อมหม้อน้ำ
- ต้องมีการตรวจสอบว่าผู้ควบคุมหม้อน้ำมีความรู้ ความเข้าใจ ในการควบคุมหม้อน้ำและต้องมีการปฏิบัติจริง

(ข) อุปกรณ์ของหม้อน้ำทั่วไปที่ต้องตรวจสอบ วิธีการตรวจสอบ ตลอดจนเกณฑ์การยอมรับแสดงได้ในตารางที่ 3-1

(ค) การดูแลรักษาอุปกรณ์ของหม้อน้ำทั่วไป แสดงได้ในตารางที่ 3-2

(ง) การซ่อมแซมเหล็กโครงสร้างหม้อน้ำ

ปัจจุบันมีประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549 กำหนดให้วิศวกรซึ่งจะหน้าที่ควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำต้องได้รับอนุญาตโดยการที่ขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งการสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำต้องปฏิบัติตามมาตรฐาน

ตารางที่ 3-1 อุปกรณ์ของหม้อน้ำทั่วไปที่ต้องตรวจสอบ วิธีการตรวจสอบ ตลอดจนเกณฑ์การยอมรับ

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
หม้อน้ำและอื่นๆ	เปลือก (Shell) ผนังหน้าหลัง (End plate) ปล่องไอเสีย (Flue gas) และส่วนที่เป็นเหล็กหล่อ (Cast iron section)	ตรวจสอบสภาพการผิดรูป การเปลี่ยนสีเนื่องจากความร้อนสูง การรั่วซึมของไอน้ำและน้ำ การผุกร่อนและเขม่าดำที่ช่องมองลอดและหัวเผา	ไม่มีการผิดรูป เปลี่ยนสี เนื่องจากความร้อนสูงเกินปรกติ การรั่วซึม การผุกร่อนและเขม่าดำ
	ท่อและวาล์ว	ตรวจสอบการหลวมของสลักเกลียว การรั่วซึมของไอน้ำและน้ำ การผุกร่อน	ไม่มีการหลวมของสลักเกลียว ไม่มีการรั่วซึมและการผุกร่อน
ท่อน้ำและอื่นๆ	ท่อน้ำ (Water tube) ท่อไฟ (Fire tube) และเหล็กค้ำยัน หรือเหล็กยึดโยง (Stay)	ตรวจสอบการบวมเสียรูปเนื่องจากความร้อนสูงเกินปรกติ การรั่วซึมของไอน้ำและน้ำ การโก่งตัว การผุกร่อนและเขม่าดำตลอดช่องมองลอด และหัวเผา	ไม่มีการบวมเนื่องจากความร้อนสูงเกินปรกติ ไม่มีการรั่วซึม หรือการโก่งตัว ที่สังเกตเห็นได้ ไม่มีการผุกร่อนและเขม่าดำ
ผนังหม้อน้ำ	ผนังหม้อน้ำ (Casing) และวัสดุทนไฟ (Refractory)	ตรวจสอบความเสียหาย กลิ่นที่ผิดปรกติ การเปลี่ยนสีของสารเคลือบ การหลวมของสลักเกลียว การผุกร่อน และเขม่าดำ	ไม่มีความเสียหาย ไม่มีกลิ่นผิดปรกติ ไม่มีการเปลี่ยนสี การหลุดหลวม ไม่มีเขม่าดำและการผุกร่อนที่สังเกตได้
	ฉนวน (Insulation)	ตรวจสอบรอยแตกร้าวโดยการใช้ควันทดสอบตรวจสอบความเสียหาย	ไม่มีความเสียหายและรอยแตกร้าว
ฐานรากและการติดตั้ง	สลักเกลียวยึดฐานราก (Foundation bolt)	ตรวจสอบความเสียหาย และการหลวมของสลักเกลียวโดยใช้ค้อน	ไม่มีความเสียหาย และการหลวมของสลักเกลียว
	ฐานรากคอนกรีต (Concrete foundation)	1) ตรวจสภาพรอยแตกร้าวและการเสื่อมสภาพ 2) ตรวจสอบสภาพการรั่วซึมของน้ำใต้ดิน	1) ไม่มีรอยแตกร้าวและการเสื่อมสภาพ 2) ไม่มีคราบน้ำและการขังตัวของน้ำใต้ดิน
	ตัวหม้อน้ำ (Boiler body)	ตรวจสอบการเอียงตัวและการเลื่อนตำแหน่ง	ไม่มีการเอียงตัวและเลื่อนตำแหน่ง
	ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ (Sliding part)	ตรวจสอบการขยายตัวและการหดตัว	ชิ้นส่วนมีการขยายหรือหดตัวอยู่ในเกณฑ์ปกติ

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
ช่องคนลอด หรือ ช่องมือลอด	ฝาหอย ฝาปิด และ ปะเก็น	ตรวจสอบการรั่วซึมที่ช่องคนลอดและช่องมือลอด	ต้องมั่นใจว่าปิดฝาหอยอย่างแน่นหนา ขอบฝาหอยไม่ติดค้าง ฝาหอยแนบสนิทกับปะเก็น ไม่นำปะเก็นเก่าที่ไม่ยืดหยุ่นตัวแล้วมาใส่ และทำความสะอาดฝาหอยก่อนใส่ปะเก็นใหม่ทุกครั้ง
แผงควบคุม (Control panel)	ชิ้นส่วน (Part)	1) ตรวจสอบสภาพแผงควบคุม 2) ตรวจสอบความผิดปรกติของความร้อนและกลิ่น	1) ไม่มีการหลุดหลวม 2) ไม่มีความผิดปรกติของความร้อนและกลิ่น
	ชุดเชื่อมต่อสายไฟ (Terminal)	ตรวจสอบการผิดปรกติของสีเนื่องจากความร้อนสูง สนิม และความสกปรก	ไม่มีการผิดปรกติของสี การเปรอะเปื้อนหรือคราบสนิมที่สังเกตได้
	ภายในตู้ควบคุม	1) ตรวจสอบอุณหภูมิภายใน 2) ตรวจสอบการเกิดหยดน้ำ	1) มีอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์ปรกติ 2) ไม่มีหยดน้ำเกิดขึ้นภายใน
	หลอดไฟแสดงสถานะ (Pilot lamp)	ตรวจสอบการทำงานหลอดไฟ	ต้องไม่มีความผิดปรกติ
อุปกรณ์เริ่มและหยุดทำงาน	ระบบเริ่มและหยุดการทำงานของเครื่อง	ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาที่ใช้ในการจุดไฟ หรือการทดสอบเครื่อง	เวลาต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลง
ตัวควบคุมด้านความปลอดภัยเบื้องต้น	กรอบและฝาปิด (Case and cover)	ตรวจสอบความผิดปรกติของความร้อน	ความร้อนต้องอยู่ในเกณฑ์ปรกติ
	ตะปูควง (Screw) สำหรับยึดชิ้นส่วน	ตรวจสอบการหลุดหลวม	ไม่มีการหลุดหลวม
	ขั้วสายไฟที่จุดเชื่อมต่อ	1) ตรวจสอบการหลุดหลวมของตะปูควง 2) ตรวจสอบการเปรอะเปื้อนและคราบสนิม	1) ไม่มีการหลุดหลวมของตะปูควง 2) ไม่มีการเปรอะเปื้อนและคราบสนิม
	ระบบตัดเชื้อเพลิงเมื่อมีความผิดปรกติที่เปลวไฟ	ตรวจสอบการทำงานของระบบ โดยปิดวาล์วเชื้อเพลิงด้วยมือระหว่างการเผาไหม้	ต้องมั่นใจว่าเมื่อวาล์วเชื้อเพลิงถูกปิดสัญญาณเตือนภัยเมื่อมีความผิดปรกติที่เปลวไฟต้องร้องเตือน
	ระบบตัดเชื้อเพลิงเมื่อการจุดไฟผิดพลาด	ตรวจสอบการทำงานของระบบโดยปิดวาล์วเชื้อเพลิงด้วยมือพร้อมทั้งจุดหัวเผาในเวลาเดียวกัน	ต้องมั่นใจว่าเมื่อวาล์วเชื้อเพลิงถูกปิดสัญญาณเตือนภัยเมื่อมีความผิดปรกติของการจุดไฟต้องร้องเตือน

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
หัวฉีดน้ำ (Injector)	ตัวหัวฉีด (Body)	1) ตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำ แรงดันไอน้ำ อุณหภูมิของน้ำเข้าระบบ อุณหภูมิของหัวฉีด และสภาวะการทำงาน 2) ตรวจสอบการดูดอากาศ การรั่วซึมของไอน้ำ การปะปนของน้ำ 3) ตรวจสอบตะกรัน	1) อัตราการไหลของน้ำ แรงดันไอน้ำ อุณหภูมิของน้ำเข้า อุณหภูมิของหัวฉีด และสภาวะการทำงานที่เป็นปรกติ 2) ไม่มีการดูดอากาศ การรั่วซึม และการปะปนของน้ำที่ถูกระบายออก 3) ไม่มีคราบตะกรัน
	วาล์วไหลทางเดียว (Non-return valve)	ตรวจสอบสภาพการทำงาน	ต้องทำงานได้ปรกติ
ถังน้ำป้อน (Feedwater tank)	มาตรวัดระดับน้ำ	ตรวจสอบความผิดปรกติของตัวบ่งชี้ระดับน้ำ	ต้องอยู่ในสภาพปรกติ
	ตัวบ่งชี้ระดับน้ำต่ำสุด	ตรวจสอบความผิดปรกติของการบ่งชี้และระบบแจ้งเตือน	ต้องอยู่ในสภาพปรกติ
	เครื่องวัดอุณหภูมิ	ตรวจสอบความถูกต้องของผลที่แสดงอุณหภูมิน้ำเข้าระบบ	ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ถูกต้อง
	ตัวถัง	1) ตรวจสอบการรั่วซึม การผุกร่อนทั้งภายในและภายนอกถัง 2) ตรวจสอบการเปรอะเปื้อนและสิ่งตกค้าง เช่น ทราย และโคลน	1) ไม่มีการรั่วซึมของน้ำและการผุกร่อนที่สังเกตได้ 2) ไม่มีการเปรอะเปื้อนและสิ่งตกค้างที่สังเกตได้
	ระบบท่อ (Piping)	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำและการผุกร่อน	ไม่มีการรั่วซึมของน้ำ และการผุกร่อนที่สังเกตได้
	อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ	ตรวจสอบสภาพการทำงาน	ต้องทำงานได้ปรกติ ไม่มีการขัดข้อง

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
ระบบท่อ	ท่อ	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำและไอน้ำ_ความเสียหาย การบิดตัว และการผุกร่อน	ไม่มีการรั่วซึม ไม่มีความเสียหาย ไม่มีการบิดตัวและการผุกร่อนที่สังเกตได้
	ข้อต่อรับการขยายตัว (Expansion joint) และฐานรองท่อ (Pipe supporter)	ตรวจสอบความเสียหาย และการเบี่ยงเบนไปจากแนวการเคลื่อนที่ปรกติ	ไม่มีความเสียหาย และสามารถขยายตัวได้อย่างอิสระ
	กับดักไอน้ำ (Steam trap)	ตรวจสอบว่าน้ำได้ถูกระบายออกไม่มีไอน้ำปนออกมาจำนวนมาก	ไม่มีไอน้ำรั่วออกมากับคอนเดนเสท
	ฉนวนกันความร้อนและแผ่นปิด	ตรวจสอบร่องรอยความเสียหาย	ไม่มีความเสียหาย
	ระบบท่อภายนอกอาคารและใต้ดิน	ตรวจสอบว่าท่อถูกแช่อยู่ในน้ำหรือไม่	ท่อต้องไม่ถูกแช่อยู่ในน้ำ
วาล์วและหน้าแปลน	ปะเก็นและหน้าแปลน	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำและไอน้ำ การหลุดหลวมและความเสียหายของสลักเกลียว	ไม่มีการรั่วซึมและการหลุดหลวมของสลักเกลียว
มอเตอร์	เรือนมอเตอร์ (Casing)	ตรวจสอบอุณหภูมิโดยการใช้เทอร์โมมิเตอร์ หรือการสัมผัส	ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด
	แกนเพลา และปลอกต่อเพลา (Shaft and coupling)	ตรวจสอบการหนีศูนย์ การสั่นสะเทือนของปลอกเพลาและแกนเพลาที่ผิดปรกติ	ไม่มีการหนีศูนย์ การสั่นสะเทือนของปลอกต่อเพลาและแกนเพลาที่ผิดปรกติ
	ตลับลูกปืน (Bearing)	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำมัน อุณหภูมิที่สูงผิดปรกติและปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการหล่อลื่น	ไม่มีการรั่วซึมของน้ำมัน ไม่มีอุณหภูมิที่สูงผิดปรกติ และมีปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม
	ขดลวด (Coil)	ตรวจสอบค่าความต้านทานความเป็นฉนวน	ต้องมีค่าไม่เกินกว่าที่กำหนดไว้
	ความต้านทานของสายดิน	ตรวจสอบค่าความต้านทานสายดินถ้าจำเป็น	ค่าที่ได้ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
สายพานอุปกรณ์ขับ	สายพาน (Belt)	ตรวจสอบความตึง การหลุดหลวม การเสื่อมสภาพ แตกร้าว และความเสียหาย	ความตึงตามมาตรฐาน ไม่มีการหลุดหลวม การเสื่อมสภาพ แตกร้าว และความเสียหาย
	ลูกรอก (Pulley)	ตรวจสอบสภาพความเสียหายและความร้อนที่สูงผิดปรกติ	ไม่มีร่องรอยความเสียหายและความร้อนที่สูงผิดปรกติ
เครื่องเป่าเขม่าดำ (Soot blower)	แกนเพลาและหัวฉีด	ตรวจสอบการโก่งตัว การลุกไหม้ และสภาพการทำงาน	ไม่มีการโก่งตัว การลุกไหม้ และมีสภาพการทำงานที่สมบูรณ์
อุปกรณ์ตรวจสอบควันไอเสีย (ตัววัด CO ใช่หรือไม่)	ส่วนตรวจจับ (Detecting part)	ตรวจสอบการเปรอะเปื้อนและการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ตัววัด (Sensor)	ไม่มีการเปรอะเปื้อนและการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ตัววัด (Sensor)
	ส่วนตรวจวัด (Measuring part)	ตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่วัดได้ (Calibration)	ค่าที่วัดได้ต้องถูกต้องแม่นยำ
อุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน (Seismic detector)	ตัวเครื่อง	ตรวจสอบการทำงาน	ต้องทำงานได้ปรกติ
เครื่องผลิตไอน้ำยิ่งยวด (Super heater)	ท่อผลิตไอน้ำยิ่งยวดและเฮดเดอร์	1) ตรวจสอบการโก่งตัว ความผิดปรกติของสี การบวม รอยแตกร้าว การรั่วซึมของไอน้ำ การผุกร่อน และการเปรอะเปื้อน 2) ตรวจสอบอุณหภูมิของไอน้ำยิ่งยวด	1) ไม่มีการโก่งตัว ความผิดปรกติของสี การบวม รอยแตกร้าวการรั่วซึมของไอน้ำ การผุกร่อนและการเปรอะเปื้อน 2) ต้องมีอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์ปรกติ
เครื่องอุ่นน้ำป้อน (Economi-zer)	ท่อและส่วนอื่นๆ	1) ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำ รอยแตกร้าว ความเสียหาย การผุกร่อนและการเปรอะเปื้อน 2) ตรวจสอบความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างขาเข้าและขาออก	1) ไม่การรั่วซึมของน้ำ รอยแตกร้าว ความเสียหาย การผุกร่อนและการเปรอะเปื้อนที่สังเกตได้

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
เครื่องอุ่นอากาศแบบหลายหลอด (Multi-tube air-preheater)	หลอดและส่วนอื่น	1) ตรวจสอบการรั่วซึมของอากาศ รอยแตกร้าว การอุดตัน การผุกร่อนและการเปรอะเปื้อน 2) ตรวจสอบความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างขาเข้าและขาออก 3) ตรวจสอบความแตกต่างของแรงดันก๊าซไอเสียระหว่างขาเข้าและขาออก	1) ไม่มีการรั่วซึมของอากาศ รอยแตกร้าว การอุดตัน การผุกร่อนและการเปรอะเปื้อน 2) ความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์ปรกติ 3) ความแตกต่างของแรงดันอยู่ในเกณฑ์ปรกติ
เครื่องอุ่นอากาศแบบโรตารี (Regenera-tive air-preheater)	แกนหมุน (Rotor)	ตรวจสอบการสั่นสะเทือนที่ผิดปรกติ รอยแตกร้าว การหยุดชะงัก ความเสียหาย การอุดตัน การผุกร่อน และการเปรอะเปื้อน	ไม่มีการสั่นสะเทือนที่ผิดปรกติ รอยแตกร้าว การหยุดชะงัก ความเสียหาย การอุดตัน การผุกร่อน และการเปรอะเปื้อนที่สังเกตได้
	ลูกปืน (Bearing)	ตรวจสอบความผิดปรกติของเสียง ความร้อน การรั่วซึมของสารหล่อลื่น	ไม่มีความผิดปรกติของเสียง ความร้อน และการรั่วซึมของสารหล่อลื่น
	มอเตอร์ขับ (Driving motor)	ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของภาระ (Load) โดยสังเกตจากปริมาณกระแสไฟของมอเตอร์ที่มากขึ้นกว่าปรกติ	ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงของภาระที่ผิดปรกติ
	ชิ้นส่วน (Element)	ตรวจสอบการเปรอะเปื้อน การผุกร่อนและการเสื่อมสภาพ	ไม่มีการเปรอะเปื้อน การผุกร่อน และการเสื่อมสภาพ
	ซีล (Sealing part)	ตรวจสอบระยะ สภาพความเสียหายของซีลและชิ้นส่วน	ระยะของซีลและชิ้นส่วนอยู่ในเกณฑ์ปรกติ และไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น

ตารางที่ 3-2 การดูแลรักษาอุปกรณ์ของหม้อน้ำทั่วไป

อุปกรณ์	วิธีการดูแลรักษา
วาล์วป้อนน้ำเข้าหม้อน้ำ	1) ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำ การทำงานของวาล์วสามารถใช้งานได้ตามที่ออกแบบ 2) หากจำเป็นต้องถอด รื้อ หรือเปลี่ยนใหม่ ควรปรึกษาบริษัทผู้ผลิตก่อนดำเนินการ
วาล์วในระบบ	ตรวจสภาพและการทำงานของวาล์วต่างๆ ในระบบป้อนน้ำ (Feedwater) ระบบระบายน้ำทิ้ง (Blowdown) ระบบทิ้งน้ำ (Drain) และในระบบอื่นๆ ทำการแก้ไข เปลี่ยน ซ่อมตามความจำเป็น
พัดลม	1) พัดลมชนิด Forced draft และ Primary air • ตรวจสอบครอบพัดลม (Fan housing) และแกนพัดลม (Rotor) ดูการกัดกร่อน การสึกร่อน และแนวโน้มการรั่วไหลของอากาศ รวมถึงค่าความดัน (Pressure Head) • จุดเชื่อมต่างๆ ไม่ให้มีการหลุดหลวม • ตรวจสอบระยะห่างระหว่างพัดลมกับครอบพัดลม • ตรวจสภาพและการทำงานของกลไกการเปิดอากาศเข้าพัดลม • ตรวจสอบการสึกหรอ ช่องห่าง การหล่อลื่น และระบบระบายความร้อนของแบริ่ง • ตรวจสอบการเยื้องศูนย์ของแกนพัดลม (Coupling alignment) ในขณะใช้งาน 2) พัดลมชนิด Induced draft • ตรวจสอบครอบพัดลม (Housing) และสารเคลือบครอบพัดลม (Housing liner) ดูการสึกกร่อน การกัดกร่อน การสะสมของสิ่งตกค้างที่มากับ Fly ash ตลอดจนการรั่วไหลของอากาศเข้าระบบ • ตรวจสอบตัวพัดลม (Fan rotor) และ สารเคลือบ (Liner) ดูการสึกกร่อน การกัดกร่อน การสะสมของสิ่งตกค้างที่มากับ Flyash และความมั่นคงของหมุดยึดกับรอยเชื่อม • ตรวจสอบระยะห่างระหว่างพัดลมกับครอบพัดลม • ตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันการรั่วของแกนพัดลม (Shaft seal) • ตรวจสภาพและการทำงานของกลไกเปิด-ปิด ก๊าซร้อนที่ผ่านเข้าสู่พัดลม • ตรวจสอบการสึกหรอ ระยะห่าง การหล่อลื่น และระบบระบายความร้อนของแบริ่ง • ตรวจสอบการเยื้องศูนย์ของแกนพัดลมตำแหน่งการวางแนว (Coupling alignment) ในขณะใช้งาน

อุปกรณ์	วิธีการดูแลรักษา
เครื่องผลิตไอน้ำยิ่งยวด~~ยิ่ง~~ (Superheater)	1) ตรวจสอบ Superheater header และ Tube ในส่วนที่อาจเกิดการกัดกร่อน การสึกกร่อน หรือ Overheat 2) ตรวจสอบการสึกกร่อนของท่อบริเวณที่อยู่ใกล้ระบบทำความสะอาดท่อ (Soot) 3) ตรวจสอบทิศทางการขยายตัว หดตัวของ Header และ Tube 4) ตรวจสอบความมั่นคงปลอดภัยของท่อ Vent และ Drain ในระบบ 5) ตรวจสอบการจับยึดของ Header และ Tube ว่ามั่นคงปลอดภัย
เครื่องอุ่นน้ำป้อน (Economizer)	1) ตรวจสอบการสึกกร่อน การเกิด Oxygen pitting และ Scale ภายใน Header และ Tube 2) ตรวจสอบการสึกกร่อน และสิ่งสกปรกตกค้าง ด้านนอกของ Header และ Tube รวมถึงบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากระบบทำความสะอาดท่อ (Soot) 3) ตรวจสอบความมั่นคง ปลอดภัยของท่อ Vent และ Drain ในระบบ 4) ตรวจสอบการรั่วไหลของ Flue gas ผ่านประตูเข้าออกของห้อง Economizer รวมทั้งฉนวนรอบนอก 5) ตรวจสอบการรั่วไหลของวาล์วน้ำในระบบ 6) ตรวจสอบการจับยึดของ Header และ Tube ว่ามั่นคงปลอดภัย
เครื่องอุ่นอากาศ (Air-preheater)	1) เครื่องอุ่นอากาศแบบหลายท่อ (Multi-tube air-preheater) ● ด้านก๊าซร้อน ตรวจสอบ การกัดกร่อน สึกกร่อน รวมทั้งการอุดตันที่เกิดขึ้น การทำความสะอาดสิ่งสกปรกติดค้างอาจใช้สารเคมีทำความสะอาดตามความเหมาะสม ● ด้านอากาศ ตรวจสอบการกัดกร่อน สึกกร่อน และการรั่วไหลออกของอากาศ 2) ระบบอุ่นอากาศชนิดรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative air-preheater) ● ตรวจสอบการอุดตัน การกัดกร่อน การสึกหรอด้าน Cold end ● ตรวจสอบระยะห่างของซีลป้องกันการรั่วไหลของอากาศไปยังด้านก๊าซร้อนในทุกทิศทางหากจำเป็น ● ตรวจสภาพชุดขับ (Gear drive) ● หากมีการติดตั้งระบบทำความสะอาด (Soot blower) ต้องตรวจสภาพการทำงานและสภาพทั่วไป (เช่น ความดันของสารที่ใช้ทำความสะอาด การสึกกร่อน กัดกร่อนในส่วนต่างๆ) ● ตรวจสอบระบบการระบายความร้อนของชุดแบริ่ง

(จ) การวางแผนการบำรุงรักษาหม้อน้ำ

การวางแผนบำรุงรักษาหม้อน้ำที่ดี ควรจะจัดช่วงเวลาในการบำรุงรักษาหม้อน้ำออกเป็นช่วงๆ และให้สัมพันธ์กับการผลิตของโรงงาน เพื่อจะได้ไม่กระทบกระเทือนการผลิตของโรงงาน ช่วงเวลาการบำรุงรักษาหม้อน้ำควรแบ่งดังนี้

- การบำรุงรักษาหม้อน้ำรายวัน อย่างน้อยควรประกอบด้วย
  - การระบายน้ำในหลอดแก้วดูระดับน้ำ
  - การระบายน้ำในลูกลอยหรืออุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำที่ต่อท่อออกมานอกตัวหม้อน้ำ
  - การระบายน้ำก้นหม้อจากใต้หม้อน้ำ (Bottom blowdown)
  - ตรวจระดับน้ำมันเครื่องของปั๊มลม (ถ้ามี)
  - การทำความสะอาดถ้วยหมุน
  - บันทึกประจำวัน
  - สังเกตดูเกจวัดว่าค่าต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ปรกติหรือไม่

- การบำรุงรักษารายสัปดาห์
  - ทำความสะอาดหัวฉีด หัวเทียนจุดนำ ตาไฟ
  - ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมัน
  - ตรวจดูปะเก็นฝาหม้อน้ำด้านไฟว่ามีรอยรั่วซึมของไอเสียหรือไม่
  - ตรวจดูปะเก็นฝาหอยว่ามีรอยรั่วซึมหรือไม่ ถ้ามีจะเห็นเป็นเกลือเกาะที่ฝาหอยเป็นก้อน ควรขูดหรือฉีดด้วยน้ำออกให้หมดอย่าให้สะสม
  - ทำความสะอาดกระจกมองไฟ
  - ตรวจสอบระยะเขี้ยวหัวเทียน หากระยะเขี้ยวหัวเทียนไม่ถูกต้องให้ปรับตั้งระยะห่างเขี้ยวหัวเทียนตามสเปคของผู้ผลิต
  - ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมความปลอดภัย อุปกรณ์หรือลูกลอยควบคุมระดับน้ำ สวิตช์ควบคุมความดัน
  - เปลี่ยนน้ำในหม้อน้ำ (ถ้ามีเวลามากพอที่จะทำได้)
  - วัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ ปรับแต่งให้ได้ค่าสูงสุดโดยวัด CO_2 หรือ O_2 เทียบกับอุณหภูมิปล่องและเขม่าควันไฟ
  - ยกทดสอบลิ้นนิรภัย (Safety valve) ให้มีการเคลื่อนไหว ไม่ติดขัด

- การบำรุงรักษารายเดือน
  - ล้างถังเก็บน้ำก่อนเข้าเครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำ
  - ล้างไส้กรองน้ำก่อนเข้าเครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำ
  - ทำความสะอาดท่อไฟ (ล้างเขม่าออกโดยใช้แปรง)
  - ตรวจสภาพสภาพอิฐทนไฟ วัสดุทนไฟ ปะเก็นฝาหม้อน้ำด้านไฟ

- ล้างทำความสะอาดภายในหม้อน้ำ (ด้านสัมผัสน้ำ) โดยใช้น้ำความดันสูงฉีดเอาตะกรันและตะกอนออก
- ล้างอุปกรณ์หรือลูกลอยควบคุมระดับน้ำ ล้างตะกอนที่ตกค้างในห้องลูกลอยและตามข้อต่อ
- ตรวจสอบระบบกลไกของอุปกรณ์หรือลูกลอยควบคุมระดับน้ำ ว่าทำงานได้โดยไม่ติดขัด
- ทดสอบแรงดันของเครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำทุก 6 เดือน
- ทำความสะอาดอุปกรณ์ไฟฟ้า ถ้ามีฝุ่นเกาะมาก
- ตรวจสอบข้อต่อท่อเชื้อเพลิงก๊าซด้วยน้ำสบู่ว่ามีการรั่วซึมหรือไม่

- การบำรุงรักษารายปี
  - ตรวจสอบสภาพลิ้นนิรภัย (Safety valve) ว่ารั่วหรือไม่ ทำงานเที่ยงตรงหรือไม่ ถ้าไม่ดีจะเปลี่ยนใหม่หรือซ่อม
  - ตรวจสภาพวาล์วทุกตัว ว่ายังทำงานได้ดีหรือไม่ ปิดได้สนิทหรือไม่
  - ตรวจสภาพลูกปืนมอเตอร์ทั้งหมด
  - ทำความสะอาดภายในหม้อน้ำ (ด้านสัมผัสน้ำ) โดยการกำจัดตะกรันที่เกาะแข็งตัวอยู่ออกให้หมด
  - ถอดล้างไส้กรองเชื้อเพลิง
  - ให้วิศวกรที่ขึ้นทะเบียน เข้าทำการทดสอบความปลอดภัยประจำปีของหม้อน้ำตามหลักวิศวกรรมและกฎหายของหม้อน้ำ
  - ส่งผลการตรวจสอบที่มีลายเซ็นทั้งหมด ให้กับทางกรมโรงงานอุตสาหกรรม

สามารถสรุประยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบหม้อน้ำทั่วไป ได้ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบหม้อน้ำทั่วไป

สิ่งที่ต้องตรวจสอบหรือบำรุงรักษา	ระยะเวลา				
	1 วัน	7 วัน	1 เดือน	3-6 เดือน	1 ปี
หลอดแก้วแสดงระดับน้ำ วาล์ว และท่อ	O			M	
วาล์วถ่ายน้ำทิ้ง	O			M	
เครื่องควบคุมระดับน้ำแบบอิเลคโทรด	O			M	
เครื่องควบคุมระดับน้ำแบบลูกลอย	O			M	
สัญญาณเตือนภัยเมื่อระดับน้ำผิดปรกติ	O				M
เกจวัดอุณหภูมิปล่อง	O			M	

สิ่งที่ต้องตรวจสอบหรือบำรุงรักษา	ระยะเวลา				
	1 วัน	7 วัน	1 เดือน	3-6 เดือน	1 ปี
เกจวัดความดันและท่อเข้าเกจ		O			M
สวิตช์ควบคุมความดัน		O			M
คุณสมบัติของน้ำที่ป้อนเข้าหม้อน้ำ	O				
เครื่องปรับปรุงคุณภาพน้ำ		O		M	
เครื่องสูบน้ำป้อน		O		M	
วาล์วกันกลับ			O	M	
ลิ้นนิรภัย		O		M	
ชุดหัวฉีด		O		M	
ตาไฟ		O		M	
กระจกส่องดูการเผาไหม้			O	M	
อุปกรณ์อุ่นน้ำมัน		O		M	
ไส้กรองน้ำมัน			O	M	
ถังเก็บน้ำมัน			O		M
ท่อน้ำ ท่อไฟ เพดานเตาด้านสัมผัสไฟ				O	M
อิฐทนไฟ,ฉนวนกันความร้อน				O	M
ปลั๊กหลอมละลาย				O	M
เหล็กยึดโยง				O	M
ฝาหอย, ช่องทำความสะอาด				O	M
ถังพักไอ				O	M
อุปกรณ์แยกน้ำ				O	M
กับดักไอ				O	M
รับรองความปลอดภัยของหม้อน้ำโดยวิศวกร					M

หมายเหตุ:

O หมายถึง การตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ เช่น การระบายน้ำ การระบายไอ การอัดน้ำ ฯลฯ

M หมายถึง การบำรุงรักษา การปรับปรุงแก้ไข การทำความสะอาด การเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ ฯลฯ

3.2 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำแบบท่อน้ำ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำแบบท่อน้ำ โดยไม่แยกว่าเป็นการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาในฝั่งน้ำหรือฝั่งไฟ แต่จะเน้นการเสนอข้อแนะนำสำหรับนำไปใช้กับหม้อน้ำแบบท่อน้ำได้อย่างเหมาะสม การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำแบบท่อน้ำมีดังนี้

- น้ำสำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำต้องมีคุณภาพดีมาก เพราะถ้าท่อน้ำมีการกัดกร่อนจะเสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการเปลี่ยนท่อน้ำนานกว่าการเปลี่ยนท่อไฟของหม้อน้ำแบบท่อไฟมาก

- หม้อน้ำแบบท่อน้ำมีตะกรันไม่ได้แม้บางเท่าเปลือกไข่ เพราะจะทำให้เหล็กท่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ท่อน้ำเกิด Over heat เหล็กท่อน้ำจะสูญเสียความแข็งแรงโครงสร้างไป จะไม่สามารถรับความดันในท่อน้ำได้ ท่อน้ำจะแตกออกแม้ว่าจะเป็นความดันที่ต่ำก็ตาม
- ห้ามถ่ายน้ำทิ้งโดยเด็ดขาด แม้ว่าหม้อน้ำจะอุ่นแล้วก็ตาม การถ่ายน้ำทิ้งจะทำได้ต่อเมื่อหม้อน้ำเย็นลงจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้องแล้วเท่านั้น
- หม้อน้ำแบบท่อน้ำจะหยุดเดินหลายวันไม่ได้ ถ้าใช้เชื้อเพลิงที่มีสารกำมะถันสูง (เช่น น้ำมันเตา) เพราะจะเกิดการกัดกร่อนจากกรดกำมะถันที่ทำปฏิกิริยากับความชื้น (Cold end corrosion)
- หม้อน้ำแบบท่อน้ำถ้าใช้เชื้อเพลิงแข็ง ต้องตรวจสอบความหนาเหล็กของท่อน้ำทุกครั้งที่หยุดเครื่อง โดยเฉพาะเชื้อเพลิงแกลบ เพราะท่อน้ำจะถูกขัดสีจนท่อน้ำบางลง
- หากพบว่ามีการรั่วของท่อน้ำในหม้อน้ำแบบท่อน้ำ ต้องรีบหยุดเครื่องซ่อมทันทีและอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะหม้อน้ำแบบท่อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีสารกำมะถันสูง เพราะจะเกิดการกัดกร่อนจากกรดกำมะถันจำนวนมากที่เกิดขึ้นจากน้ำที่รั่วซึม (Sulfuric acid corrosion) เป็นบริเวณกว้าง ทำให้ท่อน้ำถูกกรดกัดกร่อนเป็นจำนวนมาก
- การทำความสะอาดเขม่าไฟที่เกิดขึ้นในหม้อน้ำแบบท่อน้ำ โดยใช้เครื่องเป่าเขม่า (Soot blower) มีข้อควรปฏิบัติดังนี้
  - ต้องตรวจสอบว่ารูพ่นไอน้ำบนท่อเป่าเขม่า(Soot blower) ไม่ตรงกันกับท่อน้ำ เพราะไอน้ำที่พ่นออกมาจะกัดกร่อนท่อน้ำจนทะลุเสียหายเป็นอันตราย
  - ตรวจสอบความดันของไอน้ำที่ใช้เป่าเขม่าไม่ต่ำกว่าที่ความดันที่ผู้ผลิตกำหนด ถ้าไม่มีข้อมูลจากที่ผู้ผลิตกำหนด แนะนำให้ใช้ความดันไอน้ำในการเป่าเขม่าไม่ต่ำกว่า 1 MPa ในหม้อน้ำแบบท่อน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง และไม่ต่ำกว่า 500 kPa ในหม้อน้ำแบบท่อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง
  - ก่อนการเป่าเขม่าต้องทำการอุ่นท่อไอน้ำก่อนเข้า Soot blower ที่ใช้เป่าเขม่าให้ร้อนก่อน และทำการระบายน้ำกลั่นตัวออกตลอดเวลา
  - การเป่าเขม่าจะทำได้ หม้อน้ำจะต้องมีการเร่งเครื่องให้มีการเผาไหม้ มากกว่า 50% เพราะอาจจะเกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้ได้ ถ้าหม้อน้ำมีการเผาไหม้ต่ำกว่า 50%
  - หลังการเป่าเขม่าทุกครั้ง ต้องปิดวาล์วไอน้ำและเปิดวาล์วบายพาสของท่อระบายน้ำไว้ ไม่เช่นนั้น ถ้าวาล์วไอน้ำมีการรั่วซึมจะมีน้ำเข้าไปสัมผัสเขม่า จะกลายเป็นกรดกำมะถันกัดกร่อนท่อน้ำอย่างรุนแรงได้
  - ตรวจสอบความดันของไอน้ำที่ใช้ในการทำความสะอาด
  - กรณีที่ความดันของไอน้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดที่ออกจากตัว Soot blower ลดลง อาจหมายถึงมีสิ่งสกปรก หรือ การอุดตันในท่อไอน้ำ
  - ทดสอบและตรวจสอบการรั่วไหลของไอน้ำที่ผ่านวาล์วต่างๆ ในระบบ
  - ตรวจสอบระบบความมั่นคงแข็งแรงในการยึดจับของตัว Soot blower

- ตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของ Soot blower เช่น Hanger bearing หรือ Soot blower nozzle จุดรองรับการเสียดสีของท่อ Soot รอยร้าว ส่วนเสียหายต่างๆ ความราบรื่นในการเคลื่อนที่ของตัว Soot และระบบหล่อลื่น
- ตรวจสอบวาล์ว ส่วนที่เคลื่อนที่ต่างๆ
- ตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ และระบบท่อเพื่อดูปัญหาการสึกกร่อน กัดกร่อน
- ตรวจสอบทิศทางการพ่นไอน้ำ และมุมของการพ่นทำความสะอาด

3.3 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำฝั่งสัมผัสน้ำ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำฝั่งสัมผัสน้ำ (Water side) ซึ่งหมายถึง ท่อ ผนัง และอุปกรณ์ที่สัมผัสกับน้ำโดยตรง ทั้งน้ำป้อน น้ำในหม้อน้ำ และคอนเดนเสท ทั้งนี้ไม่รวมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ เนื่องจากรายละเอียดเกี่ยวกับการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดังกล่าวจะได้อธิบายอย่างละเอียดในบทที่ 5 สำหรับการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำฝั่งสัมผัสน้ำสามารถสรุปได้ดังนี้

- ต้องมีการตรวจสอบสภาพภายในทางฝั่งสัมผัสน้ำทุกๆ 6 เดือน
- หม้อน้ำที่ติดตั้งใหม่ ควรตรวจสอบสภาพภายในทางฝั่งสัมผัสน้ำทุกๆ 3 เดือน
- ทำการล้างตะกรันเมื่อมีตะกรันหนา 1.5 มิลลิเมตร
- ถ้าไม่มีตะกรัน ก็ไม่ควรล้างตะกรันด้วยสารเคมี หากเป็นไปได้ควรกำจัดตะกรันด้วยเครื่องมือกล
- ถ้ามีการรั่วของปะเก็นทางฝั่งสัมผัสน้ำ จะต้องรีบแก้ไขทันที
- เหล็กหม้อน้ำบางลงได้จาก
  (ก) เกิดการกัดกร่อนจากความเป็นกรดของน้ำ
  (ข) เกิดการกัดกร่อนจากก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ
  (ค) ล้างตะกรันไม่ถูกต้อง
  (ง) ล้างตะกรันบ่อย และดูแลควบคุมระบบถังกรองน้ำอ่อนไม่ดี

การบำรุงรักษาภายในหม้อน้ำฝั่งสัมผัสน้ำหรือบริเวณที่สัมผัสกับน้ำโดยตรง ปรกติแล้วจะกระทำตั้งแต่ทุก 3 เดือน ถึง 6 เดือน หรือทุกปี โดยตรวจดูสภาพต่างๆ เช่น ความหนาตะกรัน การกัดกร่อน การผุกร่อน การบวม การย้อย การเสียรูป การแตกชำรุด เป็นต้น ตัวอย่างของปัญหา สาเหตุ ตลอดจนแนวทางการแก้ไขและป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นกับหม้อน้ำฝั่งสัมผัสน้ำ แสดงได้ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างของปัญหา สาเหตุ ตลอดจนแนวทางการแก้ไขและป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นกับหม้อน้ำฝั่งสัมผัสน้ำ

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไขและป้องกัน
มีตะกรันจับตามผิวสัมผัสน้ำ เช่น ภายในท่อน้ำ ภายนอกท่อไฟ ผนังเตา	1) น้ำที่ป้อนเข้าหม้อน้ำมีความกระด้างสูง มีสารละลาย เช่น Ca, Mg, $CaCo_3$, $MgCo_3$, และ $CaSo_4$ 2) ขาดการบำรุงรักษาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ถูกต้อง	1) ปรับสภาพน้ำให้เป็นน้ำอ่อน เติมสารเคมี ใช้คอนเดนเสท ป้อนเข้าหม้อน้ำ ขจัดตะกรันออกโดยการเคาะขัด หรือล้างน้ำยาเคมี 2) ฟื้นฟูสภาพสารเรซินในระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยการล้างด้วยน้ำเกลือตามเวลาที่เหมาะสม
มีตะกอนมาก น้ำขุ่น เกิดฟองหรือเกิดการเดือดพล่านในหม้อน้ำ	มีสารละลายแขวนลอย เช่น ตะไคร่น้ำ สาหร่าย โคลน สี หรือสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำมาก	มีการระบายน้ำทิ้งให้เหมาะสม (ครั้งละ 5 วินาที ไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อครั้ง) และปรับสภาพน้ำให้เหมาะสม ปล่อยให้ตกตะกอน การกรอง การดูดซึมด้วยผงถ่าน การทำน้ำอ่อน การแลกเปลี่ยนไอออนของน้ำป้อนหม้อน้ำ และใช้คอนเดนเสท
มีการแตกร้าวในเนื้อโลหะ	1) น้ำเป็นด่างมากเกินไป มี $NaCO_3$, $Na(HCO_3)$, $Na(HO_3)$ มาก 2) โครงสร้างรับแรงดันไม่แข็งแรง	1) Lime-soda softening, demineralization, or Anion exchange 2) ซ่อม เปลี่ยน หรือเสริมให้แข็งแรง
ไอน้ำมีน้ำปนมาก (Carry Over)	1) น้ำในหม้อน้ำสกปรก มีสิ่งเจือปนมาก 2) ท่อจ่ายไอน้ำเล็กเกินไป 3) มีการสูญเสียความร้อนที่ท่อจ่ายไอมาก 4) มีน้ำกลั่นตัวในท่อพักรวม 5) เปิดเครื่องใช้ไออย่างทันทีทันใด 6) หม้อน้ำเล็กเกินไป ทำให้ผลิตไอน้ำได้ไม่เพียงพอกับความต้องการ	1) ถ่ายน้ำทิ้งและเติมใหม่ กรองน้ำ 2) เปลี่ยนท่อจ่ายไอให้ใหญ่ขึ้น 3) หุ้มฉนวน 4) ติดตั้งกับดักไอน้ำเพื่อระบายน้ำทิ้ง 5) เปิดวาล์วจ่ายไอช้าๆ 6) ลดปริมาณการใช้ไอหรือสลับกันใช้ไอ

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไขและป้องกัน
ส่วนที่สัมผัสน้ำ ผุกร่อน หรือกัดกร่อนเป็นรูพรุน	1) น้ำเป็นกรด pH ต่ำกว่า 7 มี HCl, H_2SO_4 ละลายอยู่ในน้ำ 2) มี CO_2 ละลายอยู่ในน้ำ 3) มี O_2 ละลายในน้ำ 4) มีแร่ธาตุในน้ำ	1) ทำน้ำให้เป็นด่าง โดยการเติมสารเพื่อปรับ pH ให้มีค่าระหว่าง 9-11 2) แยก CO_2 ออกโดยถังไล่อากาศ หรือทำให้เป็นกลางโดยการเติมด่างหรือแอมโมเนีย 3) แยก O_2 ออกโดยถังไล่อากาศ หรือเติมโซดาแอช 4) แยกแร่ธาตุในน้ำออกโดย Aeration, Cation exchange ปล่อยให้ตกตะกอน หรือเติมไฮดราซีน
ภายนอกท่อไฟใหญ่ เพดานเตา หรือผิวสัมผัสไฟชำรุดบวม เสียรูป	1) น้ำในหม้อน้ำแห้ง 2) มีตะกรัน จับตามผิวสัมผัสไฟหนา 3) มีโคลน ตะกอนสะสมอยู่ในหม้อน้ำมาก 4) การออกแบบโครงสร้างไม่ถูกต้อง	1) ติดตั้งสัญญาณเตือนระดับน้ำต่ำกว่าปรกติ 2) ขจัดตะกรันออก ปรับคุณภาพน้ำให้เหมาะสม 3) ระบายน้ำทิ้งให้บ่อยขึ้น (ครั้งละ 5 วินาที ไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อครั้ง) 4) แก้ไขโครงสร้างใหม่ ปรึกษาวิศวกร

(ก) การดูแลรักษา Drum, header และท่อน้ำ ในฝั่งที่สัมผัสน้ำ

- ตรวจสอบการผุกร่อน (Corrosion) ตะกรัน (Scale) การกัดกร่อน (Pitting) และการสึกกร่อนตามส่วนต่างๆ
- ทำความสะอาดรอบประตูช่องเปิด (Manhole) ปรับผิวให้เรียบและเปลี่ยนปะเก็น
- ตรวจสอบการผุกร่อน การเกิดตะกรัน การสึกกร่อน และความแข็งแรงของจุดยึดต่างๆ ของอุปกรณ์แยกน้ำออกจากไอน้ำ (Separator) ใน Drum
- ตรวจสอบระบบป้อนสารเคมีให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
- ตรวจสอบข้อมูลการยืดตัวของ Drum และ Header
- ตรวจสอบการกัดกร่อน การสึกกร่อน ตะกอนสะสม รอยแตกหรือแยกบริเวณผิวท่อของท่อน้ำ
- ทำการเปลี่ยนปะเก็น ช่องคนลอด (Man hole) หรือตะปูเกลียวยึด (Stud thread)
- ตรวจสอบสภาพผิวท่อ รวมทั้งการสุ่มตรวจ วิเคราะห์ผลทางด้านโลหะวิทยาในจุดที่เคยเกิดปัญหา หรือคาดว่าจะเกิดปัญหา

- ตรวจสอบข้อมูลคุณภาพน้ำ และไอน้ำ ซึ่งเป็นข้อมูลในการคาดการณ์สภาพภายในของอุปกรณ์แยกน้ำ และไอน้ำใน Drum
- ตรวจสอบเสียงผิดปรกติใน Drum หากมีอาจหมายถึงการที่จุดต่อ หรือจุดยึดอุปกรณ์ภายใน Drum หลวม หรือหลุดอยู่

(ข) การดูแลรักษา Drum, header และท่อน้ำ ในฝั่งที่สัมผัสไฟ

- ตรวจสอบสภาพภายนอกของ Drum และ Header ดูสภาพการกัดกร่อนการสึกกร่อน ร่องรอยของ Overheat ตลอดจนรอยแตก รอยแยกของผิว
- ตรวจสอบฉนวนรอบ Drum และแก้ไขหากพบการชำรุด
- ตรวจสอบการรั่ว ความเสียหายของซีลที่จุดต่างๆ ของ Drum และ Header หากมีต้องทำการแก้ไขหรือเปลี่ยน
- ตรวจสอบจุดยึดและความแข็งแรงโดยรอบของ Drum และ Header รวมทั้งขนาดและทิศทางการขยายตัว
- ตรวจสอบระบบจับยึด และการขยายตัวของระบบโบลว์ดาวน์ ท่อต่างๆ ที่ต่อกับ Drum และ Header
- ตรวจสอบสภาพภายนอกของ Tube หรือ Fin ในระบบว่ามีความผิดปรกติหรือไม่ รวมทั้งการกัดเซาะจากระบบทำความสะอาดท่อ (Soot blower)

3.4 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำแบบท่อไฟ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำแบบท่อไฟ โดยไม่แยกว่าเป็นการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาในฝั่งน้ำหรือฝั่งไฟ แต่จะเน้นการเสนอข้อแนะนำสำหรับนำไปใช้กับหม้อน้ำแบบท่อไฟได้อย่างเหมาะสม การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำแบบท่อไฟมีดังนี้

(ก) ห้องเผาไหม้

- ตรวจสอบสภาพการสึกกร่อน แตกร้าว หรือผิดรูปของฉนวน และอิฐทนไฟ ในบริเวณที่มีการเผาไหม้ หรืออุณหภูมิสูง และทำการแก้ไขให้อยู่ในสภาพดี
- ตรวจสอบการบิดงอ โก่งตัวของโลหะที่อยู่ในบริเวณห้องเผาไหม้
- ตรวจสอบการรั่วซึมรอบๆ รอยต่อระหว่างห้องเผาไหม้ และห้องบรรจุน้ำ (Tube sheet)

(ข) ท่อไฟ (ภายใน หรือฝั่งสัมผัสไฟ)

- ตรวจสอบและทำความสะอาดท่อไฟ ทั้งนี้สิ่งตกค้างในระบบจากการทำความสะอาดท่อไฟจะเป็นตัวชี้วัดหนึ่งของประสิทธิภาพด้านการเผาไหม้
- ตรวจสอบสัญญาณการเกิด Overheat ที่บริเวณที่รับความร้อนสูงๆ
- ตรวจสอบการรั่วซึมของท่อ

- ตรวจสอบอุปกรณ์กระจายความร้อนในส่วนของก๊าซร้อนให้อยู่ในสภาพปรกติ
- ตรวจสอบและทำความสะอาดฉนวนกันความร้อนด้านก๊าซร้อน รวมทั้งตรวจหา Hot spot ที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ
- ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำตามจุดเชื่อมต่อต่างๆ
- ตรวจสอบรอยแตก (Crack) และสัญญาณของจุดที่อาจมีการรั่วซึมของน้ำ

(ค) ท่อและผนังภายนอก (ฝั่งสัมผัสน้ำ)

- ตรวจสอบตะกรัน การกัดกร่อน การสึกกร่อนของท่อด้านน้ำ รวมทั้งความสมบูรณ์ของโครงสร้างต่างๆ
- ทำความสะอาดอุปกรณ์และผิวด้านสัมผัสน้ำ ทำการเก็บตัวอย่างของคราบตะกรันเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุ ทำการป้องกันแก้ไขต่อไป
- ตรวจสอบการบิด การโก่งงอของส่วนประกอบต่างๆ รวมทั้งหาจุด Hot spot หรือ Overheat

(ง) การทำความสะอาดท่อไฟ

- ใช้แปรงแยงเขม่าที่ทำด้วยลวดเหล็กแยงด้วยแรงงานคนหรือขับด้วยมอเตอร์ และมีเครื่องดูดเขม่าไปเก็บในที่ ที่เหมาะสมไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

(จ) จุดสำคัญของการดูแลของหม้อน้ำชนิดท่อไฟแบบหลังเปียก

- ตรวจสอบความหนาของตะกรันที่บริเวณช่องของผนังเปียกด้านท้าย เพราะจะเป็นจุดที่มีตระกรันหนากว่าบริเวณอื่น
- ตรวจสอบสภาพเหล็กที่ผนังเปียก เพราะเป็นบริเวณที่เหล็กโครงสร้างหม้อน้ำที่สัมผัสเปลวไฟโดยตรง และเป็นโครงสร้างแผ่นเหล็กที่แบนเรียบที่ยึดด้วยเหล็กยึดโยงจำนวนมาก ที่บริเวณนี้อาจจะพบแผ่นเหล็กของผนังเปียกบวมเสียรูปได้ ถ้าเคยมีตะกรันหนามาก่อน
- ตรวจสอบสภาพเหล็กที่ช่องคนลอดเข้าบริเวณผนังเปียกด้านหลัง เพราะมักจะเป็นบริเวณที่เกิด Overheat และมีเหล็กแตกร้าวเสมอ
- ภายหลังจากแยงทำความสะอาดเขม่า ให้เข้าไปโกยเขม่าภายในหม้อน้ำตรงบริเวณหลังเปียกออกด้วย เพราะจะเป็นจุดที่เขม่าที่ถูกแยกลงไปกองสะสมอยู่ ถ้าไม่โกยเขม่าตรงบริเวณนี้ออก เมื่อเดินเครื่องหม้อน้ำจะทำให้มีเขม่าปลิวออกไปทางปล่องไฟจำนวนมาก ทำให้รบกวนภายในโรงงานเองและชุมชนใกล้เคียง

(ฉ) จุดสำคัญของการดูแลของหม้อน้ำชนิดท่อไฟแบบหลังแห้ง

- ตรวจสอบความหนาของตะกรันตรงบริเวณท่อไฟใหญ่ เพราะจะเป็นจุดที่มีตะกรันหนากว่าบริเวณอื่นๆ

- ตรวจสอบสภาพปากท่อไฟเล็กทั้งด้านหน้าและด้านหลังว่ามีการรั่วซึมหรือไม่ เพราะถ้าปากท่อไฟเล็กมีการรั่วซึม ไอน้ำที่รั่วซึมออกมาจะไปสัมผัสวัสดุทนไฟที่ฝาหม้อน้ำ ทำให้วัสดุทนไฟที่ฝาหม้อน้ำเสื่อมสภาพและมีอายุการใช้งานสั้นลง

(ช) การตรวจสอบอื่นๆ ที่สำคัญ

- ตรวจสอบความดันตกคร่อม (Pressure drop) ที่เกิดขึ้นในระบบทางด้านก๊าซร้อนที่อยู่ในเงื่อนไขการเดินเครื่องที่ผ่านมา เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาถึงความสะอาดในห้องเผาไหม้และช่องทางผ่านของก๊าซร้อน
- ตรวจสอบการแอ่นตัว และความผิดปรกติที่เกิดขึ้นกับท่อเหนือตะกรับเตาและส่วนอื่นๆ
- ตรวจสอบและเปรียบเทียบอุณหภูมิก๊าซร้อนที่ผ่านออกจากหม้อน้ำที่เงื่อนไขการเดินเครื่องใกล้เคียงกัน เพื่อตรวจสอบติดตามสภาพความสกปรกของผิวหน้าด้านก๊าซร้อน
- ตรวจสอบสภาพเปลวไฟผ่านทางช่องมองเปลวไฟของหม้อน้ำ เพื่อเป็นข้อมูลในการตรวจสอบรายละเอียดต่อไป
- เมื่อมีโอกาส ควรจัดให้มีการตรวจสอบระบบความปลอดภัยในส่วนของการควบคุมระบบการเผาไหม้ และระดับน้ำในหม้อน้ำ

3.5 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำฝั่งสัมผัสไฟ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำฝั่งสัมผัสไฟ (Fire side) ซึ่งหมายถึงท่อ ผนัง และอุปกรณ์ที่สัมผัสกับเปลวไฟ หรือก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้โดยตรง ทั้งนี้ไม่รวมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบเผาไหม้และระบบเชื้อเพลิง เนื่องจากรายละเอียดเกี่ยวกับการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบดังกล่าว จะได้อธิบายอย่างละเอียดในบทที่ 4 การดูแลบำรุงรักษาหม้อน้ำฝั่งสัมผัสไฟประกอบด้วย

- ต้องมีการตรวจสอบสภาพภายในทางฝั่งสัมผัสไฟทุก 6 เดือน
- ต้องตรวจสอบอิฐทนความร้อนว่ามีการแตกร้าวหรือไม่
- ให้ทำความสะอาดเขม่า เมื่อมีเขม่าหนา 1.5 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่านั้น เพราะเขม่าเป็นฉนวนความร้อน ทำให้สูญเสียความร้อนออกไปที่ปล่องไฟมากขึ้น
- แม้ว่าหม้อน้ำจะมีเขม่าเล็กน้อย ก็ควรทำความสะอาดทางฝั่งสัมผัสไฟทุกๆ 6 เดือน
- ถ้าหม้อน้ำมีการหยุดใช้งานนานหลายๆ วัน ระวังอย่าให้เขม่าชื้น เยิ้ม หรือถูกน้ำ เพราะเหล็กหม้อน้ำ จะถูกกัดกร่อนอย่างรุนแรงจากกรดกำมะถัน
- ถ้ามีการรั่วไหลของปะเก็นด้านไฟ จะต้องแก้ไขทันที เพราะอาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ด้านนอกหม้อน้ำ โดยเฉพาะบริเวณใกล้อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือน้ำมัน

- ความร้อนที่เกิดจากการรั่วของปะเก็นด้านไฟ อาจทำให้ฝาหม้อน้ำบิด เบี้ยวเสียรูป จะทำให้การปิดฝาหม้อน้ำทำได้ยาก และมีการรั่วของปะเก็นด้านไฟได้ง่าย

นอกจากนี้การใช้งานหม้อน้ำยังต้องมีการป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อนฝั่งสัมผัสไฟที่เกิดขึ้นจากกรดกำมะถัน (Cold end corrosion) เพิ่มเติมอีกด้วย หม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาหรือเชื้อเพลิงอื่นที่มีสารกำมะถันที่ไม่ได้เดินเครื่องหรือเดินเครื่องน้อย จะเกิดการกัดกร่อนของกรดกำมะถัน เพราะเมื่อน้ำมันเตาเกิดการเผาไหม้กับออกซิเจน สารกำมะถันในเชื้อเพลิงจะทำให้ปฏิกิริยากับออกซิเจน กลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์

$$S + O_2 \xrightarrow{\text{เปลวไฟ}} SO_2$$

ซึ่งบางส่วนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถเปลี่ยนรูปเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ได้ 2 วิธี คือ

1) การรวมกันกับอะตอมของออกซิเจนในเปลวไฟ

$$SO_2 + O \xrightarrow{\text{เปลวไฟ}} SO_3$$

หรือ 2) มีเฟอร์ริกออกไซด์ วานาเดียมเพนโตไซด์ หรือนิเกิล เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา

$$SO_2\ (1/2)O_2 + \text{Catalyst} \longrightarrow SO_3$$

ซึ่งซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ จะอยู่ในรูปก๊าซ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าจุดกลั่นตัวของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (Sulfuric acid dew point) ก็จะเกิดเป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4) เนื่องจากซัลเฟอร์ไตรออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับความชื้น (น้ำ, H_2O) กลายมาเป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ซึ่งจะกัดกร่อนเหล็กหม้อน้ำอย่างรวดเร็วรุนแรง โดยเฉพาะท่อน้ำของหม้อน้ำแบบท่อน้ำ

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

$$H_2\ SO_4 \longrightarrow Fe\ SO_4 + H_2$$

ในการทำงานทั่วไป โดยปรกติในขณะหม้อน้ำเดินเครื่องอยู่ ภายในหม้อน้ำจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดกลั่นตัวของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (Sulfuric acid dew point) ซึ่งอุณหภูมิจุดนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์กับปริมาณอากาศในการเผาไหม้ ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์สามารถตกค้างในหม้อน้ำฝั่งสัมผัสไฟ ปะปนอยู่กับเขม่าที่เกาะอยู่บนผนังท่อไฟ ถ้าหม้อน้ำเดินเครื่องร้อนอยู่ผิวของท่อน้ำจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดกลั่นตัวของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ จะไม่เกิดการกัดกร่อนเหล็กหม้อน้ำ แต่ถ้าหม้อน้ำหยุดเดินเครื่องและเย็นลง เขม่าจะมีลักษณะเยิ้ม เหนียว เพราะซัลเฟอร์ไตรออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับความชื้น (น้ำ, H_2O) กลายเป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ซึ่งจะกัดกร่อนหม้อน้ำอย่างรวดเร็วรุนแรงโดยเฉพาะกับท่อไฟ

ปัญหาการกัดกร่อนโดยกรดกำมะถันจากสารกำมะถันในเชื้อเพลิงนี้ ความรุนแรงจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารกำมะถันในเชื้อเพลิง อุณหภูมิการทำงาน ปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess air) ในการเผาไหม้ Catalyst ความชื้นในเชื้อเพลิง การรั่วซึมของน้ำ วิธีการเป่าไล่เขม่า (Soot blower)

วิธีการแก้ไขปัญหา คือ การป้องกันการเกิดกรดกำมะถันขึ้น โดยทำให้ผิวเหล็กมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดกลั่นตัวของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ตลอดเวลา แม้ว่าจะหยุดเครื่องแล้วก็ตาม

บทที่ 4
อุปกรณ์และระบบความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำ

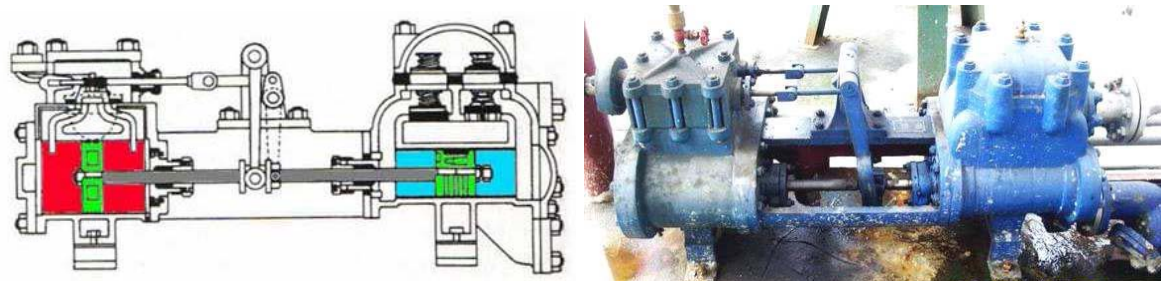
ในการใช้งานหม้อน้ำให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดนั้น จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์และระบบความปลอดภัยให้ครบถ้วนตามที่ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549 ได้กำหนดไว้ นอกจากการติดตั้งที่ถูกต้องแล้ว ความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้อง ในการใช้งาน การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษา ก็เป็นส่วนสำคัญที่ไม่สามารถละเลยได้ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำจึงจำเป็นต้องศึกษา ทบทวนความรู้ และเพิ่มพูนประสบการณ์ เกี่ยวกับอุปกรณ์และระบบความปลอดภัยให้ละเอียดแม่นยำที่สุดก่อนที่จะดำเนินการใดๆ กับหม้อน้ำที่ตนเองรับผิดชอบ

4.1 เครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำ

เครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำ (Feedwater pump) ทำหน้าที่สูบน้ำป้อนที่มีความดันต่ำ เข้าสู่หม้อน้ำที่ความดันสูง เพื่อทดแทนน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอน้ำออกไปจากหม้อน้ำ เครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำมีหลายชนิด ได้แก่

1) เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ

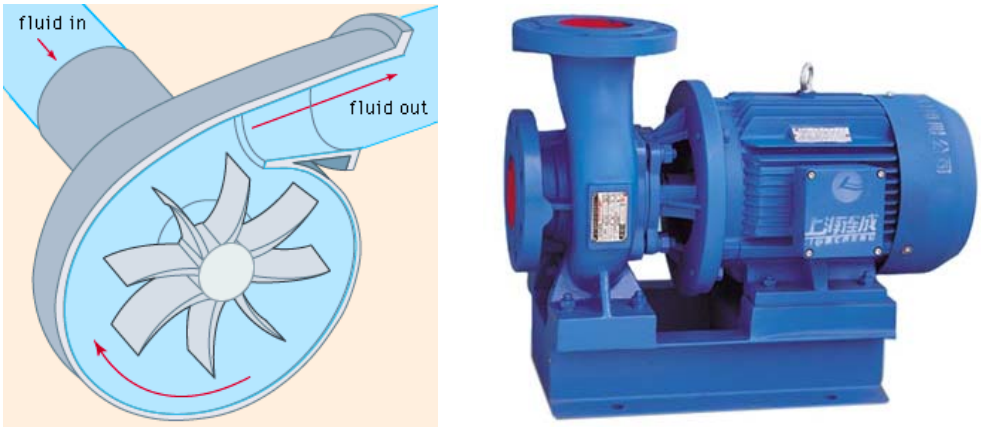
เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ (Reciprocating pump) ทำงานโดยอาศัยการลดปริมาตรเพื่อเพิ่มความดันให้แก่น้ำ บางครั้งเรียกว่าเครื่องสูบน้ำแบบปริมาตรเปลี่ยนแปลง (Positive displacement pump) สำหรับเครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำแบบลูกสูบแบบพิเศษ จะมีลักษณะเหมือนเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบทั่วไป แต่ส่วนที่เป็นพิเศษคือจะประกอบไปด้วยลูกสูบไอน้ำ และลูกสูบน้ำ โดยที่มีการนำไอน้ำที่ได้จากหม้อน้ำมาขับดันลูกสูบไอน้ำที่ติดอยู่บนเพลาเดียวกันกับลูกสูบน้ำ ทำให้ลูกสูบน้ำสามารถป้อนน้ำให้กับหม้อน้ำได้เอง โดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4-1 เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบเป็นเครื่องสูบน้ำทำงานที่ความเร็วต่ำ แต่ทำความดันได้สูงมาก แต่อัตราการไหลไม่ราบเรียบนัก



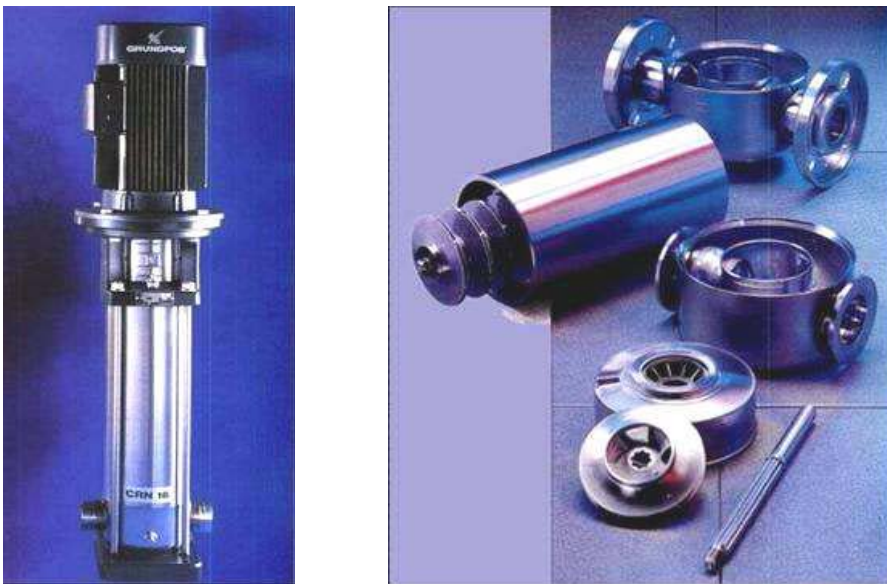
รูปที่ 4-1 เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ

2) เครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

เครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump) เป็นเครื่องสูบน้ำที่ใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนของใบพัดด้วยความเร็วสูงเป็นตัวเพิ่มความดันให้แก่น้ำ หากเครื่องสูบน้ำมีใบพัดเพียงชุดเดียวมักจะเรียกกันในอีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง ซึ่งเรียกตามลักษณะภายนอกของเปลือกของเครื่องสูบน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4-2 แต่เนื่องจากแต่ละใบพัดเพียงชุดเดียวไม่สามารถทำความดันน้ำได้สูงมากนัก จึงมีการนำใบพัดหลายใบมาเรียงต่อกัน โดยใบพัดแต่ละชุดทำหน้าที่เพิ่มความดันของน้ำขึ้นอย่างต่อเนื่องกันแบบอนุกรม ซึ่งจะเรียกเครื่องสูบน้ำที่มีหลายใบพัดนี้ว่า เครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางชนิดหลายขั้นตอน (Multi-stage centrifugal pump) ดังแสดงในรูปที่ 4-3



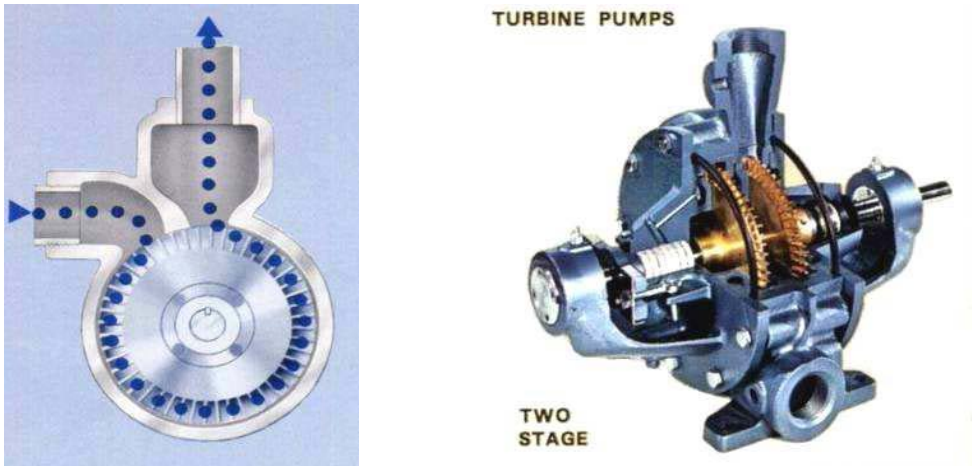
รูปที่ 4-2 เครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือแบบหอยโข่ง



รูปที่ 4-3 เครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางชนิดหลายขั้นตอน

3) เครื่องสูบน้ำแบบเทอร์ไบน์

เครื่องสูบน้ำแบบเทอร์ไบน์ (Turbine pump) เป็นเครื่องสูบน้ำแบบที่เพิ่มความดันให้แก่น้ำโดยอาศัยการหมุนของใบพัดเทอร์ไบน์ เนื่องจากแต่ละใบพัดเทอร์ไบน์สามารถสร้างความดันได้สูงมาก จึงไม่จำเป็นต้องมีจำนวนของใบพัดมากเครื่องสูบน้ำป้อนแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ดังแสดงในรูปที่ 4-4

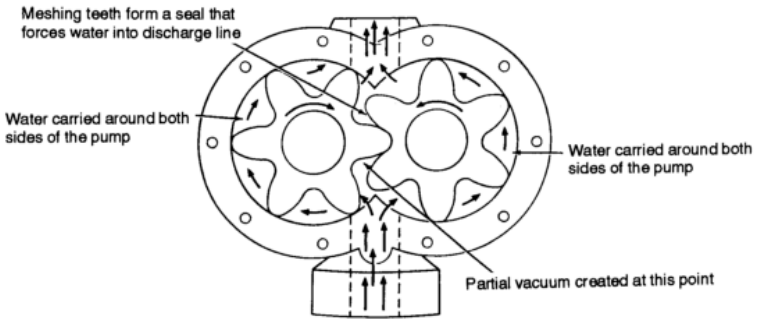


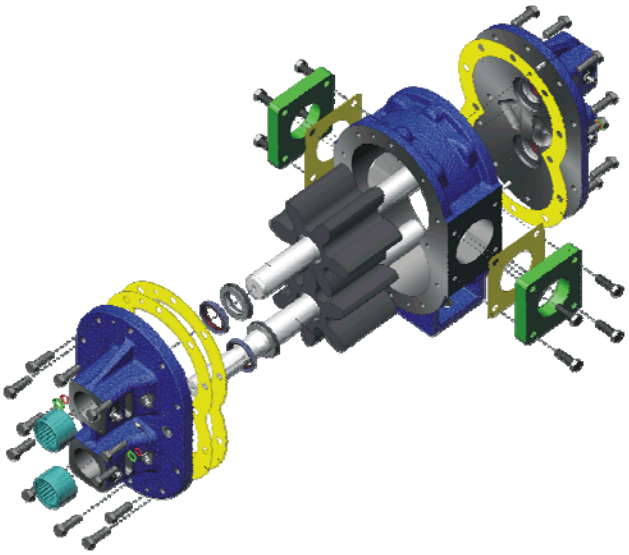
รูปที่ 4-4 เครื่องสูบน้ำแบบเทอร์ไบน์

4) เครื่องสูบน้ำแบบโรตารี

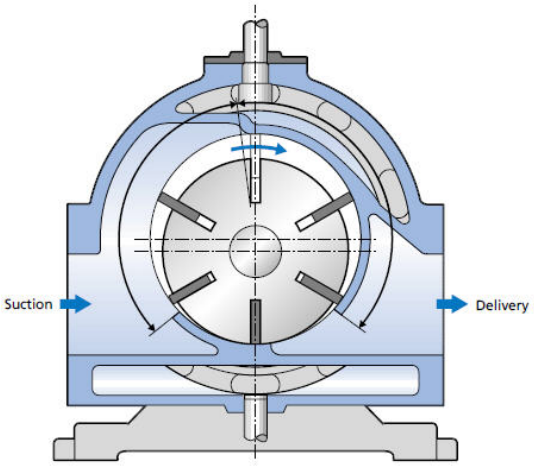
เครื่องสูบน้ำแบบโรตารี (Rotary pump) หรือเครื่องสูบน้ำแบบหมุน มีหลักการทำงานคือของเหลวถูกดูดเข้าตัวเครื่องสูบน้ำและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับชิ้นส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์ (Rotor) และไหลออกทางด้านจ่าย อัตราการสูบขึ้นอยู่กับอัตราการแทนที่ของเหลวและโรเตอร์ โรเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวจะถูกยึดติดและหมุนไปพร้อมกับแกนเพลาขับซึ่งต่อมาจากต้นกำลัง เช่น มอเตอร์ เป็นต้น เครื่องสูบน้ำแบบโรตารีแบ่งย่อยได้หลายประเภท ได้แก่

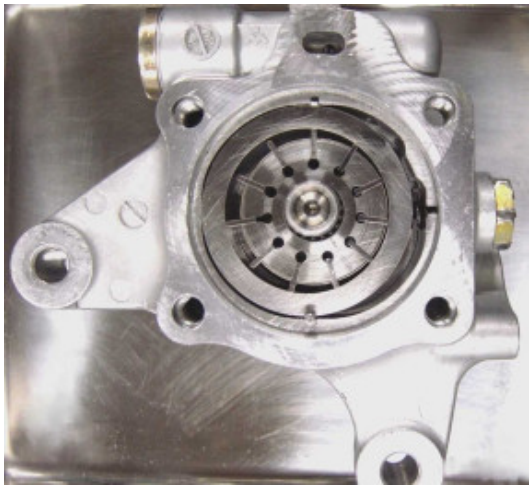
- แบบเฟือง (Gear pump) ภายในห้องสูบประกอบด้วยเฟืองขับและเฟืองตามที่ขบกันอยู่ตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4-5 (ก)
- แบบครีบ (Vane pump) ภายในห้องสูบเป็นรูปทรงกระบอก มีครีบที่สามารถเลื่อนเข้าออกได้ยึดติดอยู่กับแกนเพลาที่ติดตั้งแบบเยื้องศูนย์กับจุดศูนย์กลางของห้องสูบ ดังแสดงในรูปที่ 4-5 (ข)
- แบบลอน (Lobe pump) โครงสร้างและหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องสูบน้ำแบบเฟือง แต่เปลี่ยนจากเฟืองฟันละเอียดเป็นเฟืองแบบลอนที่มีเพียงแค่ 2 – 5 ลอนต่อเฟืองหนึ่งตัว ดังแสดงในรูปที่ 4-5 (ค) เครื่องสูบน้ำแบบลอนมีอัตราสูบที่สูงกว่าแบบเฟืองและแบบครีบ
- แบบเกลียว (Screw pump) เพิ่มพลังงานให้ของเหลวลักษณะขับดันของเหลวเคลื่อนที่ไปตามช่องระหว่างร่องเกลียวกับผนังห้องสูบจนถึงทางออก แสดงในรูปที่ 4-5 (ง) เหมาะสำหรับใช้สูบของเหลวมีความข้นสูง





(ก) แบบเฟือง

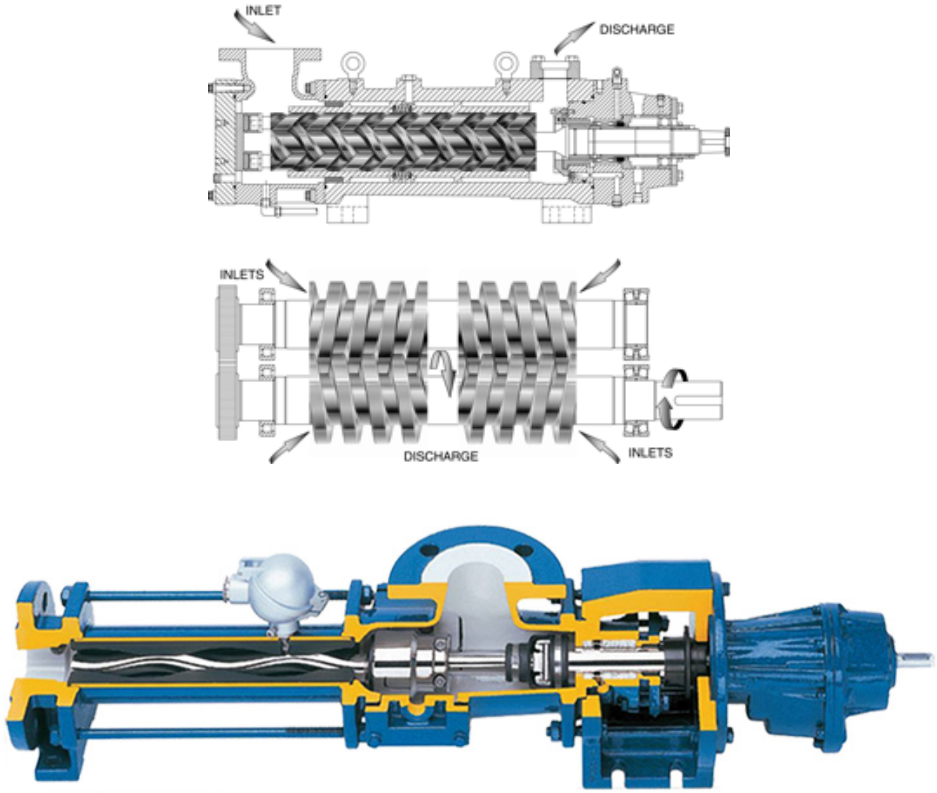




(ข) แบบครีบ

รูปที่ 4-5 เครื่องสูบน้ำแบบโรตารี

(ค) แบบลอน



(ง) แบบเกลียว

รูปที่ 4-5 เครื่องสูบน้ำแบบโรตารี (ต่อ)

4.1.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยที่เกี่ยวกับการติดตั้งและการใช้งานเครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำกำหนดไว้ว่า เครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำต้องสามารถสูบน้ำป้อนหม้อน้ำที่ปริมาณไม่น้อยกว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุด และต้องสามารถสูบน้ำป้อนหม้อน้ำที่ความดันไม่น้อยกว่า 1.1 เท่าของความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (Maximum allowable working pressure: MAWP)

4.1.2 การใช้งาน

แบ่งตามชนิดของเครื่องสูบน้ำป้อนได้ดังนี้

1) เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ

- เหมาะสำหรับใช้งานกับการป้อนน้ำเข้าสู่หม้อน้ำที่มีความดันไอน้ำสูงมาก
- ไม่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับการป้อนน้ำแบบต่อเนื่องตลอดเวลา (Continuous feed) ที่ใช้วาล์วน้ำ (Control valve) เป็นตัวปรับอัตราการไหลของน้ำ เนื่องจากอัตราการไหลไม่ราบเรียบ

2) เครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางชนิดหลายขั้นตอน

- เหมาะสำหรับใช้งานกับการป้อนน้ำแบบต่อเนื่องตลอดเวลา (Continuous feed) ที่ใช้วาล์วน้ำ (Control valve) เป็นตัวปรับอัตราการไหลของน้ำ
- ถ้านำมาใช้กับถังไล่อากาศ (Deaerator) จะต้องเลือกชนิดของเครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางชนิดหลายขั้นตอนที่จะสามารถทนอุณหภูมิสูงของน้ำจากถังไล่อากาศได้
- เครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางชนิดหลายขั้นตอนจะเสียหายได้ง่าย ถ้ามีการอุดตันหรือน้ำไม่ไหล เพราะโครงสร้างใบพัดและเสื้อ (Casing) ของเครื่องสูบน้ำป้อนแบบนี้ มักจะขึ้นรูปจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (Sheet metal)
- พบได้ว่าถ้าควบคุมระบบกรองน้ำอ่อนไม่ดี ทำให้มีน้ำกระด้างหลุดรอดเข้ามาในเครื่องสูบน้ำป้อนได้ จะทำให้มีการเกาะตัวของตะกรันขึ้นในใบพัดเครื่องสูบน้ำ เกิดการอุดตันของช่องรูทางน้ำเข้าใบพัด ส่งผลให้เครื่องสูบน้ำเสียหายได้

3) เครื่องสูบน้ำแบบเทอร์ไบน์

- เหมาะสำหรับใช้งานกับการป้อนน้ำแบบตัดต่อ (On - off) หรือการทำงานแบบเป็นช่วง (Intermittent)
- เครื่องสูบน้ำแบบเทอร์ไบน์สามารถทนอุณหภูมิได้สูง โดยเฉพาะในระบบหม้อน้ำที่มีถังไล่อากาศที่น้ำป้อนจะมีอุณหภูมิประมาณ 108 $^{\circ}$C โดยทั่วไปแล้วอายุการใช้งานเครื่องสูบน้ำป้อนแบบเทอร์ไบน์จะนานกว่าเครื่องสูบน้ำป้อนแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางชนิดหลายขั้นตอน

ปัญหาเครื่องสูบน้ำที่พบบ่อย ได้แก่

- ลืมเปิดวาล์วที่ท่อส่งหรือท่อดูดน้ำ
- เกิดการอุดตันในท่อส่งหรือท่อดูดน้ำ
- ปั๊มน้ำชำรุด
- ปั๊มน้ำร้อนจัด
- วาล์วกันกลับที่ท่อส่งน้ำชำรุด หรือลิ้นติดค้างเนื่องจากตะกรันหรือวัสดุอื่นๆ

4.1.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

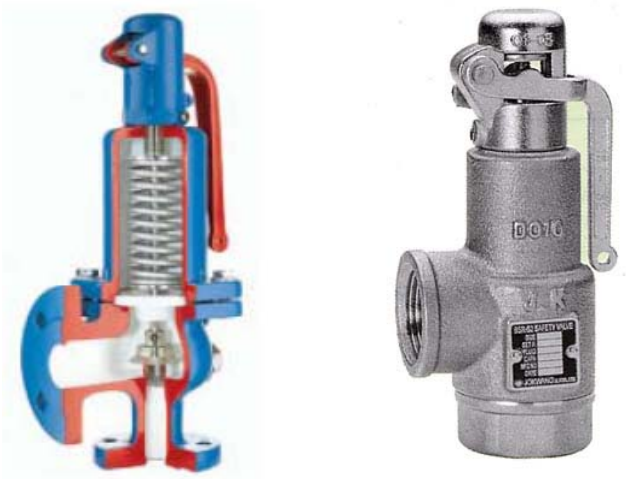
- หากเกิดปัญหาอาการปั๊มน้ำไม่เข้า เนื่องจากลิ้นกันกลับมีการรั่วซึมย้อนกลับ ซึ่งเป็นอันตรายมากเนื่องจากเป็นสาเหตุทำให้น้ำในหม้อน้ำแห้ง และทำให้หม้อน้ำระเบิดได้ ดังนั้นหากตรวจพบให้รีบซ่อมแซมโดยทันที พร้อมกับติดตั้งลิ้นกันกลับที่ท่อป้อนน้ำเพิ่มอย่างน้อย 2 ชุด
- ควรทดสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำทุกวัน และทำการบำรุงรักษาหรือทำความสะอาดอุปกรณ์ในระบบทุกปี รายละเอียดการตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ปลีกย่อยในเครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำ แสดงได้ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 การตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ปลีกย่อยในเครื่องสูบน้ำป้อน

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
เครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำ	แกนหมุน (Rotor)	ตรวจสอบความผิดปรกติของเสียงและการสั่นสะเทือน	ไม่มีความผิดปรกติของเสียงและการสั่นสะเทือน
	ปะเก็นหรือปลอกกันซึม (Gland)	1) ถ้าเป็นซีลทางกลต้องตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำ หรือความผิดปรกติของอุณหภูมิที่สูง 2) ถ้าเป็นปะเก็นเชือก ต้องตรวจสอบความผิดปรกติของอุณหภูมิที่สูง และการทำงานของซีล	1) ไม่มีการรั่วซึมและความร้อนสูงผิดปรกติ 2) ไม่มีความร้อนสูงผิดปรกติการมีน้ำและ ส่วนขอบที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้ซีลแน่นเป็นสิ่งจำเป็น
	ตลับลูกปืน (Bearing)	ตรวจสอบการสั่นสะเทือนที่ผิดปรกติการรั่วซึมของสารหล่อลื่น ความร้อนที่ผิดปรกติและสภาพการหล่อลื่น	ไม่มีการสั่นสะเทือนที่ผิดปรกติ ไม่มีการรั่วซึมของสารหล่อลื่น ไม่มีความร้อนสูง ปริมาณและคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นอยู่ในเกณฑ์เหมาะสม
	ก้านเพลา (Shaft)	ตรวจสอบการเยื้องศูนย์ (Eccentricity) และหนีศูนย์ (Run out)	ไม่มีการเยื้องศูนย์และหนีศูนย์
	มาตรวัดการไหลและความดัน	1) ตรวจสอบอัตราการไหลของการเติมน้ำเข้าระบบ 2) ตรวจสอบแรงดันขาออกจากปั๊ม	1) อัตราการการเติมน้ำเข้าระบบต้องอยู่ในเกณฑ์ปรกติ 2) ความดันของปั๊มต้องอยู่ในเกณฑ์ปรกติ

4.2 ลิ้นนิรภัย

ลิ้นนิรภัย (Safety relief valve) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในหม้อน้ำ ลิ้นนิรภัยจะเปิดขึ้นเพื่อระบายไอน้ำออกสู่บรรยากาศภายนอกหากความดันในหม้อน้ำเกินพิกัดที่ตั้งไว้ และจะปิดลงเมื่อความดันไอน้ำลดลงต่ำกว่าพิกัดที่ตั้งไว้ ดังนั้นลิ้นนิรภัยจึงทำหน้าที่รักษาระดับความดันไม่ให้เกินกว่าพิกัดที่ตั้งไว้ เป็นการป้องกันการระเบิดด้วยเหตุอันเนื่องมาจากความดันไอน้ำเกินพิกัด ทำให้เกิดความปลอดภัยต่อการใช้งาน ลิ้นนิรภัยที่นิยมใช้เป็นแบบสปริงดันกลับ ดังแสดงในรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 ลิ้นนิรภัยแบบสปริงดันกลับ

4.2.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยที่เกี่ยวกับการติดตั้งและการใช้งานลิ้นนิรภัยสำหรับหม้อน้ำกำหนดไว้ดังนี้

- ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด และในกรณีที่หม้อน้ำมีพื้นที่ผิวรับความร้อนมากกว่า 50 ตารางเมตร ต้องติดตั้งอย่างน้อย 2 ชุด
- ต้องสามารถระบายไอน้ำที่ความดันออกแบบหม้อน้ำได้ไม่น้อยกว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุด และต้องระบายไอน้ำได้มากกว่าอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงสูงสุด (Maximum firing rate)
- ต้องสามารถทดสอบการทำงานได้ในขณะใช้งาน
- ต้องไม่มีลิ้นปิดเปิดคั่นระหว่างหม้อน้ำกับลิ้นนิรภัยและต้องไม่มีลิ้นปิดเปิด หรือปลั๊กอุดที่ท่อทางออกของลิ้นนิรภัย
- ต้องปรับตั้งลิ้นนิรภัยให้ระบายไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 1.03 เท่าของความดันอนุญาตใช้งานสูงสุดของหม้อน้ำ (MAWP)
- การต่อท่อระบายไอน้ำออกจากลิ้นนิรภัย ต้องมีขนาดและวิธีการติดตั้งที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม
- ต้องจัดให้มีการป้องกันอันตรายหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญ เนื่องจากความดัน ความร้อนและเสียงซึ่งเกิดจากการระบายไอน้ำของลิ้นนิรภัย

4.2.2 การใช้งาน

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบ่าลิ้นไม่ควรเล็กกว่า 15 มิลลิเมตร
- ท่อทางออกของลิ้นนิรภัยต้องไม่เล็กกว่าท่อทางเข้า
- ท่อทางออกที่ใช้ระบายไอน้ำจากลิ้นนิรภัยไม่ควรมีข้องอเกินกว่า 2 แห่ง
- เมื่อทำการระบายไอน้ำออกแล้ว ความดันไอน้ำภายในหม้อน้ำ จะต้องลดลงอย่างน้อย 2% และต้องไม่น้อยกว่า 2 psi ของความดันที่ได้ปรับตั้งให้ลิ้นนิรภัยเปิด เมื่อลิ้นนิรภัยปิดและหยุดระบาย
- ในกรณีที่ต้องต่อท่อออกจากลิ้นนิรภัยควรใช้ Dip pan เพื่อตัดไม่ให้น้ำหนักของท่อกดลงที่ตัวลิ้นนิรภัย และท่อที่ต่อออกไปต้องยึดให้มั่นคงแข็งแรง
- ต้องติดตั้งท่อระบายน้ำที่ตกค้างภายในท่อทางออก และต่อท่อระบายไปในจุดที่ปลอดภัย

4.2.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

- สำรวจสภาพของลิ้นนิรภัยด้วยสายตาว่าอยู่ในสภาพปรกติหรือไม่ และทดสอบโดยการดึงก้านยกลิ้นนิรภัยด้วยว่าทำงานได้คล่องหรือไม่
- ลิ้นนิรภัยต้องทดสอบสภาพการใช้งานอยู่เสมอ อย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง
- ตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ภายในและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับลิ้นนิรภัยสำหรับหม้อน้ำ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4-2

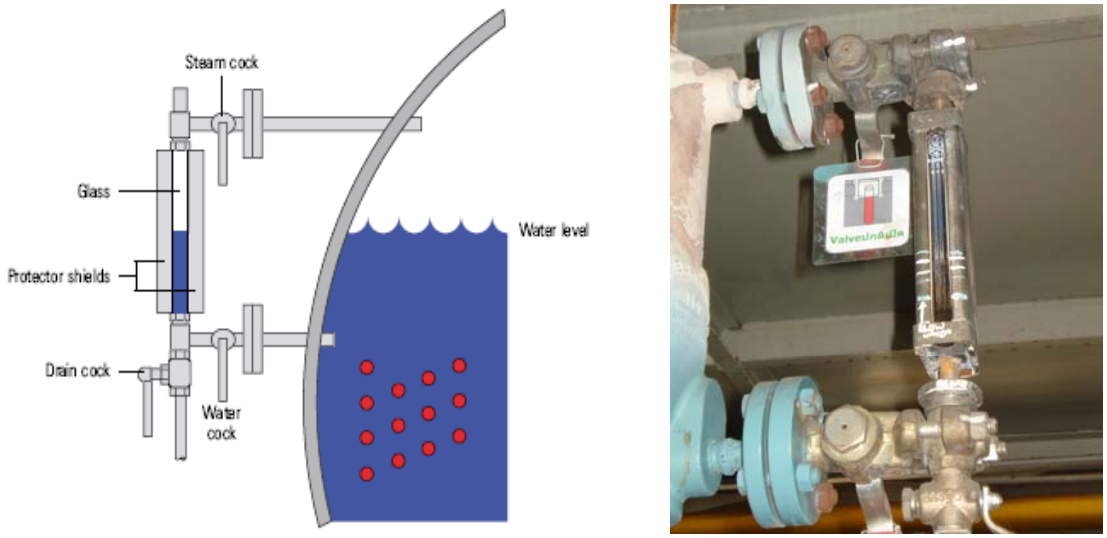
ตารางที่ 4-2 การตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ภายในและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับลิ้นนิรภัย

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
ลิ้นนิรภัย	วาล์ว	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำและไอน้ำ	ไม่มีการรั่วซึม
	สปริง	ตรวจสอบการแตกหัก คราบสนิมและการเปรอะเปื้อน	ไม่มีการแตกหัก คราบสนิมและรอยเปรอะที่สังเกตได้
	ชิ้นส่วนที่อยู่กับที่	ตรวจสอบการรั่วซึมของไอน้ำและน้ำ การหลุดหลวมของตะปูควง คราบสนิมและการเปรอะเปื้อน	ไม่มีการรั่วซึม การหลุดหลวม คราบสนิมและรอยเปรอะที่สังเกตได้
	ท่อระบายไอน้ำ	ตรวจสอบสภาพของฉนวนความร้อน การรั่วซึมของน้ำและการอุดตัน	ไม่มีน้ำหยด หรือความเสียหายที่ฉนวนความร้อน ไม่มีการรั่วซึมของน้ำ ไม่มีการอุดตันของท่อ

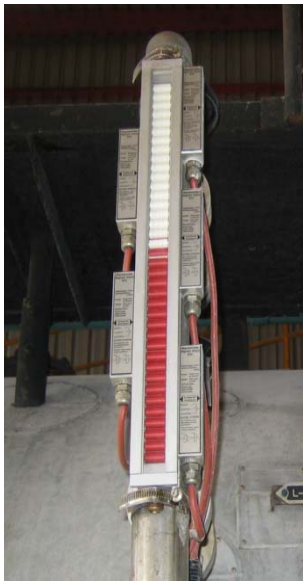
- กรณีที่พบความผิดปรกติของการทำงานของลิ้นนิรภัย จะต้องมีการดำเนินการแก้ไขโดยช่างผู้ชำนาญงาน ดังต่อไปนี้
  - ตรวจสอบ Valve nozzle และ Disk seat ทำการบดบ่าวาล์วตามคำแนะนำของผู้ผลิต
  - ตรวจสอบชิ้นส่วนภายในของวาล์ว ดูสภาพ การกัดกร่อน สึกกร่อน และรอยขีดข่วน แก้ไขหรือเปลี่ยนตามคำแนะนำของผู้ผลิต
  - ตรวจสอบส่วนประกอบของสปริงวาล์ว ถึงการสึกกร่อน แตกร้าว ความยืดหยุ่นของสปริง
  - ตรวจสอบแกนวาล์วว่าไม่โก่งงอ เสียรูป รวมทั้งเกลียวปรับสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบ
  - ตรวจสอบท่อทางออกของไอน้ำ และท่อระบายน้ำว่ามีความปลอดภัย สามารถขยายตัวหดตัวได้ปรกติ
  - ทดสอบการทำงานของวาล์วภายใต้ความดันใช้งาน ปรับให้ทำงานตามที่ออกแบบ บันทึกค่าความดันที่วาล์วเปิด

4.3 อุปกรณ์แสดงระดับน้ำ

อุปกรณ์แสดงระดับน้ำ คืออุปกรณ์ใช้สำหรับสังเกตระดับน้ำด้วยสายตา เพื่อให้ทราบถึงระดับน้ำภายในหม้อน้ำ ตัวอย่างของอุปกรณ์แสดงระดับน้ำที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ หลอดแก้ววัดระดับน้ำ หรือแท่งแก้ววัดระดับน้ำ (Level sight glass) ดังแสดงในรูปที่ 4-7 และอุปกรณ์แสดงระดับน้ำแบบแถบแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4-8 ซึ่งแท่งแก้ววัดระดับน้ำนี้จะติดตั้งอยู่ด้านนอกเปลือกของหม้อน้ำ โดยทั่วไปหม้อน้ำหนึ่งเครื่องควรติดตั้งแท่งแก้ววัดระดับน้ำไว้อย่างน้อย 2 ชุด เพื่อใช้ในการสอบเทียบความถูกต้องในการวัดระหว่างหลอดแก้ววัดระดับน้ำหรือแท่งแก้ววัดระดับน้ำ แต่ละตัวไปด้วย



รูปที่ 4-7 หลอดแก้ววัดระดับน้ำ หรือแท่งแก้ววัดระดับน้ำ



รูปที่ 4-8 อุปกรณ์แสดงระดับน้ำแบบแถบแม่เหล็ก

4.3.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยที่เกี่ยวกับการติดตั้งหลอดแก้ววัดระดับน้ำ หรือแท่งแก้ววัดระดับน้ำสำหรับหม้อน้ำกำหนดไว้ดังนี้

- ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด
- ต้องติดตั้งครอบป้องกันอันตราย ในกรณีอุปกรณ์แสดงระดับน้ำเป็นแบบหลอดแก้วและหลอดแก้วต้องเป็นชนิดนิรภัย
- ต้องมีเครื่องหมายแสดงระดับน้ำต่ำสุด ระดับน้ำปรกติและระดับน้ำสูงสุดให้เห็นชัดเจน
- ต้องติดตั้งลิ้นปิดเปิด ที่ท่อระหว่างหม้อน้ำกับอุปกรณ์แสดงระดับน้ำโดยขนาดของท่อและลิ้นปิดเปิดต้องไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร
- ต้องติดตั้งลิ้นปิดเปิดและต่อท่อระบายใต้อุปกรณ์แสดงระดับน้ำไปยังที่ที่ปลอดภัยและสามารถมองเห็นน้ำหรือไอน้ำที่ระบายออก

4.3.2 การใช้งาน

- ในขณะที่ใช้หม้อน้ำจะต้องรักษาระดับน้ำภายหม้อน้ำให้ท่วมผิวสัมผัสไฟอยู่เสมอ ระดับน้ำในหลอดแก้วควรไม่สูงเกินไปเพราะจะทำให้ไอน้ำมีน้ำปนมาก มีสิ่งติดพาไปกับไอน้ำทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนลดลง แต่ระดับน้ำก็ไม่ควรต่ำเกินไปเพราะอาจทำให้ผิวสัมผัสไฟบางส่วนเสียรูปได้ง่ายและเกิดอันตรายได้
- แบบหลอดแก้วดูระดับน้ำควรใช้งานที่ความดันต่ำกว่าความดันออกแบบไว้พอสมควร เพราะถ้าเกิดแตกแล้วเป็นอันตรายมาก และอาจทำความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียงได้ โดยปรกติหลอดแก้วกลมแบบทั่วไป ไม่ควรใช้งานเกินกว่า 800 kPa แม้ว่าจะออกแบบไว้ให้ใช้งานที่ความดันสูงกว่านี้

- ถ้าหม้อน้ำผลิตความดันไอน้ำสูงกว่า 800 kPa ควรใช้เป็นแบบแท่งแก้วแบนมากกว่า ยกเว้นจะเป็นหลอดแก้วกลมที่ออกแบบมาพิเศษให้ใช้งานที่ความดันสูงได้ แต่ควรตรวจสอบให้แน่ใจก่อนนำมาใช้งาน
- ควรใช้วาล์วหลอดแก้วแบบมี Self check valve ที่จะปิดวาล์วหลอดแก้วเมื่อหลอดแก้วแตก เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำหรือไอน้ำพ่นออกมาให้เป็นอันตรายได้

4.3.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

- จะต้องมีการระบายสิ่งสกปรกในชุดวาล์วและอุปกรณ์แสดงระดับน้ำอย่างน้อยที่สุดทุก 8 ชั่วโมงต่อครั้ง
- ถ้ามีการรั่วซึมหรือพบว่าหลอดแก้วหรือแท่งแก้วมีการสึกกร่อนบางลง จะต้องปรับเปลี่ยนปะเก็นหรือหลอดแก้วทันที
- ตรวจสอบการรั่วซึมความสะอาด ความชัดเจนในการมองเห็นของอุปกรณ์แสดงระดับน้ำ
- ตรวจสอบความสว่าง อุปกรณ์สะท้อนแสง และกระจก ว่าสามารถใช้งานได้ตามปรกติ
- ตรวจสอบระบบเปิด-ปิดน้ำเข้าอุปกรณ์แสดงระดับน้ำ ทั้งในส่วนของวาล์วน้ำและวาล์วไอน้ำ โดยใช้โซ่ดึง (ถ้ามี) ว่าสามารถใช้งานได้ปรกติ
- ตรวจสอบว่าอุปกรณ์แสดงระดับน้ำสามารถขยายตัว หดตัวได้สะดวก
- ตรวจสอบท่อ ข้อต่อเข้าอุปกรณ์แสดงระดับน้ำมีสภาพปรกติ ไม่รั่วซึม ไม่มีสิ่งสกปรกอุดตัน ตลอดจนมีฉนวนกันความร้อนเรียบร้อยสมบูรณ์
- ตรวจสอบว่าสัญญาณแจ้งระดับน้ำสูงหรือต่ำกว่าที่กำหนดไว้สามารถใช้งานได้ปรกติ
- ตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แสดงระดับน้ำ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 การตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แสดงระดับน้ำ

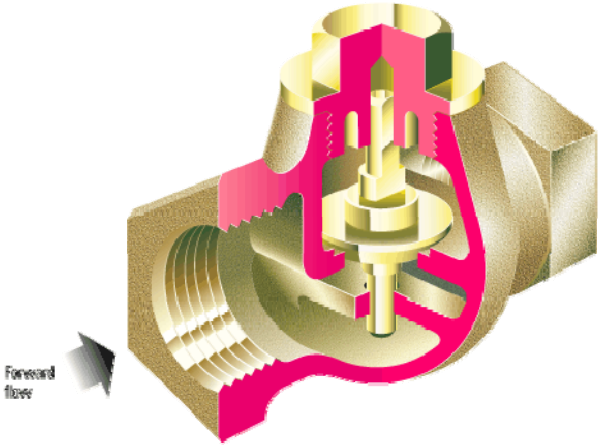
อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
อุปกรณ์แสดงระดับน้ำ	วาล์วและก๊อก	1) ตรวจสอบการอุดตัน โดยการเปิดวาล์วไอน้ำและวาล์วน้ำ 2) ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำและไอน้ำ 3) ตรวจการทำงานเปิดปิด	1) ไม่มีการอุดตัน 2) ไม่มีการรั่วซึม 3) ต้องเปิดปิดได้อย่างสมบูรณ์
	ท่อแก้วแสดงระดับน้ำ	ตรวจสอบการเปรอะเปื้อนและการเสื่อมสภาพ	ไม่มีการเปรอะเปื้อนและการเสื่อมสภาพที่สังเกตได้

4.4 ลิ้นกันกลับ

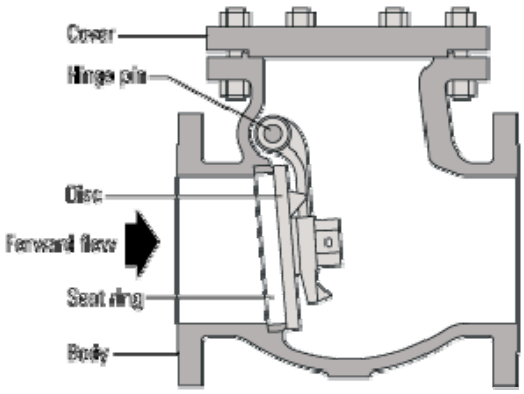
ลิ้นกันกลับ (Check valve or non-return valve) คืออุปกรณ์ที่ยอมให้ของไหล เช่น น้ำ หรือไอน้ำ ไหลผ่านได้เพียงทิศทางใดทิศทางหนึ่งเท่านั้น ใช้ติดตั้งในวงจรการไหลของน้ำหรือไอน้ำเมื่อต้องการจำกัดทิศทางการไหลเพียงทางเดียวเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4-9 (ก) ประโยชน์อีกประการคือป้องกันการเกิดอันตรายจากความดันย้อนกลับ (Back pressure) ที่เกิดจากแหล่งของไหลความดันสูงกว่าที่อยู่ในวงจรการไหลเดียวกัน ลิ้นกันกลับมีหลายแบบขึ้นอยู่กับโครงสร้างและหลักการทำงานของลิ้นกั้นการไหลย้อนกลับของของไหล ได้แก่

- แบบยก (Lift check valve) ตัวลิ้นกั้นการไหลย้อนกลับของของไหลเคลื่อนที่เปิดปิดในแนวดิ่ง ยอมให้ของไหลไหลผ่านจากด้านล่างของลิ้นสู่ด้านบนในทิศทางเดียวเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4-9 (ข) หากตัวลิ้นมีลักษณะเป็นลูกสูบ อาจเรียกลิ้นกันกลับแบบนี้ว่า แบบลูกสูบ (Piston check valve) ข้อดีของลิ้นกันกลับแบบยกคือ ง่าย โครงสร้างไม่ซับซ้อน และดูแลรักษาได้ง่าย ส่วนข้อเสียคือ ติดตั้งกับท่อในแนวนอนได้เท่านั้น และไม่เหมาะกับท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าเบอร์ DN80
- แบบสวิง (Swing chech valve) ตัวลิ้นกั้นการไหลย้อนกลับของของไหลมีลักษณะการเคลื่อนที่เปิดปิดคล้ายกับบานประตูที่มีบานพับอยู่ด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 4-9 (ค) เมื่อของไหลไหลมาทางด้านหลังของบานประตู ความดันของของไหลจะดันประตูให้เปิดขึ้น แต่หากของไหลไหลมาในทิศทางตรงกันข้าม บานประตูจะไม่สามารถเปิดให้ของไหลไหลผ่านได้ ข้อดีของลิ้นกันกลับแบบสวิงคือ ใช้กับของไหลที่มีความดันสูงมากได้ ส่วนข้อเสียคือ ทำให้เกิดความดันตกคร่อมในระหว่างที่ของไหลไหลผ่านลิ้นกันกลับสูงมาก ก่อให้เกิดความต้านทานการไหล นอกจากนี้ตัวลิ้นยังทำให้การไหลของของไหลหลังจากไหลผ่านลิ้นเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulant flow) อีกด้วย และในช่วงขณะที่ลิ้นเปิดหรือปิดนั้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันของไหลอย่างรวดเร็วและรุนแรง อาจก่อให้เกิดการกระแทกของของไหล (Water hammer) ได้
- แบบจาน (Disc check valve) ประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 4 ชิ้น ได้แก่ ตัวเรือน (Body) ลิ้นแบบจาน (Disc) สปริง (Spring) และตัวรองสปริง (Spring retainer) ดังแสดงในรูปที่ 4-9 (ง) หลักการทำงานคือ เมื่อมีของไหลไหลมาทางด้านหน้าของจาน หากแรงที่เกิดจากความดันของของไหลมีค่าสูงกว่าแรงเนื่องจากสปริงที่พยายามดันในจานปิดสนิทโดยตลอดเวลา จานจะเปิดในทิศทางเดียวกับการไหล ทำให้ของไหลไหลผ่านไปได้ แต่หากแรงเนื่องจากความดันการไหลลดลง หรือมีของไหลไหลมาในทิศทางตรงกันข้าม สปริงจะดันให้จานปิดทันที ดังแสดงในรูปที่ 4-9 (จ) ข้อดีของลิ้นกันกลับแบบจานคือ สามารถติดตั้งได้กับท่อที่วางตัวในทุกแนว และสามารถเลือกความดันของไหลที่ทำให้ลิ้นเปิดได้โดยการเปลี่ยนความแข็งของสปริง ส่วนข้อเสียคือ สามารถใช้กับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกินเบอร์ DN125 และไม่เหมาะกับการในไปใช้งานในท่อที่มีการไหลแบบเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็วและทันทีทันใด เช่น ท่อทางออกจากเครื่องอัดของไหลแบบสูกสูบชัก เป็นต้น

(ก) ลักษณะภายนอก

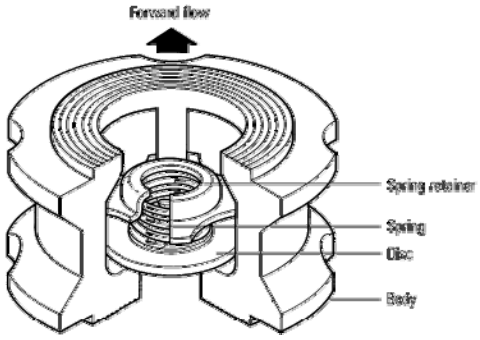


(ข) แบบยก

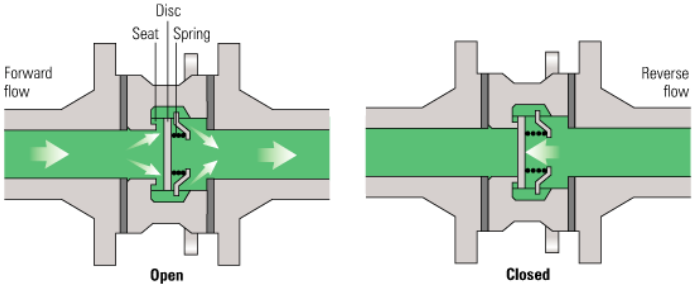


(ค) แบบสวิง

รูปที่ 4-9 ลิ้นกันกลับ



(ง) แบบจาน

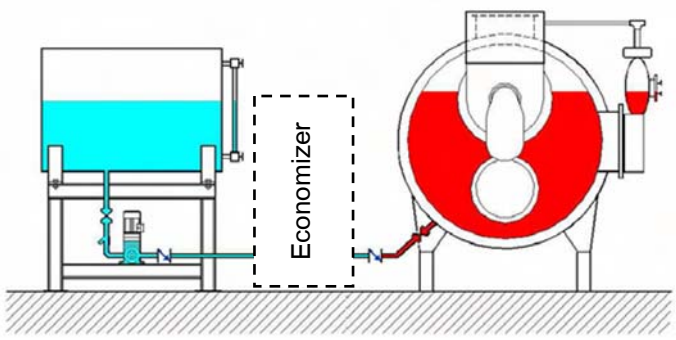


(จ) หลักการทำงานของลิ้นกันกลับแบบจาน

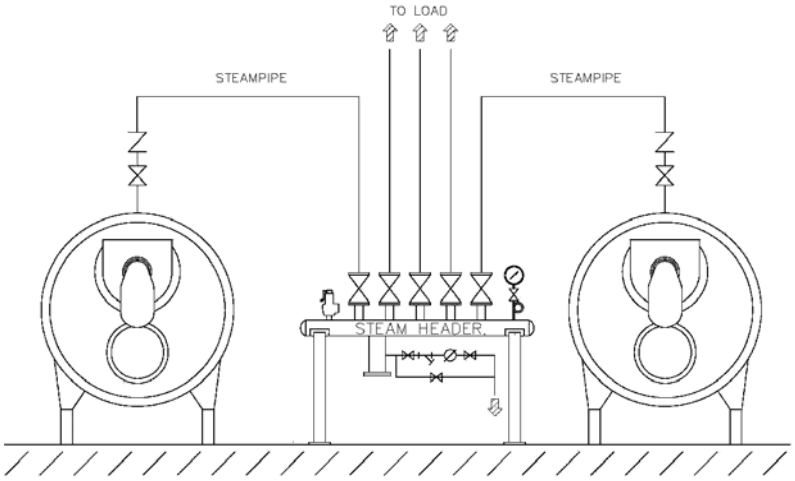
รูปที่ 4-9 ลิ้นกันกลับ (ต่อ)

4.4.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำกำหนดไว้ว่า ต้องมีการติดตั้งลิ้นกันกลับที่ท่อป้อนน้ำระหว่างเครื่องสูบน้ำกับหม้อน้ำ อย่างน้อย 1 ชุด โดยให้อยู่ใกล้หม้อน้ำมากที่สุด และมีขนาดไม่เล็กกว่าท่อป้อนน้ำ ในกรณีที่หม้อน้ำมีการติดตั้งอุปกรณ์อุ่นน้ำ (Economizer) ให้ติดตั้งลิ้นกันกลับระหว่างเครื่องสูบน้ำและอุปกรณ์อุ่นน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4-10 ในกรณีที่หม้อน้ำใช้เครื่องสูบน้ำ 2 เครื่องต่อท่อป้อนน้ำเข้าหม้อน้ำร่วมกันต้องติดตั้งลิ้นกันกลับเพิ่มอีก 1 ชุด ที่ท่อส่งน้ำของเครื่องสูบน้ำแต่ละเครื่อง นอกจากนี้ในกรณีที่หม้อน้ำ 2 เครื่องต่อท่อจ่ายไอน้ำร่วมกันต้องติดตั้งลิ้นกันกลับที่ท่อจ่ายไอน้ำของหม้อน้ำแต่ละเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4-11



รูปที่ 4-10 การติดตั้งลิ้นกันกลับใกล้หม้อน้ำ และระหว่างเครื่องสูบน้ำและอุปกรณ์อุ่นน้ำ



รูปที่ 4-11 การติดตั้งลิ้นกันกลับที่ท่อจ่ายไอน้ำของหม้อน้ำแต่ละเครื่อง

4.4.2 การใช้งาน

- ติดตั้งลิ้นกันกลับให้มีทิศทางการไหลให้ถูกต้อง
- จัดวางแนวการติดตั้งของลิ้นกันกลับให้ถูกต้องตามที่ผู้ผลิตกำหนด
- หุ้มฉนวนกันความร้อนรอบตัวเรือนให้มิดชิด

4.4.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

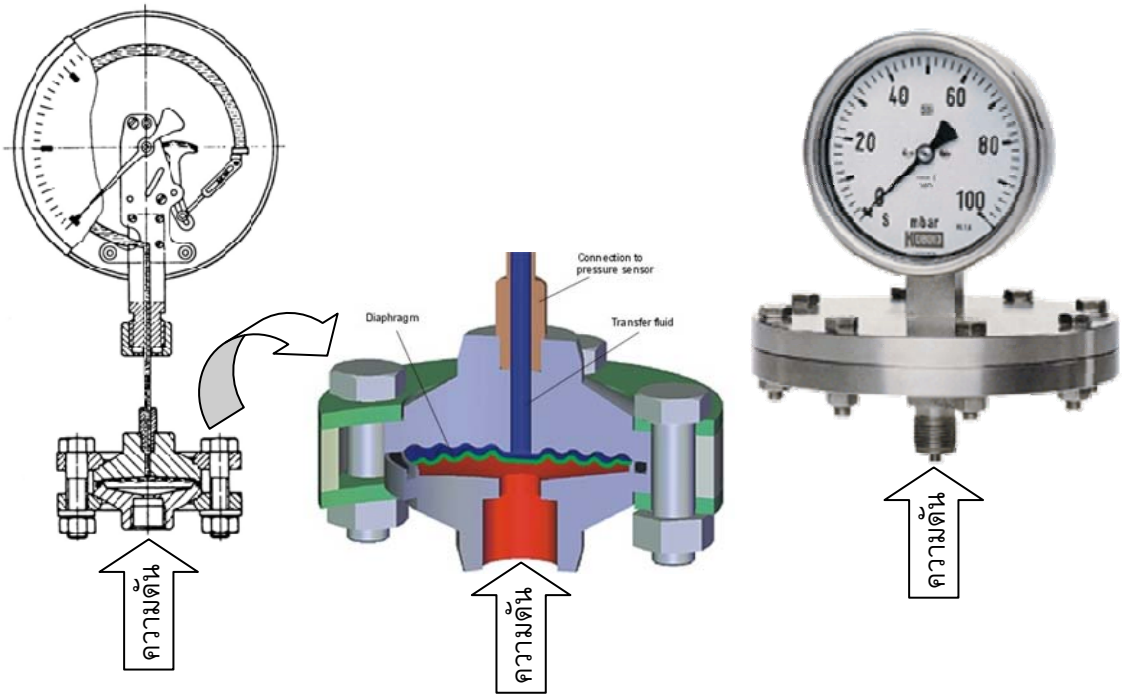
ตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำ หรือไอน้ำ ที่ไหลผ่านลิ้นกันกลับโดยสม่ำเสมอ หากอัตราการไหลลดลง ให้รีบตรวจสอบลิ้นกันกลับว่ามีการอุดตัน หรือยังทำงานได้ตามปรกติหรือไม่ เพื่อป้องกันการระเบิดของท่อและอุปกรณ์ข้างเคียง

4.5 มาตรวัดความดันไอน้ำ

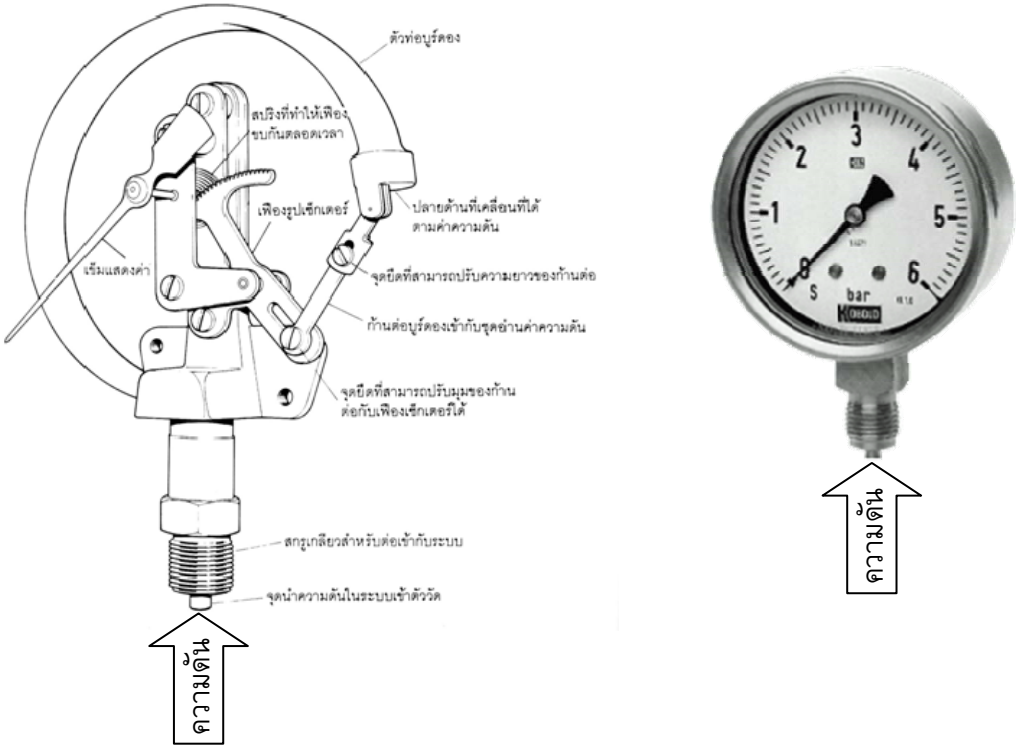
มาตรวัดความดันไอน้ำ (Pressure indicator or pressure gauge) คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดและแสดงค่าความดันของไหลที่ไหลผ่านบริเวณที่ติดตั้งมาตรวัด เพื่อให้ผู้ใช้ทราบถึงสถานะของความดันภายในหม้อน้ำ ระบบท่อไอน้ำหรือท่อน้ำ และระบบอื่นๆ มาตรวัดความดันแบ่งได้ 2 ประเภทตามลักษณะการทำงาน ได้แก่

1) มาตรวัดความดันเชิงกล

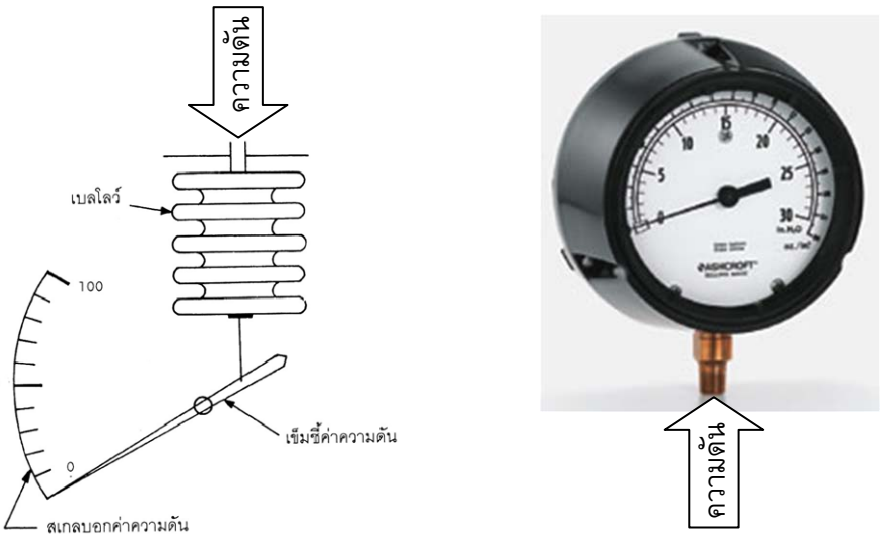
มาตรวัดความดันเชิงกล (Mechanical pressure gauge) ทำงานโดยอาศัยการขยายตัวของกลไกที่ติดตั้งอยู่ภายในมาตรวัด แสดงค่าความดันผ่านทางหน้าปัดแบบเข็มและตัวเลขพร้อมสเกล นิยมใช้มากที่สุดในระบบหม้อน้ำ เนื่องจากเป็นแบบที่มีโครงสร้างง่าย ราคาถูก วัดความดันได้ครอบคลุมถึงย่านความดันสูง ความเที่ยงตรงดีเมื่อเทียบกับราคา สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 แบบ คือ แบบไดอะแฟรม (Diaphragm) แบบบูร์ดอง (Bourdon) และแบบเบลโลว์ (Bellow) กลไกภายใน และลักษณะภายนอกของมาตรวัดความดันเชิงกลแต่ละแบบแสดงในรูปที่ 4-12 ถึง 4-14



รูปที่ 4-12 มาตรวัดความดันแบบไดอะแฟรม



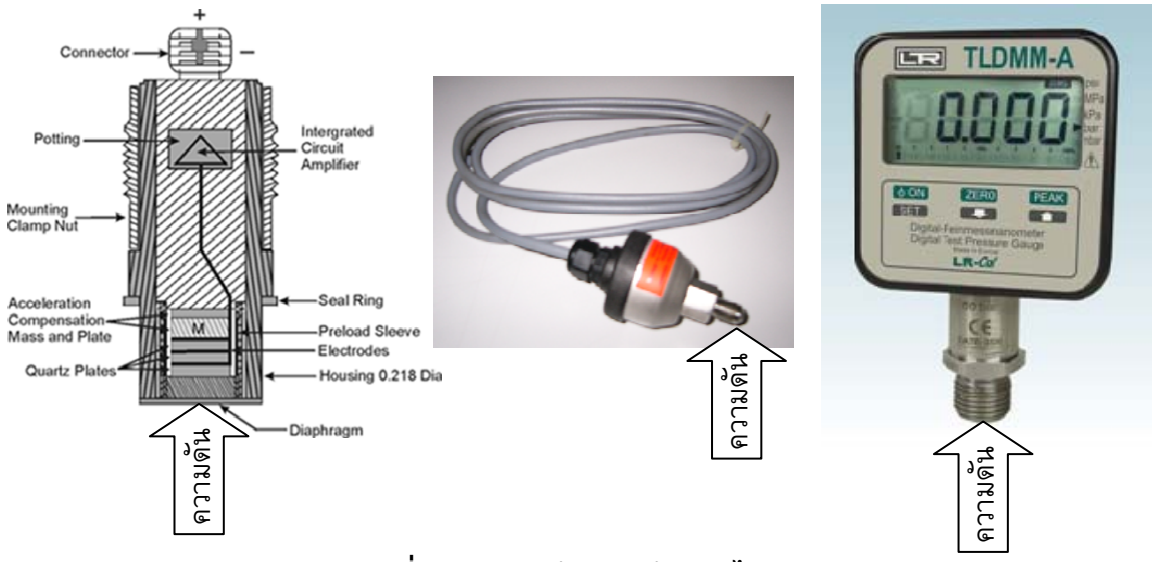
รูปที่ 4-13 มาตรวัดความดันแบบบูร์ดอง



รูปที่ 4-14 มาตรวัดความดันแบบเบลโลว์

2) มาตรวัดความดันแบบไฟฟ้า

มาตรวัดความดันแบบไฟฟ้า (Electrical pressure gauge) ทำงานโดยการแปลงค่าความถี่ที่สร้างขึ้นโดยทรานส์ดิวเซอร์ (Transducer) เป็นค่าความดันและแสดงให้ผู้ใช้ได้ทราบผ่านทางหน้าปัดแบบเข็มหรือแบบตัวเลขดิจิตอล ภายในทรานส์ดิวเซอร์ประกอบด้วยไดอะแฟรมและผลึกควอร์ตสำหรับกำเนิดสัญญาณความถี่ทางไฟฟ้า ซึ่งความถี่ทางไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความดันที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากทรานส์ดิวเซอร์เปลี่ยนความดันเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ข้อดีของการใช้มาตรวัดความดันแบบไฟฟ้า คือ สามารถติดตั้งมาตรวัดและตัวแสดงค่าความดันห่างจากจุดวัดความดันได้ไกล ตลอดจนสามารถนำสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้ไปใช้ร่วมกับระบบควบคุมทางไฟฟ้าอื่นๆ ได้ทันที นอกจากนี้ยังมีค่าความผิดพลาดในการวัดน้อยถึง 0.01% ตลอดอายุการใช้งานหลายสิบปี กลไกภายใน และลักษณะภายนอกของทรานส์ดิวเซอร์และมาตรวัดความดันแบบไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 4-15



รูปที่ 4-15 มาตรวัดความดันแบบไฟฟ้า

4.5.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยเกี่ยวกับการติดตั้งและการใช้งานมาตรวัดความดันไอน้ำสำหรับหม้อน้ำ กำหนดไว้ว่า ต้องทำการติดตั้งมาตรวัดความดันไอน้ำอย่างน้อย 1 ชุด และต้องติดตั้งท่อไส้ไก่ (Siphon) หรือท่อรูปตัวยู (U-shape) ระหว่างหม้อน้ำและมาตรวัดความดันไอน้ำด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4-16

รูปที่ 4-16 การติดตั้งท่อไส้ไก่เข้ากับมาตรวัดความดัน

4.5.2 การใช้งาน

- สเกลตัวเลขที่หน้าปัทม์ควรอ่านค่าได้ระหว่าง 1.5-2 เท่า ของค่าความดันใช้งานสูงสุด
- บนหน้าปัดต้องมีเครื่องหมายแสดงระดับความดันใช้งานและความดันอันตรายไว้ให้เห็นได้ชัดเจน
- ติดตั้งเกจวัดความดันไว้ใกล้หม้อน้ำมากที่สุด
- ติดตั้งเกจวัดความดันไว้บริเวณที่ผู้ควบคุมหม้อน้ำมองเห็นได้ชัดเจน
- หม้อน้ำที่อุณหภูมิของไอน้ำสูงกว่า 208 °C ท่อไส้ไก่หรืออุปกรณ์อื่นๆ ห้ามใช้อุปกรณ์ที่ทำมาจากทองแดงและทองเหลือง

4.5.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

ต้องมีการสอบเทียบเกจวัดความดันของหม้อน้ำอย่างน้อยปีละครั้งเพื่อความเที่ยงตรง

4.6 ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ

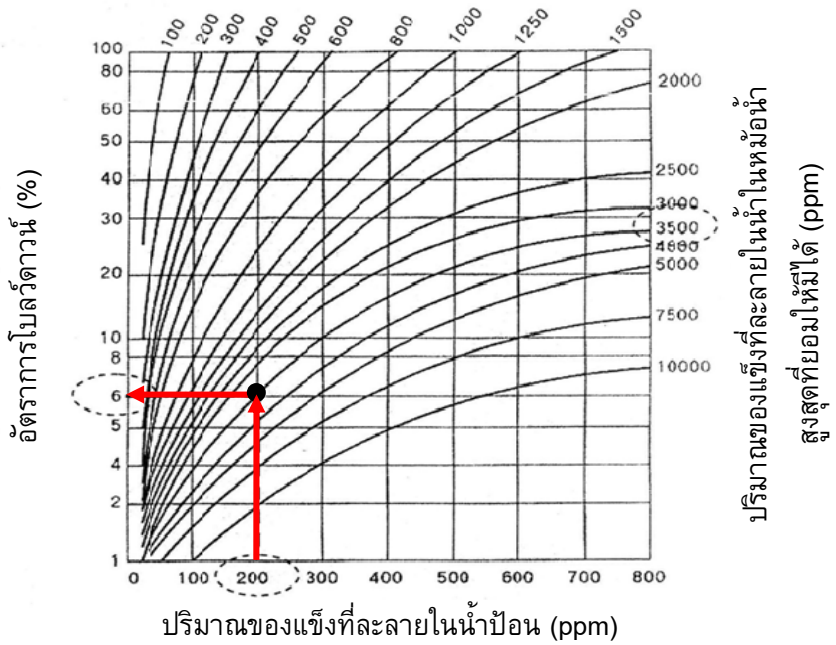
เมื่อน้ำในหม้อน้ำระเหยกลายเป็นไอ สารต่างๆ ที่เจือปนในรูปของแข็งละลายน้ำจะไม่ลอยขึ้นไปพร้อมกับไอน้ำ ดังนั้นจึงทำให้สารละลายของแข็งที่ละลายในน้ำเมื่อมีความเข้มข้นสูงขึ้น จะส่งผลให้เกิดตะกรันภายในหม้อน้ำ จึงจำเป็นต้องมีการระบายน้ำในหม้อน้ำออกโดยผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ (Blowdown valve or bottom blowdown valve) ดังแสดงในรูปที่ 4-17

การปล่อยน้ำทิ้งออกนอกหม้อน้ำ (Blowdown or bottom blowdown) จึงเป็นวิธีการลดค่าความเข้มข้นของปริมาณของแข็งละลายน้ำรวม (Total dissolved solid) ซึ่งสามารถเรียกย่อๆ ว่า TDS ซึ่งมีหน่วยเป็นหน่วยในหนึ่งล้านส่วน (Part per million, ppm) โดยที่ TDS นั้นไม่ได้หมายถึงสารแขวนลอยในน้ำ (Total suspended solid, TSS) การลดค่า TDS นั้นไม่สามารถลดได้จากการทำให้ตกตะกอนเหมือนพวกสารแขวนลอย แต่สามารถทำได้โดยการปล่อยน้ำในระบบทิ้งออกในปริมาณมาก ผลเสียที่ตามมาคือ เกิดการสิ้นเปลืองน้ำและสูญเสียพลังงานความร้อน ดังนั้นจึงต้องหาอัตราการปล่อยน้ำทิ้ง (Blowdown rate) ในปริมาณที่เหมาะสมกับหม้อน้ำ การหาอัตราการปล่อยน้ำทิ้งมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี ได้แก่

รูปที่ 4-17 ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ

1) การหาอัตราการปล่อยน้ำทิ้งจากกราฟ

ตัวอย่างการหาอัตราการปล่อยน้ำทิ้ง จากรูปที่ 4-18 หากจ่ายน้ำป้อนที่มีค่า TDS เท่ากับ 300 ppm เข้ามาเติมในหม้อน้ำ โดยที่ยังต้องรักษาระดับค่า TDS ในหม้อน้ำไว้ไม่เกิน 3500 ppm จะต้องปล่อยน้ำทิ้งออกไปปริมาณ 6% ของอัตราการกำเนิดไอน้ำ เช่น หากอัตรากำเนิดไอน้ำเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการปล่อยน้ำทิ้งจึงเท่ากับ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นต้องเลือกวาล์วปล่อยน้ำทิ้งที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำได้ไม่ต่ำกว่า 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความดันใช้งานปรกติของหม้อน้ำนั้นๆ



รูปที่ 4-18 การหาปริมาณน้ำระบายใต้หม้อน้ำที่เหมาะสม

2) การหาอัตราการปล่อยน้ำทิ้งจากการคำนวณ

การคำนวณหาอัตราการปล่องน้ำทิ้งที่ต่ำที่สุด หาจากสมการ

$$\%\ \text{Blowdown (min)} = \frac{\%\text{น้ำป้อน x TDS ของน้ำป้อน}}{\text{TDS สูงสุดที่ยอมให้มีได้ในหม้อน้ำ}}$$

$$\text{และ อัตราการโบลว์ดาวน์ (litre/hr)} = \frac{\%\ \text{Blowdown (min)} \times \text{อัตราการผลิตไอน้ำ (kg/hr)}}{100 - \%\ \text{Blowdown (min)}}$$

ตัวอย่างที่ 1: หม้อน้ำมีอัตราการผลิตไอน้ำ 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ไม่มีการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ TDS ของน้ำป้อนมีค่าเท่ากับ 150 ppm ส่วน TDS สูงสุดที่ยอมให้มีได้ในหม้อน้ำเท่ากับ 3,500 ppm ให้หาอัตราการโบลว์ดาวน์ต่ำสุด

จาก $\%\ \text{Blowdown (min)} = \frac{\%\text{น้ำป้อน x TDS ของน้ำป้อน}}{\text{TDS สูงสุดที่ยอมให้มีได้ในหม้อน้ำ}}$

$$\%\ \text{Blowdown (min)} = \frac{100 \times 150}{3,500} = 4.3\%$$

จาก อัตราการโบลว์ดาวน์ (litre/hr) $= \frac{\%\ \text{Blowdown (min)} \times \text{อัตร าการผลิตไอน้ำ (kg/hr)}}{100 - \%\ \text{Blowdown (min)}}$

$$\text{อัตราการโบลว์ดาวน์ (litre/hr)} = \frac{4.3 \times 1,000}{100 - 4.3} = 45 \text{ litre/hr}$$

ตัวอย่างที่ 2: หม้อน้ำมีอัตราการผลิตไอน้ำ 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ 60% (40% ที่เหลือปล่อยทิ้ง) TDS ของน้ำป้อนมีค่าเท่ากับ 150 ppm ส่วน TDS สูงสุดที่ยอมให้มีได้ในหม้อน้ำเท่ากับ 3500 ppm ให้หาอัตราการโบลว์ดาวน์ต่ำสุด

จาก % Blowdown (min) = $\frac{\text{\%น้ำป้อน x TDS ของน้ำป้อน}}{\text{TDS สูงสุดที่ยอมให้มีได้ในหม้อน้ำ}}$

% Blowdown (min) = $\frac{40 \times 150}{3{,}500}$ = 1.7%

จาก อัตราการโบลว์ดาวน์ (litre/hr) = $\frac{\text{\% Blowdown (min) x อัตราการผลิตไอน้ำ (kg/hr)}}{100 - \text{\% Blowdown (min)}}$

อัตราการโบลว์ดาวน์ (litre/hr) = $\frac{1.7 \times 1{,}000}{100 - 1.7}$ = 18 litre/hr

สำหรับการหาอัตราการโบลว์ดาวน์ดังที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าความต้องการการโบลว์ดาวน์จะเป็นสัดส่วนกับอัตราของน้ำเติมและความเข้มข้นของของแข็งในน้ำป้อน จากความสำคัญดังกล่าวจะเห็นได้ว่า

- ถ้าระบบหม้อน้ำมีน้ำสูญเสียจำนวนเล็กน้อย การโบลว์ดาวน์จะมีปริมาณน้อยลงไปด้วย เนื่องจากหม้อน้ำเป็นระบบปิดซึ่งมีความต้องการน้ำเติมในปริมาณต่ำ จึงทำให้มีสารปนเปื้อนเข้าไปในระบบน้อยลง
- ถ้าน้ำเติมมีความบริสุทธิ์ ความต้องการในการโบลว์ดาวน์จะน้อยลง เนื่องจากไม่มีน้ำเติมที่ทำให้เกิดสารปนเปื้อนเข้าไปในระบบ ดังนั้นเพื่อที่จะลดความต้องการการโบลว์ดาวน์ จะต้องพิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้
  - การลดการรั่วในระบบมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
  - การรักษาสภาพน้ำเติมให้ดีที่สุดก่อนที่จะกลายเป็นน้ำป้อน

จำนวนพลังงานที่สูญเสียจากการโบลว์ดาวน์จะเป็นสัดส่วนต่ออุณหภูมิของน้ำในหม้อน้ำและอัตราการโบลว์ดาวน์ (ปริมาณพลังงานของน้ำในหม้อน้ำจะอยู่ในรูปของความร้อนสัมผัสทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ) ตัวอย่างเช่น ถ้าความดันของหม้อน้ำเท่ากับ 7.0 bar อุณหภูมิของน้ำในหม้อน้ำจะเท่ากับ 165 °C และอุณหภูมิของน้ำเติมเท่ากับ 35 °C ดังนั้นพลังงานที่น้ำเติมต้องการในการให้ความร้อนแก่น้ำเติมเท่ากับ 535.60 kJ เพื่อให้น้ำเติมมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 130 °C

จากตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นว่าการสูญเสียความร้อนจากการโบลว์ดาวน์เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากการโบลว์ดาวน์เป็นการรักษาคุณภาพของน้ำอย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตามการโบลว์ดาวน์ที่มากเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และน้ำ

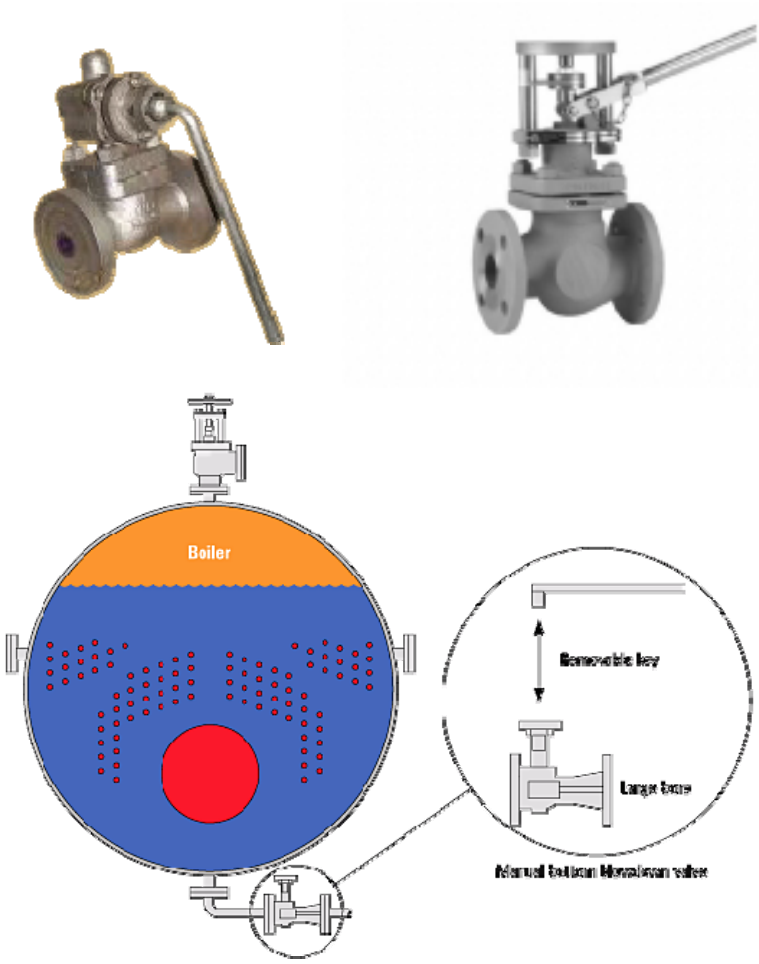
การลดอัตราการโบลว์ดาวน์ลง หมายความว่าการใช้พลังงานก็ลดลงเช่นกัน เนื่องจากอุณหภูมิน้ำโบลว์ดาวน์นั้นเท่ากับอุณหภูมิไอน้ำที่ผลิต นั่นก็คือต้องใช้พลังงาน หรือเชื้อเพลิงในปริมาณที่เท่ากันในการที่จะทำให้ได้อุณหภูมิสูง อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนน้ำป้อนที่ต้องใช้ในการทดแทนน้ำที่โบลว์ดาวน์ออกไปด้วย ทั้งนี้หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมแบบอัตโนมัติก็จะสามารถลดอัตราการโบลว์ดาวน์ที่เกินจำเป็นนี้ได้

ระบบควบคุมการปล่อยน้ำทิ้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่

1) การปล่อยน้ำทิ้งแบบใช้คน

การปล่อยน้ำทิ้งแบบใช้คน (Manual blowdown) เป็นการปล่อยน้ำทิ้งเป็นช่วงเวลา โดยใช้คนเป็นผู้ควบคุมการปิดเปิดลิ้นปล่อยน้ำทิ้งตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ซึ่งลิ้นที่นำมาใช้คือ ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำเปิดปิดเป็นจังหวะแบบมีก้านโยก (Intermittent blowdown valve with manual lever) ดังแสดงในรูปที่ 4-19

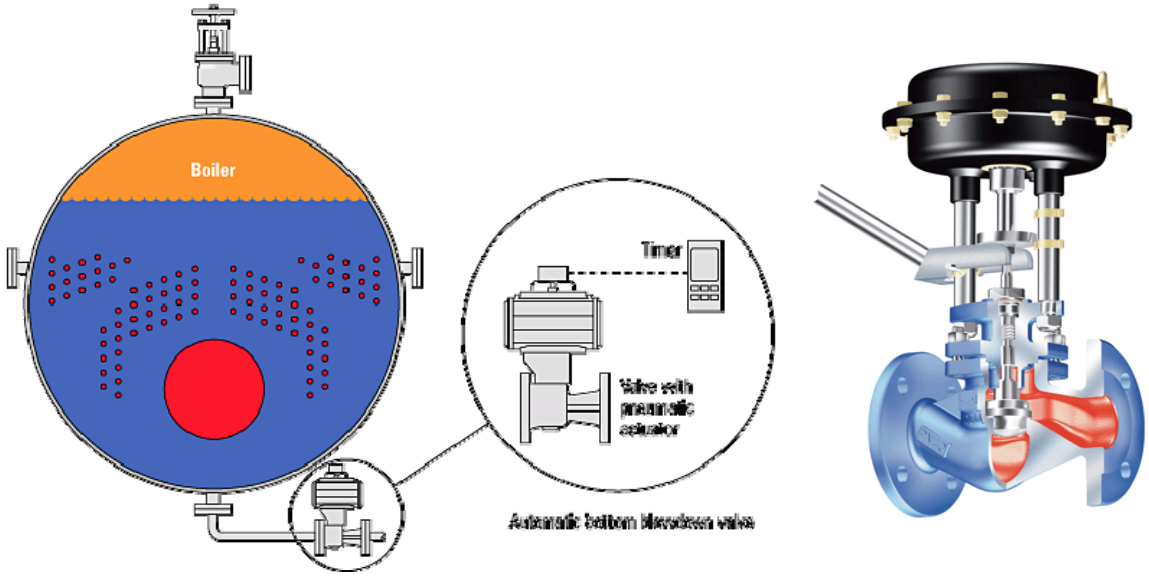
วิธีการการปล่อยน้ำทิ้งแบบใช้คน คือ ทำการเปิดวาล์วโบลว์ดาวน์ในช่วงเวลาที่กำหนด เช่น 10 วินาที และสังเกตค่า TDS จากมิเตอร์วัด TDS ทำซ้ำจนกระทั่งค่า TDS อยู่ในระดับเหมาะสม



รูปที่ 4-19 ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำเปิดเป็นจังหวะแบบมีก้านโยก

2) การปล่อยน้ำทิ้งแบบตั้งเวลาอัตโนมัติ

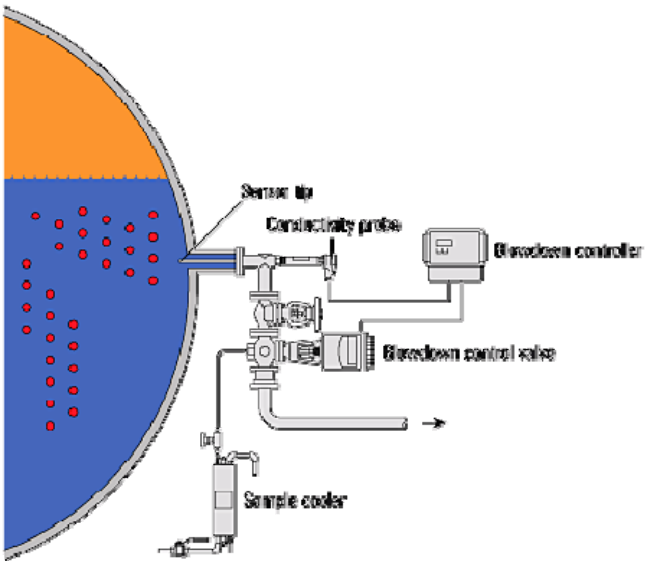
การปล่อยน้ำทิ้งแบบตั้งเวลาอัตโนมัติ (Timing blow down) เป็นการปล่อยน้ำทิ้งเป็นช่วงเวลาโดยใช้เครื่องตั้งเวลา (Timer) ไปควบคุมการเปิดปิดลิ้นระบายน้ำทิ้ง ซึ่งลิ้นที่นำมาใช้คือ ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำเปิดปิดเป็นจังหวะแบบมีหัวขับลม (Intermittent blowdown valve with pneumatic actuator) ดังแสดงในรูปที่ 4-20 โดยที่เครื่องตั้งเวลาจะทำการควบคุมช่วงเวลาการทำงานของหัวขับลม ซึ่งหัวขับลมนี้จะเป็นตัวเปิดปิดวาล์วแทนคนในแบบแรกที่กล่าวข้างต้น



รูปที่ 4-20 ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำเปิดปิดเป็นจังหวะแบบมีหัวขับลม

3) การปล่อยน้ำทิ้งแบบต่อเนื่อง

การปล่อยน้ำทิ้งแบบต่อเนื่อง (Continuous blow down) เป็นการปล่อยน้ำทิ้งแบบต่อเนื่องโดยใช้เซนเซอร์แบบตัวเก็บประจุ (Conductivity sensor) วัดค่า TDS จริงที่อยู่ในหม้อน้ำ ณ เวลาขณะนั้น ค่า TDS ที่วัดได้จริงจะถูกส่งให้กับเครื่องควบคุมการระบายน้ำทิ้ง (Blowdown controller) จากนั้นเครื่องควบคุมการระบายน้ำทิ้งจะคำนวณอัตราการปล่อยน้ำทิ้งให้โดยอัตโนมัติ โดยสอดคล้องกับค่า TDS ที่ตั้งไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4-21 ทั้งนี้ลิ้นระบายน้ำทิ้งจะมีช่วงเวลาในการเปิดและปิดในอัตราส่วนที่ทำให้การระบายน้ำออกไปเท่ากับอัตราการปล่อยน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในเครื่องควบคุม ซึ่งลิ้นที่นำมาใช้คือ ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำเปิดปิดเป็นจังหวะแบบมีหัวขับลม เช่นเดียวกับการปล่อยน้ำทิ้งแบบตั้งเวลาอัตโนมัติ



รูปที่ 4-21 อุปกรณ์ในระบบปล่อยน้ำทิ้งแบบต่อเนื่อง

นอกจากการระบายน้ำในหม้อน้ำทิ้งทางด้านใต้ของหม้อน้ำ (Bottom blowdown) เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่หนักจมอยู่บริเวณด้านล่างในหม้อน้ำแล้ว ยังต้องมีการระบายน้ำที่ผิวหน้าของน้ำในหม้อน้ำทิ้ง (Surface blowdown) ด้วย เหตุที่ต้องทำการปล่อยน้ำที่ผิวน้ำในหม้อน้ำ เนื่องจากสารละลายเข้มข้นสูง และสิ่งสกปรกที่มีน้ำหนักเบา จะลอยอยู่บริเวณผิวน้ำในหม้อน้ำ จึงต้องระบายน้ำที่ผิวทิ้งไป

ลิ้นระบายน้ำที่ผิว (Surface blowdown valve) แบ่งเป็น 2 ประเภทเช่นเดียวกับลิ้นระบายน้ำใต้หม้อน้ำ คือ ลิ้นระบายที่ผิวหม้อน้ำเปิดปิดเป็นจังหวะแบบมีก้านโยก และลิ้นระบายที่ผิวหม้อน้ำเปิดปิดเป็นจังหวะแบบมีหัวขับลม ส่วนการควบคุมการระบายน้ำก็แบ่งเป็น 3 แบบเช่นเดียวกัน

ในส่วนของการควบคุมการปล่อยน้ำทิ้งแบบต่อเนื่องนั้น จะควบคุมโดยเครื่องควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่ผิว (Surface blowdown controller) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมความเข้มข้นของปริมาณของแข็งละลายน้ำรวม (Total dissolved solid, TDS) ของหม้อน้ำเพื่อไม่ให้เกิดการ Carryover อันเป็นเหตุทำให้ไอน้ำสกปรก เพราะน้ำในหม้อน้ำมีสารละลายที่เข้มข้นมากเกินไป วิธีการควบคุมค่า TDS ของน้ำในหม้อน้ำทำโดยการระบายน้ำที่ผิวน้ำในหม้อน้ำ (Surface blowdown) ที่มีสารละลายเข้มข้นสูงออก แล้วเติมน้ำป้อน (Feedwater) ที่เจือจางเข้ามาแทน ทำให้ค่า TDS ในหม้อน้ำลดลง เครื่องควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่ผิวทำงานโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในหม้อน้ำ แล้วคำนวณเป็นค่าปริมาณสารละลายรวม (Total dissolved solid) ของน้ำในหม้อน้ำ ซึ่งหน่วยในการวัดคือ ppm ถ้าปริมาณสารละลายของน้ำในหม้อน้ำมีค่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ เครื่องควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่ผิวจะทำการเปิดลิ้นระบายน้ำที่ผิวที่มีสารละลายเข้มข้นสูงออก ทำให้ระดับน้ำในหม้อน้ำลดลง อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำของหม้อน้ำ จะเติมน้ำเข้าสู่หม้อน้ำ ซึ่งน้ำป้อนที่เติมเข้าสู่หม้อน้ำจะมีความเจือจางของสารละลายต่ำกว่า ทำให้น้ำในหม้อน้ำทั้งหมดเจือจางลง มีความเข้มข้นของสารละลายต่ำลง

4.6.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

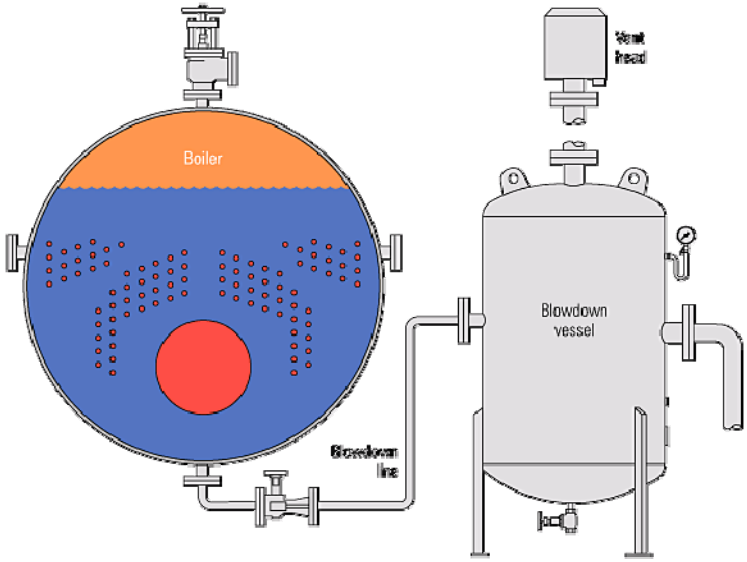
กฎหมายความปลอดภัยที่เกี่ยวกับการติดตั้งและการใช้งานลิ้นระบายใต้หม้อน้ำกำหนดไว้ดังนี้

- ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด
- ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร และไม่มากกว่า 65 มิลลิเมตร
- ต้องติดตั้งบริเวณจุดต่ำสุดของหม้อน้ำ และอยู่ในตำแหน่งที่สะดวกต่อการใช้งาน
- ต้องจัดให้มีการป้องกันอันตรายหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญ เนื่องจากความดัน ความร้อนและเสียง ซึ่งเกิดจากการระบายน้ำร้อนออกจากลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ

4.6.2 การใช้งาน

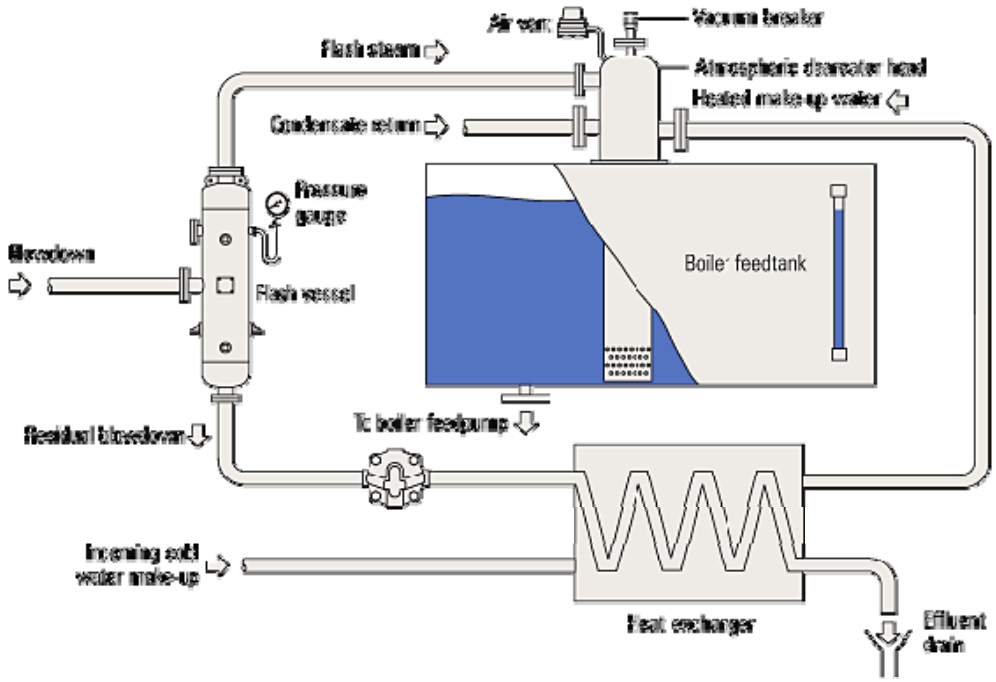
ผู้ควบคุมหม้อน้ำ จะต้องทำการระบายน้ำทิ้งใต้หม้อน้ำ (Bottom blowdown) เพื่อปล่อยสิ่งสกปรกออกอย่างน้อยหนึ่งครั้งในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง แต่ถ้าน้ำในหม้อน้ำมีสิ่งสกปรกที่หนักจมอยู่บริเวณด้านล่างในหม้อน้ำมาก ผู้ควบคุมหม้อน้ำจะต้องปล่อยน้ำทิ้งใต้หม้อน้ำบ่อยครั้งและนานขึ้น

นอกจากนี้ควรมีการติดตั้ง ถังโบลว์ดาวน์ (Blowdown tank or blowdown vessel) เพื่อทำหน้าที่ลดความรุนแรงของน้ำที่เกิดจากการระบายน้ำทิ้งใต้หม้อน้ำ หากความดันไอน้ำภายในหม้อน้ำสูงมาก การระบายน้ำทิ้งใต้หม้อน้ำมีโอกาสที่จะเกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้ง่ายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4-22



รูปที่ 4-22 การติดตั้งถังโบลว์ดาวน์

เนื่องจากการระบายน้ำในหม้อน้ำทิ้ง ถือเป็นการสูญเสียพลังงานความร้อน หากเป็นไปได้ ควรมีการติดตั้งอุปกรณ์นำความร้อนจากน้ำระบายที่ผิวกลับมาใช้ใหม่ (Surface blowdown heat recovery) โดยการนำความร้อนจากน้ำที่ระบายทิ้งกลับมาถ่ายเทให้กับน้ำป้อนที่เติมเข้าสู่หม้อน้ำผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ด้วยหน้าที่ของอุปกรณ์ดังกล่าวนี้จะช่วยให้ลดการสูญเสียความร้อนจากน้ำระบายทิ้ง นอกจากนี้ยังสามารถนำถังแฟลช (Flash tank or flash vessel) มาใช้แยกไอน้ำและน้ำออกจากน้ำโบลว์ดาวน์เพื่อนำไอน้ำกลับไปใช้ใหม่โดยการป้อนกลับเข้าสู่ถังไล่อากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4-23



รูปที่ 4-23 การใช้ถังแฟลชร่วมกับการดึงความร้อนกลับมาใช้ใหม่

4.6.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

ควรทำการตรวจสอบสภาพลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ และลิ้นระบายที่ผิวขณะหม้อน้ำหยุดเดินเครื่อง หรือทำงานที่สภาวะไฟน้อย (Low fire) เท่านั้น โดยมีขั้นตอนในการทดสอบสภาพและการทำงานดังนี้

- โยกคันกดวาล์วโบลว์ดาวน์ ครั้งละประมาณ 2-3 วินาที
- ถ้ามีวาล์วโบลว์ดาวน์ 2 ตัว ให้เปิดตัวใกล้หม้อน้ำก่อน แล้วจึงเปิดวาล์วตัวนอก เวลาปิด ให้ปิดวาล์วตัวนอกก่อน แล้วปิดวาล์วตัวใน

4.6.4 การติดตั้งระบบระบายน้ำโบลว์ดาวน์อัตโนมัติเพื่อการประหยัดพลังงาน

จากการหาอัตราการโบลว์ดาวน์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าอัตราการโบลว์ดาวน์เป็นสัดส่วนกับอัตราของน้ำเติม ถ้าอัตราของน้ำเติมไม่คงที่ การควบคุมอัตราการโบลว์ดาวน์ด้วยมือนั้นไม่สามารถทำได้ เพื่อแก้ปัญหานี้จึงทำการติดตั้งวาล์วอัตโนมัติ สำหรับการโบลว์ดาวน์จากด้านบนของหม้อน้ำซึ่งส่งผลให้น้ำในหม้อน้ำมีความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) ที่เหมาะสม โดยมีแนวทางและขั้นตอนการปรับปรุงดังต่อไปนี้

1) อุปกรณ์และการติดตั้ง

เพื่อที่จะควบคุมการโบลว์ดาวน์โดยอัตโนมัติ ทำการติดตั้งวาล์วอัตโนมัติที่ท่อโบลว์ดาวน์ด้านบน ปรกติก็คือโซลีนอยด์วาล์ว โซลีนอยด์วาล์วจะถูกควบคุมด้วยเซนเซอร์ซึ่งจะวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในหม้อน้ำ โดยสัมพันธ์กับความเข้มข้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ (TDS) การโบลว์ดาวน์อัตโนมัติสามารถทำงานแบบต่อเนื่อง หรือแบบครั้งคราว ขึ้นอยู่กับอัตราการโบลว์ดาวน์ ถ้าต้องการอัตราการโบลว์ดาวน์ต่ำก็จะทำการโบลว์ดาวน์แบบครั้งคราว วาล์วจะถูกปรับอัตราการไหลให้ต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 4-24

ถ้าใช้โซลีนอยด์วาล์วสามารถทำการควบคุมการโบลว์ดาวน์ผ่านตัวจับเวลา เซ็นเซอร์ที่วัดการนำไฟฟ้าจะกระตุ้นตัวจับเวลา ซึ่งจะทำให้วาล์วเปิดในช่วงเวลาที่กำหนด วิธีนี้จะค่อยๆ ลด TDS ลงและความเข้มข้นของ TDS จะมีค่าคงที่ระหว่างระยะเวลาของการโบลว์ดาวน์ เพื่อป้องกันความผิดปรกติของการทำงานของวาล์วโบลว์ดาวน์

ไม่ควรติดตั้งวาล์วโบลว์ดาวน์ในท่อที่มีความลาดเอียง ซึ่งจะทำให้สิ่งสกปรกอุดตันที่วาล์ว ไม่ควรติดตั้งไส้กรองที่ตำแหน่งใดๆ ในท่อโบลว์ดาวน์ เนื่องจากไส้กรองจะไปขัดขวางการโบลว์ดาวน์ และอาจทำให้เกิดการอุดตันและระเบิดได้

รูปที่ 4-24 การติดตั้งระบบระบายน้ำโบลว์ดาวน์อัตโนมัติ

ปรกติการควบคุมอัตโนมัติใช้ในการควบคุมการโบลว์ดาวน์จากด้านบนเท่านั้น ส่วนการโบลว์ดาวน์จากด้านล่างจะใช้การควบคุมด้วยมือ ซึ่งเป็นการโบลว์ดาวน์ของแข็งที่สะสมอยู่ที่ก้นของหม้อน้ำ

2) การวิเคราะห์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

หม้อน้ำที่ไม่มีการควบคุมการโบลว์ดาวน์ หรือการนำน้ำโบลว์ดาวน์ไปใช้งานนั้น ถือว่ามีศักยภาพในการประหยัดพลังงานมาก การโบลว์ดาวน์นั้นขึ้นอยู่กับ ชนิดหม้อน้ำ ความดันใช้งาน การบำบัดน้ำ และคุณภาพของน้ำป้อน โดยทั่วไปแล้วอัตราการโบลว์ดาวน์อยู่ระหว่าง 1% - 8% ของอัตราการไหลของน้ำป้อน แต่ก็มีบางกรณีที่สูงถึง 20% เมื่อคุณภาพของน้ำป้อนต่ำมากๆ ดังนั้นหากทำการติดตั้งระบบควบคุมการโบลว์ดาวน์แบบอัตโนมัติ เพื่อควบคุมปริมาณให้เหมาะสมนั้นจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลประหยัดจากการติดตั้งระบบควบคุมการโบลว์ดาวน์อัตโนมัติ

ปริมาณการโบลว์ดาวน์	ผลประหยัดต่อปี (บาท)		
lb/h (kg/h)	เชื้อเพลิง	น้ำและเคมี	รวม
1,000 (453.6)	952,000	147,000	1,099,000
2,000 (907.2)	1,904,000	294,000	2,198,000
4,000 (1,814.4)	3,808,000	588,000	4,396,000

หมายเหตุ : ผลประหยัดประเมินภายใต้สมมุติฐานที่ หม้อน้ำทำงานต่อเนื่อง ที่ความดัน 150 psig ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ค่าพลังงาน $8.00/MBtu อุณหภูมิน้ำป้อน 60 °C ประสิทธิภาพหม้อน้ำ 80% ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำ และสารเคมี $0.004 per gallon

4.6.5 การเก็บคืนความร้อนกลับจากการโบลว์ดาวน์

ความร้อนที่มีประโยชน์จากน้ำโบลว์ดาวน์สามารถเก็บคืนได้ง่ายๆ โดยคำนึงถึงผลทางเศรษฐศาสตร์ โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก ดังนี้

- จำนวนความร้อนที่สามารถเก็บคืนจากน้ำโบลว์ดาวน์ จะขึ้นอยู่กับอัตราการโบลว์ดาวน์ โดยอัตราการโบลว์ดาวน์จะแปรผันตรงกับความต้องการน้ำเติม (Make up water) ของหม้อน้ำ ซึ่งค่าความต้องการของน้ำป้อนจะมีค่าเท่ากับน้ำที่สูญเสียในระบบรวมกับน้ำโบลว์ดาวน์
- การประยุกต์ใช้งานซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งเมื่อสามารถใช้ความร้อนที่อุณหภูมิของการโบลว์ดาวน์มาใช้
- การประยุกต์ใช้งานจะต้องสอดคล้องกับเวลาที่ใช้ในการโบลว์ดาวน์ด้วย

กล่าวโดยสรุป การเก็บคืนความร้อนจากการโบลว์ดาวน์โดยมากจะนิยมใช้กับหม้อน้ำที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีความต้องการปริมาณน้ำเติมสูง โดยทั่วไปมักจะมีระยะเวลาคืนทุนสำหรับการเก็บคืนความร้อนจากการโบลว์ดาวน์ค่อนข้างสั้น ในทางกลับกันการเก็บคืนความร้อนจากการโบลว์ดาวน์ไม่เหมาะสมกับหม้อน้ำขนาดเล็กหรือในระบบไอน้ำที่มีการสูญเสียน้ำน้อย

1) การเก็บคืนความร้อนจากน้ำโบลว์ดาวน์ และไอน้ำแฟลช

ความร้อนทั้งหมดจากน้ำโบลว์ดาวน์สามารถเก็บคืนได้ ถ้าทำให้น้ำโบลว์ดาวน์เย็นตัวลง โดยไม่คำนึงถึงความดันของหม้อน้ำ อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของความร้อนที่เก็บคืนจะลดสัดส่วนของความร้อนที่เก็บคืนเนื่องจากพลังงานทั้งหมดของน้ำโบลว์ดาวน์จะอยู่ในรูปของความร้อนสัมผัส ซึ่งแปรผันตรงกับอุณหภูมิ

ในการประยุกต์ใช้งานมากมาย มีความต้องการที่จะใช้ความร้อนที่เก็บคืนได้ในรูปของไอน้ำสำหรับการประยุกต์ใช้งาน บางส่วนของน้ำโบลว์ดาวน์จะแฟลชกลายเป็นไอ เมื่อน้ำโบลว์ดาวน์ถูกปล่อยสู่ภายนอกที่มีความดันต่ำกว่าหม้อน้ำ การแฟลชจะเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนที่อยู่ในส่วนของน้ำร้อนในน้ำกลายเป็นไอ

จำนวนพลังงานที่ได้จากน้ำโบลว์ดาวน์ทั้งหมดจะเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิของน้ำในหม้อน้ำ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความดันของหม้อน้ำ ตารางที่ 4-5 แสดงปริมาณน้ำโบลว์ดาวน์ที่ยังคงสถานะเป็นของเหลว ปริมาณไอน้ำแฟลช และปริมาณพลังงานของน้ำโบลว์ดาวน์ และไอน้ำแฟลช ที่ความแตกต่างของความดันของหม้อน้ำต่างๆ

ตารางที่ 4-5 ปริมาณน้ำโบลว์ดาวน์ที่ยังคงสถานะเป็นของเหลว ปริมาณไอน้ำแฟลช และปริมาณพลังงานของน้ำโบลว์ดาวน์ และไอน้ำแฟลช ที่ความแตกต่างของความดันของหม้อน้ำต่างๆ

ความดันหม้อน้ำ (psig)	น้ำหนัก (ปอนด์)		พลังงาน (บีทียู)		เปอร์เซ็นต์ของพลังงานของไอน้ำ
	น้ำ	ไอน้ำ	น้ำ	ไอน้ำ	
10	0.97	0.03	202	33	14
35	0.93	0.07	167	82	33
88	0.88	0.12	158	143	47
205	0.81	0.19	146	218	60
655	0.68	0.32	123	365	75
1310	0.58	0.42	104	485	82

หมายเหตุ: ค่าพลังงานจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ที่อุณหภูมิน้ำที่ 0 °C และสมมุติว่าคอนเดนเสทปล่อยออกสู่ความดันบรรยากาศ

ตารางนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากซึ่งช่วยในการตัดสินใจในทางปฏิบัติที่จะนำความร้อนของการโบลว์ดาวน์ ทั้งที่เป็นไอน้ำแฟลช หรือจากน้ำโบลว์ดาวน์ ดังนี้

- ที่ความดันหม้อน้ำต่ำๆ พลังงานส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในน้ำโบลว์ดาวน์
- ที่ความดันมากกว่า 100 psi พลังงานส่วนใหญ่อยู่ในไอน้ำแฟลชมากกว่าพลังงานในน้ำโบลว์ดาวน์
- Energy content ของน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อความดันของหม้อน้ำเพิ่มขึ้น

จะเห็นได้ว่าการเก็บคืนความร้อนจากการโบลว์ดาวน์ในรูปของไอน้ำแฟลชจะมีความน่าสนใจอย่างมากที่ความดันของหม้อน้ำสูงๆ

2) อุปกรณ์สำหรับการเก็บคืนความร้อนจากการโบลว์ดาวน์

การเก็บคืนความร้อนจากของเหลวโดยปรกตินิยมใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการเก็บคืนความร้อนจากน้ำโบลว์ดาวน์ เนื่องจากมันจะเกิดการปนเปื้อนของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีกับสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำโบลว์ดาวน์ ดังนั้นจึงไม่นิยมที่จะผสมน้ำโบลว์ดาวน์กับน้ำนั้นโดยตรง

เพื่อที่จะเก็บคืนความร้อนจากการโบลว์ดาวน์ในรูปของไอน้ำแฟลช น้ำจะถูกปล่อยไปยังถังโดยจะเรียกว่า ถังแฟลช ส่วนหนึ่งของน้ำโบลว์ดาวน์จะแฟลชไปเป็นไอน้ำภายในถัง และไอน้ำที่ได้จะเคลื่อนที่ไปตามท่อเพื่อนำไปใช้งานต่อไป ในถังแฟลชจะมีกับดักไอน้ำ หรือวาล์วลูกลอยติดตั้งอยู่

ของเหลวจะถูกปล่อยออกจากถังแฟลชไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเก็บคืนความร้อนจากน้ำควบแน่น ความร้อนของไอน้ำจะถูกนำกลับมาใช้ที่อุณหภูมิของไอน้ำ ขณะที่ความร้อนในของเหลวจะถูกนำมาใช้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า

สำหรับบางการประยุกต์ใช้งาน สามารถเก็บคืนพลังงานความร้อนของไอน้ำแฟลชโดยปราศจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน วิธีนี้ไอน้ำจะไหลผ่านของเหลวหรือวัสดุอื่นที่จะให้ความร้อน วิธีนี้จะได้ความร้อนที่เก็บคืนทั้งหมดของไอน้ำ และไอน้ำดังกล่าวจะควบแน่นเป็นของเหลว ขีดจำกัดของการประยุกต์นี้ควรจะใช้ที่ความดันบรรยากาศ หรือน้อยกว่า ซึ่งที่ความดันนี้จะมีค่าต่ำกว่าความดันที่ทำให้เกิดการเดือด

ควรที่จะใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเก็บคืนความร้อนจากไอน้ำแฟลช ถ้าต้องการให้ความร้อนแก่ของเหลวโดยไม่มีการสัมผัสโดยตรงกับไอน้ำ

3) การใช้น้ำโบลว์ดาวน์เพื่อให้ความร้อนน้ำเติม

การประยุกต์ใช้งานทั่วไปสำหรับการเก็บคืนความร้อนจากโบลว์ดาวน์เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำเติม ซึ่งเป็นการประยุกต์ที่ดีมาก เนื่องจากการไหลออกของน้ำโบลว์ดาวน์จะเกิดขึ้นพร้อมกับการไหลเข้าของน้ำเติม ปริมาณของน้ำเติมจะถูกให้ความร้อนมากกว่าปริมาณจากน้ำโบลว์ดาวน์ เนื่องจากปริมาณของน้ำเติมมีค่าเท่ากับปริมาณของน้ำโบลว์ดาวน์รวมกับน้ำทั้งหมดที่สูญเสียในระบบ ตัวอย่างของการให้ความร้อนแก่น้ำเติมมีดังต่อไปนี้

- หม้อน้ำทำงานที่ความดัน 10 psi และอัตราของน้ำเติมเป็น 5 เท่าของอัตราการโบลว์ดาวน์ ถ้าความร้อนจากการโบลว์ดาวน์ทั้งหมดถูกเก็บคืน สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเติมขึ้น 6 $^{\circ}$C
- หม้อน้ำทำงานที่ความดัน 655 psi และอัตราของน้ำเติมเป็น 5 เท่าของอัตราการโบลว์ดาวน์ ถ้าความร้อนจากการโบลว์ดาวน์ทั้งหมดถูกเก็บคืน สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเติมขึ้น 35 $^{\circ}$C
- หม้อน้ำทำงานที่ความดัน 655 psi และอัตราของน้ำเติมเป็น 2 เท่าของอัตราการโบลว์ดาวน์ ถ้าความร้อนจากการโบลว์ดาวน์ทั้งหมดถูกเก็บคืน สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเติมขึ้น 113 $^{\circ}$C อย่างไรก็ตามถ้าอุณหภูมิของน้ำเติมเริ่มจาก 10 $^{\circ}$C อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำเติมจะเท่ากับ 140 $^{\circ}$C ซึ่งมีค่าสูงมากสำหรับระบบน้ำป้อน แทนที่บางส่วนของความร้อนจากโบลว์ดาวน์จะนำมาใช้ให้ความร้อนแก่น้ำเติม ส่วนที่เหลือจะถูกส่งไปยังถังไล่อากาศในรูปของไอน้ำแฟลช

จากตัวอย่างที่กล่าวมาแนะนำผู้ใช้หม้อน้ำทั้งหลายสามารถใช้ความร้อนจากโบลว์ดาวน์สำหรับให้ความร้อนแก้น้ำเติม ยกเว้นหม้อน้ำที่มีความดันสูงและมีอัตราการไหลของน้ำเติมต่ำ ซึ่งไม่สามารถเก็บคืนความร้อนจากโบลว์ดาวน์คืนมาได้ทั้งหมด

4) การใช้น้ำโบลว์ดาวน์เพื่อให้ความร้อนน้ำป้อน

ในระบบไอน้ำที่ใช้ถังน้ำเติมแบบเปิด (เปิดสู่บรรยากาศ) สามารถให้ความร้อนแก่น้ำเติมโดยมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 94 °C ถ้าน้ำเติมถูกให้ความร้อนมากกว่านี้ น้ำเติมจะแฟลชตัวเป็นไอน้ำ

ถ้าระบบมีการใช้ถังน้ำป้อนที่มีการไล่อากาศ ไอน้ำแฟลชจากการโบลว์ดาวน์สามารถทำให้เกิดไอน้ำโดยเครื่องไล่อากาศจะขับออกซิเจนออกจากน้ำป้อน วิธีนี้ค่อนข้างประหยัดเนื่องจากต้องการเพียงถังแฟลชเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ปรกติการโบลว์ดาวน์จะเกิดขึ้นที่ทางออก ดังนั้นระบบน้ำป้อนควรถูกออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์จากการประทุของไอน้ำแฟลช

5) การประยุกต์ใช้งานอื่น ๆ

ความร้อนที่อยู่ในน้ำโบลว์ดาวน์สามารถใช้สำหรับประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในรูปของอุณหภูมิ ปริมาณความร้อน และเวลา

น้ำโบลว์ดาวน์ไม่ใช่แหล่งความร้อนที่เสถียร การให้ความร้อนน้ำเติมเป็นเพียงการประยุกต์ใช้งานซึ่งใช้น้ำโบลว์ดาวน์ให้สอดคล้องกับการใช้งาน ส่วนมากของการใช้งาน จะพิจารณาความร้อนของการโบลว์ดาวน์เป็นแหล่งพลังงาน ควรจะประยุกต์การใช้งานของโบลว์ดาวน์ในการให้ความร้อนแก่น้ำและถังน้ำมันเชื้อเพลิง

ถ้าในการประยุกต์ใช้งานที่มีความต้องการอุณหภูมิสูง ความร้อนที่เก็บคืนจากน้ำโบลว์ดาวน์ซึ่งมีปริมาณน้อย มีเพียงหม้อน้ำความดันสูงเท่านั้นที่สามารถนำน้ำโบลว์ดาวน์ซึ่งมีความร้อนเพียงพอสำหรับการนำไปให้ความร้อนที่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำ

4.7 ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนป้องกันความร้อน (Thermal Insulation) หมายถึง วัสดุที่ต้านทานหรือป้องกันมิให้พลังงานความร้อนส่งผ่านจากผนังด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปยังผนังด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ไม่ให้ความร้อนจากหม้อน้ำหรือท่อไอน้ำออกสู่ภายนอกได้ จุดประสงค์ของการใช้ฉนวน เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งอุณหภูมิต่ำกว่า หรือกล่าวอีกในหนึ่งคือใช้ฉนวนกันความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิไอน้ำ เนื่องจากท่อไอน้ำที่หุ้มฉนวนกันความร้อน จะสามารถลดพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากผิวท่อได้มากกว่า 95% เมื่อเทียบกับท่อไอน้ำที่ไม่ได้หุ้มฉนวนกันความร้อน นอกจากนี้การใช้ฉนวนยังช่วยลดการใช้พลังงาน และยังช่วยป้องกันอันตรายจากการสัมผัสของผู้ปฏิบัติงาน อีกทั้งยังมีประโยชน์ในการป้องกันการเกิดไอน้ำกลั่นตัวบนผิวโลหะ เช่น ในระบบทำความเย็น เป็นต้น ในระบบความร้อนจะพบว่าท่อและอุปกรณ์ที่หุ้มฉนวนที่มีความหนาเหมาะสม จะสูญเสียความร้อนน้อยกว่าท่อและอุปกรณ์ที่ไม่ได้หุ้มฉนวน หรือหุ้มฉนวนบางหรือหนาเกินไปค่อนข้างมาก ตามปรกติวัสดุกันความร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 500 °C เรียกว่า ฉนวนความร้อน ถ้าอุณหภูมิใช้งานสูงกว่านี้จะเรียกว่า วัสดุกันความร้อน วัสดุที่ใช้ทำฉนวนกันความร้อนมีทั้งแบบสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

การกันความร้อนเกิดขึ้นได้โดยอากาศที่แทรกอยู่ตามช่องว่างในโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ทำฉนวนกันความร้อน ซึ่งโดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ วัสดุที่ใช้ทำฉนวนแบ่งออกเป็น 5 ชนิดหลัก ได้แก่

1) Flake insulation

ฉนวนชนิดนี้มีลักษณะเป็นปุย เม็ดเล็กๆ จึงมีช่องว่างของอากาศจำนวนมาก ทำให้ความร้อนผ่านไปได้ยาก เช่น ไมก้า

2) Fibrous insulation

ฉนวนชนิดนี้มีทั้งเป็นสารอินทรีย์ เช่นไม้ หรือชานอ้อย และทำจากสารอนินทรีย์ เช่น ใยแก้ว (Glass wool or fiber glass) (รูปที่ 4-25) ใยหิน (Rock wool) (รูปที่ 4-26) ใยเซรามิก (Ceramic wool) อลูมินา (Alumina) และ แอสเบสตอส (Asbestos) เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำฉนวนมีคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และการเป็นฉนวนที่แตกต่างกัน เช่นค่าการนำความร้อน และอุณหภูมิสูงสุดของฉนวนที่ทนได้ คุณสมบัติทั้งสองประการนี้ยังเป็นตัวแปรของราคาที่แตกต่างกันด้วย คุณสมบัติของฉนวนที่ทำจากใยแก้ว มีดังต่อไปนี้

(ก) คุณสมบัติทางกายภาพ

- เป็นวัสดุสีเหลืองหรือขาว
- รูปร่าง ความหนา สัดส่วนคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง หยุ่นตัวได้ถึง 90%
- ไม่ติดไฟ ไม่ดูดซึมน้ำ และความชื้น
- น้ำหนักเบา ความหนาแน่น 10-48 kg/m^3 สำหรับแบบม้วนและแผ่น ถ้าเป็นท่อสำเร็จรูป ความหนาแน่น 56-100 kg/m^3
- เป็นเนื้อเดียวกัน ประกอบด้วยใยแก้วเล็กๆ เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยประมาณ 4-9 ไมครอน และยาวแต่ละเส้น 150-220 mm

(ข) คุณสมบัติทางเคมี

- ทนต่อกรด ด่าง และการกัดกร่อนของสารต่างๆ ได้ดี
- ไม่มีสารคลอไรด์ปน และไม่เป็นพิษต่อคน
- ไม่ละลายน้ำและสารเคมีอื่น
- ไม่เกิดเชื้อรา และไม่ถูกทำลายด้วยแมลงและสัตว์
- คุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการใช้งาน

(ค) คุณสมบัติทางฉนวน

- ใยแก้วชนิดไม่มีเรซินสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 540 $^{\circ}C$
- ใยแก้วเหลืองชนิดมีเรซินทนความร้อนได้ตั้งแต่ -150 $^{\circ}C$ ถึง 350 $^{\circ}C$
- ใยแก้วขาวชนิดมีเรซิ่นทนความร้อนได้ถึง 370 $^{\circ}C$
- มีค่าความต้านทานความร้อน 27-32 m K/W ต่อความหนา 25.4 mm
- มีค่าการนำความร้อน 0.031-0.037 W/m-K

รูปที่ 4-25 ฉนวนใยแก้ว

ส่วนคุณสมบัติของฉนวนที่ทำจากใยหิน มีดังต่อไปนี้

(ก) คุณสมบัติทางกายภาพ

- เป็นวัสดุสีน้ำตาลปนเขียวอ่อน
- รูปร่าง ความหนา สัดส่วนคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง
- ไม่ติดไฟ ทนอุณหภูมิสูง 800 $^{\circ}$C เป็นเวลา 30 นาที และไม่ดูดซับน้ำ
- น้ำหนักเบาปานกลาง ความหนาแน่น 48-400 kg/m^3
- ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ประกอบด้วยใยหินเล็กๆ เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นหินประมาณ 5-10 ไมครอน และยาวแต่ละเส้น 50-100 mm

(ข) คุณสมบัติทางเคมี

- ทนต่อกรด ด่าง และการกัดกร่อนของสารต่างๆ ได้พอสมควร
- มีสารคลอไรด์ได้ไม่เกิน 10 ppm ตาม ASTM D-512
- ไม่ละลายน้ำและไม่ดูดซับน้ำ
- คุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการใช้งาน

(ค) คุณสมบัติทางฉนวน

- ใยหินชนิดไม่มีสารเรซินทนความร้อนได้สูงถึง 1000 $^{\circ}$C
- ใยหินชนิดม้วนและแผ่นทนความร้อนได้ 100-550 $^{\circ}$C
- ใยหินชนิดสำเร็จรูปทนความร้อนได้ถึง 100-550 $^{\circ}$C
- มีค่าการนำความร้อน 0.044-0.165 W/m-K

รูปที่ 4-26 ฉนวนใยหิน

พึงสังเกตว่า ใยแก้วและใยหินมีความแตกต่างกันที่โครงสร้างของเส้นใย ใยแก้วเกิดจากเส้นใยที่ยาวกว่าจึงแข็งแรงกว่า สามารถลดความหนาแน่นลงได้ต่ำ ตั้งแต่ 10-48 kg/m^3 ในขณะที่เส้นใยหินเป็นเส้นใยสั้น จำเป็นต้องเพิ่มความหนาแน่นตั้งแต่ 48-400 kg/m^3 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับฉนวน

3) Granular insulation

ฉนวนชนิดนี้ทำจากวัสดุพวกโฟมต่างๆ และแคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate) ดังแสดงในรูปที่ 4-27 เป็นต้น คุณสมบัติของฉนวนที่ทำจากแคลเซียมซิลิเกต มีดังต่อไปนี้

(ก) คุณสมบัติทางกายภาพ

- สามารถใช้งานได้ถึงอุณหภูมิสูงสุด 650 $^{\circ}$C
- ความหนาแน่น 190-230 kg/m^3
- ความแข็งแรงต่อการดัดโค้งเข้ารูป 354 kN/m^2
- ความแข็งแรงต่อแรงอัดเป็นดังตารางที่ 4-6
- มีค่าการนำความร้อนเป็นดังตารางที่ 4-7

(ข) คุณสมบัติทางเคมี

- ทนต่อกรด ด่าง และการกัดกร่อนของสารต่างๆ ได้ดี
- ไม่มีสารคลอไรด์ปน และไม่เป็นพิษต่อคน
- ไม่ละลายน้ำและสารเคมีอื่น
- ไม่เกิดเชื้อรา และไม่ถูกทำลายด้วยแมลงและสัตว์
- คุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการใช้งาน

(ค) คุณสมบัติทางฉนวน

- ประกอบด้วยเนื้อทรายและปูนเป็นตัวประกอบ จึงเป็นเซลแบบเปิดที่มีที่ว่างของรูอากาศระหว่างเซล เป็นตัวฉนวนได้ดี
- ทนอุณหภูมิได้สูง 650 $^{\circ}$C
- มีค่าการนำความร้อน 0.052-0.085 W/m-K
- มีค่าความจุความร้อนจำเพาะ 0.84 kJ/kg-K

ตารางที่ 4-6 ความแข็งแรงต่อแรงอัดของฉนวนที่ทำจากแคลเซียมซิลิเกต

อุณหภูมิ (^{o}C)	ความหนาลด (%)	แรงอัด (kN/m^{3})
400	1.5	690
500	1.6	690
600	1.7	620

ตารางที่ 4-7 ค่าการนำความร้อนของฉนวนที่ทำจากแคลเซียมซิลิเกต

อุณหภูมิ (^{o}C)	ค่าการนำความร้อน (W/m-K)
50	0.052
100	0.056
150	0.061
200	0.066
250	0.072
300	0.078
350	0.085

รูปที่ 4-27 ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต

4) Cellular insulation

ฉนวนชนิดนี้ทำจากวัสดุจำพวกแก้ว ยาง และพลาสติก

5) Reflective insulation

ฉนวนชนิดนี้ทำจากแผ่นโลหะบางๆ หรือฟอยด์ซึ่งทำจากอลูมิเนียม หรือ Stainless steel เพื่อที่จะสะท้อนความร้อนให้ย้อนกลับ เช่น ฟิล์มกรองแสง อลูมิเนียมฟอยด์

สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติและจุดเด่นในการใช้งานของฉนวนแต่ละชนิดได้ดังแสดงในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 การเปรียบเทียบคุณสมบัติและจุดเด่นในการใช้งานของฉนวนแต่ละชนิด

ชนิดของฉนวน	ประเภท	อุณหภูมิใช้งานที่ปลอดภัย (°C)	ค่าการนำความร้อนสูงสุด (W/m-K)	จุดเด่น
แอสเบสตอส (Asbestos)	- ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 1 - ฉนวนแผ่น หมายเลข 2 - ผ้าห่มทนความร้อน - เชือกฉนวน	550 350 400	0.053-0.056 0.048-0.053 0.055-0.065	ติดตั้งสะดวก เหมาะสมกับบริเวณที่สั่นสะเทือน สามารถถอดได้ เหมาะสมกับวาล์ว และหน้าแปลน
ใยหิน (Rock wool)	- ฉนวนแผ่น - ฉนวนทรงกระบอก - ฉนวนแถบ	400-600	0.039-0.048	เหมาะสมกับอุณหภูมิสูงใช้เป็นฉนวนของหม้อน้ำ ถัง ท่อ และทางไฟ เป็นต้น
Diatomaceous earth	- ใส่เส้นใยพืช - ใส่แอสเบสตอส	250 500	0.062-0.097 0.083-0.097	ใช้เป็นฉนวนแบบปั้นขึ้นรูปได้ตามต้องการ
ใยแก้ว (Glass wool)	- ฉนวนแผ่น หมายเลข 1 8K-24K หมายเลข 2 10K-96K หมายเลข 3 96K - ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 1 - ฉนวนแถบ	300-350	 0.054-0.040 0.057-0.036 0.040 0.037 0.045	เป็นวัสดุฉนวนที่นิยมใช้กันมากที่สุด ค่าการนำความร้อนต่ำ ความสามารถในการรักษาอุณหภูมิดี
แคลเซียมซิลิเกต	- ฉนวนแผ่น หมายเลข 1 - ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 2	650	0.053 0.065	มีความแข็งแรงมาก แต่ถ้าทำเป็นแบบสำเร็จรูปการติดตั้งและความทนทานไม่ดี
Pearlite	- ฉนวนแผ่น หมายเลข 1 - ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 2	650	0.053	ค่านำความร้อนที่ต่ำ เบา สามารถนำไปใช้ได้ในงาน High Temp และLow Temp

4.7.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยเกี่ยวกับฉนวนกันความร้อนสำหรับหม้อน้ำกำหนดไว้ว่า ต้องหุ้มฉนวนกันความร้อนที่ตัวหม้อน้ำ ลิ้นจ่ายไอน้ำ (Main steam valve) ท่อจ่ายไอน้ำ ถังพักไอน้ำ ผนังห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง (ในกรณีห้องเผาไหม้อยู่นอกหม้อน้ำ) รวมทั้งถังเก็บน้ำร้อน ปล่องไอเสียและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำ ซึ่งมีอุณหภูมิผิวตั้งแต่ 85 องศาเซลเซียสขึ้นไป และติดตั้งอยู่ในระดับความสูงหรือบริเวณที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้อยู่ใกล้เคียง

4.7.2 การใช้งาน

1) การเลือกใช้ฉนวนป้องกันความร้อน

ฉนวนป้องกันความร้อนเป็นวัสดุที่ช่วยลดการสูญเสียความร้อนในระบบไอน้ำ และยังทำให้ระบบท่อและรอบๆ อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำไม่ร้อน ลดอันตรายจากการที่คนหรือพนักงานไปจับหรือแตะต้องท่อหรืออุปกรณ์ ฉนวนป้องกันความร้อนที่ใช้มีหลายชนิด หลายราคา ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของฉนวนและลักษณะงานที่จะนำไปใช้ หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้ฉนวนป้องกันความร้อนมีดังต่อไปนี้

- มีค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) ต่ำหรือค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance, R) สูง
- ไม่ติดไฟหรือลุกไฟ ทนอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดสำหรับฉนวนชนิดนั้นๆ ได้
- ไม่ซับหรืออมน้ำ และทนต่อความชื้น ต้านทานต่อมด แมลง หนู ได้เป็นต้น
- ทนต่อแรงดึง แรงอัด และการสั่นสะเทือน โดยไม่เสื่อมสภาพหรือแปรรูป
- ติดตั้งสะดวก ดูแลรักษา และซ่อมแซมง่าย
- มีสภาพความเป็นฉนวนคงที่ ไม่กัดกร่อน หรือมีอายุการใช้งานยาวพอสมควร
- มีช่วงอุณหภูมิการใช้งานที่กว้าง
- ลดความมีเสียงดังภายในลงได้
- ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้
- มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา ราคาถูก และหาซื้อได้ง่าย

2) ข้อควรคำนึงในการหุ้มฉนวน

ในการหุ้มฉนวนท่อและอุปกรณ์ความร้อนต่างๆ จำเป็นต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้เป็นสิ่งแรก ได้แก่

- ความชื้นของบรรยากาศและที่ตั้งของงาน ฉนวนที่นำมากันความร้อนที่อุณหภูมิต่ำๆ ต้องคำนึงถึงความชื้นด้วย เพราะอาจจะเกิดหยดน้ำรอบฉนวนที่ติดตั้งได้
- การขยายตัวเนื่องจากความร้อนและการหดตัวของฉนวน ตรงรอยต่อของวัสดุฉนวนที่มีความยาวมากๆ จะเกิดช่องว่างขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของท่อ วิธีแก้ปัญหาของช่องว่างนี้ทำได้โดยการใส่ฉนวนใยแก้วเสริมที่ทุกรอยต่อของวัสดุฉนวน
- การวางแนวต่อตามความยาวของท่อและถัง สำหรับฉนวนสำเร็จรูปที่มีรอยต่อตามยาวควรให้รอยต่อทั้งสองชนสนิทกันพอดี ไม่ควรทิ้งให้เป็นช่องว่าง การวางตำแหน่งของรอยต่อมักจะต่อที่ตำแหน่ง 4 นาฬิกา ถ้าเป็นการหุ้มฉนวนสองชั้น รอยต่อชั้นในมักจะต่อที่ตำแหน่ง 2 นาฬิกา ส่วนรอยต่อชั้นนอกมักจะต่อที่ตำแหน่ง 4 นาฬิกา
- มีการป้องกันน้ำจากภายนอก เช่น น้ำฝน เป็นต้น
- ควรหุ้มฉนวนตามวาล์ว หน้าแปลน และข้องอต่างๆ เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้จะสูญเสียความร้อนหากปล่อยทิ้งไว้ไม่หุ้มฉนวน วิธีป้องกันคือทำเป็นกล่องสำเร็จรูปที่เปิดปิดได้

- ควรรักษาความหนาและแนวป้องกันความร้อนให้เหมาะสม
- การสูญเสียความร้อนไปกับอุปกรณ์แขวนหรือติดตั้ง

ท่อและอุปกรณ์ความร้อน แม้ได้รับการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนอย่างถูกต้อง และสมบูรณ์แบบแล้วก็ตาม แต่ความร้อนก็ยังสามารถสูญเสียได้จากท่อและอุปกรณ์ได้บ้าง แต่เป็นเพียงส่วนน้อย ซึ่งไม่อาจป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อนแม้แต่น้อยนิดเลยได้ เนื่องจาก

- ความร้อนจากไอน้ำสูญเสียโดยการถ่ายเทไปยังอุปกรณ์และท่อโดยการพาความร้อน
- ความร้อนจากผิวด้านในของท่อหรืออุปกรณ์เคลื่อนที่มายังผิวด้านนอกของท่อโดยการนำความร้อน
- ความร้อนที่ผิวด้านนอกของท่อหรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ผ่านวัสดุฉนวนกันความร้อนโดยการนำความร้อนมายังผิวด้านนอกของวัสดุฉนวน
- ที่ผิวด้านนอกสุดของวัสดุฉนวนจะมีวัสดุหุ้มทับอีกชั้นหนึ่ง ความร้อนผ่านไปยังผิวนอกด้วยการนำความร้อนเช่นกัน
- ความร้อนจากวัสดุหุ้มทับสูญเสียไปสู่อากาศภายนอกด้วยการแผ่รังสี

3) การติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อน

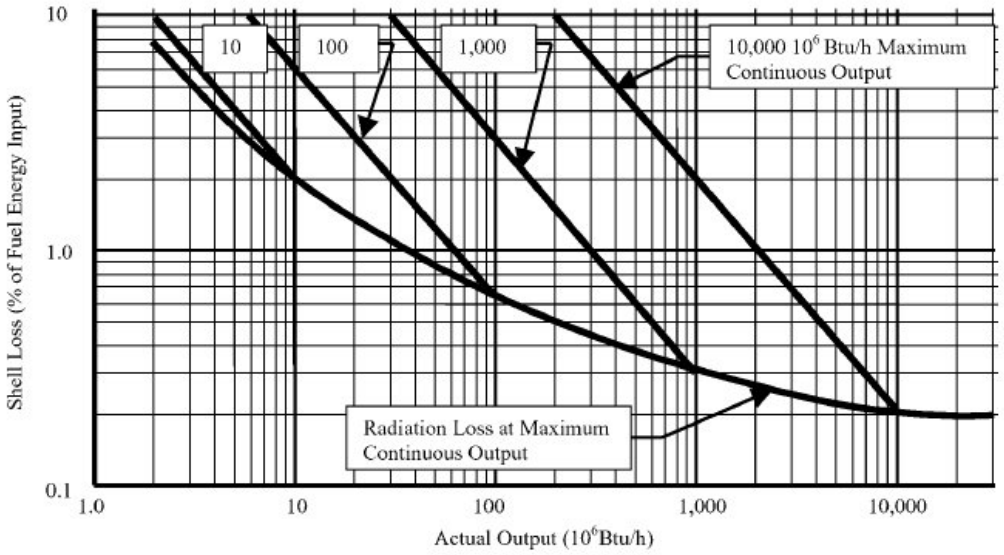
เนื่องจากวัสดุฉนวนมีทั้งแบบเป็นผง เป็นแผ่นหรือท่อ และเป็นม้วน การติดตั้งก็มีกรรมวิธีที่แตกต่างกันออกไป

- ชนิดเป็นผง ผู้ใช้ต้องนำมาผสมเอง เช่น Diatomaceous Earth หรือ แคลเซียมซิลิเกตผง กรรมวิธีการติดตั้งค่อนข้างยุ่งยาก ต้องอาศัยความสามารถหรือความชำนาญของผู้ติดตั้งในการหล่อให้ได้ขนาดของงาน ที่สำคัญคือต้องรักษาความหนาของฉนวนให้เท่ากันตลอด และเมื่อติดตั้งแล้วอาจแตกร้าวหรือหดตัวเนื่องจากต้องผสมน้ำ เมื่อแห้งเป็นธรรมดาจะเกิดการหดตัวได้จึงเป็นการยากมากทีเดียว
- ชนิดเป็นแผ่นหรือท่อสำเร็จรูป เช่น ใยแก้วที่ทำเป็นท่อสำเร็จรูปสามารถแกะออกได้เลย หรือฉนวนแคลเซียมซิลิเกตหากเป็นแบบ 2 ฝา หรือมากกว่า สามารถนำมาประกบกันได้เลย สะดวกและง่าย เป็นที่นิยมใช้กันมาก
- ชนิดเป็นผืนหรือม้วน ใช้กับงานที่เป็นถังหรือกระบอกใหญ่ เช่นหม้อน้ำ ถังยืนหรือนอน เป็นชนิดที่ติดตั้งง่าย ปูทับกัน อาศัยตัวยึดที่เตรียมไว้เป็นช่วงๆ เพื่อรักษารูปให้อยู่ตลอดไป

ในการติดตั้ง ควรพิจารณาดูว่าจะต้องมีแผ่นสังกะสีหรืออลูมิเนียม มาหุ้มป้องกันฉนวนหรือไม่ ฉนวนที่มีกำลังเชิงกลต่ำ อาจจะถูกกดจนเสียรูปทรงได้ จึงสมควรถูกหุ้ม แต่ถ้าเป็นส่วนที่ติดตั้งอยู่ภายในและไม่มีใครมาทำความเสียหายได้ ก็อาจจะไม่ต้องหุ้มโลหะ แต่ก็ต้องพิจารณาอีกว่า ฉนวนจะตกท้องช้างหรือไม่ แล้วหาวิธีรัดหรือรองรับให้ดี ฉนวนที่ติดตั้งกลางแจ้งต้องป้องกันไม่ให้โดนฝน

4) ความร้อนสูญเสียที่ตัวหม้อน้ำ

ความร้อนสูญเสียที่ตัวหม้อน้ำ (Shell loss) เป็นความสูญเสียอันเนื่องจากการถ่ายเทความร้อน (การพาความร้อนและการแผ่รังสี) ที่บริเวณผิวเปลือกนอกของหม้อน้ำ ซึ่งการคำนวณหาค่าความสูญเสียดังกล่าวนี้ สามารถหาได้จากข้อมูลของสมาคมผู้ผลิตหม้อน้ำแห่งสหรัฐอเมริกา (ABMA) การประมาณความร้อนสูญเสียที่ตัวหม้อน้ำ สามารถใช้กราฟในรูปที่ 4-28 ซึ่งเป็นกราฟแสดงค่าความร้อนสูญเสียที่ตัวหม้อน้ำเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไป ช่วยในการหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไปสำหรับหม้อน้ำที่ท่อน้ำขนาดต่างๆ กัน



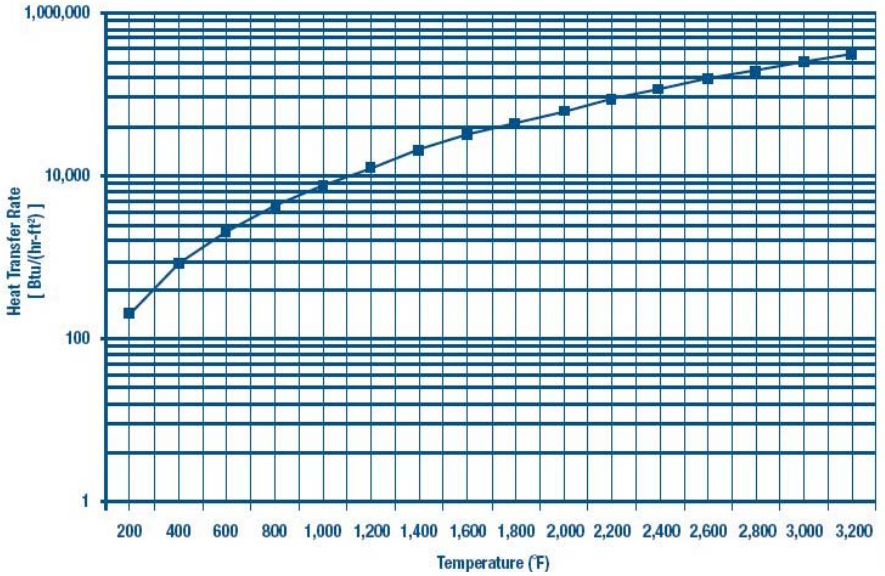
รูปที่ 4-28 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนสูญเสียที่ตัวหม้อน้ำและปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไป

จากข้อมูลในกราฟข้างต้น แสดงให้เห็นว่าหม้อน้ำชนิดท่อน้ำส่วนใหญ่ จะมีค่าความสูญเสียที่ตัวหม้อน้ำน้อยกว่า 1.0% ของปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไป ถ้าหม้อน้ำดังกล่าวทำงานที่สภาวะใกล้เคียงกับพิกัด และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับวัสดุทนความร้อนสูงหรือวัสดุที่ใช้หุ้มเปลือกหม้อน้ำ ปริมาณค่าความร้อนสูญเสียที่ตัวหม้อน้ำ (Btu/h) จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามภาระของหม้อน้ำ แต่ถ้าพิจารณาเทียบสัดส่วนกับปริมาณเชื้อเพลิงหรือพลังงานที่ป้อนเข้าไปแล้ว จะพบว่า สัดส่วนความสูญเสียที่ตัวหม้อน้ำ (เทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงป้อน) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ถ้าหม้อน้ำทำงานที่ภาระโหลดลดลง

5) การลดการแผ่รังสีความร้อนที่ผิว

การสูญเสียความร้อนที่พื้นผิวโดยการแผ่รังสี และการนำความร้อน ถ้าพื้นที่ผิวมีระดับความต้านทานความร้อนต่ำแล้ว จะเกิดการสูญเสียความร้อนที่พื้นที่ผิวอย่างแน่นอน ยกตัวอย่าง เช่น บริเวณผิวของท่อเหล็ก และข้อต่อต่างๆ (Fitting) ส่วนการสูญเสียความร้อนแบบการนำความร้อนจะเกิดการสูญเสียอย่างมากที่อุณหภูมิต่ำ ในทางตรงกันข้ามจะเกิดการสูญเสียความร้อนแบบแผ่รังสีเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ แต่หากปริมาณพื้นที่ผิวทำความร้อนในโรงงานน้อย การสูญเสียความร้อนทางพื้นผิวจะไม่นำมาพิจารณา

อุปกรณ์ที่มีพื้นผิวร้อน จะเผชิญกับการสูญเสียอันเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ เช่น เมื่ออุปกรณ์ดังกล่าวทำงานที่อุณหภูมิ 2,200 $^{\circ}$F พื้นผิวร้อนจะแผ่รังสีความร้อนไปยังพื้นผิวที่เย็นกว่าด้วยอัตราการแผ่รังสีความร้อนเท่ากับ 30,000 BTU/hr-ft^2 และอัตราการแผ่รังสีความร้อนนี้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute temperature) ของพื้นผิวร้อนยกกำลังสี่ ดังแสดงในรูปที่ 4-29

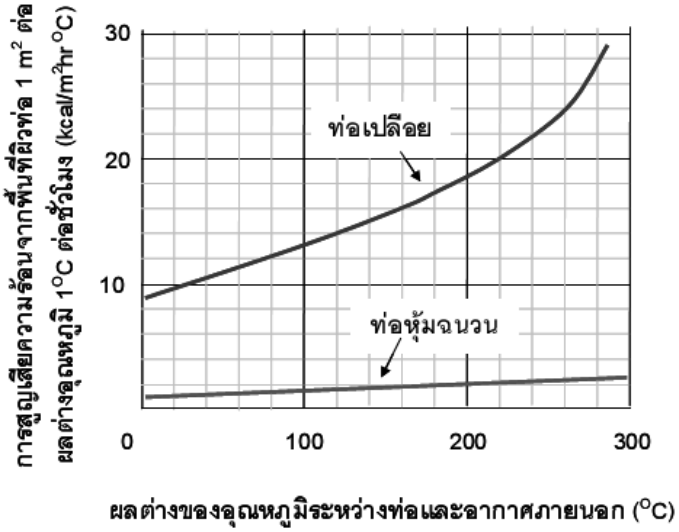


รูปที่ 4-29 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแผ่รังสีความร้อนและอุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิวร้อน

6) การหุ้มฉนวนท่อไอน้ำ และท่อคอนเดนเสท

ปรกติพบว่างานท่อของระบบไอน้ำมีการหุ้มฉนวนแต่ท่อคอนเดนเสทมักจะไม่ได้หุ้มฉนวน แม้ว่าท่อคอนเดนเสทมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิไอน้ำ จุดประสงค์หลักของระบบนำคอนเดนเสทกลับ คือ การนำความร้อนกลับมาใช้ ดังนั้น งานท่อคอนเดนเสทควรมีการหุ้มฉนวนด้วย ถังน้ำป้อนเป็นที่ที่คอนเดนเสทเข้าไปถึงเป็นจุดสุดท้าย ควรได้รับการหุ้มฉนวนอย่างเพียงพอ บริเวณฝาถังที่มีช่องระบายไอสู่บรรยากาศ ควรมีแผ่นคลุมที่ลอยได้หรือลูกบอลพลาสติกลอยอยู่บนผิวน้ำ วิธีการนี้เป็นการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากผิวน้ำร้อน และลดการดูดซับออกซิเจนเข้าไปในน้ำ

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุงให้เริ่มต้นจากทำการสำรวจท่อไอน้ำและท่อคอนเดนเสทที่ไม่ได้หุ้มฉนวนหรือฉนวนชำรุดเสียหาย โดยตรวจวัดขนาด และอุณหภูมิผิว สำหรับท่อคอนเดนเสทให้ทำการพิจารณาว่าเป็นส่วนที่นำกลับไปใช้ประโยชน์ได้หรือไม่ ในส่วนของวาล์ว ข้อต่อ และหน้าแปลนต่างๆ ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และนับจำนวน พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิผิว จากนั้นทำการวิเคราะห์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน ระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำและท่อนำคอนเดนเสทกลับที่ไม่ได้ทำการหุ้มฉนวน เป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่คงที่ จากรูปที่ 4-30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากผิวท่อเปลือย 1 ตารางเมตร ต่อเวลา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวท่อและอากาศภายนอก เส้นโค้งด้านล่างของกราฟแสดงปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากท่อที่หุ้มฉนวนอย่างเหมาะสม ส่วนเส้นโค้งด้านบนของกราฟแสดงปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากท่อเปลือย ดังนั้นผลต่างของความสูงในแนวดิ่งของเส้นโค้งทั้งสองนี้จึงสามารถแสดงถึงปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปสู่บรรยากาศโดยเปล่าประโยชน์



รูปที่ 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากผิวท่อเปลือย 1 ตารางเมตร ต่อเวลา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวท่อและอากาศภายนอก

4.7.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

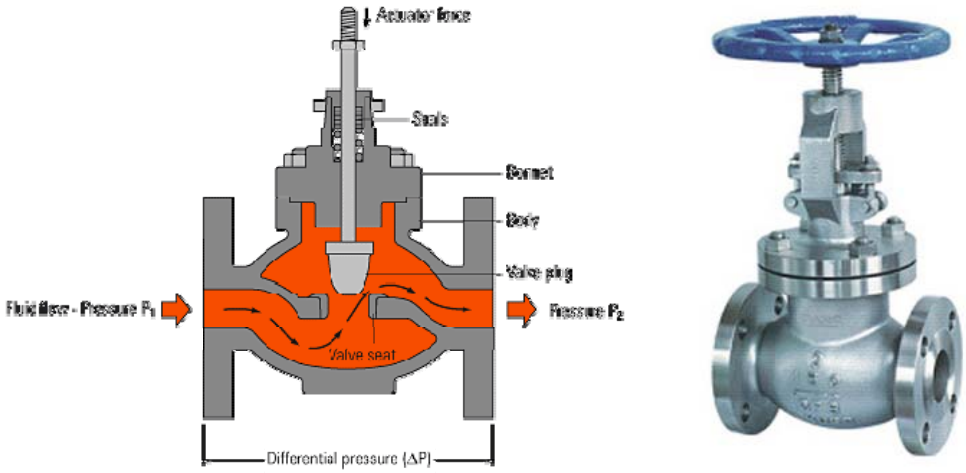
- สามารถตรวจสอบการเสื่อมสภาพของฉนวนกันความร้อนด้วยวิธีง่ายๆ ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือวัดใดๆ คือ ตรวจสอบโดยวิธีแตะสัมผัสด้วยฝ่ามือ ทำความรู้สึกว่าร้อนแค่ไหน ถ้าแตะสัมผัสนิ่งไว้ได้ถึง 5-10 วินาที ถือว่าใช้ได้ แต่ถ้าแตะสัมผัส 2-3 วินาทีแล้วรู้สึกร้อนจนทนไม่ไหวต้องชักมือออก แสดงว่าฉนวนเสื่อมสภาพ
- หมั่นทำความสะอาดฝุ่น แมลง หยากไย่ บนผิวโลหะครอบฉนวนหม้อน้ำ
- ถ้าโลหะครอบฉนวนมีการเปื่อยเป็นสนิม ต้องรีบตรวจสอบการรั่วของตัวหม้อน้ำบริเวณด้านใต้ผิวฉนวนกันความร้อนนั้น ว่ามีการรั่วซึมของตัวหม้อน้ำหรือไม่ และทำการแก้ไข เพราะการรั่วซึมนั้นอาจจะเป็นการแตกร้าวของโครงสร้างหม้อน้ำ ทำให้หม้อน้ำอาจจะระเบิดได้ แต่ถ้าเป็นการรั่วซึมของปะเก็นทางด้านน้ำ ให้รีบทำการเปลี่ยนปะเก็นที่รั่วซึมนั้นทันที เพราะเกลือที่เกิดจากการรั่วซึม จะกัดกร่อนเหล็กหม้อน้ำอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นอันตรายอย่างมาก
- ทำการเปลี่ยนโลหะครอบฉนวน หรือเปลี่ยนฉนวนใหม่ ตามสมควร
- ถ้าเป็นโลหะครอบฉนวนที่ทาสี ให้พ่นสีทนความร้อนใหม่ให้หม้อน้ำดูเรียบร้อย และเพื่อเป็นจุดบ่งชี้ของบริเวณการรั่วซึมของตัวหม้อน้ำในอนาคต
- ตรวจสอบสภาพฉนวนกันความร้อนที่คอเตา (Burner throat)
- ตรวจสอบสิ่งสกปรก (Slag) ที่เกาะหรือเกิดอยู่บนผิวของฉนวนกันความร้อน
- ตรวจสอบและแก้ไขหากพบฉนวนกันความร้อนหลุดหรือหักจากตำแหน่งต่างๆ

4.8 ลิ้นจ่ายไอน้ำ

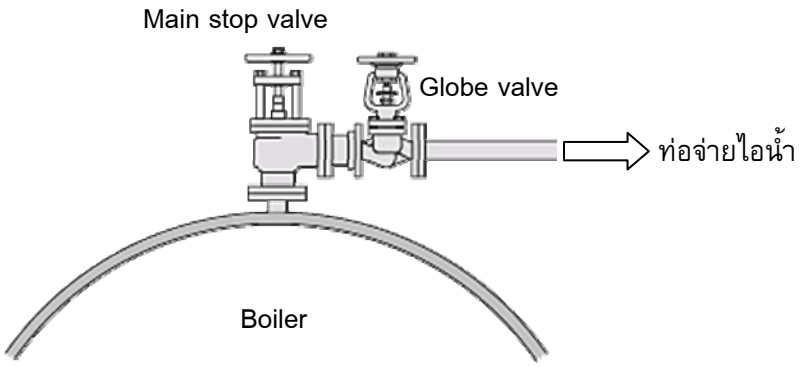
ลิ้นจ่ายไอน้ำ ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการจ่ายไอน้ำที่ออกจากหม้อน้ำเข้าสู่ระบบไอน้ำ นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ปิดไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้าสู่หม้อน้ำในระหว่างหยุดหรือยกเลิกการใช้งานหม้อน้ำอีกด้วย

4.8.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำกำหนดไว้ว่า ลิ้นจ่ายไอน้ำต้องเป็นชนิดปิดเปิดช้า เช่น โกล์บวาล์ว (Globe Valve) ดังแสดงในรูปที่ 4-31 และต้องติดตั้งที่ด้านบนของตัวหม้อน้ำ ถังพักไอน้ำ (Steam header) โดยติดตั้งให้ใกล้กับโครงสร้างรับความดันมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4-32



รูปที่ 4-31 โกล์บวาล์ว



รูปที่ 4-32 ตำแหน่งติดตั้งโกล์บวาล์ว

4.8.2 การใช้งาน

- การเปิดและปิดลิ้นจ่ายไอน้ำ ให้หมุนก้านโยกหรือก้านหมุนอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการเกิดค้อนไอน้ำ (Steam hammer)
- หุ้มฉนวนตัวเรือนของลิ้นจ่ายไอน้ำให้มิดชิด

4.8.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

- ตรวจสอบไม่ให้มีการรั่วไหลของไอน้ำหรืออากาศขณะปิดวาล์ว
- ตรวจสอบไม่ให้มีการรั่วไหลของไอน้ำหรืออากาศออกมาจากตัววาล์ว
- หากหมุนก้านโยกหรือก้านหมุนค่อนข้างยาก ให้เปลี่ยนลิ้นจ่ายไอน้ำตัวใหม่ทันที
- ตรวจสอบสภาพและการทำงานทุกวัน และบำรุงรักษาตามระยะที่ผู้ผลิตกำหนดไว้

4.9 เครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ

เครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ คือ อุปกรณ์ที่สามารถวัดระดับน้ำและส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังระบบควบคุมอื่นๆ ได้เมื่อน้ำมีระดับถึงจุดที่ตั้งไว้ เช่น เมื่อระดับน้ำภายในหม้อน้ำสูงถึงจุดสูงสุด เครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติจะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมเครื่องสูบน้ำป้อนให้หยุดการทำงานของเครื่องสูบน้ำ แต่หากระดับน้ำลดต่ำลงมาถึงระดับที่ตั้งไว้ เครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติจะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมเครื่องสูบน้ำป้อนให้เริ่มการทำงานอีกครั้ง สามารถแบ่งเครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติได้ 2 แบบ ดังนี้

1) เครื่องควบคุมระดับน้ำแบบลูกลอย

เครื่องควบคุมระดับน้ำแบบลูกลอย (Float operated level controller) เป็นอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำในหม้อน้ำแบบกลไกผสมกับสัญญาณไฟฟ้า เพื่อใช้สำหรับควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำที่ใช้ป้อนน้ำ ใช้หลักการทำงานของลูกลอย ซึ่งปรกติจะต้องลอยอยู่ที่ระดับผิวน้ำ ถ้าหากระดับเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ระดับของลูกลอยเปลี่ยนแปลงไปด้วย จัดเป็นการควบคุมการป้อนน้ำแบบเป็นช่วงเวลา (On-off feed water control) การควบคุมการป้อนน้ำแบบนี้ ปั๊มน้ำไม่ได้ป้อนน้ำเข้าตลอดเวลา แต่จะทำงานเป็นช่วงเวลาเท่านั้น เมื่อน้ำในหม้อน้ำลดระดับลงมาถึงระดับที่กำหนด เซนเซอร์จะส่งสัญญาณไฟฟ้าให้วงจรควบคุมปั๊มน้ำให้ทำการป้อนน้ำเข้าหม้อน้ำ เมื่อระดับน้ำสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงระดับที่กำหนดไว้ เซนเซอร์จะส่งสัญญาณให้วงจรควบคุมปั๊มน้ำให้หยุดทำงาน เซนเซอร์จะมีทั้งแบบก้านเดี่ยว และแบบหลายก้าน โดยสามารถตั้งระยะให้ปั๊มน้ำเริ่มทำงานและหยุดทำงาน รวมทั้งตั้งระดับสูงสุดของน้ำ (Maximum water level) และระดับต่ำสุดของน้ำ (Minimum water level) ได้

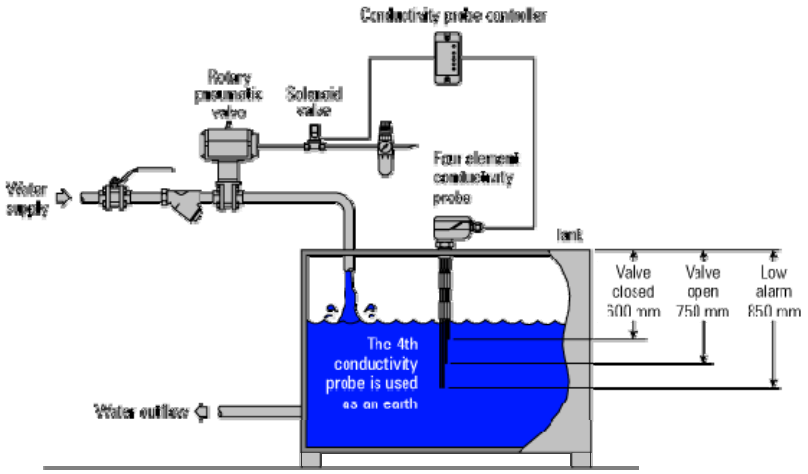
2) เครื่องควบคุมระดับน้ำแบบก้านอิเลคโทรด

เครื่องควบคุมระดับน้ำแบบก้านอิเลคโทรด เป็นอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำในหม้อน้ำแบบสัญญาณไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4-33 หากระดับน้ำถึงระดับที่ตั้งไว้โดยการเลื่อนก้านอิเลคโทรดขึ้นหรือลง ก้านอิเลคโทรดจะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังระบบควบคุมระดับน้ำ หรือระบบเตือนต่างๆ โดยอัตโนมัติ สามารถแบ่งลักษณะการควบคุมการป้อนน้ำของเครื่องควบคุมระดับน้ำแบบก้านอิเลคโทรดได้ 2 แบบย่อย คือ

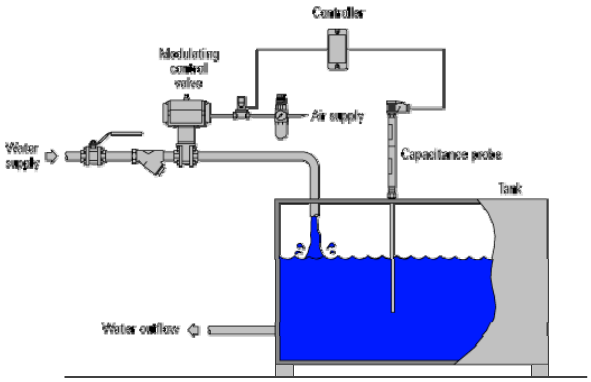
- การควบคุมการป้อนน้ำแบบเป็นช่วงเวลา ซึ่งการทำงานมีลักษณะเหมือนในกรณีของเครื่องควบคุมระดับน้ำแบบลูกลอย ดังแสดงในรูปที่ 4-34
- การควบคุมการป้อนน้ำแบบต่อเนื่อง (Modulating feed water control) ปั๊มน้ำจะทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยเซนเซอร์จะส่งสัญญาณเข้าเครื่องควบคุมและสั่ง

ให้วาล์วควบคุมอัตราการไหลทำการปรับอัตราการไหลของน้ำป้อนให้สมดุลกับอัตราของน้ำที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4-35

รูปที่ 4-33 ก้านอิเลคโทรดควบคุมระดับน้ำ



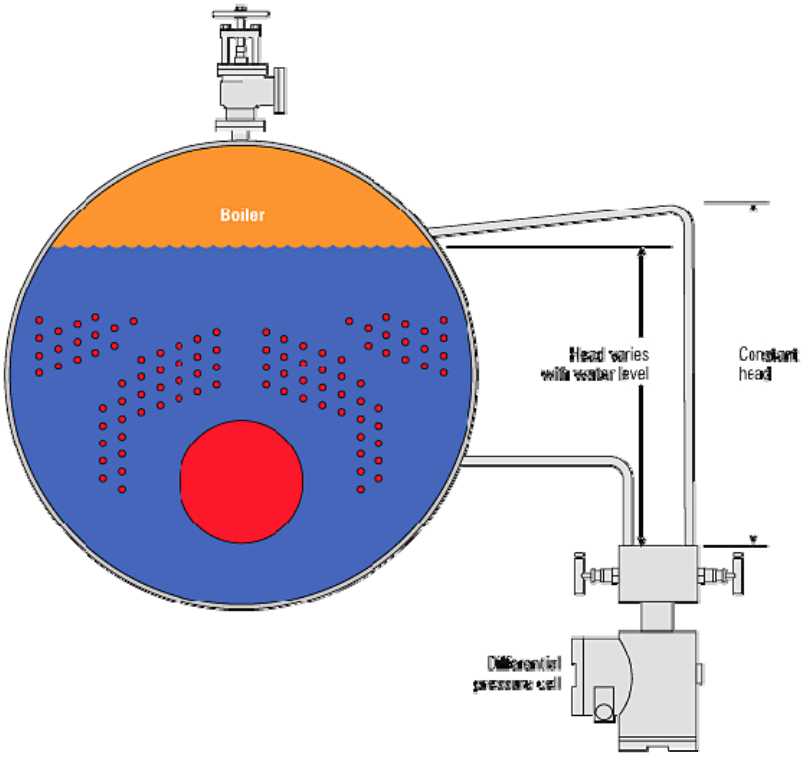
รูปที่ 4-34 การควบคุมการป้อนน้ำแบบเป็นช่วงเวลา



รูปที่ 4-35 การควบคุมการป้อนน้ำแบบต่อเนื่อง

3) เครื่องควบคุมระดับน้ำแบบความดันแตกต่าง

เครื่องควบคุมระดับน้ำแบบความดันแตกต่าง (Differential pressure cell) ใช้หลักการทำงานโดยการวัดความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นในหม้อน้ำ ตัวเครื่องควบคุมมีท่อต่อไปยังหม้อน้ำจำนวน 2 ท่อ ท่อแรกต่อเข้าสู่ด้านบนของหม้อน้ำในส่วนที่ไม่มีน้ำ เรียกว่าเป็นท่อที่มีความดันจากเฮดของน้ำในหม้อน้ำที่คงที่ ส่วนอีกท่อต่อเข้าสู่ด้านล่างของหม้อน้ำในส่วนที่มีน้ำ เพื่อใช้วัดความดันจากเฮดของน้ำในหม้อน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามระดับของน้ำในหม้อน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4-36 การวัดความดันแตกต่างของเครื่องควบคุมระดับน้ำแบบความดันแตกต่างนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การใช้หัววัดแบบการนำไฟฟ้าแปรเปลี่ยน (Variable capacitance) การใช้หัววัดความเครียด (Strain gauge) หรือการแปรค่าจากการเปลี่ยนแปลงของแผ่นไดอะแฟรม (Deflection of a diaphragm) เป็นต้น จากนั้นเครื่องควบคุมระดับน้ำแบบความดันแตกต่างจะสร้างสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อส่งไปยังอุปกรณ์ควบคุมที่เกี่ยวข้องต่อไป เครื่องควบคุมระดับน้ำแบบความดันแตกต่างเหมาะสมกับการใช้งานในหม้อน้ำแบบท่อน้ำที่มีความดันและมีความบริสุทธิ์ของน้ำป้อนสูงมาก เนื่องจากน้ำในหม้อน้ำจะมีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำมาก หากนั้นหากใช้เครื่องควบคุมระดับน้ำแบบก้านอิเลคโทรดแล้ว การวัดระดับน้ำอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ส่งผลให้การควบคุมระดับน้ำมีความน่าเชื่อถือต่ำ



รูปที่ 4-36 เครื่องควบคุมระดับน้ำแบบความดันแตกต่าง

นอกจากนี้ยังมีการนำก้านอิเลคโทรดไปประยุกต์ใช้งานเป็น อุปกรณ์ตรวจจับระดับน้ำต่ำสุดแบบก้านอิเลคโทรด (Extra low water level sensor) ซึ่งเป็นเซนเซอร์แบบก้านอิเลคโทรดก้านเดี่ยวจุ่มลงไปในน้ำ ทำหน้าที่ตรวจวัดระดับน้ำต่ำสุดที่ยอมรับได้ในหม้อน้ำ หากระดับน้ำต่ำกว่าปลายก้านอิเลคโทรดที่กำหนดไว้ เซนเซอร์จะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังวงจรควบคุมการสันดาปให้หยุดทำงาน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดน้ำแห้งในหม้อน้ำ

4.9.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำกำหนดไว้ว่า ต้องติดตั้งเครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติอย่างน้อย 1 ชุด โดยต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงานอย่างน้อย ดังนี้

- ต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย เมื่อระดับน้ำต่ำผิดปรกติ (Low water alarm) โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากเครื่องควบคุมระดับน้ำ โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ
- ต้องตัดวงจรพัดลมช่วยเผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อระดับน้ำต่ำถึงจุดวิกฤต (Low water cut-off) ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งใช้พัดลมช่วยเผาไหม้และป้อนเชื้อเพลิงแบบควบคุมด้วยคน
- ต้องตัดวงจรการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อระดับน้ำต่ำถึงจุดวิกฤตในกรณีที่ใช้เครื่องพ่นไฟ (Burner) หรืออุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแบบป้อนเชื้อเพลิงและอากาศอัตโนมัติ

4.9.2 การใช้งาน

หม้อน้ำที่ใช้เครื่องควบคุมระดับน้ำ เครื่องสูบน้ำจะทำงานเมื่อระดับน้ำต่ำและจะหยุดทำงานเมื่อระดับสูงถึงจุดที่ตั้งไว้ นอกจากนี้ถ้าระดับน้ำต่ำลงกว่าปรกติจะตัดระบบป้อนเชื้อเพลิงและมีสัญญาณเตือนภัยปรากฏขึ้นเป็นเสียงไซเรน เสียงกริ่ง หรือปรากฏเป็นสัญญาณไฟ แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องควบคุมระดับน้ำนั้นเป็นเพียงอุปกรณ์อำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำเท่านั้น มิใช่เป็นอุปกรณ์ป้องกันน้ำแห้งที่มั่นใจได้ เพราะตัวเครื่องควบคุมระดับน้ำเองก็สามารถชำรุดขัดข้องได้ ฉะนั้นความปลอดภัยของหม้อน้ำจึงขึ้นอยู่กับความระมัดระวังในการดูแล บำรุงรักษา และตรวจสอบของผู้ควบคุมหม้อน้ำเป็นสำคัญ

ระดับน้ำต่ำสุดในหม้อน้ำแบบต่างๆ ควรเป็นดังนี้

- หม้อน้ำแบบท่อไฟและแบบผสม ต้องมีระดับไม่ต่ำกว่า 100 มิลลิเมตร เหนือผิวท่อไฟ
- หม้อน้ำแบบท่อน้ำ ต้องมีระดับไม่ต่ำกว่า 100 มิลลิเมตร จากระดับเส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อกักเก็บไอ

ข้อแนะนำในการติดตั้งสัญญาณเตือนระดับน้ำในหม้อน้ำมีดังนี้

- ความดันในการใช้งาน
  - (ก) แบบอิเลคโทรด ความสามารถในการรับความดันขึ้นอยู่กับโครงสร้างและวัสดุที่ใช้ติดตั้งอิเลคโทรด

(ข) แบบลูกลอย แต่ละยี่ห้อ แต่ละรุ่น สามารถรับความดันได้ไม่เท่ากัน ควรเลือกใช้รุ่นที่สามารถทนความดันได้ไม่น้อยกว่าความดันสูงสุดในการใช้งานหม้อน้ำ

- สภาพน้ำที่ใช้ในหม้อน้ำ
  (ก) น้ำที่ผ่านการปรับสภาพและมีคุณสมบัติตามมาตรฐานกำหนด สามารถเลือกใช้ทั้งแบบอิเลคโทรด ลูกลอย หรือแบบอื่นๆ
  (ข) น้ำที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และคุณสมบัติที่ไม่ได้มาตรฐานที่กำหนดจะทำให้เกิดปัญหาดังนี้
    - แบบลูกลอย การใช้งานควรมีการระบายน้ำที่ชุดลูกลอยทุกวัน มิฉะนั้นโคลนตะกรันอาจทำให้ลูกลอยติดค้างได้ และควรถอดลูกลอยออกมาตรวจสอบและทำความสะอาดอย่างน้อยทุก 3 - 6 เดือน)
    - แบบอิเลคโทรด การทำงานปรกติอาศัยน้ำเป็นตัวนำไฟฟ้าจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งการเคลือบของโคลน ตะกรันรอบๆ แท่งอิเลคโทรด จะทำให้เกิดความต้านทานไฟฟ้าสูง ซึ่งอาจทำให้เครื่องส่งสัญญาณดังในขณะที่ระดับน้ำยังปรกติ ปัญหานี้อาจบรรเทาได้โดยการเลือกใช้อิเลคโทรดแท่งใหญ่ๆ และถอดแท่งอิเลคโทรดออกมาล้างทำความสะอาดบ่อยๆ

- ระบบไฟฟ้า
  ควรใช้ไฟฟ้ากระแสตรง แรงเคลื่อนต่ำซึ่งไม่เป็นอันตรายเมื่อไฟรั่ว ป้อนเข้าเครื่องอิเลคโทรดหรือชุดลูกลอย และมีฝาครอบปิดมิดชิด

- ระดับน้ำที่ระบบสัญญาณเตือนภัยดัง
  (ก) สำหรับหม้อลูกหมู ควรติดตั้งให้สัญญาณเตือนภัยดังที่ระดับน้ำสูงกว่าผิวท่อไฟใหญ่ประมาณ 6 นิ้ว การติดตั้งให้สัญญาณดังที่ระดับน้ำสูงเกินไป จะทำให้สัญญาณดังบ่อยๆ โดยไม่จำเป็น และไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อน้ำจะเป็นไอเปียก ซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ แต่ถ้าติดตั้งให้สัญญาณดังที่ระดับน้ำต่ำเกินไป เมื่อน้ำต่ำกว่าระดับปรกติอาจทำให้ท่อไฟใหญ่หรือผนังด้านท้ายหม้อน้ำชำรุดได้
  (ข) สำหรับหม้อน้ำเรือ หม้อน้ำรถไฟ ควรติดตั้งสัญญาณดังที่ระดับน้ำสูงกว่าเพดานเตาประมาณ 4-6 นิ้ว
  (ค) สำหรับ Package boiler ควรติดตั้งให้สัญญาณดังที่ระดับน้ำสูงกว่าท่อไฟเล็กประมาณ 4-6 นิ้ว

4.9.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

- ต้องมีการทดสอบทำงานของอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำเสมอ ตามระยะเวลาและวิธีการที่ผู้ผลิตแนะนำ เพราะอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำจะเป็นตัวป้องกันไม่ให้น้ำในหม้อน้ำต่ำกว่าระดับทำงานปรกติที่จะเป็นอันตรายทำให้หม้อน้ำระเบิดได้ วิธีการทดสอบการทำงานของเครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ มีดังต่อไปนี้
  (ก) วิธีทดสอบการทำงานของเครื่องควบคุมระดับน้ำที่ได้ผลแน่นอนคือ การทำให้เกิดสภาวะน้ำแห้งจำลองขึ้น ซึ่งทำได้โดยการถ่ายน้ำออกจากหม้อน้ำทางวาล์วถ่ายน้ำ

อย่างช้าๆ ในขณะที่หม้อน้ำมีความดันปรกติ การทดสอบวิธีนี้มีข้อจำกัดที่มีการสูญเสียพลังงานความร้อนมาก และไม่มีอุปกรณ์ระบายน้ำที่เหมาะสม

(ข) การระบายน้ำใต้เครื่องควบคุมระดับน้ำ วิธีนี้จะช่วยชำระล้างโคลน ตะกอนที่สะสมอยู่ในท่อ หรือเครื่องควบคุมระดับน้ำออกไป ป้องกันการอุดตันในระบบได้ แต่มิอาจบ่งชี้ว่าเครื่องควบคุมระดับน้ำสามารถทำงานได้เป็นปรกติ จะต้องทำการเปิดวาล์วใต้เครื่องควบคุมระดับน้ำนี้ทิ้งทุกวัน อย่างน้อยวันละครั้งเมื่อมีการตรวจสภาพภายในเครื่องจะต้องถอดชุดควบคุมระดับน้ำมาล้างทำความสะอาดทุกครั้ง ท่อวาล์วที่ต่อจากชุดควบคุมระดับน้ำจะต้องปราศจากตะกอนและตะกรันอุดตัน

- จะต้องมีการระบายสิ่งสกปรกในท่อของอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ ในกรณีที่ต่อท่อออกมานอกหม้อน้ำ อย่างน้อยทุกๆ 8 ชั่วโมงทำงาน
- จะต้องมีการถอดล้างตรวจสอบข้อต่อท่อต่างๆ ของอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำที่อยู่ภายนอกหม้อน้ำอย่างน้อยปีละครั้ง
- อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำที่มีหน้าแปลนให้ถอดได้ จะต้องมีการถอดออกตรวจสอบทำความสะอาดอย่างน้อยปีละครั้ง
- ข้อต่อท่อของอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำให้ใช้ข้อต่อสี่ทาง แล้วใช้ปลั๊กอุดไว้เท่านั้น ห้ามใช้ข้องอหรือข้อต่อสามทาง เพราะถอดเปิดตรวจสอบทำความสำอาดได้ยาก
- ห้ามมีวาล์วใดๆ กั้นระหว่างหม้อน้ำกับอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ ถ้ามีความจำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ จะต้องหยุดเครื่องหม้อน้ำให้เย็นลงเท่านั้น
- ต้องทำการตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ปลีกย่อยในระบบควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติให้ครบ เพื่อให้การควบคุมระดับน้ำเป็นไปด้วยความถูกต้องมากที่สุด รายละเอียดการตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ปลีกย่อยในระบบควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติแสดงในตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 การตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ปลีกย่อยในระบบควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
วาล์วควบคุมระดับน้ำ เครื่องตรวจจับระดับน้ำ (แบบลูกลอย แบบขั้วไฟฟ้า และแบบความดันแตกต่าง)	ท่อเชื่อมต่อ และท่อระบาย	ตรวจสอบการอุดตันการรั่วซึมของน้ำและไอน้ำ	ไม่มีการอุดตัน หรือรั่วซึม
	วาล์วหรือท่อเชื่อมต่อ	ตรวจสอบว่าเปิดหรือปิด	ต้องถูกเปิดอย่างเต็มที่
	ชิ้นส่วนอื่น	ตรวจสอบว่ามีการหลุดหลวมหลังการติดตั้ง	ต้องไม่มีการหลุดหลวม
	จุดเชื่อต่อทางไฟฟ้า	1) ตรวจสอบการหลุดหลวมของตะปูควง 2) ตรวจสอบฝุ่น ความชื้น คราบสนิมและการผุ	1) ไม่มีการหลุดหลวม 2) ไม่มีฝุ่น ความชื้น คราบสนิม และการผุกร่อน
	ลูกยางย่น (Bellow)	ถ้าเป็นเครื่องแบบลูกลอยต้องตรวจสอบรอยแตกร้าว และการผุกร่อน	ต้องไม่มีรอยแตกร้าวและการผุกร่อน

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
วาล์วควบคุมระดับน้ำ เครื่องตรวจจับระดับน้ำ (แบบลูกลอย แบบขั้วไฟฟ้า และแบบความดันแตกต่าง) (ต่อ)	ขั้วไฟฟ้า (Electrode) และฉนวนกันความร้อน (Insulator)	กรณีเป็นเครื่องแบบขั้วไฟฟ้าควรตรวจสอบการเปรอะเปื้อนและความเสียหายบนขั้วไฟฟ้าการลดลงของค่าความต้านทานความร้อนของฉนวน	ไม่มีการเปรอะเปื้อนและความเสียหายบนขั้วไฟฟ้า และค่าความต้านทานการเป็นฉนวนยังอยู่ในเกณฑ์ปรกติของฉนวนกันความร้อนแต่ละชนิด
	ระบบการทำงาน	1) ตรวจสอบสภาวะการทำงานที่ลดระดับน้ำในเปลือก และในหม้อน้ำ 2) ตรวจสอบสภาวะการทำงานที่ลดระดับน้ำจนถึงระดับต่ำสุดและยังปลอดภัย	1) ต้องมีการเติมน้ำเข้าระบบจนถึงระดับที่ตั้งไว้ 2) ระบบป้องกันต้องร้องเตือนเมื่อระดับน้ำลดลงจนถึงจุดต่ำสุด
	หน้าสัมผัสทางไฟฟ้า	1) ตรวจสอบคราบสนิมและรอยไหม้ 2) ถ้าเป็นสวิตซ์แบบปรอทต้องตรวจเช็คการเสื่อมสภาพ การเปลี่ยนสีของปรอท และรอยแตกร้าวบนหลอดแก้ว	1) ไม่มีคราบสนิมและรอยไหม้ 2) ไม่มีการเปลี่ยนสี หรือการเสื่อมสภาพของปรอท ไม่มีรอยแตกร้าวบนหลอดแก้ว และการหลุดหลวมของจุดเชื่อมต่อ
อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ (แบบ Copes)	ท่อยืด (Expansion tube)	1) ตรวจสอบการผิดรูป รอยร้าวและความเสียหาย 2) ตรวจสอบการยืดของท่อ	1) ไม่มีการผิดรูป รอยร้าวและความเสียหาย 2) ท่อต้องขยายตัวได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ติดขัด
	ท่อต่อและท่อระบาย	ตรวจสอบการอุดตันการรั่วซึมของน้ำและไอน้ำ	ไม่มีการอุดตัน การรั่วซึมของน้ำและไอน้ำ
	วาล์วหรือท่อเชื่อมต่อ	ตรวจสอบว่าเปิดหรือปิด	ต้องถูกเปิดอย่างเต็มที่
	ข้อต่อ สลัก และอุปกรณ์ลดการสั่น	ตรวจสอบการหัก โก่ง งอ เสื่อมสภาพ และผุกร่อน	ไม่มีการหัก โก่งงอ เสื่อมสภาพและผุกร่อน
	ฉนวนความร้อน	ตรวจสอบการหลุดหลวมและการเสื่อมสภาพ	ไม่มีการหลุดหลวมและการเสื่อมสภาพ
	วาล์วน้ำเข้า	ตรวจสอบสภาพ	สามารถทำงานได้ตามปรกติ

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับระบบควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ ได้แก่ ปั๊มน้ำไม่ทำงานเมื่อระดับน้ำต่ำ หรือปั๊มน้ำไม่หยุดทำงานเมื่อระดับน้ำสูง สัญญาณเตือนระดับน้ำไม่ทำงานเมื่อระดับสูงหรือต่ำกว่าปรกติ หรือสัญญาณเตือนทำงานทั้งๆ ที่ระดับน้ำปรกติ มีสาเหตุจาก

- ลูกลอยควบคุมระดับน้ำค้าง เนื่องจากมีตะกรันจับ
- ท่อน้ำหรือท่อไอที่ต่อเข้าเครื่องควบคุมระดับน้ำอุดตัน หรือปิดวาล์วไว้
- มีตะกรันจับที่แท่งอิเลคโทรด (Electrode holder) แตกร้าว หรือใส่ขั้วสลับกัน
- สายไฟขาด หลวม ชำรุด
- ระบบไฟฟ้าในตู้ควบคุมชำรุด
- การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำไม่ถูกต้อง โดยติดตั้งในตำแหน่งไม่เหมาะสม
- อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำชำรุด

4.10 สวิตช์ควบคุมความดัน

สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure switch) เป็นสวิตช์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของหัวเผา เพื่อรักษาความดันไอน้ำใช้งานให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4-37 ทำงานโดยอาศัยหลักการขยายตัวของปรอทที่บรรจุในหลอดแก้ว โดยเมื่อความดันไอน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง เบลโลว์ (Bellow) หรือแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm) ที่ติดตั้งเข้ากับบริเวณที่ต้องการวัดและควบคุมความดันไอน้ำจะเกิดการขยายหรือหดตัว ทั้งเบลโลว์และไดอะแฟรมต่างมีกลไกเชื่อมโยงไปยังสวิตช์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าเพื่อควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่วงจรควบคุมทำงานของหัวเผาต่อไป ยกตัวอย่างเช่น เมื่อความดันไอน้ำลดลงถึงค่าที่ตั้งไว้ สวิตช์ควบคุมความดันจะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังระบบควบคุมหัวเผาให้หัวเผาทำงาน และเมื่อความดันไอน้ำเพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าที่ตั้งไว้ สวิตช์ควบคุมความดันจะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังระบบควบคุมหัวเผาให้หัวเผาหยุดทำงาน เป็นต้น ทั้งนี้จำนวนของสวิตช์ควบคุมความดันที่ติดตั้งในหม้อน้ำจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของการควบคุมการทำงานของหัวเผา และลักษณะการควบคุมความดันไอน้ำ ดังนั้นการเลือกใช้และการติดตั้งสวิตช์ควบคุมความดันไอน้ำ จึงสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ ได้ดังนี้

- หัวเผาแบบตัดต่อ

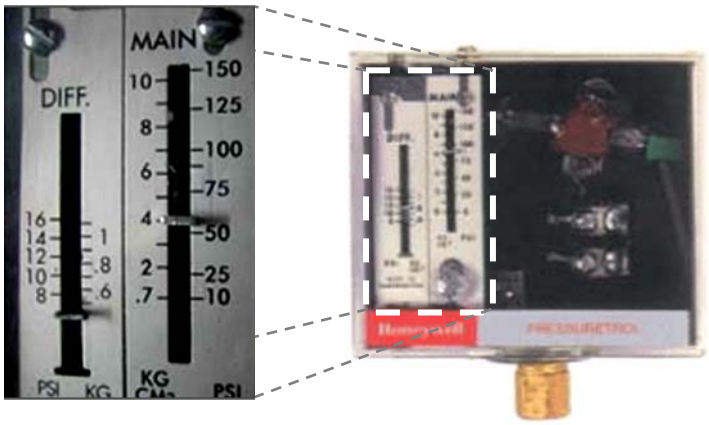
สวิตช์ควบคุมความดันที่ใช้กับหัวเผาแบบตัดต่อ (Constant-fire or on-off burners) ประกอบด้วย สวิตช์ควบคุมความดัน และสวิตช์จำกัดความดันไอน้ำสูงสุด

- หัวเผาแบบไฟมาก-น้อย

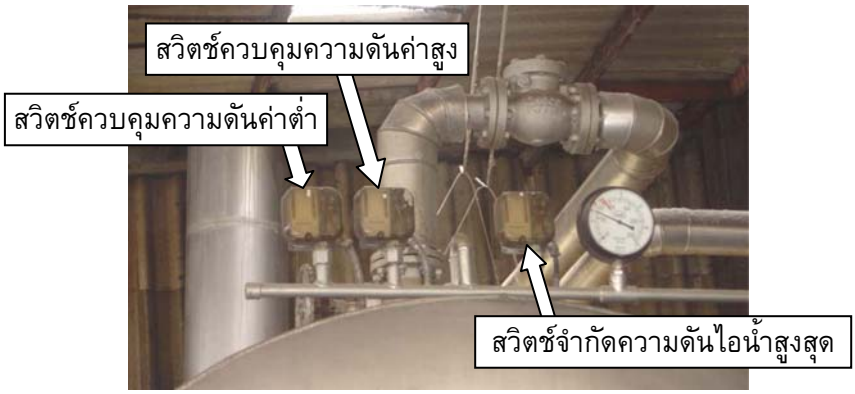
สวิตช์ควบคุมความดันที่ใช้กับหัวเผาแบบไฟมาก-น้อย (High/low-fire burners) ประกอบด้วย สวิตช์ควบคุมความดันจำนวน 2 ตัว โดยที่ตัวแรกตั้งค่าความดันไว้เพื่อควบคุมหัวเผาในระดับไฟน้อย และตัวที่สองตั้งค่าความดันไว้สูงกว่าตัวแรกเพื่อควบคุมหัวเผาในระดับไฟมาก และสวิตช์จำกัดความดันไอน้ำสูงสุด ตัวอย่างการติดตั้งสวิตช์ควบคุมความดันที่ใช้กับหัวเผาแบบไฟมาก-น้อย แสดงได้ดังรูปที่ 4-38

- หัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่อง

สวิตช์ควบคุมความดันที่ใช้กับหัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่อง (Modulating burners) ประกอบด้วย สวิตช์ควบคุมความดัน สวิตช์ควบคุมความดันไอน้ำแบบต่อเนื่อง และสวิตช์จำกัดความดันไอน้ำสูงสุด



รูปที่ 4-37 สวิตช์ควบคุมความดัน



รูปที่ 4-38 ตัวอย่างการติดตั้งสวิตช์ควบคุมความดันไอน้ำสำหรับหัวเผาแบบไฟมาก-น้อย

4.10.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำกำหนดไว้ว่า ต้องติดตั้งสวิตช์ควบคุมความดันอย่างน้อย 1 ชุด โดยไม่มีลิ้นปิดเปิดคั่นระหว่างหม้อน้ำกับสวิตช์ควบคุมความดัน และต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงานอย่างน้อยดังนี้

- ต้องตัดวงจรการทำงานทั้งหมดของเครื่องพ่นไฟ หรืออุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแบบป้อนเชื้อเพลิงและป้อนอากาศ (Force draft fan) อัตโนมัติ เมื่อความดันไอน้ำสูงถึงจุดวิกฤต (High pressure cut off) ในกรณีนี้เมื่อความดันไอน้ำต่ำลงถึงจุดที่ตั้งไว้ สวิตช์ควบคุมความดันต้องไม่สามารถต่อวงจรให้อุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงทำงานใหม่แบบอัตโนมัติ

- ต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย เมื่อความดันไอน้ำสูงถึงจุดวิกฤต โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากสวิตช์ควบคุมความดันโดยตรงและต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

4.10.2 การใช้งาน

ตั้งความดันใช้งานให้ต่ำที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการผลิตและผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อความดันลดลง ความร้อนแฝงจำเพาะ (Specific latent heat) หรือความร้อนแฝงต่อหน่วยน้ำหนักของไอน้ำจะเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถใช้ความร้อนในไอน้ำให้เป็นประโยชน์ได้มากขึ้น การควบคุมความดันอย่างเหมาะสมจึงจะสามารถลดปริมาณไอน้ำที่ต้องใช้ต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ลงได้ แนวทางการปฏิบัติและข้อแนะนำในการรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบกระจายไอน้ำมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ผลประโยชน์ของการลดความดันในระบบไอน้ำ

ผลประโยชน์ของการลดความดันในระบบไอน้ำ มีดังต่อไปนี้

- ลดการรั่วไหลในระบบไอน้ำขนาดใหญ่ การรั่วไหลอาจทำให้ปริมาณไอน้ำจำนวนมากไหลออกจากระบบ การรั่วไหลทำให้สูญเสียความร้อนที่นำมาโดยไอน้ำ ทำให้หม้อน้ำมีการบริโภคน้ำเพิ่มมากขึ้นและทำให้ต้องสูญเสียมูลค่าการลงทุนเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อนเพิ่มมากขึ้นด้วย การที่จะเพิ่มผลประหยัดจะต้องเกี่ยวเนื่องกับขนาดและสภาวะของระบบกระจายไอน้ำ ดังนั้น การลดความดันจึงเป็นการลดการเพิ่มขึ้นของการรั่วไหลอย่างมีนัยสำคัญ
- ลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการนำความร้อนในระบบ ในกรณีที่ไอน้ำได้รับการกระจายในสภาวะอิ่มตัว ซึ่งก็คือ ไม่ใช่สภาวะ Superheat อุณหภูมิของไอน้ำจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันการสูญเสียด้วยการนำความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ ดังนั้นการลดความดันก็เป็นการลดความร้อนสูญเสียด้วย ศักยภาพของการประหยัดนี้จะมีความสัมพันธ์กับประสิทธิผลของระบบกันความร้อนหรือระบบฉนวนของระบบไอน้ำ
- เพิ่มประสิทธิภาพของหม้อน้ำ การลดอุณหภูมิไอน้ำจะเป็นการเพิ่มผลต่างของอุณหภูมิระหว่างก๊าซร้อนจากการเผาไหม้และน้ำซึ่งเป็นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพ การปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อน้ำด้วยวิธีนี้จะสามารถประหยัดพลังงานได้สูงสุดถึงประมาณ 1-2%
- ลดการเกิดตะกรันและการกัดกร่อนเนื่องจากออกซิเจน การเกิดตะกรันและการกัดกร่อนเนื่องจากออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตามการเพิ่มขึ้นของความดันในระบบหม้อน้ำ ตะกรันจะลดการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพนอกจากนี้ยังเป็นการยากที่จะนำเอาตะกรันเหล่านี้ออกจากระบบ การกัดกร่อนเนื่องจากออกซิเจนในระบบที่มีความดันสูงก่อให้เกิดหลุมในระบบท่อของหม้อน้ำซึ่งอาจเป็นสาเหตุนำไปสู่การเกิดรูและการ

รั่วไหล การลดความดันไอน้ำไม่สามารถแทนที่การปรับปรุงคุณภาพนั้นอย่างพิถีพิถันได้ แต่จะเป็นการช่วยป้องกันเพิ่มเติมได้อีกทางหนึ่ง

- ลดการสึกหรอ ผุกร่อนของวาล์วควบคุม วาล์วควบคุมในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับไอน้ำต้องประสบปัญหาเกี่ยวกับการผุกร่อนอย่างรวดเร็วในกรณีที่วาล์วเกือบจะปิดหรือเปิดเพียงเล็กน้อย ของไหลที่ไหลผ่านวาล์วที่เปิดเพียงเล็กน้อยนั้นจะมีความเร็วที่สูงมากและเป็นการไหลแบบปั่นป่วนเนื่องจากความดันแตกต่างที่ตกค่อมระหว่างขาเข้าและขาออกของวาล์ว การเคลื่อนที่ของไอน้ำที่มีความเร็วสูงดังกล่าวนี้ จึงสามารถทำให้พื้นผิวของวาล์วเกิดการสึกหรอ ผุกร่อนได้ การลดความดันของระบบจึงช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ในสองทาง ทางแรกเมื่อความดันน้อยลงก็หมายความว่าความเร็วของไอน้ำก็ลดลงด้วย ทางที่สองวาล์วจะเปิดกว้างมากขึ้นที่ภาระเดียวกันเป็นการลดความดันแตกต่างตกคร่อมที่ตัววาล์วด้วย
- ปรับปรุงความสมดุลของวาล์วควบคุมที่ภาระต่ำ วาล์วควบคุมไอน้ำมีแนวโน้มที่จะเกิดการสั่นเมื่อวาล์วดังกล่าวเปิดเพียงเล็กน้อย การลดความดันไอน้ำจะทำให้วาล์วควบคุมดังกล่าวเปิดกว้างขึ้นและเป็นการลดผลของการสั่นดังที่กล่าวมา
- ผลประโยชน์สุดท้ายจะเกิดขึ้นกับวาล์วลดความดันและวาล์วขาเข้าของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งทำงานโดยตรงโดยอาศัยไอน้ำในท่อหลัก ผลประโยชน์ดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้นกับวาล์วที่ติดตั้งในด้าน Downstream เนื่องจากมีความดันที่คงที่อยู่แล้ว

2) พิจารณาความต้องการความดันไอน้ำต่ำสุด

ระบบไอน้ำได้รับการออกแบบให้ทำงานที่ความดันหนึ่งๆ เพื่อที่จะมั่นใจว่าสามารถส่งถ่ายไอน้ำได้อย่างเพียงพอ นอกจากนี้ยังต้องมีความดันและอุณหภูมิที่เพียงพอที่อุปกรณ์ใช้งานไอน้ำปลายทางด้วย ไม่ควรทำการลดความดันของไอน้ำในจุดที่มีความต้องการความดันอย่างพิเศษ ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ไอน้ำเครื่องฆ่าเชื้อ หรือ อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่อาหาร ที่ซึ่งต้องการอุณหภูมิของไอน้ำอย่างคงที่โดยไม่ขึ้นอยู่กับภาระการทำงาน

ในทางตรงกันข้ามในระบบไอน้ำที่ออกแบบมาเพื่อการทำความร้อนแก่อาคารหรือที่พักอาศัย อุปกรณ์ทำความร้อนดังกล่าวนี้ อาจต้องการเพียงแค่ส่วนหนึ่งของความดันที่อุปกรณ์ต้องการใช้ในระหว่างช่วงฤดูกาลที่มีอุณหภูมิไม่หนาวหรือร้อนจนเกินไป ในสภาวะนี้ความดันของหม้อน้ำสามารถลดลงได้มากกว่าความดันที่ต้องการใช้ในระบบกระจายไอน้ำโดยทั่วไป

3) สร้างตารางการทำงานระหว่างความดันและภาระ

วัตถุประสงค์ คือเพื่อเดินหม้อน้ำที่ความดันที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะยอมรับได้ ภายใต้ทุกสภาพภาระการทำงาน เมื่อไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อน้ำลดลงความดันของไอน้ำจะลดลงตามไปด้วย ดังนั้น จึงต้องทำการสร้างตารางการทำงานของหม้อน้ำโดยให้แสดงความดันไอน้ำเป็นฟังก์ชั่นของปริมาณความดันไอน้ำขาออก

วิธีการเหล่านี้ทำได้โดยตรวจสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำเมื่อความดันของหม้อน้ำลดลง เพื่อที่จะดูหรือหาว่าความดันของหม้อน้ำที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะยอมรับได้มีค่าเท่าใด ให้ทำการหาดังที่กล่าวมาในตลอดช่วงของสภาวะของภาระหม้อน้ำทั้งหมดโดยทำจากปริมาณไอน้ำที่ระดับต่ำสุดจนกระทั่งถึงปริมาณ

ไอน้ำขาออกที่มากที่สุด ในกรณีที่ปริมาณไอน้ำขาออกของหม้อน้ำมีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศซึ่งอาจจะต้องใช้ช่วงเวลายาวนานเพื่อที่จะทำการหาความดันไอน้ำที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะสามารถยอมรับได้ภายใต้สภาวะการทำงานที่แตกต่างกันได้โดยละเอียด

ความดันหม้อน้ำที่แตกต่างกันอาจจำเป็นสำหรับปริมาณไอน้ำค่าหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับอุปกรณ์หรือสถานที่ที่ต้องการใช้ไอน้ำนั้น ยกตัวอย่างเช่น สถานศึกษาที่มีหอพักจะมีความต้องการปริมาณของไอน้ำในช่วงกลางคืนสำหรับการทำความร้อนหรือโรงอาหารที่ต้องการปริมาณความร้อนในช่วงกลางวันค่อนข้างน้อยสำหรับการทำอาหาร

4) ปรับปรุงอุปกรณ์ใช้ไอน้ำให้ทำงานได้ในสภาวะความดันของระบบต่ำ

ในกรณีที่มีอุปกรณ์ที่ต้องการใช้ความดันไอน้ำสูงอยู่ในระบบ อุปกรณ์ตัวนี้จะบังคับให้ระบบต้องมีความดันที่สูงในกรณีดังกล่าวนี้ให้พิจารณาแยกอุปกรณ์ที่ต้องการใช้ไอน้ำความดันสูงดังกล่าวออกจากระบบโดยรวม หรือ ทำการปรับปรุงให้อุปกรณ์ดังกล่าวนี้สามารถทำงานในความดันที่ต่ำลงได้

5) อันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับหม้อน้ำเมื่อความดันลดลง

หม้อน้ำได้รับการออกแบบให้ทำงานภายใต้ช่วงความดันหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วหม้อน้ำจะมีค่าความดันต่ำสุดและความดันสูงสุดที่ปลอดภัยในการใช้งาน ดังนั้นจึงควรติดต่อกับผู้ผลิตหม้อน้ำเพื่อที่จะดูว่าค่าดังกล่าวมีค่าเท่าใด

สิ่งที่ควรให้ความสนใจมากที่สุด คือ การเกิดฟองไอที่มากเกินไปในหม้อน้ำ น้ำที่ไหลเวียนอยู่ในหม้อน้ำจะช่วยหล่อเย็นชิ้นส่วนที่ทำจากโลหะโดยเป็นการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่สูงของก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ แต่ไอน้ำไม่ได้ให้การป้องกันในลักษณะเช่นนี้ เมื่อความดันลดลงฟองของไอน้ำที่อยู่ในน้ำจะขยายตัวและมีปริมาตรมากขึ้นซึ่งจะทำให้พื้นผิวโลหะดังกล่าวได้รับการหล่อเย็นหรือถ่ายเทความร้อนออกได้น้อยลงปัญหาดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในหม้อน้ำแบบท่อน้ำที่ซึ่งฟองของไอน้ำมีการขยายตัวและผลักน้ำให้ออกจากท่อ

ถ้าหากทำการลดความดันเฉพาะเมื่อภาระการทำงานของหม้อน้ำต่ำปัญหาดังกล่าวจะลดลงเนื่องจากจะมีการเกิดฟองไอและมีการถ่ายเทความร้อนผ่านท่อของหม้อน้ำลดลง อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวไม่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยนี้เพียงปัจจัยเดียว บางครั้งหม้อน้ำมีการเผาไหม้ในอัตราที่สูง แม้ว่าความดันจะต่ำ ยกตัวอย่างเช่น อาจเกิดขึ้นในระหว่างช่วงการเริ่มต้นทำงานหม้อน้ำจากสภาวะเริ่มต้นหรือเมื่อทำการหยุดการทำงานของหม้อน้ำตัวใดตัวหนึ่งจากระบบหม้อน้ำที่มีสองตัว

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้อีกปัญหาหนึ่งก็คือ ฟองไอขนาดใหญ่จำนวนมากที่รวมตัวกันภายใต้ความดันต่ำ อาจก่อให้เกิดการนำพาของเหลวไปกับไอน้ำ

6) ความผิดพลาดในการวัดไอน้ำที่อาจเกิดขึ้นได้

การเปลี่ยนความดันของไอน้ำอาจทำให้มาตรวัดไอน้ำอ่านค่าผิดพลาดได้ ความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ในมาตรวัดทั้งแบบ มอริฟิก และ แบบปิตอด ซึ่งทั้งสองแบบได้รับการสอบเทียบความหนาแน่นของไอน้ำค่าหนึ่ง ถ้าหากการวัดเป็นปัจจัยที่สำคัญเราควรทำการชดเชยค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดโดยการเปรียบเทียบกับมาตรวัดที่มีความซับซ้อนและความสามารถสูง การใช้คอมพิวเตอร์ในการวัดค่าเกี่ยวกับไอน้ำนั้นจะสามารถช่วยปรับตั้งในกรณีที่ความดันมีการเปลี่ยนแปลงได้

7) ความปลอดภัยเมื่อจำนวนผู้ปฏิบัติงานลดลง

ควรจะมีการพิจารณาถึงการลดจำนวนหรือลดระดับความสามารถของผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำหลังจากที่ดำเนินมาตรการลดความดันของระบบลง โดยให้พิจารณาสภาวะการทำงานทั่วไปของหม้อน้ำ ระบบควบคุมของหม้อน้ำ การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย

8) การวิเคราะห์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

การวิเคราะห์ศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน สามารถใช้อัตราการใช้พลังงานในการผลิตไอน้ำอิ่มตัว (Heat input) ดังตารางที่ 4-10 ในการประเมินผลประหยัดได้ อีกส่วนหนึ่งที่ควรใช้พิจารณาควบคู่กันไปในการลดความดันไอน้ำ คือ ความแตกต่างของความร้อนที่ให้โดยไอน้ำ (Heat output) ที่ความดันต่างๆ ส่วนมากแล้วการนำความร้อนจากไอน้ำไปใช้งาน มักเป็นลักษณะของการใช้แบบทางอ้อม (Indirect steam) การให้ความร้อนจึงเป็นแบบความร้อนแฝง (Latent heat) มากกว่าความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ตารางที่ 4-11 ซึ่งจากตารางทั้งสองจะเห็นได้ว่า สำหรับกระบวนการที่ต้องการอุณหภูมิไม่สูงนัก การใช้ไอน้ำความดันต่ำสามารถให้ความร้อนได้มากกว่า รวมทั้งยังส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานในการผลิตไอน้ำลดลง

ตารางที่ 4-10 พลังงานจำเพาะที่ใช้การผลิตไอน้ำอิ่มตัว 1 กิโลกรัม

ความดันไอน้ำใช้งาน (bar)	อุณหภูมิน้ำป้อน (°C)				
	30	40	50	60	70
5.0	2,623	2,581	2,539	2,498	2,456
6.0	2,631	2,589	2,547	2,506	2,464
7.0	2,638	2,596	2,554	2,512	2,471
8.0	2,643	2,602	2,560	2,518	2,476
10.0	2,652	2,611	2,569	2,527	2,485

หมายเหตุ: คำนวณจากตารางไอน้ำอิ่มตัว เป็นผลต่างระหว่างเอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัวกับน้ำป้อนหม้อน้ำ พลังงานจำเพาะ (Specific enthalpy) ในตารางมีหน่วยเป็น (kJ/kg)

ตารางที่ 4-11 ค่าเอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว 1 กิโลกรัม ที่ความดันต่างๆ

ความดันไอน้ำ (bar)		5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
อุณหภูมิไอน้ำ (°C)		151.86	158.85	164.97	170.43	179.91
Sensible (kJ/kg)	(1)	640.21	670.54	697.20	721.10	762.79
Latent (kJ/kg)	(2)	2,108.5	2,086.3	2,066.3	2,048.0	2,015.3
Total enthalpy (kJ/kg)	(1+2)	2,748.7	2,756.8	2,763.5	2,769.1	2,778.1

4.10.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

- ต้องการทำการตรวจสอบและทดสอบการทำงานของเครื่องควบคุมความดันทุก 1 เดือน โดยการทดสอบขณะใช้งาน โดยการเพิ่มความดันไอน้ำ หากความดันไอน้ำสูงถึงจุดที่ปรับตั้งสวิตช์จะตัดการทำงานของหัวเผา หรือพัดลมป้อนอากาศ หากสวิตช์ไม่ทำงาน ความดันไอน้ำ

จะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงระดับที่ตั้งไว้ จากนั้นลิ้นนิรภัยจะเปิดระบายไอน้ำ เพื่อลดความดัน

- การบำรุงรักษา คือ ต้องทำการบำรุงรักษาหรือทำความสะอาดทุกปี ด้วยการใช้ผ้าทำความสะอาด พร้อมตรวจการชำรุดของสายไฟหรือกระจกและเข็ม ท่อที่ต่อมายังสวิตช์ควบคุมความดันก็ต้องทำความสะอาดด้วย
- ต้องทำการตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ปลีกย่อยในระบบควบคุมความดันอัตโนมัติให้ครบ เพื่อให้การควบคุมความดันไอน้ำเป็นไปด้วยความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด รายละเอียดการตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ปลีกย่อยในระบบควบคุมความดันอัตโนมัติแสดงในตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 การตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ปลีกย่อยในระบบควบคุมความดันอัตโนมัติ

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
สวิตช์ควบคุมความดัน แบบเปิด-ปิด (On-off type pressure switch)	หน้าสัมผัสทางไฟฟ้า (Electrical contact)	1) ถ้าเป็นสวิตช์แบบปรอท ต้องตรวจเช็คการเสื่อมสภาพ การเปลี่ยนสีของปรอท รอยแตกร้าวบนหลอดแก้ว และการหลุดหลวมของจุดเชื่อมต่อ 2) ถ้าเป็นสวิตช์ขนาดเล็ก ต้องตรวจสอบการโก่งงอของคานและการหลุดหลวมของตะปูควง	1) ไม่มีการเปลี่ยนสีหรือการเสื่อมสภาพของปรอท ไม่มีรอยแตกร้าวบนหลอดแก้ว และการหลุดหลวมของจุดเชื่อมต่อ 2) ไม่มีการโก่งงอของคานและการหลุดหลวมของตะปูควง
	จุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้า	1) ตรวจสอบการหลุดหลวมของตะปูควง 2) ตรวจสอบ ฝุ่น ความชื้น คราบสนิมและการผุกร่อน	1) ไม่มีการหลุดหลวม 2) ไม่มีฝุ่น ความชื้น คราบสนิม และการผุกร่อน
	ส่วนตรวจสอบแรงดัน (Pressure detecting element)	ตรวจสอบการแตกร้าว การผุกร่อนบนท่อย่นและแผ่นไดอะแฟรม	ไม่มีรอยแตกร้าวและการผุกร่อน
	ท่อไส้ไก่ (Siphon tube)	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำและไอน้ำบริเวณจุดยึดด้วยตะปูควง	ต้องไม่มีการรั่วซึม
	ระบบตัดเชื้อเพลิง	ถ้าเป็นอุปกรณ์กำหนดแรงดันไอน้ำต้องตรวจสอบสภาพการทำงาน ถ้าจำเป็นให้ปรับลดแรงดัน	เพื่อหยุดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วและให้ระบบป้องกันร้องเตือน

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
สวิตช์ควบคุมความดันแบบสัดส่วน (Proportional type pressure switch)	ตัวต้านทานแปรค่าได้ (Potentiometer)	1) ตรวจสอบการหลุด รอยไหม้ การเปรอะเปื้อน บนตัวปัด (Wiper) และผิวของขดลวด 2) ตรวจสอบระยะระหว่างตัวปัดและขดลวด 3) ตรวจสอบการเคลื่อนไหวของตัวปัดเมื่อแรงดันไอน้ำไม่คงที่	1) ไม่มีการหลุด รอยไหม้ การเปรอะเปื้อนบนตัวปัด (Wiper) และผิวของขดลวด 2) อยู่ในสภาพที่เหมาะสม 3) ต้องเคลื่อนไหวได้อย่างไม่ติดขัด
	จุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้า	1) ตรวจสอบการหลุดหลวมของตะปูควง 2) ตรวจสอบฝุ่นความชื้น คราบสนิมและการผุกร่อน	1) ไม่มีการหลุดหลวม 2) ไม่มีฝุ่น ความชื้น คราบสนิม และการผุกร่อน
	ส่วนตรวจจับความดัน	ตรวจสอบการแตกร้าว การผุกร่อนบนข้อย่นและแผ่นไดอะแฟรม	ไม่มีการแตกร้าวและการผุกร่อน
	ท่อไส้ไก่ (Siphon tube)	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำและไอน้ำบริเวณจุดยึด	ต้องไม่มีการรั่วซึม

4.11 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ

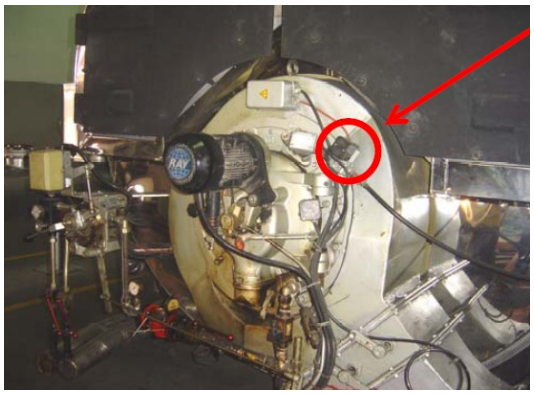
อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ (Flame detector) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจจับเปลวไฟในห้องเผาไหม้หรือที่หัวเผา ในอดีตที่การควบคุมการเผาไหม้หรือหัวเผายังคงเป็นแบบธรรมดาซึ่งควบคุมโดยผู้ปฏิบัติงาน (Manual control) ผู้ปฏิบัติงานสามารถสังเกตเปลวไฟได้โดยการมองผ่านตาไฟหรือช่องมองเปลวไฟที่ติดตั้งอยู่ที่ท้ายห้องเผาไหม้ ท้ายหม้อน้ำ หรือฝั่งตรงข้ามกับหัวเผา ดังแสดงในรูปที่ 4-39

(ก) ตาไฟติดตั้งที่ท้ายหม้อน้ำ

(ข) เปลวไฟในหม้อน้ำเมื่อมองผ่านตาไฟ

รูปที่ 4-39 ตาไฟ

ในปัจจุบัน การควบคุมการเผาไหม้ได้เปลี่ยนไปเป็นแบบอัตโนมัติแทบทั้งสิ้น ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟแบบอิเลคทรอนิกส์ (Electronic flame detector or electronic photo cell) ที่บริเวณห้องเผาไหม้หรือหัวเผาด้วย เพื่อใช้ตรวจจับเปลวไฟและส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังระบบควบคุมการทำงานของหัวเผาต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4-40



รูปที่ 4-40 ตาไฟแบบอิเลคทรอนิกส์

อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ หรือตาไฟ มีการทำงานเพื่อ 2 หน้าที่หลักคือ

- ขณะเริ่มเปิดสวิตช์เดินเครื่องหม้อน้ำ ในช่วงการไล่อากาศ (Air venting) หากตาไฟตรวจพบแสงไฟในห้องเผาไหม้ จะส่งสัญญาณเตือน หากไม่พบแสงไฟ ระบบสตาร์ทหัวเผาจะเริ่มการจุดหัวเผา
- เมื่อหม้อน้ำเดินเครื่องตามปรกติแล้ว อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟจะตรวจการมีแสงไฟในห้องเผาไหม้ตลอดเวลา หากตรวจพบว่าไม่มีแสงไฟ อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟจะส่งสัญญาณเตือนพร้อมกับส่งสัญญาณไฟฟ้าไปตัดการทำงานของระบบจ่ายเชื้อเพลิงเข้าหัวเผาหรือห้องเผาไหม้

4.11.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำกำหนดไว้ว่า อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟสำหรับเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซต้องเป็นชนิดที่สามารถตรวจจับรังสีความร้อนหรือคลื่นแสงหรืออุณหภูมิของห้องเผาไหม้ ตรงตามประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อน้ำ และต้องติดตั้งที่เครื่องพ่นไฟหรือห้องเผาไหม้และให้ทำหน้าที่ตัดวงจรการทำงานของเครื่องพ่นไฟ ในกรณี ดังนี้

- เมื่อตรวจพบเปลวไฟในห้องเผาไหม้ ในขณะวงจรไล่อากาศอัตโนมัติของเครื่องพ่นไฟกำลังทำงาน (Pre purge)
- เมื่อตรวจไม่พบเปลวไฟในห้องเผาไหม้ ในขณะที่วงจรไล่อากาศอัตโนมัติทำงานสิ้นสุดลง และวงจรป้อนเชื้อเพลิงกำลังทำงานแต่จุดไฟไม่ติด หรือจุดไฟติดแล้วแต่เปลวไฟดับไป

4.11.2 การใช้งาน

- ไม่ควรจ้องดูตาไฟเป็นระยะเวลานาน อาจเป็นอันตรายต่อสายตาได้
- พึงระวังอยู่เสมอว่ากระจกของตาไฟหรือช่องมองเปลวไฟสามารถแตกออกมาได้ทุกเมื่อ

4.11.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

- ต้องตรวจสอบระบบตาไฟแบบอิเลคทรอนิกส์อย่างน้อยอาทิตย์ละครั้ง โดยการชักตาไฟแบบอิเลคทรอนิกส์ออกมาขณะเครื่องทำงานปรกติ เครื่องจะต้องดับภายใน 12 วินาที หลังจากชักตาไฟแบบอิเลคทรอนิกส์ออกแล้ว ถ้าเครื่องไม่ดับจะต้องตรวจหาสาเหตุและแก้ไขทันที ต้องตรวจสอบและทำความสะอาดชุดหน้าสัมผัสต่าง ๆ และชุดแม่เหล็กสตาร์ท (Magnetic starter) ตามสภาวะของการทำงาน และจุดติดตั้งสถานที่อย่างน้อยเดือนละครั้ง โดยใช้ลมเป่า และอย่าลัดวงจรไฟฟ้าเพื่อให้หม้อน้ำทำงาน จะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ระบบไฟฟ้าได้
- ตรวจสอบกระจกมองเปลวไฟ (Protect and shielding glass) ต้องไม่มีการเปรอะเปื้อนและรอยแตกร้าว
- ตรวจสอบกรอบหรือตัวเรือน (Case) ต้องไม่มีความผิดปรกติจากความร้อนโดยไม่สัมผัสด้วยมือโดยตรง
- ตรวจสอบหลอด UV (Ultraviolet photo-electric tube) และแท่งตรวจสอบเปลวไฟ (Flame rod) ถึงค่าความต้านทานความเป็นฉนวนของจุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้า ซึ่งต้องมีค่าสูงกว่าค่าที่ผู้ผลิตฉนวนกำหนดไว้ และอาจต้องถอดเครื่องตรวจจับเปลวไฟ (Flame detector) และอุปกรณ์ควบคุมด้านความปลอดภัยเบื้องต้น (Primary safety controller) ออกก่อนถ้าจำเป็น

4.12 มาตรวัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย

มาตรวัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย (Flue gas or exhaust gas temperature reader) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อตรวจวัดและแสดงค่าอุณหภูมิของไอเสียที่ไหลผ่านปล่องไอเสีย ในปัจจุบันมาตรวัดอุณหภูมิปล่องไอเสียยังสามารถส่งค่าอุณหภูมิไอเสียที่วัดได้ไปยังระบบควบคุมการทำงานของหัวเผา เพื่อปรับสัดส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงให้เหมาะสมโดยอัตโนมัติอย่างต่อเนื่อง มาตรวัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย และหัววัดอุณหภูมิ (Temperature sensor) ปล่องไอเสีย แสดงได้ดังรูปที่ 4-41

รูปที่ 4-41 หัววัดและมาตรวัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย

4.12.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำกำหนดไว้ว่า ต้องทำการติดตั้งมาตรวัดอุณหภูมิปล่องไอเสียที่ปล่องไอเสียบริเวณใกล้ทางออกของหม้อน้ำมากที่สุด อย่างน้อย 1 ชุด

4.12.2 การใช้งาน

ติดตั้งในตำแหน่งที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน และเข้าถึงมาตรวัดอุณหภูมิปล่องไอเสียได้สะดวก ไม่มีสิ่งขีดขวาง

4.12.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

ตรวจสอบการทำงานว่าทำงานได้ตามปรกติหรือไม่ และบำรุงรักษาตามวิธีการและระยะเวลาที่กำหนดและแนะนำโดยผู้ผลิต

4.13 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปล่องไอเสีย

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปล่องไอเสีย (Flue gas thermostat) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิปล่องไอเสียและส่งสัญญาณไฟฟ้าให้ระบบควบคุมการทำงานของหัวเผาหยุดการทำงานโดยทันที หากอุณหภูมิไอเสียที่วัดได้มีค่าเกินกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งไว้ เพื่อป้องกันการเกิดอันตรายจากความผิดปรกติใดๆ ที่ส่งผลให้อุณหภูมิไอเสียสูงเกินปรกติ อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปล่องไอเสียแสดงได้ดังรูปที่ 4-42

รูปที่ 4-42 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปล่องไอเสีย

4.13.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำกำหนดไว้ว่า ต้องติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปล่องไอเสียที่ปล่องไอเสียบริเวณใกล้ทางออกของหม้อน้ำมากที่สุดอย่างน้อย 1 ชุด และต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงาน คือ เมื่ออุณหภูมิปล่องไอเสีย สูงเกินอุณหภูมิที่กำหนดโดยต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากสวิตช์ควบคุมอุณหภูมิโดยตรง โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

4.13.2 การใช้งาน

อุณหภูมิปล่องไอเสีย เป็นการแสดงการสูญเสียความร้อนไปทางปล่อง ถ้าอุณหภูมิสูงก็จะสูญเสียมาก การที่อุณหภูมิปล่องไอเสียสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

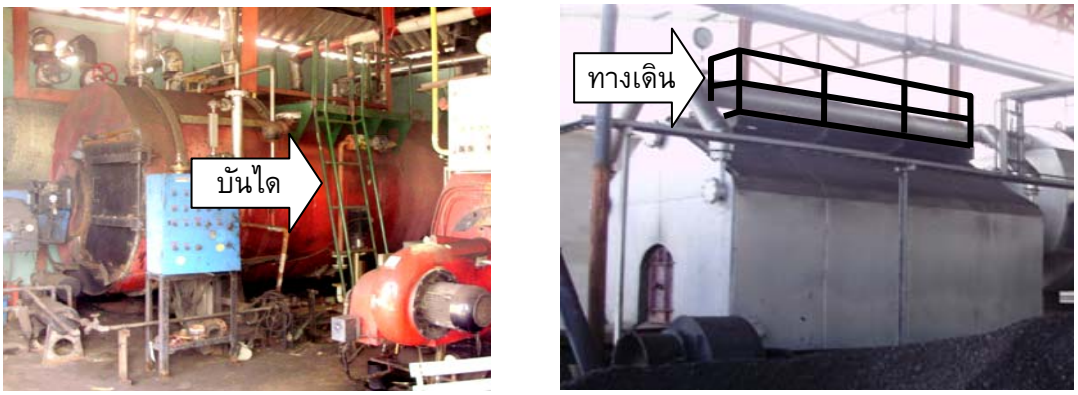
- การออกแบบ เช่น หม้อน้ำแบบท่อไฟ 4 กลับ จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าแบบ 2 กลับหรือ 3 กลับ หรือมีการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อน (Economizer) หรือเครื่องอุ่นอากาศเผาไหม้ (Air preheater) ที่ปล่องไฟ ทำให้อุณหภูมิปล่องต่ำลงไปอีก
- สภาวะการเดินหม้อน้ำใช้งาน
  - หม้อน้ำผลิตไอน้ำความดันเท่าใด เช่น ผลิตไอน้ำที่ความดัน 7 บาร์เกจ อุณหภูมิไอน้ำจะเป็น 170 °C เมื่อหัวเผาทำงานที่สภาวะไฟมาก (High fire) อุณหภูมิปล่องไอเสียจะสูงกว่าอุณหภูมิไอน้ำประมาณ 50-60 °C ซึ่งอุณหภูมิปล่องไอเสียจะเป็น 225-230 °C
  - เมื่อหัวเผาทำงานที่สภาวะไฟน้อย (Low fire) อุณหภูมิปล่องจะลดลงมาที่ 190 °C เป็นต้น
- ความสะอาดของผิวถ่ายเทความร้อน เช่น มีเขม่าสะสมในท่อไฟมาก อุณหภูมิปล่องไอเสียก็จะสูงขึ้นมากกว่าปรกติ โดยมีเกณฑ์ว่าถ้าอุณหภูมิปล่องไอเสียสูงกว่าอุณหภูมิไอน้ำเกินกว่า 50 °C เช่น 230 + 50 = 280 °C แล้ว แสดงว่าถึงเวลาทำความสะอาดเตาและท่อไฟ
- ตัวอย่างดังกล่าวข้างต้น เป็นกรณีของสำหรับหม้อน้ำแบบ 4 กลับ ถ้าเป็นแบบ 3 กลับ อุณหภูมิปล่องไอเสียขณะหัวเผาทำงานที่สภาวะไฟมากอาจสูงถึง 260-280 °C ได้

4.13.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

ตรวจสอบสภาพการทำงานว่าทำงานได้ตามปรกติหรือไม่ และบำรุงรักษาตามวิธีการและระยะเวลาที่กำหนดและแนะนำโดยผู้ผลิต

4.14 บันไดและทางเดิน

บันไดและทางเดินเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพื่ออำนวยความสะดวกและป้องกันการเกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานในขณะตรวจสอบสภาพการทำงานของหม้อน้ำและอุปกรณ์ข้างเคียงต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่ในระดับที่สูงจากพื้นดินมากๆ ตลอดจนอำนวยความสะดวกและป้องกันการเกิดอันตรายในขณะทำการตรวจวัดค่าต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน และระดับน้ำ จากมาตรวัดที่ติดตั้งอยู่ในระดับที่สูงจากพื้นดินมากๆ ลักษณะของบันไดและทางเดินแสดงได้ดังรูปที่ 4-43



รูปที่ 4-43 บันไดและทางเดิน

4.14.1 ข้อบังคับตามกฎหมายความปลอดภัย

กฎหมายความปลอดภัยเกี่ยวกับการติดตั้งบันไดและทางเดินสำหรับหม้อน้ำกำหนดไว้ว่า หม้อน้ำที่สูงเกิน 3 เมตรจากพื้นถึงเปลือกด้านบน ต้องติดตั้งบันไดและทางเดินพร้อมราวจับและขอบกันตก

4.14.2 การใช้งาน

จับราวบันไดและราวทางเดินทุกครั้งขณะใช้งาน

4.14.3 การตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษา

ตรวจสอบสภาพบันได ทางเดิน และราวจับด้วยสายตา พิจารณารอยเชื่อมทุกจุดว่ามีการหลุดเคลื่อนแตกหักออกจากกันหรือไม่ นอกจากนี้ให้พิจารณาการเกิดสนิมด้วย หากมีการชำรุดต้องรีบซ่อมแซมทันที

บทที่ 5
คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

การที่หม้อน้ำสามารถผลิตไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิที่สูงมากขึ้นในระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมานี้ เป็นผลสืบเนื่องมาจากการพัฒนาของเทคนิคการปรุงแต่งคุณภาพน้ำป้อนนั่นเอง หากน้ำที่ป้อนเข้าหม้อน้ำมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมจะเกิดปัญหาการกัดกร่อนผิวถ่ายเทความร้อน หรือเกิดปัญหาการจับเกาะของตะกรันแข็งซึ่งทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดลง และอาจเป็นสาเหตุทำให้หม้อน้ำระเบิดได้ นอกจากนี้ถ้าน้ำในหม้อน้ำมีน้ำมันหรือไขมันปนอยู่จะทำให้เกิดฟอง ซึ่งฟองและหยดน้ำจะปนไปกับไอน้ำ ก่อให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการขึ้นได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำในหม้อน้ำให้มีสภาพที่เหมาะสมอยู่ตลอดเวลา และขจัดสิ่งสกปรกออกโดยวิธีปรุงแต่งคุณภาพน้ำที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่องทั้งโดยวิธีทางกลและทางเคมี นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องมีการทดสอบคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง เพื่อประโยชน์ทางตรงคือเป็นการตรวจสอบคุณภาพของน้ำป้อนที่จะนำไปใช้ในหม้อน้ำว่าตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ และเพื่อประโยชน์ทางอ้อมคือเป็นการตรวจสอบการทำงานของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้ว่ายังสามารถทำงานได้ตามปรกติหรือไม่ รายละเอียดทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้นำเสนอไว้ดังต่อไปนี้

5.1 ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

หม้อน้ำต้องการน้ำที่มีคุณสมบัติเหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนหรือปัญหาอื่น อันเนื่องมาจากคุณภาพของน้ำ หม้อน้ำแต่ละเครื่องต้องการระบบปรับสภาพน้ำที่ไม่เหมือนกัน แม้ว่าจะเป็นหม้อน้ำยี่ห้อและรุ่นเดียวกัน

- น้ำที่เหมาะสมที่จะใช้กับหม้อน้ำโดยทั่วไปๆ ได้แก่ น้ำกลั่น น้ำฝน หรือน้ำที่ได้ผ่านเครื่องกรองน้ำดีมิน (Demineralizer) หรือเครื่องกรองน้ำแบบรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse osmosis, RO)
- ถ้าหาไม่ได้ ก็ควรเป็นน้ำที่ได้ผ่านเครื่องกรองน้ำอ่อน ที่ทำให้ความกระด้างหมดไปแล้ว
- น้ำที่ผ่านการปรุงแต่งให้ค่าพีเอช (pH) อยู่ระหว่าง 8 ถึง 9 (ค่าพีเอช หมายถึง ค่าแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำ ค่าคุณสมบัติเป็นกลางคือ 7 ถ้าค่าพีเอชสูงกว่า 7 แสดงว่าเป็นด่าง และหากค่าพีเอชต่ำกว่า 7 แสดงว่าเป็นกรด)
- น้ำที่ผ่านการกำจัดก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ละลายอยู่ในน้ำออกจนหมด เพื่อที่ป้องกันการเกิดการผุกร่อนของเหล็กในหม้อน้ำ ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (Dissolved oxygen) ควรมีปริมาณไม่เกิน 6 ppm ที่อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 20 °C เนื่องจากออกซิเจนเป็นต้นเหตุของการกัดกร่อนผิวถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำ
- น้ำที่ผ่านการเติมเคมี เพื่อที่จะรักษาค่าพีเอชให้เหมาะสม โดยที่น้ำก่อนเข้าหม้อน้ำควรมีค่าพีเอชประมาณ 5.8 ถึง 9.5 และน้ำในหม้อน้ำควรมีค่าพีเอชระหว่าง 8.5 ถึง 11.8 โดยสารเคมีที่ใช้นี้ ควรมีสารเคมีที่จะป้องกันการเกิดตะกรันด้วย หรือเป็นสารที่สามารถป้องกันตะกรันไม่ให้จับผิวเหล็ก แต่ให้ตัวตะกรันไปเกาะจับกันเอง และตกลงเป็นฝุ่นผงลอยอยู่ในน้ำ แล้วทำการ

ปล่อยออกโดยการระบายทิ้งออกทางก้นหม้อน้ำ (Blow down) (ตะกรัน หรือ Scale หมายถึง สิ่งสกปรกในน้ำที่จับเกาะเป็นชั้นแข็งตามถังหรือผนังภายในท่อน้ำ แต่หากสิ่งสกปรกมีลักษณะเป็นโคลนตมที่ตกตะกอนอยู่ตอนล่างของถัง จะเรียกว่าสลัดจ์ หรือ Sludge)

หม้อน้ำแต่ละเครื่องใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่ต่างกัน ปัญหาของน้ำแต่ละแหล่งก็จะทำให้เกิดปัญหากับหม้อน้ำไม่เหมือนกันและไม่เท่ากัน ยกตัวอย่างเช่น

- น้ำคลองหรือน้ำแม่น้ำ จะมีสิ่งสกปรกแขวนลอยที่ไม่ละลายน้ำอยู่มาก ที่ทำให้เกิดตะกรันดินที่ล้างไม่ออก น้ำเป็นผิวดินที่มีปริมาณของก๊าซละลายอยู่สูง แต่มีปริมาณของสารละลายอยู่น้อย ก๊าซออกซิเจนที่ละลายน้ำทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting corrosion)
- น้ำบ่อหรือน้ำเหมือง อาจจะมีสิ่งสกปรกน้อยกว่าน้ำคลองและน้ำแม่น้ำ แต่เนื่องจากส่วนใหญ่จะเป็นน้ำฝนที่เก็บกักไว้ แต่จะมีปริมาณก๊าซออกซิเจนละลายอยู่สูงมากกว่าน้ำคลองหรือน้ำแม่น้ำ
- น้ำบาดาล จะมีปริมาณของสารละลายมาก แต่มีสารแขวนลอย และปริมาณของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำน้อย มักจะเป็นน้ำที่มีความกระด้างสูง เนื่องจากเป็นน้ำใต้ดินที่ผ่านชั้นหินปูน หรือแร่ธาตุต่างๆ ที่ถูกน้ำละลายมา ซึ่งความกระด้าง (Hardness) หมายถึง ค่าแสดงปริมาณแคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออนที่ปนอยู่ในน้ำซึ่งได้ผ่านการคำนวณเทียบค่าเป็นค่าของแคลเซียมคาร์บอเนต โดยหน่วยที่ใช้แสดงค่าคือ หน่วยในหนึ่งล้านส่วน (ppm) น้ำบาดาลเป็นน้ำที่ทำให้เกิดตะกรันมากในหม้อน้ำ นอกจากนี้น้ำบาดาลจากบางแหล่งอาจมีเกลือคลอไรด์สูง เช่น น้ำบาดาลจากแหล่งสมุทรปราการ หรือสระบุรี เป็นต้น
- น้ำประปา เป็นน้ำผิวดินที่ผ่านการตกตะกอนปรับสภาพ เพื่อการชำระล้างในครัวเรือน คุณภาพของน้ำประปาที่จะนำมาใช้กับหม้อน้ำ ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำที่มาทำน้ำประปา ถ้าเป็นน้ำประปาในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จะมีความกระด้างประมาณ 110 ppm ซึ่งยังไม่สามารถนำมาใช้ป้อนเข้าสู่หม้อน้ำได้เนื่องจากความกระด้างยังสูงเกินไปสำหรับหม้อน้ำ น้ำประปาบางจังหวัด เช่น ภูเก็ต จะผลิตจากแหล่งน้ำที่เป็นบ่อเหมืองแร่เก่าที่ใช้เก็บกักน้ำฝน ซึ่งจะมีปัญหาเรื่องก๊าซออกซิเจนละลายอยู่สูงมาก หม้อน้ำในบริเวณนั้นส่วนใหญ่จะเกิดปัญหาการกัดกร่อนแบบเป็นหลุม

น้ำในอุดมคติสำหรับใช้กับระบบหม้อน้ำต้องไม่ทำให้เกิดการตกผลึกจนเป็นตะกรันหรือไม่กัดกร่อนวัสดุ นอกจากนี้ต้องไม่ทำให้เกิดน้ำปะทุ น้ำเป็นฟอง และแคริโอเวอร์ในหม้อน้ำ น้ำในธรรมชาติมักมีมลทินซึ่งประกอบด้วยสารต่างๆ ที่ก่อปัญหาและเป็นอุปสรรคต่อการทำงานของระบบหม้อน้ำ ด้วยเหตุนี้การปรับสภาพน้ำเพื่อกำจัดสารแปลกปลอมในน้ำจึงมีความจำเป็นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาต่างๆ ต่อระบบหม้อน้ำตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ ที่สัมผัสกับน้ำ การปรับสภาพน้ำและปรุงแต่งคุณภาพน้ำสำหรับระบบต่างๆ สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ การปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบนอกหม้อน้ำ และการปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบในหม้อน้ำ ซึ่งรายละเอียดของระบบปรังปรุงคุณภาพน้ำแต่ละแบบมีดังต่อไปนี้

5.1.1 ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบนอกหม้อน้ำ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบนอกหม้อน้ำ (External boiler water treatment) เป็นการกำจัดหรือลดความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆ ให้กับน้ำป้อนหม้อน้ำ จุดมุ่งหมายของขั้นตอนนี้ คือ ต้องการกำจัดแร่ธาตุต่างๆ ให้หมดสิ้น โดยปรกติสิ่งที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำป้อน ได้แก่ ความกระด้าง ตะกอนแขวนลอยและออกซิเจนที่เจือปนในน้ำ ระบบปรังปรุงคุณภาพน้ำที่สำคัญที่ใช้ปรับสภาพน้ำแบบภายนอกหม้อน้ำมีดังนี้

1) ระบบถังกรองทราย

ถังกรองทราย (Sand filter) ทำหน้าที่กรองสารแขวนลอย (Suspended solid) ที่ทำให้เกิดตะกรันดินที่ล้างไม่ออก สารแขวนลอย คือ สิ่งต่างๆ ที่อยู่ในน้ำที่ไม่มีการละลาย ซึ่งมีทั้งสิ่งสกปรก โคลนเลน พืช และสัตว์เล็กๆ ซึ่งสารแขวนลอยในน้ำจะทำให้น้ำขุ่นหรือมีสี ควรติดตั้งถังกองทรายเมื่อน้ำดิบมีสารแขวนลอยมากกว่า 1 NTU (NTU = Nephelometric turbidity unit) เพื่อทำให้น้ำนั้นใสขึ้น หากน้ำที่ใช้มีสารแขวนลอยสูงมากจนกระทั่งถังกองทรายไม่สามารถกรองสารแขวนลอยให้มีค่าต่ำกว่า 1 NTU ได้ ก็มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เคมีเติมเข้าไปในหม้อน้ำช่วยจับเกาะสารแขวนลอยให้ตกตะกอน และทำการปล่อยระบายน้ำก้นหม้อน้ำให้มากขึ้นกว่าปรกติ ถังกรองทรายและทรายสำหรับกรองน้ำแสดงได้ดังรูปที่ 5-1

รูปที่ 5-1 ถังกรองทรายและทรายสำหรับกรองน้ำ

2) ระบบถังกรองน้ำอ่อน

ความกระด้างในน้ำ (Hardness) เป็นต้นเหตุของการเกิดตะกรันในหม้อน้ำและอุปกรณ์อย่างอื่นในระบบ อุปกรณ์ที่ใช้น้ำกระด้างเป็นจำนวนมากจะมีปัญหาในเรื่องตะกรันที่เกิดบนผิวโลหะที่ใช้ถ่ายเทความร้อน บางครั้งตะกรันสามารถเกิดขึ้นได้ภายในระยะเวลาสั้นและก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ดังนั้นการกำจัดความกระด้างออกจากน้ำก่อนนำไปใช้จึงเป็นสิ่งจำเป็นมาก ระบบถังกรองน้ำอ่อน (Water softener) ดังแสดงในรูปที่ 5-2 จึงเข้ามามีบทบาทในการกำจัดความกระด้างอันเป็นต้นเหตุของการเกิดตะกรัน ถือเป็นระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำที่รู้จักกันแพร่หลาย ระบบถังกรองน้ำอ่อนสำหรับน้ำป้อนหม้อน้ำมักเป็นแบบที่ใช้การแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน (Ion exchange resin) เรซินที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนสามารถดูดซับแคลเซียมและแมกนีเซียมออกจากน้ำที่ไหลผ่านชั้นเรซิน และในขณะเดียวกันเรซินก็คายโซเดียมออกจากตัวเองให้กับน้ำ ดังนั้นเรซินกำจัดความกระด้างของน้ำโดยใช้โซเดียมในตัวแลกเปลี่ยนเอาแคลเซียมและแมกนีเซียม ส่งผลให้โอกาสเกิดตะกรันจึงลดน้อยลงมาก ดังแสดงในรูปที่ 5-3 การแลกเปลี่ยนลักษณะนี้จะเกิดขึ้นต่อไปจนกระทั่งไอออนของ

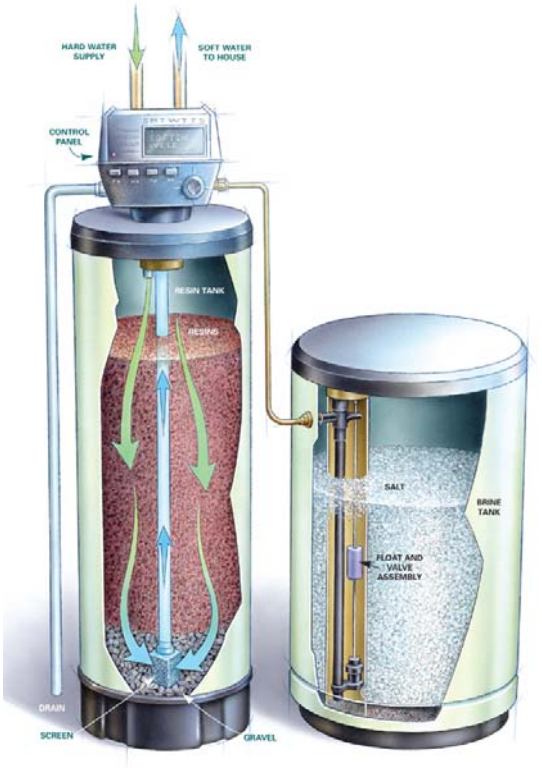
โซเดียมทั้งหมดถูกปล่อยออกจากเรซินจนหมด และเรซินอิ่มตัวเต็มไปด้วยแคลเซียมและแมกนีเซียม เมื่อใช้งานถังกรองน้ำอ่อนไปสักระยะ สิ่งสกปรกต่างๆ จะเกิดการสะสมอยู่ภายในถังกรอง ดังนั้นจึงต้องทำการล้างกลับ (Back wash) อย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 5-4 (ก) นอกจากนี้หลังจากการล้างกลับ ต้องทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ผ่านระบบถังกรองเรซินโดยใช้น้ำยาตรวจคุณภาพ หากน้ำป้อนที่ผ่านการหยดน้ำยาตรวจสภาพลงไปเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วงหรือสีชมพู แสดงว่าเรซินอิ่มตัวไปด้วยแคลเซียมและแมกนีเซียมแล้ว เมื่อถึงจุดนี้ก็เป็นเวลาที่ต้องฟื้นฟูสภาพให้เรซินใหม่ (Regeneration) โดยการล้างเรซินด้วยสารละลายเกลือแกง (NaCl) ในระหว่างการล้างเกลือหรือ Regeneration สารละลายเกลือแกงที่อิ่มตัวจะไหลผ่านเรซิน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียมที่อยู่ในเรซินกับโซเดียมที่อยู่ในสารละลายเกลือแกง ผลที่ได้คือเรซินจะคายแคลเซียมและแมกนีเซียมออกไปและดูดเอาโซเดียมเข้ามาไว้ในตัว ทำให้เรซินพร้อมที่จะใช้กำจัดความกระด้างได้ใหม่อีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 5-4 (ข) แผนภูมิการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในระบบถังกรองน้ำอ่อนแสดงได้ดังรูปที่ 5-5

รูปที่ 5-2 ถังกรองน้ำอ่อน

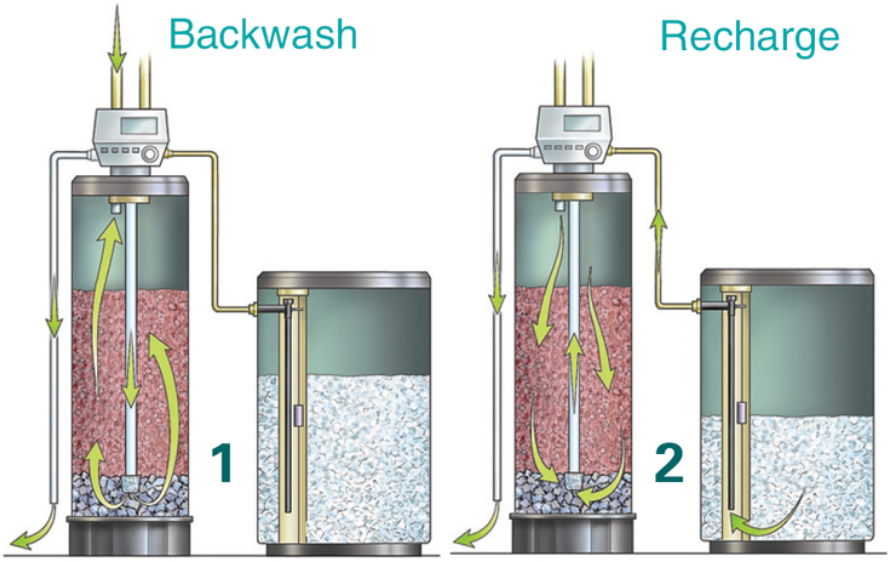
หากผู้ปฏิบัติงานละเลยการล้างกลับ และการล้างเกลือ ปัญหาต่างๆ ดังต่อไปนี้จะเกิดขึ้นตามมา

- เรซินจะไม่สามารถดูดจับแคลเซียมและแมกนีเซียมไว้ได้ ทำให้แคลเซียมและแมกนีเซียมหลุดเข้าไปในหม้อน้ำ
- เมื่อน้ำที่มีแคลเซียมและแมกนีเซียมได้รับความร้อน จะทำให้เกิดเป็นตะกรันหินปูนแข็งเกาะติดแน่นอยู่ที่ผิวด้านสัมผัสน้ำ
- เมื่อปริมาณตะกรันเพิ่มมากขึ้น ความร้อนจากพื้นที่ถ่ายเทความร้อน เช่น ท่อไฟไม่สามารถส่งผ่านความร้อนไปยังน้ำได้ดีดังเดิม ทำให้เกิดความร้อนสูญเสียไปทางปล่องไอเสียเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การที่มีอุณหภูมิปล่องเพิ่มขึ้น จะทำให้สูญเสียเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นด้วย
- เมื่อส่วนที่ได้รับความร้อนไม่สามารถถ่ายเทความร้อนเป็นเวลานาน จะทำให้วัสดุบริเวณนั้นเกิดการอ่อนตัวหรือสูญเสียความแข็งแรง ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้

- หากเกิดตะกรันขึ้นที่อุปกรณ์ต่างๆ โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย เช่น ลูกลอยควบคุมระดับน้ำ จะทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวทำงานผิดปรกติ ส่งผลให้เกิดภาวะน้ำแห้ง และเกิดการระเบิดของหม้อน้ำตามมาได้

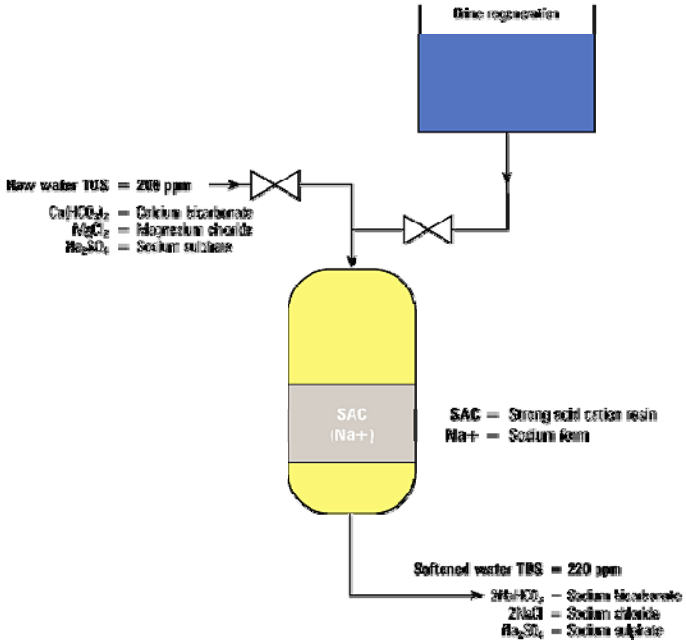


รูปที่ 5-3 ขั้นตอนการกรองน้ำเพื่อผลิตน้ำอ่อน



(ก) การล้างกลับ (ข) การล้างเกลือ

รูปที่ 5-4 การล้างกลับ และการล้างเกลือ



รูปที่ 5-5 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในระบบถังกรองน้ำอ่อน

3) ระบบถังกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนไอออน

ระบบถังกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนไอออน (Deionizer or demineralizer) คือการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยอาศัยการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างน้ำและสารกรอง ประกอบด้วยถังกรองเรซิน 3 ถังคือ ถังกรองไอออนบวก ถังกรองไอออนลบ และถังกรองผสม (มีทั้งสารกรองประจุบวกและลบในถังเดียวกัน) โดยแต่ละถังมีหลักการทำงานดังนี้

(ก) ถังกรองไอออนบวก

ถังกรองไอออนบวก (Cation filter) คือ ถังกรองที่ใช้ดูดซับไอออนบวกทุกชนิดที่ไม่พึงประสงค์ในน้ำ ภายในบรรจุสารกรองสังเคราะห์แบบ Strong cation exchange resin ซึ่งมีความสามารถพิเศษในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกภายในตัวเรซินเองกับไอออนบวกในน้ำ โดยจะเติมไอออนที่ต้องการให้กับเรซินก่อน เรียกเป็นการฟื้นฟูสภาพเรซิน (Regeneration) แล้วจึงนำสารกรองนั้นมากรองน้ำ เรซินจะสามารถจับไอออนบวกในน้ำทุกชนิดไว้และปล่อยไอออนบวกที่เติมไว้ออกไปกับน้ำ ในระบบถังกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนไอออนนี้ ไอออนบวกที่ต้องการและเติมให้กับเรซินไว้ก่อน คือ H^+ เมื่อนำสารกรองนี้มากรองน้ำจะทำให้น้ำที่ผ่านออกมามีไอออนบวกที่เหลือเป็น H^+ ทั้งหมด ซึ่งมีสภาพเป็นกรดชนิดต่างๆ เช่น กรดคาร์บอนิก กรดกำมะถัน กรดเกลือ เป็นต้น แต่สำหรับไอออนลบจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ H^+ ที่ใช้เติมให้กับเรซินในขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพได้จากกรดชนิดต่างๆ แต่ที่ใช้กันมากที่สุด คือ กรดกำมะถัน เนื่องจากสามารถทำให้มีความเข้มข้นสูง (98%) ประหยัดค่าขนส่งและการจัดเก็บ และกรดชนิดนี้ยังไม่กลายเป็นไอกรด กัดกร่อนโครงสร้างตัวอาคารที่เกี่ยวข้อง เมื่อจะใช้งานจะเจือจางให้เหลือความเข้มข้นเพียง 1-5% แล้วผ่านกรดเจือจางนี้เข้าไปในถังกรอง H^+ สารละลายกรดก็จะไปแทนที่และไล่ไอออนบวกชนิดอื่นที่จับอยู่กับเรซินออกไป กรดกำมะถันที่ใช้มีสูตรทางเคมีเป็น H_2SO_4 ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็น H^+ และ SO_4 ส่วนของ SO_4 นี้จะไม่เกิดปฏิกิริยาใดๆ กับเรซินและถูกปล่อยออกทิ้ง กรดไฮโดรคลอริกหรือกรดเกลือ (HCl) เป็นกรดอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพเรซิน

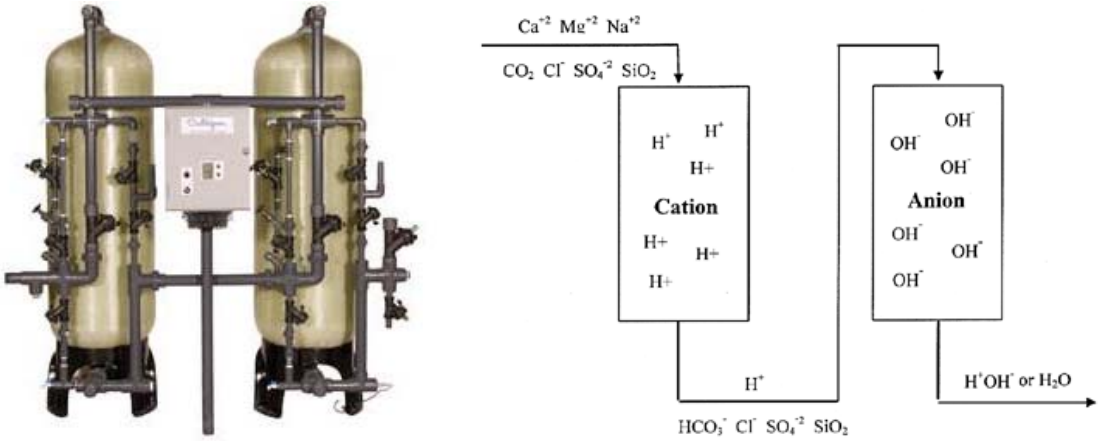
(ข) ถังกรองไอออนลบ

ถังกรองไอออนลบ (Anion filter) เป็นถังกรองที่ใช้ดูดซับไอออนลบที่ไม่ต้องการออกจากน้ำ ภายในก็บรรจุสารกรองสังเคราะห์เช่นกัน แต่เป็นชนิด Strong anion exchange resin ลักษณะการใช้งานก็จำเป็นต้องได้รับการฟื้นฟูสภาพก่อนใช้งานเช่นเดียวกับถังกรองไอออนบวก แต่จะใช้ด่าง หรือโซดาไฟ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 4% ผ่านเข้ามาในถังกรองเพื่อเติม OH^- ให้กับเรซินก่อน ฉะนั้นเมื่อนำมาใช้กรองน้ำ น้ำที่ผ่านถังกรองออกมาจะมีไอออนลบเป็น OH^- ทั้งหมด และเนื่องจากถังกรองไอออนลบนี้ติดตั้งอยู่หลังถังกรองไอออนบวก ดั้งนั้นน้ำที่ผ่านถังกรองไอออนบวกมาก่อนซึ่งมีประจุบวกเป็น H^+ ทั้งหมด จะเกิดการรวมตัวกันของ H^+ และ OH^- กลายเป็นโมเลกุลน้ำ H_2O บริสุทธิ์และปราศจากแร่ธาตุใดๆ ละลายอยู่

(ค) ถังกรองผสม

ถังกรองผสม (Mix bed filter) เป็นถังกรองถังสุดท้ายของระบบถังกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนไอออน ภายในบรรจุสารกรองทั้ง 2 ชนิด คือ Cation resin และ Anion resin คลุกเคล้าผสมผสานกันใช้เพื่อกรองแร่ธาตุที่หลุดรอดออกมาจากถังกรองทั้งสองถังแรก โดยเฉพาะเมื่อสารกรองในถังทั้งสองข้างต้นใกล้จะหมดความสามารถในการดูดซับไอออนที่ไม่ต้องการ ถังนี้จะรับภาระเพียงเล็กน้อยจึงมีอายุการใช้งานต่อการฟื้นฟูสภาพหนึ่งครั้งที่ยาวนานกว่าถังกรองไอออนบวก และถังกรองไอออนลบมาก แต่ก็มีความจำเป็นในการรักษาความบริสุทธิ์ของน้ำที่ผลิตออกมา การฟื้นฟูสภาพสารเรซินในถังจำเป็นต้องแยกชั้นเรซินออกจากกันเสียก่อน การล้างกลับด้วยน้ำจะทำให้เรซินทั้งสองชนิดซึ่งมีความหนาแน่นไม่เท่ากันเกิดการแยกตัวกันด้วยตัวเอง จากนั้นจึงฟื้นฟูสภาพ Anion resin ซึ่งอยู่ชั้นบน ด้วยด่าง และฟื้นฟูสภาพ Cation resin ซึ่งอยู่ชั้นล่างด้วยกรด หลังจากนั้นจะใช้น้ำบริสุทธิ์เข้าไปล้างไล่เอากรดและด่างส่วนที่เหลือออกจนหมดสิ้น แล้วจึงทำการคลุกเคล้าให้เรซินทั้งสองผสมผสานกันใหม่โดยใช้ลมเป่าย้อนเพื่อเตรียมไว้ใช้งานต่อไป

ถังกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนไอออน และขั้นตอนการแลกเปลี่ยนไอออน แสดงดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 ถังกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนไอออน และขั้นตอนการแลกเปลี่ยนไอออน

4) ระบบถังกรองน้ำแบบดีอัลคาไลซ์

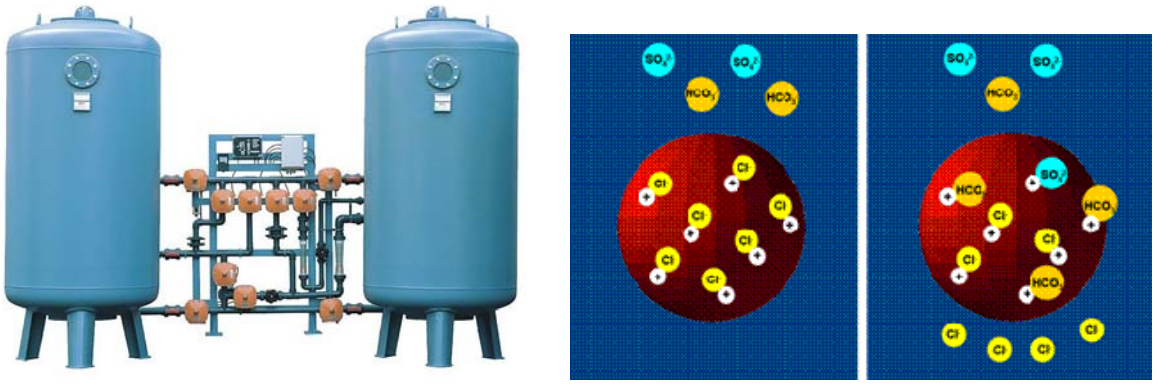
ระบบถังกรองน้ำแบบดีอัลคาไลซ์ (Dealkalizer) จะทำการลดความเป็นด่างของน้ำ โดยการใช้ถังซึ่งบรรจุเรซินประจุไฟฟ้าบวกไว้ ทำหน้าที่จับสารละลายด่างที่มีประจุไฟฟ้าลบในน้ำเอาไว้ เช่น ซัลเฟต ไนเตรท คาร์บอนไดออกไซด์ และซิลิกา ดังแสดงในรูปที่ 5-7

ความเป็นด่าง (Alkalinity) หมายถึง ค่าที่แสดงปริมาณกรดที่ต้องใช้ในการทำให้ส่วนที่เป็นด่าง เช่น เกลือไบคาร์บอเนต เกลือฟอสเฟต และเกลือซิลิเกต เป็นต้น ที่ละลายอยู่ในน้ำให้มีสภาพความเป็นกลาง ปริมาณกรดที่ใช้จะแสดงเป็นค่าที่ผ่านการปรับเทียบเป็นปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตในหน่วย ppm นอกจากนี้ยังมีค่า M-alkalinity หมายถึง ดัชนีบ่งบอกความเป็นกลางคือ Methyl orange (pH = 4.8) และ P-alkalinity หมายถึง Alkalinity ของน้ำมีค่าเทียบเท่าความเข้มข้นของเกลือคาร์บอเนตที่ได้จากการสลายตัวของเกลือไบคาร์บอเนตเนื่องจากความร้อนหรือสารจำพวกด่างที่เติมเข้าไปเพื่อปรุงแต่งคุณภาพน้ำภายในหม้อน้ำ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ส่วนสารเคมีที่ใช้เป็นดัชนีบอกความเป็นกลางคือ Phenolphthalein (pH = 9.0) จากค่าความเป็นด่างที่กล่าวมาข้างต้นเขียนเป็นสมการได้

Total alkalinity = M-alkalinity + P-alkalinity

ควรติดตั้งระบบกรองน้ำดีอัลคาไลซ์ เมื่อน้ำมีสารละลายด่างของไบคาร์บอเนต สูงกว่า 100 ppm และมีการใช้น้ำมากกว่า 4 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือเมื่อน้ำมีสารละลายซัลเฟตต่ำกว่า 120 ppm และเมื่อน้ำมีสารละลายซัลเฟตต่ำกว่า 50% ของสารละลายด่างทั้งหมด

การฟื้นฟูสภาพระบบถังกรองน้ำแบบดีอัลคาไลซ์ (Regeneration) ทำโดยการล้างด้วยน้ำเกลือ NaCl (Na^+, Cl^-) เช่นเดียวกันกับการล้างถังกรองน้ำอ่อน ไม่ควรใช้น้ำโซดาไฟ NaOH (Na^+, OH^-) ล้างถังดีอัลคาไลซ์ เพราะถ้าล้างด้วยน้ำโซดาไฟ OH^- ในน้ำโซดาไฟจะถูกแลกเปลี่ยนลอดผ่านถังดีอัลคาไลซ์ ทำให้เป็นการเพิ่มค่าความเป็นด่างของน้ำให้สูงขึ้น ควรล้างด้วยเกลือแกงเพียงอย่างเดียว

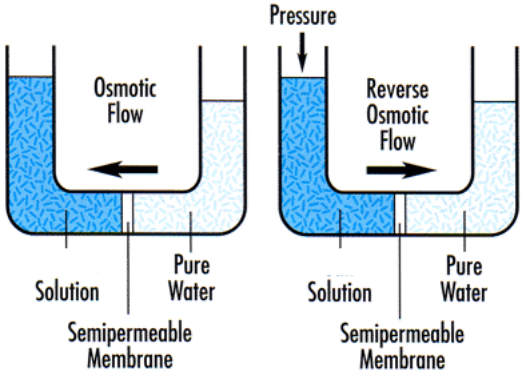


รูปที่ 5-7 ถังกรองน้ำแบบดีอัลคาไลซ์ และการดักจับสารละลายด่างที่มีประจุไฟฟ้าลบ

5) ระบบถังกรองน้ำแบบรีเวิร์สออสโมซีส

ออสโมซีส (Osmosis) หมายถึง การเคลื่อนที่ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติของน้ำโดยผ่านเยื่อเมมเบรนบางๆ (Semi permeable membrane) จากฝั่งที่มีสารละลายเจือจาง ไปยังฝั่งที่มีสารละลายเข้มข้น ดังแสดงในรูปที่ 5-8 (ก) เยื่อเมมเบรนในอุดมคติยอมให้น้ำไหลผ่านได้เท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติโมเลกุล หรือไอออนบางชนิด อาจไหลผ่านได้เช่นกัน สมมุติมีตู้น้ำอยู่และเอาเมมเบรนมากั้นตรงกลางด้านซ้ายเป็นสารละลายเข้มข้น ด้านขวาเป็นสารละลายเจือจาง เมื่อปล่อยให้มีการไหลของน้ำผ่านเมมเบรนจนกระทั่งถึงจุดสมดุล (ไม่มีการไหลอีก) ระดับน้ำในด้านซ้ายซึ่งเป็นสารละลายเข้มข้นจะสูงกว่าระดับน้ำในด้านขวาที่เป็น

สารละลายเจือจาง เมื่อปล่อยให้มีการไหลของน้ำผ่านเมมเบรนจนกระทั่งถึงจุดสมดุล (ไม่มีการไหลอีก) ระดับน้ำในด้านซ้ายซึ่งเป็นสารละลายเข้มข้นจะสูงกว่าระดับน้ำในด้านขวาซึ่งเป็นน้ำเจือจาง ผลต่างของระดับน้ำนี้เรียกว่า แรงดันออสโมซิส (Osmotic pressure) ปรากฏการณ์ออสโมซิสเกิดจากสารละลายเข้มข้นมีความดันไอ (Vapor pressure) ต่ำกว่าสารละลายเจือจาง ระดับน้ำในทั้งสองด้านของเมมเบรนจึงมีการปรับตัวจนกระทั่งแรงดันบนผิวน้ำทั้งสองด้านมีค่าเท่ากัน ถ้ามีแรงดันที่มีค่าสูงกว่าแรงดันออสโมซิสมากระทำต่อด้านที่มีสารละลายเข้มข้น น้ำจะไหลย้อนกลับ ซึ่งเป็นการต้านการไหลตามธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 5-8 (ข) วิธีดังกล่าวนี้วิศวกรนำมาใช้เพื่อแยกน้ำออกจากสารละลายเข้มข้นต่างๆ และเรียกว่ารีเวิร์สออสโมซีส (Reverse osmosis, RO) หรือออสโมซีสย้อนกลับ ดังนั้นกระบวนการรีเวิร์สออสโมซีส จึงอาศัยปัจจัยสำคัญ 2 อย่าง คือ แรงดัน และเมมเบรน



(ก) ออสโมซิส (ข) รีเวิร์สออสโมซีส

รูปที่ 5-8 ความแตกต่างระหว่างออสโมซิสและรีเวิร์สออสโมซีส

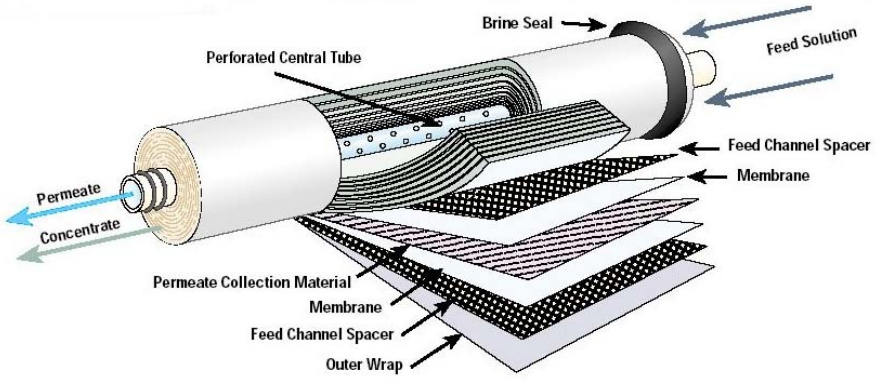
กระบวนการเมมเบรน (Membrane processes) หมายถึงกระบวนการต่างๆ ที่อาศัยเยื่อเมมเบรน (Semi permeble membrane) ในการแยกสารละลายออกจากน้ำหรือของเหลว กระบวนการเมมเบรนที่สำคัญมี 3 แบบคือ Electro dialysis (ED), Reverse osmosis (RO) และ Ultra filtration (UF) ความแตกต่างของกระบวนการทั้งสามประเภทอยู่ที่ความสามารถในการแยกสารละลายที่มีขนาดต่างๆ และแรงขับดันให้เกิดการแยกสารและน้ำออกจากกัน Electro dialysis ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับดันให้เกิดการแยกสารประกอบซึ่งแตกตัวเป็นไอออนได้ออกจากน้ำ แต่ไม่สามารถแยกสารอินทรีย์ ส่วน Reverse osmosis (บางครั้งเรียกว่า Hyper filtration) และ Ultra filtration ใช้แรงดันในการแยกสารต่างๆ ออกจากน้ำ Reverse osmosis สามารถแยกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่เท่านั้น อย่างไรก็ตาม Ultra filtration มักใช้แรงดันประมาณ 7 บาร์ หรือน้อยกว่า ส่วน Reverse osmosis มักใช้แรงดันตั้งแต่ 20 – 70 บาร์ หรือสูงกว่า เยื่อเมมเบรนของกระบวนการทั้งสาม มีหน้าที่และขีดความสามารถไม่เท่ากัน กล่าวคือ แผ่นเมมเบรนของ Reverse osmosis สร้างขึ้นเพื่อให้น้ำไหลผ่านเท่านั้น และไม่มีคุณสมบัติให้สารอื่นๆ ไหลผ่านได้ แผ่นเมมเบรนสำหรับ Electro dialysis มี 2 ชนิดคือ แผ่นบวก และแผ่นลบ ซึ่งยอมไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเหมือนกันไหลผ่าน โมเลกุลของน้ำไหลผ่านแผ่นเมมเบรนได้ยาก ความแตกต่างของแรงขับดันและสารที่แยกออกจากน้ำได้ระหว่าง Electro dialysis (ED), Reverse osmosis (RO) และ Ultra filtration (UF) แสดงในตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ความแตกต่างของแรงขับดันและสารที่แยกออกจากน้ำได้

กระบวนการ	แรงขับดัน	สารที่แยกออกจากน้ำได้
RO	แรงดัน 20-70 บาร์ หรือสูงกว่า	เกลือแร่ กรด ด่าง สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200 (รวมทั้งแบคทีเรีย ฯลฯ)
UF	แรงดันประมาณ 7 บาร์ หรือต่ำกว่า	สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 500
ED	แรงดันไฟฟ้า	สารที่แตกตัวเป็นไอออนได้

ในปัจจุบัน เนื่องจากความจำเป็นที่ต้องใช้น้ำสะอาดที่มีปริมาณสารละลายต่ำ และความสกปรกที่เพิ่มขึ้นของแหล่งน้ำดิบ ทำให้กระบวนการเมมเบรนต่างๆ มีความสำคัญเพิ่มขึ้น และกลายเป็นระบบที่จำเป็นในหลายกรณี เนื่องจากระบบ Reverse osmosis นั้นมีขีดความสามารถกว้างขวางกว่า Ultra filtration และ Electro dialysis ดังนั้น จึงมีการนำ Reverse osmosis ไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำได้ดีมากกว่าระบบเมมเบรนแบบอื่น ถังกรองน้ำแบบรีเวิร์สออสโมซีส และชั้นแผ่นกรองที่อยู่ภายใน แสดงได้ดังรูปที่ 5-9 และ 5-10 ตามลำดับ

รูปที่ 5-9 ถังกรองน้ำแบบรีเวิร์สออสโมซีส



รูปที่ 5-10 ชั้นแผ่นกรองภายในถังกรองน้ำแบบรีเวิร์สออสโมซีส

6) ระบบถังไล่อากาศ

การกำจัดออกซิเจนในน้ำป้อนหม้อน้ำเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องกระทำเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรงที่เกิดขึ้นกับท่อส่งน้ำและท่อในหม้อน้ำ วิธีกำจัดออกซิเจนจากน้ำมี 2 วิธีคือวิธีทางเคมี และวิธีทางกายภาพ วิธีแรกเป็นการเติมสารเคมีบางอย่าง เช่น โซเดียมซัลไฟต์ เพื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจนเกิดเป็นสารใหม่ที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อน ส่วนวิธีที่สองนั้นเป็นการกำจัดออกซิเจนโดยใช้ถังไล่อากาศ (Deaerator) สำหรับในทางปฏิบัติการใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเพียงลำพังมักไม่ได้ผลอย่างเต็มที่ หรือถ้าใช้ได้ก็ไม่ประหยัด จึงนิยมใช้ทั้งสองวิธีไปด้วยกันกล่าวคือ ใช้ถังไล่อากาศเพื่อกำจัดออกซิเจนส่วนใหญ่ก่อน จากนั้นจึงเติมสารเคมีเพื่อกำจัดออกซิเจนส่วนที่เหลือ พึงตระหนักไว้ว่าน้ำในหม้อน้ำต้องไม่มีออกซิเจนอย่างเด็ดขาด ทั้งนี้เพราะออกซิเจนเพียง 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง ถังไล่อากาศเพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดออกซิเจนให้เหลือน้อยกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ การเติมสารเคมีเพียงอย่างเดียวสามารถลดออกซิเจนได้ 100% แต่ก็ไม่ใช่หนทางปฏิบัติที่ดีและไม่เป็นการประหยัด

ตราบใดที่หม้อน้ำมีทางเปิดสู่บรรยากาศไม่ว่าจะผ่านทางถังเก็บคอนเดนเสทหรือถังเก็บน้ำป้อนหม้อน้ำ ตราบนั้นก็จะมีการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศให้กับน้ำ ทำให้มีปริมาณออกซิเจนสูงละลายในน้ำ น้ำป้อนหม้อน้ำช่วยให้มีออกซิเจนเข้าสู่หม้อน้ำมากยิ่งขึ้นเพราะน้ำป้อนก็มีออกซิเจนละลายอยู่ด้วยนอกจากนี้ น้ำป้อนซึ่งเป็นน้ำเย็นจะทำให้คอนเดนเสทมีอุณหภูมิต่ำลงเมื่อส่งกลับไปยังหม้อน้ำ เป็นเหตุให้ออกซิเจนในอากาศสามารถละลายในน้ำได้เพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนเป็นสัดส่วนผกผันกับอุณหภูมิ ยกตัวอย่างเช่น หากอุณหภูมิน้ำสูงถึง 82 °C และ 93 °C (180 °F และ 200 °F) ปริมาณออกซิเจนสูงสุดที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 2 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่ออุณหภูมิน้ำสูงถึง 102 °C (215 °F) จะไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำได้เลย สามารถแบ่งถังไล่อากาศได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะกลไกการไล่อากาศที่เกิดขึ้นภายใน ได้แก่

(ก) ถังไล่อากาศแบบธรรมดา

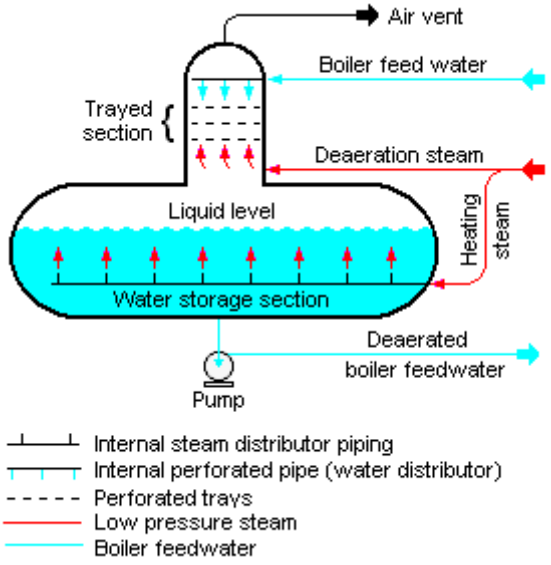
ถังไล่อากาศแบบธรรมดา เป็นถังไล่อากาศแบบที่ง่ายที่สุด ประกอบด้วยขดไอน้ำแบบวงจรปิดหรือเปิดวางอยู่ในถังคอนเดนเสทซึ่งมีที่ระบายอากาศ ขดไอน้ำถูกควบคุมอย่างอัตโนมัติเพื่อให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 82-93 °C (180-200 °F) หรือสูงกว่านั้นโดยไม่ทำให้เกิดโพรงอากาศ (Cavitation) หรือการกระแทกของไอน้ำ (Steam shock)

(ข) ถังไล่อากาศแบบถาด

ถังไล่อากาศแบบถาด (Tray-type deaerator) แบบติดตั้งในแนวนอนโดยทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 5-11 ประกอบด้วยส่วนโดมทรงกระบอกแนวดิ่ง (Vertical domed deaerator section) สำหรับไล่อากาศ ซึ่งติดตั้งอยู่เหนือถังเก็บน้ำป้อนทรงกระบอกแนวนอน (Horizontal boiler feedwater storage vessel) น้ำป้อนจะเข้าที่ส่วนไล่อากาศ ตกลงด้านบนของถาดที่เจาะเป็นรูพรุน (Perforated tray) และไหลลงด้านล่างผ่านรูพรุนดังกล่าว ส่วนไอน้ำความดันต่ำที่ใช้ในการไล่อากาศไหลเข้าด้านล่างของถาด และไหลขึ้นด้านบนผ่านรูพรุนของถาด บางกรณีอาจออกแบบโดยใช้วัสดุอัดแน่นอื่นๆ แทนถาดที่มีรูพรุน เนื่องจากสามารถทำให้ไอน้ำและน้ำป้อนสัมผัสกันและผสมกันได้ดีกว่า

ไอน้ำจะไล่ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำป้อนให้ออกไปทางท่อระบายอากาศ (Vent) ที่อยู่ด้านบนของส่วนโดม บางครั้งมีการติดตั้งเครื่องควบแน่นอากาศระบาย (Vent condenser) เพื่อใช้ดักจับและนำน้ำที่ถูกหอบขึ้นไปโดยก๊าซกลับมาใช้ใหม่ ท่อระบายอากาศโดยทั่วไปจะติดตั้งวาล์วพิเศษที่ยอมให้ไอน้ำไหลผ่านไปกับก๊าซได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพื่อลดการสูญเสียไอน้ำออกจากระบบ

น้ำที่ถูกไล่อากาศออกแล้วจะไหลตกลงมาที่ถังเก็บทรงกระบอกแนวนอนที่อยู่ด้านล่าง และพร้อมที่จะถูกปั๊มส่งไปป้อนหม้อน้ำต่อไป ส่วนหนึ่งของไอน้ำความดันต่ำไหลเข้าสู่ถังแนวนอนผ่านท่อที่มีหัวกระจาย (Sparger pipe) ที่อยู่ด้านล่างของถัง เนื่องจากไอน้ำนี้ยังมีความร้อนอยู่จำนวนหนึ่ง ไอน้ำดังกล่าวจึงคายความร้อนให้น้ำป้อน ทำให้อุณหภูมิน้ำป้อนสูงขึ้น ในส่วนภายนอกของถังไล่อากาศ ต้องมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนให้ทั่วพื้นที่ผิวทั้งหมด เพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศ



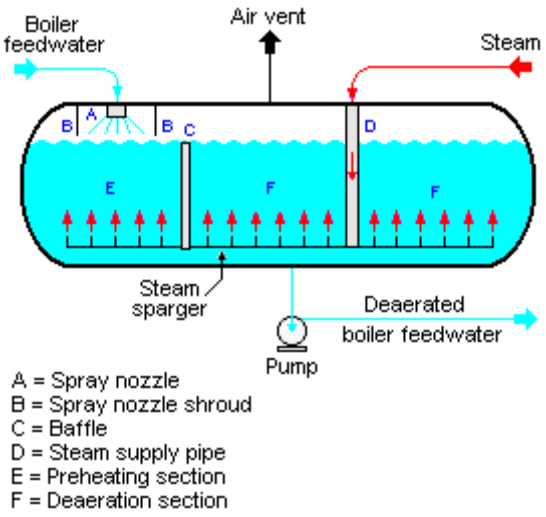
รูปที่ 5-11 ถังไล่อากาศแบบถาด

(ค) ถังไล่อากาศแบบพ่น

ถังไล่อากาศแบบพ่น (Spray-type deaerator) โดยทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 5-12 มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกวางในแนวนอน ภายในประกอบด้วยส่วนอุ่นครั้งแรก (Preheating section) (E) และส่วนไล่อากาศ (Deaerator section) (F) ทั้งสองส่วนนี้แยกกันโดยใช้แผ่นกั้น (Baffle) (C) ไอน้ำความดันต่ำไหลเข้าสู่ถังผ่านทางท่อที่มีหัวกระจายที่อยู่ด้านล่างของถัง

น้ำป้อนจะถูกพ่นเป็นฝอยเข้าสู่ส่วนอุ่นครั้งแรก ในส่วนนี้น้ำป้อนจะถูกอุ่นโดยไอน้ำที่พุ่งขึ้นจากหัวกระจาย วัตถุประสงค์ของการใช้หัวฉีด (Nozzle) (A) พ่นฝอยน้ำป้อนในส่วนอุ่นครั้งแรก คือ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำป้อนให้สูงขึ้นจนมีค่าเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำ ส่งผลให้ก๊าซที่เจือปนอยู่ในน้ำป้อน มีสภาพพร้อมที่จะถูกไล่ออกไปได้อย่างง่ายดาย เมื่อไหลเข้าสู่ส่วนไล่อากาศที่อยู่ถัดไปในถัง

น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วจะไหลเข้าสู่ส่วนไล่อากาศ ในส่วนนี้น้ำป้อนจะถูกไล่เอาอากาศออกโดยไอน้ำที่พุ่งขึ้นจากหัวกระจาย ก๊าซที่ถูกไล่ออกจากน้ำป้อนจะไหลออกทางท่อระบายอากาศที่อยู่ด้านบนของถัง ในบางกรณีอาจมีการติดตั้งเครื่องควบแน่นอากาศระบาย และวาล์วพิเศษเช่นเดียวกับในกรณีของถังไล่อากาศแบบถาด น้ำที่ถูกไล่อากาศออกแล้วจะไหลตกลงมาที่ถังเก็บทรงกระบอกแนวนอนที่อยู่ด้านล่าง และพร้อมที่จะถูกปั๊มส่งไปป้อนหม้อน้ำต่อไป ในส่วนภายนอกของถังไล่อากาศ ต้องมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนให้ทั่วพื้นที่ผิวทั้งหมด เพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศ



รูปที่ 5-12 ถังไล่อากาศแบบพ่น

จากระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบนอกหม้อน้ำทั้ง 6 แบบที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำของอุปกรณ์แต่ละชนิดได้ดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 ความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำของอุปกรณ์แต่ละชนิด

Dissolved Constituent	Sand filter	Softener	Dealkalizer	Reverse osmosis	Deaerator
Calcium** (Ca)	No change	98-100%	Must have soft water	Must have soft water	No change
Magnesium** (Mg)	No change	98-100%	Must have soft water	Must have soft water	No change
Hardness*	No change	98-100%	Must have soft water	Must have soft water	No change
Sodium (Na)	No change	Increases	No change	90-95%	No change
Bicarbonate Alkalinity (HCO_3)*	No change	No change	90%	90-95%	No change
Sulfate (SO_4)	No change	No change	90-95%	90-95%	No change
Chloride (Cl)	No change	No change	Increases	90-95%	No change
Silica (SiO_2)*	No change	No change	20%	90-95%	No change

Dissolved Constituent	Sand filter	Softener	Dealkalizer	Reverse osmosis	Deaerator
Soluble Iron (Fe)	No change	100%	Must have soft water	Must have soft water	No change
Total Dissolved Soilds*	No change	No change	No change	No change	No change
Suspended Soilds*	Down to 10 micron	Must be removed	Must be removed		No change
Dissolved Gases*		No change	Free CO_2 Only		To 0.005 cc of O_2

หมายเหตุ: All of the above packaged water systems can be readily integrated into existing Cleaver-Brooks boiler rooms. And all are designed to accommodate boilers of any make.

* Specifically limited by ASME guidelines on boiler feedwater quality.

** The sum of calcium and magnesium equal the hardness. Hardness has been listed as a separate item for those analyses showing hardness only.

5.1.2 ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบในหม้อน้ำ

ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบในหม้อน้ำ (Internal boiler water treatment) เป็นระบบที่น้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติภายในหม้อน้ำ ทำหน้าที่เป็นระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อเสริมระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบนอกหม้อน้ำในกรณีที่คุณภาพของน้ำยังไม่ได้มาตรฐาน ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบในหม้อน้ำที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน คือ ระบบเติมเคมี (Chemical feed system or dosing system)

ระบบเติมเคมี ประกอบด้วยถังน้ำยาเคมี ที่กวน และปั๊มน้ำยาเคมี ที่ทนการกัดกร่อนเป็นอย่างดี เป็นระบบการป้อนเคมีเข้าสู่หม้อน้ำโดยตรง หรืออาจป้อนเข้าสู่อุปกรณ์ในระบบน้ำป้อนในตำแหน่งที่ใกล้กับหม้อน้ำ เช่น ท่อน้ำป้อน ถังพักน้ำป้อน หรือถังไล่อากาศ เป็นต้น ข้อแนะนำในการติดตั้งและใช้งานระบบเติมเคมี มีดังต่อไปนี้

- เคมีหม้อน้ำมีหลายประเภท เช่น เคมีป้องกันตะกรัน เคมีป้องกันการกัดกร่อน เคมีกำจัดก๊าซออกซิเจนเจือปน (Dissolved oxygen) เคมีป้องกันการกัดกร่อนในระบบท่อไอน้ำและคอนเดนเสท เป็นต้น
- ผู้ใช้งานหม้อน้ำสามารถผสมเคมีใช้งานเองได้ถ้ามีความรู้ทางด้านเคมีพอเพียง แต่ต้องมีความรู้เรื่องหม้อน้ำด้วย เพราะจะต้องมีการตรวจสอบ ติดตามผลที่เกิดขึ้นกับหม้อน้ำ เช่น เคมีบางตัวอาจทำงานได้ดี แต่มีการเปลี่ยนสภาพทางเคมี เกิดเป็นฝุ่นผงในน้ำในหม้อน้ำขึ้น ซึ่งฝุ่นผงในน้ำสามารถไปอุดตันระบบป้องกันระดับน้ำต่ำ ทำให้หม้อน้ำระเบิดได้ ดังนั้นการใช้เคมีเติมหม้อน้ำจะต้องมีความระมัดระวัง มีความรู้ และมีการตรวจสอบติดตามผลตลอดเวลา โดยเฉพาะภายในปีแรกๆ ที่เริ่มใช้เคมี

- เคมีที่ใช้เติมหม้อน้ำ บางประเภทอาจจะกัดกร่อนวัสดุโครงสร้างของปั๊มน้ำ หรือมีการเปลี่ยนสภาพทางเคมีก่อน ก็มีความจำเป็นที่จะต้องเติมเคมีนั้นเข้าไปในหม้อน้ำโดยตรง
- จุดเติมเคมีควรจะเป็นจุดที่ใกล้หม้อน้ำที่มากที่สุด โดยปรกติเคมีที่ใช้ในหม้อน้ำความดันไม่เกิน 2 MPa มักจะเป็นชนิดที่ตกตะกอนได้ง่าย และทำการระบายทิ้งก้นหม้อน้ำ จึงควรเติมเคมีเข้าสู่หม้อน้ำโดยตรง
- สำหรับเคมีที่ใช้เติมหม้อน้ำที่ไม่มีการกัดกร่อน หรือไม่มีการเปลี่ยนสภาพทางเคมีก่อน สามารถเติมเข้าถังพักน้ำ หรือถังไล่อากาศ (Deaerator) ซึ่งมีความดันต่ำได้
- ควรเติมเคมีที่ใช้กำจัดออกซิเจนที่ถังพักน้ำเนื่องจากเคมีตัวนี้มักจะใช้เวลานานในการทำปฏิกิริยา
- ควรจะใช้ปั๊มเคมีแบบลูกสูบเมื่อความดันเกิน 1 MPa หรือหากเคมีที่ใช้เป็นแบบไม่กัดกร่อนโลหะ โดยทั่วไปควรเลือกใช้ปั๊มแบบลูกสูบ เนื่องจากไม่ค่อยเสียหายง่าย และมีความแม่นยำเที่ยงตรงสูง
- ปั๊มเคมีแบบไดอะเฟรมจะใช้สำหรับความดันต่ำ และเมื่อเคมีนั้นเป็นแบบกัดกร่อนโลหะ เหมาะสำหรับงานขนาดเล็ก เนื่องจากมีขนาดกะทัดรัดกว่าปั๊มแบบลูกสูบ
- ไม่ควรตวงเคมีแล้วเทเติมโดยตรงที่ถังพักน้ำ นอกจากว่าเป็นหม้อน้ำขนาดเล็กที่กำลังผลิตไม่เกิน 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีชั่วโมงทำงานในแต่ละวันไม่มากนัก แต่ถ้าหม้อน้ำมีขนาดใหญ่ หรือเคมีเป็นอันตรายต่อคน หม้อน้ำก็ควรมีระบบปั๊มน้ำยาเคมี
- ในการออกแบบระบบหม้อน้ำใหม่ ควรจะออกแบบให้มีปั๊มน้ำยาเคมีทั้ง 2 แบบ คือปั๊มน้ำยาเคมีที่เติมเคมีเข้าไปในหม้อน้ำโดยตรง และปั๊มน้ำยาเคมีที่เติมเคมีเข้าไปในถังพักน้ำ หรือถังไล่อากาศ เนื่องจากมีน้ำยาเคมีทั้งสองชนิด และในอนาคตอาจจะมีความจำเป็นต้องใช้น้ำยาเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง
- ควรจะเติมเคมีเข้าสู่หม้อน้ำเสมอ เพื่อป้องกัน และรักษาคุณภาพน้ำของหม้อน้ำให้ดีสม่ำเสมออยู่ตลอด แต่ถ้าหากคุณภาพน้ำในระบบดีอยู่แล้ว หรือมีระบบปรับสภาพน้ำภายนอกที่สมบูรณ์เพียงพอ การเติมเคมีก็จะใช้ปริมาณน้อยลง ซึ่งจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายลงด้วย

รูปที่ 5-9 ระบบเติมเคมี

5.2 คุณสมบัติของน้ำและการทดสอบคุณภาพน้ำ

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549 ได้กำหนดคุณภาพของน้ำป้อนหม้อน้ำ (Boiler feed water) และคุณภาพน้ำในหม้อน้ำ (Boiler water) ไว้ดังตารางที่ 5-3 และ 5-4

ตารางที่ 5-3 เกณฑ์คุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำ

รายการ	ค่าเกณฑ์ควบคุม	หน่วย
pH value	5.8 - 9.5	-
Total hardness	ไม่เกิน 10	ppm as $CaCO_3$

ตารางที่ 5-4 เกณฑ์คุณภาพน้ำในหม้อน้ำ

รายการ	ค่าเกณฑ์ควบคุม	หน่วย
pH value	8.5 - 11.8	-
Total dissolved solid (TDS)	ไม่เกิน 3,500	ppm

สังเกตจากตารางคุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำ และคุณภาพน้ำในหม้อน้ำ ข้างต้นเห็นได้ว่า มีค่าซึ่งใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของน้ำอยู่ 3 ค่าด้วยกัน ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH value) ความกระด้างรวม (Total hardness) และ ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total dissolved solid, TDS) ดังนั้นในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงความหมาย วิธีการวัด และเครื่องมือวัด ที่เกี่ยวข้องกับทั้งสามค่านี้

5.2.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง

กรด (Acid) เป็นสารบริสุทธิ์ประเภทสารประกอบที่มีธาตุไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อนำไปละลายน้ำจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมา มีสมบัติทางเคมีตรงกันข้ามกับด่าง หรือเบส (Alkalinity) เมื่อทำปฏิกิริยากับด่างได้เกลือกับน้ำ ซึ่งเป็นการสะเทิน หรือการทำให้สมบัติของกรดและด่างหมดไปกลายเป็นเกลือซึ่งมีสมบัติต่างไปจากเดิม สามารถจำแนกประเภทของกรดตามแหล่งกำเนิดได้ 2 ประเภทคือ กรดอินทรีย์ และกรดอนินทรีย์ หรือกรดแร่

(ก) กรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์ (Organic acid) เป็นกรดที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น พืช และสัตว์ กรดจำพวกนี้มีส่วนที่แสดงความเป็นกรดหรือเป็นตัวปล่อยไฮโดรเจนไอออน คือส่วนที่เรียกว่ากลุ่ม คาร์บอกซีลิก (Carboxylic group, -COOH คือมี คาร์บอน 1 ตัว ออกซิเจน 2 ตัว และ ไฮโดรเจน 1 ตัว) เช่น กรดฟอร์มิก หรือที่เรียกว่ากรดมด กรดอะมิโน ที่เป็นหน่วยย่อยของโปรตีน กรดน้ำส้มหรือกรดอะซิติก รวมทั้งกรดไขมันต่ำๆ

(ข) กรดอนินทรีย์ หรือกรดแร่

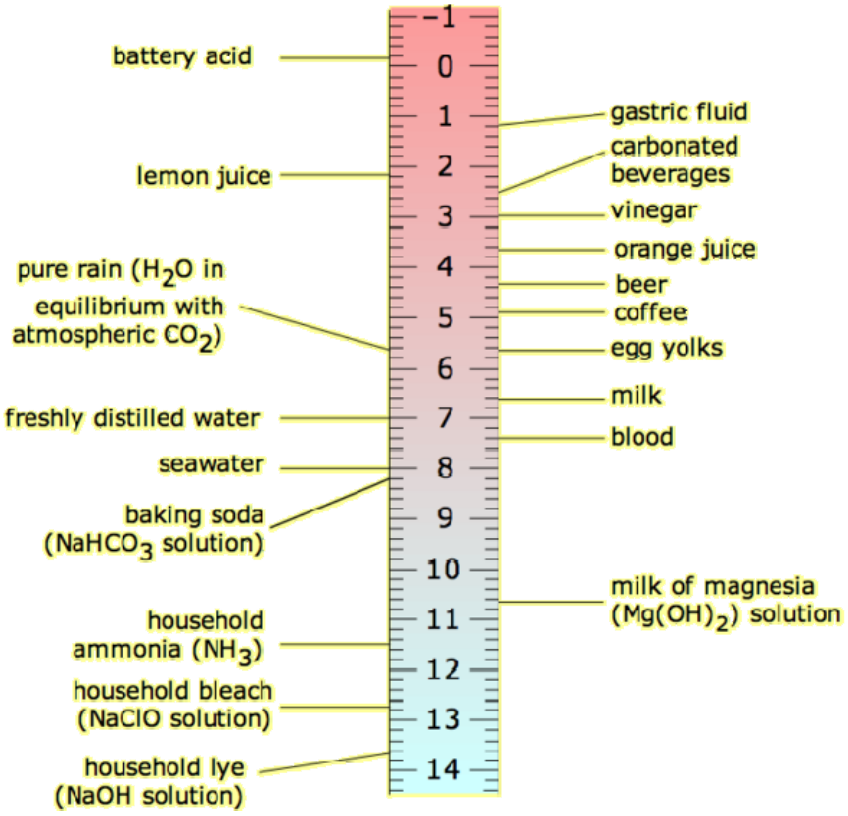
กรดอนินทรีย์ หรือกรดแร่ (Inorganic acid) เป็นกรดที่ได้จากสิ่งไม่มีชีวิต แบ่งเป็นสองกลุ่มย่อย

- กลุ่มไฮโดรแอซิด (Hydro acid) เป็นกรดที่มีไฮโดรเจนไอออน (H^+) กับธาตุอื่นๆ อีก 1 ตัว เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl ซึ่งประกอบด้วย ไฮโดรเจนรวมตัวกับคลอรีน)

- กรดออกซี (Oxy acid) เป็นกรดที่ประกอบด้วย 3 ธาตุหลักเป็นส่วนใหญ่ คือมี ไฮโดรเจน และออกซิเจน และธาตุอื่นอีก 1 ตัว เช่น กรดซัลฟูริก (H_2SO_4 คือมีไฮโดรเจน 2 ตัว ซัลเฟอร์ 1 ตัว และ ออกซิเจน 4 ตัว) กรดไนตริก (HNO_3 คือมีไฮโดรเจน 1 ตัว ไนโตรเจน 1 ตัว และ ออกซิเจน 3 ตัว)

เบส (Alkalinity) เป็นสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนออกมา เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดได้เกลือกับน้ำหรือได้เกลืออย่างเดียว เบสเป็นสารที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย แต่ถ้านำไปใช้ไม่ถูกวิธีอาจทำให้เกิดอันตรายรุนแรงได้

สภาพความเป็นกรดเป็นด่าง แสดงโดยใช้ค่าพีเอช (pH value) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 14 ความหมายคือ pH value เท่ากับ 1 คือสารละลายที่มีความเป็นกรดสูงมาก หรือที่เรียกว่ากรดแก่ ส่วน pH value เท่ากับ 14 คือสารละลายที่มีความเป็นด่างสูงมาก หรือที่เรียกว่าด่างแก่ ดังนั้นสารละลายที่มีความเป็นกลาง จะมีค่า pH value เท่ากับ 7 ซึ่งหมายความว่าหาก pH value มีค่าน้อยกว่า 7 ลงไปเรื่อยๆ ความเป็นกรดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในทางกลับกันหาก pH value มีค่ามากกว่า 7 ขึ้นไปเรื่อยๆ ความเป็นด่างของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นั่นเอง น้ำที่ดีควรมีสภาพเป็นกลาง คือมี pH value เท่ากับหรือใกล้เคียง 7 สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภค เพื่อการเกษตร และเพื่อการอุตสาหกรรมได้ ระดับค่าพีเอชและตัวอย่างค่าพีเอชของสสารในชีวิตประจำวัน แสดงได้ดังรูปที่ 5-10



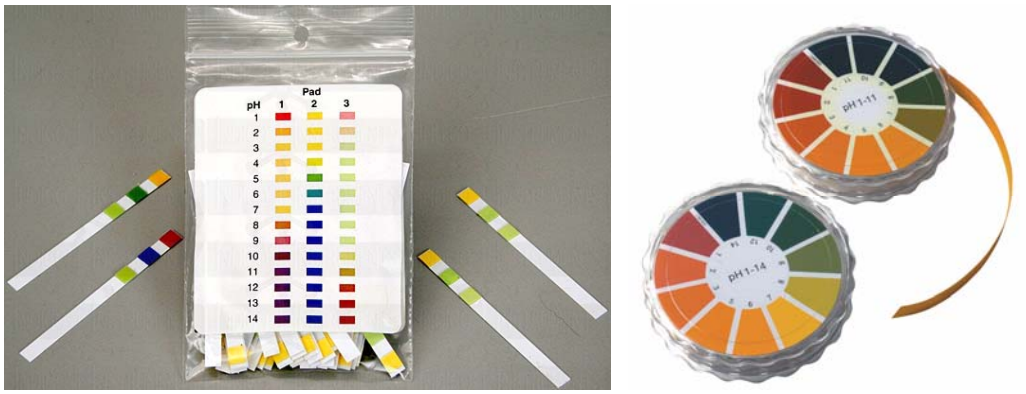
รูปที่ 5-10 ระดับค่าพีเอชและตัวอย่างค่าพีเอชของสสารในชีวิตประจำวัน

การวัดค่าพีเอชหรือ pH value สามารถทำได้โดยใช้กระดาษลิสมัต (Litmus paper) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเป็นกรดเป็นด่างอย่างง่ายและใช้มานานมากที่สุด มีลักษณะมีกระดาษทั่วไป แต่มีการเคลือบด้วยสารเคมีที่เปลี่ยนสีได้ตามความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายที่ต้องการวัด กระดาษลิตมัสที่มีความเป็นกลางจะมีสีม่วง หากสัมผัสกับสารละลายที่มีความเป็นกรดจะเปลี่ยนเป็นสีแดง หากสัมผัสกับด่างจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน อีกรูปแบบหนึ่งของกระดาษลิสมัต คือ กระดาษลิตมัสที่ใช้วัดความเป็นกรด หรือวัดความเป็นด่าง แยกออกจากกันโดยสิ้นเชิง กระดาษลิสมัตที่ใช้วัดความเป็นด่างจะมีสีแดงซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเมื่อสัมผัสกับด่าง ส่วนกระดาษลิสมัตที่ใช้วัดความเป็นกรดจะมีสีน้ำเงินซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อสัมผัสกับกรด ดังแสดงในรูปที่ 5-11 ทั้งนี้ข้อจำกัดของการใช้กระดาษลิตมัสคือสามารถวัดความเป็นกรดเป็นด่างได้ในช่วง pH value ระหว่าง 4.5-8.3 เท่านั้น

รูปที่ 5-11 กระดาษลิสมัต

เนื่องจากขีดความสามารถของกระดาษลิตมัสที่ระบุได้เพียงแค่สารละลายที่ทำการวัดนั้นเป็นกรดหรือเป็นด่างเท่านั้น แต่ไม่สามารถบ่งบอกระดับของความเป็นกรดหรือด่างได้ ดังนั้นจึงมีการพัฒนากระดาษลิตมัสแบบใหม่ที่สามารถเปลี่ยนเฉดสีได้ตามระดับความเป็นกรดและด่าง เรียกกระดาษลิตมัสแบบใหม่นี้ว่า Universal indicator ดังรูปที่ 5-12 การใช้งานเหมือนกับการใช้กระดาษลิตมัสแบบดั้งเดิม คือ หยดสารละลายลงไปที่กระดาษ เมื่อกระดาษเกิดการเปลี่ยนสี ให้ทำการเทียบสีของกระดาษกับตารางเทียบ pH value ที่ให้มากับชุดกระดาษ แสดงได้ดังรูปที่ 5-13 Universal indicator นี้สามารถบอกระดับความเป็นกรดและด่างได้ครอบคลุม pH value ตั้งแต่ 1-14

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการวัดระดับความเป็นกรดและด่างโดยใช้เครื่องวัดค่าพีเอชแบบดิจิตอล (Digital pH meter or digital pH meter) ประกอบด้วยหัววัด หน่วยประมวลผล และหน่วยแสดงผล การวัดค่าพีเอชทำได้โดยการจุ่มหัววัดลงในสารละลายที่ต้องการวัด จากนั้นเครื่องจะทำการวัดและแสดง pH value ในขณะนั้น ซึ่งค่าที่แสดงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามจริงอย่างต่อเนื่อง (Real-time value) เนื่องจากตัวเครื่องวัดที่มีขนาดเล็ก จึงสามารถพกพาไปได้สะดวก สามารถนำไปวัดที่หน้างานได้ เครื่องวัดค่าพีเอชแบบดิจิตอลแสดงได้ดังรูปที่ 5-14



รูปที่ 5-12 Universal indicator

รูปที่ 5-13 การเทียบสีเพื่อหาค่าพีเอช

รูปที่ 5-14 เครื่องวัดค่าพีเอชแบบดิจิตอล

5.2.2 ความกระด้างรวม

ความกระด้างของน้ำ (Water hardness) หมายถึง ปริมาณของเกลือ แคลเซียม และแมกนีเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำ ความกระด้างในน้ำที่มีอยู่ทุกประเภท จะเรียกรวมว่า ความกระด้างรวม (Total hardness) ซึ่งหมายถึง ผลรวมของความกระด้างชั่วคราวและความกระด้างถาวร ซึ่งอยู่ในรูปของหินปูน (Calcium carbonate) ค่าความกระด้างมีหน่วยเป็น mg/l หรือ ppm การแบ่งประเภทของความกระด้างสามารถจัดแบ่งได้ตามไอออนลบ และตามไอออนบวกได้ดังนี้

(ก) ประเภทของความกระด้าง แบ่งตามไอออนลบ

- ความกระด้างชั่วคราว (Temporary hardness) หรือความกระด้างคาร์บอเนต (Carbonate hardness) เกิดจากสารละลายของ Calcium หรือ Magnesium bicarbonate ฉะนั้นในสารละลายที่มีความกระด้างชั่วคราวจะประกอบด้วยไอออนลบของ คาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนตไอออน (HCO^{3-}) ซึ่งพบมากในน้ำ สารละลายประเภทนี้เมื่อถูกความร้อนจะตกตะกอนกลายเป็นหินปูน ดังนั้นเมื่อทำให้สารละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถกำจัดความกระด้างประเภทนี้ได้
- ความกระด้างถาวร (Permanent hardness) หรือความกระด้างที่ไม่ใช่คาร์บอเนต (Non-carbonate hardness) เกิดจากสารละลายพวก Calcium หรือ Magnesium carbonate และประจุลบของ ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ซึ่งความกระด้างประเภทนี้จะไม่สามารถกำจัดได้โดยการทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ในกรณีที่น้ำหรือสารละลายมีปริมาณ Ca^{2+} และ Mg^{2+} น้อย แต่มีปริมาณของโซเดียมไอออน (Na^+) สูงมากเพียงพอ จะทำให้น้ำหรือสารละลายนั้นไม่เป็นฟองกับสบู่ได้ เรียกว่า ความกระด้างเทียม (Pseudo hardness)

(ข) ประเภทของความกระด้าง แบ่งตามไอออนบวก

- Calcium Hardness ประกอบด้วย Ca^{2+}
- Magnesium Hardness ประกอบด้วย Mg^{2+}

สาเหตุที่น้ำมีความกระด้าง เกิดจากน้ำฝน ซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ ทำให้เกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (Carbonic acid, H_2CO_3) ซึ่งเป็นกรดอ่อน และเมื่อซึมลงใต้ดินผ่านชั้นดินซึ่งก็จะทำให้เกิดปริมาณกรดคาร์บอนิกมากยิ่งขึ้น ซึ่งเมื่อน้ำที่ซึมผ่านชั้นสัมผัสกับชั้นหิน โดยเฉพาะหินปูนซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ $CaCO_3$ และ แมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ก็จะเกิดละลายของหินปูน ทำให้ปริมาณ Ca^{2+} และ Mg^{2+} หรือความกระด้างของน้ำเพิ่มขึ้น

โดยส่วนใหญ่ อุตสาหกรรมทุกประเภทต้องการน้ำที่มีความกระด้างต่ำหรือน้ำอ่อน เพื่อไม่ต้องการให้เกิดการตกผลึก หรือตะกรันในเครื่องจักร เนื่องจากจะก่อความเสียหายต่อเครื่องจักรและผลิตภัณฑ์ โดยค่าความกระด้างสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้จะแตกต่างกันในแต่ละกระบวนการอุตสาหกรรม

การวัดความกระด้างรวมของน้ำป้อนหม้อน้ำ ทำได้โดยการใช้เครื่องวัดค่าความกระด้างรวม (Total hardness meter) ซึ่งทำงานโดยใช้หลักการ Spectrophotometer ที่ผลิตแสงที่มีความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร โดยมีตัววัดแสง (Light detector) ทำจากซิลิกอน (Silicon photocell) การใช้งานเพียงนำน้ำป้อนหม้อน้ำที่ต้องการวัดค่าความกระด้างรวมใส่ลงในกระเปาะแก้วสำหรับใส่ตัวอย่างน้ำ จากนั้นนำกระเปาะแก้วใส่เข้าไปใน

ช่องบนเครื่องวัด เครื่องจะทำการวัดและแสดงค่าความกระด้างรวมออกมาเป็นตัวเลขแสดงบนหน้าจอทันที เนื่องจากตัวเครื่องวัดที่มีขนาดเล็ก จึงสามารถพกพาไปได้สะดวก สามารถนำไปวัดที่หน้างานได้ เครื่องวัดค่าความกระด้างรวมแบบดิจิตอลแสดงได้ดังรูปที่ 5-15

รูปที่ 5-15 เครื่องวัดค่าความกระด้างรวมแบบดิจิตอล

5.2.3 ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ

น้ำโดยทั่วไปจะมีของแข็ง (Solid) หลายๆ อย่างละลายผสมอยู่ ปริมาณของของแข็งทั้งหมดที่อยู่ภายในน้ำจะเรียกว่า ของแข็งทั้งหมดในน้ำ (Total solid) เมื่อนำน้ำไปกรองด้วยวัสดุใดก็ตามที่มีขนาดช่องผ่านเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ปริมาณของแข็งที่ไม่สามารถผ่านการกรองไปกับน้ำได้จะเรียกว่า ของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ (Suspended solid) สุดท้ายเมื่อนำน้ำที่ผ่านการกรองด้วยเงื่อนไขที่กล่าวข้างต้นมาระเหยกลายเป็นไอให้หมด ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่จะเรียกว่า ของแข็งที่ละลายในน้ำ (Dissolved solid) ซึ่งอาจใช้คำซึ่งเป็นที่คุ้นเคยกันดีคือ Total dissolved solid (TDS) ก็ได้ เพื่อเป็นการเน้นย้ำว่าเป็นปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำ

ในการเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ จำเป็นต้องเทียบกับปริมาตรของน้ำที่นำมาหาปริมาณของแข็งด้วย ดังนั้นค่าที่ต้องทำการวัดได้จึงเป็นความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total dissolved solid, TDS) ซึ่งมีหน่วยเป็น ส่วนในล้านส่วน (part per million, ppm) ของน้ำ หรือ มิลลิกรัมต่อน้ำหนึ่งลิตร (mg/L) การแปรความหมายของค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำนั้นตรงตัว คือ หากค่ามากหมายถึง น้ำดังกล่าวมีของแข็งหรือมลทินละลายอยู่มาก เป็นน้ำที่มีความสะอาดต่ำนั่นเอง

การหาความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำโดยวิธีการกรองเอาของแข็งที่แขวนลอยในน้ำออกก่อนแล้วนำน้ำไประเหยกลายเป็นไอให้หมด แล้วจึงนำของแข็งที่เหลือมาชั่ง หรือที่เรียกว่า การวัดโดยตรง ในทางปฏิบัติแล้วทำได้ยากมาก โดยปรกติแล้วจะทำการวัดด้วยวิธีทางอ้อม คือ ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ แล้วนำมาเปลี่ยน (Convert) เป็นค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าของน้ำและค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำมีความสัมพันธ์ในแบบเชิงเส้น กล่าวคือ เมื่อน้ำมีปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่มากขึ้น ของแข็งโดยทั่วไปจะสามารถนำไฟฟ้าได้ ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจึงเพิ่มขึ้นตาม การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำต้องอาศัยเครื่องมือวัดที่เรียกว่า เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ

เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity meter) ประกอบด้วยหัววัดที่มีขั้วไฟฟ้าโลหะ 2 ขั้ว แยกกัน โดยมีระยะห่างคงที่ หลักการของเครื่องวัด คือ มีการปล่อยกระแสไฟฟ้าจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่ง

แล้วเครื่องจะทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสอง เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ดีควรมีการชดเชยค่าการนำไฟฟ้าอัตโนมัติโดยสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำด้วย ค่าที่วัดได้ควรอยู่ในช่วง 0-1,990 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (μs/cm) นอกจากนี้การใช้เครื่องมือนี้จำเป็นต้องมีการตั้งค่ามาตรฐานโดยใช้สารละลายมาตรฐานอย่างสม่ำเสมอ เพื่อความถูกต้องของข้อมูลที่วัดได้ ค่าการนำไฟฟ้าจะถูกใช้เป็นค่าตั้งต้นเพื่อปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$TDS\ (ppm) = Conductivity\ (\mu s/cm) \times 0.7$$

การใช้งานเพียงนำหัววัดจุ่มลงในน้ำที่ต้องการวัดค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ เครื่องจะทำการวัดและแสดงค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำออกมาเป็นตัวเลขแสดงบนหน้าจอทันที เนื่องจากตัวเครื่องวัดที่มีขนาดเล็ก ออกแบบให้ใช้มือถือได้ และใช้กับแบตเตอรี่โดยไม่ต้องใช้สายไฟได้ จึงสามารถพกพาไปได้สะดวก สามารถนำไปวัดที่หน้างานได้ เครื่องวัดค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำแบบดิจิตอลแสดงได้ดังรูปที่ 5-16

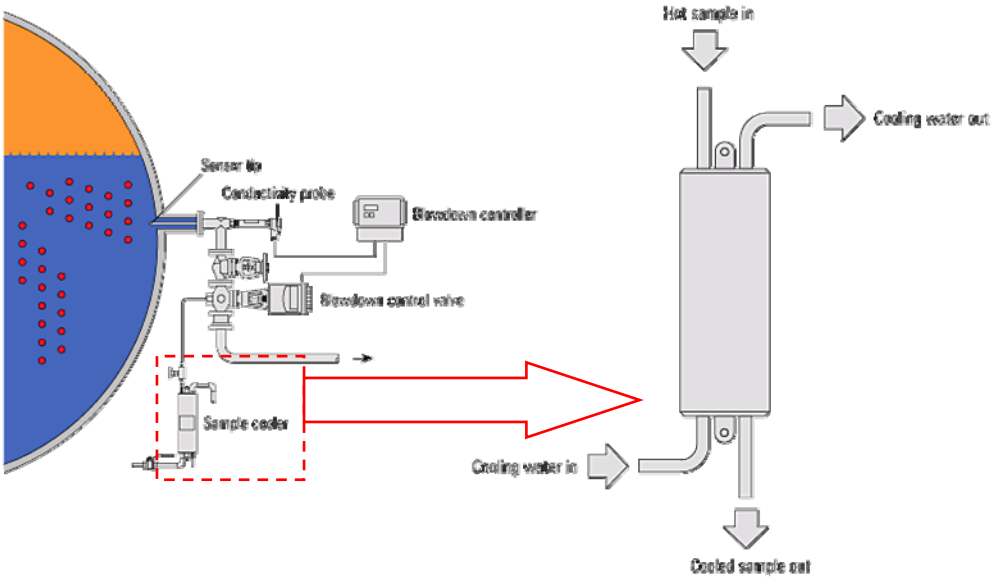
รูปที่ 5-16 เครื่องวัดค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำแบบดิจิตอล

5.2.4 การเก็บน้ำตัวอย่าง

สำหรับการนำน้ำในหม้อน้ำออกมาตรวจสอบคุณภาพนั้น จำเป็นต้องเก็บน้ำตัวอย่างผ่านทางเครื่องทำน้ำเย็นน้ำตัวอย่าง (Water sample cooler) ซึ่งเป็นอุปกรณ์หล่อเย็นน้ำตัวอย่างในหม้อน้ำที่จะเก็บมาวัดคุณภาพน้ำของหม้อน้ำให้มีอุณหภูมิลดต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 5-17

ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับหม้อน้ำส่วนใหญ่จะเก็บตัวอย่างน้ำที่ท่อระบายใต้หลอดแก้วดูระดับน้ำ หรือเก็บตัวอย่างน้ำจากการโบลว์ดาวน์โดยตรง โดยให้เหตุผลว่าหม้อน้ำที่ใช้งานกันอยู่ไม่ใช่หม้อน้ำขนาดใหญ่จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องติดตั้งเครื่องทำเย็นน้ำตัวอย่าง ซึ่งความเข้าใจดังกล่าวเป็นความเข้าใจผิด เนื่องจากวิธีการเก็บน้ำดังกล่าว น้ำในหม้อน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูง เมื่อถูกปล่อยออกมาสู่บรรยากาศ พลังงานในน้ำ

(Enthalpy) จะลดลง ทำให้มีน้ำส่วนหนึ่งระเหยกลายเป็นไอน้ำใหม่ น้ำตัวอย่างที่เก็บมาจะได้ปริมาณลดลง ทำให้ความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างสูงขึ้น



รูปที่ 5-17 อุปกรณ์หล่อเย็นตัวอย่างน้ำและตำแหน่งการติดตั้ง

5.2.5 ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำ

นอกจากข้อกำหนดคุณภาพน้ำตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549 ที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 5-3 และ 5-4 ยังมีข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำ เพื่อให้ผู้ควบคุมหม้อน้ำได้ทำการศึกษา เพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพน้ำและควบคุมให้ค่าต่างๆ ที่แนะนำเพิ่มเติมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลทำให้การใช้งานหม้อน้ำเป็นไปด้วยความถูกต้อง ปลอดภัย และประหยัดพลังงานมากขึ้น ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำสามารถแยกตามประเภทของหม้อน้ำได้ดังนี้

1) หม้อน้ำแบบท่อไฟที่มีความดันใช้งานในช่วง 0.5 – 30 บาร์

ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำนี้ใช้สำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler) โดยที่หม้อน้ำมีอุณหภูมิสูงกว่า 110 °C ตัวเปลือกหม้อน้ำผลิตจาก Low alloyed หรือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่มีการรับความร้อนหรือเผาไหม้ จากเชื้อเพลิงแข็ง น้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติ นอกจากนี้ข้อแนะนำนี้ยังใช้ร่วมกับหม้อน้ำที่มีห้องเผาไหม้ (Furnace) แยกจากส่วนท่อไฟ ซึ่งเป็นหม้อน้ำใช้เชื้อเพลิงไม้ หรือผลิตภัณฑ์เหลือใช้จากการเกษตร เป็นต้น

การปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำ อย่างน้อยต้องมีระบบถังกรองน้ำอ่อนสำหรับน้ำเติมเข้าหม้อน้ำ ในบางกรณีน้ำป้อนหม้อน้ำอาจจะต้องมีคุณภาพสูงกว่าที่กำหนด ในกรณีที่หม้อน้ำที่มีช่องว่างเล็กในบริเวณรอยต่อระหว่างรอยเชื่อมกับท่อไฟใหญ่ หรือผนังหน้าหลัง หรือระหว่างช่องไฟกลับ จำเป็นต้องมีการปรับสภาพน้ำให้มีคุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนด ค่าต่างๆ ในข้อแนะนำนี้เป็นค่ากำหนดต่ำสุดที่จะทำให้เกิดความปลอดภัยสำหรับน้ำป้อนหม้อน้ำ และน้ำในหม้อน้ำ เพื่อป้องกันการเสี่ยงต่อการเกิดการกัดกร่อน การเกิดโคลน และการเกิดตะกอนภายในหม้อน้ำ ค่าที่แนะนำเหล่านี้ใช้สำหรับหม้อน้ำที่ถูกใช้งานต่อเนื่อง ซึ่งในระหว่างการ

เริ่มใช้งานหม้อน้ำอาจต้องมีการปรับค่าต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับในแต่ละช่วงเวลาในการผลิตไอน้ำ คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำป้อนหม้อน้ำและน้ำในหม้อน้ำสำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟ แสดงในตารางที่ 5-5 ถึง 5-7

ตารางที่ 5-5 คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำป้อนหม้อน้ำ สำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟ

รายการ	หน่วย	ความดันใช้งาน (bar)	
		0.5-15	15-30
Total hardness (Ca and Mg)	ppm $CaCO_3$	<3	<1
pH value at 25 °C	-	8.5-9.5	8.5-9.5
Oxygen	mg/L	<0.1	<0.02

ตารางที่ 5-6 คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำในหม้อน้ำ สำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟ กรณีที่น้ำป้อนหม้อน้ำมีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 30 μS/cm

รายการ	หน่วย	ความดันใช้งาน (bar)	
		0.5-15	15-30
Total hardness (Ca and Mg)	ppm $CaCO_3$	<10	<3
pH value at 25 °C	-	10.5-12.0	10.5-11.8
Direct conductivity at 25 °C	μS/cm	<4,000	<2,000
Composite alkalinity (p-value)	ppm $CaCO_3$	100-900	100-600
Phosphate (PO_4)	mg/L	10-30	10-30
Silica (SiO_2)	mg/L	<120	<100

ตารางที่ 5-7 คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำในหม้อน้ำ สำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟ กรณีที่น้ำป้อนหม้อน้ำมีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 μS/cm

รายการ	หน่วย	ความดันใช้งาน (bar)	
		0.5-15	15-30
Total hardness (Ca and Mg)	ppm $CaCO_3$	<3	<1
pH value at 25 °C	-	10.5-11.5	10.5-11.3
Direct conductivity at 25 °C	μS/cm	<2,000	<1,000
Composite alkalinity (p-value)	ppm $CaCO_3$	25-250	10-100
Phosphate (PO_4)	mg/L	10-30	10-20
Silica (SiO_2)	mg/L	<100	<80

ค่าตัวแปรตามที่กำหนดจะต้องถูกตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ความถี่ในการทดสอบต้องเป็นไปตามคู่มือการใช้งานหม้อน้ำ สำหรับหม้อน้ำต้องมีการทดสอบอย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง

2) หม้อน้ำแบบท่อน้ำที่มีความดันใช้งานในช่วง 0.5 – 180 บาร์

ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำนี้ใช้สำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler) โดยที่หม้อน้ำมีอุณหภูมิสูงกว่า 110 °C รวมถึงทั้งระบบที่ใช้การหมุนเวียนน้ำโดยธรรมชาติ (Natural circulation) และระบบที่มีอุปกรณ์ช่วยในการหมุนเวียนน้ำในระบบ ตัวเปลือกหม้อน้ำผลิตจาก Low alloyed หรือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่มีการรับความร้อนหรือเผาไหม้ จากเชื้อเพลิงแข็ง น้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับหม้อน้ำ อย่างน้อยต้องมีระบบถังกรองน้ำอ่อนสำหรับน้ำป้อนหม้อน้ำ หรือน้ำเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดโคลน หรือตะกรัน สำหรับหม้อน้ำที่ใช้งานที่ความดันสูงกว่า 40 บาร์ หรือระบบที่มีการใช้ Superheater น้ำป้อนหม้อน้ำอาจจะต้องมีคุณภาพสูงกว่าที่กำหนด โดยปรกติแล้วหม้อน้ำแบบท่อน้ำจะไม่มีช่องว่างของรอยต่อในระหว่างท่อน้ำกับท่อร่วม (Header) ที่ได้รับความร้อน หรือถ้ามีรอยต่อเหล่านี้ ก็จะไม่ได้รับความร้อน ในกรณีที่หม้อน้ำมีช่องว่างในบริเวณรอยต่อและได้รับความร้อน พร้อมทั้งค่าการนำไฟฟ้า ที่ 25 °C ของน้ำป้อนหม้อน้ำมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 μS/cm ต้องเติม Tri-sodium phosphate เข้าในระบบเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิด Caustic stress corrosion cracking ที่จุดเชื่อมต่อเหล่านั้น ดังรูปที่ 5-18 ค่าต่างๆ ในข้อแนะนำนี้เป็นค่ากำหนดต่ำสุดสำหรับน้ำป้อนหม้อน้ำและน้ำในหม้อน้ำ ที่จะทำให้เกิดความปลอดภัย เพื่อป้องกันการเสี่ยงต่อการเกิดการกัดกร่อน การเกิดโคลน และการเกิดตะกอนภายในหม้อน้ำ ค่าที่แนะนำเหล่านี้ใช้สำหรับหม้อน้ำที่ถูกใช้งานต่อเนื่อง ซึ่งในระหว่างการเริ่มใช้งานหม้อน้ำอาจต้องมีการปรับค่าต่างๆ ให้เหมาะสมกับในแต่ละช่วงเวลาในการผลิตไอน้ำ คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำป้อนหม้อน้ำและน้ำในหม้อน้ำสำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำ แสดงในตารางที่ 5-8 ถึง 5-10 และคุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำป้อนหม้อน้ำและน้ำในหม้อน้ำสำหรับหม้อน้ำแบบ Once through แสดงในตารางที่ 5-11

ค่าตัวแปรตามที่กำหนดจะต้องถูกตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ความถี่ในการทดสอบต้องเป็นไปตามคู่มือการใช้งานหม้อน้ำ สำหรับน้ำป้อนหม้อน้ำต้องมีการทดสอบอย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง

ตารางที่ 5-8 คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำป้อนหม้อน้ำ สำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำ

รายการ	หน่วย	ความดันใช้งาน (bar)		
		<40	40-100	>100
Total hardness (Ca and Mg)	ppm $CaCO_3$	<1	<0.5	0
pH value at 25 °C	-	>9.0	>9.2	>9.2
Direct conductivity at 25 °C	μS/cm	-	<30	-
Acid conductivity at 25 °C	μS/cm	-	-	<0.2
Total sodium and Potassium (N and K)	mg/L	-	-	<0.01
Silica (SiO_2)	mg/L	-	-	<0.02
Oxygen	mg/L	<0.02	<0.02	<0.1

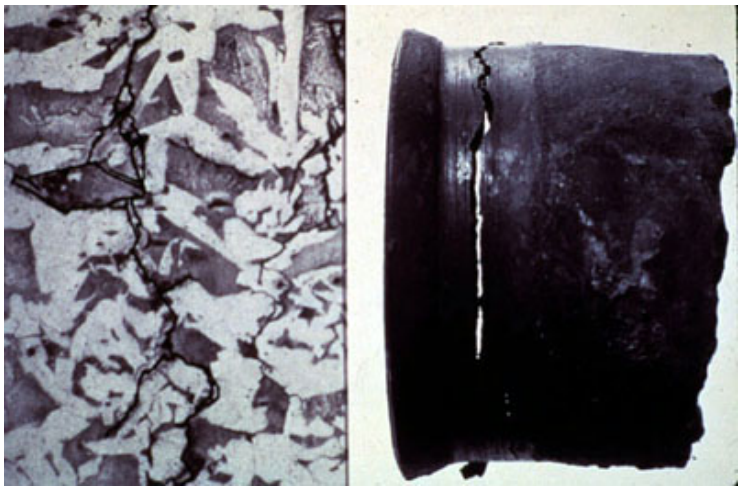
ตารางที่ 5-9 คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำในหม้อน้ำ สำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำ กรณีไม่มีระบบถังกรองแบบแลกเปลี่ยนไอออน (Deionizer or demineralizer)

รายการ	หน่วย	ความดันใช้งาน (bar)			
		<40	40-60	60-80	80-100
Total hardness (Ca and Mg)	ppm $CaCO_3$	<5	<3	<1	<0.5
pH value at 25 °C	-	10.8-11.8	10.8-11.5	10.0-11.0	9.8-10.5
Direct conductivity at 25 °C	μS/cm	<3,000	<1,500	<500	<250
Composite alkalinity (p-value)	ppm $CaCO_3$	50-500	50-250	10-50	5-15
Phosphate (PO_4)	mg/L	<15	<15	<10	<6
Silica (SiO_2)	mg/L	<40	<15	<4	<2

ตารางที่ 5-10 คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำในหม้อน้ำ สำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำ กรณีที่น้ำป้อนหม้อน้ำมีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 μS/cm

รายการ	หน่วย	ความดันใช้งาน (bar)				
		<60	60-100	>100	<100	>100
		With solid alkalizing agent			With AVT	
Direct conductivity at 25 °C	μS/cm	<200	<100	<30	-	-
Acid conductivity at 25 °C	μS/cm	-	<50	<40	<5	<5
pH value at 25 °C	-	10.0-11.0	9.8-10.5	9.3-9.7	>8.3	>8.5
Composite alkalinity (p-value)	ppm $CaCO_3$	5-50	5-15	-	-	-
Phosphate (PO_4)	mg/L	<10	<6	<3		

หมายเหตุ: AVT คือ All volatile treatment



รูปที่ 5-18 Caustic stress corrosion cracking บริเวณท่อน้ำ

ตารางที่ 5-11 คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำป้อนหม้อน้ำและน้ำในหม้อน้ำ สำหรับหม้อน้ำแบบ Once through

รายการ	หน่วย	น้ำป้อนหม้อน้ำ	น้ำในหม้อน้ำ
pH value at 25 °C	-	6.6-9.0	11.0-11.8
Direct conductivity at 25 °C	μS/cm	<400	<4,000
Composite alkalinity (p-value)	ppm $CaCO_3$	-	<800
Composite alkalinity (m-value)	ppm $CaCO_3$	<80	<1,000
Chloride (Cl^-)	mg/L	<40	<400
Total solid	ppm $CaCO_3$	<400	<4,000
Total hardness (Ca and Mg)	ppm $CaCO_3$	0	<3
Calcium hardness	ppm $CaCO_3$	0	<3
Iron (Fe)	mg/L	<0.3	<1.0
Silica (SiO_2)	mg/L	<40	<400

3) หม้อน้ำแบบตั้ง หรือหม้อน้ำขนาดเล็กที่มีความดันใช้งานในช่วง 0.5 – 10 บาร์ และอัตราการผลิตไอน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ตันต่อชั่วโมง

ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำนี้ ใช้สำหรับหม้อน้ำที่ผลิตจาก Low alloyed หรือเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ในการรับความร้อนหรือเผาไหม้ จากเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ไม้ ใยไม้ ถ่านไม้ เปลือกถั่ว ซังข้าวโพด หรืออื่นๆ ที่ใกล้เคียง โดยมีการป้อนเชื้อเพลิงด้วยมือ (Manual) หม้อน้ำจะต้องมีการออกแบบให้มีความสามารถในการผลิตไอน้ำต่อหน่วยพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (Specific steam product) น้อยกว่า 25 Kg/m^2-hr และต้องมีอุปกรณ์หรือจุดสำหรับการโบลว์ดาวน์หม้อน้ำอย่างเพียงพอ ส่วนระบายน้ำของหม้อน้ำนี้จะต้องสะดวกสำหรับการขจัดโคลน และตะกรันออกจากหม้อน้ำ แต่สำหรับหม้อน้ำที่มีการออกแบบให้มีความสามารถในการผลิตไอน้ำต่อหน่วยพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน มากกว่าหรือเท่ากับ 25 Kg/m^2-hr หรือออกแบบความดันใช้งานไว้มากกว่า 10 บาร์ หรือ อัตราการผลิตไอมากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ตันต่อชั่วโมง หรือหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันทุกชนิด หรือ สารไฮโดรคาร์บอน หรือ ก๊าซ ให้ใช้ข้อแนะนำตามข้อแนะนำของหม้อน้ำแบบท่อไฟหรือแบบท่อน้ำ ดังที่กล่าวมาแล้วในข้อที่ 1) และ 2) ข้างต้น

การปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับหม้อน้ำ โดยทั่วไปแล้วน้ำป้อนหม้อน้ำจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อป้องกันโคลน หรือตะกรันเข้าไปเกิดในหม้อน้ำ ถ้าในกรณีที่น้ำป้อนหม้อน้ำไม่มีการบำบัดด้วยระบบถังกรองน้ำอ่อน อย่างน้อยน้ำป้อนหม้อน้ำต้องผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพด้วยเคมี หรือที่เรียกว่า ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบในหม้อน้ำ (Internal boiler water treatment, IBWT) ซึ่งต้องมีการเติมสารเคมีที่เหมาะสมและเพียงพอ นอกจากนี้ต้องมีการโบลว์ดาวน์ หรือเปลี่ยนน้ำในหลอดแก้วแสดงระดับน้ำ (Sight glass) อย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง ข้อแนะนำนี้สามารถใช้ได้กับหม้อน้ำที่มีระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบในหม้อน้ำทั้งที่มีการใช้งานร่วมกับระบบถังกรองน้ำอ่อน หรือไม่มีการใช้งานร่วมกันก็ได้ คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำป้อนหม้อน้ำและน้ำในหม้อน้ำสำหรับหม้อน้ำแบบตั้ง หรือหม้อน้ำขนาดเล็ก แสดงในตารางที่ 5-12 ถึง 5-13 ส่วนค่าตัวแปรตามที่กำหนดจะต้องถูกตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ความถี่ในการทดสอบต้องเป็นไปตามคู่มือการใช้งานหม้อน้ำ สำหรับน้ำป้อนหม้อน้ำต้องมีการทดสอบอย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง

ตารางที่ 5-12 คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำป้อนหม้อน้ำ สำหรับหม้อน้ำแบบตั้ง หรือหม้อน้ำขนาดเล็ก

รายการ	หน่วย	มีระบบถังกรองน้ำอ่อน	มีการใช้ IBWT
Total hardness (Ca and Mg)	ppm $CaCO_3$	<10	<150
pH value at 25 °C	-	8.5-9.5	7.0-9.5
Composite alkalinity (p-value)	ppm $CaCO_3$	2.5-25	0-25
Oxygen	mg/L	<0.5	<2

ตารางที่ 5-13 คุณสมบัติแนะนำเพิ่มเติมของน้ำในหม้อน้ำ สำหรับหม้อน้ำแบบตั้ง หรือหม้อน้ำขนาดเล็ก

รายการ	หน่วย	มีระบบถังกรองน้ำอ่อน	มีการใช้ IBWT
Total hardness (Ca and Mg)	ppm $CaCO_3$	<10	<50
pH value at 25 °C	-	11.0-12.3	11.0-12.0
Direct conductivity at 25 °C	μS/cm	<5,000	<3,000
Composite alkalinity (p-value)	ppm $CaCO_3$	100-1,000	100-500
Phosphate (PO_4)	mg/L	10-20	10-40
Suspended solid	ppm	-	<50

5.3 ปัญหาและการควบคุมปัญหาที่เกิดจากน้ำ

ปัญหาที่เกิดจากน้ำ และการควบคุมปัญหาที่เกิดจากน้ำที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำและระบบไอน้ำ สามารถจำแนกได้ดังนี้

5.3.1 ปัญหาเรื่องการกัดกร่อนของน้ำ

น้ำที่มีคุณภาพไม่เหมาะสมสามารถกัดกร่อนโลหะนานาชนิดที่เป็นอุปกรณ์ของระบบไอน้ำและท่อน้ำ ทำให้เกิดความเสียหายหรือทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดังกล่าวลดต่ำลงและในบางครั้งอาจทำให้ต้องสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์อีกด้วย สาเหตุของการกัดกร่อนโลหะเนื่องจากเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติโดยเป็นขบวนการที่ทำให้โลหะกลับคืนสู่สภาวะเดิมของมัน เช่น เหล็กเกิดการผุกร่อนเป็นสนิมเหล็กออกไซด์ซึ่งเป็นแร่เหล็กเป็นต้นการกัดกร่อนโลหะจึงสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายและพร้อมที่จะเกิดทุกขณะเท่าที่โอกาสอำนวย ลักษณะของการกัดกร่อนโลหะอาจสรุปได้ดังนี้ และดังในตารางที่ 5-14

- การกัดกร่อนแบบกัลวานิค เกิดขึ้นเมื่อโลหะ 2 ชนิดสัมผัสกันวางแช่ในน้ำ ลักษณะเช่นนี้โลหะที่มีตระกูลต่ำกว่าจะเป็นขั้วบวก ส่วนโลหะที่มีตระกูลสูงกว่าจะเป็นขั้วลบทำให้มีเซลไฟฟ้าครบวงจร โลหะที่เป็นขั้วบวกจะแตกตัวเป็นไอออนทำให้เกิดการผุกร่อน
- การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting corrosion) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดกับอุปกรณ์ที่สัมผัสกับน้ำ สาเหตุเพราะมีขั้วบวกอย่างแรงเกิดขึ้นเป็นเฉพาะจุดเป็นผลให้เกิดเป็นหลุมเล็กหลุมน้อยอยู่กระจัดกระจายทั่วผิวโลหะ
- การกัดกร่อนเนื่องจากความเค้น (Stress corrosion) การกัดกร่อนแบบนี้เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากโลหะได้รับแรงกดดันจากภายนอก

- การกัดกร่อนเนื่องจากการขัดสี (Impingement corrosion) เป็นการกัดกร่อนทีละน้อยของโลหะที่เกิดการขัดสีของของแข็งกับผิวโลหะ
- การกัดกร่อนโดยน้ำควบแน่น (Condensate grooving) เกิดขึ้นเฉพาะกับท่อขนส่งคอนเดนเสทของระบบหม้อน้ำ ต้นเหตุที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนคือคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ
- การแตกร้าวเนื่องจากไฮดรอกไซด์ (Caustic embitterment) เป็นลักษณะการกัดกร่อนอีกแบบหนึ่งของหม้อน้ำ โดยเฉพาะอาการแตกร้าวนี้เกิดขึ้นในช่องว่างระหว่างเนื้อโลหะ แต่มักไม่เกิดขึ้นบ่อยทั้งนี้เนื่องจากจะเกิดได้ต้องมีปัจจัย 2 ประการ คือ โลหะต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่มีแรงดึงสูง และสัมผัสกับน้ำที่มีไฮดรอกไซด์สูงมาก

ตารางที่ 5-14 สาเหตุและกลไกของการกัดกร่อนโลหะ

สาเหตุการกัดกร่อน	กลไกการกัดกร่อน
น้ำมีพีเอชต่ำหรือเป็นกรด	การกัดกร่อนที่เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนหนีออกจากน้ำหรือความต่างศักย์ของขั้วบวกและไฮโดรเจนสูงกว่า Hydrogen overvoltage ขั้วบวก $X^0 \rightarrow X^{+a} + ae^-$ ขั้วลบ $2H^+ + 2^{e-} \rightarrow H_2$
เมื่อน้ำมีออกซิเจนละลายอยู่ (และพีเอชสูงกว่า 7)	เกิดเซลล์ไฟฟ้าแบบกัดกร่อน
โลหะต่างชนิดต่อกันเป็นวงจรเซลล์ไฟฟ้า	เกิดเซลล์ไฟฟ้าแบบกัดกร่อน
โลหะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (เนื้อโลหะไม่สม่ำเสมอ)	ทำให้ศักย์ไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากัน ทุกจุดจึงเกิดขั้วบวกและขั้วลบ และทำให้เกิดเซลล์ไฟฟ้า
ผิวโลหะสัมผัสกับสารละลายที่มีออกซิเจนละลายอยู่ เช่น โลหะสองชิ้นที่ยึดติดกันด้วยหมุดบริเวณผิวสัมผัสจะมีออกซิเจนละลายอยู่ต่ำกว่าบริเวณอื่นเป็นต้น	โลหะบริเวณที่สัมผัสกับออกซิเจนที่ละลายอยู่ปริมาณมากจะเป็นขั้วลบ และบริเวณที่ออกซิเจนละลายอยู่ต่ำจะเป็นขั้วบวกที่สึกกร่อน
ผิวโลหะสัมผัสกับสารละลายที่มีไอออนเข้มข้นไม่สม่ำเสมอกัน	โลหะบริเวณที่สัมผัสกับออกซิเจนที่ละลายอยู่ปริมาณมากจะเป็นขั้วลบ และบริเวณที่ออกซิเจนละลายอยู่ต่ำจะเป็นขั้วบวกที่สึกกร่อน
ผิวโลหะที่มีรอยร้าวหรือชำรุดเฉพาะแห่ง	รอยร้าวหรือชำรุดมักเป็นจุดที่การป้องกันเข้าไปไม่ถึง หรือมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า บริเวณส่วนใหญ่จึงมักผุกร่อน
โลหะได้รับความเค้น เช่น ถูกทำให้ยืด เป็นต้น	บริเวณที่ได้รับแรงกดดันสูงกว่า จะเป็นขั้วบวกที่เกิดการผุกร่อน

ประเภทของการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับตัวหม้อน้ำและอุปกรณ์ต่างๆ สามารถแยกออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1) การกัดกร่อนทั่วไป

การกัดกร่อนทั่วไป (General corrosion) เกิดจากการทำปฏิกิริยาของกลุ่ม OH^- ซึ่งเกิดจากการแยกตัวของน้ำโดย Electrolytic dissociation และไอออนของเหล็ก Fe^{2+} ซึ่งแยกตัวจากเหล็กมาละลายอยู่ในน้ำ ได้ตะกอนของ $Fe(OH)_2$ ขึ้นมา ถ้า pH ของน้ำมีค่าสูง $Fe(OH)_2$ จะละลายน้ำ นอกจากนี้ถ้าในน้ำมีออกซิเจนปนอยู่ก็จะกลายเป็น $Fe(OH)_3$ ในกรณีที่น้ำมีอุณหภูมิสูง $Fe(OH)_2$ จะสลายตัวกลายเป็น Fe_2O_4 เหล็กเหนียวก็อาจถูกกัดกร่อนโดยไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกลายเป็น Fe_2O_4 ได้ ในกรณีที่มีกรดคาร์บอนิคอิสระอยู่จะเกิด $Fe(HCO)_3$ ได้ ในกรณีที่ pH ของน้ำมีค่าต่ำ หรือมีออกซิเจนละลายปนอยู่มาก การกัดกร่อนจะดำเนินต่อไปอย่างรวดเร็ว

2) การกัดกร่อนเป็นหลุมหรือจุด

การกัดกร่อนเป็นหลุมหรือจุด (Pitting corrosion) เป็นการกัดกร่อนโดยเกิดสนิมเป็นจุดๆ ตามผิวที่สัมผัสกับน้ำในหม้อน้ำ การกัดกร่อนมีลักษณะเป็นหลุมหรือจุดลึกๆ คล้ายกับรูที่เจาะด้วยเข็ม ลักษณะการเกิดเป็นแบบ Local galvanic action โดยมีเหล็กเหนียวเป็นขั้วบวก รวมกับ OH^- ในน้ำ เกิดเป็นตะกอน $Fe(OH)_2$ ขึ้น นอกจากนี้ที่ด้านในและด้านนอกของชั้นตะกอนของสารที่เกิดจากการกัดกร่อน จะเกิดผลต่างของความเข้มข้นของออกซิเจนขึ้น ทำให้เกิด Local galvanic action โดยออกซิเจนขึ้น ซึ่งมีผลให้เกิดการกัดกร่อนเป็นจุดลึกลงไปเรื่อยๆ การป้องกันการเกิดการกัดกร่อนเป็นหลุมสามารถทำได้ดังนี้

- อย่าให้มี Dissolved oxygen ละลายอยู่ในน้ำป้อนหม้อน้ำเกิน 7 ppb
- น้ำในธรรมชาติที่สัมผัสกับอากาศ จะมี Dissolved oxygen สูงมาก จนปลาสามารถที่จะมีชีวิตอยู่ได้ ดังนั้น น้ำในธรรมชาติจะทำให้หม้อน้ำเกิดการกัดกร่อนเป็นหลุม
- ใช้ถังไล่อากาศที่ใช้ความร้อนของไอน้ำ ไล่ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ถ้าระบบการใช้ไอน้ำมี Condensate water return กลับไปป้อนที่หม้อน้ำต่ำกว่า 75%
- ถังไล่อากาศควรทำงานด้วยไอน้ำความดันไม่น้อยกว่า 35 kPa ซึ่งถังไล่อากาศที่มีคุณภาพดี จะสามารถลดปริมาณ Dissolved oxygen ลงได้เหลือเพียง 7 ppb
- ควรมีการตรวจวัดปริมาณ Dissolved oxygen ในน้ำป้อนหม้อน้ำอยู่เสมอ แม้ว่าจะจะมีการใช้ Deaerator แล้วก็ตาม เพราะการกัดกร่อนเป็นหลุมจะเป็นการกัดกร่อนที่รวดเร็วและรุนแรง
- เติมสารไฮดราซีนเข้าไปกำจัด Dissolved oxygen ในน้ำในหม้อน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดทำให้เกิดการกัดกร่อนเป็นหลุม สารไฮดราซีนเป็นสารอันตราย ต้องใช้งานอย่างระมัดระวังอย่าให้สัมผัสผิวหนัง เช่นเดียวกับน้ำมันเบนซิน
- จะต้องคอยนำน้ำในหม้อน้ำมาตรวจสอบว่ามีสารไฮดราซีนเหลืออยู่หรือไม่ ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อเติมสารไฮดราซีนเข้าไปในหม้อน้ำแล้ว เมื่อเก็บน้ำในหม้อน้ำมาตรวจสอบ ถ้าพบสารไฮดราซีนเหลืออยู่ในน้ำในหม้อน้ำ 2-3 ppm จากการคาดการณ์ว่า Dissolved oxygen จะหมดไปจากน้ำในหม้อน้ำ

- ไม่ควรใช้โซเดียมซัลไฟต์ในการกำจัด Dissolved oxygen ในน้ำในหม้อน้ำ เพราะจะเกิดตะกอนของโซเดียมซัลเฟตเป็นโคลนตมทำให้เกิดอันตรายตามมาได้

3) การกัดกร่อนเนื่องจากด่าง

โดยปรกติทั่วๆ ไปจะมีการเข้าใจกันว่า ถ้าน้ำในหม้อน้ำมีค่าเป็นกรด (pH value น้อยกว่า 7) เหล็กโครงสร้างหม้อน้ำจึงจะถูกกัดกร่อนด้วยกรด ซึ่งความจริงไม่ใช่ เหล็กโครงสร้างหม้อน้ำสามารถถูกกัดกร่อนด้วยด่างได้ และความเป็นด่างยังทำให้เหล็กโครงสร้างหม้อน้ำเปราะ (Caustic embrittlement or caustic stress corrosion cracking) ได้ด้วย ตัวอย่างเช่น เหล็กที่อุณหภูมิ 310 ^{0}C จะมีการการกัดกร่อนน้อยที่สุด เมื่อน้ำมี pH value อยู่ระหว่าง 8.5-12.7 ซึ่งแสดงว่า แม้แต่น้ำในหม้อน้ำที่เป็นกลาง (pH = 7) เหล็กโครงสร้างหม้อน้ำก็ยังมีการกัดกร่อน ดังนั้น น้ำในหม้อน้ำควรจะรักษา pH ให้อยู่ในระหว่าง 8.5-12.7 ที่อุณหภูมิ 310 ^{0}C แต่หม้อน้ำแต่ละเครื่องจะมีอุณหภูมิของเหล็กโครงสร้างหม้อน้ำไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดของหม้อน้ำและความดันที่อยู่ในหม้อน้ำ การควบคุมความเป็นกรดและด่างของน้ำสามารถทำได้ดังนี้

- สำหรับหม้อน้ำทั่วไปแบบท่อไฟ ซึ่งผลิตไอน้ำความดันต่ำกว่า 2 MPa ซึ่งมีอุณหภูมิออกแบบของเหล็กโครงสร้างอยู่ที่ประมาณ 370 ^{0}C ค่า pH ของน้ำในหม้อน้ำควรอยู่ระหว่าง 9-11 เพื่อให้การกัดกร่อนจากความเป็นกรดด่างของน้ำต่ำที่สุด
- ไม่ควรควบคุมค่า pH ของน้ำในหม้อน้ำให้มีค่าสูงสุดจนถึง 12 เนื่องจากเมื่อน้ำในหม้อน้ำระเหยไปเรื่อยๆ สารละลายที่สะสมเพิ่มขึ้นในน้ำในหม้อน้ำ จะมีแนวโน้มทำให้น้ำในหม้อน้ำมีความเป็นด่างมากขึ้น จะทำให้บางเวลา น้ำในหม้อน้ำจะมีค่า pH สูงกว่า 12.7 ได้ง่าย จะเกิดปัญหาการกัดกร่อนโดยด่างและเหล็กหม้อน้ำเปราะแตก (Caustic stress corrosion cracking)
- สำหรับหม้อน้ำแบบท่อ โดยเฉพาะหม้อน้ำที่ผลิตไอน้ำที่ความดันสูงมากกว่า 2 MPa ควรจะควบคุม pH ของน้ำไว้ให้แคบกว่านั้น เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากความเป็นกรดด่างให้มากที่สุด ซึ่งควรจะมีค่า pH ของน้ำอยู่ระหว่าง 10.5-11.0
- ถ้าน้ำในหม้อน้ำเป็นด่างมี pH เกิน 11 เล็กน้อย การระบายน้ำในหม้อน้ำออกบ้างอาจจะทำให้น้ำในหม้อน้ำเป็นด่างลดลงได้บ้าง เนื่องจากสารละลายด่างที่เข้มข้นได้ถูกระบายออกทิ้งไป
- ถ้าน้ำในหม้อน้ำเป็นด่างมากมี pH เกิน 11 เสมอๆ การถ่ายน้ำในหม้อน้ำทิ้งหลังวันหยุดประจำสัปดาห์ จะทำให้สามารถควบคุมค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของน้ำในหม้อน้ำ ในวันแรกๆ ของการเดินเครื่องได้ และทำการลดการเติมสารเคมีจะควบคุมค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของน้ำในหม้อน้ำด้วย
- ไม่ควรเติมสารเคมีที่จะควบคุมค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของน้ำในหม้อน้ำที่จะทำให้เกิดการเพิ่มของสารละลายรวม หรือเกิดปัญหาโคลนตะกอนขึ้น
- ภายหลังจากมีการเปลี่ยนวิธีการปรับสภาพน้ำ ชนิดหรือปริมาณของสารเคมีที่เติมหม้อน้ำ ควรมีการเปิดตรวจสอบภายในทางด้านน้ำของหม้อน้ำทุกๆ เดือน ใน 6 เดือนแรกของการเปลี่ยนแปลงนั้น เพื่อติดตามผลที่อาจจะเกิดขึ้น

4) การแข็งเปราะเนื่องจากโซดาไฟ

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะทวีความเข้มข้นในบริเวณช่องว่างเล็กๆ ที่ผิวส่งผ่านความร้อนของหม้อน้ำ และรวมตัวกับเหล็กออกไซด์ที่มีปะปนอยู่เกิดเป็นรอยร้าวตามแนวผิวเม็ดผลึก (Intercrystalline) ของเหล็กเหนียว ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การแข็งเปราะเนื่องจากโซดาไฟ (Caustic embitterment) ส่วนใหญ่มักเกิดบริเวณที่มีความเค้น (Stress) รวมกันอยู่มากบนแผ่นเหล็กเหนียว ถ้า pH ของน้ำป้อนมีค่าต่ำ หรือมีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำมาก จะเกิดปัญหาการกัดกร่อนทั่วไป

สำหรับหม้อน้ำ นอกจากการกัดกร่อนทั่วไปแล้วยังมีปัญหาการกัดกร่อนเป็นจุด การกัดกร่อนเนื่องจากด่าง และการแข็งเปราะเนื่องจากโซดาไฟอีกด้วย

เครื่องผลิตไอยิ่งยวด (Superheater) จะเกิดการกัดกร่อนโดยไอน้ำอุณหภูมิสูง หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งถูกพามาเนื่องจากการเกิดแคร์รี่โอเวอร์

ในระบบน้ำควบแน่นหรือระบบคอนเดนเสท pH ของน้ำจะลดต่ำลงและเกิดปัญหาการกัดกร่อนทั่วไป นอกจากนี้ ในกรณี pH สูงเนื่องจากการเติมสารเคมีในหม้อน้ำ เช่น แอมโมเนีย ไฮดราซีน เป็นต้น ก็จะเกิดปัญหาการกัดกร่อนของโลหะผสมทองแดงได้

สำหรับการแก้ไขและการป้องกันนั้น จำเป็นต้องทำการปรุงแต่งคุณภาพน้ำอย่างเหมาะสมทั้งภายนอกและภายในหม้อน้ำ โดยพยายามลดของแข็งแขวนลอยและก๊าซที่ปนอยู่ในน้ำป้อนและน้ำในหม้อน้ำให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังต้องรักษาค่า pH ของน้ำให้เหมาะสมอีกด้วย นอกจากนี้การควบคุมและป้องกันการกัดกร่อนโลหะยังสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

- การทำลายสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมซึ่งจำเป็นต่อการสร้างปฏิกิริยาการกัดกร่อน เช่น กำจัดออกซิเจนออกจากน้ำ และกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำ เป็นต้น
- การสร้างฟิล์มป้องกันผิวโลหะที่สึกกร่อนโดยการเติมสารยับยั้งสนิมบางชนิด

สำหรับการป้องกันการแข็งเปราะเนื่องจากโซดาไฟ หากใช้โซเดียมคาร์บอเนตในการปรับค่า pH ก็จะเกิดโซเดียมไฮดรอกไซด์ขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องใช้สารเคมีที่ไม่ทำให้เกิดโซเดียมคาร์บอเนตอิสระขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโซเดียมฟอสเฟต หรือโซเดียมไนเตรท เป็นต้น นอกจากนี้ควรใช้สารป้องกันการแข็งเปราะเนื่องจากโซดาไฟอีกด้วย

5.3.2 ปัญหาเรื่องตะกรันในหม้อน้ำ

ปัญหาที่เกิดขึ้นเสมอและมักหลีกเลี่ยงได้ยากอีกประการหนึ่งที่เกิดกับระบบหม้อน้ำได้แก่เรื่องตะกรันที่เกิดจากน้ำ ตะกรันที่เกิดขึ้นจะเป็นฉนวนขวางกั้นการถ่ายเทความร้อน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือตะกรันสนิม หมายถึงตะกรันที่เป็นโลหะออกไซด์ และตะกรันหินปูน ซึ่งเกิดขึ้นจากการตกผลึกของแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ตะกรันหินปูนมักเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ สารประกอบดังกล่าวมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยที่สุด ดังนั้นจึงตกผลึกได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูง นอกจากนี้ตะกรันหินปูนยังอาจเป็นสารประกอบอื่น เช่น แคลเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมคาร์บอเนต หรือสารประกอบของเหล็ก แมงกานีส และซิลิกา เป็นต้น ซึ่งน้ำในหม้อน้ำจะมีซิลิกา (Silica) ปนอยู่ 2 ประเภท คือ ซิลิกาที่ละลายอยู่ในรูปไอออน และซิลิกาที่แขวนลอยอยู่ เช่น เกลือซิลิเกต เป็นต้น ซิลิกาเหล่านี้

จะกลายเป็นตะกรันที่แข็งมาก ตะกรันที่พบในระบบหม้อน้ำและระบบน้ำแสดงดังตารางที่ 5-15 นอกจากนี้ สิ่งสกปรกในน้ำที่จับเกาะตามถังหรือภายในท่อน้ำเป็นชั้นๆ และแข็ง จะเรียกว่า ตะกรัน (Scale) สำหรับส่วนที่ตกตะกอนอยู่ตอนล่างของถังมีลักษณะเป็นโคลนตม จะเรียกว่า สลัดจ์ (Sludge) ตะกรันแข็งประกอบด้วย แคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมซิลิเกต เป็นส่วนใหญ่ ส่วนสลัดจ์ ประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมฟอสเฟส เป็นต้น ถ้าสลัดจ์ถูกปล่อยทิ้งไว้ที่ก้นของถังเป็นเวลานานจนแข็งตัวขึ้น จะมีผลให้ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ (Blow down valve) อุดตัน หรือถังบางส่วนร้อนจัดเกินไปก็เป็นได้ ตะกรันและโคลนก่อให้เกิดปัญหาดังต่อไปนี้กับหม้อน้ำและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

- โคลนเกิดจากน้ำขุ่นสกปรก หรือเคมีที่ละลายอยู่ในน้ำ แปลงสภาพเป็นโคลน ที่มักจะตกตะกอนอยู่ก้นหม้อ บนท่อไฟ หรืออุดตันอุปกรณ์ของหม้อน้ำ
- ตะกรันเป็นฉนวนความร้อนทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน
- ตะกรันทำให้ผิวเหล็กโครงสร้างหม้อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าตะกรันหนาขึ้นจะทำให้ผิวเหล็กโครงสร้างหม้อน้ำมีอุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิที่ออกแบบไว้ ซึ่งเมื่อเหล็กมีอุณหภูมิสูงขึ้น Maximum allowable stress จะลดลง หม้อน้ำก็จะทนรับความดันไม่ได้ และทำให้หม้อน้ำระเบิดได้
- ตะกรันและโคลนสามารถไปอุดท่ออุปกรณ์ความปลอดภัยต่างๆ เช่น อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ ทำให้อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำไม่ทำงาน เมื่อระดับน้ำในหม้อน้ำลดลง เหล็กหม้อน้ำก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เพราะไม่มีน้ำที่สัมผัสเหล็กอีกด้านเพื่อถ่ายเทความร้อนออกไป Maximum allowable stress ของเหล็กโครงสร้างหม้อน้ำจะลดลง หม้อน้ำก็จะทนรับความดันไม่ได้
- ตะกรันและโคลนทำให้เหล็กโครงสร้างหม้อน้ำเกิดการ Over heat แตกร้าวเสียหาย หรือทำให้หม้อน้ำระเบิดได้

ตารางที่ 5-15 ตะกรันที่พบในระบบหม้อน้ำและระบบน้ำ

ชื่อวิทยาศาสตร์	สูตร	ชื่อสามัญ	ผลกระทบ
แคลเซียมคาร์บอเนต	$CaCO_3$	ชอล์ก หินปูน	ตะกรันอ่อน
แคลเซียมไบคาร์บอเนต	$Ca(HCO_3)_2$	-	ตะกรันอ่อน
แคลเซียมซัลเฟต	$CaSO_4$	ยิบซัม ปูนพลาสเตอร์	ตะกรันแข็ง
แมกนีเซียมคาร์บอเนต	$MgCO_3$	แมกนีไซด์	ตะกรันอ่อน
แมกนีเซียมซัลเฟต	$MgSO_4$	Epsom salt	การกัดกร่อน
ซิลิคอน ไดออกไซด์	SiO_2	ซิลิกา	ตะกรันแข็ง
แคลเซียมคลอไรด์	$CaCl_2$	-	การกัดกร่อน
แมกนีเซียมไบคาร์บอเนต	$Mg(HCO_3)_2$	-	ตะกรันอ่อน การกัดกร่อน
แมกนีเซียมคลอไรด์	$MgCl_2$	-	การกัดกร่อน
โซเดียมคลอไรด์	NaCl	เกลือแกง	Electrolysis
โซเดียมคาร์บอเนต	Na_2CO_3	โซดาแอช โซดาซักผ้า	ความเป็นด่าง
โซเดียมไบคาร์บอเนต	$Na(HCO_3)_2$	โซดาทำขนม	น้ำเป็นฟอง
โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH	โซดาไฟ	ด่าง โลหะแตกร้าว
โซเดียมซัลเฟต	Na_2SO_4	Glauber's salt	ความเป็นกรด

การเกิดตะกรันมักหลีกเลี่ยงได้ยาก เพราะน้ำในธรรมชาติมีส่วนประกอบที่เอื้ออำนวยต่อการตกผลึกและการสร้างตะกรัน ตะกรันส่วนใหญ่เกิดจากแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มีความสามารถละลายน้ำได้น้อย การตกผลึกไม่นับเป็นปัญหาที่แท้จริง ถ้าผลึกดังกล่าวแขวนลอยอยู่ในน้ำได้โดยไม่จับผิวโลหะและสร้างเป็นตะกรัน ปัญหาเรื่องตะกรันในหม้อน้ำหรือในที่อื่นๆ เกิดขึ้นเพราะแคลเซียมและแมกนีเซียมรวมตัวกับคาร์บอเนตและซัลเฟต ทำให้เกิดการตกผลึกเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำและจับตัวกันเคลือบผิวโลหะในหม้อน้ำ ในทำนองเดียวกัน ซิลิกาและสารคอมเพล็กซ์ซิลิเคตก็สามารถสร้างตะกรันได้เช่นกัน ถ้ามีซิลิกาอยู่ในน้ำในระดับที่เกินกว่าความสามารถในการละลายน้ำของมัน ตะกรันที่เกิดจากซิลิกาและซิลิเคตก่อปัญหาได้มากกว่าตะกรันคาร์บอเนตและซัลเฟตเพราะเป็นตะกรันที่แข็งและจับแน่น

สำหรับการแก้ไขปัญหาและการป้องกันนั้น ทำให้โดยปรับแต่งคุณภาพน้ำป้อน และควบคุมสิ่งสกปรกที่ปนอยู่ในน้ำให้มีค่าอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด นอกจากนี้สำหรับส่วนที่ไม่อาจขจัดได้ด้วยวิธีปรุงแต่งคุณภาพน้ำภายนอกหม้อน้ำ ก็ให้ดำเนินการโดยปรับปรุงคุณภาพน้ำภายในหม้อน้ำอีกทางหนึ่งด้วย เช่น การเติมปูนขาวและโซดาแอช และเนื่องจากตะกรันเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการตกผลึกของสารประกอบที่ละลายอยู่ในน้ำการหมุนเวียนน้ำในลักษณะที่ทำให้น้ำมีความเข้มข้นสูง เป็นเหตุให้มีการตกผลึกเกิดขึ้นเสมอ สารที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยที่สุดจะตกผลึกก่อน ตะกรันที่เกิดขึ้นจะเป็นตะกรันแข็งหรือตะกรันเหลวก็ได้ ตะกรันของซิลิกาจะเป็นตะกรันแข็งที่จับแน่นบนผิวโลหะ ส่วนตะกรันของแคลเซียมไฮดรอกซีแอพพาไทต์นั้นเป็นตะกรันอ่อนหรือตะกอนเหลวซึ่งไม่จับแน่นโลหะ เป็นต้น วิธีการป้องกัน แก้ปัญหา และควบคุมการเกิดตะกรันและโคลนสรุปได้ดังนี้

- ระบายน้ำเข้มข้นทิ้ง เพื่อเป็นการลดปริมาณสารต่างๆ ในน้ำ
- กำจัดต้นเหตุของตะกรัน ต้นเหตุสำคัญอย่างหนึ่งของตะกรันคือความกระด้างในน้ำ
- ติดตั้งระบบกรองน้ำอ่อนเพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำให้น้อยกว่า 10 ppm ในหม้อน้ำทั่วไปๆ แบบท่อไฟนอน และควรใช้น้ำป้อนมีความกระด้างเป็น 0 ppm สำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำ
- ถังกรองน้ำอ่อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานกันมากสำหรับหม้อน้ำ เพราะสะดวกมีขนาดไม่ใหญ่ราคาไม่แพง และไม่ยุ่งยากในการบำรุงรักษา
- ไม่ควรใช้ระบบตกตะกอนด้วยปูนขาวและโซดาแอช เพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำป้อนหม้อน้ำ นอกจากจะเป็นระบบกำจัดความกระด้างของน้ำขนาดใหญ่ เนื่องจากจะเป็นระบบกำจัดความกระด้างของน้ำขนาดใหญ่ เนื่องจากจะเป็นระบบยุ่งยากแล้วระบบนี้ยังมีตะกอนที่จะต้องเอาออกให้หมด และยังมีสารละลายเกลือ (NaCl) เหลือตกค้างที่จะกัดกร่อนหม้อน้ำได้
- ต้องมีเครื่องมือวัดความกระด้างของน้ำ
- ต้องมีการตรวจวัดความกระด้างของน้ำที่ได้จากระบบกรองน้ำอ่อนอย่างน้อยวันละครั้งสำหรับหม้อน้ำทั่วๆ ไป แต่ถ้าเป็นหม้อน้ำขนาดใหญ่ความดันไอน้ำสูงมาก อาจจะต้องตรวจวัดความกระด้างของน้ำทุกๆ ชั่วโมง
- ในการล้างเกลือ (Regeneration) ของถังกรองน้ำอ่อน แต่ละครั้ง ต้องใช้เกลือปริมาณที่พอเพียงปริมาณเหมาะสมคือ 15 lb เกลือ /ft^3 เรซิน (240 Kg/m^3 เรซิน) ถ้าใช้เกลือปริมาณน้อยกว่านี้ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าจับความกระด้างของถังกรองน้ำอ่อน

จะลดลงแต่ ถ้าใช้เกลือปริมาณมากกว่านี้ ก็จะไม่เหมาะสม ทำให้สิ้นเปลืองเกลือมากเกินไป เมื่อเทียบกับผลตอบแทนที่จะได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

- ในการล้างเกลือถังกรองน้ำอ่อนแต่ละครั้ง ต้องใช้ความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้ล้างประมาณ 12-16% เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
- ในการล้างเกลือ ถังกรองน้ำอ่อนถังหนึ่งเป็นถังทำงาน ส่วนอีกถังหนึ่งเป็นถัง Stand by ที่จะทำให้ถังที่ทำงานอยู่ สามารถล้างเกลือทุกเวลา
- ต้องมีการเปิดถังกรองน้ำเข้าเม็ดเรซินออกมาตรวจสอบอย่างน้อยทุกๆ 3 เดือน
- ติดตั้งระบบกรองความขุ่นของน้ำ ไม่ให้น้ำป้อนหม้อน้ำมีความขุ่นเกิน 1 NTU ถ้าเป็นหม้อน้ำในโรงงานขนาดใหญ่ไม่ใหญ่มากที่มีระบบถังกรองทรายอยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องติดตั้งถังกรองทรายเพิ่มที่ห้องหม้อน้ำอีก แต่ควรจะมีการวัดความขุ่นของน้ำป้อน ที่จะเข้าหม้อน้ำอย่างน้อยวันละครั้ง
- ถึงแม้ว่าในโรงงานจะมีระบบกรองความขุ่นของน้ำแบบตะกอนหรือวิธีอื่นๆ แต่ที่ห้องหม้อน้ำก็ควรมีถังกรองทรายขนาดเล็กที่ใช้งานกับหม้อน้ำโดยเฉพาะ
- ควรมีการเปิดนำทรายในถังกรองทรายมาตรวจสอบอย่างน้อย ทุกๆ 3 เดือน อย่าให้มีดินโคลนเกิน 0.1% ของทรายทั้งหมด ทำการล้างถังให้มากขึ้น ถ้าพบว่ายังมีเศษดินโคลนเหลืออยู่หลักการล้าง ให้เปลี่ยนทรายกรอง
- จะต้องทำการล้างกลับ (Back wash) ไล่สิ่งสกปรกในถังกรองน้ำอ่อนออกไปโดยให้เวลานานพอที่น้ำล้างกลับที่ทิ้งออกมาจะสะอาด
- พยายามหลีกเหลี่ยงการเติมสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพน้ำภายในหม้อน้ำที่เมื่อทำปฏิกิริยาหรือได้รับความร้อนแล้ว จะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง ฝุ่นผง หรือ ตกตะกอนเป็นโคลนตมได้
- ทำการปล่อยน้ำก้นเตา (Bottom blowdown) เพื่อปล่อยตะกอนโคลนตมออกอย่างน้อยทุกๆ 8 ชั่วโมงทำงาน
- ทำการระบายท่ออุปกรณ์ความปลอดภัยของหม้อน้ำ ที่ตะกอนอาจจะมาอุดตัน ทำให้การทำงานของอุปกรณ์ความปลอดภัยของหม้อน้ำทำงานผิดพลาดจนทำให้หม้อน้ำระเบิดได้

5.3.3 ปัญหาเรื่องแคร์รีโอเวอร์ในหม้อน้ำ

หากภายในหม้อน้ำเกิดการกลายเป็นไออย่างรุนแรง น้ำในหม้อน้ำจะเป็นฟองและเป็นหยดละอองน้ำ ซึ่งจะถูกพาออกไปกับไอน้ำ เกิดขึ้นได้เนื่องจากมีการสัมผัสโดยตรงระหว่างละอองน้ำเดือดกับไอน้ำ ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่า แคร์รีโอเวอร์ (Carry-over) ทำให้ไอน้ำมีมลทินและเกิดความไม่บริสุทธิ์

ปัญหาแคร์รีโอเวอร์เกิดจากการใช้ไอน้ำปริมาณมากกว่าอัตราการผลิตไอน้ำของหม้อน้ำอย่างกะทันหัน ทำให้มีการดูดน้ำที่ผิวน้ำภายในหม้อน้ำออกไป และถ้าความดันในหม้อน้ำลดลงด้วย Enthalpy จะลดลงตามความดัน ทำให้มีน้ำระเหยมากขึ้นจากความดันที่ลดลง ระดับน้ำจะมีการกระเพื่อมมากขึ้น น้ำที่เติมเข้าหม้อน้ำจะมีสารเคมีละลายอยู่ในน้ำ ปริมาณมากน้อยแล้วแต่แหล่งน้ำและการปรับสภาพน้ำ เมื่อน้ำในหม้อน้ำถูกระเหยกลายเป็นไอน้ำไปใช้งาน สารละลายที่อยู่ในน้ำจะตกค้างสะสมอยู่ในหม้อน้ำ แทบไม่ได้ปนเปื้อนออกไปกับไอน้ำ ดังนั้นทุกครั้งที่มีน้ำดิบเติมเข้าหม้อน้ำ จะมีสารละลายเติมเข้าหม้อน้ำอยู่ตลอดเวลา ทำให้น้ำในหม้อน้ำมีสารละลายเข้มข้นมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) สูงถึง 3,500 ppm สำหรับ

หม้อน้ำแบบท่อไฟทั่วๆ ไป ความเข้มข้นนี้จะทำให้น้ำในหม้อน้ำจะเดือดเป็นฟองออกไปกับไอน้ำที่นำไปใช้งาน (Carry-over) ทำให้ระบบไอน้ำสกปรก เกิดปัญหาหรือความเสียหายต่อเครื่องจักรต่าง ๆ ได้ สามารถแยกปรากฏการณ์แคร์รีโอเวอร์ออกตามสาเหตุการเกิดได้ 3 ลักษณะดังนี้

1) น้ำประทุ

น้ำประทุ (Priming) มีสาเหตุจากการเพิ่มขึ้นของภาระอย่างฉับพลัน ระดับน้ำสูงเกินไป หรือความดันลดต่ำลง ซึ่งสาเหตุทั้งหลายเหล่านี้ต่างก็มีผลทำให้หยดละอองน้ำกระเด็นขึ้นมาปนกับไอน้ำขณะน้ำเดือด และถูกพาออกไปนอกหม้อน้ำ เมื่อเกิดน้ำประทุแล้ว ไอน้ำกับหยดละอองน้ำถูกพาเข้าไปในท่อไอน้ำ ส่วนที่เป็นของแข็งจะแยกตัวออกมา ทำให้อุณหภูมิไอน้ำสูงขึ้นยาก และเกิดการเสียหายอื่นๆ ตามมา เช่น การกัดกร่อน นอกจากนี้เมื่อเกิดน้ำประทุขึ้นในหม้อน้ำ จะเกิดการเดือดอย่างรุนแรงและผิดปรกติของน้ำในหม้อน้ำ ทำให้ระดับน้ำมีความแปรปรวนเป็นอย่างมาก เป็นเหตุให้การควบคุมของหม้อน้ำเป็นไปได้ยาก และยังเป็นเหตุทำให้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไอน้ำลดลงอีกด้วย

2) น้ำเป็นฟอง

น้ำเป็นฟอง (Foaming) หมายถึง การเกิดฟองขนาดเล็กมากมายขึ้นบนผิวน้ำคล้ายกับฟองผงซักฟอกในอ่างซักผ้า เกิดขึ้นเมื่อน้ำในหม้อน้ำมีของแข็งละลายปนอยู่มาก หรือมีน้ำมันและไขมันปนอยู่ ทำให้เกิดฟองจำนวนมากขึ้น ปรากฏการณ์นี้ยังช่วยทวีความรุนแรงของปรากฏการณ์น้ำประทุได้อีกด้วย

3) แคร์รีโอเวอร์ของซิลิกา

หากความดันของไอน้ำมีค่าสูงขึ้น อัตราการละลายของซิลิกาก็ยิ่งสูงขึ้นด้วย ซิลิกาที่ถูกพาออกไปโดยแคร์รีโอเวอร์ จะเกาะจับเป็นของแข็งอยู่ตามผนังท่อไอน้ำหรือตามอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ ซึ่งถ้ามีปริมาณการจับเกาะมากขึ้นจะเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันของท่อไอน้ำ และเกิดการระเบิดของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำได้

สำหรับการแก้ไขปัญหา การป้องกัน และการควบคุมการเกิดแคร์รีโอเวอร์นั้น จะแตกต่างกันออกไปตามสาเหตุของการเกิด ในการป้องกันการเกิดน้ำประทุ ตามปรกติจะต้องระมัดระวังในการเดินเครื่องไม่ให้ภาระเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน นอกจากนี้ยังอาจขจัดหยดละอองน้ำที่เกิดขึ้นในถังได้ โดยการติดตั้งไซโคลนหรือสกรีน ส่วนน้ำเป็นฟองนั้นเกิดจากการมีน้ำมัน ไขมัน หรือของแข็งปนอยู่ในน้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดสิ่งเหล่านี้ให้หมดไป นอกจากนี้การแก้ปัญหาเรื่องน้ำประทุและน้ำเป็นฟองที่เป็นต้นเหตุอย่างหนึ่งของปรากฏการณ์แคร์รีโอเวอร์สามารถกระทำได้ดังนี้

- ระบายน้ำหมุนเวียนทิ้งให้เพียงพอ เพื่อไม่ให้มีการสะสมตัวของสารต่างๆ เกินกว่าขีดจำกัด
- ทำการควบคุมปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total dissolved solid, TDS) ของน้ำในหม้อน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ ไม่ให้น้ำในหม้อน้ำมีสารละลายเข้มข้นมากเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแคร์รีโอเวอร์ที่ทำให้ไอน้ำสกปรก
- ถ้าเป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟที่ผลิตไอน้ำความดันต่ำกว่า 2 MPa ควรควบคุมปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) ของน้ำในหม้อน้ำ ให้ต่ำกว่า 3,500 ppm
- วิธีการควบคุมปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) ของน้ำในหม้อน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ ถ้าเป็นหม้อน้ำขนาดเล็กหรือมีน้ำป้อนที่สะอาดมาก การระบายน้ำก้นเตา (Bottom Blowdown) ก็

อาจจะเพียงพอที่จะควบคุมปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) ของน้ำในหม้อน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ได้

- ถ้าเป็นหม้อน้ำขนาดใหญ่ และน้ำป้อนมีปริมาณสารละลายรวมสูงอาจจะต้องเพิ่มการปล่อยน้ำที่ผิวน้ำ (Surface blowdown) ที่หม้อน้ำเพื่อระบายน้ำที่มีสารละลายเข้มข้นสูงออก ขณะเดียวกันน้ำป้อน (Feed water) ที่เจือจางกว่าจะเติมเข้ามาแทน จึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำในหม้อน้ำลดลง
- ไม่ควรเติมสารเคมี ที่จะทำให้เกิดการเพิ่มของสารละลายรวม
- ต้องมีเครื่องมือวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) ของน้ำ
- ต้องมีการตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) ของน้ำในหม้อน้ำอยู่ในเกณฑ์ อย่างน้อยวันละครั้ง สำหรับหม้อน้ำ ทั่วๆ ไป แต่ถ้าเป็นหม้อน้ำขนาดใหญ่ความดันไอน้ำสูงมาก อาจจะต้องตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) ของน้ำในหม้อน้ำทุกๆ ชั่วโมง

5.4 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ มีรายละเอียดดังตารางที่ 5-16 ในหน้าถัดไป

ตารางที่ 5-16 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
อุปกรณ์บำบัดน้ำ (Water treatment)	เรซินสำหรับการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange resin)	1) ตรวจสอบความกระด้างน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยใช้สารละลายทดสอบ (Reagent) 2) ตรวจสอบการเปรอะเปื้อนและการอุดตัน 3) ตรวจสอบปริมาณของเรซิน	1) ความกระด้างของน้ำต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด 2) ไม่มีการเปรอะเปื้อนและการอุดตันที่สังเกตได้ 3) ปริมาณเรซินต้องไม่ลดลงจนผิดปรกติ
	หอเรซิน (Resin tower) ระบบท่อและตัวกรอง	ตรวจสอบการรั่วซึม การผุกร่อน และการอุดตัน	ไม่มีการรั่วซึม การผุกร่อนและการอุดตัน
	วาล์วโรตารี	1) ตรวจสอบการเสื่อมสภาพขอบแผ่นยาง ความแข็ง และการรั่วซึม 2) ตรวจสอบสภาพการทำงาน	1) ไม่มีการเสื่อมสภาพ และการรั่วซึม 2) ต้องทำงานอย่างสมบูรณ์
	อุปกรณ์ควบคุมแบบอัตโนมัติ	ตรวจสอบลำดับขั้นตอนการทำงานและเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน	ลำดับขั้นตอนและเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนควรปรกติ กระบวนการทั้งหมดต้องเป็นไปตามที่ได้ถูกออกแบบมา
	ถังสารละลายเคมี ตัวกวนผสม (Agitator) และปั๊ม	1) ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำ เกลือการผุกร่อนของท่อ การติดขัดของวาล์ว 2) ตรวจสอบแรงดันน้ำเข้าและออกจากปั๊ม	1) ไม่มีการรั่วซึม การผุกร่อนและการติดขัดของวาล์ว 2) ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

บทที่ 6
เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

การปรับแต่งหัวเผาของหม้อน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้และการดูแลควบคุมหม้อน้ำที่ถูกต้องและเหมาะสมนั้น ผู้ควบคุมหม้อน้ำจะต้องมีความรู้ในการปฏิบัติการในด้านการบำรุงรักษาและการปรับแต่งหัวเผาที่ดีและถูกต้อง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดตามที่หม้อน้ำแต่ละลูกได้ถูกออกแบบไว้ อันจะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง และลดการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้สู่บรรยากาศ การควบคุมดูแลการเผาไหม้ของหัวเผาอย่างถูกต้องสม่ำเสมอ และการใช้ความพยายามอย่างเต็มที่เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการเผาไหม้เป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำเนินการด้านการประหยัดพลังงาน โดยการทำให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะถูกนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำมากที่สุด การควบคุมดูแลการเผาไหม้ควรเริ่มจากปัจจัยพื้นฐานที่อยู่ภายใต้ขอบเขตซึ่งสามารถปฏิบัติได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีราคาสูงก็สามารถทำได้มากพอสมควรด้วยการสังเกตสีของเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งหากทำการควบคุมดูแลการเผาไหม้อย่างถูกต้องแล้วก็จะเป็นประโยชน์ต่อทั้งการประหยัดพลังงาน และการป้องกันมลพิษสภาวะแวดล้อมอีกด้วย

6.1 เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงเป็นสารที่มีส่วนประกอบของธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจน เป็นส่วนใหญ่เมื่อเผาไหม้กับออกซิเจนในอากาศจะให้พลังงานความร้อนออกมาเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเชื้อเพลิงประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน จึงเรียกว่า เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon fuel) ในเชื้อเพลิงอาจจะมีกำมะถันปนอยู่เล็กน้อย สามารถแบ่งประเภทเชื้อเพลิงตามสถานะได้ 3 ประเภท คือ

1) เชื้อเพลิงแข็ง ได้แก่ ถ่านหิน ไม้ฟืน ถ่าน ชานอ้อย แกลบ เป็นต้น
2) เชื้อเพลิงเหลว ได้แก่ น้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซิน น้ำมันโซล่า น้ำมันเตา เป็นต้น
3) เชื้อเพลิงก๊าซ ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นต้นกำลังผลิตความร้อนให้แก่หม้อน้ำบางเครื่องด้วย รายละเอียดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

6.1.1 เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็ง (Solid fuel) สามารถแบ่งตามลักษณะที่มาได้ 3 ประเภทย่อย ได้แก่

1) เชื้อเพลิงแข็งจากธรรมชาติ

เชื้อเพลิงแข็งจากธรรมชาติ (Natural solid fuel) ประกอบด้วย

(ก) ไม้ฟืน (Wood) $C_{41}H_{63}O_{27}N_{0.8}$ ค่าความร้อนจะเปลี่ยนไปตามชนิดของไม้และความชื้น โดยมีกำมะถันปนอยู่น้อยมาก

(ข) ถ่านพีท (Peat) เป็นถ่านผงร่วนๆ จะพบได้ในบริเวณหนองบึง เป็นขั้นตอนแรกของการเกิดถ่านหิน ซึ่งไม่พบในประเทศไทย

(ค) ถ่านหิน (Coal) เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและมีปริมาณมากกระจายอยู่ทั่วโลก แบ่งออกได้ 4 ประเภทใหญ่ ๆตามองค์ประกอบที่สำคัญคือ คาร์บอนคงที่และสารระเหยง่าย ได้แก่

(1) แอนทราไซต์ (Anthracite coal) $C_{94}H_3O_3N_{0.3}S_{0.3}$ เป็นชั้นยอดสุดของถ่านหิน มีปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ 90% ขึ้นไป มีสารระเหยไวไม่มาก เผาไหม้เกือบไม่มีควัน มีเปลวไฟน้อยมาก ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 6-1 (ก)

(2) บิทูมินัส (Bituminous coal) $C_{85}H_5O_{10}N_{0.3}S_{0.3}$ เป็นถ่านหินชั้นดีรองลงมา มีความชื้นน้อยประมาณ 4-6% มีปริมาณคาร์บอนประมาณ 75-90% มีความแข็งแกร่งทนต่อการขนถ่ายและเก็บสำรอง เวลาเผาไหม้จะให้เปลวไฟสีเหลือง ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 6-1 (ข)

(3) ซับบิทูมินัส (Subbituminous coal) $C_{75}H_5O_{20}N_{0.3}S_{0.3}$ คุณภาพคล้ายบิทูมินัส แต่เป็นรองเล็กน้อยและมีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 6-1 (ค)

(4) ลิกไนต์ (Lignite) $C_{70}H_5O_{25}N_{0.7}S_{0.6}$ เป็นถ่านหินชั้นแย่ที่สุด มีความชื้นสูงถึง 40% ปริมาณคาร์บอน 60% ขึ้นไป เมื่อแห้งจะแตกเปราะง่ายไม่เหมาะแก่การเก็บไว้นาน ๆ ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 6-1 (ง)

(ก) แอนทราไซต์

(ข) บิทูมินัส

(ค) ซับบิทูมินัส

(ง) ลิกไนต์

รูปที่ 6-1 ถ่านหินประเภทต่าง ๆ

2) เชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตขึ้นมา

เชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตขึ้นมา (Prepared solid fuel) ประกอบด้วย

(ก) ถ่านไม้ (Wood charcoal) ได้จากการเผาไม้ฟืนในที่ๆ จำกัดปริมาณอากาศที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 280 °C ค่าความร้อนขึ้นกับชนิดของไม้

(ข) ถ่านโค้ก (Coke) เป็นถ่านหินพวกบิทูมินัส มีสีดำไม่เป็นเงา พรุน เผาไหม้มีสารระเหยเถ้า และกำมะถัน ไม่มีควัน มีปริมาณคาร์บอนสูงถึง 85-90%

(ค) ถ่านอัด (Briquette coal) ผลิตจากการนำเอาผงฝุ่นของถ่านลิกไนต์ มาอัดด้วยความดันสูงจนเป็นก้อนหรือแท่ง อาจมีสารยึดเหนี่ยวพวกน้ำมัน ดินเหนียว และอื่นๆ ข้อดีคือไม่มีการสูญเสียเชื้อเพลิงผ่านช่องตะกรับเตา และเป็นการเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงด้วย

(ง) ถ่านผง (Pulverized coal) ถ่านลิกไนต์หรือถ่านหินเกรดต่ำๆ ที่มีปริมาณขี้เถ้าสูง มักจะนำมาทำให้แห้งแล้วบดเป็นผง ใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อน้ำในโรงงานผลิตซีเมนต์ (Cement kiln)

3) เชื้อเพลิงแข็งที่เป็นผลพลอยได้จากเศษวัสดุจากการเกษตร

เชื้อเพลิงแข็งที่เป็นผลพลอยได้จากเศษวัสดุจากการเกษตร (Biomass) เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้เองในประเทศ ไม่มีวันหมด บางครั้งมีการเผาทิ้งโดยไม่เกิดประโยชน์แต่กลับก่อมลพิษทางอากาศแทน วัสดุทางการเกษตรสามารถนำมาเผาไหม้ในหม้อน้ำสำหรับผลิตไอน้ำได้ ในขณะนี้ได้มีการส่งเสริมให้มีการนำวัสดุทางการเกษตร มาเป็นพลังงานให้กับหม้อน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 10 MW (Very small power producer, VSPP) เชื้อเพลิงวัสดุทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงที่ประชาชนมักจะไม่ต่อต้าน เพราะประชาชนในพื้นที่คุ้นเคยพบเห็นหรือเป็นผู้ผลิตวัสดุทางการเกษตรเอง หม้อน้ำเชื้อเพลิงวัสดุทางการเกษตรจึงมีปัญหาน้อยกว่าการติดตั้งหม้อน้ำเชื้อเพลิงถ่านหินที่ประชาชนมักจะต่อต้านมาก เชื้อเพลิงแข็งที่เป็นผลพลอยได้จากเศษวัสดุจากการเกษตรประกอบด้วย

(ก) แกลบ (Paddy husk) ค่าความร้อนประมาณ 13.4-14.65 MJ/kg (3,200-3,500 kcal/kg) ที่ความชื้น 9-11% ปริมาณขี้เถ้า 18-19% ขี้เถ้าแกลบส่วนใหญ่จะเป็นซิลิกาออกไซด์มีความคมมาก ท่อของหม้อน้ำจะสึกหรอเร็วกว่าปรกติ

(ข) ขี้เลื่อย (Sawdust) มีความชื้น 7.5% ค่าความร้อน 14.65 MJ/kg (4,630 kcal/kg) มีปริมาณขี้เถ้า 6.2%

(ค) กากอ้อย (Bagasse) มีความชื้น 50% ค่าความร้อนสูงประมาณ 9.42 MJ/kg (2,250 kcal/kg) และค่าความร้อนต่ำประมาณ 7.53 MJ/kg (1,800 kcal/kg)

(ง) กากปาล์ม กากนุ่น เปลือกละหุ่ง เป็นผลพลอยได้จากโรงงานน้ำมันพืช มักนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อน้ำในโรงงาน

ในหม้อน้ำอุตสาหกรรมที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก ยังมีการใช้เชื้อเพลิงแข็งกันน้อย แต่ปัจจุบันเริ่มจะมีการใช้เชื้อเพลิงแข็งในหม้อน้ำเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากราคาน้ำมันที่เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปตลอด สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้เชื้อเพลิงแข็งมีดังต่อไปนี้

- การทำความเข้าใจกับประชาชนในพื้นที่ ซึ่งเป็นเรื่องใหญ่ที่สุดในการติดตั้งหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งโดยเฉพาะถ่านหิน เพราะประชาชนมักจะต่อต้านการตั้งหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง เนื่องจากกลัวผลกระทบจากมลภาวะทางอากาศ สำหรับหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงวัสดุทาง

การเกษตร ถ้าติดตั้งหม้อน้ำในพื้นที่การเกษตร ประชาชนมักจะไม่ต่อต้าน เพราะประชาชนในพื้นที่เป็นผู้ผลิตวัสดุทางการเกษตรเอง เรื่องการทำความเข้าใจกับประชาชนในพื้นที่ เป็นเรื่องรายละเอียดอ่อน บางครั้งจะไม่สามารถจัดการบริหารความเสี่ยงนี้ได้

- ความสม่ำเสมอในการจัดส่งเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงแข็งหลายๆ ชนิดเริ่มขาดแคลน บางช่วงเวลาอาจขาดตลาด ไม่สามารถจัดซื้อได้ หรือมีราคาแพงมาก เนื่องจากมีผู้ใช้งานเชื้อเพลิงดังกล่าวมากขึ้น แม้แต่ถ่านหิน ซึ่งส่วนใหญ่นำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย อาจจะขาดแคลนได้ในฤดูมรสุม
- โรงเก็บเชื้อเพลิงแข็ง ประเทศไทยอยู่ในเขตพื้นที่มรสุมที่มีฝนตกได้ทั้งปี โดยเฉพาะในฤดูฝนที่อาจมีฝนตกทุกวัน หากไม่มีโรงเก็บจะทำให้เชื้อเพลิงแข็งเปียกชื้นเชื้อเพลิงแข็งที่เปียกชื้นที่ถูกป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้ จะไม่เผาไหม้หมด อาจเกิดสารระเหยที่ลุกไหม้ได้ สะสมอยู่ในห้องเผาไหม้จำนวนมาก จนเกิดการระเบิดขึ้นในห้องเผาไหม้ จนหม้อน้ำเสียหายได้ ดังนั้นแม้ว่าจะเป็นหม้อน้ำเชื้อเพลิงแข็ง ตัวหม้อน้ำก็ควรจะมีฝานิรภัย (Explosion door) ป้องกันหม้อน้ำเสียหายถ้ามีระเบิดในห้องเผาไหม้ขึ้น โดยปรกติหม้อน้ำแต่ละเครื่องจะมีข้อกำหนดความชื้นสูงสุดของเชื้อเพลิงแข็งที่จะเผาไว้ ดังนั้นควรสร้างโรงเก็บเชื้อเพลิงแข็งที่มีหลังคาป้องกันฝนได้
- เชื้อเพลิงถ่านหินจากบางแห่งที่มีกำมะถันสูง อาจเกิดการลุกไหม้ขึ้นเองของถ่านหินได้ในโรงเก็บ จึงควรระวังและมีการเตรียมระบบท่อฉีดพ่นน้ำ ไม่ให้ถ่ายหินลุกติดไฟขึ้นเองได้ในโรงเก็บ และควรติดตั้งระบบท่อดับเพลิงไว้ด้วย
- เชื้อเพลิงแข็งที่มีขนาดเม็ดเชื้อเพลิงเล็กๆ เป็นฝุ่นผง ก็อาจเกิดเหตุการณ์ระเบิดขึ้นได้ (Dust explosion) ในยุ้งเก็บเชื้อเพลิง ดังนั้นการออกแบบระบบ ควรระมัดระวังอย่างรอบคอบ แม้ผู้ออกแบบติดตั้งจะมีความชำนาญแล้วก็ตาม

6.1.2 เชื้อเพลิงเหลว

เชื้อเพลิงเหลว (Liquid fuel) เป็นผลผลิตที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ (Crude oil) แบ่งได้ 3 ประเภท ตามลำดับที่กลั่นตัวออกจากหอกลั่น ได้แก่

1) น้ำมันเบนซิน

น้ำมันเบนซิน มีช่วงจุดเดือด 35-180 °C ไม่นิยมนำมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำ เนื่องจากราคาแพง นิยมใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะ

2) น้ำมันก๊าด

น้ำมันก๊าด มีช่วงจุดเดือด 150-275 °C ไม่นิยมนำมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำเช่นกัน

3) น้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซล มี 2 ประเภท คือ น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และน้ำมันดีเซลหมุนช้า ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และเรียกสั้นๆ ว่า น้ำมันดีเซล มีช่วงจุดเดือด 225-350 °C รายละเอียดของน้ำมันดีเซลมีดังต่อไปนี้

- น้ำมันดีเซลมีค่าความร้อน 36,000 Btu/L หรือ 9,100 kcal/L หรือ 10,200 kcal/kg
- น้ำมันดีเซลมีคุณสมบัติใสและสะอาด
- เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลจะมีใช้น้อยในหม้อน้ำ เพราะราคาน้ำมันดีเซลในปัจจุบันมีราคาสูงมากเมื่อเทียบกับน้ำมันเตา (ประมาณ 2 เท่า)
- หม้อน้ำที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มักจะใช้ในหม้อน้ำขนาดเล็กกำลังผลิตไอน้ำไม่ควรเกิน 1,000 kg/hr เช่น ในธุรกิจอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โรงแรม โรงพยาบาล เป็นต้น
- ผู้เลือกใช้งานหม้อน้ำดีเซล มักจะเลือกใช้งานเพราะมีความกังวลในปัญหาเรื่องมลพิษทางอากาศที่มีน้อยกว่าการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง
- เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลสะอาดและทำความสะอาดง่ายกว่าน้ำมันเตา ถ้ามีการรั่วไหลของน้ำมันเมื่อเทียบกับน้ำมันเตา
- เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลมีความหนืดต่ำ ไม่ต้องการอุ่นน้ำมัน ก็สามารถพ่นออกจากหัวพ่นไฟได้ทันที
- ระบบท่อน้ำมันดีเซลสามารถออกแบบเป็นระบบท่อเดี่ยวได้ โดยไม่ต้องมีท่อน้ำมันเวียนกลับถัง
- น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันใสที่สามารถไหลเองได้ด้วยแรงโน้มถ่วง สามารถออกแบบระบบท่อน้ำมันให้ไหลด้วยแรงโน้มถ่วง ไปที่หัวพ่นไฟได้เองโดยไม่ต้องมีปั๊มน้ำมันส่งไป

4) น้ำมันเตา

น้ำมันเตาถือเป็นผลผลิตจากหอกลั่นปิโตรเลียมที่หนักที่สุด มีจุดเดือดเกิน 350 °C ซึ่งไม่ระเหยกลายเป็นไอในหอกลั่น เรียกว่า กากกลั่น (Residual) นำมาผลิตเป็นน้ำมันเตาเกรดต่างๆ โดยใช้น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดมาผสมกับกากกลั่นซึ่งมีความหนืดมาก น้ำมันเตาเกรดใสจะมีอัตราส่วนของน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดมากกว่าน้ำมันเตาเกรดที่หนืดกว่า น้ำมันเตามีทั้งหมด 4 เกรด ได้แก่

(ก) น้ำมันเตา A (LFO 600) หรือ FO1 หรือ FO2 จัดเป็นน้ำมันเตาใส (Light fuel oil) มีค่าความร้อนเฉลี่ย 38.18 MJ/L มีสีดำ สกปรกและมีความหนืดสูง ต้องการอุ่นให้มีความหนืดลดลงก่อน จึงจะสามารถพ่นออกไปเผาไหม้ได้ มักจะใช้งานกับหม้อน้ำขนาดกลาง กำลังผลิตไอน้ำไม่เกิน 5,000 kg/h แม้ว่าน้ำมันเตา A จะมีราคาถูกลงกว่าน้ำมันดีเซล แต่มีราคาสูงกว่าน้ำมันเตา C เล็กน้อย

(ข) น้ำมันเตา B (MFO 1200) หรือ FO3 จัดเป็นน้ำมันเตาข้นปานกลาง (Medium fuel oil) มีค่าความร้อนเฉลี่ย 39.52 MJ/L มีสีดำ สกปรกและมีความหนืดสูง ต้องการอุ่นให้มีความหนืดลดลงก่อน จึงจะสามารถพ่นออกไปเผาไหม้ได้ ปัจจุบันน้ำมันเตาเกรดนี้ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย

(ค) น้ำมันเตา C (MFO 1500) หรือ FO4 จัดเป็นน้ำมันเตาข้นปานกลาง (Medium fuel oil) มีค่าความร้อนเฉลี่ย 41.28 MJ/L มีสีดำ สกปรกและมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันเตา A ต้องการการอุ่นให้มีความหนืดลดลงก่อนด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าน้ำมันเตา A เล็กน้อยจึงจะสามารถพ่นออกไปเผาไหม้ได้ น้ำมันเตา C ใช้งานกับหม้อน้ำเชื้อเพลิงเหลวมากที่สุด เนื่องจากมีราคาจะต่ำที่สุดในเชื้อเพลิงเหลวด้วยกัน น้ำมันเตา C พอที่จะควบคุมมลพิษทางอากาศให้อยู่ในข้อกำหนดของทางราชการได้ หากใช้หัวพ่นไฟแบบที่เหมาะสม แต่ไม่ควรที่จะใช้งานกับหม้อน้ำที่มีหัวพ่นไฟแบบหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมัน

(ง) น้ำมันเตา D (HFO 2500) หรือ FO5 หรือ FO6 จัดเป็นน้ำมันเตาข้น (Heavy fuel oil) มีค่าความร้อนเฉลี่ย 43.45 MJ/L มีราคาถูกกว่าน้ำมันเตาเกรด C เล็กน้อย แต่มีหม้อน้ำบางเครื่องเท่านั้นที่มีหัวพ่นไฟที่จะสามารถเผาไหม้น้ำมันเตา D ได้ดี ปัจจุบันได้มีการเลิกการจำหน่ายน้ำมันเตา D แล้ว

ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเชื้อเพลิงเหลวมีดังต่อไปนี้

- มีจำนวนหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวมากที่สุดในประเทศไทย เมื่อเทียบกับหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น
- หม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติง่ายและสะดวก
- การขนส่งเชื้อเพลิงเหลวมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น
- เชื้อเพลิงเหลวใช้พื้นที่เก็บเชื้อเพลิงน้อยเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น
- เชื้อเพลิงเหลวมีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสูง แต่ราคาเชื้อเพลิงแพงเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น ยกเว้นหม้อน้ำไฟฟ้า
- เชื้อเพลิงมีโอกาสเกิดมลภาวะจากเขม่าควัน ถ้าเป็นน้ำมันเตาจะมีสารกำมะถันสูงกว่าเชื้อเพลิงอื่น
- ใช้งานในหม้อน้ำได้เกือบทุกขนาดขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงเหลว
- การผลิตไอน้ำใช้เชื้อเพลิงเหลวประมาณ 70 ลิตร ต่อไอน้ำ 1,000 กิโลกรัม

6.1.3 เชื้อเพลิงก๊าซ

เชื้อเพลิงก๊าซ (Gaseous fuel) เป็นเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นก๊าซ บางประเภทอาจมีการอัดด้วยความดันจนมีสถานะเป็นของเหลว ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการบรรจุลงถังเก็บและการขนส่ง อย่างไรก็ตามต้องมีการระเหยให้กลับมามีสถานะเป็นก๊าซก่อนการนำไปใช้งานต่อไป สามารถแบ่งประเภทของก๊าซธรรมชาติจากลักษณะที่มาได้ 2 ประเภท คือ

1) เชื้อเพลิงก๊าซจากธรรมชาติ

เชื้อเพลิงก๊าซจากธรรมชาติ (Natural gaseous fuel) มีแหล่งกำเนิดอยู่สองแบบ คือ จากบ่อก๊าซธรรมชาติ (Natural gas field) และจากบ่อน้ำมันดิบ (Associated gas field) ซึ่งก๊าซธรรมชาติจากทั้งสองแหล่งกำเนิดต่างมีก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบใหญ่ที่สำคัญ เมื่อส่งเข้าโรงแยกก๊าซธรรมชาติเพื่อแยกออกเป็นเชื้อเพลิงก๊าซชนิดต่างๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ให้เหมาะสมตามคุณลักษณะและคุณค่าของก๊าซชนิดนั้นๆ สามารถแบ่งเชื้อเพลิงก๊าซจากธรรมชาติได้ 5 ชนิด ได้แก่

(ก) ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas, NG) ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน และมีจุดเดือดต่ำมากถึง -161 $^{\circ}$C จึงต้องขนส่งผ่านท่อ เชื้อเพลิงก๊าซเป็นเชื้อเพลิงสะอาด ประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด แต่มีก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซอีเทน ($C2H_6$) เป็นองค์ประกอบใหญ่ เมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำแล้วมีราคาต่ำกว่าการผลิตเป็นไอน้ำด้วยการใช้น้ำมันเตา C ประมาณ 25% ก๊าซธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรม จะมีใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่บนเส้นทางผ่านของท่อก๊าซ ซึ่งปัจจุบันส่งให้โรงไฟฟ้าบางปะกง โรงไฟฟ้าพระนครใต้ และโรงงานปูนซีเมนต์ไทยท่าหลวง แก่งคอย โรงงานเซรามิกที่หินกอง สระบุรี เป็นต้น ส่วนใหญ่หม้อน้ำต้องการก๊าซที่มีความดันที่หัวเผาต่ำมาก ดังนั้นการจ่ายก๊าซให้ที่หน่วยจ่ายก๊าซหน้าโรงงานจะจ่ายก๊าซที่มีความดัน 400 kPa และทำการลดความดันก่อนเข้าหม้อน้ำที่ความดัน 200 kPa จากนั้นหัวเผาของหม้อน้ำจะมีระบบลดความดันก๊าซ จากความดัน 200 kPa ลงมาให้เหมาะสมกับหัวเผาของหม้อน้ำในแต่ละรุ่นแต่ละยี่ห้อ

(ข) ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied natural gas, LNG) ได้จากการลดอุณหภูมิก๊าซธรรมชาติลง จนมีอุณหภูมิประมาณ -164 ^{o}C ก๊าซธรรมชาติจะควบแน่นเป็นของเหลว มีปริมาตรลดลง 600 เท่า เหมาะแก่การขนส่ง เมื่อจะนำมาใช้ประโยชน์จะต้องทำให้ระเหยเป็นก๊าซก่อน

(ค) ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed natural gas, CNG) ผลิตขึ้นโดยการนำเอาก๊าซธรรมชาติในข้อ (ก) มาอัดด้วยความดันประมาณ 20,680 kPa (3,000 psi) มีความหนาแน่นประมาณ 140 kg/m^3 ใช้เป็นเชื้อเพลิงยานพาหนะได้

(ง) ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas, LPG) หรือก๊าซหุงต้ม คือ ก๊าซโพรเพน (C_3H_8) หรือก๊าซบิวเทน (C_4H_{10}) หรือก๊าซโพรเพนผสมก๊าซบิวเทนในอัตราส่วนต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับสภาพที่ผลิต เช่น ปัจจุบันในไทยใช้อัตราส่วนผสมก๊าซโพรเพน 70% และก๊าซบิวเทน 30% ความหนาแน่นของก๊าซเหลวประมาณ 0.51-0.55 กิโลกรัมต่อลิตร โดยมีสภาพเป็นของเหลวภายใต้แรงอัดประมาณ 689-1,379 kPa (100-200 psi) ซึ่งจะระเหยเป็นก๊าซเมื่อนำใช้ในการสันดาป ในการผลิตไอน้ำจะใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวประมาณ 55 กิโลกรัมต่อไอน้ำ 1 ตัน ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานในการผลิตไอน้ำเมื่อเทียบกับน้ำมันเตา C แล้วถือว่าใกล้เคียงกัน อาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าบ้างเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับราคาของน้ำมันดิบและก๊าซในตลาดโลก

(จ) เบนซินธรรมชาติ (Natural gasoline liquid, NGL) เป็นส่วนที่หนักกว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลว ประกอบด้วยเพนเทน (C_5H_{12}) และองค์ประกอบที่หนักกว่า มีสภาพเป็นของเหลวในอุณหภูมิปรกติ ส่วนใหญ่จะส่งเข้าโรงกลั่นน้ำมันผลิตเป็นน้ำมันเบนซิน หรือใช้เป็นสารละลาย (Solvent) ในงานบางชนิด

เชื้อเพลิงก๊าซจากธรรมชาติราคาถูกกว่าน้ำมันดีเซลมาก แต่ถูกกว่าน้ำมันเตาไม่มากนัก เชื้อเพลิงก๊าซจากธรรมชาติเผาไหม้ง่าย มีประสิทธิภาพสูง และมีมลภาวะต่ำ แต่อาจเกิดการระเบิดได้ง่ายถ้ามีการรั่วไหลของเชื้อเพลิงก๊าซ

2) เชื้อเพลิงก๊าซที่ผลิตขึ้น

เชื้อเพลิงก๊าซที่ผลิตขึ้น (Prepared gaseous fuel) ที่เป็นที่รู้จักและนิยมผลิตขึ้นมา คือ ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ (H_2O) ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำมีดังนี้

- ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงราคาต่ำ ที่ได้จากการหมักน้ำเสียหรือขยะ โดยจุลินทรีย์ย่อยของเสียเกิดเป็นก๊าซเชื้อเพลิงขึ้น ของเสียที่จุลินทรีย์สามารถย่อยเป็นก๊าซเชื้อเพลิงใช้งานได้ เช่น เศษ หรือน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหาร แป้ง หรือแม้แต่น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์
- ปริมาณและความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไม่แน่นอน แปรเปลี่ยนตามปริมาณ ชนิดของอาหาร จุลินทรีย์ สิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพของบ่อหมัก หรือถังหมัก

- ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในโรงงานส่วนใหญ่ จะใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม เนื่องจากประมาณก๊าซชีวภาพไม่เพียงพอและไม่สม่ำเสมอ แต่ก๊าซชีวภาพมีราคาต้นทุนต่ำ
- หม้อน้ำที่ใช้ก๊าซชีวภาพจึงมักเป็นหัวพ่นไฟแบบ 2 ชนิดเชื้อเพลิง (Dual fuel burner) เพื่อป้องกันการดับของหัวพ่นไฟเมื่อก๊าซชีวภาพไม่พอใช้งาน
- ในการจัดการเตรียมหรือดัดแปลงหัวพ่นไฟของหม้อน้ำ ให้สามารถเผาไหม้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ จะต้องเตรียมข้อมูลเกี่ยวกับ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะผลิตได้ ค่าความร้อน และองค์ประกอบทางเคมี (Biogas composition) ของก๊าซชีวภาพให้กับทางผู้ผลิตหัวพ่นไฟหรือหม้อน้ำ เพราะองค์ประกอบทางเคมี และค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่จะใช้เผาไหม้ มีความแปรเปลี่ยนไปตามขบวนการหมักก๊าซ
- นอกจากนี้วัสดุโครงสร้างของหัวเผา ตัวเร่งก๊าซ (Gas booster) และท่อก๊าซ จะต้องสามารถทนการกัดกร่อนของกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ที่เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่ทำปฏิกิริยากับความชื้น (H_2O)
- ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพประมาณ 21-23 MJ/m^3

6.1.4 พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้า (Electrical energy) ไม่ถือเป็นประเภทหนึ่งของเชื้อเพลิง (Fuel) แต่ถือเป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงาน (Energy) ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานต้นกำลังในการผลิตความร้อนให้แก่หม้อน้ำแบบที่ใช้ขดลวดไฟฟ้าในการผลิตไอน้ำ ข้อดีและข้อเสียของหม้อน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ได้แก่

- หม้อน้ำไฟฟ้าใช้งานสะดวก ควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติง่าย
- ไม่มีมลภาวะทางไอเสีย
- ไม่มีปล่องไฟ
- ไม่ต้องมีที่เก็บเชื้อเพลิง
- แต่หม้อน้ำไฟฟ้าจะมีค่าเชื้อเพลิงแพงที่สุด เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น
- หม้อน้ำไฟฟ้าจึงเหมาะที่ใช้งานขนาดเล็ก ผลิตไอน้ำไม่มาก
- หม้อน้ำไฟฟ้าทั่วไปมีขนาดกำลังผลิต 10-2,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และผลิตไอน้ำที่มีความดันไม่เกิน 2 MPa

6.1.5 คุณสมบัติและค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

จากเชื้อเพลิงทั้งสามประเภทที่กล่าวมาข้างต้น สามารถเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท ในการนำมาใช้กับหม้อน้ำอุตสาหกรรมได้ดังตารางที่ 6-1

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ดี ต้องมีลักษณะและคุณภาพเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ซึ่งในปัจจุบันได้มีข้อกำหนดสำหรับน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และก๊าซปิโตรเลียมเหลว ดังประกาศต่อไปนี้

- ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2553 ดังแสดงในตารางที่ 6-2

- ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเตา พ.ศ. 2547 ดังแสดงในตารางที่ 6-3
- ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลว พ.ศ. 2547 ดังแสดงในตารางที่ 6-4

ค่าความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง วัดปริมาณความร้อนนี้ได้โดยทำให้ก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์นั้นเย็นลงจนถึงอุณหภูมิบรรยากาศ ซึ่งมีหน่วยเป็น kJ/kg, kJ/L หรือ kJ/m^3 ขึ้นอยู่กับว่าเชื้อเพลิงแต่ละประเภทสามารถใช้การวัดปริมาตรหน่วยใดสะดวกที่สุด

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแบ่งออกเป็นค่าความร้อนสูง (Higher heating value, HHV) คือ ค่าความร้อนที่รวมความร้อนที่ได้รับจากการควบแน่นของไอน้ำที่ปล่องไอเสีย และค่าความร้อนต่ำ (Lower heating value, LHV) คือ ค่าความร้อนที่ไม่คำนึงถึงความร้อนที่ได้รับจากการควบแน่นของไอน้ำ เป็นค่าที่ใช้กันในการคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้งานได้จริง ค่าความร้อนต่ำสามารถคำนวณได้จาก

$$LHV = HHV - m_w h_{fg} = HHV - 9m_{H2}h_{fg}$$

โดยที่ m_w คือ มวลของไอน้ำในสารที่ได้จากการเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยของเชื้อเพลิง

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอหรือการควบแน่นของไอน้ำที่ความดันย่อยในสารที่ได้จากการเผาไหม้

m_{H2} คือ มวลของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงในห้องทดลอง เพื่อต้องการหาสัดส่วนร้อยละของ C, H, O, N, S และเถ้า)

ถ้าทราบองค์ประกอบของเชื้อเพลิง (C, H, O และ S) จะหาค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงได้จากสมการของดูลอง (Dulong's equation) ในหน่วย MJ/kg

$$HHV = 33.917C + 143[H - (O/8)] + 9.094S$$

ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ หาได้จาก

$$Q_C = \dot{m}_F \cdot LHV$$

เมื่อ Q_C คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้, MJ/hr

$\dot{m}_F$ คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิง, kg/hr หรือ L/hr หรือ m^3/hr

LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง, MJ/kg หรือ MJ/L หรือ MJ/m^3

พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในหม้อน้ำอุตสาหกรรมขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีค่าความร้อนที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 6-5

ตารางที่ 6-1 การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

หัวข้อ		เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	เชื้อเพลิงก๊าซ
คุณสมบัติทั่วไป	ค่าความร้อนต่อน้ำหนัก	ปานกลาง-ต่ำ	สูง	ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง
	คุณภาพเชื้อเพลิง	ผันแปรมาก โดยเฉพาะความชื้นและสิ่งเจือปน	สม่ำเสมอ	คงที่
	ปริมาณขี้เถ้า	ต่ำ-สูงมาก	น้อยมาก	ไม่มี
การเผาไหม้และการควบคุม	ปริมาณอากาศส่วนเกิน	ปานกลาง-สูง	น้อย-ปานกลาง	ไม่ต้องใช้-ต่ำ
	การควบคุมการเผาไหม้	ควบคุมลำบาก	ควบคุมได้ง่าย	ควบคุมง่ายมาก
	การปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิง	พอกระทำได้ แต่ตอบสนองช้า	กระทำได้ง่ายและการตอบสนองเร็ว	กระทำได้ง่ายและตอบสนองเร็วมาก
	การป้อนเชื้อเพลิงอัตโนมัติ	ยุ่งยาก	สามารถทำได้	สามารถทำได้
	อุปกรณ์เผาไหม้	ขนาดเล็ก ไม่ซับซ้อน	ขนาดเล็ก	ขนาดค่อยข้างใหญ่
	ประสิทธิภาพการเผาไหม้	ต่ำ	สูง	สูงสุด
ไอเสียและมลพิษ	ไอเสีย	อาจมีเขม่าควัน และมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ค่อนข้างสะอาด	สะอาด
	อุปกรณ์กำจัดและป้องกันมลพิษ	ต้องใช้	อาจต้องใช้	ไม่ต้องใช้
ขนาดของอุปกรณ์ในระบบเผาไหม้		ขนาดเล็ก-ใหญ่มาก	ขนาดเล็ก-ปานกลาง	ขนาดเล็ก-ปานกลาง
ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน		อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ หรือโรงไฟฟ้า	อุตสาหกรรมทั่วไป	อุตสาหกรรมทั่วไป
การขนส่งและการจัดเก็บ		เปลืองเนื้อที่ในการเก็บและขนส่ง เก็บในที่เปิดได้	ขนส่งง่าย เก็บง่าย และต้องใช้ถัง	ขนส่งยุ่งยาก การเก็บต้องใช้ภาชนะพิเศษ
โอกาสในการเกิดอันตราย		อาจเกิดลุกไหม้ได้เองขณะกองเก็บ	มีไม่มาก	อาจเกิดระเบิดได้
ราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วยความร้อน		ถูกที่สุด	ค่อนข้างแพง	ถูก

ตารางที่ 6-2 ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล (พ.ศ. 2553)

ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล			วิธีทดสอบ[1]
		หมุนเร็ว		หมุนช้า	
		ธรรมดา	บี 5		
1. ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 °C	ไม่ต่ำกว่า	0.81	0.81	-	ASTM D 1298
	และ				
(Specific gravity at 15.6/15.6 °C)	ไม่สูงกว่า	0.87	0.87	0.920	
2. จำนวนซีเทน (Cetane number) หรือ					ASTM D 613
ดัชนีซีเทน (Calculated cetane index)					ASTM D 976
ก่อนวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555	ไม่ต่ำกว่า	47	47	45	
ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555	ไม่ต่ำกว่า	50	50	45	
3. ความหนืด, เซนติสโตกส์ (Viscosity, cSt)					ASTM D 445
3.1 ณ อุณหภูมิ 40 °C (at 40 °C)	ไม่ต่ำกว่า	1.8	1.8	-	
	และ				
	ไม่สูงกว่า	4.1	4.1	8.0	
หรือ					
3.2 ณ อุณหภูมิ 50 °C (at 50 °C)	ไม่สูงกว่า	-	-	6.0	
4. จุดไหลเท, °C (Pour point, °C)	ไม่สูงกว่า	10	10	16	ASTM D 97
5. กำมะถัน, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulfur, %wt.)					
ก่อนวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555	ไม่สูงกว่า	0.035	0.035	1.5	ASTM D 4294
ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555	ไม่สูงกว่า	0.005	0.005	1.5	ASTM D 2622
6. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	หมายเลข 1	-	ASTM D 130
7. เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน, กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Oxidation stability, g/m^3)	ไม่สูงกว่า	-	25	-	ASTM D 2274
8. กากถ่าน, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Carbon residue, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.05	0.05	-	ASTM D 189
9. น้ำและตะกอน, ร้อยละโดยปริมาตร (Water and sediment, %vol.)	ไม่สูงกว่า	0.05	0.05	0.3	ASTM D 2709
10. เถ้า, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Ash, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.01	0.01	0.02	ASTM D 482
11. จุดวาบไฟ, °C (Flash point, °C)	ไม่ต่ำกว่า	52	52	52	ASTM D 93

ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล			วิธีทดสอบ[1]
		หมุนเร็ว		หมุนช้า	
		ธรรมดา	บี 5		
12. การกลั่น, °C (Distillation, °C)					ASTM D 86
อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (90% recovered)	ไม่สูงกว่า	357	357	-	
13. โพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Polycyclic aromatic hydrocarbon, %wt.)					ASTM D 2425
ก่อนวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555	-	-	-	-	
ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555	ไม่สูงกว่า	11	11	-	
14. สี (Colour)					
14.1 ชนิดของสี (Hue)		เหลือง	แดง	น้ำตาล	
14.2 ความเข้มของสี (Intensity)	ไม่ต่ำกว่า	-	เทียบเท่าสีมาตรฐาน[2]	4.5	น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว[3]
	และ ไม่สูงกว่า	4.0		7.5	น้ำมันดีเซลหมุนช้า[4] น้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี 5[5]
15. ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน, ร้อยละโดยปริมาตร (Methyl ester of fatty acid, %vol.)	ไม่ต่ำกว่า	1.5	4	-	EN 14078
	และ ไม่สูงกว่า	2	5		
16. คุณสมบัติการหล่อลื่น รอยขีดข่วน, ไมโครเมตร (Lubricity, wear scar, μm)	ไม่สูงกว่า	460	460	-	CFC F-06-96
17. สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน				

หมายเหตุ: 1 วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดนี้

2 สีมาตรฐานเตรียมได้จากการนำน้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี 5 ที่มีความเข้มของสี (ก่อนการย้อม) วัดตามมาตรฐาน ASTM D 1500 เท่ากับ 2.0 มาย้อมด้วยสีแดงที่เป็นสารประกอบจำพวก 2-naphthalenol [(phenylazo) phenyl] azoalkyl derivatives ปริมาณ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

3 และ 4 เปรียบเทียบความเข้มของสีตามมาตรฐาน ASTM D 1500

5 เปรียบเทียบความเข้มของสีกับน้ำมันมาตรฐานที่เตรียมขึ้นใหม่โดยใช้สีละลายในน้ำมันก่อนการย้อมสีให้มีปริมาณเท่ากับที่กำหนด แล้วนำมาบรรจุแยกกันในภาชนะที่ใช้ในการวัดสีตามวิธีทดสอบ ASTM D 1500 แล้วตรวจพินิจด้วยตา หรือ ตามมาตรฐาน ASTM D 2392

ตารางที่ 6-3 ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเตา (พ.ศ. 2547)

ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมันเตา					วิธีทดสอบ
		ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2	ชนิดที่ 3	ชนิดที่ 4	ชนิดที่ 5	
1. ปริมาณกำมะถัน, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphur content, %wt.)	ไม่สูงกว่า	2.0	2.0	2.0	2.0	0.5	ASTM D 4294
2. ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 °C (Specific gravity at 15.6/15.6 °C)	ไม่สูงกว่า	0.985	0.990	0.995	0.995	0.995	ASTM D 1298
3. ความหนืด, เซนติสโตกส์ (Viscosity, cSt)							ASTM D 445
ณ อุณหภูมิ 50 °C	ไม่ต่ำกว่า	7	81	181	231	-	
	ไม่สูงกว่า	80	180	230	280	-	
ณ อุณหภูมิ 100 °C	ไม่ต่ำกว่า	-	-	-	-	3	
	ไม่สูงกว่า	-	-	-	-	30	
4. จุดวาบไฟ, °C (Flash point, °C)	ไม่ต่ำกว่า	60	60	60	60	60	ASTM D 93
5. จุดไหลเท, °C (Pour point, °C)	ไม่สูงกว่า	24	24	30	30	57	ASTM D 97
6. ปริมาณความร้อน, แคลอรีต่อกรัม (Gross heat of combustion, cal/g)	ไม่ต่ำกว่า	10,000	9,900	9,900	9,900	9,900	ASTM D 240
7. เถ้า, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Ash content, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	ASTM D 482
8. น้ำและตะกอน, ร้อยละโดยปริมาตร (Water and sediment, %vol.)	ไม่สูงกว่า	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	ASTM D 1796
9. สี (Colour)	ไม่ต่ำกว่า	8.0	-	-	-	-	ASTM D 1500

หมายเหตุ: วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดนี้

ตารางที่ 6-4 ลักษณะและคุณภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลว (พ.ศ. 2547)

ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
1. ความดันไอ ณ อุณหภูมิ 37.8 °C, กิโลปาสคาล (Vapour pressure at 37.8 °C, kPa)	ไม่สูงกว่า	1,380	ASTM D 1267
2. การกลั่น, °C (Distillation, °C) อุณหภูมิของจุดเดือด เมื่อก๊าซปิโตรเลียมเหลวระเหยไปในอัตราส่วนร้อยละ 95 โดยปริมาตร (95% Evaporated)	ไม่สูงกว่า	2.2	ASTM D 1837
3. ปริมาณเพนเทนและสารอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าเพนเทนต่อก๊าซปิโตรเลียมเหลวโดยปริมาตร, ร้อยละโดยปริมาตร (Pentane and composition content, %vol.)	ไม่สูงกว่า	2.0	ASTM D 2163
4. การกัดกร่อน (Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 1838
5. ปริมาณกำมะถัน, ส่วนในล้านส่วนโดยน้ำหนัก (Sulphur content, ppm by wt.)	ไม่สูงกว่า	140	ASTM D 2784
6. ปริมาณกากหลังการระเหยของก๊าซปิโตรเลียมเหลว 100 มล., มิลลิลิตร (Residue, ml)	ไม่สูงกว่า	0.05	ASTM D 2158
7. ปริมาณน้ำ (Water content)		ไม่มี	ตรวจพินิจด้วยสายตา
8. สารที่ให้กลิ่นซึ่งไวต่อความรู้สึก (Odorant)		มี	ตรวจด้วยวิธีดมกลิ่น

หมายเหตุ: วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดนี้

ตารางที่ 6-5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

ประเภทเชื้อเพลิง	ชนิดเชื้อเพลิง	ค่าความร้อนสูง	หน่วย	ค่าความร้อนต่ำ	หน่วย
เชื้อเพลิงแข็ง	ถ่านหินบิทูมินัส	26.37	MJ/kg		
	ถ่านหินลิกไนต์	10.47	MJ/kg		
	ขี้เลื่อย	10.88	MJ/kg		
	ชานอ้อย	7.53	MJ/kg		
	กระลืนยักษ์	16,780	kJ/kg		
	ยูคาลิปตัส	18,870	kJ/kg		
	กระถินเทพา	20,170	kJ/kg		
	เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	18,821	kJ/kg		
	ปีกไม้ยางพารา	19,579	kJ/kg		
	ซังข้าวโพด	15,580	kJ/kg		
	แกลบ	12,393	kJ/kg		
	กะลามะพร้าว	15,945	kJ/kg		
	ทางปาล์ม	14,777	kJ/kg		
	กะลาปาล์ม	10,126	kJ/kg		
	กากมันสำปะหลัง	14,407	kJ/kg		
	เปลือกมันสำปะหลัง	14,591	kJ/kg		
	ขี้เหล็ก	25,080	kJ/kg		
	ประดู่	20,920	kJ/kg		
	สะเดา (เทียม)	16,700	kJ/kg		
	สะเดา (บ้าน)	18,000	kJ/kg		
เชื้อเพลิงเหลว	น้ำมันเตากำมะถันต่ำ	42.72	MJ/L	40.11	MJ/L
		44.50	MJ/kg	41.78	MJ/kg
	น้ำมันเตากำมะถันสูง	41.18	MJ/L	38.67	MJ/L
		42.90	MJ/kg	40.28	MJ/kg
	น้ำมันดีเซล	38.60	MJ/L	36.24	MJ/L
		45.95	MJ/kg	43.14	MJ/kg
	น้ำมันเบนซิน	34.48	MJ/L	32.38	MJ/L
		46.59	MJ/kg	43.76	MJ/kg
เชื้อเพลิงก๊าซ	ก๊าซธรรมชาติ	38.45	MJ/m^3	34.33	MJ/m^3
		51.27	MJ/kg	45.77	MJ/kg
	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	26.50	MJ/L	23.67	MJ/L
		50.00	MJ/kg	44.66	MJ/kg
พลังงานไฟฟ้า	ไฟฟ้า	3.60	MJ/kWh	3.60	MJ/kWh

หมายเหตุ: ค่าความร้อนจริงของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดอาจแตกต่างจากค่าในตารางเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของเชื้อเพลิงและกรรมวิธีในการหาค่าความร้อน

6.2 การเผาไหม้

พลังงานที่ใช้ทั้งหมดในโลกปัจจุบันกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ (ทั้งที่เป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล และไม่ใช่เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ชีวมวล) อาศัยขบวนการเผาไหม้เป็นหลักเพื่อแปรรูปเป็นความร้อนหรืองานมาใช้ประโยชน์ การควบคุมดูแลการเผาไหม้ของหม้อน้ำอย่างถูกต้องสม่ำเสมอเพื่อลดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการเผาไหม้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการดำเนินการด้านการประหยัดพลังงานและยังสามารถช่วยลดมลพิษต่อสภาวะแวดล้อมอีกด้วย

การเผาไหม้ คือ ปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยาออกซิไดส์ ระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะให้ความร้อนจำนวนมากออกมา (Exothermic reaction) องค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดนี้จะต้องเกิดขึ้นพร้อมในเวลาเดียวกันจึงจะทำให้มีการเผาไหม้ขึ้นได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วออกซิเจนนั้นจะได้มาจากอากาศที่อยู่ภายในบริเวณของการเผาไหม้ หลักการเบื้องต้นของกระบวนการเผาไหม้แสดงได้ดังรูปที่ 6-2 โดยทั่วไปเชื้อเพลิงที่ใช้มักจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน หรือมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อเกิดการเผาไหม้ปฏิกิริยาจะเป็นดังนี้

$C + O_2 \longrightarrow CO_2 + 94{,}050$ kcal/kmol

(ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของคาร์บอน)

$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow H_2O + 68{,}320$ kcal/kmol

(การเกิดน้ำจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของไฮโดรเจน)

และถ้าเชื้อเพลิงมีกำมะถันเจือปนอยู่ในเชื้อเพลิงจะเกิดปฏิกิริยา

$S + O_2 \longrightarrow SO_2 + 70{,}960$ kcal/kmol

หากปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยาข้างต้น มีความสมดุลกับปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน อย่างพอดี จะเรียกว่าอากาศที่ใช้ในการสันดาปนี้ว่า **อากาศที่มีปริมาณออกซิเจนตามทฤษฎี (Theoretical air)** ซึ่งในกรณีของเชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงเหลว ปริมาณอากาศที่ใช้จริงที่มีปริมาณออกซิเจนตรงตามทฤษฎีสามารถหาได้จาก

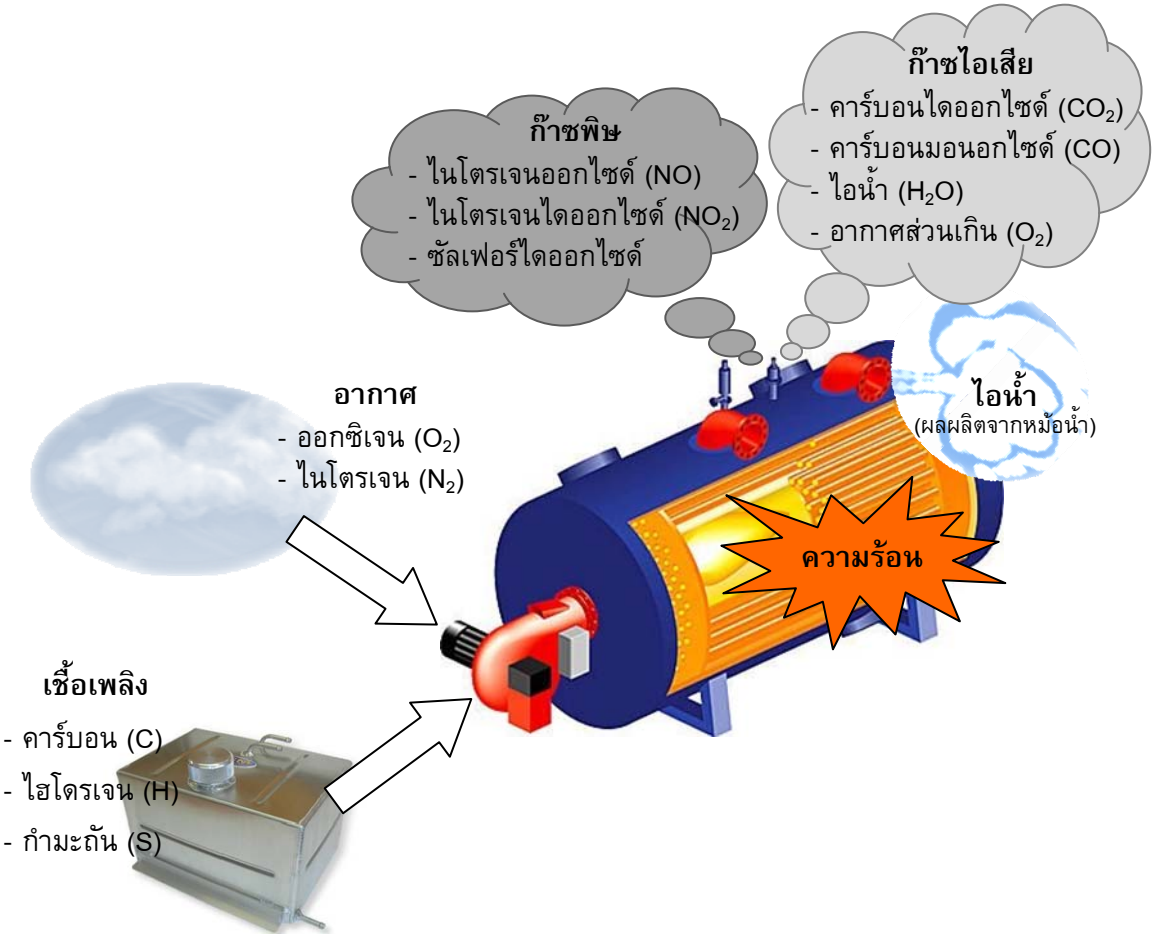
$$A_o = 8.89C + 26.7(H - O/8) + 3.33S$$

โดยที่ A_o คือ ปริมาณอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนตามทฤษฎี, kg

C, H, O, และ S คือ มวลของธาตุขององค์ประกอบที่อยู่ในเชื้อเพลิง, kg

ส่วนกรณีของเชื้อเพลิงก๊าซ ปริมาณอากาศที่ใช้จริงที่มีปริมาณออกซิเจนตรงตามทฤษฎีสามารถหาได้จาก

$$A_o = (1/0.21)(0.5H_2 + 0.5CO + 2CH_4 + 3.5C_2H_4 + 3C_2H_4 + 6.5C_4H_{10} - O_2)$$



รูปที่ 6-2 หลักการเบื้องต้นของกระบวนการเผาไหม้

ในทางปฏิบัติ เป็นการยากที่จะควบคุมให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยใช้ปริมาณอากาศเท่ากับที่ต้องการตามทฤษฎีได้ เนื่องจาก

- การผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ทุกโมเลกุล
- การเผาไหม้อากาศกับเชื้อเพลิงต้องการเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
- คุณสมบัติของเชื้อเพลิงในการเกิดปฏิกิริยา
- ระบบการเผาไหม้

จากสาเหตุดังกล่าวข้างต้น หากป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ในปริมาณที่พอดีกับค่าทางทฤษฎีแล้ว เป็นการยากที่จะทำให้ออกซิเจนทุกตัวผสมผสานกับธาตุต่างๆ ในเชื้อเพลิงได้หมดและทั่วถึงกัน จึงเป็นผลให้เกิดการเผาไหม้ในลักษณะอากาศไม่เพียงพอ ปฏิกิริยาการสันดาปข้างต้นจึงเปลี่ยนเป็น

$C + ½O_2 \longrightarrow CO + 26{,}410$ kcal/kmol

(ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของคาร์บอน)

ปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกจะได้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซึ่งเป็นก๊าซพิษออกมา และมีความร้อนบางส่วนหายไปจากปฏิกิริยานี้ อย่างไรก็ตามก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สามารถเผาไหม้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้หากมีออกซิเจนเพิ่มเติมเข้ามาในปฏิกิริยาขั้นที่สอง

$CO + ½O_2 \longrightarrow CO_2 + 67{,}640$ kcal/kmol

(ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของคาร์บอนมอนนอกไซด์)

ส่วนเชื้อเพลิงที่ไม่ได้รับการสันดาปกับออกซิเจนจะเกิดเป็นควันของคาร์บอน ก๊าซไฮโดรเจน หรือก๊าซไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ซึ่งเท่ากับเป็นการสูญเสียเชื้อเพลิงทิ้งออกไป

การเผาไหม้ที่อากาศไม่เพียงพอนี้ จะให้พลังงานความร้อนออกมาน้อยกว่าการเผาไหม้สมบูรณ์ เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ เขม่า และควันสีดำ ในทางปฏิบัติการเผาไหม้จริงๆ จำเป็นต้องป้อนอากาศให้เกินกว่าความต้องการในเชิงทฤษฎี อากาศส่วนนี้เรียกว่า **อากาศส่วนเกิน (Excess air)** อย่างไรก็ตาม การป้อนอากาศมากจนเกินไปจะเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนออกไปกับก๊าซไอเสียอย่างมาก เพราะออกซิเจนและไนโตรเจนในอากาศที่เกินมานี้มิได้ทำปฏิกิริยาใดๆ ในการเผาไหม้นอกจากจะดูดพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้และพาออกทิ้งยังปล่องระบายไป

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงก๊าซต้องการอากาศส่วนเกินน้อย โดยอยู่ระหว่าง 5-10% โดยปริมาตร เนื่องจากการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงก๊าซดีและเร็ว ส่วนเชื้อเพลิงเหลวต้องการอากาศส่วนเกินระหว่าง 15-20% โดยปริมาตร และเชื้อเพลิงแข็งต้องการอากาศส่วนเกินระหว่าง 15-60% โดยปริมาตร ขึ้นอยู่กับลักษณะการเผาไหม้ (ขนาดเม็ดเชื้อเพลิงแข็ง หรือระบบการเผาไหม้) ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมตามเชื้อเพลิงและระบบการเผาไหม้แสดงในตารางที่ 6-6

ตารางที่ 6-6 ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมตามเชื้อเพลิงและระบบการเผาไหม้

ชนิดเชื้อเพลิง	ชนิดของหัวเผาหรือห้องเผาไหม้	อากาศส่วนเกิน
ถ่านหินบดละเอียด	- ห้องเผาไหม้แบบผนังเปียกทุกด้าน	15-20%
	- ห้องเผาไหม้ผนังเปียกบางส่วน	15-40%
ถ่านหิน	- ห้องเผาไหม้ที่ใช้เครื่องป้อนถ่านหินแบบกระจาย	30-60%
	- ห้องเผาไหม้ที่ใช้เครื่องป้อนถ่านหินแบบตะแกรงสั่น	30-60%
	- ห้องเผาไหม้ที่ใช้เครื่องป้อนถ่านหินแบบสายพานตะแกรง	15-50%
	- ห้องเผาไหม้ที่ใช้เครื่องป้อนถ่านหินด้านล่าง	20-50%
ไม้	ห้องเผาไหม้ทุกประเภท	20-25%
ชานอ้อย	ห้องเผาไหม้ทุกประเภท	25-35%
น้ำมัน	- หัวเผาน้ำมัน	5-10%
	- หัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงหลายชนิด และหัวเผาแบบเปลวไฟแบน	10-20%
ก๊าซธรรมชาติ	- หัวเผาก๊าซ	5-10%
	- หัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงหลายชนิด	7-12%

6.3 หัวเผา

หัวเผาเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ป้อนเชื้อเพลิงเหลวหรือเชื้อเพลิงก๊าซ และอากาศเข้าผสมกัน ก่อให้เกิดการเผาไหม้ในอัตราที่เหมาะสม และได้เป็นพลังงานความร้อนออกมา ในกรณีหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งทั่วไปจะไม่มีการใช้หัวเผา แต่จะใช้ห้องเผาไหม้แทน ส่วนในกรณีที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง และสามารถบดโม่ถ่านหินให้มีขนาดเล็กเท่าผงแป้งได้ จะสามารถเลือกใช้หัวเผาถ่านหิน (Coal burner) ได้ การแบ่งชนิดหัวเผาต้องทำการแบ่งจากชนิดเชื้อเพลิงเป็นอันดับแรก โดยสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มหลักได้แก่ หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว และหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ

6.3.1 หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว

หัวเผาเชื้อเพลิงเหลวหรือน้ำมัน (Liquid fuel burner) ทุกประเภทจะมีขั้นตอนการทำงานที่สำคัญเหมือนกัน 2 ขั้นตอน คือ Filming ซึ่งเป็นขั้นตอนทำให้น้ำมันก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์มบางมากๆ (Oil film) และ Disintegration คือขั้นตอนทำให้แผ่นน้ำมันบางที่เกิดจากขั้นตอนแรกแตกกระจายเป็นอนุภาคเล็กๆ (Oil droplet) โดยอาศัยความไม่เสถียรที่มีอยู่ในตัวของแผ่นน้ำมันบางเองหรือโดยใช้ของไหลอื่นมาทำให้แตกตัว สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวหรือน้ำมันสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

1) หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมัน

หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมัน (Pressure atomized burner) ทำงานได้โดยอาศัยความดันของน้ำมันเพื่อฉีดให้เป็นฝอย หัวเผาแบบนี้เหมาะสำหรับหม้อน้ำขนาดใหญ่ เช่น ในเรือเดินสมุทรและในโรงจักรไฟฟ้า หัวเผาชนิดนี้ทำงานโดยการปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงภายใต้ความดันสูง (70-300 psi) และมีความหนืดต่ำประมาณ 50-120 sec Redwood No.1 (ส่วนใหญ่จะต้องมีการอุ่นน้ำมันให้ร้อนเพื่อลดความหนืดก่อนที่จะป้อนเข้าหัวเผา) ผ่านไปยังรูเล็กๆ เพื่อให้ได้ผลของการเผาไหม้ที่ดี น้ำมันจะถูกอัดผ่านช่องทางเล็กๆ ใน Swirl chamber ทำให้ฝอยน้ำมันที่ออกมามีความเร็วทั้งที่พุ่งไปข้างหน้าและความเร็วหมุนรอบตัว (Rotational velocity) โดยมีทิศสวนทางกับการหมุนเหวี่ยงของอากาศที่ป้อนเข้าเผาไหม้ เพื่อให้ได้การคลุกเคล้า (Mixing) ที่ดี ทำให้ฝอยละเอียดของน้ำมันระเหยเป็นไอได้รวดเร็ว การผสมกันระหว่างน้ำมันกับอากาศเกิดขึ้นอย่างดียิ่งขึ้น ส่งผลทำให้ได้การเผาไหม้สมบูรณ์และสะอาด หัวเผาแบบนี้ใช้งานได้สะดวกเพราะสามารถปรับความดันและอัตราการไหลของน้ำมันได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือรูของหัวเผามักจะมีฝุ่นผงหรือสิ่งสกปรกอื่นๆ ไปอุดตันบ่อย จึงต้องทำความสะอาดบ่อย และทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันด้วย ลักษณะ หลักการทำงาน และอุปกรณ์ของหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมันแสดงได้ดังในรูปที่ 6-3

หัวฉีดที่ใช้ในหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมัน สามารถแบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำมันผ่านหัวฉีดได้เป็น 2 แบบ คือ

(ก) หัวฉีดแบบไม่มีน้ำมันไหลกลับ (Non-oil return or non-recirculation nozzle)

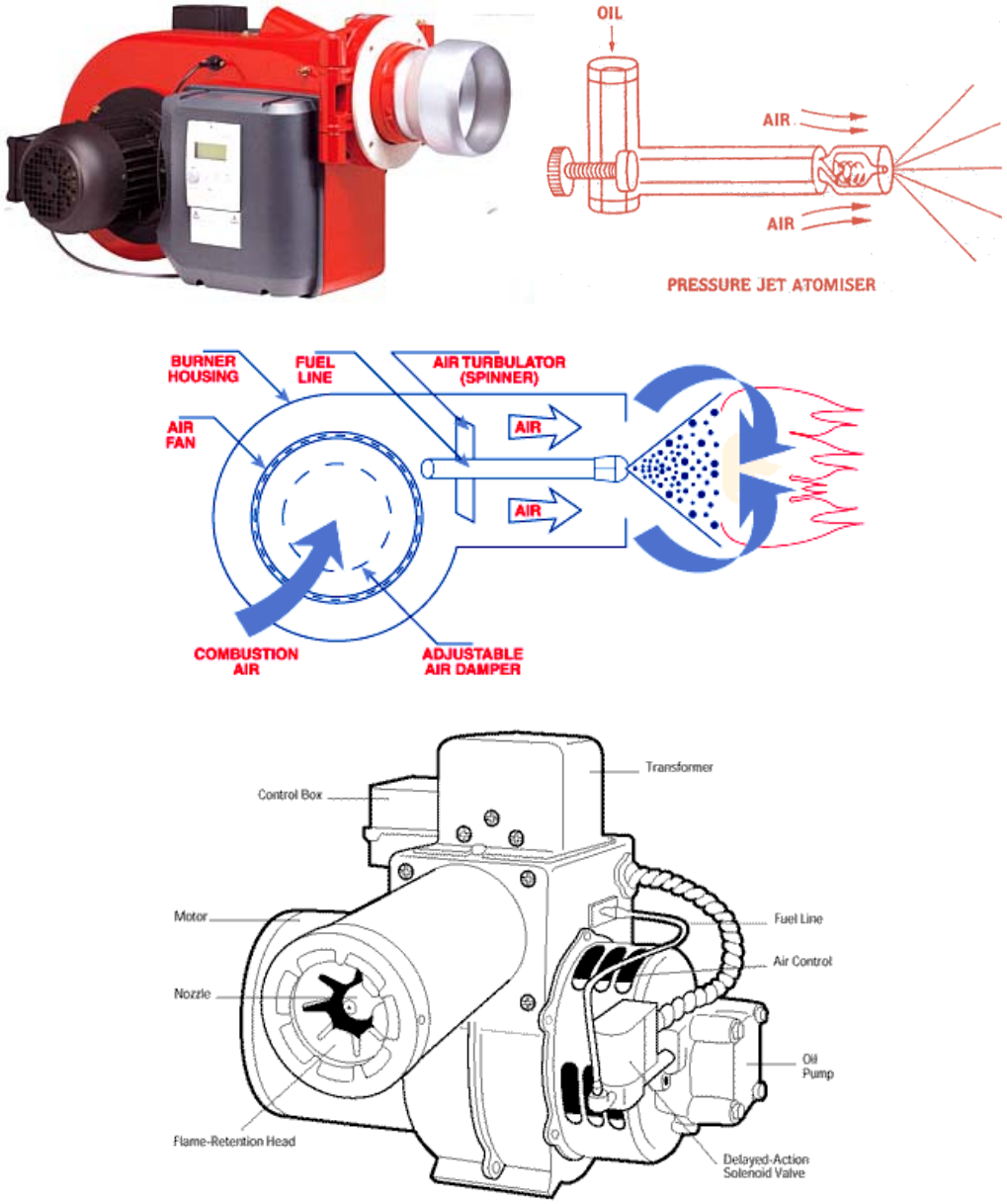
(ข) หัวฉีดแบบมีน้ำมันไหลกลับ (Oil return or recirculation nozzle)

ข้อดีของหัวเผาแบบใช้ความดันน้ำมัน ได้แก่

- โครงสร้างเรียบง่าย ใช้งานง่ายและราคาถูก
- มีหลายขนาดให้เลือกเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน
- สามารถปรับรูปร่างของเปลวไฟได้

ส่วนข้อเสียของหัวเผาแบบใช้ความดันน้ำมัน ได้แก่

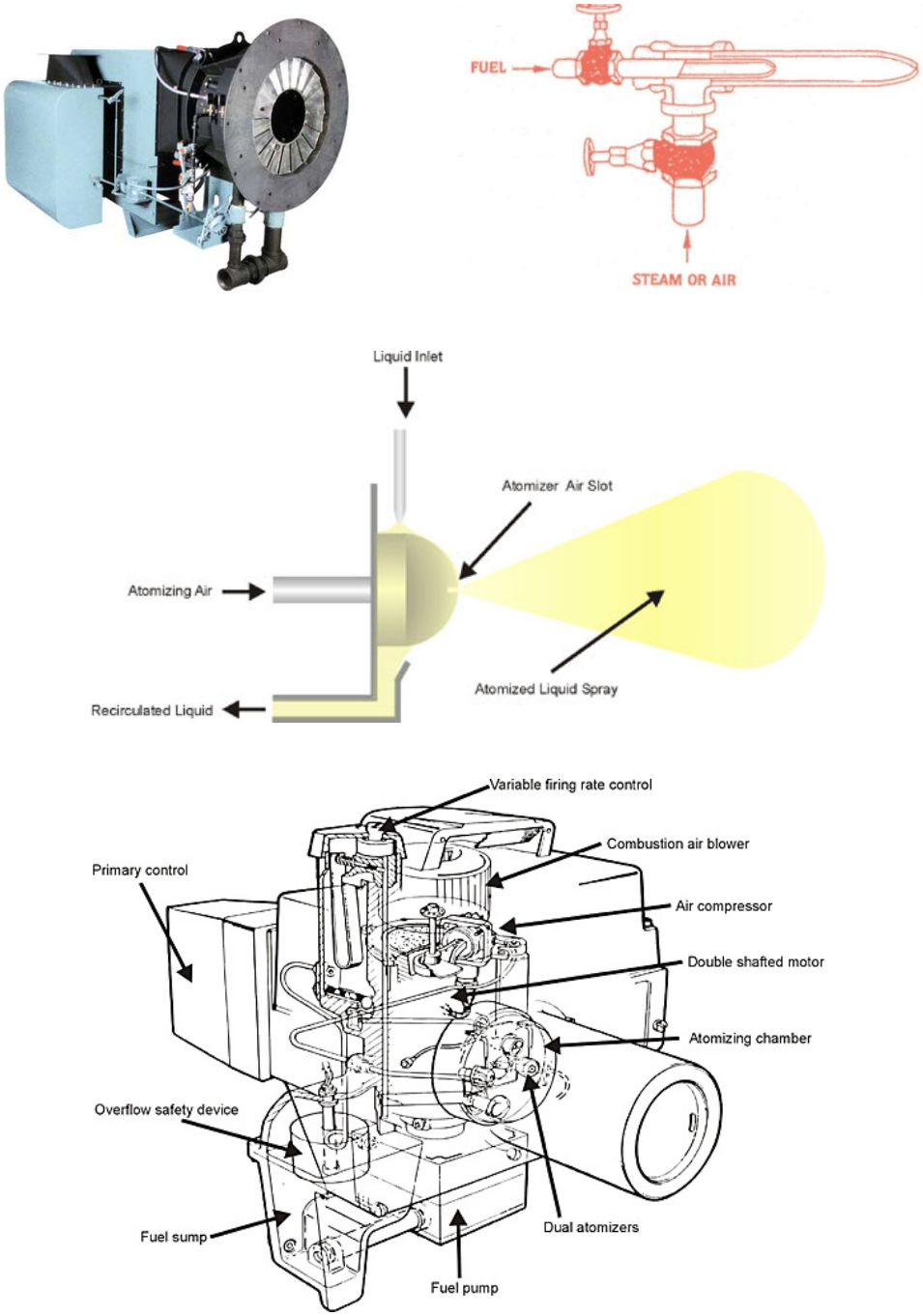
- ให้ค่าสัดส่วน Turn-down ต่ำ (อัตราส่วนของการสิ้นเปลืองน้ำมันสูงสุดกับต่ำสุด) ดังนั้นถ้าจะให้ภาระการสันดาปเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงกว้าง จำเป็นต้องเพิ่มจำนวน Atomizer ให้มากขึ้น
- ทำงานในลักษณะ On-off เท่านั้น และใช้งานในสภาวะภาระทางความร้อนไม่เปลี่ยนแปลง
- ใช้ปั๊มน้ำมันความดันสูง และต้องการอุณหภูมิในการอุ่นน้ำมันที่สูง
- น้ำมันที่สกปรกจะทำให้หัวเผาอุดตันจึงต้องมีการกรองน้ำมันอย่างละเอียด
- เกิดความเสียหายได้ง่ายระหว่างการทำความสะอาด



รูปที่ 6-3 หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมัน

2) หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ไอน้ำหรืออากาศ

หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ไอน้ำหรืออากาศ (Steam or air atomized burner) หรือที่เรียกว่าหัวเผาแบบของไหลคู่ (Twin-fluid atomized burner) เป็นหัวเผาที่ใช้ลมหรือไอน้ำเพื่อฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นฝอย หลักการทำงานของหัวเผาแบบนี้คือจะมีน้ำมันไหลผ่านในท่อขนาดเล็กซึ่งวางเรียงตัวกันอยู่ด้านในของท่อใหญ่ โดยมีอากาศหรือไอน้ำภายใต้ความดันสูงไหลผ่านในท่อด้านนอก ที่ปลายท่อทั้งสอง น้ำมันและอากาศหรือไอน้ำ จะถูกเป่าให้กระทบกันจึงทำให้น้ำมันแตกตัวเป็นฝอยเล็กๆ ลักษณะ หลักการทำงาน และอุปกรณ์ของหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ไอน้ำหรืออากาศแสดงได้ดังรูปที่ 6-4



รูปที่ 6-4 หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ไอน้ำหรืออากาศ

หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ไอน้ำหรืออากาศแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามความดันของลมหรือไอน้ำที่ใช้ในการเป่ากระทบให้น้ำมันเป็นฝอย ดังนี้

(ก) หัวเผาแบบความดันต่ำ (Low pressure burner)

ใช้อากาศความดันประมาณ 1.08 บาร์ ปริมาณของอากาศที่เป่ากระทบเท่ากับ 25-40% ของอากาศที่ต้องการใช้เพื่อทำให้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เหมาะสำหรับหม้อน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง

(ข) หัวเผาแบบความดันปานกลาง (Medium pressure burner)

ใช้อากาศความดันระหว่าง 1.25-2.00 บาร์ ในการเป่ากระทบ ปริมาณอากาศที่ใช้เป่ากระทบเท่ากับ 3-5% ของอากาศทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ หัวเผาประเภทนี้ส่วนใหญ่จะนำมาใช้กับเตาถลุงโลหะ

(ค) หัวเผาแบบความดันสูง (High pressure burner)

ใช้อากาศที่มีความดันประมาณ 2.00-4.45 บาร์ ปริมาณอากาศที่ใช้เป่ากระทบเท่ากับ 2-3% ของอากาศทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

ข้อดีของหัวเผาแบบใช้ไอน้ำหรืออากาศ ได้แก่

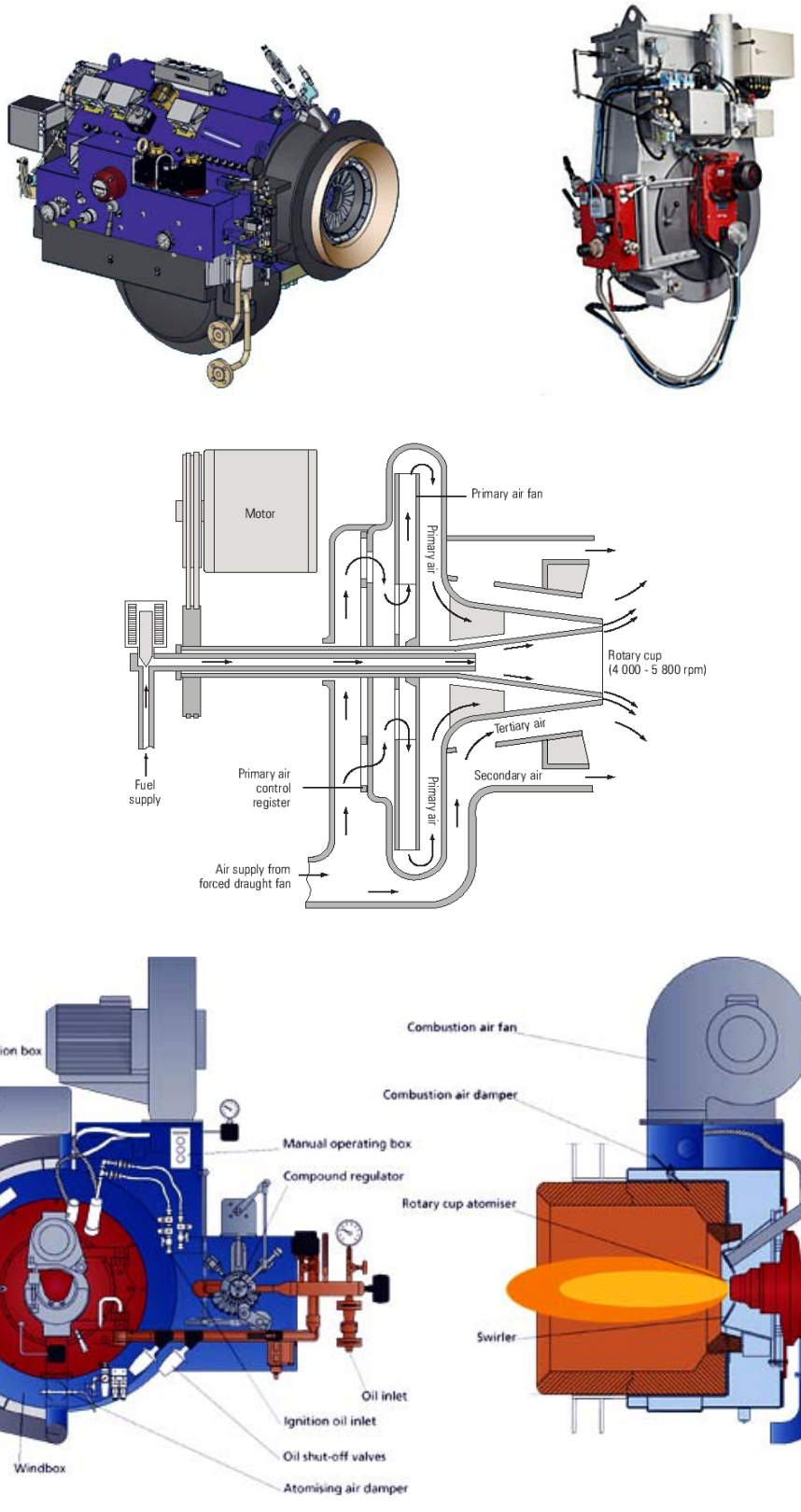
- มีโครงสร้างที่แข็งแรง
- ให้ค่าเทิร์นดาวน์เรโช (Turn down ratio) สูง คือ 4:1
- ใช้น้ำมันความดันต่ำ
- ให้ขนาดของ Droplet เล็กกว่า
- ให้การผสม (Mixing) ระหว่าง Droplet กับอากาศดีกว่า
- ตอบสนองต่อภาระทางความร้อน (Thermal load) ได้เร็วกว่า
- ในกรณีซึ่งของไหลที่ทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำมันเป็นไอน้ำจะสามารถช่วยลดการก่อตัวของคาร์บอนลงได้ โดยที่ประสิทธิภาพของการเผาไหม้เกือบจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ปริมาณของไอน้ำต่ำกว่า 9% ของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

ส่วนข้อเสีย คือค่าใช้จ่ายแพงกว่าเนื่องจากมีการใช้พลังงานเพื่ออัดอากาศหรือไอน้ำ

3) หัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน

หัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน (Rotary cup burner) อาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อกระจายน้ำมันให้เป็นฝอย การทำงานของหัวเผาชนิดนี้คือ น้ำมันจะถูกป้อนทางท่อด้านในของกรวยที่กำลังหมุนรอบแกนด้วยความเร็วรอบประมาณ 3,500-4,000 รอบต่อนาที แรงหนีศูนย์กลางจะทำให้น้ำมันจะถูกเหวี่ยงไปแนบกับผนังด้านในถ้วยแผ่ออกเป็นแผ่นบาง และถูกสะบัดออกจากปากถ้วยมาพบกับอากาศปฐมภูมิ (Primary air) ที่หมุนเหวี่ยงออกมาจากหัวฉีดอากาศ (Air nozzle) ที่อยู่รอบถ้วยในทิศตรงกันข้ามกับการหมุนเหวี่ยงของน้ำมัน ทำให้ฟิล์มน้ำมันถูกตีแผ่และกระจายออกมาเป็นฝอยละเอียด จากนั้นจึงระเหยเป็นไอ และติดไฟทันที อากาศส่วนแรกนี้ถูกใช้ไปประมาณ 15-20% ของอากาศทั้งหมด ส่วนอากาศทุติยภูมิ (Secondary air) จะไหลทางด้านข้างของหัวเผา หัวเผาแบบนี้เหมาะที่จะใช้กับน้ำมันที่มีความหนืดสูง เช่น น้ำมันเตา เป็นต้น ซึ่ง

ในบางกรณีอาจไม่จำเป็นต้องอุ่นน้ำมันให้ร้อนก่อน ลักษณะ หลักการทำงาน และอุปกรณ์ของหัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุนแสดงดังรูปที่ 6-5



รูปที่ 6-5 หัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน

ข้อดีของหัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน ได้แก่

- มีความเชื่อถือได้สูง ใช้งานได้สะดวก
- สามารถใช้ได้กับอัตราการป้อนน้ำมันซึ่งไม่คงที่ได้ โดยสามารถให้ละอองน้ำมันที่ละเอียดสม่ำเสมอกันตลอดช่วงอัตราการป้อนน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไป
- สามารถปรับอัตราการป้อนน้ำมันได้สูง หรือให้ค่าสัดส่วน Turn-down สูง คือ 10:1 โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนของหัวเผา
- ไม่มีปัญหาเรื่องอุดตันของน้ำมันเพราะท่อทางไหลในตัวหัวเผามีขนาดใหญ่
- ความดันป้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำ ง่ายต่อการทำงาน
- สามารถควบคุมขนาดของหยดเชื้อเพลิง (Oil droplet) ได้ง่าย เพียงแต่ควบคุมความเร็วรอบของถ้วยหมุน เพราะขนาดเฉลี่ยของหยดเชื้อเพลิงเป็นสัดส่วนผกผันกับความเร็วรอบของการหมุนของถ้วย

ส่วนข้อเสียของหัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน ได้แก่

- การบำรุงรักษาซับซ้อนยุ่งยากและราคาแพง
- ต้องใช้ไฟฟ้าเพื่อหมุนถ้วย
- การสึกหรอมักเกิดที่ขอบถ้วย ทำให้น้ำมันแตกเป็นฝอยละเอียดไม่สม่ำเสมอ
- อาจเกิดตะกอนน้ำมันสะสมภายในถ้วย จึงจำเป็นต้องถอดออกทำความสะอาดบ่อยๆ

หัวเผาเชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่แล้วนำเข้าจากประเทศต่างๆ หลายประเทศ และมีหลากหลายยี่ห้อ ซึ่งสามารถสรุปยี่ห้อตามชนิดของหัวเผาได้ดังนี้

(ก) หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมัน มียี่ห้อ Weishaupt/Monarch, Olympia, Elco Klockner, Bentone, Baltur Riello, Oertli, Nuway, Ray Henchel, และ Wanson (Thermo Pac) เป็นต้น

(ข) หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้อากาศ มียี่ห้อ Cleaver Brooks, Kewanee, Yorkshipley, Ray, และ Hauwk เป็นต้น

(ค) หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ไอน้ำ มียี่ห้อ IHI, Takuma, และ Kure เป็นต้น

(ง) หัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน มียี่ห้อ Saacke, Hamworthy, MP.Boiler, Sunray, และ Ray เป็นต้น

6.3.2 หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ

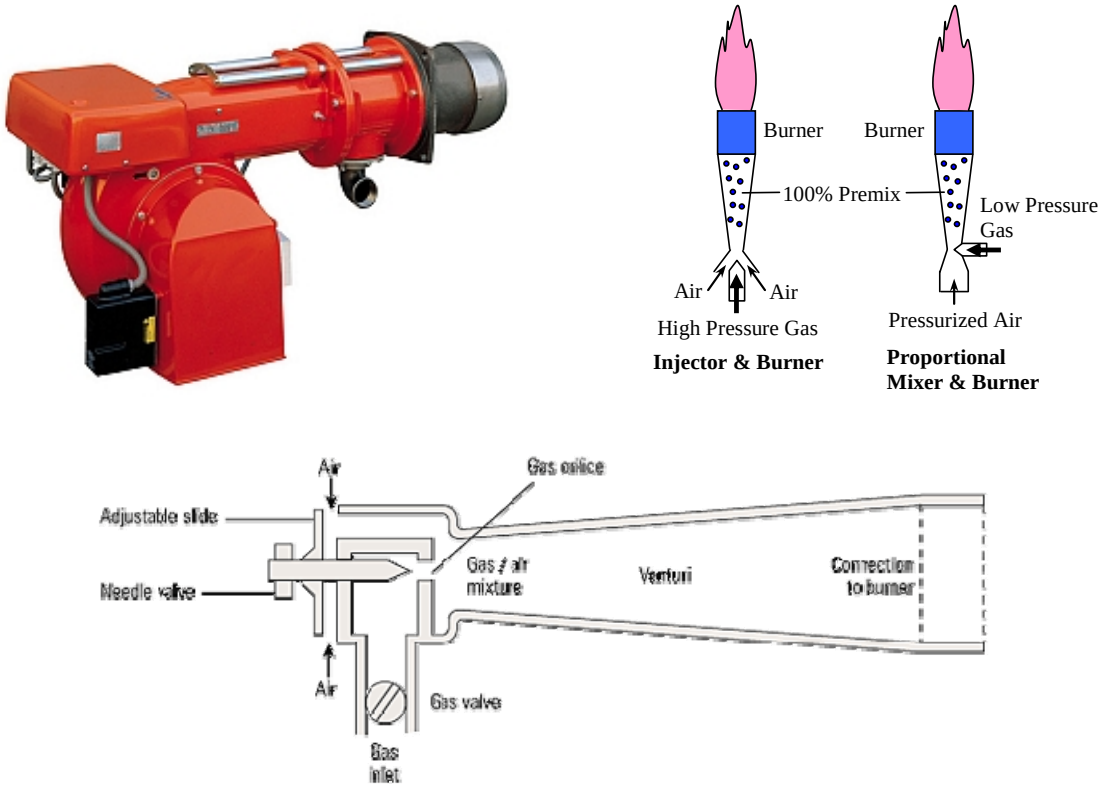
หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ (Gas fuel burner) คือหัวเผาที่ออกแบบมาสำหรับใช้ในการสันดาปเชื้อเพลิงก๊าซ สามารถแบ่งหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซตามขั้นตอนในการผสมเชื้อเพลิงก๊าซกับอากาศได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1) หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซแบบผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนป้อนเข้าเผาไหม้ (Pre-mix gas burner)

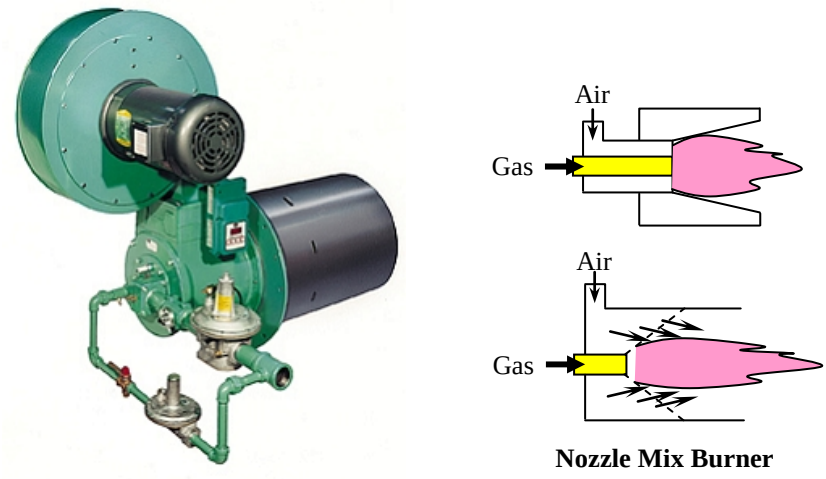
หัวเผาลักษณะนี้จะมีห้องผสมเชื้อเพลิงก๊าซให้เข้ากันกับอากาศก่อนที่จะป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้หรือหัวเผา ลักษณะ และหลักการทำงานของหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซแบบผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนป้อนเข้าเผาไหม้แสดงได้ดังรูปที่ 6-6

2) หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซแบบผสมกันภายในหัวเผา (Nozzle-mix gas burner)

หัวเผาลักษณะนี้จะไม่มีห้องผสมเชื้อเพลิงก๊าซให้เข้ากันกับอากาศ แต่จะมีการป้อนเชื้อเพลิงก๊าซและอากาศเข้าพร้อมกันที่บริเวณด้านหน้าหัวเผา ดังนั้นเชื้อเพลิงและอากาศจะผสมกันและเกิดการสันดาปขึ้นที่บริเวณหน้าหัวเผา ลักษณะ และหลักการทำงานของหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซแบบผสมกันภายในหัวเผาแสดงได้ดังรูปที่ 6-7



รูปที่ 6-6 หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซแบบผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนป้อนเข้าเผาไหม้



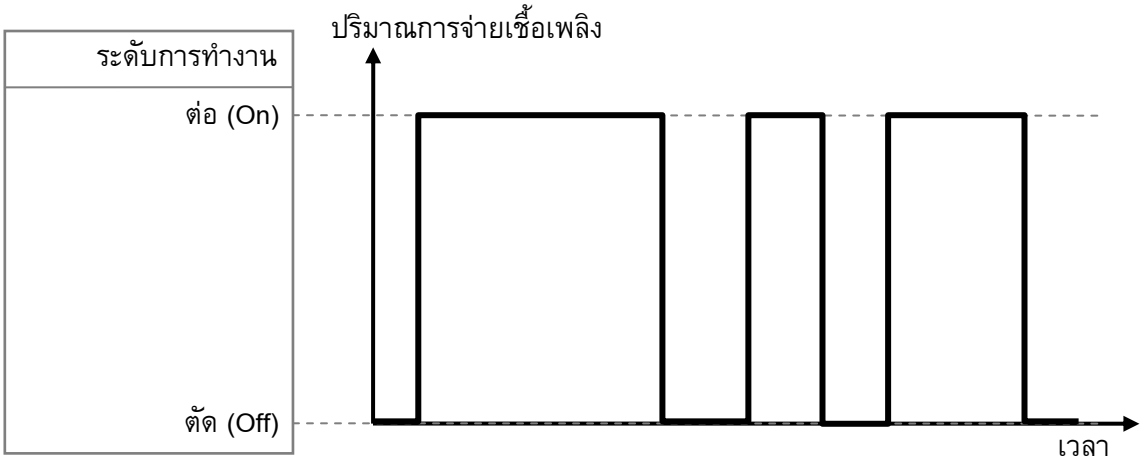
รูปที่ 6-7 หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซแบบผสมกันภายในหัวเผา

6.3.3 การควบคุมหัวเผา

นอกจากจะแบ่งประเภทของหัวเผาตามชนิดเชื้อเพลิงแล้ว ยังสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการควบคุมการทำงานของหัวเผา ซึ่งการควบคุมการทำงานของหัวเผา คือ การควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศให้เหมาะสมกับภาระทางความร้อน (Heat load) ของหม้อน้ำ การควบคุมการทำงานของหัวเผาที่ดีส่งผลให้เกิดการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ และมีต้นทุนที่เหมาะสม สามารถจัดแบ่งหัวเผาตามลักษณะการควบคุมการทำงานได้ดังนี้

1) หัวเผาแบบตัด-ต่อ

หัวเผาแบบตัด-ต่อ (On-off burner) หรือหัวเผาแบบไฟคงที่ (Constant-fire burner) หรือหัวเผาแบบขั้นเดียว (Single stage burner) จ่ายเชื้อเพลิงโดยใช้หัวฉีดเพียงหัวเดียว หลักการทำงานคือ หลังจากหม้อน้ำเริ่มทำงาน โซลินอยด์วาล์วจะเปิดให้หัวฉีด ฉีดเชื้อเพลิงออกด้วยอัตราสูงสุด เรียกสภาวะนี้ว่า ต่อ (On) เมื่อความดันไอน้ำสูงเกินจุดที่ตั้งไว้ เนื่องจากอัตราการผลิตไอน้ำถึงจุดสูงสุดหรือปริมาณความต้องการใช้ไอน้ำลดลง จะมีสัญญาณมาปิดโซลินอยด์วาล์วเพื่อให้หัวฉีดหยุดทำงาน เรียกสภาวะนี้ว่า ตัด (Off) และเมื่อความดันไอน้ำลดต่ำลงถึงจุดที่ตั้งไว้ ก็จะมีสัญญาณมาสั่งให้โซลินอยด์วาล์วเปิดหัวฉีดอีกรอบ การทำงานจะมีลักษณะเป็นวัฏจักรเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ หัวเผาแบบนี้เหมาะสำหรับความต้องการภาระไอน้ำคงที่ เหมาะกับหม้อน้ำเล็กๆ ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และเหมาะกับหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมัน หัวเผาแบบนี้ไม่มีเทิร์นดาวน์เรโช การเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงจึงมีเพียงการตัดและต่อ ดังแสดงในรูปที่ 6-8

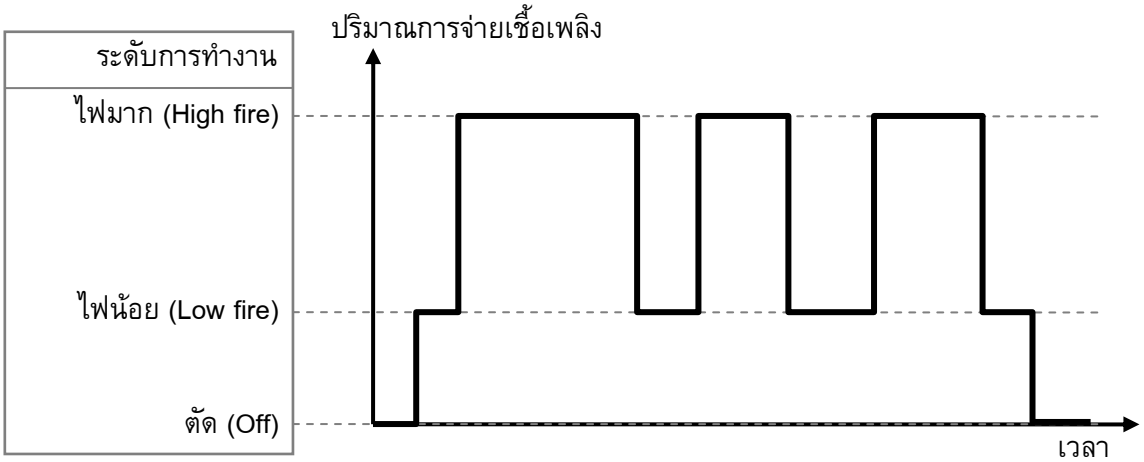


รูปที่ 6-8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงของหัวเผาแบบตัด-ต่อ

2) หัวเผาแบบไฟมาก-น้อย

หัวเผาแบบไฟมาก-น้อย (High/low-fire burner or HF-LF burner) หรือหัวเผาแบบ 2 จังหวะ (Two-stage tuning burner) ประกอบด้วยหัวฉีด 2 หัว ควบคุมอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงโดยการควบคุมการเปิดและปิดโซลินอยด์วาล์วจำนวน 2 ตัว โดยที่ช่วงที่ต้องการอัตราการผลิตไอน้ำน้อย โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 1 จะเปิดให้หัวฉีดตัวที่ 1 ให้ทำงาน ดังนั้นหัวเผาจึงทำงานที่ระดับไฟน้อย (Low fire) และเมื่อต้องการอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุด (Full load) โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2 จะเปิดให้หัวฉีดตัวที่ 2 ฉีดน้ำมันเพิ่มเข้าห้องเผาไหม้ ที่สภาวะนี้

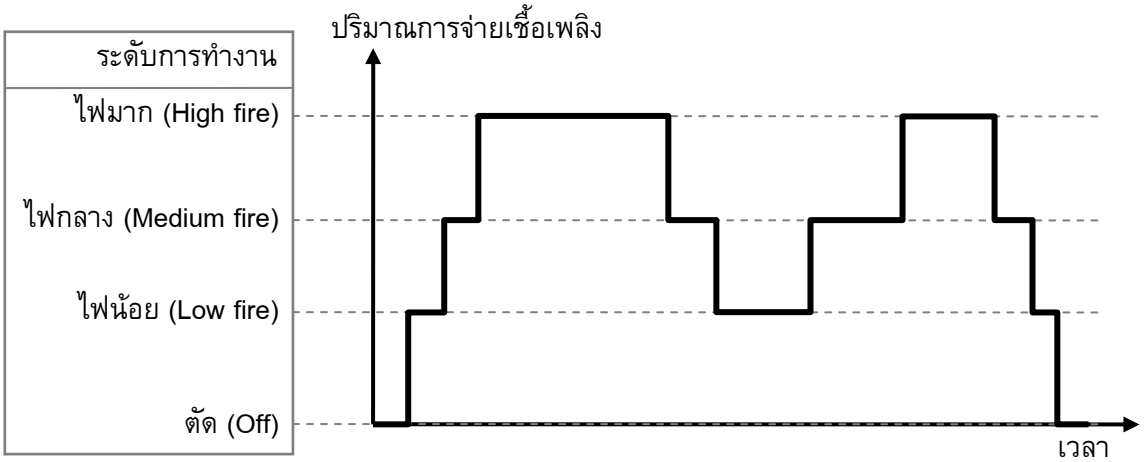
หัวฉีดทั้ง 2 ทำงานพร้อมกันทั้งหมด ดังนั้นหัวเผาจึงทำงานที่ระดับไฟมาก (High fire) การควบคุมแบบนี้ทำให้หัวเผาสามารถรองรับภาระที่เปลี่ยนแปลงของหม้อน้ำได้กว้างกว่าแบบตัด-ต่อ สามารถเลือกขนาดหัวฉีดและจัดเรียงลำดับการทำงานของหัวฉีดได้ตามต้องการ เช่น หัวฉีดตัวที่ 1 ใช้ฉีดเชื้อเพลิง 70% ส่วนหัวฉีดตัวที่ 2 ฉีดเพิ่มอีก 30% รวมเป็น 100% แสดงว่าหัวเผานี้มีเทิร์นดาวน์เรโชประมาณ 1.4:1 หรือหากสลับการจัดเรียงเป็นหัวฉีดตัวที่ 1 ใช้ฉีดเชื้อเพลิง 30% ส่วนหัวฉีดตัวที่ 2 ฉีดเพิ่มอีก 70% หัวเผาที่มีการจัดเรียงการทำงานของหัวฉีดแบบนี้มีเทิร์นดาวน์เรโชประมาณ 3.3:1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงแสดงได้ดังรูปที่ 6-9



รูปที่ 6-9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงของหัวเผาแบบไฟมาก-น้อย

3) หัวเผาแบบไฟมาก-กลาง-น้อย

หัวเผาแบบไฟมาก-กลาง-น้อย (High/medium/low-fire burner or HF-MF-LF burner) หรือหัวเผาแบบ 3 จังหวะ (Three-stage tuning burner) ประกอบด้วยหัวฉีด 3 หัว ควบคุมอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงโดยการควบคุมการเปิดและปิดโซลินอยด์วาล์วจำนวน 3 ตัว โดยที่ช่วงที่ต้องการอัตราการผลิตไอน้ำน้อย โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 1 จะเปิดให้หัวฉีดตัวที่ 1 ให้ทำงาน ดังนั้นหัวเผาจึงทำงานที่ระดับไฟน้อย (Low fire) เมื่อต้องการอัตราการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้น โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2 จะเปิดให้หัวฉีดตัวที่ 2 ทำงานพร้อมกับหัวฉีดตัวที่ 1 ดังนั้นหัวเผาจึงทำงานที่ระดับไฟกลาง (Medium fire) และเมื่อต้องการอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุด (Full load) โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 3 จะเปิดให้หัวฉีดตัวที่ 3 ฉีดน้ำมันเพิ่มเข้าห้องเผาไหม้ ที่สภาวะนี้หัวฉีดทั้ง 3 ทำงานพร้อมกันทั้งหมด ดังนั้นหัวเผาจึงทำงานที่ระดับไฟมาก (High fire) การควบคุมแบบนี้ทำให้หัวเผาสามารถรองรับภาระที่เปลี่ยนแปลงของหม้อน้ำได้กว้างกว่าแบบตัด-ต่อ และหัวเผาแบบไฟมาก-น้อย การเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงแสดงได้ดังรูปที่ 6-10



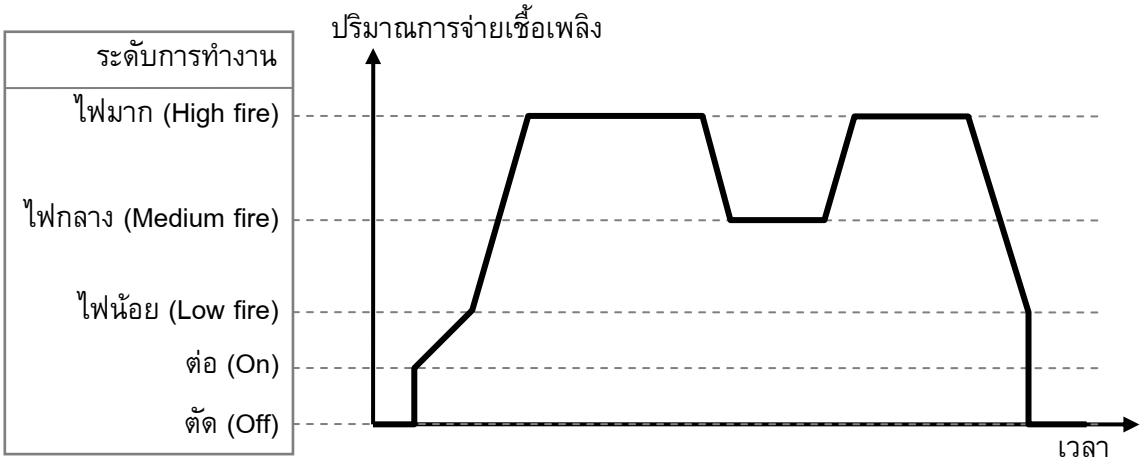
รูปที่ 6-10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงของหัวเผาแบบไฟมาก-กลาง-น้อย

4) หัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่อง

หัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่อง (Modulating burner) เป็นหัวเผาที่มีหัวฉีดหัวเดียว มีหลักการทำงาน คือ ปั๊มจะป้อนน้ำมันไปยังหัวฉีด และออกไปยังวาล์วควบคุมน้ำมัน (Oil regulator) เมื่อเข็มหัวฉีด (Needle nozzle) เปิด น้ำมันบางส่วนถูกฉีดออกไปในปริมาณที่ใช้จุดติดสตาร์ท (Ignition load) ปริมาณน้ำมันส่วนใหญ่จะไหลกลับผ่านวาล์วควบคุมน้ำมัน จากนั้นเซอร์โวมอเตอร์ (Servomotor) จะหมุนขับวาล์วควบคุมน้ำมันช้าๆ ตามความดันไอน้ำที่เพิ่มขึ้นและลดลง เพื่อลดหรือเพิ่มปริมาณน้ำมันที่ฉีดออกจากหัวฉีด ส่วนในขณะเร่งเต็มที่ (Full load) ปริมาณน้ำมันจะฉีดออกทางหัวฉีดในปริมาณมาก และปริมาณน้ำมันส่วนน้อยจะไหลกลับผ่านวาล์วควบคุมน้ำมัน หัวเผาที่มีการควบคุมการทำงานแบบนี้มีจะมีความสามารถในการเร่งไฟขึ้นสุดและหรี่ไฟลงต่ำสุดได้มาก คือ มีเทิร์นดาวน์เรโชสูงตั้งแต่ 3 : 1 จนถึง 10 : 1 เหมาะสำหรับใช้ในหม้อน้ำที่ภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ปริมาณเชื้อเพลิงที่หัวเผาป้อนเพื่อผลิตไอน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการใช้ไอน้ำเพื่อรักษาความดันไอน้ำตามที่กำหนดไว้ กล่าวคือ เมื่อค่าความดันไอน้ำในหม้อน้ำสูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ หัวเผาก็จะลดปริมาณเชื้อเพลิงลง และเมื่อความดันไอน้ำต่ำกว่าที่กำหนดไว้ หัวเผาก็จะเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งหัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่องเป็นประเภทย่อยได้อีก 2 แบบ ตามลักษณะของความต่อเนื่องในการควบคุม ได้แก่

(ก) หัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่องแบบสองขั้นตอน

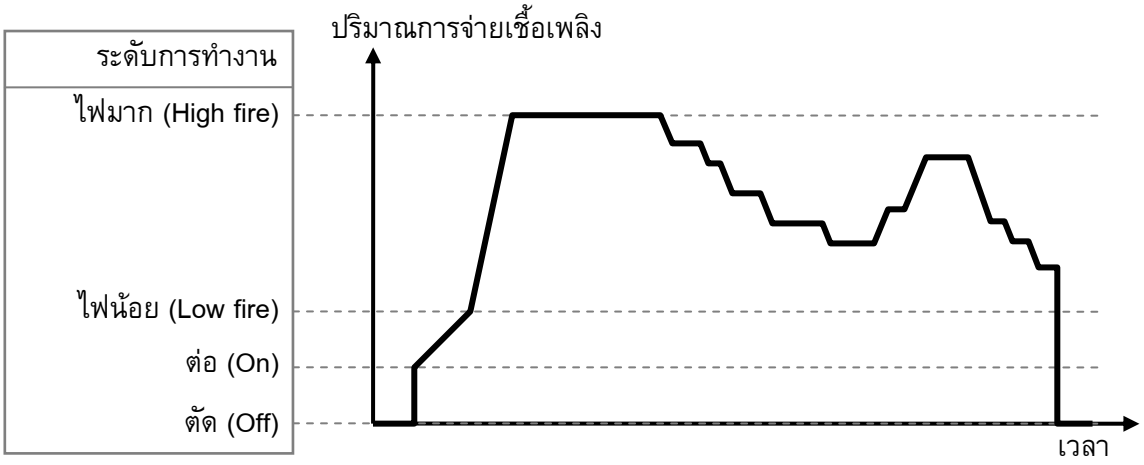
เมื่อหัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่องแบบสองขั้นตอน (Two-stage modulating burner) จะจุดติดไฟครั้งแรกโดยฉีดน้ำมันด้วยปริมาณน้อย เพื่อให้เพียงพอต่อเฉพาะภาระในการจุดติดไฟ (Ignition load) แล้วจึงค่อยๆ เพิ่มปริมาณการฉีดจนถึงภาระสูงสุด (Full load) และเมื่อภาระน้อยลง หัวเผาก็จะหรี่ลงมาหยุดที่ภาระบางส่วน (Partial load) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงระหว่างช่วงไฟน้อยและไฟสูงจึงมีเพียงแค่ 2 ขั้น ดังแสดงในรูปที่ 6-11



รูปที่ 6-11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงของหัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่องแบบสองขั้นตอน

(ข) หัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่องแบบสัดส่วน

หัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่องแบบสัดส่วน (Proportional modulating burner) สามารถควบคุมปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้สอดคล้องกับภาระทางความร้อนของหม้อน้ำได้อย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยวาล์วควบคุมน้ำมัน (Oil regulator) ที่สามารถหรี่ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงลงมาจนถึงระดับต่ำสุดหรือเร่งปริมาณเพิ่มขึ้นไปหยุด ณ ตำแหน่งใดๆ ก็ได้ระหว่างช่วงภาระบางส่วนจนถึงภาระสูงสุด การเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงระหว่างช่วงไฟน้อยและไฟสูงจึงมีลักษณะเป็นคลื่นต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 6-12



รูปที่ 6-12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงของหัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่องแบบสัดส่วน

การเลือกใช้หัวเผาและระบบควบคุมการทำงานของหัวเผากับหม้อน้ำจำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับภาระของไอน้ำ สิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาถึงคือ ค่าเทิร์นดาวน์เรโช (Turn down ratio) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการเผาไหม้สูงสุด (Maximum firing rate) และอัตราการเผาไหม้ต่ำสุด (Minimum firing rate) โดยที่ประสิทธิภาพการเผาไหม้ยังดีเช่นเดิม เช่น หัวเผาที่มีค่าเทิร์นดาวน์เรโช 10:1 จะสามารถลดการผลิตไอน้ำลงเหลือ 10% ของกำลังผลิตไอน้ำสูงสุด โดยที่หัวเผาไม่มีการตัดการเผาไหม้หรือไฟดับ ดังนั้นหาก

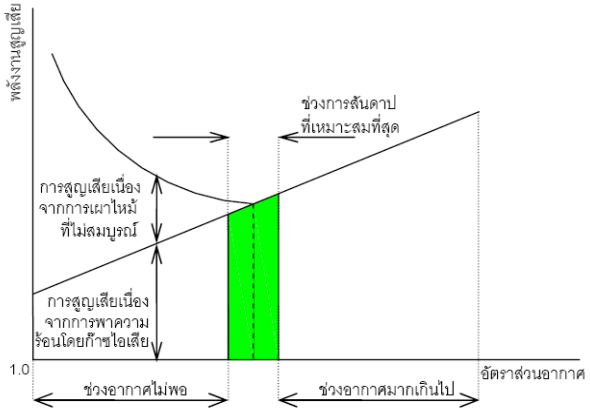
ภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงมาก ควรเลือกหัวเผาและการควบคุมที่มีค่าเทิร์นดาวน์เรโชสูง ซึ่งจะช่วยให้การผลิตไอน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น หัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่องซึ่งมีราคาและประสิทธิภาพสูง จะมีค่าเทิร์นดาวน์เรโชประมาณ 10:1 ในขณะที่หัวเผาแบบไฟมาก-น้อย ซึ่งมีค่าเทิร์นดาวน์เรโชเท่ากับ 3:1 มีราคาและประสิทธิภาพต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด

6.4 การปรับแต่งหัวเผา

การปรับแต่งหัวเผา คือการปรับตั้งให้ระบบควบคุมหัวเผาทำการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เกิดการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเป็นอย่างดี โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาควันดำหรือมีปริมาณอากาศมากเกินไป เชื้อเพลิงมีเวลาในการเผาไหม้ที่เพียงพอต่อการเผาไหม้อย่างหมดจดสมบูรณ์ และอุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้ต้องสูงเพียงพอกับการนำไปใช้งาน ทั้งหมดนี้ต่างส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของหัวเผาทั้งสิ้น ในการปรับแต่งหัวเผา นอกจากความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเชื้อเพลิงและหัวเผาประเภทต่างๆ แล้ว จำเป็นต้องทำความรู้จักและทำความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด การตรวจวัดและการคำนวณที่จำเป็นในการปรับแต่งหัวเผา ตลอดจนต้องมีความเข้าใจอันดีเกี่ยวกับเทคนิคและวิธีในการปรับแต่งหัวเผาที่ถูกต้อง หากผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับหม้อน้ำมีความรู้ครบตามองค์ประกอบที่กล่าวมา การปรับแต่งหัวเผาอย่างถูกวิธีด้วยตนเองก็ไม่ใช่เรื่องยากอีกต่อไป

6.4.1 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการปรับแต่งหัวเผา

การวัดเพื่อใช้ในการปรับแต่งหัวเผา คือ การวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ว่าสมบูรณ์เพียงใด เป็นการวัดว่าการเผาไหม้นั้น เผาไหม้เชื้อเพลิงหมด ไม่มีเชื้อเพลิงตกค้างอยู่ และวัดปริมาณอากาศส่วนเกินไม่มากเกินไป ในทางทฤษฎีการเผาไหม้เชื้อเพลิงควรจะใช้ออกซิเจนหรืออากาศพอดีกันตามปฏิกิริยาเคมี แต่ในความเป็นจริงของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด และอุปกรณ์การเผาไหม้และห้องเผาไหม้ อุณหภูมิการเผาไหม้และตัวแปรอื่นๆ จะทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดต้องใช้อากาศส่วนเกินจำนวนหนึ่ง ถ้าอากาศส่วนเกินน้อยกว่าจุดที่เหมาะสมการเผาไหม้เชื้อเพลิงก็จะไม่หมด มีเชื้อเพลิงเหลืออยู่และมีเขม่าควัน คือ ธาตุคาร์บอนในเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถสันดาปกับอากาศกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้หมด แต่ถ้ามีการให้อากาศส่วนเกินมากกว่าจุดที่เหมาะสม อากาศที่เกินความจำเป็นนั้นก็จะพาความร้อนออกไปโดยเสียเปล่า ไม่เกิดประโยชน์ ดังแสดงในรูปที่ 6-13



รูปที่ 6-13 การสูญเสียความร้อนเนื่องจากปริมาณอากาศไม่เหมาะสม

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการปรับแต่งหัวเผา และการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่

1) เครื่องวัดเขม่าควันไฟ

เครื่องวัดเขม่าควันไฟ (Smoke tester) ใช้ในการวัดเพื่อตรวจสอบว่าเชื้อเพลิงเผาไหม้หมดหรือไม่ ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็ง ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ จะใช้วิธีการวัดหาปริมาณก๊าซที่ไม่เผาไหม้ (Unburn gas) จากการวัดและวิเคราะห์ไอเสียแทน เนื่องจากการใช้วิธีการวัดเขม่าควันในกรณีของเชื้อเพลิงก๊าซจะให้ผลการวัดที่หยาบเกินไป เนื่องจากเชื้อเพลิงก๊าซที่เกิดเขม่าควันได้ยาก เครื่องวัดเขม่าควันไฟนั้นมีอยู่ 2 แบบ ได้แก่

(ก) เครื่องวัดเขม่าควันไฟแบบติดตั้งอยู่กับที่

เครื่องวัดเขม่าควันไฟแบบติดตั้งอยู่กับที่ (Stationary smoke tester) มักจะติดตั้งอยู่ในบริเวณที่ใกล้กับปล่องไอเสีย จะทำการวัดความทึบแสงของไอเสีย ถ้ามีเขม่าควันไฟมาก ไอเสียก็จะทึบแสงมาก ถ้าไอเสียมีเขม่าควันไฟน้อยจะทึบแสงน้อย ให้ส่องแสงผ่านได้มาก โดยเครื่องจะทำการวัดความทึบแสงคำนวณ และแสดงค่าออกมาโดยอัตโนมัติ เครื่องวัดเขม่าควันไฟแบบติดตั้งอยู่กับที่ แสดงดังรูปที่ 6-14

รูปที่ 6-14 เครื่องวัดเขม่าควันไฟแบบติดตั้งอยู่กับที่

(ข) เครื่องวัดเขม่าควันไฟแบบพกพา

เครื่องวัดเขม่าควันไฟแบบพกพา (Hand-held smoke tester) เป็นที่นิยมใช้งานกันทั่วไป เนื่องจากสามารถนำไปวัดที่ตำแหน่งใดก็ได้ หลักการทำงาน คือ ทำการดูดไอเสียมาผ่านกระดาษกรอง แล้วเปรียบเทียบความดำของกระดาษที่เปื้อนเขม่ากับสีมาตรฐานบนรูปที่ให้มากับเครื่องมือ ดังแสดงในรูปที่ 6-15 ความเข้มของเขม่า (Smoke scale) แบ่งออกเป็น 10 ระดับ โดยมีหมายเลขกำกับแต่ละระดับคือ เบอร์ 0-9 ในการปรับการเผาไหม้เพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้หมด โดยมีเขม่าควันต่ำ จะปรับการเผาไหม้แล้ววัดเขม่าควันไฟให้ได้ความเข้มของเขม่าเกินเบอร์ 2 ซึ่งจะมีปริมาณเขม่าใกล้เคียงกับกฎหมายสิ่งแวดล้อมกำหนด คือ 240 mg/Nm^3 สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วๆ ไปที่อยู่ใกล้ชุมชน เช่น หม้อน้ำของธุรกิจโรงแรม หรือโรงพยาบาลที่อยู่ในกลางชุมชนหรือเมือง ควรจะปรับการเผาไหม้ให้มีความเข้มของเขม่าเพียงแค่ เบอร์ 0 หรือไม่เกินเบอร์ 1 เพื่อลดปัญหามลพิษเขม่าที่จะไปรบกวนกับประชาชนจำนวนมากที่อยู่รอบข้าง

รูปที่ 6-15 เครื่องวัดเขม่าควันไฟแบบพกพา

2) เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกิน

เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess air tester) ใช้ในการวัดเพื่อหาปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) หรือปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในไอเสียที่เหลือจากการสันดาป ซึ่งเป็นค่าที่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อน้ำได้ เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกินแบ่งได้ 3 แบบ ได้แก่

(ก) เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกินจากปริมาณออกซิเจนแบบน้ำยาเคมี

เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกินจากปริมาณออกซิเจนแบบน้ำยาเคมี (O_2 absorber liquid tester) เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซไอเสียที่ดูดออกมาจากปล่องไอเสียกับและน้ำยาเคมี ดังแสดงในรูปที่ 6-16 เนื่องจากต้องมีการดูดนำไอเสียออกมาวัด ซึ่งกว่าจะเสร็จสิ้นกระบวนการวัดที่ใช้เวลานาน ทำให้อาจจะมีก๊าซออกซิเจนจากอากาศภายนอกรั่วไหลเข้าไปในก๊าซไอเสียที่ดูดออกมา ดังนั้นค่าปริมาณออกซิเจนที่วัดได้นั้นจึงมีค่ามากกว่าความเป็นจริงค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องจากออกซิเจนในไอเสียมีปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับออกซิเจนในอากาศที่มีถึง 20.8% ดังนั้นการใช้เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกินจากปริมาณออกซิเจนแบบน้ำยาเคมี จากการเก็บไอเสียไม่ค่อยเหมาะสม เพราะมีค่าคลาดเคลื่อนสูง

รูปที่ 6-16 เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกินจากปริมาณออกซิเจนแบบน้ำยาเคมี

(ข) เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกินจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์แบบน้ำยาเคมี

เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกินจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์แบบน้ำยาเคมี (CO_2 absorber liquid tester) เป็นการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซไอเสียที่ดูดออกมาจากปล่องไอเสียกับน้ำยาเคมี แม้ว่าการวัดวิธีนี้ต้องมีการดูดนำไอเสียออกมาวัดเช่นเดียวกับวิธีข้างต้น แต่เนื่องจากในอากาศภายนอกมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อยู่น้อยมาก ดังนั้นหากมีการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกเข้าในระหว่างกระบวนการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ก็ไม่ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากนัก เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกินจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์แบบน้ำยาเคมีมีลักษณะภายนอกคล้ายกับเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนดังในรูปที่ 6-16 เมื่อทำการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียได้แล้ว สามารถใช้ตารางหรือกราฟในการแปลงค่าเป็นปริมาณออกซิเจนในไอเสีย หรือปริมาณอากาศส่วนเกินได้ นอกจากนี้ผู้ผลิตเครื่องมือเหล่านี้ยังสร้างกราฟหรือตารางสำเร็จรูปเพื่อใช้หาปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสียจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียและอุณหภูมิไอเสียที่วัดได้

(ค) เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกินจากปริมาณออกซิเจนแบบอิเลคทรอนิกส์

เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกินจากปริมาณออกซิเจนแบบอิเลคทรอนิกส์ (Electronic excess air tester) มีทั้งแบบติดตั้งอยู่กับที่ที่ปล่องไอเสีย และแบบพกพา เครื่องวัดทั้งสองแบบจะมีหัววัดแบบอิเลกทรอนิกส์ (Electronic sensor) ที่สามารถวัดปริมาณออกซิเจนในไอเสียได้โดยตรง โดยทั่วไปจะเรียกหัววัดออกซิเจนนี้ว่า O_2 sensor ดังแสดงในรูปที่ 6-17 ข้อดีของเครื่องวัดแบบนี้ คือ ตอบสนองเร็ว มีความคลาดเคลื่อนน้อย ไม่ต้องมีการเก็บตัวอย่างไอเสียออกมาวัด และสามารถแสดงค่าแบบ Real-time ซึ่งเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามจริงในขณะที่ทำการปรับหัวเผา

รูปที่ 6-17 เครื่องวัดปริมาณอากาศส่วนเกินจากปริมาณออกซิเจนแบบอิเลคทรอนิกส์

เครื่องมือวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อหาปริมาณอากาศส่วนเกิน ควรมีการสอบเทียบความเที่ยงตรง (Calibration) อยู่เสมอ โดยอาจมีขวดก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์มาตรฐานที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นที่แน่นอน เอาไว้ใช้สำหรับตรวจสอบเครื่องมือวัดอย่างสม่ำเสมอ มีข้อแนะนำ คือ ขวดก๊าซมาตรฐานที่ใช้ควรมีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของก๊าซ ใกล้เคียงกันกับเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียที่จะทำการวัดจริง

3) เครื่องวัดและวิเคราะห์ไอเสีย

เครื่องวัดและวิเคราะห์ไอเสีย (Flue gas analyzer) คือ เครื่องวัดที่สามารถวัดปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ แบบอิเลคทรอนิกส์ นอกจากจะสามารถวัดปริมาณออกซิเจนได้แล้ว ยังสามารถวัดก๊าซมลพิษต่างๆ ในไอเสียได้พร้อมกัน เช่น ก๊าซ SO_2, SO_3, NO_x ฯลฯ หรือแม้แต่ก๊าซที่ไม่ได้เผาไหม้ หรือเขม่า เครื่องวัดและวิเคราะห์ไอเสียมีหน่วยประมวลผล ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณอากาศส่วนเกิน หรือสามารถคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้ทันทีหากมีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิไอเสียด้วย ในเครื่องวัดและวิเคราะห์ไอเสียบางแบบ สามารถทำการประมวลผล คำนวณ และส่งสัญญาณไฟฟ้าไปควบคุมระบบปรับอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุด โดยมีปริมาณออกซิเจนในไอเสียตามที่ได้ตั้งค่าไว้ล่วงหน้าอย่างต่อเนื่อง หรืออาจสามารถประมวลผลเพื่อพิมพ์ค่าต่างๆ ออกมาในกระดาษ หรือแม้แต่การบันทึกค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้ลงในหน่วยความจำ (Log memory) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของระบบเผาไหม้ต่อไปได้ เครื่องวัดและวิเคราะห์ไอเสียแสดงได้ดังรูปที่ 6-18

รูปที่ 6-18 เครื่องวัดและวิเคราะห์ไอเสีย

การปรับตั้งค่าการควบคุมการเผาไหม้ หรือการปรับสัดส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ โดยพิจารณาจากปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย เป็นเพียงแค่แนวทางในการปรับเบื้องต้นเท่านั้น เนื่องจากหม้อน้ำแต่ละเครื่องมีตัวแปรต่างๆ มากมายที่ทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพแตกต่างกันไป สำหรับปริมาณก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และอากาศส่วนเกิน ที่ทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเป็นเท่าใดนั้น ผู้ที่ทำการปรับการเผาไหม้ของหัวเผาในหม้อน้ำเครื่องนั้นจะต้องใช้ความเอาใจใส่ การสังเกต การเรียนรู้และประสบการณ์ ว่าจุดใดจะเป็นการเผาไหม้ที่เผาเชื้อเพลิงได้หมด และมีอากาศส่วนเกินน้อยที่สุด และควรทำการศึกษาว่าระบบการเผาไหม้ของหม้อน้ำเครื่องนั้น มีวิธีการใดที่จะสามารถปรับปรุงให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้อีก เช่น อาจจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันเตาเพื่อลดความหนืด การอุ่นอากาศก่อนป้อนเข้าห้องเผาไหม้ (Air preheat) การลดขนาดหรือความชื้นของเชื้อเพลิงแข็ง เป็นต้น

6.4.2 การตรวจวัดและการคำนวณที่ใช้ในการปรับแต่งหัวเผา

1) อุณหภูมิของไอเสียที่ออกปล่องไอเสีย

อุณหภูมิของไอเสียที่ออกปล่องไอเสีย (Flue gas temperature) สามารถบ่งบอกถึงปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสียได้ดังนี้

- ถ้าไอเสียมีอุณหภูมิสูงแสดงได้ถึงความร้อนที่สูญเสียออกไปทางปล่องไฟมีปริมาณมาก
- แต่ถ้าอุณหภูมิไอเสียต่ำ อาจจะมีการความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟน้อยหรือมากก็ได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศส่วนเกิน เช่น หากปริมาณอากาศส่วนเกินมาก แม้ว่าอุณหภูมิไอเสียจะน้อย แต่ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟจะมีค่ามาก เป็นต้น ดังนั้นการจะตัดสินว่าการเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูงหรือไม่ มีความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟมากหรือน้อยเท่าใด จะต้องทำการวัดหาปริมาณอากาศส่วนเกินจากไอเสียในปล่องไอเสียด้วย

2) ความร้อนที่สูญเสียไปจากปล่องไอเสีย

ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไอเสีย (Stack loss) สามารถคำนวณได้จาก

$$Q = m \times c_p \times (T_{ex} - T_a)$$

โดยที่ Q คือ ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟ (kJ/hr)
M คือ อัตราการไหลเชิงมวลของไอเสีย (kg/hr)
c_p คือ ค่าความจุความร้อนของอากาศ (kJ/kg-$^{\circ}$C)
T_{ex} คือ อุณหภูมิไอเสีย ($^{\circ}$C)
T_a คือ อุณหภูมิห้อง ($^{\circ}$C)

3) ร้อยละของความร้อนที่สูญเสียไปจากปล่องไอเสีย

ร้อยละของความร้อนที่สูญเสียไปจากปล่องไอเสีย (%Stack loss) สามารถหาได้จากตารางที่ 6-7 ถึง 6-9 โดยที่ต้องทราบค่า %CO_2 และผลต่างของอุณหภูมิไอเสียกับอุณหภูมิห้องในหน่วยฟาเรนไฮต์ก่อน ซึ่งขั้นตอนการหาร้อยละของความร้อนที่สูญเสียไปจากปล่องไอเสียมีดังต่อไปนี้

- เลือกตารางให้ตรงกับเชื้อเพลิงที่ใช้ เช่น น้ำมันดีเซลใช้ตารางที่ 6-7 น้ำมันเตา C ใช้ตารางที่ 6-8 และก๊าซธรรมชาติใช้ตารางที่ 6-9
- ทำการวัด %CO_2 ของไอเสียที่ปล่องไฟจากจุดที่ใกล้หม้อน้ำมากที่สุด
- หากใช้เครื่องมือวัด %O_2 แทนการวัด %CO_2 ให้ทำการแปลงค่า (Convert) จาก %O_2 ที่วัดได้ ไปเป็น %CO_2 โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %O_2, %CO_2 และปริมาณอากาศส่วนเกิน ดังแสดงในรูปที่ 6-19 ถึง 6-23
- ทำการวัดอุณหภูมิของไอเสียที่ปล่องไอเสีย แล้วลบด้วยอุณหภูมิห้อง (ค่าอุณหภูมิในตารางเป็นผลต่างของอุณหภูมิไอเสียกับอุณหภูมิห้องโดยมีหน่วยเป็น $^{\circ}$F)
- หาร้อยละของความร้อนที่สูญเสียไปจากปล่องไอเสียจากตาราง

ตัวอย่างเช่น เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเตา C ใช้ตารางที่ 6-8 ทำการวัดค่า $\%CO_2$ จากไอเสียที่ปล่องไอเสียได้ CO_2 = 14.5% ผลต่างของอุณหภูมิปล่องไอเสียกับอุณหภูมิห้องคำนวณได้เท่ากับ 360 $^{\circ}F$ ดังนั้นจะหาค่าร้อยละของความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไอเสียจากตารางได้เท่ากับ 13.3%

หมายเหตุ:

- ตารางนี้เป็นตารางที่คิดจากค่าความร้อนสูงของน้ำมันเตา หากต้องการคิดจากค่าความร้อนต่ำจะต้องลบค่าร้อยละของความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไอเสียด้วยค่าประมาณ 4-5% ดังนั้นจากตัวอย่างข้างต้น ร้อยละของความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไอเสียคิดจากค่าความร้อนต่ำ มีค่าเท่ากับ 13.3% - 4% = 9.3%
- ดังนั้นก่อนการใช้งานตารางหรือกราฟใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับร้อยละของความร้อนต่างๆ จะต้องตรวจสอบก่อนว่าตารางหรือกราฟนั้น ใช้กับค่าความร้อนสูงหรือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง ไม่เช่นนั้นเมื่อนำค่าความร้อนไปใช้งานต่อ เช่น คำนวณต้นทุนของการผลิตไอน้ำ จะเกิดความผิดพลาด หากไม่สามารถหาข้อมูลได้ว่าตารางหรือกราฟนั้นใช้กับค่าความร้อนสูงหรือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง อาจสังเกตจากเครื่องมือวัดเช่น ถ้าผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกาจะใช้ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง ถ้าผลิตจากประเทศญี่ปุ่นหรือยุโรปจะใช้ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง
- ข้อสังเกตจากตารางร้อยละของความร้อนที่สูญเสียไปจากปล่องไอเสีย
  - ถ้าอุณหภูมิของไอเสียสูง จะมีความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องมาก
  - ถ้า $\%CO_2$ สูง หรือ $\%O_2$ ต่ำ จะมีความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องน้อย

4) การหาอากาศส่วนเกินจากร้อยละของออกซิเจนและร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์

หากทำการวัดร้อยละของออกซิเจนในไอเสียได้ จะสามารถเปลี่ยนเป็นปริมาณอากาศส่วนเกินได้โดยการใช้กราฟในรูปที่ 6-19 ถึง 6-23 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์แยกตามชนิดเชื้อเพลิง หากทำการวัดร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย จะต้องเปลี่ยนเป็นร้อยละของออกซิเจนก่อน แล้วจึงเปลี่ยนเป็นปริมาณอากาศส่วนเกินตามลำดับ โดยการใช้กราฟในรูปที่ 6-19 ถึง 6-23 เช่นกัน

5) ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency) หาได้จาก

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%) = 100 – ร้อยละของความร้อนที่สูญเสียไปจากปล่องไอเสีย

หรืออาจหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้จากกราฟในรูปที่ 6-24 ถึง 6-30 เมื่อทราบร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย และผลต่างของอุณหภูมิไอเสียที่ปล่องกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ โดยมีหน่วยเป็น $^{\circ}F$

ตารางที่ 6-7 ร้อยละของความร้อนที่สูญเสียไปจากปล่องไอเสีย ของหม้อน้ำที่ใช้น้ำมันดีเซล

STACK LOSS - % - NO. 2 OIL

% CO_2	DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																														
	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000
3.0	24.1	25.8	27.7	29.3	31.3	33.9	34.8	36.4	38.2	40.0	42.9	44.8	45.5	47.0	49.0	50.8	52.4	54.3	56.0	57.9	59.6	61.5	63.5	65.0	66.8	68.8						
3.5	21.7	23.1	24.8	26.2	27.8	29.2	31.7	32.5	33.9	35.3	36.9	38.5	40.0	41.7	43.1	44.8	46.1	47.8	49.4	50.9	52.2	53.9	55.7	57.0	58.3	60.0	63.8	67.8				
4.0	19.9	21.2	22.5	24.9	25.2	26.5	27.9	29.2	31.7	32.0	33.3	35.8	36.0	37.3	38.7	40.0	41.4	42.9	44.1	45.5	46.9	48.1	49.8	50.9	52.1	53.8	57.0	60.2	63.9	67.1		
4.5	18.4	19.7	20.8	22.0	23.2	24.4	25.6	26.9	28.0	29.3	30.4	31.8	32.9	34.2	35.6	36.7	37.8	39.0	40.1	41.2	42.5	43.8	45.0	46.3	47.4	48.8	51.8	54.6	57.8	60.9	63.9	66.9
5.0	17.2	18.5	19.5	20.7	21.7	22.7	23.8	24.9	26.0	27.1	28.2	29.4	30.3	31.5	32.7	33.8	34.9	35.9	36.8	38.0	39.2	40.1	41.7	42.4	43.7	44.7	47.4	50.1	52.9	55.8	58.3	61.2
5.5	16.3	17.4	18.4	19.4	20.4	21.3	22.3	23.3	24.3	25.4	26.3	27.3	28.4	29.4	30.6	31.4	32.4	33.6	34.5	35.3	36.4	37.4	38.4	39.6	40.3	41.7	44.0	46.5	49.0	51.8	54.1	56.5
6.0	15.6	16.5	17.4	18.3	19.3	20.4	21.2	22.0	23.0	23.9	24.9	25.8	26.8	27.7	28.6	29.5	30.4	31.4	32.3	33.1	34.2	35.0	36.0	36.9	37.9	38.9	41.0	43.5	45.8	48.0	50.3	52.8
6.5	14.9	15.7	16.7	17.5	18.4	19.3	20.1	20.9	21.8	22.7	23.6	24.5	25.3	26.1	27.0	27.8	28.8	29.6	30.6	31.3	32.3	33.0	34.1	34.8	35.7	36.5	38.7	40.8	42.9	45.1	47.5	49.7
7.0	14.4	15.3	16.0	16.8	17.8	18.4	19.3	20.1	20.9	21.7	22.4	23.2	24.1	24.9	25.7	26.5	27.3	28.1	28.9	29.8	30.5	31.4	32.3	33.0	33.8	34.6	36.5	38.6	40.5	42.7	44.7	46.6
7.5	13.9	14.6	15.4	16.2	16.9	17.7	18.5	19.2	20.1	20.7	21.3	22.2	23.0	23.8	24.5	25.2	26.0	26.8	27.5	28.2	29.0	29.8	30.6	31.3	32.2	32.9	34.8	36.5	38.5	40.3	42.3	44.2
8.0	13.5	14.3	14.9	15.7	16.3	17.1	17.7	18.5	19.3	20.0	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24.2	25.0	25.7	26.3	27.0	27.8	28.5	29.2	30.0	30.8	31.5	33.2	35.0	36.8	38.5	40.2	42.1
8.5	13.2	13.8	14.5	15.2	15.8	16.5	17.3	17.8	18.6	19.3	20.0	20.6	21.3	21.9	22.6	23.3	23.9	24.6	25.3	25.9	26.7	27.3	28.0	28.8	29.4	30.1	31.8	33.5	35.2	36.9	38.7	40.2
9.0	12.8	13.4	14.1	14.7	15.4	16.0	16.7	17.3	17.9	18.6	19.3	20.0	20.6	21.2	21.8	22.4	23.1	23.8	24.4	25.0	25.7	26.3	27.0	27.7	28.3	28.9	30.5	32.1	33.8	35.3	37.0	38.5
9.5	12.5	13.2	13.7	14.3	14.9	15.7	16.3	16.8	17.4	18.1	18.6	19.3	19.9	20.5	21.1	21.7	22.4	22.9	23.5	24.1	24.8	25.4	26.0	26.7	27.2	27.9	29.4	31.0	32.5	34.0	35.5	37.2
10	12.3	12.8	13.4	14.0	14.6	15.2	15.7	16.3	16.9	17.5	18.1	18.7	19.3	20.0	20.5	21.0	21.6	22.2	22.8	23.4	24.0	24.6	25.1	25.8	26.3	27.0	28.3	29.9	31.4	32.9	34.4	35.7
11	11.8	12.4	12.8	13.4	13.9	14.5	15.0	15.5	16.2	16.7	17.2	17.8	18.3	18.7	19.4	20.0	20.5	20.9	21.5	22.0	22.6	23.1	23.7	24.2	24.8	25.3	26.7	28.0	29.4	31.8	32.1	33.5
12	11.4	11.8	12.5	12.9	13.4	13.9	14.4	14.9	15.4	15.9	16.4	16.9	17.4	17.9	18.4	18.9	19.5	20.0	20.5	20.9	21.4	22.9	22.4	22.9	23.5	24.0	25.2	26.5	27.8	29.0	30.2	31.7
13	11.2	11.6	12.1	12.5	12.9	13.4	13.9	14.3	14.7	15.3	15.8	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1	18.6	19.1	19.6	20.1	20.5	21.1	21.3	21.8	22.3	22.8	24.0	25.2	26.3	27.5	28.8	30.0
14		11.3	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4	13.8	14.3	14.8	15.3	15.6	16.2	16.5	16.9	17.4	17.8	18.3	18.7	19.2	19.7	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.9	24.1	25.2	26.2	27.4	28.6
15			11.4	11.7	12.4	12.6	13.1	13.5	13.8	14.3	14.8	15.3	15.6	15.9	16.4	16.7	17.3	17.7	18.1	18.4	18.9	19.4	19.8	20.3	20.6	21.0	22.0	23.1	24.2	25.2	26.2	27.3	

ตารางที่ 6-8 ร้อยละของความร้อนที่สูญเสียไปจากปล่องไอเสีย ของหม้อน้ำที่ใช้น้ำมันเตา C

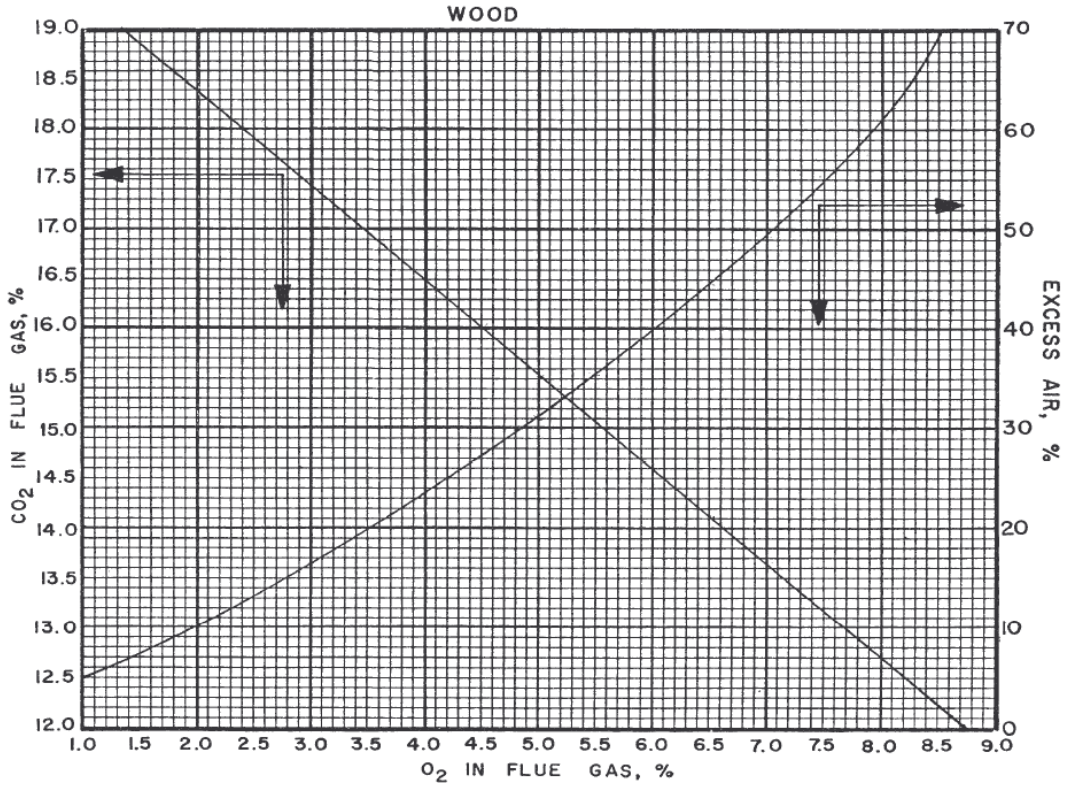
STACK LOSS - % - NO. 6 OIL

% CO_2	DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																														
	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000
3.0	24.5	26.5	28.5	30.2	32.2	34.5	36.5	38.2	40.4	42.2	44.4	46.4	48.2	50.0	52.3	54.3	56.3	58.2	60.3	62.0	64.1	66.2	68.1	70.1								
3.5	21.8	23.4	25.2	26.8	28.6	30.4	32.1	33.8	35.5	37.4	39.0	40.6	42.2	44.0	45.6	47.5	49.2	51.0	52.8	54.0	56.0	57.8	59.9	61.1	63.0	64.9	69.0					
4.0	19.8	21.2	22.8	24.2	25.7	27.3	28.8	30.2	31.6	32.5	34.8	36.3	37.8	39.4	40.8	42.2	43.8	45.1	46.9	48.2	49.8	51.2	52.9	54.2	56.0	57.8	61.1	65.0	68.9			
4.5	18.2	19.4	20.8	22.2	23.5	24.8	26.2	27.4	28.8	30.4	31.5	33.0	34.2	35.4	37.0	38.1	39.4	41.0	42.2	43.5	45.0	46.3	47.9	49.0	50.1	51.9	55.0	58.2	61.8	65.1	68.5	
5.0	16.8	18.0	19.3	20.4	21.7	22.8	23.2	25.3	26.6	27.8	29.0	30.3	31.4	32.6	33.8	35.3	36.2	37.5	38.8	39.8	41.0	42.3	43.8	44.9	46.1	47.5	50.1	53.6	56.3	59.8	62.3	65.8
5.5	15.8	16.8	18.0	19.2	20.3	21.3	22.5	23.5	24.6	25.8	26.9	28.0	29.2	30.2	31.4	32.5	33.5	34.7	35.8	37.0	37.9	39.2	40.1	41.3	42.3	43.8	46.1	49.1	52.0	54.7	57.8	60.1
6.0	14.8	15.8	16.9	18.0	19.0	20.0	21.1	22.0	23.1	24.2	25.2	26.3	27.3	28.2	29.3	30.3	31.3	32.3	33.5	34.3	35.3	36.5	37.5	38.3	39.7	40.5	43.0	45.8	48.2	50.9	53.5	56.0
6.5	14.3	15.2	16.1	17.1	18.0	18.9	19.9	20.8	21.8	22.8	23.7	24.6	25.5	26.5	27.5	28.5	29.4	30.4	31.4	32.3	33.4	34.3	35.1	36.1	37.1	38.0	40.2	42.8	45.1	47.6	49.9	52.1
7.0	13.5	14.4	15.3	16.2	17.1	17.9	18.8	19.7	20.6	21.5	22.4	23.3	24.2	25.0	25.8	26.8	27.7	28.6	29.0	30.2	31.2	32.2	33.0	33.9	34.9	35.8	37.9	40.1	42.1	44.4	46.8	49.0
7.5	13.0	13.8	14.6	15.5	16.3	17.3	18.0	18.8	19.7	20.5	21.4	22.2	22.9	23.7	24.6	25.4	26.3	27.2	27.9	28.8	29.6	30.5	31.2	32.1	33.0	34.9	35.9	37.9	40.0	42.0	44.1	46.1
8.0	12.5	13.3	14.1	14.8	15.7	16.4	17.3	18.0	18.8	19.6	20.4	21.2	21.9	22.7	23.5	24.2	25.0	25.8	26.6	27.4	28.2	29.0	29.9	30.6	31.5	32.1	34.1	36.0	38.0	40.0	41.9	43.9
8.5	12.2	12.8	13.6	14.4	15.1	15.7	16.6	17.3	18.0	18.7	19.6	20.3	21.0	21.6	22.5	23.3	23.9	24.7	25.5	26.2	26.8	27.6	28.2	29.1	29.9	30.8	32.6	34.2	36.2	38.0	39.9	41.8
9.0	11.7	12.4	13.2	13.0	14.6	15.3	15.9	16.6	17.4	18.1	18.8	19.5	20.2	20.8	21.6	22.3	22.9	23.7	24.4	25.0	25.7	26.5	27.1	27.9	28.7	29.4	31.1	32.9	34.6	36.3	38.0	39.9
9.5	11.4	12.1	12.7	13.4	14.1	14.7	15.4	16.0	16.7	17.5	18.1	18.7	19.4	20.0	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24.0	24.7	25.4	26.1	26.8	27.5	28.1	29.8	31.2	33.2	34.9	36.4	38.1
10	11.2	11.7	12.3	13.0	13.7	14.4	14.8	15.5	16.2	16.8	17.5	18.2	18.7	19.4	20.0	20.6	21.3	21.9	22.6	23.2	23.8	24.5	25.1	25.8	26.4	27.0	28.7	30.1	31.8	33.5	35.0	36.7
11	10.6	11.3	11.8	12.4	12.9	13.5	14.2	14.7	15.3	15.8	16.5	17.0	17.6	18.2	18.8	19.4	20.0	20.6	21.2	21.7	22.3	22.9	23.5	24.1	24.8	25.2	26.8	28.1	29.8	31.2	32.5	34.1
12	10.2	10.7	11.3	11.7	12.3	12.8	13.4	13.8	14.5	15.1	15.6	16.2	16.7	17.2	17.8	18.3	18.8	19.4	19.9	20.4	21.0	21.6	22.1	22.7	23.1	23.8	25.0	26.4	27.9	29.1	30.5	31.9
13		10.3	10.8	11.3	11.8	12.3	12.8	13.3	13.8	14.4	14.8	15.4	15.8	16.3	16.8	17.3	17.9	18.4	18.9	19.3	19.8	20.4	20.9	21.4	21.9	22.4	23.8	24.9	26.2	27.5	28.9	30.0
14		9.8	10.4	10.8	11.4	11.8	12.3	12.8	13.3	13.7	14.3	14.7	15.2	15.6	16.2	16.6	17.1	17.5	18.0	18.5	18.8	19.4	19.9	20.4	20.9	21.2	22.5	23.7	24.9	26.1	27.2	28.5
15			10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.4	12.7	13.3	13.7	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.4	16.8	17.3	17.7	18.2	18.6	19.0	19.5	19.9	20.3	21.5	22.6	23.8	24.9	25.9	27.1	
16				10.3	10.7	11.1	11.5	11.8	12.3	12.8	13.3	13.7	14.0	14.4	14.8	15.3	15.7	16.2	16.6	16.9	17.4	17.9	18.2	18.8	19.1	19.5	20.6	21.6	22.7	23.8	24.8	25.9		

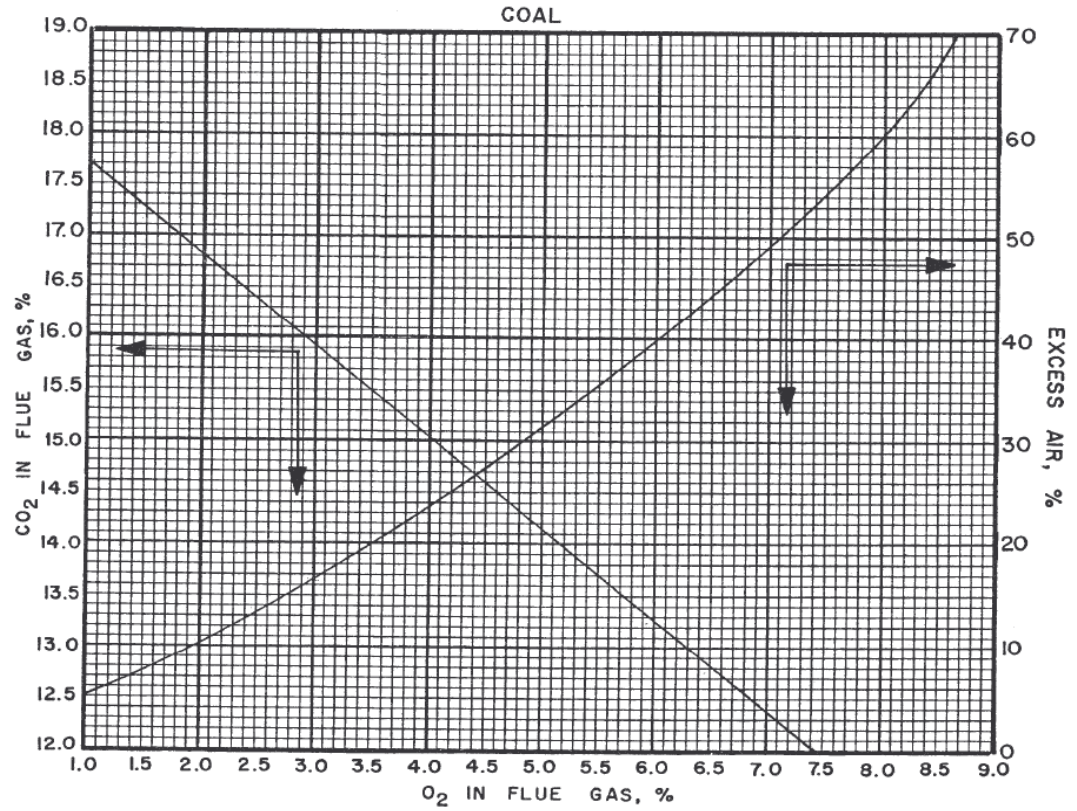
ตารางที่ 6-9 ร้อยละของความร้อนที่สูญเสียไปจากปล่องไอเสีย ของหม้อน้ำที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ

STACK LOSS - % - NATURAL GAS

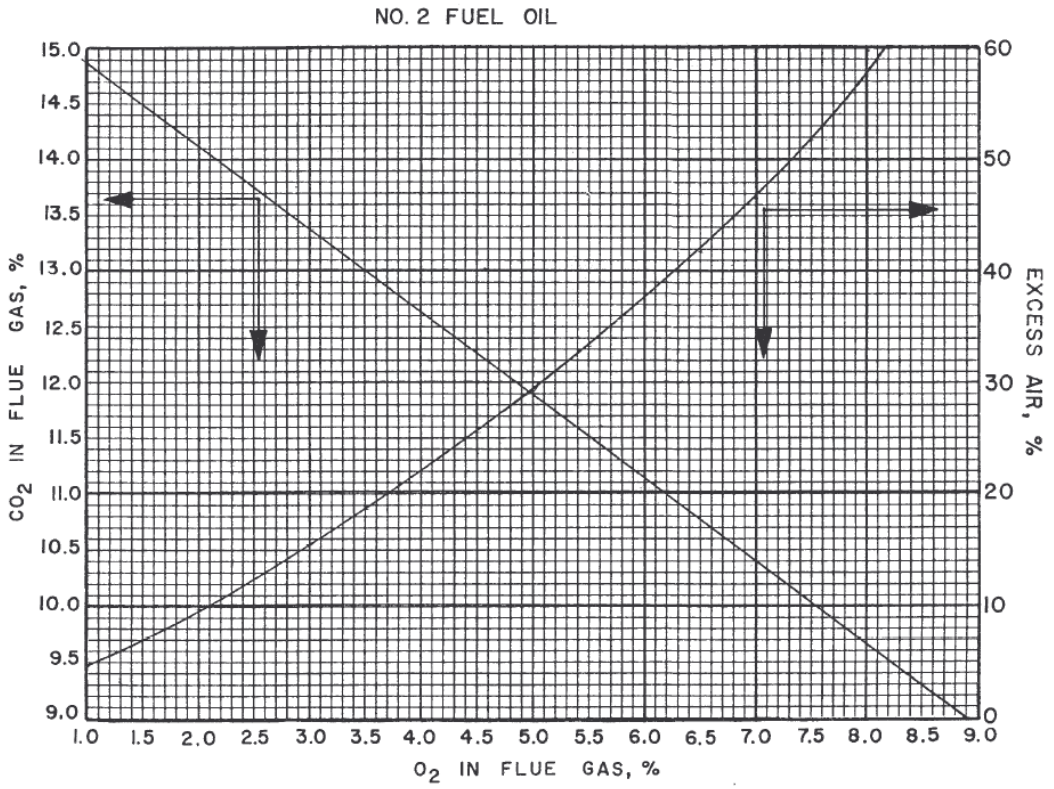
% CO_2	DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																														
	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000
3.0	23.1	24.4	25.9	27.2	28.6	30.0	31.3	32.8	34.1	35.8	36.9	38.2	39.8	41.0	42.2	43.8	45.0	46.3	47.8	49.0	50.0											
3.5	21.2	22.5	23.8	24.9	26.1	27.2	28.4	29.6	30.9	32.0	33.2	34.4	35.8	36.8	37.9	39.2	40.3	41.6	42.8	43.8	45.0	46.2	47.7	48.3	49.8							
4.0	19.9	20.9	22.0	23.1	24.1	25.1	26.2	27.2	28.3	29.4	30.4	31.8	32.5	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.9	40.9	42.1	43.0	44.1	45.2	46.2	48.8					
4.5	18.9	19.9	20.9	21.8	22.7	23.6	24.5	25.5	26.4	27.3	28.3	29.2	30.2	31.2	32.2	33.0	34.0	34.9	35.9	36.8	37.8	38.6	39.8	40.4	41.5	42.6	44.8	47.2	49.8			
5.0	18.0	18.9	19.8	20.6	21.4	22.2	23.1	24.0	24.9	25.8	26.8	27.5	28.3	29.1	30.1	30.9	31.8	32.5	33.6	34.3	35.7	36.2	36.9	37.8	38.8	39.7	41.8	43.8	46.0	48.2		
5.5	17.4	18.1	18.9	19.8	20.5	21.2	22.1	22.9	23.8	24.5	25.2	26.2	26.9	27.8	28.5	29.2	30.0	30.8	31.8	32.3	33.2	34.1	34.9	35.8	36.3	37.3	39.2	41.0	43.0	45.3	47.2	49.0
6.0	16.8	17.4	18.2	18.9	19.6	20.4	21.1	21.8	22.7	23.3	24.1	24.9	25.5	26.2	27.0	27.8	28.4	29.2	30.0	30.8	31.5	32.2	32.9	33.8	34.3	35.2	36.8	38.8	40.4	42.5	44.3	46.2
6.5	16.3	16.9	17.6	18.4	19.0	19.8	20.4	21.1	21.8	22.4	23.2	23.8	24.5	25.2	25.9	26.5	27.2	27.9	28.7	29.2	30.0	30.9	31.4	32.1	32.8	33.5	34.6	36.8	38.4	40.3	42.0	43.8
7.0	15.8	16.5	17.1	17.8	18.4	19.1	19.8	20.4	21.0	21.8	22.3	22.9	23.6	24.2	24.9	25.5	26.2	26.8	27.4	28.0	28.8	29.4	30.0	30.8	31.2	32.0	33.8	35.3	36.8	38.3	40.0	41.8
7.5	15.5	16.1	16.7	17.2	17.9	18.5	19.1	19.8	20.3	20.9	21.5	22.2	22.8	23.3	24.0	24.6	25.2	25.8	26.4	26.9	27.7	28.2	28.8	29.4	30.1	30.8	32.2	33.8	35.2	36.8	38.3	39.9
8.0	15.2	15.7	16.3	16.9	17.4	18.0	18.6	19.2	19.8	20.3	20.9	21.5	22.1	22.8	23.2	23.8	24.4	25.0	25.5	26.0	26.7	27.2	27.8	28.4	29.0	29.5	31.0	32.4	33.8	35.4	36.8	38.2
8.5	14.9	15.4	15.9	16.5	17.1	17.6	18.2	18.7	19.3	19.8	20.4	20.9	21.4	22.0	22.5	23.1	23.7	24.2	24.8	25.3	25.8	26.4	26.9	27.4	28.1	28.6	29.9	31.3	32.8	34.2	35.4	36.8
9.0	14.6	15.2	15.7	16.2	16.6	17.2	17.8	18.3	18.8	19.3	19.9	20.4	20.9	21.4	21.9	22.5	23.0	23.5	24.1	24.5	25.2	25.8	26.2	26.7	27.2	27.8	29.0	30.3	31.8	33.0	34.3	35.7
9.5	14.4	14.9	15.4	15.9	16.4	16.9	17.4	17.9	18.4	18.9	19.5	19.9	20.5	20.9	21.4	21.9	22.4	22.9	23.4	23.8	24.4	24.9	25.4	25.9	26.4	26.9	28.2	29.4	30.8	32.0	33.3	34.5
10	14.2	14.6	15.2	15.6	16.1	16.6	17.1	17.5	18.1	18.5	19.0	19.5	20.0	20.4	20.8	21.4	21.8	22.4	22.8	23.3	23.8	24.2	24.8	25.2	25.8	26.2	27.4	28.6	29.8	31.2	32.2	33.4
11		14.4	14.7	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.4	17.8	18.4	18.8	19.3	19.6	20.2	20.5	20.9	21.4	21.9	22.3	22.8	23.2	23.7	24.2	24.6	25.0	26.2	27.2	28.3	29.5	30.8	31.8
12			14.4	14.8	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.3	17.8	18.2	18.6	19.0	19.4	19.8	20.2	20.6	21.1	21.4	21.9	22.3	22.8	23.2	23.6	24.0	25.1	26.1	27.2	28.3	29.2	30.3	



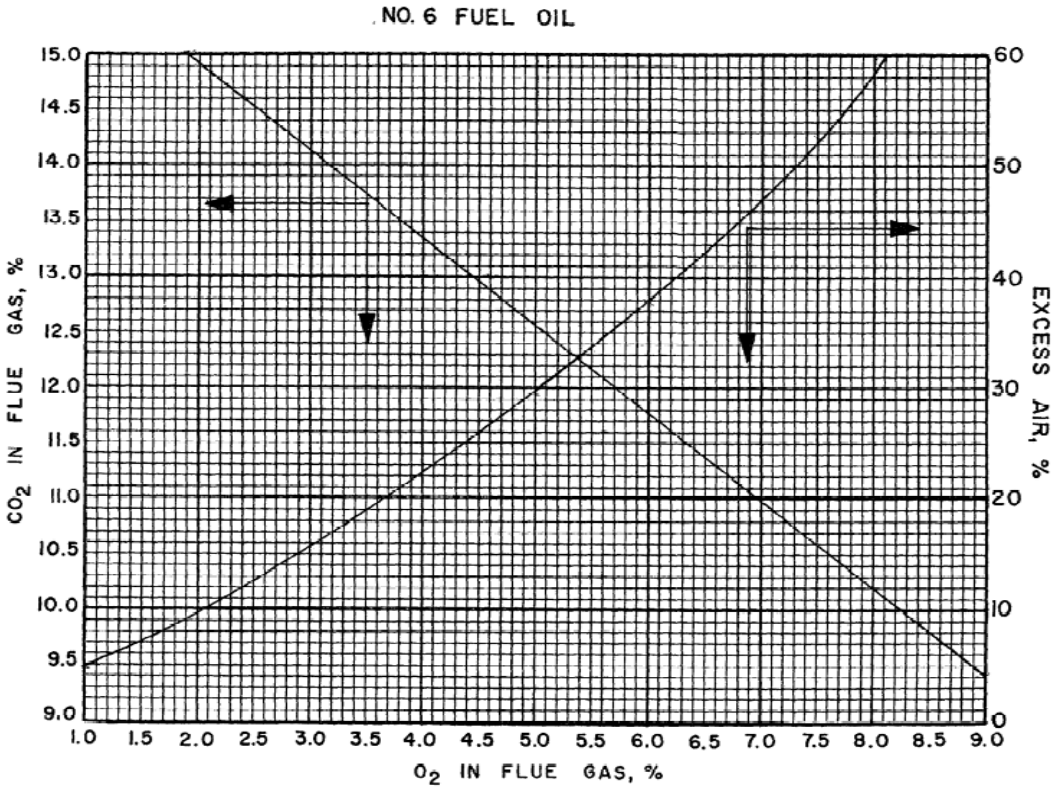
รูปที่ 6-19 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\%O_2$, $\%CO_2$ และปริมาณอากาศส่วนเกิน ของไม้



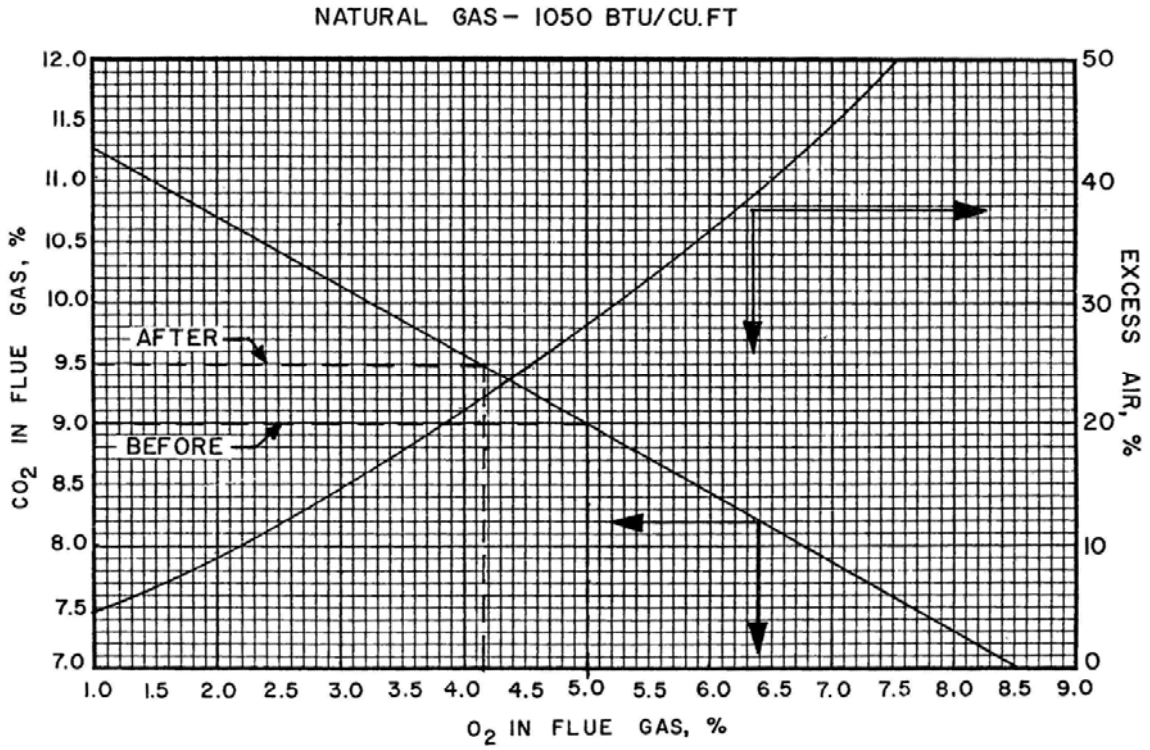
รูปที่ 6-20 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\%O_2$, $\%CO_2$ และปริมาณอากาศส่วนเกิน ของถ่านหิน



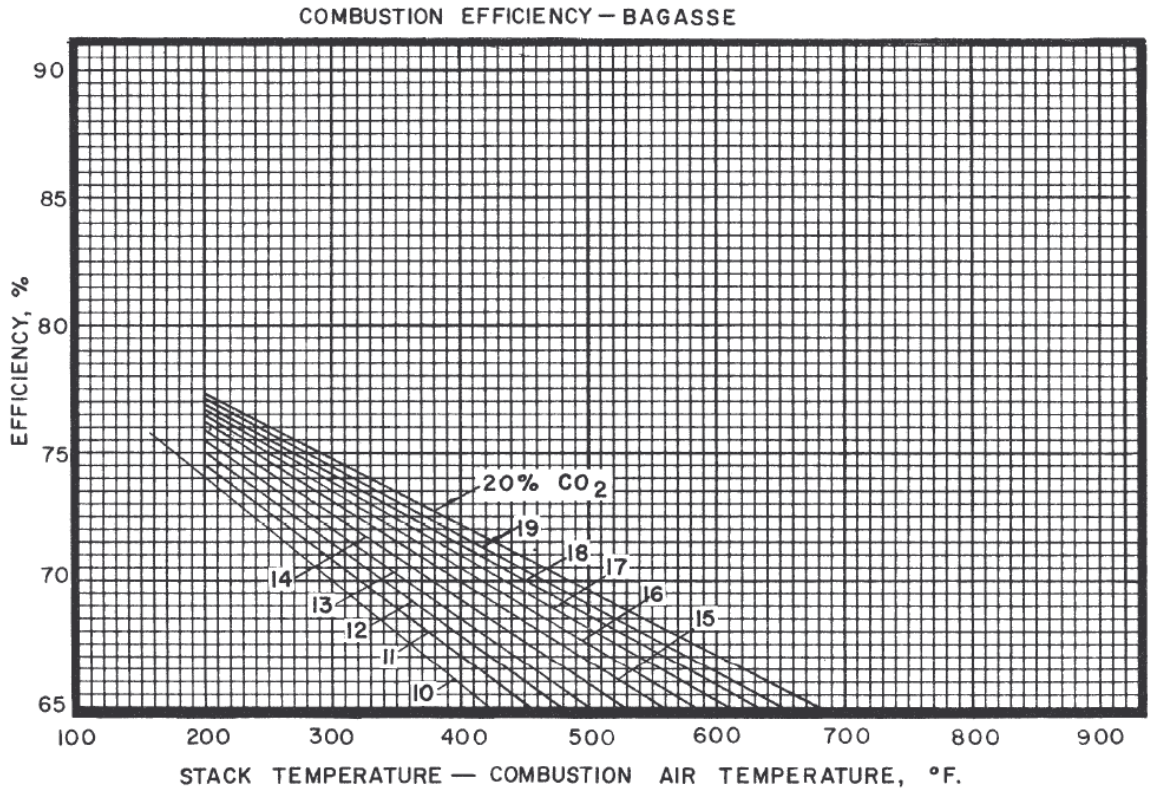
รูปที่ 6-21 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\%O_2$, $\%CO_2$ และปริมาณอากาศส่วนเกิน ของน้ำมันดีเซล



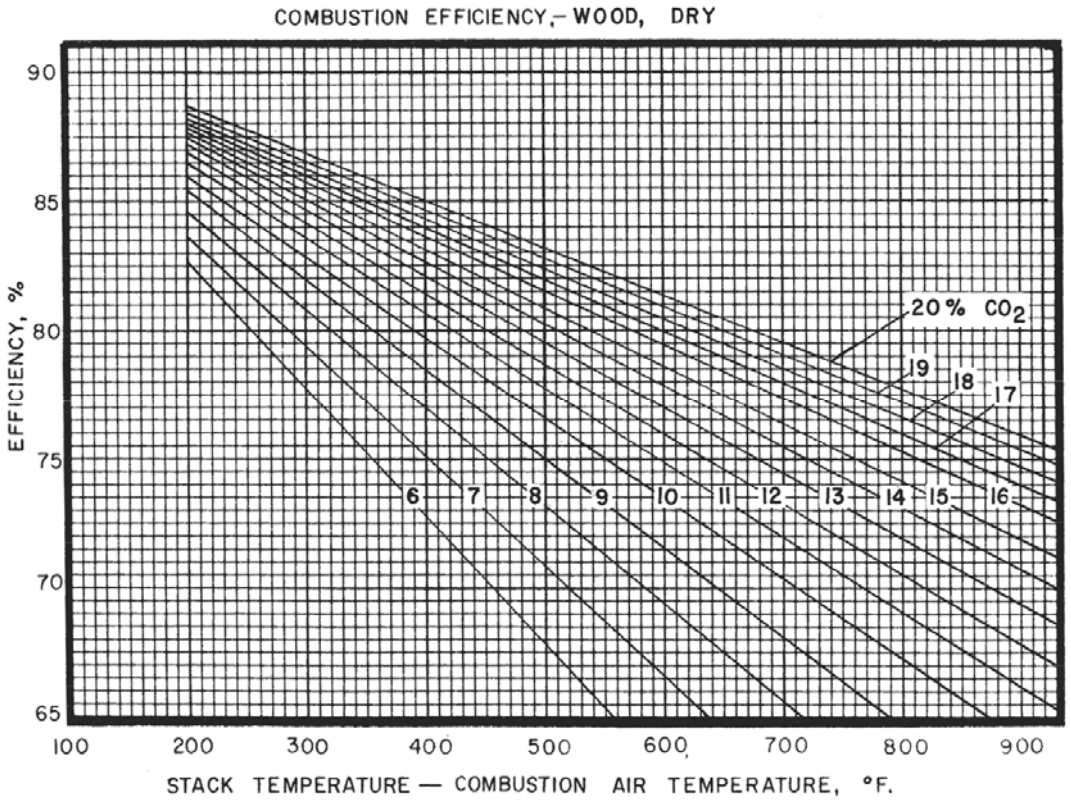
รูปที่ 6-22 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\%O_2$, $\%CO_2$ และปริมาณอากาศส่วนเกิน ของน้ำมันเตา C



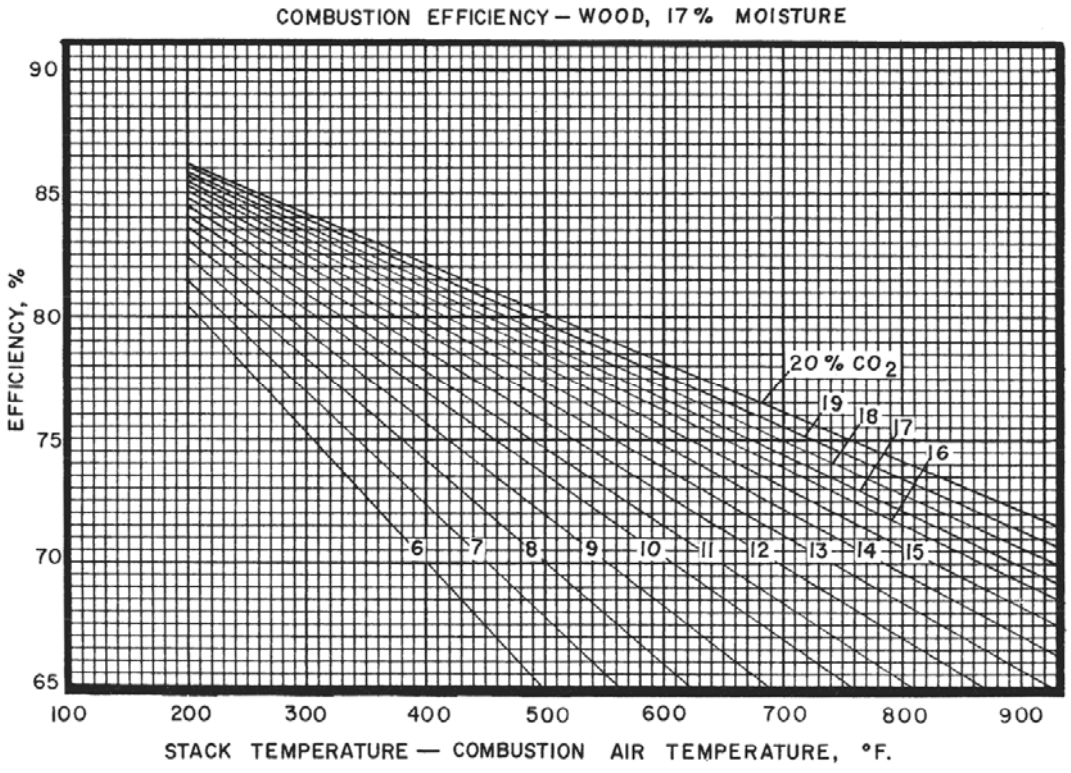
รูปที่ 6-23 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\%O_2$, $\%CO_2$ และปริมาณอากาศส่วนเกิน ของก๊าซธรรมชาติ



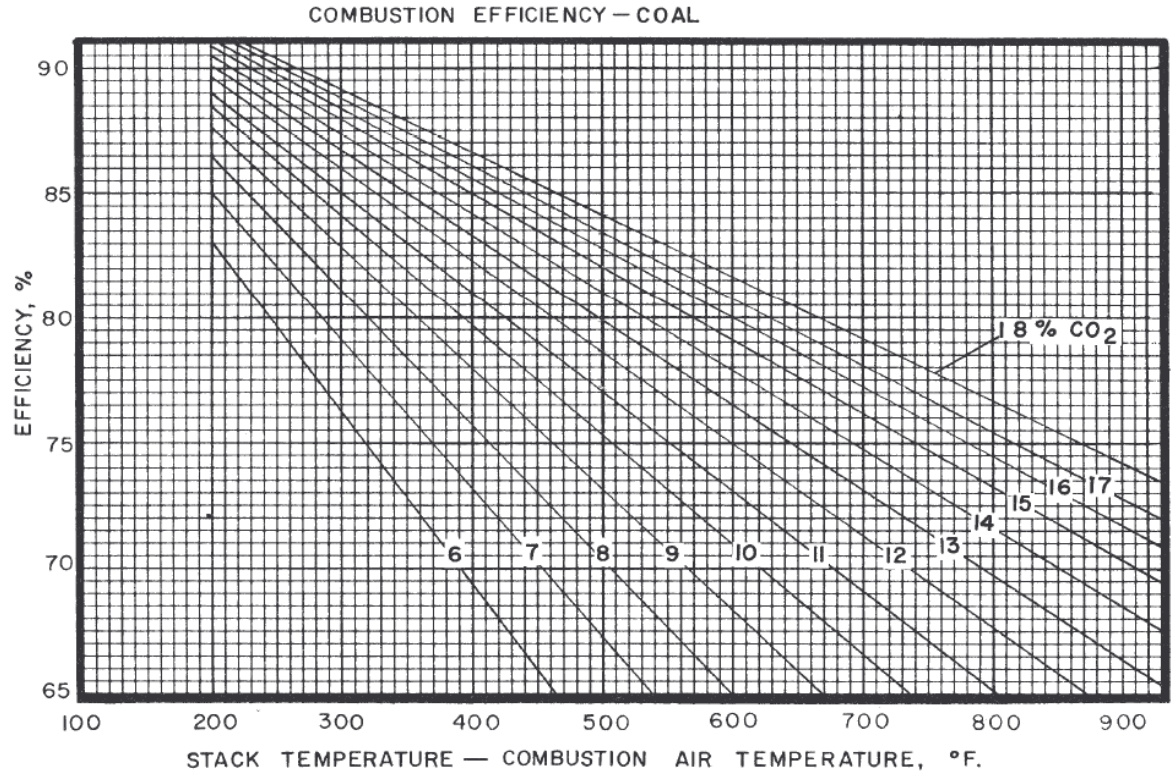
รูปที่ 6-24 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ของหม้อน้ำที่ใช้ชานอ้อย



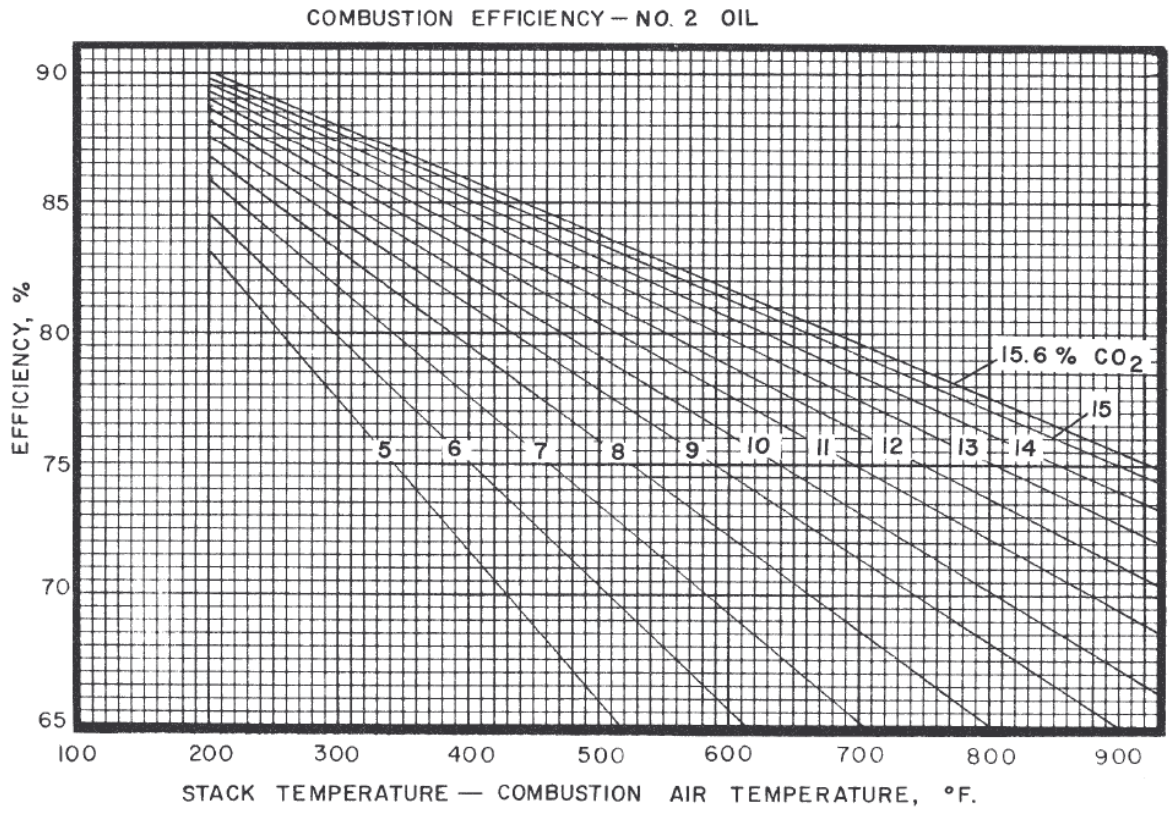
รูปที่ 6-25 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ของหม้อน้ำที่ใช้ไม้แห้ง



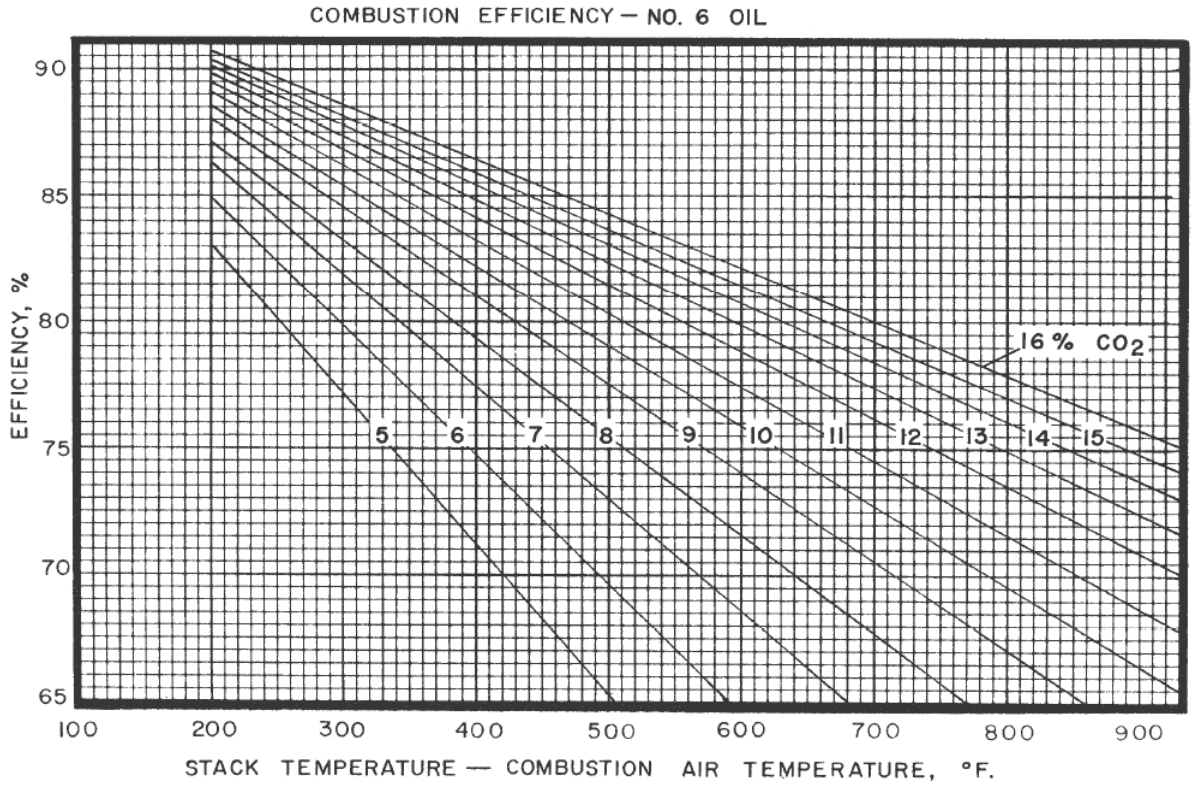
รูปที่ 6-26 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ของหม้อน้ำที่ใช้ไม้ความชื้น 17%



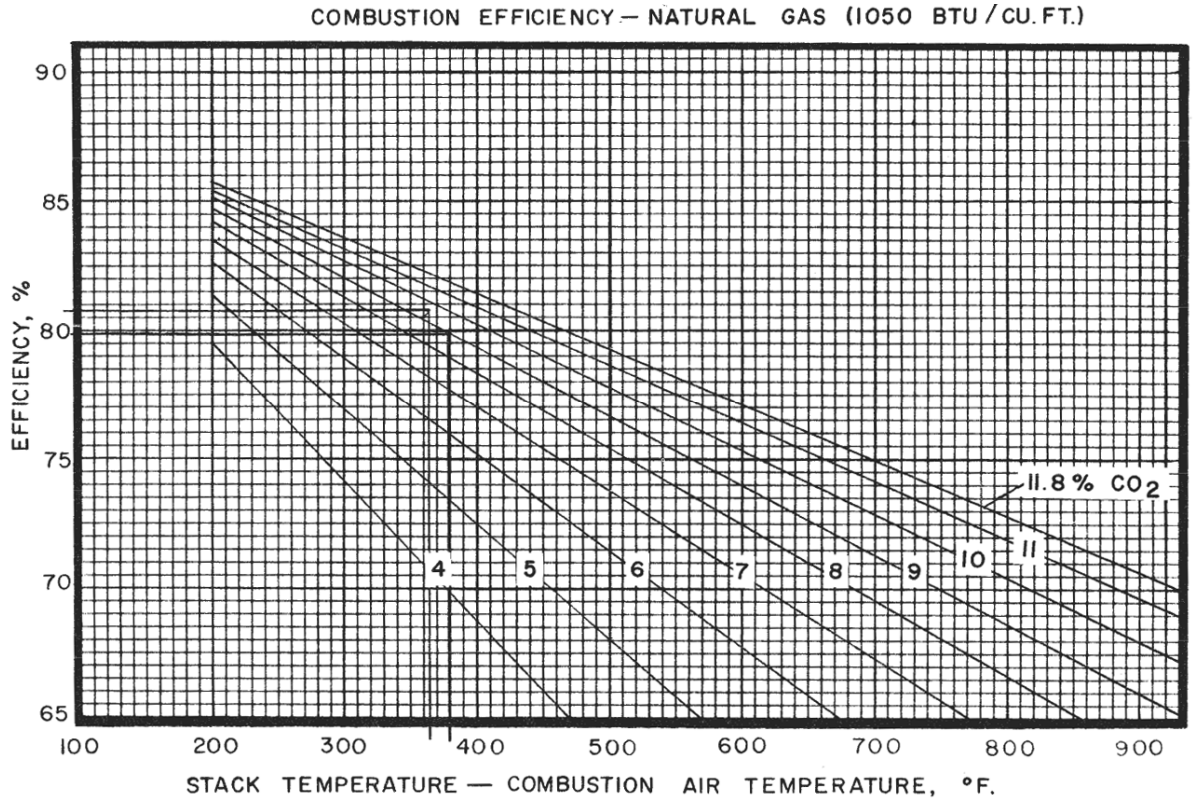
รูปที่ 6-27 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ของหม้อน้ำที่ใช้ถ่านหิน



รูปที่ 6-28 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ของหม้อน้ำที่ใช้น้ำมันดีเซล



รูปที่ 6-29 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ของหม้อน้ำที่ใช้น้ำมันเตา C



รูปที่ 6-30 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ของหม้อน้ำที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ

6) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำ

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำ (Fuel to steam efficiency) หาได้จาก

Fuel to steam efficiency (%) = 100 - %Stack loss - %Radiation and convection loss

โดยที่ %Radiation and convection loss คือร้อยละของความร้อนที่สูญเสียโดยการแผ่รังสีและการพาความร้อน ซึ่งหาได้จากการคำนวณทางการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

6.4.3 วิธีการปรับแต่งหัวเผา

การปรับการเผาเชื้อเพลิงของหม้อน้ำ ก็เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงอย่างคุ้มค่าที่สุด และมีการสูญเสียน้อยที่สุด ซึ่งการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเกิดขึ้นได้ เปลวไฟการเผาไหม้จะต้องดีก่อน ถ้าเปลวไฟการเผาไหม้ไม่ดี การจะทำการปรับส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศในอัตราส่วนเท่าใด ก็จะไม่ได้การเผาที่สมบูรณ์ที่สุดและยังเกิดมลภาวะทางอากาศสูงด้วย การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเกิดขึ้นได้ด้วยหลักการดังนี้

- เปลวไฟการเผาไหม้จะดีได้ อยู่ที่ระบบการเผาไหม้หรือหัวพ่นไฟ คุณภาพของเชื้อเพลิงขนาดของเชื้อเพลิง ความหนืดหรืออุณหภูมิของน้ำมัน ความดันของอากาศหรือเชื้อเพลิง ความเร็วของอากาศ ความสะอาดของหัวฉีดน้ำมัน ระยะต่างๆ ของหัวพ่นไฟ มิติของอิฐคอเตา ฯลฯ
- เปลวไฟที่ดีของเชื้อเพลิงน้ำมัน จะต้องเป็นเปลวไฟที่มีรูปร่างกลม ไม่เป็นแฉกหรือแหว่ง มีการหมุนเวียนเล็กน้อย ไม่มีสะเก็ดเม็ดไฟคล้ายถ่านไม้แตกกระเด็น ไม่กระพือวูบวาบ เวลาติดหรือดับนุ่มนวลไม่รุนแรง ไม่มีควันขาวหรือควันดำ สีไม่ขาวหรือแดงกล่ำ
- สีเปลวไฟไม่สามารถบอกประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้ โดยเฉพาะสีของเปลวไฟการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ จะบอกได้ว่าดีหรือไม่ดีได้จากการวัดเขม่าควัน และวัด O_2 หรือ CO_2 เพื่อหาปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess air) ซึ่งไม่สามารถบอกได้จากการดูสีของเปลวไฟด้วยตา
- การปรับส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศในอัตราส่วนที่มีอากาศส่วนเกิน (Excess air) น้อยที่สุด โดยมีเขม่าควันไม่เกินที่กฎหมายกำหนดคือ 240 mg/Nm^3 สำหรับน้ำมันเตา และ 320 mg/Nm^3 สำหรับเชื้อเพลิงชนิดอื่น
- การปรับส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศในอัตราส่วนที่มีอากาศส่วนเกิน (Excess air) น้อยที่สุด โดยไม่มีอากาศส่วนเกิน (Excess air) ที่พาความร้อนทิ้งออกปล่องไอเสียมากเกินความจำเป็น
- ระบบการปรับส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ มีดังนี้
  - ระบบปรับการเผาไหม้แบบใช้วิธีการปรับปริมาณอากาศเข้าหาปริมาณเชื้อเพลิง
  - ระบบปรับการเผาไหม้แบบใช้วิธีการปรับปริมาณเชื้อเพลิงเข้าหาปริมาณอากาศ
  - ระบบปรับการเผาไหม้ที่ปรับทั้งปริมาณอากาศและปรับปริมาณเชื้อเพลิงเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งเป็นระบบที่ทำการปรับยุ่งยากที่สุดในระบบทั้งหมด

การปรับแต่งหัวเผาที่ถูกวิธี นอกจากจะช่วยให้ส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมแล้ว ยังทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้การปรับแต่งหัวเผาที่ถูกวิธีนั้นยังช่วยลดเวลาและขั้นตอนในการปรับแต่งหัวเผาของผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ควบคุมหม้อน้ำอีกด้วย การปรับแต่งหัวเผาที่ถูกวิธีต้องเริ่มจากการรวบรวมและพิจารณาสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่ต้องการและการทำงานของหัวเผา

หม้อน้ำที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปจะถูกปรับตั้งให้มีการป้อนเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากเพียงพอต่อการผลิตไอน้ำอยู่แล้ว ยกเว้นในกรณีที่มีการขยายขบวนการผลิตทำให้มีความต้องการใช้ไอน้ำเพิ่มขึ้น หากไม่มีการปรับแต่งหัวเผาใหม่ จะส่งผลให้ปริมาณไอน้ำที่ผลิตจากหม้อน้ำไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ในขณะเดียวกันหัวเผาต้องทำงานมากขึ้นกว่าเดิม ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่ต้องการและการทำงานของหัวเผาจึงสามารถใช้เป็นแนวทางหนึ่งในการปรับแต่งหัวเผาได้ ดังแสดงในตารางที่ 6-10

ตารางที่ 6-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่ต้องการและการทำงานของหัวเผา

ปริมาณเชื้อเพลิง	การทำงานของหัวเผา	การปรับแต่งหัวเผา
เพียงพอต่อการผลิตปริมาณไอน้ำที่ต้องการ	หัวเผาทำงานต่อเนื่อง มีการเร่งหรี่ตามภาระความต้องการใช้ไอน้ำ ไม่ตัด-ต่อการทำงานบ่อยครั้ง	ปรับแต่งเฉพาะปริมาณอากาศให้เหมาะสมกับปริมาณเชื้อเพลิง
มากเกินพอต่อการผลิตปริมาณไอน้ำที่ต้องการ	สามารถผลิตไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว หัวเผาตัด-ต่อการทำงานบ่อยครั้ง	ลดปริมาณเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับปริมาณความต้องการไอน้ำ โดยพิจารณาในช่วงที่มีการใช้ไอน้ำมากที่สุด และปรับปริมาณอากาศตามให้เหมาะสมกับปริมาณเชื้อเพลิง
ไม่เพียงพอต่อการผลิตปริมาณไอน้ำที่ต้องการ	หัวเผาทำงานในจังหวะเร่ง หรือ High fire ตลอดเวลา แต่ความดันไอน้ำยังคงต่ำกว่าความดันที่ต้องการใช้งาน	เพิ่มปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับปริมาณความต้องการไอน้ำ และปรับปริมาณอากาศตามให้เหมาะสมกับปริมาณเชื้อเพลิง

- ชนิดและอุณหภูมิของเชื้อเพลิง

น้ำมันเชื้อเพลิงมีหลายชนิดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ละชนิดต่างก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ความต้องการปริมาณอากาศเพื่อการสันดาปอย่างสมบูรณ์จึงแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นในการปรับแต่งหัวเผาจึงควรคำนึงถึงชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย โดยพิจารณาจากปริมาณของอากาศส่วนเกิน หรือปริมาณของออกซิเจนในไอเสียที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 6-11

นอกจากนี้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงยังมีความสำคัญต่อการพ่นฝอยของหัวเผา เนื่องจากหัวเผาแต่ละประเภทมีกลไกในการพ่นฝอยเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน ดังนั้นความหนืดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสมจึงแตกต่างกันไปด้วย ก่อนการปรับแต่งหัวเผาจึงควรปรับอุณหภูมิของเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับชนิดของเชื้อเพลิงและชนิดของหัวเผาที่ใช้ อุณหภูมิและความหนืดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 6-12

ตารางที่ 6-11 ปริมาณอากาศส่วนเกิน หรือปริมาณออกซิเจนในไอเสียที่เหมาะสม

ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (%)		ปริมาณออกซิเจนในไอเสีย (%)	
	ต่ำสุด (Min)	สูงสุด (Max)	ต่ำสุด (Min)	สูงสุด (Max
ก๊าซธรรมชาติ	10.0	15.0	2.0	2.7
น้ำมันชนิดเบา	12.5	20.0	2.3	3.5
น้ำมันเตา	20.0	25.0	3.3	4.2

หมายเหตุ: ค่าที่กำหนดไว้ในตารางเป็นค่าต่ำสุดของปริมาณอากาศส่วนเกินและปริมาณออกซิเจนในไอเสีย สำหรับหม้อน้ำที่ไม่มีอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนอากาศส่วนเกิน

ตารางที่ 6-12 อุณหภูมิและความหนืดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสม

		อุณหภูมิของเชื้อเพลิงที่เหมาะสม ($^{\circ}$C)			
ชนิดหัวเผา		Air atomized	Pressure atomized	Steam atomized	Rotary cup
ชนิดเชื้อเพลิง	น้ำมันเตา A	90-150	85-105	66-85	60-75
	น้ำมันเตา C	108-125	100-125	80-100	75-90
	น้ำมันเตา D	-	-	90-110	82-100
		ความหนืดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสม (cSt)			
เชื้อเพลิงเหลวทุกชนิด		12-17	12-20	20-40	30-60

- ปริมาณก๊าซต่างๆ ในไอเสีย

การตรวจวัดวิเคราะห์ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ เป็นการหาปริมาณร้อยละของก๊าซออกซิเจน (%O_2) ปริมาณร้อยละก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%CO_2) และปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียหนึ่งล้านส่วน (ppm) ซึ่งก๊าซดังกล่าวนี้เป็นองค์ประกอบหลักของไอเสีย นอกจากนี้การตรวจวัดวิเคราะห์ไอเสียยังรวมถึงการวัดอุณหภูมิไอเสียอีกด้วย เกณฑ์ปริมาณร้อยละก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จากก๊าซไอเสียในปล่องไอเสียเทียบกับประสิทธิภาพการเผาไหม้ แสดงในตารางที่ 6-13 จากผลการตรวจวัดวิเคราะห์ไอเสีย ทำให้สามารถกำหนดแนวทางเบื้องต้นในการปรับแต่งหัวเผาได้ ดังแสดงในตารางที่ 6-14

ตารางที่ 6-13 เกณฑ์ปริมาณร้อยละก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบกับประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%CO_2)		
	น้ำมันดีเซล	น้ำมันเตา	เชื้อเพลิงก๊าซ
ดีที่สุด	12.8	13.8	10.0
ดี	11.5	13.0	9.0
พอใช้	10.0	12.5	8.5
แย่	น้อยกว่า 9.0	น้อยกว่า 12.0	น้อยกว่า 8.0

ตารางที่ 6-14 ผลการตรวจวัดไอเสีย และแนวทางการปรับแต่งหัวเผา

ผลการตรวจวัดไอเสีย	การวิเคราะห์สาเหตุ	การปรับแต่งหัวเผา
ค่า $\%O_2$ สูงกว่าเกณฑ์ ค่า $\%CO_2$ ต่ำกว่าเกณฑ์ ค่า CO น้อยมาก (0-10 ppm)	ใช้อากาศส่วนเกินมากเกินไป ทำให้ความร้อนสูญเสียไปกับไอเสียมาก	ปรับลดอากาศป้อนเข้าห้องเผาไหม้
ค่า $\%O_2$ ต่ำกว่าหรืออยู่ในเกณฑ์ ค่า $\%CO_2$ สูงกว่าหรืออยู่ในเกณฑ์ ค่า CO อยู่ในเกณฑ์	การเผาไหม้มีประสิทธิภาพดี	ไม่ต้องปรับแต่ง ควรตรวจสอบเป็นประจำ เพื่อรักษาให้หัวเผาทำงานที่สภาวะนี้ตลอด
ค่า $\%O_2$ สูงกว่าเกณฑ์ ค่า $\%CO_2$ ต่ำกว่าเกณฑ์ ค่า CO สูงกว่าเกณฑ์	1. อุปกรณ์ชำรุด เช่น หัวฉีดสึกเนื่องจากไม่ได้ใช้งานมานาน หรือกระจังลมบิดงอไม่ได้รูปทรง เป็นต้น 2.ปรับตั้งอุปกรณ์ไม่ถูกต้อง เช่น ปรับตั้งกระจังลมผิดตำแหน่ง อุณหภูมิเชื้อเพลิงป้อนเข้าต่ำกว่าเกณฑ์ เป็นต้น 3. ห้องเผาไหม้มีรูรั่ว และความดันในห้องเผาไหม้ต่ำกว่าบรรยากาศ ทำให้มีอากาศภายนอกที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเผาไหม้เข้าไปผสมกับไอเสีย	1. ตรวจสภาพอุปกรณ์ในหัวเผา เช่น หัวฉีด กระจังลม เขี้ยวสปาร์ค แล้วทำการปรับแต่งหัวเผาใหม่ หากอุปกรณ์ใดมีสภาพชำรุด ให้เปลี่ยนใหม่ทันที 2. ตรวจสอบหารอยรั่ว แล้วทำการปิดรอยรั่ว หรือปรับเพิ่มอากาศให้ค่า CO อยู่ในเกณฑ์ โดยไม่ต้องพิจารณาค่า $\%O_2$ และ $\%CO_2$
อุณหภูมิสูงกว่าเกณฑ์	1. ท่อไฟสกปรก มีเขม่าจับตามผนังท่อมาก 2. มีตะกรันจับท่อทางด้านน้ำมาก 3. ผนังกั้นทางไฟชำรุด 4. ห้องเผาไหม้มีขนาดเล็ก หรือใช้หัวเผาขนาดใหญ่เกินไป	1. ทำความสะอาดท่อไฟโดยการแยงท่อแล้วโกยเขม่าออก 2. ทำความสะอาดผิวท่อด้านน้ำเอาตะกรันออก และปรับปรุงสภาพน้ำก่อนป้อนเข้าหม้อน้ำ โดยควบคุมให้มีค่า TDS ตรงตามค่ากำหนด 3. ซ่อมผนังกั้นทางไฟ 4. พิจารณาเลือกหัวฉีดในหัวเผาให้เล็กลง หรือพิจารณาเปลี่ยนหัวเผา หรือหม้อน้ำใหม่

ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่ต้องการ ชนิดและอุณหภูมิของเชื้อเพลิง ปริมาณก๊าซต่าง ๆ ในไอเสีย ที่รวบรวมได้นี้ จะเป็นส่วนช่วยให้สามารถทำการปรับแต่งหัวเผาได้ถูกต้องและรวดเร็วขึ้น วิธีการปรับแต่งหัวเผาจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับประเภทของหัวเผา ซึ่งรายละเอียดของวิธีการปรับแต่งหัวเผาแต่ละประเภทมีดังนี้

1) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบตัด-ต่อ

หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบตัด-ต่อ (Pressure atomized on-off burner) ทำงานใช้สวิตช์ความดันไอน้ำควบคุม 2 ระดับ คือ ความดันต่ำและความดันสูง เมื่อความดันไอน้ำสูงถึงระดับความดันสูงที่ต้องใช้จะตัดการทำงาน และเมื่อใช้งานไอน้ำไประยะหนึ่งความดันไอน้ำในหม้อน้ำลดถึงความดันต่ำกว่าที่ตั้งไว้หัวเผาจะเริ่มทำงานอีกครั้งจนกระทั่งความดันไอน้ำสูงถึงระดับความดันสูงจะตัดการทำงาน การควบคุมหัวเผาแบบนี้จะใช้หัวฉีดน้ำมันเพียงหัวเดียวควบคุมการจ่ายน้ำมัน โดยใช้โซลินอยด์วาล์วที่รับสัญญาณความดันจากสวิตช์ควบคุมความดัน ปริมาณน้ำมันที่ป้อนเข้าจะถูกกำหนดด้วยขนาดของหัวฉีดและความดันน้ำมันใช้งาน ซึ่งจะอยู่ในช่วง 20-25 บาร์ หัวเผาแบบนี้จะไม่มีการควบคุมอากาศขณะทำงาน เนื่องจากสภาพการเผาไหม้มีเพียงสภาวะเดียวแต่สามารถปรับตั้งปริมาณอากาศให้เหมาะสมกับการเผาไหม้ได้โดยการปรับแดมเปอร์ที่ท่อป้อนอากาศเข้า

การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบตัด-ต่อ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ปิดสวิตช์การทำงานและเปิดหัวเผาตรวจสอบหัวฉีด กระจังลม เขี้ยวสปาร์ค และกรวยไฟ การตรวจสอบและการปรับตั้งให้ปฏิบัติตามหัวข้อ 6.5

2. ปิดหัวเผาเข้ากับหม้อน้ำแล้วเปิดสวิตช์ให้หัวเผาทำงานเพื่อตรวจสอบความดันและอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง การตรวจสอบและปรับตั้งให้ปฏิบัติตามตารางที่ 6-12

3. ทำการวัดร้อยละของออกซิเจน ($\%O_2$) ค่าร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ ($\%CO_2$) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO เป็น ppm) ในก๊าซไอเสีย

4. พิจารณาผลการวัดก๊าซไอเสียและกำหนดแนวทางการปรับแดมเปอร์ตามกรณีและเกณฑ์ในตารางที่ 6-14

5. คลายน๊อตล็อคตำแหน่งแดมเปอร์ไปในทิศทางที่ได้กำหนดไว้ในข้อ 4 จนกว่าค่า $\%O_2$, $\%CO_2$, และ CO จะอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

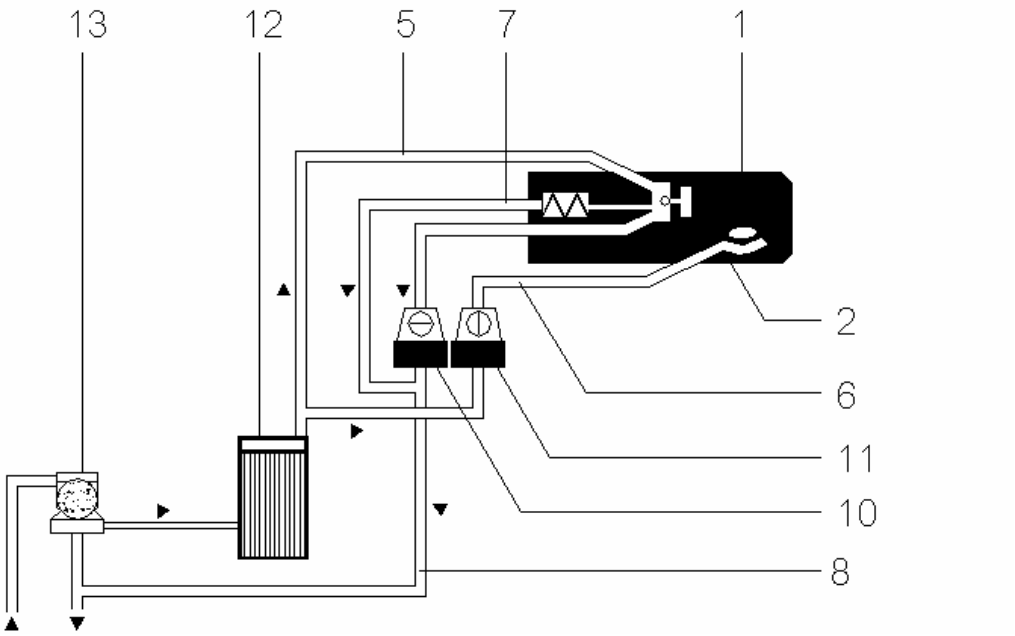
6. ทำการล็อคน๊อตที่ยึดแดมเปอร์ ที่ยึดแดมเปอร์แสดงในรูปที่ 6-31

รูปที่ 6-31 ที่ยึดแดมเปอร์

2) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟมาก-น้อย

หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟมาก-น้อย (Pressure atomized hi/lo-fire burner) หรือที่เรียกว่าหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมันแบบ 2 จังหวะ (Pressure atomized two-stage tuning burner) เป็นที่นิยมกันมาก เนื่องจากราคาไม่แพงมาก และสามารถเร่งหรี่ได้ 2 ระดับ คือทำงานที่ตำแหน่งไฟน้อย (Low fire) เมื่อต้องการอัตราการผลิตไอน้ำน้อย และทำงานที่ตำแหน่งไฟมาก (High fire) เมื่อต้องการอัตราการผลิตไอน้ำมาก หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟมาก-น้อย ควบคุมการจ่ายน้ำมันโดยใช้หัวฉีด 2 หัว และใช้โซลินอยด์วาล์ว 2 ชุด ควบคุมหัวฉีดทั้ง 2 หัว ดังแสดงในรูปที่ 6-32 หัวฉีดที่ใช้กับหัวเผามี 2 ชนิด คือ แบบไม่มีน้ำมันไหลกลับ (Non–oil return injector) ใช้กับหัวเผาที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และแบบมีน้ำมันไหลกลับ (Oil return injector) มักใช้กับหัวเผาที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง และเป็นแบบที่มีใช้กันมากในประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 6-33

รูปที่ 6-32 หัวฉีด 2 หัวในหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟมาก-น้อย



รูปที่ 6-33 วงจรน้ำมันของหัวฉีดแบบมีน้ำมันไหลกลับ

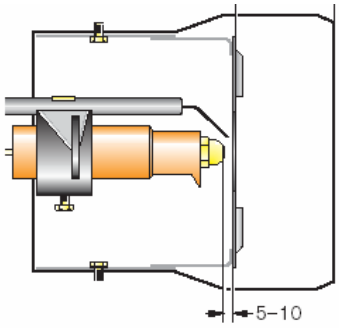
การทำงานเริ่มจากหัวเผาไล่อากาศในห้องเผาไหม้ (Pre-purge period) น้ำมันจากปั๊มผ่านฮีทเตอร์ไปยังหัวฉีด และออกจากหัวฉีดผ่านโซลินอยด์วาล์ว (10) ที่เปิดอยู่ (Normally open, NO) กลับไปตามท่อน้ำมันกลับ (8) จะเห็นว่าหัวฉีดจะร้อนพร้อมที่จะพ่นน้ำมันออกมาตลอดเวลา ขณะที่วาล์วหัวฉีด (3) ยังคงปิดสนิทอยู่ เมื่อไล่อากาศเสร็จ โซลินอยด์วาล์ว (10) ปิด น้ำมันไม่มีทางกลับความดันเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 20-25 บาร์ ทำให้วาล์วหัวฉีด (3) เปิดออกได้ และน้ำมันฉีดออกจากหัวฉีด (1) จะมีน้ำมันเล็กน้อยรั่วผ่านวาล์วลูกสูบ (9) กลับไปตามท่อ (7) และ (8) ปริมาณน้ำมันที่ฉีดออกจากหัวฉีด 1 เรียกกว่าไฟน้อย (Low fire หรือ Partial load) การทำงานที่ตำแหน่งไฟมาก (High fire หรือ Full load) โซลินอยด์วาล์ว (11) จะเปิดน้ำมันให้ไหลไปยังหัวฉีด (2) ผ่านบอลวาล์ว (4) ขณะที่หัวเผาจะทำงานด้วยหัวฉีด 2 หัวพร้อมกัน บอลวาล์ว (4) จะกักน้ำมันระหว่างโซลินอยด์กับหัวฉีด (2) เมื่อไม่ทำงาน เป็นการป้องกันความดันน้ำมันตก เมื่อเปลี่ยนจากหัวฉีด 1 ไปยังหัวฉีด 2 เมื่อหัวเผาไม่ทำงานโซลินอยด์วาล์ว (10) จะเปิด ความดันน้ำมันจะผ่อนลงไปตามท่อทางน้ำมันกลับและวาล์วหัวฉีด (3) จะปิดอย่างรวดเร็ว

ส่วนการควบคุมปริมาณอากาศเข้าหัวเผา จะควบคุมโดยเซอร์โวมอเตอร์ขับเพลาแดมเปอร์ให้เปิดปิดในตำแหน่งที่ต้องการ ตามตำแหน่งการทำงานไฟน้อยหรือไฟมาก ซึ่งการควบคุมมีกลไกที่นิยมใช้กันอยู่ 2 แบบ ได้แก่ แบบควบคุมด้วยชุดสวิตช์ลูกเบี้ยว (Limit switch) ที่ขับด้วยเซอร์โวมอเตอร์ และแบบตัวหยุด (Stopper)

การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟมาก-น้อย หรือที่เรียกว่าหัวเผาแบบ 2 จังหวะ มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตา ก่อนเข้าหัวฉีด (Nozzle) ให้มีอุณหภูมิระหว่าง 100-120 °C

2. ตรวจสอบระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นกระจายลม (Air diffuser) ให้มีระยะตามที่กำหนดในคู่มือ ดังแสดงในรูปที่ 6-34

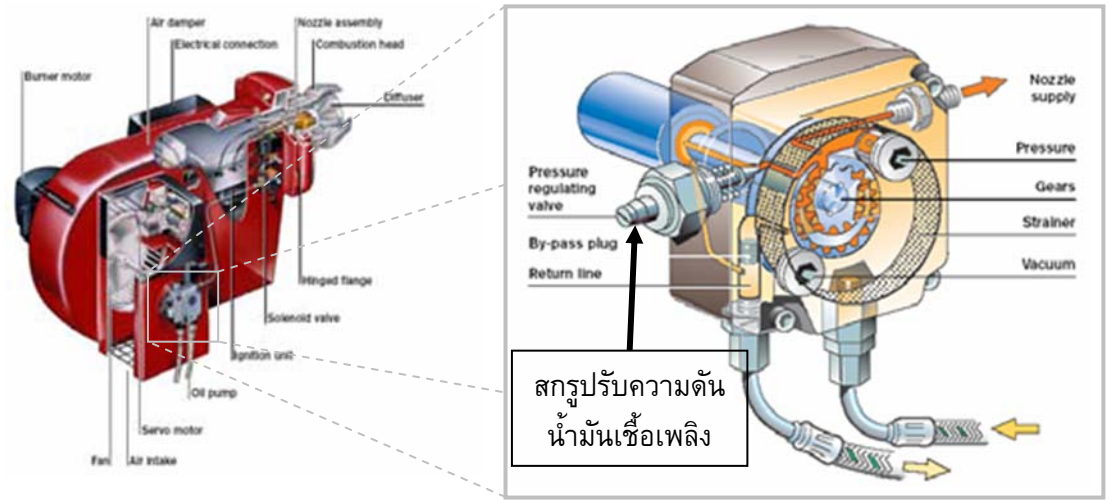


รูปที่ 6-34 การปรับตั้งระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นกระจายลม

3. ปรับตั้งความดันของปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel oil pump) ให้เป็นไปตามที่กำหนดในคู่มือ ตามรุ่นของหัวเผาน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับหัวฉีดแบบ 2 จังหวะ (Two-stage burner) จะใช้ความดันประมาณ 20-25 บาร์ โดยทั่วไปจะขันสกรูเข้าเมื่อต้องการเพิ่มความดันน้ำมันเชื้อเพลิง และขันออกเพื่อลดความดัน ตำแหน่งของสกรูปรับตั้งความดันน้ำมันเชื้อเพลิงแสดงดังในรูปที่ 6-35

4. สังเกตควันดำด้วยตาเปล่า ถ้ามีควันดำให้เพิ่มประมาณอากาศ จนไม่มีควัน

5. ตรวจวัดปริมาณ O_2 หรือ CO_2 โดยมีปริมาณ O_2 ประมาณ 3.5-4.5% หรือปริมาณ CO_2 ประมาณ 12.5-13.5%



รูปที่ 6-35 ตำแหน่งของสกรูปรับตั้งความดันน้ำมันเชื้อเพลิง

6. ตรวจวัดปริมาณ CO ว่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษหรือไม่ ถ้าเกินให้กลับไปตรวจสอบ อุณหภูมิน้ำมัน และแรงดันน้ำมัน รวมทั้งหัวฉีดของตัวหัวพ่นว่าผิดปรกติหรือไม่

7. วัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย ที่ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซ โดยตำแหน่งนี้อยู่ที่ทางออกของปล่องไอเสีย และต้องไม่มีการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาเจือปน โดยที่อุณหภูมิไอเสียที่ออกจากหม้อน้ำต้องเป็นไปตามสมการ

$$T_{ex} = T_{sat} + 83\ ^{\circ}C\ (150\ ^{\circ}F)$$

เช่น ที่ความดันไอน้ำ 85 psi (หรือ 6 บาร์) อุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว (Saturated temperature) เท่ากับ 164 $^{\circ}$C (ดูความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัวในตารางที่ 6-15) อุณหภูมิปล่องต้องไม่เกิน 247 $^{\circ}$C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่คำนวณได้ตามสมการ ให้หยุดหม้อน้ำ แล้วทำการตรวจสอบและทำความสะอาดพื้นที่ผิวทางด้านไฟและด้านน้ำ เช่น แยงเขม่า ล้างตะกรัน เป็นต้น

ตารางที่ 6-15 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว

ความดันเกจ		อุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว		ความร้อนที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน	
kg/cm^2	psi	$^{\circ}$C	$^{\circ}$F	kcal/kg	BTU/lb
0.03	0.00	100	212	539	970
0.35	5.00	109	228	533	960
1.05	15.00	121	250	525	745
2.50	35.00	138	281	513	724
3.00	45.00	144	292	508	715
6.00	85.00	164	328	493	888
13.00	185.00	194	382	469	843
20.00	285.00	214	417	449	809

กรณีที่เกิดควันดำและเป็นหัวเผาที่ควบคุมด้วยชุดสวิตช์ลูกเบี้ยว ดังแสดงในรูปที่ 6-36 การควบคุมแบบนี้ช่องทางอากาศเข้ามีแดมเปอร์ และก้านแดมเปอร์ต่อกันกับเพลาเซอร์โวมอเตอร์ ที่มีชุดสวิตช์ลูกเบี้ยวทำหน้าที่ควบคุมให้สวิตช์ต่างๆ ทำงาน ลูกเบี้ยวทั้งหมด 4 ลูก แต่ละลูกใช้ควบคุมแดมเปอร์และโซลินอยด์วาล์วน้ำมัน โดยการเรียงลำดับจะขึ้นอยู่กับยี่ห้อ แต่สามารถดูไดอะแกรมที่ติดอยู่กับฝาครอบชุดสวิตช์ลูกเบี้ยวให้ทำการปรับแต่งหัวเผาเพิ่มเติมดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ถ้าหากมีควันดำเกิดขึ้นตอนจังหวะหัวที่ 1 หรือหัวเล็กทำงาน (จังหวะ Low fire หรือ Partial load) ให้ปรับลิมิตสวิตช์ (Limit switch) หมายเลข 2 ไปทางตำแหน่งตัวเลขมากทีละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ

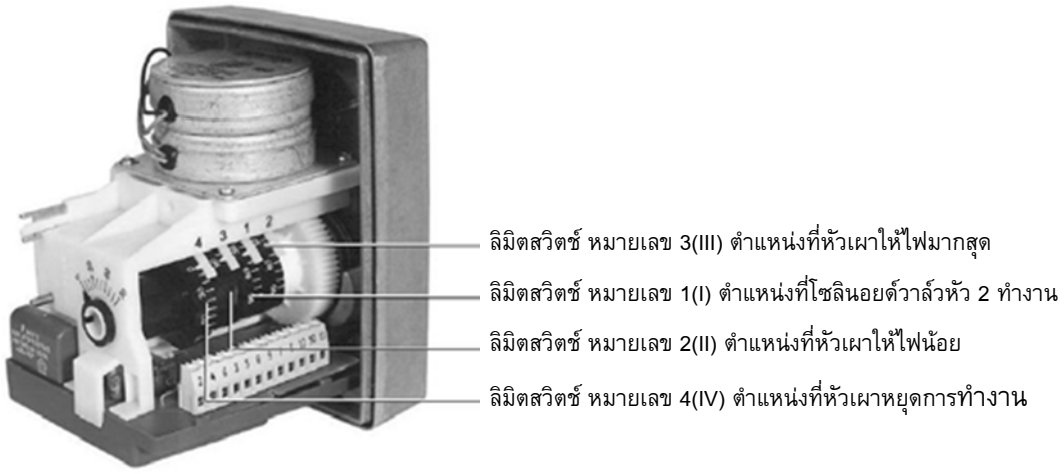
2. ถ้าหากมีควันดำเกิดขึ้นตอนจังหวะหัวที่ 2 หรือหัวเล็กทำงาน (จังหวะ Full load หรือ High fire) ให้ปรับลิมิตสวิตช์ หมายเลข 3 ไปทางตำแหน่งตัวเลขมากทีละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ

3. ถ้าหากมีควันดำระหว่างการเปลี่ยนการทำงานจากหัวที่ 1 ไปเป็นหัวที่ 2 (จังหวะเร่ง) ให้ปรับลิมิตสวิตช์ หมายเลข 1 ไปทางตำแหน่งตัวเลขมากทีละน้อยๆ จนไม่มีควันดำ

หมายเหตุ: สำหรับหัวเผาที่ใช้ต่างผู้ผลิต ต่างรุ่น ให้สังเกตรายละเอียดของลิมิตสวิตช์ที่ตัวมอเตอร์

4. ตัวอย่างลิมิตสวิตช์ของหัวขับไฟฟ้าแบบเร่งหรี่ (Servo drive) เพื่อกำหนดอากาศส่วนเกินให้เหมาะสมกับการเผาไหม้ของหัวเผาเชื้อเพลิง ดังนี้

- ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 1 (I) คือตำแหน่งที่โซลินอยด์วาล์วหัวที่ 2 ทำงาน
- ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 2 (II) คือตำแหน่งที่หัวเผาให้ไฟน้อย (partial load)
- ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 3 (III) คือตำแหน่งที่หัวเผาให้ไฟมากสุด (full load)
- ลิมิตสวิตช์ หมายเลข 4 (IV) คือตำแหน่งที่หัวเผาหยุดการทำงาน (close)



รูปที่ 6-36 ตัวอย่างลิมิตสวิตช์บนมอเตอร์เร่งหรี่น้ำมันและลม (Servo motor)

5. ตัวอย่างการปรับลิมิตสวิทซ์แบบตั้งค่าตายตัว โดยไม่ต้องเปลี่ยนหรือตั้งค่าบ่อยๆ เป็นดังนี้

- ปรับลิมิตสวิทซ์ หมายเลข 1 (I) (ตำแหน่งที่โซลินอยด์วาล์วหัวที่ 2 ทำงาน) ไปที่ตำแหน่งประมาณ 25-30 องศา

- ปรับลิมิตสวิทซ์ หมายเลข 2 (II) (ตำแหน่งที่หัวเผาให้ไฟน้อย (Partial load)) ไปที่ตำแหน่งประมาณ 10-15 องศา
- ปรับลิมิตสวิทซ์ หมายเลข 3 (III) (ตำแหน่งที่หัวเผาให้ไฟมากสุด (Full load)) ไปที่ตำแหน่งประมาณ 50-60 องศา
- ปรับลิมิตสวิทซ์ หมายเลข 4 (IV) (ตำแหน่งที่หัวเผาหยุดการทำงาน) ไปที่ตำแหน่งศูนย์

6. ปรับแต่งตำแหน่งไฟน้อย (Partial load) 2 (II) และ ไฟมากสุด (Full load) 3 (III) ให้ได้ค่าดังนี้

- ปริมาณ O_2 = 2-6 %
- ปริมาณ CO_2 = 11-14 %
- เบอร์เขม่า (Soot No.) = 0-3

สำหรับหัวเผาที่ควบคุมด้วยตัวหยุด (Stopper) จะมีทางเข้าอากาศมีแดมเปอร์ปิด-เปิด เพื่อควบคุมปริมาณอากาศเข้าเผาไหม้ โดยมีระดับการเปิดและปิด 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งไฟน้อย ระดับการเปิดของตำแหน่งทั้ง 2 มีน๊อตเป็นตัวหยุด ตามรูปที่ 6-37 หัวเผาทำงานอยู่ในตำแหน่งไฟน้อย (ตัวหยุด ตำแหน่งที่ 1) เมื่อหัวเผาเปลี่ยนการทำงานจากไฟน้อยไปเป็นไฟมากเซอร์โวมอเตอร์จะขับแดมเปอร์ให้หมุนไปในทิศทางที่เปิดทางเข้าอากาศให้มากขึ้น และจะไปหยุดเมื่อแขนไปชนกับตัวหยุด ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ช่องอากาศเข้าเปิดมาก โดยการเปลี่ยนการทำงานจากไฟน้อยไปเป็นไฟมากนั้น จะอาศัยสัญญาณจากสวิตช์ความดันไปสั่งให้มอเตอร์ขับแดมเปอร์ทำงาน พร้อมกับสั่งให้โซลินอยด์วาล์วน้ำมันของหัวฉีดที่ 2 ปิด (สำหรับหัวฉีดแบบมีน้ำมันย้อนกลับ) และเมื่อความดันไอน้ำสูงถึงระดับที่กำหนด สวิตช์ความดันจะส่งสัญญาณให้โซลินอยด์วาล์วน้ำมันเปิดทำให้หัวฉีดที่ 2 ไม่ทำงาน และให้มอเตอร์ขับแดมเปอร์ไปในทิศทางเปิดทางเข้าอากาศจนกระทั่งแขนแดมเปอร์ไปชนตัวหยุดที่ตำแหน่งที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ช่องอากาศเข้าเปิดน้อย

รูปที่ 6-37 ตัวหยุดแขนปรับแดมเปอร์

กรณีที่เกิดควันดำและเป็นหัวเผาที่ควบคุมด้วยตัวหยุด จะมีขั้นตอนในการปรับแต่งหัวเผาดังนี้

1. ปิดสวิตช์การทำงาน และเปิดหัวเผาเพื่อตรวจสอบหัวฉีด กระจังลม เขี้ยวสปาร์ค และกรวยไฟ การตรวจสอบและการปรับตั้งให้ปฏิบัติตามหัวข้อ 6.5

2. ปิดหัวเผาเข้าหม้อน้ำแล้วเปิดสวิตช์ให้หัวเผาทำงาน เพื่อตรวจสอบความดันและอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง การตรวจสอบและปรับตัวให้ปฏิบัติตามตารางที่ 6-12

3. เปิดสวิตช์ล็อคตำแหน่งให้ชน หัวเผาทำงานที่ตำแหน่งไฟน้อย (Low Fire)

4. ทำการวัดค่าร้อยละของออกซิเจน ($\%O_2$) ค่าร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ ($\%CO_2$) และปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO เป็น ppm) ในก๊าซไอเสีย

5. พิจารณาผลการวัดก๊าซไอเสียและกำหนดแนวทางการปรับปริมาณอากาศตามกรณีและเกณฑ์ในตารางที่ 6-14

6. ปรับระยะน๊อต ปรับระยะการเปิดของแดมเปอร์ตำแหน่งไฟน้อย (Low fire) ใหม่โดยการขันน๊อตในทิศทางให้แดมเปอร์เปิดมากขึ้น ถ้าต้องการปริมาณอากาศเพิ่มขึ้น หรือในทิศทางให้แดมเปอร์ปิดลงมากขึ้น ในกรณีที่ต้องการลดปริมาณอากาศ พร้อมกับตรวจวัดค่า ค่า $\%O_2$ ค่า $\%CO_2$ และ CO ปรับปริมาณอากาศจนกว่าค่าทั้งสามจะอยู่ในเกณฑ์

7. ปรับสวิตช์ให้หัวเผาทำงานที่ตำแหน่งไฟมาก (High fire)

8. ดำเนินการตามข้อ 4 และ 5

9. จากนั้นดำเนินการขันน๊อตปรับระยะการเปิดของแดมเปอร์ตำแหน่งไฟมาก ให้แดมเปอร์เปิดมากขึ้น หรือน้อยลงตามปริมาณอากาศที่ต้องการโดยให้พิจารณาผลการวัด $\%O_2$, $\%CO_2$ และปริมาณ CO พร้อมการปรับไปด้วย ปรับระยะน๊อตทีละน้อยจนกว่า ค่าตรวจวัดทั้งสามอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

3) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟมาก-กลาง-น้อย

หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบไฟมาก-กลาง-น้อย (Pressure atomized high/medium/low-fire burner) หรือหัวเผาแบบ 3 จังหวะ (Pressure atomized three-stage tuning burner) มีใช้กันน้อยมากในประเทศไทย เมื่อเทียบกันแบบไฟมาก-น้อย การทำงานเหมือนกันกับแบบไฟมาก-น้อย เพียงแต่เพิ่มระดับขั้นของการควบคุมเพิ่มอีกหนึ่งขั้น คือ ไฟกลาง การควบคุมน้ำมันจะเพิ่มจากใช้โซลินอยด์วาล์ว 2 ตัว เป็นใช้โซลินอยด์ 3 ตัว สำหรับหัวฉีดทั้ง 3 ตัว การควบคุมอากาศจะเป็นแบบใช้สวิตช์ลูกเบี้ยว โดยจะมีสวิตช์ลูกเบี้ยวเพิ่มจากแบบไฟมาก-น้อย ขึ้นมาอีก 1 ตัว

หลักการปรับแต่งสามารถปฏิบัติทำนองเดียวกับการปรับแต่งหัวเผาแบบไฟมาก-น้อย โดยมีการเพิ่มเติมการปรับแต่งในส่วนของไฟกลาง (Medium fire) ขึ้นมาอีก 1 ขั้น แต่วิธีการปรับแต่งเหมือนเดิม

4) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่องแบบสองขั้นตอน

หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่องแบบสองขั้นตอน (Pressure atomized two-stage modulating burner) มีลักษณะกลไกการทำงานและอุปกรณ์ต่างๆ เหมือนกับการควบคุมหัวเผาแบบต่อเนื่อง (Modulating burner) เพียงแต่ไม่มีบอร์ดหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ควบคุมการทำงานแบบต่อเนื่อง แต่ใช้เพียงสวิตช์ความดันควบคุม จึงมี 2 ระดับ คือ ไฟน้อยและไฟมาก ทั้งนี้ช่วงจุดติดเตาจะมีสภาวะการเผาไหม้คนละตำแหน่งกับไฟน้อย ซึ่งต่างจากการควบคุมหัวเผาแบบไฟมาก-น้อย การควบคุมน้ำมัน

ของหัวเผาแบบนี้ใช้เซอร์โวมอเตอร์ขับวาล์วควบคุมปริมาณน้ำมัน (Fuel regulating value) ให้จ่ายน้ำมันให้หัวฉีดเพียงหัวเดียว ปริมาณน้ำมันที่ฉีดจะมากหรือน้อยตามการเปิดของวาล์วควบคุม ซึ่งเซอร์โวมอเตอร์ถูกควบคุมโดยสวิตช์ลูกเบี้ยวให้หยุดที่ตำแหน่งจุดเตา ตำแหน่งไฟน้อย และตำแหน่งไฟมาก แต่ละตำแหน่งวาล์วควบคุมน้ำมันจะเปิดให้น้ำมันผ่านในปริมาณที่มากน้อยต่างกันตามที่ปรับตั้งไว้ ส่วนการควบคุมปริมาณอากาศใช้การควบคุมเปิด-ปิดของแดมเปอร์บริเวณทางเข้าอากาศ แดมเปอร์มีกลไกเชื่อมโยงกับลูกเบี้ยวควบคุมอากาศ (Adjustable cam) ที่อยู่บนแกนเพลาเดียวกันกับเซอร์โวมอเตอร์ที่ขับวาล์วควบคุมน้ำมัน ดังนั้นเมื่อเซอร์โวมอเตอร์ทำงาน เช่น เปลี่ยนสภาวะจากไฟน้อยเป็นไฟมาก เซอร์โวมอเตอร์จะขับวาล์วน้ำมันให้เปิดพร้อมกันกับขับลูกเบี้ยวควบคุมอากาศให้หมุนไปพร้อมกัน ลูกเบี้ยวที่หมุนไปจะไปดันให้แขนกลไกทำงาน โดยจะทำให้แดมเปอร์เปิดมากขึ้น เพื่อป้อนอากาศเข้าห้องเผาไหม้มากขึ้นตามปริมาณน้ำมัน สวิตช์ลูกเบี้ยวที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ถูกกำหนดเป็นมาตรฐานดังนี้

I	-	แดมเปอร์เปิด 130 องศา
II	-	แดมเปอร์ปิด 0 องศา
III	-	โหลดจุดติดไฟ (Ignition load) ที่ 30 องศา
IV	-	สวิตช์ต่อที่จังหวะ 2 เพิ่มน้ำมันที่ 100 องศา
V และ VI	-	ไม่ใช้
VII	-	โหลดไฟน้อย (Partial load) 50 องศา

แดมเปอร์จะเปิดมากหรือน้อยที่ตำแหน่งนั้นๆ ขึ้นอยู่กับรูปร่างของ Cam ซึ่งสามารถปรับตั้งได้ สวิตช์ลูกเบี้ยวและลูกเบี้ยวควบคุมอากาศที่ใช้ในการปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่องแบบสองขั้นตอน แสดงได้ดังรูปที่ 6-38 ส่วนการปรับแต่งสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ปิดสวิตช์การทำงาน และเปิดหัวเผาเพื่อตรวจสอบหัวฉีด กระจังลม เขี้ยวสปาร์ค และกรวยไฟ การตรวจสอบและการปรับตั้งให้ปฏิบัติตามหัวข้อ 6.5

2. ปิดหัวเผาเข้ากับหม้อน้ำแล้วเปิดสวิตช์ให้หัวเผาทำงาน เพื่อตรวจสอบความดันและอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง การตรวจสอบและปรับตั้งให้ปฏิบัติตามตารางที่ 6-12

3. เปิดสวิตช์ล็อคตำแหน่งให้หัวเผาที่ตำแหน่งไฟน้อย (Low fire)

4. ทำการวัดค่าร้อยละของออกซิเจน ($\%O_2$) ค่าร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ ($\%CO_2$) และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO เป็น ppm) ในก๊าซไอเสีย

5. พิจารณาผลการวัดก๊าซไอเสียและกำหนดแนวทางการปรับปริมาณอากาศตามกรณี และเกณฑ์ในตารางที่ 6-14

6. เปิดฝากล่องชุดสวิตช์ลูกเบี้ยว (Limit switch) และตรวจสอบตำแหน่งลูกเบี้ยวที่ควบคุมแดมเปอร์ในภาวะไฟน้อย (Low fire) ว่าอยู่ในช่วงองศาที่กำหนดไว้ในข้อมูลจำเพาะ (Specification) หรือไม่

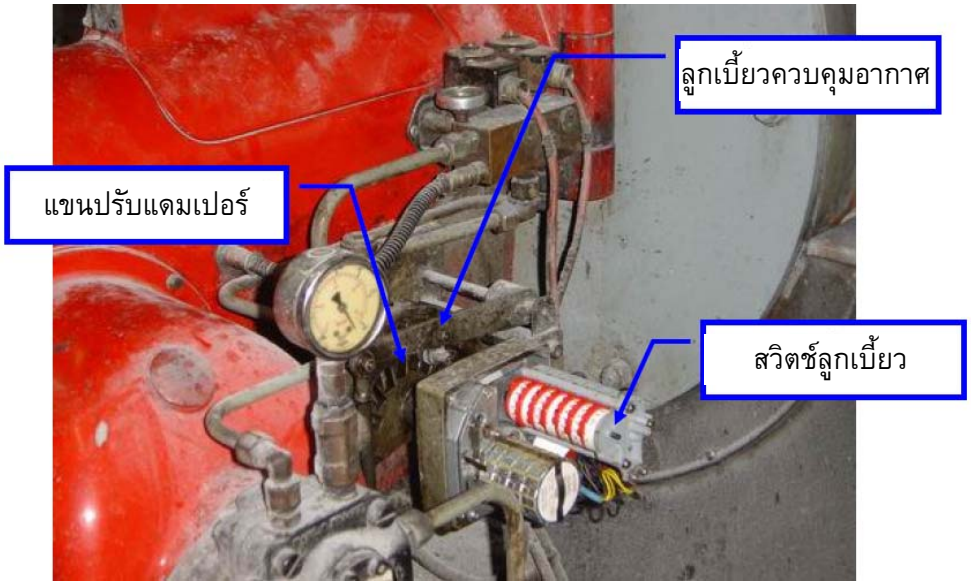
7. ปรับปริมาณอากาศให้มากขึ้นหรือน้อยลงตามที่พิจารณาจากข้อ 5 การปรับสามารถทำได้โดยคลายสกรูล็อค สกรูปรับแต่งแถบสปริง (Spring band) แล้วใช้ประแจหกเหลี่ยมปรับที่ตัวสกรูให้ขึ้นหรือลง เพื่อปรับปริมาณอากาศให้มากขึ้นหรือน้อยลง การปรับควรปรับทีละน้อยพร้อมกับตรวจสอบค่า $\%O_2$ $\%CO_2$ และ CO ให้อยู่ในเกณฑ์ แล้วทำการล็อคน๊อตเพื่อไม่ให้สกรูปรับแต่งแถบสปริงเคลื่อนตัวได้

8. ปรับสวิตช์ควบคุมให้หัวเผาทำงานที่ตำแหน่งไฟมาก

9. ตรวจสอบตำแหน่งที่ลูกเบี้ยวที่ควบคุมแดมเปอร์ในภาวะไฟมากว่าอยู่ในช่ององศาตามที่ข้อมูลจำเพาะกำหนดหรือไม่

10. ปฏิบัติเหมือนกับข้อ 4 ถึง ข้อ 7 แต่ตำแหน่งสกรูปรับแต่งแถบสปริงที่ทำการปรับปริมาณอากาศคือตำแหน่งที่ไฟมาก

11. การปรับปริมาณอากาศทั้ง 2 ตำแหน่ง ต้องปรับแต่งที่ตำแหน่งที่อยู่ระหว่างกลางของไฟน้อยและไฟมากด้วย ซึ่งทำได้โดยการปรับไล่ระดับแถบสปริงให้มีลักษณะเรียบ ไม่สูงโด่ง



รูปที่ 6-38 สวิตช์ลูกเบี้ยวและลูกเบี้ยวควบคุมอากาศ

5) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง

หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง (Pressure atomized modulating burner) มีลักษณะการทำงานเหมือนกับหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่องแบบสองขั้นตอน ทั้งในเรื่องของการทำงานของหัวฉีด การควบคุมน้ำมัน และการควบคุมอากาศ แต่ระดับการทำงานมีมากกว่า 10-20 ระดับ มีแผงวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงาน โดยอาศัยสัญญาณไฟฟ้าแบบต่อเนื่องที่ได้รับจากอุปกรณ์วัดความดันไอน้ำ ทำให้สามารถควบคุมการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง การปรับแต่งหัวเผาแบบต่อเนื่อง มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตา ก่อนเข้าหัวฉีด (Nozzle) ให้มีอุณหภูมิระหว่าง 100-120 $^{\circ}$C

2. ตรวจสอบระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นกระจายลม (Air diffuser) ให้มีระยะตามที่กำหนดในคู่มือ

3. ปรับตั้งความดันของปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel oil pump) ให้เป็นไปตามที่กำหนดในคู่มือ ตามรุ่นของหัวเผาน้ำมันเชื้อเพลิง

4. สังเกตควันดำด้วยตาเปล่า ถ้ามีควันดำให้เพิ่มประมาณอากาศ จนไม่มีควัน

5. ตรวจวัดปริมาณ O_2 หรือ CO_2 โดยมีปริมาณ O_2 ประมาณ 3.5-4.5% หรือปริมาณ CO_2 12.5-13.5%

6. ตรวจวัดปริมาณ CO ว่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษหรือไม่ ถ้าเกินให้กลับไปตรวจสอบ อุณหภูมิน้ำมัน และแรงดันน้ำมัน รวมทั้งหัวฉีดของตัวหัวพ่นว่าผิดปรกติหรือไม่

7. วัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย ที่ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซ โดยตำแหน่งนี้อยู่ที่ทางออกของปล่องไอเสีย และต้องไม่มีการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาเจือปน โดยที่อุณหภูมิไอเสียที่ออกจากหม้อน้ำต้องเป็นไปตามสมการข้างต้น

กรณีที่เกิดควันดำให้ทำการปรับแต่งหัวเผาเพิ่มเติมดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะจุดนำ (ตำแหน่งของลิมิตสวิตช์หมายเลข 3 ปรกติตั้งไว้ประมาณ 25-30 องศา) ให้ทำการขันน็อตที่แคมปรับลมเข้า ดังแสดงในรูปที่ 6-39 และ 6-40 เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ

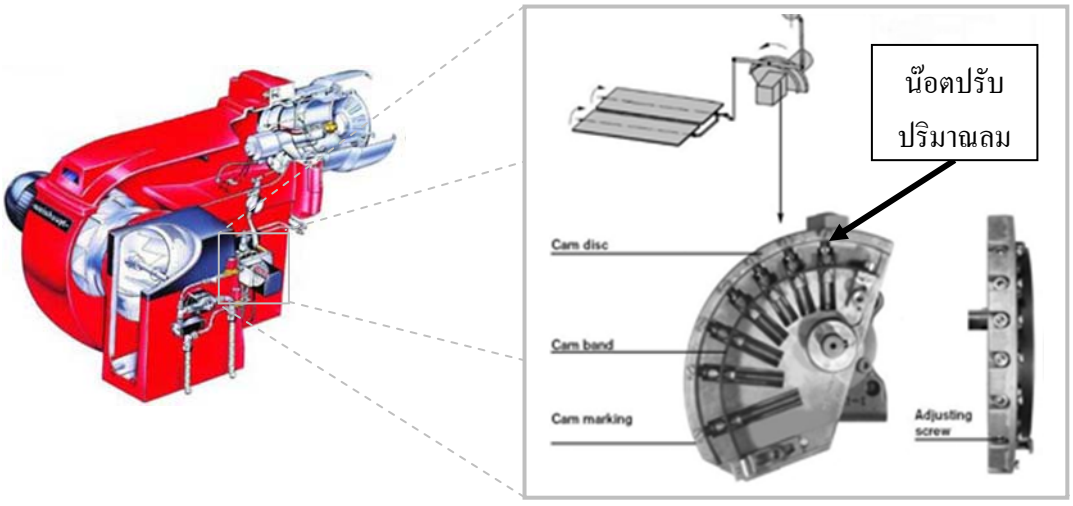
2. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ Low fire (ตำแหน่งของลิมิตสวิตช์หมายเลข 7 ปรกติตั้งไว้ประมาณ 40-55 องศา) ให้ทำการขันน็อตตัวที่ 2-3 ที่แคมปรับลมลมเข้า เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ

3. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ High fire (ตำแหน่งของลิมิตสวิตช์หมายเลข 1 ปรกติตั้งไว้ประมาณ 100-130 องศา) ให้ทำการขันน็อตที่ตำแหน่งสูงสุดที่ตรงกับลูกกลิ้งของแขนดึงแดมเปอร์ (Damper) เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ

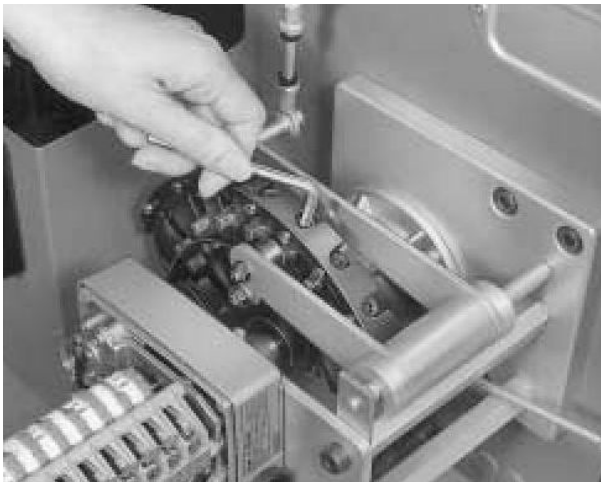
4. ทำการปรับปริมาณลมที่น็อตตำแหน่งอื่นๆ ระหว่างจังหวะ Low fire ถึง High fire โดยใช้สวิตช์บังคับให้มอเตอร์เร่งหรี่หยุดทีละตำแหน่งน็อต ถ้ามีควันดำให้ขันปรับน็อตที่ตำแหน่งนั้นๆ ซึ่งตรงกับลูกกลิ้งของแขนดึงแดมเปอร์ เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ

5. ทำจนครบทุกตำแหน่งน็อต (7 ตำแหน่ง)

หมายเหตุ: สำหรับหัวเผาที่มอเตอร์ เร่งหรี่ และแคมลม ต่างผู้ผลิต ต่างรุ่น ให้สังเกตรายละเอียดของหัวเผานั้นประกอบ



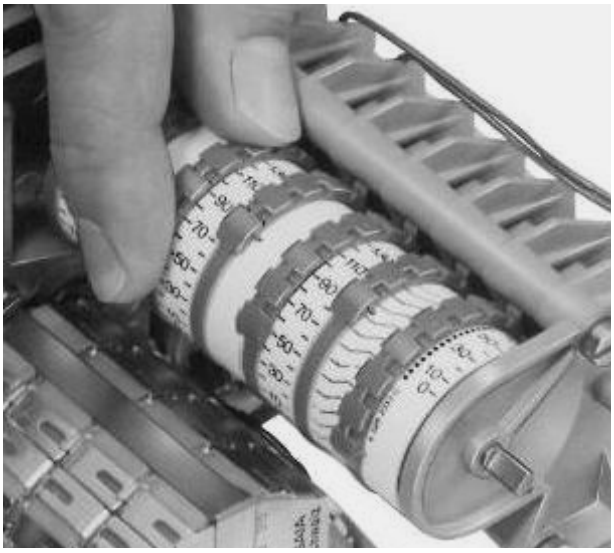
รูปที่ 6-39 น๊อตปรับแต่งปริมาณลม



รูปที่ 6-40 การปรับน๊อตปรับปริมาณลม

6. ตัวอย่างการปรับลิมิตสวิทซ์แบบตั้งค่าตายตัว ดังรูปที่ 6-41 โดยไม่ต้องเปลี่ยนหรือตั้งค่าบ่อยๆ เป็นดังนี้

- ตำแหน่งเริ่มจุดไฟ (Ignition) 25-30 องศา (น๊อตปรับตัวที่ #2-3)
- ตำแหน่งไฟน้อย (Partial load) 40-55 องศา (น๊อตปรับตัวที่ #4)
- ตำแหน่งไฟมากสุด (Full load) 100-130 องศา (น๊อตปรับตัวที่ #6-7)



รูปที่ 6-41 การปรับลิมิตสวิตซ์

7. ทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินให้ได้ค่าต่างๆ ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งการทำงานของหัวเผาและน๊อตปรับปริมาณลมดังต่อไปนี้

7.1 ตำแหน่งการจุดไฟ ให้ปรับตั้งน๊อตปรับปริมาณลมตัวที่ 2-3 จนกระทั่งได้ค่า

- CO_2 ประมาณ 11-14 %

- O_2 ประมาณ 2-6 %
- เขม่า (Soot No.) ประมาณ เบอร์ 3

7.2 ตำแหน่งที่หัวเผาให้ไฟน้อย ให้ปรับตั้งน๊อตปรับปริมาณลมตัวที่ 4-5 จนกระทั่งได้ค่า

- CO_2 ประมาณ 11-14 %
- O_2 ประมาณ 2-6 %
- เขม่า (Soot No.) ประมาณ เบอร์ 3

7.3 ตำแหน่งที่หัวเผาให้ไฟมากสุด ให้ปรับตั้งน๊อตปรับปริมาณลมตัวที่ 6-7 จนกระทั่งได้ค่า

- CO_2 ประมาณ 11-14 %
- O_2 ประมาณ 2-6 %
- เขม่า (Soot No.) ประมาณ เบอร์ 3

6) การปรับแต่งหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้อากาศหรือไอน้ำ ควบคุมแบบต่อเนื่อง

หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้อากาศหรือไอน้ำ เกือบทั้งหมดเป็นการควบคุมแบบต่อเนื่อง (Air or steam atomized modulating burner) มีการทำงานคล้ายกับหัวเผาชนิดพ่นฝอยด้วยแรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง แต่ต่างกันตรงที่กลไกการฉีดน้ำมันที่หัวฉีดใช้แรงดันอากาศหรือไอน้ำช่วยในการฉีดให้เป็นฝอย มีการจ่ายน้ำมันผ่านหัวฉีดเพียงหัวเดียว การควบคุมปริมาณน้ำมันเป็นแบบใช้เซอร์โวมอเตอร์ขับลูกเบี้ยวไปกดวาล์วควบคุมน้ำมัน (Metering cam) ให้เปิดมากน้อยตามที่ปรับตั้งไว้ ส่วนการควบคุมอากาศทำได้โดยกลไกที่เชื่อมโยงกับเพลาของเซอร์โวมอเตอร์ โดยแขนกลไกที่เชื่อมต่อมาจะหมุนลูกเบี้ยวและเปิด-ปิดแดมเปอร์ลม (Rotary damper) ให้สอดคล้องกับตำแหน่งการเปิดปิดของวาล์วน้ำมัน การปรับแต่งหัวเผาแบบใช้อากาศชนิดต่อเนื่อง มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตา ก่อนเข้าหัวฉีด (Nozzle) ให้มีอุณหภูมิระหว่าง 95-105 °C

2. ปรับตั้งแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิง (Oil pressure) ให้เป็นไปตามที่กำหนดในคู่มือ ตามรุ่นของหัวเผาเชื้อเพลิงที่กำหนด สำหรับหัวเผาแบบใช้อากาศ แรงดันก่อนเข้าชุดจ่ายน้ำมันมีค่าประมาณ 70-90 psi

3. ปรับตั้งแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ชุดควบคุมน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 6-42 ให้เหลือ 35-45 psi และปรับตั้งแรงดันน้ำมันขากลับจากชุดควบคุมน้ำมันให้ต่ำกว่าขาเข้า 10 psi (อยู่ที่ประมาณ 25-35 psi)

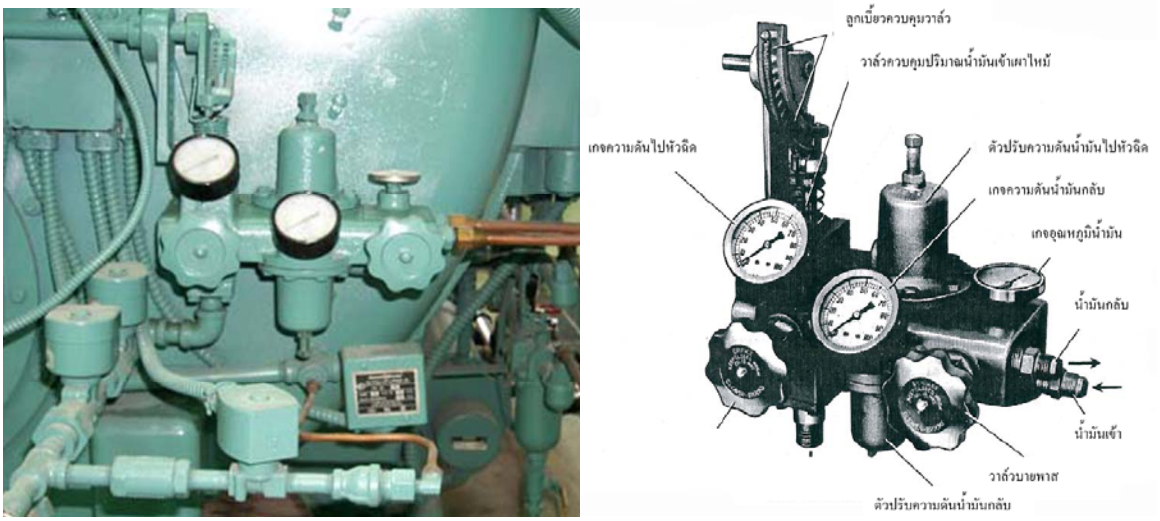
4. ตรวจสอบแรงดันลมจากปั๊มลมที่เข้าหัวพ่นไฟ จะต้องไม่ต่ำกว่า 10 psi (ตอนเครื่องเร่งสุดจะต้องไม่ต่ำกว่า 15 psi)

5. สังเกตควันดำด้วยตาเปล่า ถ้ามีควันดำให้เพิ่มประมาณอากาศ จนไม่มีควัน

6. ตรวจวัดปริมาณ O_2 หรือ CO_2 โดยมีปริมาณ O_2 ประมาณ 3.5-4.5% หรือปริมาณ CO_2 12.5-13.5%

7. ตรวจวัดปริมาณ CO ว่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษหรือไม่ ถ้าเกินให้กลับไปตรวจสอบ อุณหภูมิน้ำมัน และแรงดันน้ำมัน รวมทั้งหัวฉีดของตัวหัวพ่นว่าผิดปรกติหรือไม่

8. วัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย ที่ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซ โดยตำแหน่งนี้อยู่ที่ทางออกของปล่องไอเสีย และต้องไม่มีการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาเจือปน โดยที่อุณหภูมิไอเสียที่ออกจากหม้อน้ำต้องเป็นไปตามสมการข้างต้น



รูปที่ 6-42 ชุดควบคุมความดันของน้ำมันเชื้อเพลิง

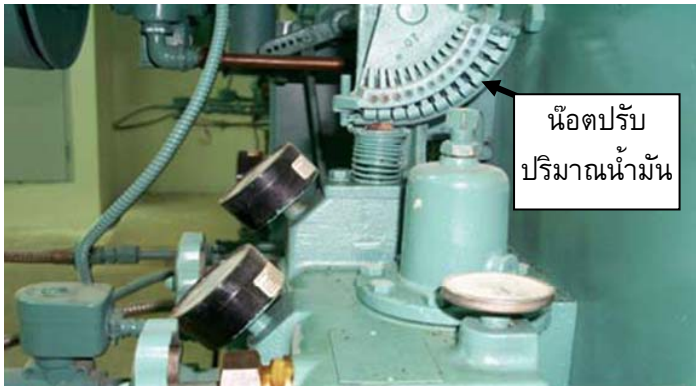
กรณีที่เกิดควันดำให้ทำการปรับแต่งหัวเผาเพิ่มเติมดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะจุด ให้ทำการขันน็อตที่แคมปรับปริมาณน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 6-43 ตำแหน่งที่ 1 เข้า เพื่อลดปริมาณน้ำมันทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ

2. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ Low fire (ตำแหน่งของลิมิตสวิตช์หมายเลข 7 ปรกติตั้งไว้ประมาณ 40-55 องศา) ให้ทำการขันน็อตตัวที่ 2-3 ที่แคมปรับปริมาณน้ำมันเข้า เพื่อลดปริมาณน้ำมันทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ

3. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ High fire (ตำแหน่งของลิมิตสวิตช์หมายเลข 1 ปรกติตั้งไว้ประมาณ 100-130 องศา) ให้ทำการขันน็อตที่ตำแหน่งสูงสุดที่ตรงกับลูกกลิ้งของแขนดึงแดมเปอร์ เพื่อลดปริมาณน้ำมันทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ

4. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะเร่ง ให้ทำการปรับปริมาณน้ำมันที่น็อตตำแหน่งอื่น (ตำแหน่งที่ 2-12) ระหว่างจังหวะ Low fire ถึง High fire โดยใช้สวิตซ์บังคับให้มอเตอร์เร่งหรี่หยุดทีละตำแหน่งน็อต ถ้าควันดำที่ตำแหน่งน็อตใด ให้ขันน็อตที่ตำแหน่งนั้นๆ ที่ตรงกับลูกกลิ้งของแขนดึงแดมเปอร์ เพื่อลดปริมาณน้ำมันทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ



รูปที่ 6-43 น็อตปรับปริมาณน้ำมัน

7) การปรับแต่งหัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน ควบคุมแบบต่อเนื่อง

หัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน เกือบทั้งหมดเป็นการควบคุมแบบต่อเนื่อง (Rotary cup modulating burner) มีลักษณะการทำงานเหมือนกับหัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้แรงดันน้ำมัน ควบคุมแบบต่อเนื่อง ทั้งในเรื่องของการควบคุมน้ำมันเป็นแบบใช้เซอร์โวมอเตอร์ขับวาล์วควบคุมน้ำมัน และเชื่อมโยงกับกลไกการควบคุมอากาศด้วยแดมเปอร์ หัวเผามีระดับการทำงาน 10-20 ระดับ มีแผงวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงาน โดยอาศัยสัญญาณไฟฟ้าแบบต่อเนื่องที่ได้รับจากอุปกรณ์วัดความดันไอน้ำ ทำให้สามารถควบคุมการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง แต่ต่างกันตรงที่กลไกการทำให้น้ำมันให้เป็นฝอยซึ่งใช้ถ้วยหมุนสลัดน้ำมันเป็นฝอยโดยอาศัยแรงเหวี่ยง การปรับแต่งหัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน ควบคุมแบบต่อเนื่อง มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตา ก่อนเข้าถ้วยเหวี่ยง ให้มีอุณหภูมิระหว่าง 70-90 °C ขึ้นกับชนิดของน้ำมัน โดยที่น้ำมันเตา A ใช้อุณหภูมิ 70-75 °C ส่วนน้ำมันเตา C ใช้อุณหภูมิ 80-85 °C

2. ปรับตั้งความดันน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นไปตามข้อกำหนดในคู่มือตามรุ่นของหัวเผา สำหรับหัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน โดยทั่วไปใช้ความดัน 2-3 bar

3. เช็คความตึงของสายพาน และความเร็วรอบการหมุนของถ้วยให้ได้ประมาณ 3,500-4,000 รอบต่อนาที ทั้งนี้ขึ้นกับข้อกำหนดของผู้ผลิต

4. สังเกตควันดำด้วยตาเปล่า ถ้ามีควันดำให้เพิ่มปริมาณอากาศต่อไปจนไม่มีควัน

5. ตรวจวัดปริมาณ O_2 หรือ CO_2 โดยให้มีค่า O_2 ประมาณ 3.5-4.5% หรือให้ CO2 มีค่าประมาณ 12.5-13.5%

6. ตรวจวัดปริมาณ CO มีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษหรือไม่ ถ้าสูงกว่าให้กลับไปตรวจสอบ อุณหภูมิน้ำมัน และความดันน้ำมันว่าสูงกว่าปรกติหรือไม่ รวมทั้งถ้วยเหวี่ยงว่ามีสภาพผิดปรกติหรือไม่

7. วัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย ที่ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซ โดยตำแหน่งนี้อยู่ที่ทางออกของปล่องไอเสีย และต้องไม่มีการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาเจือปน โดยที่อุณหภูมิไอเสียที่ออกจากหม้อน้ำต้องเป็นไปตามสมการข้างต้น

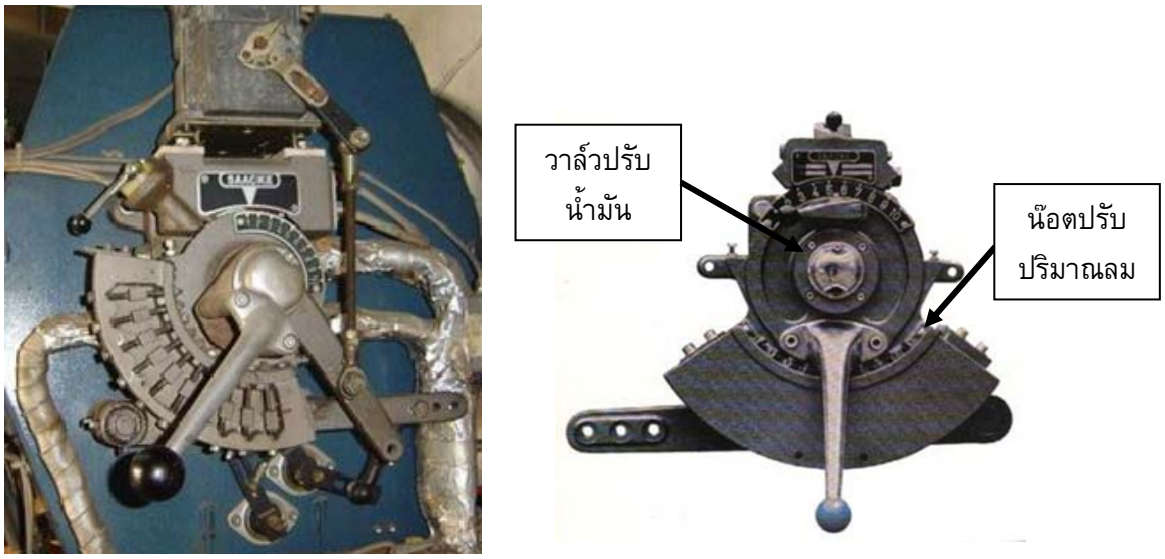
กรณีที่เกิดควันดำให้ทำการปรับแต่งหัวเผาเพิ่มเติมดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะจุด ให้ขันน๊อตตำแหน่งที่ 1 ในทิศทางที่เพิ่มอากาศทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ วาล์วปรับน้ำมันและน๊อตปรับปริมาณลมแสดงในรูปที่ 6-44

2. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ Low fire ให้ขันน๊อตประมาณตัวที่ 2-3 ที่แคมปรับลม เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ

3. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะ High fire ให้ขันน๊อตที่ตำแหน่ง 8-10 ให้ตรงกับลูกกลิ้งของแขนดึงแดมเปอร์ เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ

4. ถ้าหากมีควันดำตอนจังหวะเร่ง ให้ทำการปรับปริมาณลมที่น๊อตตำแหน่งอื่น (ตำแหน่งที่ 2-10) ระหว่างจังหวะ Low fire ถึง High fire โดยใช้สวิตซ์บังคับให้มอเตอร์เร่งหรี่หยุดทีละตำแหน่งน๊อต ถ้าเกิดควันดำขึ้นที่ตำแหน่งน๊อตใด ให้ขันน๊อตที่ตำแหน่งนั้นๆ ที่ตรงกับลูกกลิ้งของแขนดึงแดมเปอร์ เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศทีละน้อยๆ จนกระทั่งไม่มีควันดำ



รูปที่ 6-44 วาล์วปรับน้ำมันและน๊อตปรับปริมาณลม

6.4.4 การปรับแต่งหัวเผาจากการสังเกตเปลวไฟด้วยตาเปล่า

โรงงานเป็นจำนวนมากที่ไม่มีเครื่องวิเคราะห์ไอเสียออกจากปล่องไอเสีย เจ้าหน้าที่ดูแลหม้อน้ำควรเรียนรู้วิธีสังเกตเปลวไฟด้วยตาเปล่าในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเตา ว่าเมื่อเผาไหม้สมบูรณ์ดีหรือผิดปรกติเปลวไฟมีลักษณะเป็นอย่างไรบ้าง ซึ่งพอจะสรุปเป็น 2 กรณีได้ดังนี้

1) หม้อน้ำที่ไม่มีกระจกดูไฟท้ายเตา มีแต่กระจกด้านหน้าเตารูเล็กๆ ดังรูปที่ 6-45 จะมองไม่เห็นเปลวไฟทั้งหมด ดูได้แต่เพียงว่ามีแสงสว่างส่องออกมาจากกระจก ถ้าการเผาไหม้ดี ปริมาณอากาศเหมาะสม แสงจะสว่างมาก และแสงจะนิ่งไม่มีกระพือ ถ้าปริมาณอากาศน้อยกว่าค่าที่เหมาะสมแล้ว แสงจะออกสีคล้ำๆ หรือดำๆ ถ้าปริมาณอากาศมากเกินพอ แสงจะออกสีขาวและมีการกระพือเป็นแสงวับๆ ความจริงแล้วกระจกช่องเล็กๆ หน้าเตานั้นมีไว้ให้รู้ว่าเตาติดไฟอยู่หรือเตาดับเท่านั้น ไม่สามารถสังเกตรายละเอียดของเปลวไฟได้มาก

รูปที่ 6-45 กระจกดูไฟหน้าเตา

2) หม้อน้ำที่มีกระจกดูไฟท้ายเตา ดังรูปที่ 4-39 วิธีดูให้ได้ชัดเจนและเป็นประโยชน์มากที่สุด คือ ต้องให้ดวงตาที่ดูเข้าไปชิดกระจกให้มากที่สุด การดูรูปร่างและสีของเปลวไฟสามารถคาดคะเนปริมาณส่วนอากาศเกินได้ ทั้งนี้ต้องอาศัยประสบการณ์และการดูบ่อยๆ จนชำนาญ ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เกิดขึ้นและลักษณะเปลวไฟที่สังเกตได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

(ก) ถ้าการเผาไหม้ใช้อากาศส่วนเกินที่เหมาะสม ขณะเผาไหม้ที่ไฟมาก (High fire) เปลวไฟจะเป็นพุ่มเต็มตา มีสีแสด และค่อนข้างนิ่งอยู่ตัว มองเห็นส่วนลึกของเตาได้รางๆ ปลายเปลวไฟจะมีสีคล้ำนิดๆ และเมื่อหรี่การเผาไหม้ลงไปที่ไฟน้อย (Low fire) เปลวไฟจะหดลงเหลือประมาณ 1/5 ของความยาวเตา ลักษณะเปลวยังคงเป็นพุ่มเปลวมีสีแดงจ้าและนิ่ง นอกจากนี้ ควรสังเกตด้วยว่าเปลวไฟควรอยู่กึ่งกลางเตาไม่เอียงไปซ้าย-ขวา หรือสูง-ต่ำ รวมทั้งจะเห็นอิฐทนไฟที่ก่อหน้าเตารอบๆ กรวยไฟว่ามีสภาพดี หรือชำรุด อิฐร่วง หรือเปล่า

(ข) ถ้าการเผาไหม้ที่ใช้อากาศส่วนเกินน้อยเกินไป ภายในเตาทั้งหมดมีสีแดงคล้ำและมีควัน ดำที่ปากปล่อง การแก้ไขจะต้องเพิ่มอากาศที่เกินโดยเปิดแดมเปอร์อากาศให้มากขึ้น หรือลดปริมาณน้ำมันลงให้น้อยลงจนควันดำที่ปากปล่องหายไป

(ค) ถ้าการเผาไหม้ที่ใช้อากาศส่วนเกินมากเกินไป เปลวไฟเล็ก สั้นลง มีสีขาวสว่างจ้าและเปลวไฟไม่นิ่ง สะบัดไปมารุนแรง มีสะเก็ดไฟและเป็นพะเนียงเพราะเม็ดน้ำมันโตๆ เผาไหม้ไม่ทันจึงดับลงกลายเป็นเขม่า (Soot) และบางครั้งเม็ดน้ำมันโตๆ พุ่งตกสะสมในเตาหรือผนังข้างเตา เกิดเป็นก้อนถ่านโค้ก (Coke deposit) สะสมโตขึ้นเรื่อยๆ จนอาจบังเปลวไฟ เกิดไฟตีกลับและไฟไหม้ได้ ขณะเผาไหม้ที่ไฟน้อยเปลวไฟจะสั้นลงอย่างมากมีสีขาวจ้า มีสะเก็ดไฟและเปลวไฟสะบัดไปมารุนแรงไม่นิ่ง การแก้ไขในกรณีนี้โดยหรี่อากาศลงหรือเพิ่มปริมาณน้ำมันให้มากขึ้นถึงจุดที่พอเหมาะ เปลวไฟจะยาวขึ้นทันทีและมีสีแดงจ้า

(ง) ในกรณีป้อนอากาศมากเกินไป แต่ยังมีควันดำ อาจเป็นเพราะการผสม (Mixing) อากาศและฝอยน้ำมันไม่ดี ต้องตรวจสอบระบบหัวเผา เช่น อุณหภูมิการอุ่นน้ำมันเตา ความดันน้ำมันพ่นฝอย หรือความดันอากาศหรือไอน้ำที่ใช้พ่นฝอย หรือตำแหน่งของแผ่นกระจายลม เป็นต้น

6.5 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบหัวเผาและระบบเชื้อเพลิง

การขาดการบำรุงรักษาอุปกรณ์หัวเผา หัวฉีดน้ำมันที่สกปรก สึกกร่อนเสียรูป และการตั้งความดันน้ำมันไม่ถูกต้อง ล้วนมีผลทำให้ความสามารถในการฉีดน้ำมันให้เป็นละอองขนาดเล็กลดลง รวมทั้งการที่หัวเผามีขนาดใหญ่เกินไปทำให้ต้องดับหัวเผาบ่อยๆ จะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดต่ำลงเช่นกัน ในการเดินหม้อน้ำและการควบคุมไอน้ำ อาจเกิดปัญหาและข้อขัดข้องขึ้นได้ ซึ่งสามารถหาแนวทางการแก้ไขได้ดังตารางที่ 6-16

เนื่องจากหัวเผาเป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ย่อยหลายๆ ส่วน ซึ่งทำหน้าที่สนับสนุนให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นจึงอาจเกิดปัญหาขึ้นกับอุปกรณ์ภายในหัวเผาดังต่อไปนี้ด้วย

1) หัวฉีดเชื้อเพลิง

ปัญหา: คราบน้ำมันจับตัวบนหัวฉีด (ดังรูปที่ 6-46)

เกิดจากสาเหตุ:
1. ทิศทางการฉีดน้ำมันไม่เหมาะสม เช่น น้ำมันฉีดโดนเขี้ยวสปาร์ค หรือกระจังลม
2. หัวฉีดสึก (ควรพิจารณาควบคู่กับอายุการใช้งาน)
3. อุณหภูมิเชื้อเพลิงต่ำกว่าเกณฑ์

การแก้ไข:
1. ปรับตั้งระยะเขี้ยวสปาร์ค หรือตำแหน่งกระจังลมใหม่
2. เปลี่ยนหัวฉีดใหม่

3. ทำความสะอาดฮีตเตอร์และปรับอุณหภูมิระบบให้ความร้อนแก่เชื้อเพลิงใหม่ให้เหมาะสมตามเกณฑ์

รูปที่ 6-46 คราบน้ำมันที่จับตัวบนหัวฉีดและเขี้ยวสปาร์ค

ปัญหา: รูหัวฉีดเสียรูป
เกิดจากสาเหตุ: 1. ใช้งานมานาน
2. เชื้อเพลิงสกปรก
3. การบำรุงรักษาผิดวิธี
การแก้ไข: 1. เปลี่ยนหัวฉีดใหม่
2. เปลี่ยนแหล่งจำหน่ายเชื้อเพลิง และติดตั้งตัวกรองเชื้อเพลิง
3. ห้ามใช้ของแข็งหรือของมีคมแยงรูหัวฉีด
คำแนะนำ: 1. หัวฉีดที่ใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน ควรเปลี่ยนใหม่เมื่อใช้งานเกิน 6 เดือน
2. หัวฉีดที่ใช้งาน 8-12 ชั่วโมงต่อวัน ควรเปลี่ยนใหม่เมื่อใช้งานเกิน 12 เดือน

2) กระจังลม

ปัญหา: คราบน้ำมันจับตัวบนกระจังลม (ดังรูปที่ 6-47)
เกิดจากสาเหตุ: ทิศทางการฉีดน้ำมันไม่เหมาะสม เช่น น้ำมันฉีดโดนกระจังลม
การแก้ไข: ปรับตั้งระยะหรือตำแหน่งกระจังลมใหม่ให้ตรงตามที่ผู้ผลิตแนะนำ
ปัญหา: กระจังลมเบี้ยว หรือพบเปลวไฟเบี้ยว มีทิศทางไม่เหมาะสม
เกิดจากสาเหตุ: การปรับตั้งระยะหรือตำแหน่งกระจังลมไม่เหมาะสม หรือกระจังลมชำรุด
การแก้ไข: ปรับตั้งระยะหรือตำแหน่งกระจังลมใหม่ ให้ตรงตามที่ผู้ผลิตแนะนำ หรือเปลี่ยนใหม่หากการเบี้ยวเกิดจากการชำรุด
คำแนะนำ: ปรับตั้งกระจังลมโดยทำการวัดระยะห่างระหว่างปากหัวเผาและกระจังลมทั้งหมด 3 จุดรอบตัวกระจังลม แล้วปรับให้มีระยะดังกล่าวเท่ากันทุกจุด

รูปที่ 6-47 คราบน้ำมันบนกระจังลม

3) เขี้ยวสปาร์ค

ปัญหา: คราบน้ำมันจับตัวบนเขี้ยวสปาร์ค (ดังรูปที่ 6-48)
เกิดจากสาเหตุ: ทิศทางการฉีดน้ำมันไม่เหมาะสม เช่น น้ำมันฉีดโดนเขี้ยวสปาร์ค
การแก้ไข: ปรับตั้งระยะเขี้ยวสปาร์คใหม่ ให้ตรงตามที่ผู้ผลิตแนะนำ
ปัญหา: เขี้ยวสปาร์คไม่ทำงาน
เกิดจากสาเหตุ: 1. กระแสไฟฟ้าเข้าตัวเขี้ยวสปาร์คมีการรั่วไหลลงดิน
2. มีคราบน้ำมันจับบนเขี้ยวสปาร์คมาก
การแก้ไข: 1. ตรวจสอบระบบไฟฟ้า
2. ทำความสะอาดคราบน้ำมัน และตั้งระยะเขี้ยวสปาร์คใหม่

4) กรวยไฟ

ปัญหา: รูปร่างของกรวยไฟเสียรูปไปจากเดิม (ดังรูปที่ 6-49)
เกิดจากสาเหตุ: เปลวไฟเผาปลายกรวยไฟ
การแก้ไข: ปรับตั้งระยะหรือตำแหน่งกระจังลมใหม่ ให้เปลวไฟพันกรวยไฟ
ปัญหา: คราบน้ำมันจับตัวบนกรวยไฟ (ดังรูปที่ 6-50)
เกิดจากสาเหตุ: 1. หัวฉีดสึก
2. อุณหภูมิเชื้อเพลิงต่ำกว่าเกณฑ์
3. เชื้อเพลิงสกปรก
การแก้ไข: 1. เปลี่ยนหัวฉีดใหม่
2. ทำความสะอาดฮีตเตอร์และปรับอุณหภูมิระบบให้ความร้อนแก่เชื้อเพลิงใหม่ให้เหมาะสมตามเกณฑ์
3. เปลี่ยนแหล่งจำหน่ายเชื้อเพลิง และติดตั้งตัวกรองเชื้อเพลิง

รูปที่ 6-49 กรวยไฟที่สึกหรอและเสียรูป

รูปที่ 6-50 คราบน้ำมันบนกรวยไฟ

5) ระบบควบคุมการเผาไหม้

ปัญหา: ไม่สามารถควบคุมการเผาไหม้ได้

เกิดจากสาเหตุ: 1. การต่อวงจรไฟฟ้าไม่ถูกต้อง
2. อุปกรณ์ชุดควบคุมการเผาไหม้ชำรุด

การแก้ไข: 1. ตรวจสอบระบบไฟฟ้า
2. ซ่อมแซม หรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุด

6) ระบบหมุนเวียนเปลวไฟและไอเสีย

ปัญหา: เปลวไฟเกิดการลัดทางไฟ

เกิดจากสาเหตุ: 1. อุณหภูมิปล่องไอเสียสูงมากกว่า 300 $^{\circ}$C
2. ผนังกั้นทางไฟเสียหาย

การแก้ไข: 1. ปรับส่วนสัดส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม
2. ทำผนังกั้นทางไฟใหม่

ตารางที่ 6-16 สาเหตุ และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบเผาไหม้

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
จุดไฟไม่ติด	ไม่มีน้ำมัน	ตรวจสอบดูการจ่ายน้ำมัน
	มีน้ำและตะกอนปนอยู่ในน้ำมันมากเกินไป	ติดตั้งตัวกรองในท่อจ่ายน้ำมัน และทำการถ่ายน้ำมันในถังน้ำมันและปลายสายทิ้งเป็นครั้งคราว
	การอุดตันของหัวเผา	ทำความสะอาดหัวเผาสม่ำเสมอ ตรวจสอบการไหลของน้ำมันขณะที่จุดไฟ
	อุณหภูมิของน้ำมันไม่สูงพอ	ตรวจสอบการทำงานของเครื่องอุ่นน้ำมัน ให้อุ่นน้ำมันได้ตามที่ต้องการ เพิ่มความดันน้ำมันเพื่อช่วยการพ่นฝอยของน้ำมัน
	ในกรณีที่น้ำและ Sludge เข้าไปในท่อ	ติดตั้งตัวกรองน้ำและตรวจสอบอยู่เสมอ เปิดถ่ายถังน้ำมันและสายท่อเป็นประจำอยู่เสมอ
	Flash point สูงเกินไป	จำเป็นต้องมีเปลวไฟสำหรับจุดติดไฟเพียงพอในบางกรณีต้องเตรียมหัวเผา สำหรับจุดติดไฟไว้
	ไม่มีอากาศ	ตรวจสอบยืนยันแรงลมไหลผ่าน ตรวจสอบปริมาณการเปิดของแดมเปอร์
	ปล่องควันอุดตัน	ทำความสะอาดปากทางดูดเข้า ปล่องควัน และรูถ่ายเทอากาศเป็นประจำอยู่เสมอ
	มี Sludge น้ำและสิ่งเจือปนอื่นๆ อยู่ในน้ำมัน	ต้องติดตั้งตัวกรองน้ำมัน เปิดถ่ายถังน้ำมันและสายท่อเป็นประจำอยู่เสมอ
	ความหนืดสูงเกินไป	เพิ่มอุณหภูมิที่ทำให้ร้อน เพิ่มความดันที่ใช้พ่น
	ขนาดของหัวเผาใหญ่เกินไป	ติดตั้ง Burner tile ที่เหมาะสม เพื่อควบคุมการแผ่รังสีความร้อน
	ความดันของอากาศ น้ำมันไม่สม่ำเสมอ	ติดตั้ง Pressure reduction valve และ Pressure relief valve เพื่อรักษาความดันให้สม่ำเสมอ
	อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิสูงเกินไป	ปรับปริมาณอากาศตามข้อกำหนดของหัวเผานั้นๆ
เปลวไฟไม่สม่ำเสมอ	มีน้ำและตะกอนปนอยู่ในน้ำมันมากเกินไป	ติดตั้งตัวกรองในท่อจ่ายน้ำมัน และทำการถ่ายน้ำมันในถังน้ำมันและปลายสายทิ้งเป็นครั้งคราว
	ความหนืดน้ำมันสูงเกินไป	เพิ่มอุณหภูมิในการอุ่นน้ำมัน และ/หรือ เพิ่มความดันในการฉีดพ่นน้ำมัน
	ความดันของอากาศหรือน้ำมันไม่สม่ำเสมอ	ตรวจสอบหรือติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความดัน และปรับความดันและอัตราการไหลให้เหมาะสม

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
เปลวไฟไม่สม่ำเสมอ (ต่อ)	มีอากาศในท่อจ่ายน้ำมัน	ติดตั้งตัวระบายอากาศในท่อน้ำมัน
	น้ำมันที่ปั๊มดูดไม่พอ	เพิ่มขนาดปั๊มให้ใหญ่ขึ้น เพิ่มขนาดท่อดูดน้ำมัน
	อุ่นเชื้อเพลิงอุณหภูมิสูงเกินไป	ป้องกันการเกิดของฟองอากาศโดยติดตั้งตัวระบายอากาศที่ท่อ
มีการสะสมของคาร์บอนที่ปากหัวเผา	ความหนืดน้ำมันสูงเกินไป	เพิ่มอุณหภูมิในการอุ่นน้ำมัน และ/หรือ เพิ่มความดันในการฉีดพ่นน้ำมัน
	การฉีดน้ำมัน/อากาศไม่ดี	ปรับปริมาณอากาศปฐมภูมิให้เหมาะสม
	น้ำมันไหลไม่สม่ำเสมอ	รักษาความดันและอุณหภูมิของน้ำมันให้คงที่
	เกิดการรั่วซึมของน้ำมันหลังจากดับไฟแล้ว	เป่าน้ำมันที่ตกค้างในหัวเผาทิ้งให้หมดจดที่สุดเท่าที่จะทำได้
	การพ่นฝอยน้ำมันไม่สม่ำเสมอ	ตรวจสอบการอุดตันหรือสึกกร่อนของหัวฉีดน้ำมัน
	ความดันของน้ำมันสูงเกินไป	ใช้ความดันที่เหมาะสมกับเครื่องพ่น
	อุณหภูมิน้ำมันให้สูงเกินไป	ปรับอัตราการไหลของน้ำมันและไอน้ำ
	ความดันน้ำมันไม่สม่ำเสมอ	รักษาความดันให้คงที่โดยใช้ Relief valve และทำให้ร้อนจนมีความหนืดคงที่ ทั้งนี้ต้องระวังเหตุขัดข้องที่ปั๊ม
	อากาศไม่เพียงพอ	เพิ่มอัตราการไหลของอากาศขั้นต้น ป้องกันการไหลวนของอากาศขั้นที่สองภายในช่องหัวเผา
	Burner valve เกิดการรั่วไหลหลังจากดับไฟแล้ว	เป่าน้ำมันที่เหลือค้างอยู่ในหัวเผาทิ้งให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
	ปริมาณคาร์บอนในน้ำมันมากเกินไป	เพิ่มความดันและอัตราการไหลของอากาศขั้นต้น
	การติดตั้งหัวฉีดไม่ดี	ต้องตั้งไว้ที่ตรงกลางเสมอ
เขม่าควันมาก	ปริมาณอากาศน้อยเกินไป	เพิ่มปริมาณอากาศให้เหมาะสม เพื่อให้น้ำมันมีขนาดเม็ดเล็กลง
	การพ่นฝอยน้ำมันไม่ดี	ตรวจสอบหัวฉีดให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ และควบคุมความดันและอุณหภูมิน้ำมันให้ถูกต้องตามชนิดของน้ำมันที่ใช้
	การเผาไหม้ไม่ดี	ปรับการฉีดพ่นให้สมบูรณ์และเหมาะสม
	ปริมาณการเผาไหม้มากเกินไป	ระมัดระวังความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของ ฉ Combustion chamber กับปริมาณน้ำมัน
	ดูดอากาศเข้าไม่ดี	เพิ่มพื้นที่ของช่องระบายก๊าซเสีย หรือเพิ่มแรงลมไหลผ่าน

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
การเกาะสะสมของคาร์บอนบนผนังเตา	การพ่นเกิดการปะทะผนังเตา	ตั้งมุมฉีดพ่นของหัวฉีดให้แคบลง หรือเพิ่มความกว้างของ Combustion chamber
	ความหนืดมากเกินไป	เพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ เพิ่มความดันของอากาศขั้นต้น
	ความหนืดน้อยเกินไป	ลดเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้
	ความดันของน้ำมันสูงเกินไป	ป้องกันไม่ให้น้ำมันที่ยังไม่เผาไหม้ไปเกาะผนังเตา
	ความดันของอากาศฉีดสูงเกินไป	ป้องกันไม่ให้น้ำมันที่ยังไม่เผาไหม้ไปเกาะผนังเตา
	อุณหภูมิในเตาลดต่ำลง	หลีกเหลี่ยงการเผาไหม้ปริมาณสูงอย่างกะทันหัน
	ความกว้างของเตาน้อยไป	ออกแบบให้ปริมาณการเผาไหม้และมุมฉีดพ่นของหัวเผาให้เหมาะสมกัน
การอุดตันของปากหัวเผา	Sludge และสิ่งเจือปนอื่น ๆ	ปรังปรุงตัวกรอง และ Heater เป็นต้น ให้สมบูรณ์
	การเกาะสะสมของคาร์บอนที่ปากหัวเผา	ทำความสะอาดหัวเผาเสมอเวลาดับไฟ ไม่ให้ถูกความร้อนจากการแผ่รังสี ภายในเตาเป็นเวลานาน
การอุดตันของตัวกรอง	Sludge และ Wax content ซึ่งเจือปนอื่นๆ ความหนืดสูงเกินไป อุณหภูมิของน้ำมันต่ำเกินไป	ติดตั้งตัวกรองที่เหมาะสมกับคุณสมบัติของน้ำมัน
	Sludge และ Wax การแข็งตัวของน้ำมันความหนืดสูงเกินไป เศษผ้า เศษไม้สนิมเหล็ก และสิ่งเจือปนอื่นๆ	เปลี่ยนท่อให้ใหญ่ขึ้น ลดความต้านทานให้น้อยลงใช้ฉนวนกันความร้อน ติดตั้งตัวกรอง เป็นต้น
ปั๊มไม่สามารถดูดน้ำมันเข้าได้	น้ำมันมีอุณหภูมิต่ำ ความหนืดสูงเกินไป ไส้กรองของท่ออุดตัน Sludge ท่อดูดเข้ารั่ว ปั๊มมีการ Slip	อุ่นน้ำมันใหมีความหนืดที่เหมาะสม หมั่นทำความสะอาดไส้กรอง และตรวจสอบการทำงานของปั๊ม
น้ำมันมีการเจือปนของน้ำ	ระบบท่อส่งน้ำมันมีรอยรั่ว การควบแน่นของความชื้นในอากาศ การรั่วไหลของท่อให้ความร้อน น้ำฝนรั่วเข้าเนื่องจากความเสียหายของหลังคาของถังน้ำ	ติดตั้งตัวแยกน้ำในน้ำมันออก
การผุกร่อน	องค์ประกอบของขี้เถ้า กำมะถัน และเกลือในน้ำมัน ไม่เหมาะสม	ตรวจสอบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงให้เหมาะสม
การเปลี่ยนสีของอิฐ	องค์ประกอบกำมะถัน เหล็ก และขี้เถ้าอื่นๆ ไม่เหมาะสม	ตรวจสอบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงให้เหมาะสม
กลิ่นเหม็นผิดปรกติ	องค์ประกอบกำมะถัน ไม่เหมาะสม	อุณหภูมิของการอุ่นสูงเกินไป องค์ประกอบกำมะถันมีสิ่งเจือปนผิดปรกติ

6.6 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหัวเผาและระบบเชื้อเพลิง

ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวต้องฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นละอองเพื่อทำการผสมกับอากาศ แต่ถ้าการบำรุงรักษาหัวเผาไม่ดีพอจะเกิดคาร์บอนตกค้างที่ปลายของหัวเผา การแตกตัวเป็นละอองด้อยลง เช่น ขนาดละอองโตขึ้น รูปแบบการกระจายละอองด้อยลง ทำให้การผสมแย่ลง ผลก็คือก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และเกิดบริเวณที่มีอากาศไม่เพียงพอเนื่องจากการกระจายของละอองของเหลวไม่สม่ำเสมอ ในกรณีที่เลวร้ายกว่านั้นคือ รูปร่างเปลวไฟเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก อาจทำให้เปลวไฟไปกระทบกระเบื้องหัวเผา (Burner tile) โดยตรง เกิดการสะสมของคาร์บอนบนกระเบื้องและอาจทำให้หัวเผาเสียหาย ดังนั้นการตรวจสอบสภาพและการบำรุงรักษาหัวเผาอย่างถูกต้องและสม่ำเสมอจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อน้ำ

หากพบเห็นการเกาะติดของคาร์บอนที่บริเวณหัวเผา ประการแรกคือต้องตรวจหาต้นตอที่ก่อให้เกิดคาร์บอนอย่างถี่ถ้วน แล้วทำการซ่อมแซมให้เรียบร้อยแล้วจึงใช้งาน มิฉะนั้นแล้วจะเกิดความเสียหายที่ไม่อาจแก้ไขได้ การเกาะติดของคาร์บอนอาจมีสาเหตุหลักมาจาก อุณหภูมิและความดันน้ำมันเตาไม่เหมาะสม เป็นต้น เมื่อทราบสาเหตุแล้วให้ปรับค่าให้เหมาะสมและทำความสะอาดหัวเผาที่มีสิ่งสกปรกและคาร์บอนเกาะอยู่ด้วยน้ำมันล้างแล้วจึงเช็ดออกด้วยผ้านิ่มๆ ห้ามทำความสะอาดโดยใช้ของแข็งอย่างเช่นไขควงหรือมีด เนื่องจากอาจเกิดรอยสึกขึ้นที่ปลายหัวเผาและทำให้การพ่นฝอยยิ่งแย่ลงได้

จากที่กล่าวมาข้างต้นเห็นได้ว่า การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหัวเผาและอุปกรณ์ช่วยเหลือการเผาไหม้ต่างๆ ด้วยวิธีการที่ถูกต้อง ให้อยู่ในสภาพที่ดีเยี่ยมอยู่เสมอ เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องปฏิบัติตามและต้องการความเอาใจใส่ดูแลจากผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานหม้อน้ำและเพื่อสุขลักษณะที่ดีในการปฏิบัติงาน อีกทั้งยังเป็นการรักษาประสิทธิภาพของหม้อน้ำและการเผาไหม้ไม่ให้ลดลงไปตามกาลเวลา ส่งผลให้การใช้พลังงานและต้นทุนในการผลิตไอน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ข้อแนะนำที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหัวเผาและอุปกรณ์ช่วยเหลือการเผาไหม้ต่างๆ โดยแบ่งตามประเภทของเชื้อเพลิงมีดังต่อไปนี้

6.6.1 ระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง

การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหัวเผาและอุปกรณ์ช่วยเหลือการเผาไหม้ต่างๆ ในหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง แสดงได้ดังตารางที่ 6-17 และ 6-18

ตารางที่ 6-17 การตรวจสอบสภาพและเกณฑ์การยอมรับของอุปกรณ์ในระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
เครื่องป้อนเชื้อเพลิงและตะกรับ	เครื่องป้อนเชื้อเพลิง (Stoker)	ตรวจสอบสภาพการเคลื่อนไหว	ควรเคลื่อนที่ด้วยความนุ่มนวลไม่ติดขัด
	ตะกรับ (Fire grate)	ตรวจสอบการอุดตัน การลุกไหม้ และการผิดรูป	ควรเคลื่อนที่ด้วยความนุ่มนวลไม่ติดขัด

ตารางที่ 6-18 การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง

อุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา		การบำรุงรักษา
อุปกรณ์เผาไหม้ที่ใช้ถ่านหิน (Pulverized coal firing)	อุปกรณ์ป้อนถ่านเข้าหม้อน้ำ	รายการตรวจสอบขึ้นกับบริษัทผู้ผลิต แต่โดยทั่วไปต้องทำการตรวจสอบดังนี้ ● อุปกรณ์ขับชุดป้อนถ่าน สภาพภายนอกและสภาพการทำงานทั่วไป ● การสึกกร่อนและการกัดกร่อนของแกนขับและลูกกลิ้ง (Shaft and Roll) ● การสึกกร่อน และการรั่วของลมและถ่านของห้องป้อนถ่าน (Feeder housing) ● สภาพทั่วไปและความแน่นหนาของสลักยึด บุชชิ่ง เป็นต้น
	เครื่องบดถ่านหิน (Pulvarizer)	แบ่งได้ 4 ประเภท คือ Ball-race mill, Bowl mill, Impact หรือ Attrition mill และ Ball mill รายการตรวจสอบจะเป็นไปตามบริษัทผู้ผลิต แต่โดยทั่วไปต้องทำการตรวจสอบดังนี้ ● สภาพภายในและภายนอกของ Housing ของเครื่องบด เพื่อดูรอยกัดกร่อน และการรั่วไหล ● สภาพและการทำงานของอุปกรณ์ปรับแต่ง (Adjusting mechanism) ของห้องบด และหัวบด ลูกกลิ้งอยู่ในสภาพปรกติ ● ผิวหน้าของตัวบด (Grinding surface) เพื่อดูการสึกกร่อน ไม่เรียบ ● ตรวจวัด ปรับแต่งแรงกดของ Spring ของ Grinder ● สภาพของอุปกรณ์ที่หมุน เช่น Bearing, Shaft Journal เป็นต้น ● ระบบน้ำมันหล่อลื่น ● สภาพและการทำงานของผิวเคลือบในห้องบดถ่านหิน และอุปกรณ์กวาดวัสดุ (Scraper)
	อุปกรณ์ระบายอากาศในเครื่องบดถ่านหิน (Exhauster in pulvarizer)	● สภาพทั่วไปของอุปกรณ์ ตัวขับ การประกอบ และการ Alignment อุปกรณ์ ● ตรวจสอบสภาพ Bearing และตัวขับ ● ตรวจสภาพล้อ การสึกกร่อน การกัดกร่อน และการสมดุลในการหมุน ● ตรวจสอบ Housing ของ Exhauster เพื่อดูสภาพ Liner การสึกกร่อน การกัดกร่อน หรือการ Leak

อุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา		การบำรุงรักษา
อุปกรณ์เผาไหม้ที่ใช้ถ่านหิน (Pulverized coal firing) (ต่อ)	หัวเผาไหม้ถ่านหิน (Coal burner)	● ตรวจสภาพของหัวพ่นถ่าน (Coal nozzle) เพื่อดูการสึกกร่อนการเผาไหม้ รวมทั้งฉนวนกันความร้อนรอบๆ หัวเผา ● ตรวจสอบสภาพของ Coal nozzle สภาพอิฐทนไฟ (Refractory throat) ● ตรวจสอบท่อส่งผงถ่านในระบบเพื่อดูการรั่วไหลผิดปรกติ
อุปกรณ์เผาไหม้แบบ Stoker coal firing	Underfeed stoker	รายการตรวจสอบขึ้นอยู่กับผู้ผลิต Underfeed stoker แต่โดยทั่วไปต้องตรวจสอบดังนี้ ● ตรวจสอบและการทำงานของชุดกระทุ้งหลักและรอง (Main ram and distribution ram) รวมทั้งข้อต่อต่างๆ ● ตรวจสอบการอุดตันของท่อส่งลม (Tuyeres) และปัญหาการขยับเคลื่อน ● ตรวจสอบสภาพและการทำงานของช่องจ่ายลมและแผ่นปิด (Windbox and damper) ● ตรวจสอบสภาพและการทำงานของเครื่องบด (Clinker and ash grinding mechanism) เครื่องกระทุ้ง (ram) ช่องลมและแผ่นปิด (Windbox damper)
	Spreader stoker	รายการตรวจสอบขึ้นอยู่กับผู้ผลิต Spreaders stoker แต่โดยทั่วไปต้องตรวจสอบดังนี้ ● ช่วงห่างระหว่าง Distributor blade และ Distributor tray ● ตรวจสอบการเสียดสีของ Feeder และ Lining ● ตรวจสอบชุดขับ เฟืองขับ โซ่ ซี่เฟือง รวมทั้งการวางแนว (Alignment) ● ตรวจสอบความเพียงพอของน้ำระบายความร้อนที่ไปยังอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ● ตรวจสอบ Over fire air fan และ Distribution nozzle
	ตะกรับเตาไฟแบบเคลื่อนที่ (Traveling grate)	● สภาพ Grate bar และการขยายตัวของส่วนต่างๆ ● สภาพหลัก รอง ตะกรับเตาไฟ ● สภาพ Dampers and frame และอุปกรณ์สนับสนุน ● ตรวจสภาพ Fire door liner และ ท่อส่งลมสำหรับ Over fire ● ตรวจสอบการกัดกร่อน การสึกกร่อนของชิ้นส่วนของตะกรับในเตาไฟ ● ตรวจสอบระบบ Air seal ● ตรวจสอบการสึกหรอที่หัวหน้าชิ้นส่วนต่างๆ

อุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา		การบำรุงรักษา
อุปกรณ์เผาไหม้แบบ Stoker coal firing (ต่อ)	ตะกรับเตาไฟแบบเคลื่อนที่ (Traveling grate) (ต่อ)	• ตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศจาก Windbox • ตรวจสอบ Air damper ว่าทำงานได้ถูกต้องและถูกตำแหน่ง • ตรวจสอบกลไกต่างๆ ของ Damper ดูการสึกหรอและสภาพผิดปรกติ • ตรวจสอบส่วนที่สัมผัสความร้อน หรือเปลวไฟ ดูความเสียหาย บิดตัว เป็นต้น • ตรวจสอบ Shear pin ว่าอยู่ในสภาพปรกติและทำงานได้ • ตรวจสอบกลไกการทำงานของชุดขับตะกรับเตาไฟ (Grate drive) • ตรวจสอบโครงสร้างของเตาเผา ผนัง อิฐ กระเบื้องทนไฟ รอยแตก รอยแยกเป็นชิ้นๆ
ระบบการกำจัดขี้เถ้า (Ash removal system) ส่วนประกอบการทำงานของระบบที่สำคัญ ได้แก่ • ระบบ Hydraulic ของระบบ • ระบบขนย้ายขี้เถ้า		• การสึกร่อน การกัดกร่อน และการรั่วซึม • กลไกการจัดส่ง ขนย้ายขี้เถ้าอย่างมีประสิทธิผล • สภาพของบ่อพัก บ่อเก็บขี้เถ้ารวมทั้งอิฐ ผนังทนความร้อน • การทำงานของระบบสุญญากาศในระบบและระบบกักเก็บ • การสึกกร่อนของท่อส่ง ในส่วนของท่อโค้ง ท่อหักโค้ง เป็นต้น • สภาพปั๊มขี้เถ้า
เตาเผาไหม้และผนัง	สภาพโดยทั่วไป	• ตรวจสอบการขยายตัว และหดตัวของชิ้นส่วนรับความดันระหว่างการเริ่มเดินเครื่องและหยุดเดินเครื่อง • ตรวจสอบระบบยึดท่อ ท่อรวม (Header support hanger) อยู่ในช่วงการทำงานตามที่ออกแบบ หากไม่ถูกต้องอาจแสดงถึงปัญหาที่เกิดจากการยืดตัว และหดตัวที่เกิดขึ้น
	อิฐคอเตา	• คอยตรวจสอบว่ามีการทรุดตัวหรือไม่ • คอยตรวจสอบว่ามีการแตกร้าวหรือไม่ • คอยตรวจสอบว่ามีการบางลงถึง 50 มิลลิเมตร หรือไม่ • ถ้ามีสภาพใน 3 กรณีแรก ต้องเปลี่ยนอิฐคอเตาใหม่ เพราะเปลี่ยนอิฐคอเตาพังถล่มลงมาในขณะที่เดินเครื่องหม้อน้ำได้โดยที่ไม่มีผู้ใดทราบอันตรายกับหม้อน้ำมากเพราะเปลวไฟจะสัมผัสท่อไฟใหญ่โดยตรง • พยายามอย่าให้อิฐทนไฟถูกน้ำหรือความชื้น

อุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา		การบำรุงรักษา
เตาเผาไหม้และผนัง (ต่อ)	อิฐทนไฟ	1) การบำรุงรักษาอิฐทนไฟ ● ระวังอย่าให้อิฐทนไฟถูกความร้อนชื้นหรือน้ำ เพราะเมื่อน้ำในอิฐทนความร้อน ความร้อน น้ำในอิฐทนความร้อนจะระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้ดันอิฐทนร้อนแตกร้าวมาก ● ระวังอย่าให้อิฐทนไฟเย็นหรือร้อนขึ้นทันทีทันใด เพราะอุณหภูมิที่เปลี่ยนอย่างรวดเร็ว อิฐทนความร้อนจะมีการแตกร้าว ● โดยปรกติ ถ้าอิฐทนไฟมีรอยแตกกว้างไม่มากกว่า 3 มิลลิเมตร และไม่มีการรั่วของก๊าซร้อน ไม่มีความจำเป็นต้องซ่อมแซมใด เนื่องจากเมื่ออิฐทนไฟร้อนขึ้น จะมีการขยายตัวมาประสานปิดรอยร้าวนั่นเอง ● แต่ถ้าอิฐทนไฟ มีรอยแตกร้าวกว้างมากกว่า 3 ม.ม. ต้องทำการซ่อมแซมอิฐทนไฟ เพื่อป้องกันความเสียหายของหม้อน้ำ 2) การซ่อมบำรุงอิฐทนไฟ ถ้าอิฐทนไฟ มีรอยแตกร้าวกว้างมากกว่า 3 ม.ม. มีวิธีซ่อมทำได้หลายวิธี เช่น ● ใช้ Ceramic fiber ยัดลงไปในช่องรอยแตกเล็กนั้น ● เซาะรอยแตกเป็นร่องตัววี ใช้น้ำทำความสะอาดผิว และเอาวัสดุทนไฟเหมือนเดิม อุดลงไป ● รื้ออิฐทนไฟทั้งหมดออก แล้วทำอิฐทนไฟทั้งหมดหรือบางส่วนใหม่

6.6.2 ระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว

การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหัวเผาและอุปกรณ์ช่วยเหลือการเผาไหม้ต่างๆ ในหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว แสดงได้ดังตารางที่ 6-19 และ 6-20

ตารางที่ 6-19 การตรวจสอบสภาพและเกณฑ์การยอมรับของอุปกรณ์ในระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
กรองน้ำมัน	ตาข่ายกรองน้ำมัน (Wire net)	1) ตรวจสอบความเสียหาย 2) ตรวจสอบการอุดตัน 3) ตรวจสอบระยะห่างระหว่างตาข่ายและจุดติดตั้ง 4) ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำมัน	1) ไม่มีความเสียหาย 2) ไม่อุดตัน 3) ไม่มีช่องว่าง 4) ไม่มีการรั่วซึมของน้ำมัน

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
เครื่องให้ความร้อนน้ำมัน	ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)	1) ตรวจสอบสภาพการทำงาน 2) ตรวจสอบหนาสัมผัสการลัดวงจร และสภาพ ฉนวนของหน้าสัมผัสทางไฟฟ้า (Electrical contact)	1) อุณหภูมิของน้ำมันต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 2) หน้าสัมผัสต้องทำงานได้ดี ไม่มีการลัดวงจร หรือการเสื่อมสภาพของฉนวน
	วาล์วควบคุม (Control valve)	ตรวจสอบสภาพการทำงาน	ต้องทำงานปรกติ
	อุปกรณ์ดักไอน้ำ	ตรวจสอบการระบายของน้ำ	น้ำควรระบายได้ปรกติ
	ข้อต่อท่อและวาล์ว	ตรวจสอบการรั่วซึมของไอน้ำหรือน้ำมัน	ไม่มีการรั่วซัมของน้ำมันเชื้อเพลิง
ปั๊มเชื้อเพลิง	ท่อและซีล (Sealing part and pipe)	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำมันเชื้อเพลิง	ไม่มีการรั่วซึมของน้ำมันเชื้อเพลิง
	ปะเก็นเชือก (Gland packing)	ตรวจสอบความเสียหายจากความร้อนสูง	ไม่มีความเสียหายจากความร้อนสูง
	ตลับลูกปืน (Bearing)	ตรวจสอบการสั่นสะเทือน การรั่วซึมของน้ำมัน และความเสียหายจากความร้อนสูง	ไม่มีการสั่นสะเทือน ไม่มีการรั่วซึมของน้ำมัน ความเสียหายจากความร้อน
	แกนหมุน (Rotor)	ตรวจสอบหาเสียงที่ผิดปรกติ และการสั่นสะเทือน	ไม่มีการสั่นสะเทือนและเสียงที่ผิดปรกติ
	มาตรวัดแรงดัน (Pressured gauge)	ตรวจสอบแรงดันขาออกของปั๊ม	แรงดันควรอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด
หัวเผาและกลไกสร้างละอองน้ำมัน	หัวฉีด (Nozzle) ตัวปรับสภาพน้ำมัน (Stabilizer) และถ้วยสร้างละอองน้ำมัน (Atomizing cup)	ตรวจสอบความเสียหายจาการลุกไหม้ การผิดรูป การเสื่อมสภาพและเขม่าดำ	ไมมีความเสียหายจากการลุกไหม้ การผิดรูป การเสื่อสภาพและเขม่าดำ
	ปลายหัวฉีด (Nozzle tip)	ตรวจสอบความสามารถในการสร้างละอองน้ำมัน	สีและรูปร่างของเปลวไฟควรจะเหมาะสม

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
หัวเผาและกลไกสร้างละอองน้ำมัน (ต่อ)	ตลับลูกปืนของหัวเผา	ตรวจสอบการสั่นสะเทือนที่ผิดปรกติ การรั่วซึมของน้ำมัน ความร้อนที่สูงผิดปรกติและการหล่อลื่นอุปกรณ์	ไม่มีการสั่นสะเทือนที่ผิดปรกติ ไม่มีการรั่วซึมของน้ำมัน ความร้อนไม่สูงผิดปรกติมีปริมาณและคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม
	กลไกผสมอากาศและน้ำมัน (A/F ratio mechanism)	1) ตรวจสอบการสร้างละอองน้ำมันโดยพิจารณาจากสีของเปลวไฟ 2) ประเมินสัดส่วนอากาศและน้ำมันโดยใช้มาตรวัดออกซิเจนหรือควัน	1) สีของเปลวไฟควรปรกติ 2) ค่าจากการวัดออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ควรอยู่ในเกณฑ์ปรกติ
	ขั้วไฟฟ้า (Electrode)	1) ตรวจสอบการเปรอะเปื้อน เสื่อมสภาพหรือลุกไหม้ 2) ตรวจสอบตำแหน่งและระยะห่างระหว่างขั้ว 3) ตรวจสอบรอยแตกร้าวของฉนวน 4) ตรวจสอบการเสื่อมสภาพของลวดนำไฟฟ้าและการหลุดหลวมที่จุดเชื่อมต่อ	1) ไม่มีการเสื่อมสภาพ ความเสียหายจากการลุกไหม้ที่สังเกตได้ 2) ตำแหน่งและระยะห่างควรอยู่ในระยะเหมาะสม 3) ไม่มีความเสียหายหรือรอยแตกร้าว 4) ไม่มีการเสื่อมสภาพของลวดตัวนำและการหลุดหลวมของจุดเชื่อมต่อ
หัวเผานำร่อง	หัวเผา (Burner)	1) ตรวจสอบความเสียหายจากการลุกไหม้ การผิดรูป เขม่าดำและการเสื่อมสภาพ 2) ตรวจสอบตำแหน่ง ทิศทาง และความยาวของเปลวไฟนำร่อง 3) ตรวจสอบแรงดันก๊าซเชื้อเพลิงกรณีที่ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง	1) ไม่มีความเสียหายจากการลุกไหม้ การผิดรูป การเสื่อมสภาพและเขม่าดำ 2) ต้องอยู่ในระยะที่กำหนด 3) ต้องมีแรงดันตามเกณฑ์ที่กำหนด

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
หัวเผานำร่อง (ต่อ)	ขั้วไฟฟ้า (Electrode)	1) ตรวจสอบการเปรอะเปื้อน เสื่อมสภาพหรือลุกไหม้ 2) ตรวจสอบตำแหน่งและระยะห่างระหว่างขั้ว 3) ตรวจสอบรอยแตกร้าวของฉนวน 4) ตรวจสอบการเสื่อมสภาพของลวดนำไฟฟ้าและการหลุดหลวมที่จุดเชื่อมต่อ	1) ไม่มีการเสื่อมสภาพ ความเสียหายจากการลุกไหม้ที่สังเกตได้ 2) ตำแหน่งและระยะห่างควรอยู่ในระยะเหมาะสม 3) ไม่มีความเสียหายหรือรอยแตกร้าว 4) ไม่มีการเสื่อมสภาพของลวดตัวนำและการหลุดหลวมของจุดเชื่อมต่อ
ห้องเผาไหม้และวัสดุทนความร้อน	วัสดุทนไฟและทนความร้อน (Refractory material and burner tile)	ตรวจสอบการผิดรูป การลุกไหม้และเขม่าดำตลอดช่องมองลอดและหัวเผา	ไม่มีการผิดรูป การลุกไหม้และคราบเขม่าดำที่สังเกตได้
พัดลมดูดอากาศ	ตลับลูกปืน (Bearing)	ตรวจสอบการสั่นสะเทือนที่ผิดปรกติ การรั่วซึมของน้ำมัน ความร้อนที่สูงผิดปรกติและการหล่อลื่นอุปกรณ์	ไม่มีการสั่นสะเทือนที่ผิดปรกติ ไม่มีการรั่วซึมของน้ำมัน ความร้อนไม่สูงผิดปรกติมีปริมาณและคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม
	ใบพัดและแผ่นปิดช่องลม (Vane and damper)	ตรวจสภาพการทำงาน	ทำงานได้อย่างไม่ติดขัด การเปิดปิดเป็นปรกติ
	ท่ออากาศและท่อลมใหญ่ (Air duct and wind box)	ตรวจสอบความผิดปรกติการรั่วซึมของอากาศและคราบน้ำมัน	ไม่มีความผิดปรกติที่สังเกตได้และการรั่วซึมของอากาศหรือคราบน้ำมัน
	ตาข่ายและช่องลมดูด (Wire net and suction port)	ตรวจสอบความเสียหายและการยึดเกาะของสิ่งแปลกปลอม	ไม่มีความเสียหายและการยึดเกาะของสิ่งแปลกปลอม
ประตูลดแรงระเบิด (Explosion door)	แผ่นปิดและโครง (Plate and frame)	1) ตรวจสอบการผิดรูปการลุกไหม้ 2) ตรวจสอบการรั่วซึมของก๊าซ	1) ไม่มีการผิดรูป การลุกไหม้ และการทำงานเป็นปรกติ 2) ไม่มีการรั่วซึมของก๊าซ
	สปริง	ตรวจสอบ การชำรุด สนิมและความบกพร่องอื่นๆ	ไม่มีการชำรุดบกพร่องหรือคราบสนิมที่สามารถสังเกตเห็นได้

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
ท่อก๊าซและปล่องควัน	ผิวภายนอกและภายใน	1) ตรวจสอบการผิดปรกติของสี 2) ตรวจสอบความเสียหาย การผุกร่อนและรอยแตกร้าว 3) ตรวจสอบเขม่าดำ ขี้เถ้า คราบน้ำ และการผุกร่อน 4) ตรวจสอบการรั่วซึมของก๊าซ การไหลเข้าของอากาศโดยใช้มาตรวัดลม	1) ไม่มีความผิดปรกติของสี 2) ไม่มีความเสียหายที่สังเกตได้ ไม่มีการผุกร่อนและรอยแตกร้าว 3) ไม่มีเขม่าดำและขี้เถ้า ไม่มีคราบน้ำและการผุกร่อน 4) อากาศไหลผ่านอย่างเหมาะสม ไม่มีการรั่วซึมของก๊าซและการเข้ามาปะปนของอากาศภายนอก
	อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า (Lightning rod)	ตรวจการหลุดหรือขาดของลวดตัวนำ และการทำงานของสายดิน	ลวดตัวนำไม่ขาดและสายดินอยู่ในสภาพสมบูรณ์
	ฐานราก (Foundation)	ตรวจสอบการทรุดตัวและการแตกร้าว	ไม่มีการทรุดตัวและการแตกร้าว
ถังน้ำมันเชื้อเพลิง	ผิวภายนอกและภายใน	ตรวจสอบการแตกร้าวและการผุกร่อน	ไม่มีการแตกร้าวและการผุกร่อนที่สังเกตได้
	ข้อต่อของท่อและวาล์ว	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำมันเชื้อเพลิง	ไม่มีการรั่วซึมของน้ำมันเชื้อเพลิง
	ส่วนล่างของถัง (Bottom part)	ตรวจสอบการสะสมตัวของคราบตะกอน	ไม่มีคราบตะกอนมีสังเกตเห็นได้
	ฐานราก (Foundation)	ตรวจสอบการทรุดตัวและรอยแตกร้าว	ไม่มีการทรุดตัวและรอยแตกร้าว
	ตัวควบคุมปริมาณน้ำมัน (Oil level controller)	1) ตรวจสอบการทำงานของสวิตซ์ลูกลอย 2) ตรวจสอบความเสียหายที่ตัวลูกลอย 3) ตรวจสอบการแตกร้าวของลูกยางย่น (Bellow) และการรั่วซึมของน้ำมัน	1) สวิตซ์ทำงานได้ปรกติ 2) ลูกลอยไม่เสียหายและเคลื่อนที่ได้ปรกติ 3) ไม่มีการแตกร้าวที่ลูกยางย่น และการรั่วซึมของน้ำมัน
	มาตรวัดระดับน้ำมัน (Oil level gauge)	ตรวจสอบการทำงาน	ต้องทำงานได้ปรกติ

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
อุปกรณ์ตัดเชื้อเพลิง (โซลินอยด์วาล์ว)	ขดลวด (Coil)	ตรวจสอบความผิดปรกติของความร้อน กลิ่น เสียง และการสั่นสะเทือน	ไม่มีความผิดปรกติของความร้อน กลิ่น เสียง และการสั่นสะเทือน
	วาล์ว	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำมันผ่านบ่าวาล์ว ปะเก็นและหน้าแปลน	การรั่วซึมของน้ำมันผ่านบ่าวาล์วต้องน้อยกว่าที่กำหนดและไม่มีการรั่วซึมของน้ำ มันผ่านปะเก็นและหน้าแปลน
	กลไกการตัดเชื้อเพลิง	ตรวจสอบสภาพการทำงาน	ต้องทำงานอย่างสมบูรณ์และไม่มีเสียงผิดปรกติ
อุปกรณ์ตัดเชื้อเพลิง (วาล์ว มอเตอร์ และน้ำมัน)	ต้นแรง (Driving source)	ตรวจสอบความผิดปรกติของอุณหภูมิกลิ่น และการรั่วซึมของน้ำมันต้นกำลัง	ไม่มีความผิดปรกติของอุณหภูมิ กลิ่น และการรั่วซึมของน้ำมันต้นกำลัง
	วาล์วและปะเก็น	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำ มันผ่านบ่าวาล์ว ปะเก็นและหน้าแปลน	ไม่มีความผิดปรกติของอุณหภูมิ กลิ่น และการรั่วซึมของน้ำมันต้นกำลัง
	การติดตั้ง (Fixing)	ตรวจสอบลักษณะการติดตั้ง	ต้องไม่มีการเอนเอียงที่สังเกตได้
	กลไกการตัดเชื้อเพลิง	ตรวจสอบสภาพการทำงาน	ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ตำแหน่งการเปิดปิดต้องอยู่ในเกณฑ์ปรกติ
มอเตอร์ควบคุมการไหลของอากาศและน้ำมัน	ตัวบ่งชี้มุมของแกนหมุน (Indicator of rotary angle)	ตรวจสอบว่าตำแหน่งการเผาไหม้เป็นไปอย่างปรกติ	ตำแหน่งการเผาไหม้ทั้งระดับสูงและต่ำเป็นไปอย่างปรกติ
	ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer)	1) ตรวจสอบการขาดหลุด การลุกไหม้ การเปรอะเปื้อนของตัวปัด และผิวหน้าของขดลวด 2) ตรวจสอบหน้าเชื่อมสัมผัสระหว่างตัวปัดและผิวหน้าของขดลวด	1) ไม่มีการขาดหลุด การลุกไหม้และการเปรอะเปื้อน 2) หน้าสัมผัสมีสภาพปรกติ
	หน้าสัมผัสของรีเลย์ถ่วงสมดุล (Contact of balancing relay)	ตรวจสอบการเปรอะเปื้อน การเสียหายและการลุกไหม้ที่หน้าสัมผัส	ไม่มีการเปรอะเปื้อน การเสียหายและการลุกไหม้ที่หน้าสัมผัส
	ภายใน	ตรวจสอบการเปรอะเปื้อนและการสะสมของฝุ่น	ไม่มีการเปรอะเปื้อนและการสะสมของฝุ่น

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ		วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
มอเตอร์ควบคุมการไหลของอากาศและน้ำมัน (ต่อ)	จุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้า	1) ตรวจสอบการหลุดหลวมของตะปูควง 2) ตรวจสอบฝุ่น ความชื้น คราบสนิมและการผุกร่อน	1) ไม่มีการหลุดหลวม 2) ไม่มีฝุ่น ความชื้น คราบสนิม และการผุกร่อน
วาล์วควบคุมการไหลของอากาศและก๊าซและแผ่นปิดอากาศ	ข้อต่อวาล์ว	ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำมันเชื้อเพลิง	ไม่มีการรั่วซึม
	วาล์วและแผ่นปิดอากาศ (Air damper)	ตรวจสอบความผิดปรกติของตำแหน่งการเผาไหม้ทั้งในระดับสูงและต่ำ	ไม่มีความผิดปรกติ
ส่วนเชื่อมโยงระบบควบคุมอากาศและน้ำมัน	ตะปูควง	ตรวจสอบการหลุดหลวม	ไม่มีการหลุดหลวม
	ชิ้นส่วนที่ติดตั้ง	ตรวจสอบตำแหน่งการติดตั้งว่าถูกต้อง	ไม่มีความผิดปรกติ ชิ้นส่วนถูกติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสม

ตารางที่ 6-20 การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว

อุปกรณ์อุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา	การบำรุงรักษา
หัวเผาทั่วไป	• ตรวจความดันของน้ำมันเตา ความดันลม หรือไอน้ำว่าได้ตามข้อบ่งใช้หรือไม่ • ตรวจดูอุณหภูมิของน้ำมันที่เข้าหัวฉีดว่าได้ตามข้อบ่งใช้หรือไม่ • ทำความสะอาดหัวเผาเป็นประจำ สำหรับพวกหัวฉีดที่ใช้ความดันของน้ำมันเตาเองนั้นต้องระวังอย่าให้ร่องต่างๆ ที่ปลายหัวฉีดเกิดบิดเบี้ยวหรือชำรุดได้ ไม่ควรใช้เหล็กแข็งขูดทำความสะอาด ส่วนหัวเผาแบบถ้วยเหวี่ยง ใช้ผ้าชุบน้ำมันสนเช็ดทำความสะอาด ถ้าหากมีคราบคาร์บอนให้ใช้มีดอลูมิเนียมที่มากับหัวเผาทำความสะอาด ห้ามใช้วัสดุที่เป็นเหล็กหรือสแตนเลส ทำความสะอาดเพราะจะทำให้เกิดรอยภายในถ้วย • ตรวจดูสภาพของช่องบังคับลมอยู่เสมอ หากชำรุดให้รีบซ่อมแซมให้ดีดังเดิม • ตรวจสภาพของช่องหัวเผา หากอิฐทนไฟแตกหักและหล่นลงมาให้รีบแก้ไข

อุปกรณ์อุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา		การบำรุงรักษา
หัวเผาทั่วไป (ต่อ)		• ตรวจดูข้อต่อที่เชื่อมคันบังคับช่องลมกับวาล์วน้ำมัน อย่าให้หลวมหรือหลุด • ตรวจดูปริมาณของอากาศที่เข้าหัวเผา ไม่ควรเกินกว่า 1.2 เท่าของจำนวนอากาศตามทฤษฎีการเผาไหม้ โดยดูจากปริมาณ O_2 ส่วนเกินในก๊าซไอเสีย ซึ่งไม่ควรเกิน 3.5% หรือดูจากปริมาณ CO_2 ซึ่งไม่ควรต่ำกว่า 12.5% • ตรวจสภาพการสึกหรอของหัวเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยสังเกตจากเปลวไฟที่ออกจากหัวเผาไหม้ หรือดูจากความสมบูรณ์ของการเผาไหม้ • ตรวจสอบปัญหาจากการทำงานของ Burner vane และกลไกส่วนอื่น เพื่อให้ทราบถึงความผิดปรกติที่อาจเกิดขึ้น
หัวเผา	แบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมัน	หัวฉีดแบบไฟมาก-น้อย และหัวฉีดแบบต่อเนื่อง จะมีกรองละเอียดเล็กๆอยู่ภายใน ต้องทำความสะอาดออกให้หมด การฉีดน้ำมันจึงจะเป็นปรกติ
	แบบพ่นฝอยโดยใช้อากาศหรือไอน้ำ	• ปรกติแล้วการอุดตันมีน้อย เพราะอากาศหรือไอน้ำ ที่พ่นฝอยจะไล่สิ่ง สกปรกออกตลอดเวลา แต่ใช้ไปนานๆ เข้า อาจเกิดอุดตันได้ ซึ่งจะสังเกตได้จากเปลวไฟไม่เป็นฟุ่ม ออกบ้าง ไม่ออกบ้าง • ถอดออกล้างทำความสะอาด และเอาคราบคาร์บอนแข็งตามร่องของ Swirler ออกให้หมด และประกอบเข้าที่ให้สนิท ก็จะได้การฉีดน้ำมันและเผาไหม้เป็นปรกติ
	แบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน	• ลักษณะการหมุนเหวี่ยงของถ้วย จะทำให้มีตะกอนสะสมบนผิวถ้วย รวมทั้ง ถ้าอุ่นน้ำมันร้อนจัดจนเกินไปจนไฟลุกในถ้วย ภายในถ้วยจะแห้งเป็นตะกรัน จึงต้องทำความสะอาดทุกวัน • หลังจากหยุดหัวเผาทำงานแล้ว ให้อ้าหัวเผาออกมา จะสามารถทำความสะอาดได้โดยใช้ผ้าชุบน้ำมันโซล่า ล้างเช็ดออกให้หมด ห้ามใช้ของแข็งมีคมขุด เพราะจะเกิดรอย (ควรรักษาให้ผิวเรียบดั่งกระจก) และอย่าให้ปากขอบถ้วยเว้าแหว่ง (ควรรักษาให้ปากขอบถ้วยคมดั่งใบมีด) • ทำสะอาดแล้วปิดฝา แล้วเริ่มเดินหม้อน้ำได้
ระบบจ่ายเชื้อเพลิง	มอเตอร์ ชุด Turbine drive และเกียร์ปั๊ม	• ช่องว่าง (Clearance) ในส่วนต่างๆ • สิ่งผิดปรกติภายในเนื่องจากช่องว่าง (Clearance) ในส่วนต่างๆ มากเกินไป • การสึกหรอของแบริ่ง • การรั่วไหล การซึมของน้ำมัน

อุปกรณ์อุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา		การบำรุงรักษา
ระบบจ่ายเชื้อเพลิง (ต่อ)	ปั๊มลูกสูบที่ขับด้วยไอน้ำ (Steam driven reciprocating pump)	● การสึกหรอของลูกสูบและกระบอกสูบ ทั้งในส่วนที่สัมผัสไอน้ำและน้ำมัน ● การทำงานของวาล์วไอน้ำ และส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ● บ่าวาล์วทั้งในส่วนของระบบน้ำมัน และไอน้ำ ● การรั่วไหล ซึมของน้ำมันในส่วนต่างๆ รวมทั้งข้อต่อทุกจุด ● สภาพไส้กรอง และอุปกรณ์เสริมอื่นๆ
	วาล์วและท่อส่งน้ำมัน	● ตรวจสอบการทำงานของระบบควบคุมแรงดันออก และค่า Setting ของ Relief Valve ● ตรวจสอบ การทำงานและค่าความดันน้ำมันขาออกที่ควบคุมอยู่ ● ตรวจสอบการทำงานของระบบควบคุมความดันของไอน้ำที่จ่ายเข้า Oil heater ● ตรวจสอบและทำความสะอาดไส้กรองของระบบ ทั้งในระบบน้ำมันและระบบไอน้ำ ● ตรวจสอบและตั้งค่า (Calibration) ความดันทั้งในระบบไอน้ำมันและไอน้ำ ● ตรวจสอบการทำงานของ Trap drain valve ในระบบไอน้ำ ● ตรวจสภาพ Shut off วาล์ว และ วาล์วปรับ (ความดัน ปริมาณ และอื่นๆ) รวมทั้งการตรวจสอบการรั่วซึมของระบบผ่านวาล์ว ● ตรวจสอบและทำความสะอาดหัวจ่ายน้ำมัน ดูร่องรอยของการรั่วซึม การสึกกร่อน การเปลี่ยนสี เปลี่ยนสภาพของ Burner nozzle ● ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำมันตามข้อต่อและจุดอื่นๆ ในระบบ
	ไส้กรองน้ำมันทั่วไป (Oil strainer)	● ควรตรวจและทำความสะอาดหม้อกรองน้ำมันเป็นประจำอย่าให้อุดตัน ขนาดรูไส้ กรองน้ำมันต้องเหมาะสม ● ควรตรวจความดันปั๊มน้ำมันว่าปรกติหรือไม่ หากความดันต่ำไปตัวปั๊มอาจชำรุดหรือผุกร่อนหรือหม้อกรองด้านหน้าปั๊มอาจอุดตัน
	ไส้กรองน้ำมันร้อน	● เปิดฝาเอาตะกร้ากรองออกมา ใช้มือเข้าไปปาดกอบเอาตะกอนโคลนออกมา ขยี้ดูถ้าเป็นของแข็งดินทรายจะรู้สึกได้ ● ตรวจดูว่าตะกร้ากรองมีรอยทะลุผ่านได้รึเปล่า ● เอาน้ำมันค้างในไส้กรองออก ● ล้างให้สะอาด ● ก่อนประกอบเข้าให้เติมน้ำมันเตาที่สะอาดให้เต็มปะเก็นฝาต้องไม่ชำรุด ปิดฝา ขันน็อตให้แน่น

อุปกรณ์อุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา		การบำรุงรักษา
ระบบจ่ายเชื้อเพลิง (ต่อ)	ไส้กรองน้ำมันเย็น	• เปิดฝาเอาตะกร้ากรองออกมา เทน้ำมันออกแล้ว จะรู้สึกเหมือนสิ่งสกปรกอุดตันกรอง (โดยเฉพาะในหน้าหนาว) ส่วนใหญ่มันคือไขที่ปนอยู่ในน้ำมันเตาเกรดซี ใช้มือเข้าไปปาดกอบเอาตะกอนโคลนออกมาขยี้ดูถ้าเป็นไข มันจะละลายออกไปหมด ทิ้งของแข็งเล็กๆ น้อยๆ ให้รู้สึกได้ • ในหน้าหนาวไส้กรองจะมีการอุดตันด้วยไข แก้ไขโดยต้องเอาท่อทองแดงไอน้ำมาพัน อุ่นให้ร้อนนิดหน่อย การอุดตันด้วยไขจะหมดไป
	ถังเก็บน้ำมันเตา	• ควรตรวจ และถ่ายน้ำและตะกอนเหนียวออกจากก้นถังอย่างสม่ำเสมอ • ระบายน้ำก้นถัง • เปิดวาล์วระบายช้าๆ ถ้าเปิดเร็วจะไม่รู้ว่ามีน้ำ • ตรวจสอบระบบการทำงานของลูกลอยบอกระดับในถังน้ำมัน
ระบบอุ่นน้ำมัน (Fuel oil heater)		• ตรวจสภาพผิวท่อของ Oil heater ว่ามีสิ่งสกปรก คราบที่ผิวท่อหรือไม่ • ตรวจสภาพการกัดกร่อน และการสึกกร่อนในระบบ ทั้งในด้านของน้ำมันและไอน้ำ • ตรวจสภาพท่อ Vent และ ท่อ Drain ว่าอุดตันหรือไม่ • ตรวจสอบการรั่วซึมของท่อ และแผงยึด • ตรวจสภาพการทำงานและค่า Setting ของ Relief Valve • ตรวจสภาพฉนวนที่ใช้ในระบบ • ตรวจดูว่าหม้ออุ่นน้ำมันเตาทำงานเป็นปรกติหรือไม่ อุณหภูมิของน้ำมันเตาที่ออกจากหม้ออุ่นสูงพอตามความต้องการหรือไม่
ช่องจ่ายลม (Windbox)		• ตรวจสอบการกัดกร่อน สึกกร่อนของแผ่นปิดทางลม (Air damper) หรือแผ่นเปลี่ยนทิศทางลมในช่องจ่ายลม • ตรวจสอบความสมบูรณ์ของฉนวนรอบห้องช่องจ่ายลม • ตรวจสอบสภาพและการทำงานของช่องเปิด รูตรวจสอบ ประตูทางเข้า ตลอดจนแผ่นปิดรอบ Windbox ว่าไม่มีลมรั่ว

อุปกรณ์อุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา	การบำรุงรักษา
อุปกรณ์ปรับลมในห้องเผาไหม้ (Damper)	• ตรวจสอบกลไก คันบังคับ แผ่น Blade ทำงานได้ถูกต้องแม่นยำ • ตรวจสอบตำแหน่งของแผ่น Blade แสดงตำแหน่งได้ถูกต้องตรงกับตำแหน่งที่แสดงค่าด้านนอก • ตรวจสอบกลไกการแสดงตำแหน่งการใช้งานของอุปกรณ์ว่าแสดงถูกต้อง และสามารถยึดหดได้เมื่ออุณหภูมิอุปกรณ์เปลี่ยนแปลง • ตรวจสอบตำแหน่งหยุดของ Damper ในทิศทางปิดว่าอยู่ในตำแหน่งตามที่ออกแบบไว้ • ตรวจสอบแผ่นกันรั่วของลม (Seal strip) ของ Damper ไม่บิดงอหรือเสียหาย • ตรวจสอบแผ่น Blade มีสภาพปรกติ ไม่มีร่องรอยการสึกกร่อนหรือการกัดกร่อนหรือบิดงอ • ตรวจสอบแบริ่งจุดต่างๆ มีการหล่อลื่นเพียงพอ • ตรวจสอบการสึกหรอของแบริ่งและจุดหมุนต่างๆ • ตรวจสอบเส้นทางของก๊าซที่ผ่านการเผาไหม้แล้ว ไม่มีสิ่งสกปรกตกค้างอยู่ • กรณีเป็น Damper ชนิดควบคุมระยะไกล ต้องทำการตรวจสอบการสั่งการทำงาน และกลไกสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตลอดช่วงการควบคุม • หากมีการออกแบบการทำงานของ Damper ในส่วนของ Induced draft fan และ Forced draft fan ต้องมั่นใจว่าในช่วงการ Purge เตาหม้อน้ำตำแหน่งของ Damper ได้ ถูกสั่งให้เคลื่อนไป อยู่ในตำแหน่งที่ออกแบบไว้

6.6.3 ระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ

การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหัวเผาและอุปกรณ์ช่วยเหลือการเผาไหม้ต่างๆ ในหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ แสดงได้ดังตารางที่ 6-21

ตารางที่ 6-21 การตรวจสอบสภาพ และบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ

อุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา	การตรวจสอบสภาพ และบำรุงรักษา
ระบบเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ (Gas firing)	• ตรวจสภาพการกัดกร่อน และการอุดตันของหัวฉีดก๊าซ • ตรวจสภาพและการทำงานของกลไกชุดควบคุม Damper • ตรวจสภาพการทำงานของวาล์วควบคุมแรงดันในระบบ • ตรวจสอบการรั่วซึมในระบบต่างๆ รวมทั้งการรั่วซึมของวาล์วต่างๆ ในระบบ

ภาคผนวก ก
กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำ และหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่เกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนคือ กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ซึ่งมีผลต่อทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้หม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ในประเทศไทยสาระสำคัญของกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนจะเน้นและแบ่งออกเป็นสองหัวข้อหลักคือหัวข้อเกี่ยวกับความปลอดภัยในการเดินเครื่องหม้อน้ำ และหัวข้อเกี่ยวกับการรักษาสภาพแวดล้อม รายละเอียดกฎหมายของประเทศไทยที่เกี่ยวกับหม้อน้ำมีดังนี้

1.1 กฎหมายด้านความปลอดภัย

หน่วยงานที่มีหน้าที่กำกับดูแลด้านความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำในในประเทศไทยมี 2 หน่วยงานหลักด้วยกัน คือ **กรมโรงงานอุตสาหกรรม**ซึ่งเป็นหน่วยงานภายใต้กระทรวงอุตสาหกรรม และ**กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน**ซึ่งเป็นหน่วยงานภายใต้กระทรวงแรงงาน โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมมีหน้าที่กำกับดูแลหม้อน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น แต่กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานมีหน้าที่กำกับดูแลหม้อน้ำทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและนอกโรงงานอุตสาหกรรม

1.1.1 กฎหมายด้านความปลอดภัยของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ในปี พ.ศ. 2549 กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ประกาศใช้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำขึ้นใหม่โดยได้ยกเลิกกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำเดิมทั้งหมด ซึ่งในปัจจุบันกฎหมายที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมใช้ในการกำกับดูแลความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำ เป็นกฎหมายที่ได้มีการประกาศขึ้นใหม่ในปี พ.ศ. 2549 มีทั้งสิ้น 4 ฉบับ คือ

- กฎกระทรวง กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549

รายละเอียดของกฎหมายด้านความปลอดภัยที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมรับผิดชอบแยกตามกฎกระทรวงและประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมตามข้างต้นแสดงได้ดังนี้

1) กฎกระทรวง กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 6 และมาตรา 8 (2) (3) (4) (6) (7) และ (8) แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 และมาตรา 50 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิก

(1) (5) และ (6) ของข้อ 6 ข้อ 8 และข้อ 9 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

(2) ข้อ 2 และข้อ 3 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

ข้อ 2 ในกฎกระทรวงนี้

“หม้อน้ำ (boiler)” หมายความว่า

(1) ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำที่มีปริมาณความจุเกิน 2 ลิตรขึ้นไป เมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานความร้อนอื่น น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำภายใต้ความดันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล หรือ

(2) ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำซึ่งใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนตั้งแต่ 8 ตารางเมตรขึ้นไป

“หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน” หมายความว่า ภาชนะปิดที่ภายในบรรจุของเหลวซึ่งมีคุณสมบัติในการรับและถ่ายเทความร้อนได้ โดยรับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานความร้อนอื่น เพื่อนำไปถ่ายเทความร้อนให้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยของเหลวจะไหลเวียนตลอดเวลาเพื่อรับและถ่ายเทความร้อนได้อย่างต่อเนื่อง

“ภาชนะรับแรงดัน (pressure vessel)” หมายความว่า

(1) ภาชนะปิดที่มีความกดดันภายในภาชนะและภายนอกภาชนะแตกต่างกันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 103 มิลลิเมตร หรือ

(2) ถังปฏิกิริยา (reactor)

หมวด 1

การออกแบบ การผลิต และการตรวจสอบการผลิต

ข้อ 3 ผู้ประกอบกิจการโรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หรือสร้างหม้อน้ำหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน ต้องปฏิบัติดังต่อไปนี้

(1) จัดให้มีการออกแบบ การผลิต และการตรวจสอบการผลิต

(2) จัดทำเอกสารคู่มือการใช้งาน การตรวจสอบ และการบำรุงรักษา และ

(3) จัดทำรายงานข้อมูลการผลิต การตรวจสอบ และการทดสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

หมวด 2
การติดตั้ง

ข้อ 4 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ใช้หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ต้องติดตั้งหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดันที่ได้รับการออกแบบ การผลิต และการตรวจสอบการผลิตตามข้อ 3 หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดันที่ติดตั้งตามวรรคหนึ่ง หากนำเข้าจากต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นภาชนะใหม่หรือภาชนะที่ผ่านการใช้งานแล้ว ต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ 5 หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดันที่ติดตั้งเพื่อใช้งาน ต้องมีอุปกรณ์ความปลอดภัยตามหลักเกณฑ์ที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ 6 สถานที่ติดตั้ง การติดตั้ง การตรวจสอบและทดสอบหลังการติดตั้ง และการเคลื่อนย้ายหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ 7 ระบบท่อต้องได้รับการออกแบบ การคำนวณ และควบคุมการติดตั้งตามมาตรฐานที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา โดยวิศวกรที่ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร

ข้อ 8 โรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำ ต้องติดตั้งอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการบำบัดหรือปรับสภาพน้ำในระบบหม้อน้ำ หรือปรับสภาพน้ำเข้าหม้อน้ำ เพื่อให้น้ำมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ 9 โรงงานที่มีการติดตั้งหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ต้องจัดทำรายงานข้อมูลการติดตั้ง การตรวจสอบและทดสอบหลังการติดตั้ง และการเคลื่อนย้ายตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

หมวด 3
การใช้งาน

ข้อ 10 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ต้องจัดทำและดำเนินการตามแผนการบำรุงรักษาหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน รวมถึงอุปกรณ์ประกอบต่างๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ 11 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำ หรือภาชนะรับแรงดัน ต้องใช้งานที่ความดันไม่เกินกว่าความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (maximum allowable working pressure) สำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกินกว่าอุณหภูมิอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด

ข้อ 12 หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ถังพักไอน้ำ ระบบท่อและอุปกรณ์ต่างๆ ต้องหุ้มฉนวนกันความร้อน

ข้อ 13 หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดันที่โครงสร้างรับแรงดันหรืออุปกรณ์ความปลอดภัยชำรุดไม่สามารถใช้งานได้ หรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งานต้องหยุดการใช้งานทันทีและแจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบภายในสิบวันนับแต่วันที่พบความชำรุดเสียหาย กรณีที่โครงสร้างรับแรงดัน

หรืออุปกรณ์ความปลอดภัยชำรุดและจะนำกลับมาใช้งานใหม่ ต้องได้รับการซ่อมแซมและตรวจสอบตามวิธีการที่กำหนดในข้อ 16

ข้อ 14 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ต้องจัดให้มีการตรวจสอบหรือทดสอบความปลอดภัยตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ 15 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน ต้องจัดส่งรายงานผลการตรวจสอบความปลอดภัยให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบภายในสามสิบวันนับแต่วันที่ทำการตรวจสอบหรือทดสอบตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

หมวด 4

การซ่อมแซมและดัดแปลง

ข้อ 16 การดำเนินการซ่อมแซมและดัดแปลง การตรวจสอบและทดสอบหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ 17 ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดส่งรายงานผลการดำเนินการซ่อมแซม และดัดแปลงและผลการตรวจสอบและทดสอบหลังจากที่ได้ซ่อมแซมและดัดแปลงหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบก่อนการใช้งาน ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

หมวด 5

การยกเลิกการใช้งาน

ข้อ 18 การยกเลิกการใช้งานหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องดำเนินการตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

หมวด 6

บุคลากรประจำโรงงาน

ข้อ 19 คนงาน วิศวกร หรือสถาปนิกที่ปฏิบัติหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม การออกแบบ การผลิต การใช้งาน การตรวจสอบหรือทดสอบ หรือการซ่อมแซมหรือดัดแปลงหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน ต้องมีคุณสมบัติและต้องปฏิบัติให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 3 ข้อ 4 ข้อ 6 ข้อ 9 ข้อ 14 ข้อ 15 ข้อ 16 ข้อ 17 ข้อ 18 และ ข้อ 19 แห่งกฎกระทรวงกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549 ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้

“ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน” หมายความว่า คนงานประจำโรงงานที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงาน การตรวจสอบและบำรุงรักษาประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

“วิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ” หมายความว่า วิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรที่รับผิดชอบการใช้หม้อน้ำซึ่งมีอัตราการผลิตไอน้ำตั้งแต่ 20 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป ควบคุมดูแลผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำและจัดทำแผนการใช้งาน การบำรุงรักษาให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยและข้อกำหนดสำหรับหม้อน้ำ

“วิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน” หมายความว่า วิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรที่ทำหน้าที่ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้งและควบคุมการติดตั้งตรวจทดสอบวิเคราะห์และจัดทำรายงานความปลอดภัยในการใช้งานของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พร้อมทั้งแนะนำวิธีการแก้ไขให้ถูกต้อง เป็นไปตามหลักวิศวกรรม

“วิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน”หมายความว่า วิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบและรับรองแบบ ควบคุมตรวจสอบ กำกับดูแลการสร้าง การซ่อมแซม หรือการดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ให้เป็นไปตามแบบและรายละเอียดที่ผ่านการรับรอง

“หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน” หมายความว่า นิติบุคคลที่มีขอบเขตการปฏิบัติงานอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้

(1) ตรวจสอบและรับรองแบบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล

(2) ตรวจพิสูจน์หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ที่นำเข้าจากต่างประเทศตามข้อ 12

(3) ตรวจสอบ ควบคุม กำกับดูแลการสร้าง การซ่อมแซม หรือการดัดแปลง หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนให้เป็นไปตามแบบ และรายละเอียด ที่ผ่านการรับรองจากหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

(4) ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง และการติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และเครื่องอุปกรณ์ส่วนควบให้เป็นไปตามหลักวิศวกรรม

(5) ตรวจทดสอบ วิเคราะห์และจัดทำรายงานความปลอดภัยในการใช้งานของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พร้อมทั้งแนะนำวิธีการแก้ไขให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

หมวด 1

บุคลากรประจำโรงงาน วิศวกร และหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ข้อ 2 ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน วิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ วิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน วิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ที่ระบุในประกาศกระทรวงนี้ ต้องมีคุณสมบัติหน้าที่ความรับผิดชอบเป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก 1 และต้องขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกำหนด

ข้อ 3 การจัดฝึกอบรม หลักสูตรการฝึกอบรม และการสอบมาตรฐานของผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนเป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก 2

หมวด 2

การออกแบบ

ข้อ 4 ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องจัดให้มีการออกแบบและคำนวณหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่จะทำการสร้างให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐานสากล ได้แก่ มาตรฐาน ASME, JIS, EN หรือมาตรฐานเทียบเท่า และต้องจัดให้มีหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนทำการตรวจสอบและรับรองแบบ พร้อมทั้งเก็บรักษาแบบและหนังสือรับรองแบบนั้นไว้ภายในโรงงานเพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบได้ความในวรรคแรก มิให้ใช้บังคับกับหม้อน้ำประเภทไหลผ่านทางเดียว (Once Through Boiler) ที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนไม่เกิน 10 ตารางเมตร ความดันใช้งานสูงสุด (Maximum Allowable Working Pressure) ไม่เกิน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่การคำนวณ การออกแบบ ให้เป็นไปตามหลักวิศวกรรม โดยมีหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนทำการตรวจสอบและรับรองแบบ

หมวด 3

การสร้างและการตรวจสอบการสร้าง

ข้อ 5 ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องทำการสร้าง หรือดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ได้รับการออกแบบและตรวจรับรองแบบ โดยหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนเท่านั้น

ข้อ 6 ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องใช้วัสดุในการสร้างตามมาตรฐานตามที่ได้รับการออกแบบนั้น และมีเอกสารรับรองคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้ในการสร้าง (Mill Certificate) เฉพาะส่วนที่รับแรงดันที่สามารถสอบกลับแหล่งที่มาได้

ข้อ 7 ลวดเชื่อมที่ใช้ในการสร้าง ต้องเหมาะสมกับประเภทของวัสดุที่ใช้ในการสร้างและเป็นไปตามมาตรฐานลวดเชื่อม

ข้อ 8 ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องดำเนินการควบคุมและตรวจสอบการสร้าง ดังต่อไปนี้

(1) จัดให้มีช่างเชื่อม ที่มีความชำนาญในการเชื่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนโดยเฉพาะและได้รับการรับรองตามมาตรฐานการเชื่อม

(2) จัดให้มีเอกสารแสดงขั้นตอนการเชื่อม (Welding Procedure) เพื่อให้เจ้าหน้าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบได้

(3) จัดทำเอกสารบันทึกการดำเนินการทุกขั้นตอนในกระบวนการสร้างและการตรวจสอบพร้อมให้เจ้าหน้าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบได้ และต้องเก็บรักษาไว้อย่างน้อย 10 ปี

(4) จัดให้มีการตรวจสอบกระบวนการสร้าง หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนโดยหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ทั้งนี้ต้องไม่เป็นวิศวกรรายเดียวกับที่ดำเนินการรับรองแบบในข้อ 4

(5) หลังจากผ่านการตรวจสอบตาม (4) แล้ว ให้ติดตั้งแผ่นโลหะ (Name Plate) ที่ตัวหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนอย่างหนาแน่นถาวรในตำแหน่งที่เห็นได้ชัดเจน และอย่างน้อยที่สุดต้องมีการแสดงข้อมูลต่อไปนี้เป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษลงบนแผ่นโลหะ ดังนี้

ก. สำหรับหม้อน้ำ

(1) ชื่อและประเทศของบริษัทผู้ผลิต

(2) เลขทะเบียน วิศวกรหรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และตรวจสอบการสร้าง

(3) เดือน ปี ที่ผลิต

(4) มาตรฐานการสร้าง

(5) ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (Maximum allowable working pressure)

(6) อัตราการผลิตไอน้ำ

(7) ความดันทดสอบ

(8) หมายเลขเครื่อง (Serial Number)

(9) รุ่น (Model)

ข. สำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

(1) ชื่อและประเทศของบริษัทผู้ผลิต

(2) เลขทะเบียน วิศวกร หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและตรวจสอบการสร้าง

(3) เดือน ปี ที่ผลิต

(4) มาตรฐานการสร้าง

(5) ค่าความร้อนที่สามารถผลิตได้ (Capacity Output)

(6) อัตราการไหลต่ำสุด (Minimum Flow Rate)

(7) หมายเลขเครื่อง (Serial Number)

(8) รุ่น (Model)

ข้อ 9 ในการสร้าง หากกระบวนการสร้างทำให้คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป เช่น การเชื่อม หรือการดัดโค้ง ให้ทำการอบคลายเครียดผลิตภัณฑ์ (Stress relief)

ข้อ 10 ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดทำรายงานการสร้าง (Manufacturing Data Report) และส่งรายงานการได้รับการรับรองแบบ และรายงานการตรวจสอบการสร้างให้กรมโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้ให้เป็นไปตามแบบและวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด

หมวด 4
การติดตั้ง

ข้อ 11 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่จะติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนเป็นผู้ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง รวมถึงระบบท่อต่างๆ

ข้อ 12 การนำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่นำเข้าจากต่างประเทศมาใช้ในโรงงาน ต้องเป็นหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐานสากล ได้แก่ มาตรฐาน ASME, JIS, EN หรือเทียบเท่าและได้รับการตรวจพิสูจน์จากหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ทั้งนี้ ในกรณีที่เป็นหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ใช้งานแล้วต้องมีเอกสารประวัติการใช้งาน การซ่อมแซมและการตรวจสอบด้วยความในวรรคแรก มิให้ใช้บังคับกับหม้อน้ำประเภทไหลผ่านทางเดียว (Once Through Boiler) ที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนไม่เกิน 10 ตารางเมตร ความดันใช้งานสูงสุด (Maximum Allowable Working Pressure) ไม่เกิน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่การคำนวณ การออกแบบ การสร้าง ให้เป็นไปตามหลักวิศวกรรม โดยมีวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำหรือหม้อน้ำที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ทำการตรวจพิสูจน์

ข้อ 13 สถานที่ติดตั้งและฐานรากหม้อน้ำ และหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

(1) หม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ติดตั้งในอาคารต้องมีระยะห่างจากเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับระบบหม้อน้ำและหม้อต้ม ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่น้อยกว่า 2.5 เมตร และห่างจากผนังอาคาร หม้อน้ำ และหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และเพดานไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร ยกเว้นหม้อน้ำแบบไหลผ่านทางเดียว (Once Through Boiler) ที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนไม่เกิน 10 ตารางเมตร และความดันใช้งานสูงสุด ไม่เกิน 10 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้ระยะดังกล่าวต้องเพียงพอต่อการบำรุงรักษาและตรวจสอบ

(2) สถานที่ติดตั้งต้องมีทางเข้าออกอย่างน้อย 2 ทาง มีความกว้างอย่างน้อย 0.6 เมตร ความสูงอย่างน้อย 2 เมตร และต้องปราศจากสิ่งกีดขวางทางเข้าออก

(3) ในกรณีที่จำเป็นต้องเก็บเชื้อเพลิงไว้ในบริเวณสถานที่ติดตั้ง ต้องเก็บอยู่ห่างจากหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่น้อยกว่า 1 เมตร

(4) ฐานรากสถานที่ติดตั้งหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดต้องมั่นคงแข็งแรง

ข้อ 14 การทดสอบก่อนการใช้งาน

(1) ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีการตรวจสอบภายนอกภายใน และการทำงานของระบบการควบคุมก่อนการใช้งานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในภาคผนวก 3 โดยวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และจัดส่งต้นฉบับรายงานให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมภายใน 30 วัน หลังจากทำการตรวจสอบความปลอดภัย

(2) หม้อน้ำที่นำชิ้นส่วนมาประกอบ ณ สถานที่ใช้งานต้องทำการตรวจสอบตามแนวเชื่อมส่วนรับแรงดัน ภายใต้การควบคุมดูแลของวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อม หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

หมวด 5
การใช้งาน

ข้อ 15 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ข้อ 16 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องแสดงใบอนุญาตผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ไว้ ณ ที่เปิดเผยและเห็นได้ง่ายในบริเวณที่ติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ข้อ 17 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำที่มีกำลังการผลิตไอน้ำเครื่องละตั้งแต่ 20 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป นอกจากจะต้องดำเนินการตามข้อ 16 แล้ว ต้องจัดให้มีวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบการใช้งานหม้อน้ำตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด

ข้อ 18 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ ต้องจัดให้มีการตรวจสอบหม้อน้ำโดยวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เป็นประจำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ในเรื่องต่อไปนี้

(1) ตรวจสอบภายนอก

(2) ตรวจสอบภายใน

(3) ตรวจสอบการทำงานของระบบการควบคุม และอุปกรณ์ความปลอดภัย

ทั้งนี้ หลักเกณฑ์และวิธีการตรวจสอบ ให้เป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก 3

สำหรับหม้อน้ำที่มีอัตราการผลิตไอน้ำเครื่องละตั้งแต่ 20 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป ที่มีการออกแบบโครงสร้าง การสร้างและใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายตามมาตรฐานสากล หากประสงค์จะตรวจสอบภายใน ทุกระยะเวลาเกินกว่า 1 ปีแต่ไม่เกิน 5 ปีต่อการตรวจสอบหนึ่งครั้งก็ให้กระทำได้ ทั้งนี้ ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด และได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมก่อน

ข้อ 19 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีการตรวจทดสอบความปลอดภัยระหว่างการใช้งาน โดยวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เป็นประจำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ในเรื่องต่อไปนี้

(1) ตรวจสอบภายนอก

(2) ตรวจสอบภายใน

(3) ตรวจสอบการทำงานของระบบการควบคุม และอุปกรณ์ความปลอดภัย

ทั้งนี้ หลักเกณฑ์ และวิธีการตรวจสอบ ให้เป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก 3

สำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่มีการออกแบบ การสร้างและมีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายตามมาตรฐานสากล หากประสงค์จะตรวจสอบภายใน ทุกระยะเวลาเกินกว่า 1 ปีแต่ไม่เกิน 3 ปี ต่อการตรวจทดสอบหนึ่งครั้ง ก็ให้กระทำได้ ทั้งนี้ ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด และได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมก่อน

ข้อ 20 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีการตรวจสอบคุณภาพของของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนเป็นประจำทุก 6 เดือน และเก็บรักษาไว้ในโรงงานเพื่อให้เจ้าหน้าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบได้

ข้อ 21 หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ที่หยุดใช้งานติดต่อกันนานกว่า 6 เดือน หากจะนำมาใช้อีกครั้ง ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดให้มีการตรวจสอบตามที่กำหนดในภาคผนวก 3 ก่อนทำการใช้งาน

ข้อ 22 ในกรณีที่ผู้ประกอบกิจการโรงงาน หรือส่วนราชการ มีความประสงค์ให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมดำเนินการตรวจทดสอบความปลอดภัยระหว่างการใช้งานของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เมื่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมพิจารณาแล้ว เห็นว่ามีความเหมาะสมให้วิศวกรเครื่องกลผู้ซึ่งเป็นวิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรมีอำนาจในการดำเนินการตรวจสอบได้ โดยวิศวกรเครื่องกลของกรมโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวได้รับการยกเว้นไม่ต้องขึ้นทะเบียนตามข้อ 2

ข้อ 23 ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดให้มีการจัดทำรายงานผลการตรวจสอบตามข้อ 18 ข้อ 19 หรือข้อ 21 ตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด และจัดส่งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมภายใน 30 วัน นับแต่วันที่เสร็จสิ้นการตรวจสอบ

หมวด 6
การซ่อมแซมและดัดแปลง

ข้อ 24 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หากประสงค์จะทำการซ่อมแซม หรือดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนส่วนที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างส่วนที่รับความดัน ต้องดำเนินการดังนี้

(1) จัดให้มีวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อม หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ควบคุมดูแลการซ่อมแซม หรือ ดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

(2) ดำเนินการให้เป็นไปตามหมวด 3

(3) ภายหลังการซ่อมแซมหรือดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีการตรวจสอบและทดสอบภายใต้การควบคุม ดูแลของหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้

ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือวิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ทั้งนี้ หลักเกณฑ์ และวิธีการตรวจสอบ ให้เป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก 3

(4) จัดส่งรายงานผลการดำเนินงานซ่อมแซม ดัดแปลงและผลการตรวจสอบหลังการซ่อมแซมและดัดแปลงไปให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมภายใน 30 วัน หลังจากซ่อมแซมและดัดแปลงแล้วเสร็จ ทั้งนี้ให้เป็นไปตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด

หมวด 7
การยกเลิกการใช้หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ข้อ 25 การยกเลิกการใช้งานหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เพื่อเคลื่อนย้ายหรือทำลาย ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องแจ้งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบก่อนดำเนินการเคลื่อนย้ายหรือทำลายไม่น้อยกว่า 30 วันทำการ

ภาคผนวก 1
หน้าที่และคุณสมบัติของบุคลากรประจำโรงงาน วิศวกร และหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ส่วนที่ 1 ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

หน้าที่

(1) ควบคุม ดูแลประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนตลอดเวลาที่ปฏิบัติงานในหน้าที่

(2) ตรวจความเรียบร้อยของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนก่อนเดินเครื่องและขณะเดินเครื่อง

(3) ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ และค่าควบคุมต่าง ๆ ตามช่วงระยะเวลา พร้อมจัดทำและเก็บรักษาบันทึกรายงานประจำวัน พร้อมที่จะให้เจ้าหน้าที่ตรวจดูได้ตลอดเวลา

(4) ควบคุม ดูแลคุณภาพน้ำป้อน และน้ำภายในหม้อน้ำให้เป็นไปตามประกาศ เรื่องคุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

(5) ให้หยุดใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนทันที เมื่อพบข้อบกพร่องของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายร้ายแรงและแจ้งให้วิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ หรือผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานทราบทันที

คุณสมบัติ

(1) ต้องผ่านการอบรมและสอบตามหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ระบุในภาคผนวก 2 หรือ

(2) ต้องมีคุณวุฒิได้รับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างกลโรงงาน หรือช่างยนต์ หรือช่างเทคนิคอุตสาหกรรม หรือช่างเทคนิคการผลิต หรือสาขาอื่นที่มีวิชาการเรียนภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติเกี่ยวกับไอน้ำ ความร้อน การเผาไหม้ การประหยัดพลังงาน ความแข็งแรงของวัสดุ รวมกันไม่น้อยกว่า 9 หน่วยกิต

ส่วนที่ 2 วิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ มีหน้าที่ดังนี้

หน้าที่

(1) ควบคุม กำกับดูแลให้บุคลากรต่างๆ ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับหม้อน้ำ ปฏิบัติงานตามมอบหมาย

(2) อำนวยการ วางแผน จัดทำแผน และดำเนินการตามแผนในการใช้งาน การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อน้ำให้มีความมั่นคงแข็งแรงปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และสนับสนุนการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

(3) จัดให้มีการตรวจทดสอบเพื่อความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำ ตามที่กฎหมายกำหนด

(4) ควบคุมการแก้ไข และซ่อมแซมหม้อน้ำให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยต่อการใช้งาน

(5) ให้หยุดการใช้งานหม้อน้ำทันที เมื่อพบข้อบกพร่องของหม้อน้ำซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายร้ายแรง และแจ้งให้ผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานทราบทันที

(6) รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในการปฏิบัติหน้าที่

คุณสมบัติ

(1) ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร และไม่อยู่ในระหว่างพักใช้ใบอนุญาต

(2) ไม่เป็นผู้ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม และยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

ส่วนที่ 3 วิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

หน้าที่

(1) ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง รวมถึงระบบท่อต่างๆ สำหรับหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนใหม่ก่อนการติดตั้ง พร้อมจัดทำรายงานผลการตรวจสอบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

(2) ตรวจทดสอบความปลอดภัยภายหลังการติดตั้งและตรวจทดสอบความปลอดภัยประจำปีของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย โดยถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุในภาคผนวก 3 พร้อมทั้งจัดทำรายงานผลการตรวจทดสอบตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

(3) หากตรวจสอบพบว่า หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด หรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ต้องแจ้งผู้ประกอบกิจการโรงงาน และกรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบทันที

(4) รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในการปฏิบัติหน้าที่

คุณสมบัติ

(1) ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร และไม่อยู่ในระหว่างพักใช้ใบอนุญาต

(2) ไม่เป็นผู้ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม และยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

ส่วนที่ 4 วิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

หน้าที่

(1) ตรวจพิสูจน์ความถูกต้องในการออกแบบสำหรับการผลิต หรือซ่อมแซมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนของวิศวกรผู้ออกแบบ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองแบบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนโดยอย่างน้อยต้องมีการระบุมาตรฐานการออกแบบ วิศวกรผู้ออกแบบ อัตราการผลิตไอหรือค่าความร้อนที่ผลิตได้ ชนิดของเชื้อเพลิง รุ่น (Model) ในหนังสือรับรองแบบ ทั้งนี้ผู้ออกแบบและผู้ตรวจพิสูจน์แบบต้องไม่เป็นบุคคลเดียวกัน และไม่เป็นผู้ปฏิบัติงานในหน่วยงานเดียวกัน

(2) ตรวจสอบการสร้าง หรือซ่อมแซมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พร้อมจัดทำรายงานการตรวจสอบการสร้างส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดย

(ก) ตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนการผลิตหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

(ข) ตรวจสอบสภาพโรงงานที่สร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนรวมทั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

(ค) ตรวจสอบคุณสมบัติของบุคลากรให้เหมาะสมกับข้อกำหนดในงานที่ปฏิบัติ

(3) ตรวจพิสูจน์การคำนวณ การออกแบบ การสร้าง หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่นำเข้าจากต่างประเทศ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองการตรวจพิสูจน์ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีความประสงค์ใช้หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนดังกล่าว

(4) จัดทำสรุปรายงานผลการดำเนินการตาม (1) ถึง (3) ตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด จัดส่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมทุก 6 เดือน ทั้งนี้ กรณีมีการดำเนินการตาม (1) ให้แนบสำเนาหนังสือรับรองแบบด้วย

(5) หากตรวจสอบพบว่า การออกแบบ การผลิต หรือการซ่อมแซม หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด หรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ต้องแจ้งผู้ออกแบบ หรือผู้ประกอบกิจการโรงงานทราบทันที

(6) รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในการปฏิบัติหน้าที่

คุณสมบัติ

(1) ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร และไม่อยู่ในระหว่างพักใช้ใบอนุญาต

(2) ไม่เป็นผู้ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมและยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

ส่วนที่ 5 หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

หน้าที่

(1) ตรวจพิสูจน์ความถูกต้องในการออกแบบสำหรับการผลิต หรือซ่อมแซมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนของวิศวกรผู้ออกแบบ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองแบบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยอย่างน้อยต้องมีการระบุ

มาตรฐานการออกแบบ วิศวกรผู้ออกแบบ อัตราการผลิตไอหรือค่าความร้อนที่ผลิตได้ ชนิดของเชื้อเพลิง รุ่น (Model) ในหนังสือรับรองแบบ ทั้งนี้ผู้ออกแบบและผู้ตรวจพิสูจน์แบบต้องไม่เป็นบุคคลเดียวกัน และไม่เป็นผู้ปฏิบัติงานในหน่วยงานเดียวกัน

(2) ตรวจสอบการสร้าง หรือซ่อมแซมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พร้อมจัดทำรายงานการตรวจสอบการสร้างส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดย

(ก) ตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนการผลิต การทดสอบรอยบกพร่องจากกระบวนการผลิตหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล

(ข) ตรวจสอบสภาพโรงงานที่ผลิตหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนรวมทั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

(ค) ตรวจสอบคุณสมบัติของบุคลากรให้เหมาะสมกับข้อกำหนดในงานที่ปฏิบัติ

(3) ตรวจพิสูจน์การคำนวณ การออกแบบ การสร้าง หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่นำเข้าจากต่างประเทศ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองการตรวจพิสูจน์ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีความประสงค์ใช้หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนดังกล่าว

(4) ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง รวมถึงระบบท่อต่างๆ สำหรับหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนใหม่ก่อนการติดตั้ง พร้อมจัดทำรายงานผลการตรวจสอบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

(5) ตรวจทดสอบความปลอดภัยภายหลังการติดตั้ง และตรวจทดสอบความปลอดภัยประจำปีของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย โดยถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุในภาคผนวก 3 พร้อมทั้งจัดทำรายงานผลการตรวจทดสอบตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

(6) สรุปรายงานผลการดำเนินการตาม (1) ถึง (3) ตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด จัดส่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมทุก 6 เดือน ทั้งนี้กรณีมีการดำเนินการตาม (1) ให้แนบสำเนาหนังสือรับรองแบบด้วย

(7) หากตรวจสอบพบว่า การออกแบบ การผลิต การซ่อมแซม หรือการติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด หรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ต้องแจ้งผู้ออกแบบ หรือผู้ประกอบกิจการโรงงานทราบทันที

(8) รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในการปฏิบัติหน้าที่

คุณสมบัติ

(1) เป็นนิติบุคคลที่จดทะเบียนภายใต้กฎหมายไทย และมีทุนจดทะเบียนไม่น้อยกว่า 1 ล้านบาท

(2) มีสำนักงานที่แน่นอน สถานที่ปฏิบัติงานที่เหมาะสมและมีพื้นที่เพียงพอเพื่อใช้ในการเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบและตรวจสอบ

(3) มีวิศวกรเครื่องกลที่มีคุณสมบัติและคุณวุฒิดังนี้ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 คน

(ก) ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร และไม่อยู่ระหว่างการพักใช้ใบอนุญาต

(ข) มีประสบการณ์ด้านงานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่น้อยกว่า 3 ปี

(4) มีผู้ชำนาญการที่ผ่านการฝึกอบรมเกี่ยวกับการทดสอบแบบไม่ทำลาย ได้แก่ การทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง การทดสอบด้วยผงแม่เหล็ก การทดสอบด้วยสารแทรกซึม จากสถาบันที่เชื่อถือได้ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 คน

(5) มีเครื่องมือทดสอบและตรวจสอบดังนี้

(ก) ชุดเครื่องมือตรวจสอบแนวเชื่อมเหล็ก

(ข) เครื่องมือวัดความหนาโลหะ

(ค) เครื่องมือทดสอบลิ้นนิรภัย

(ง) เครื่องมือทดสอบเกจวัดความดัน

(จ) เครื่องอัดน้ำความดันสูง

(6) มีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมประเภทนิติบุคคลจากสภาวิศวกร

(7) ไม่เป็นหน่วยงานที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมและยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

(8) เป็นหน่วยงานที่ผู้บริหารไม่เป็นบุคคลเดียวกับผู้บริหารของหน่วยงานที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม และยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

ภาคผนวก 2

การจัดฝึกอบรม หลักสูตรการฝึกอบรมและการสอบมาตรฐาน

ส่วนที่ 1 การจัดฝึกอบรม

1. การจัดฝึกอบรมหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องดำเนินการโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือหน่วยงานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมาย หรือหน่วยงานจัดฝึกอบรมที่ขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม

2. คุณสมบัติของหน่วยงานจัดฝึกอบรม หน่วยงานจัดฝึกอบรม ต้องเป็นมหาวิทยาลัย หรือหน่วยงานภาครัฐ หรือองค์กรเอกชน ที่จดทะเบียนภายใต้กฎหมายไทยที่มีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

(1) มีประสบการณ์ในการจัดฝึกอบรมให้บุคคล หรือหน่วยงานภายนอกต่างๆ ไม่น้อยกว่า 1 ปี

(2) มีวิทยากรที่มีคุณสมบัติครบถ้วนตามข้อ 3 ทั้งนี้ต้องมีจำนวนเพียงพอในการบรรยายตามหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง

(3) มีบุคลากรที่ทำหน้าที่บริหารจัดการการฝึกอบรม ซึ่งมีคุณวุฒิไม่ต่ำกว่าปริญญาตรีอย่างน้อย 1 คน

(4) ไม่ใช่หน่วยงานที่ถูกเวียนชื่อเป็นผู้ละทิ้งงาน

(5) ไม่มีปัญหาด้านการเงิน

(6) ไม่เป็นหน่วยงานที่ถูกเพิกถอนสิทธิหรือใบรับรองการจัดฝึกอบรม

3. คุณสมบัติของวิทยากร

(1) ต้องจบปริญญาตรีขึ้นไปในด้านวิศวกรรมศาสตร์หรือวิทยาศาสตร์ที่มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและมีประสบการณ์ในหัวข้อที่บรรยายไม่น้อยกว่า 3 ปี หรือ

(2) ต้องจบประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างยนต์ ช่างกลโรงงาน ช่างเทคนิคอุตสาหกรรม หรือช่างไฟฟ้าโดยมีประสบการณ์เกี่ยวกับหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และหัวข้อที่บรรยายไม่น้อยกว่า 5 ปี หรือ

(3) ช่างชำนาญการโดยมีประสบการณ์เกี่ยวกับหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และหัวข้อที่บรรยายไม่น้อยกว่า 10 ปี หรือ

(4) เจ้าหน้าที่จากหน่วยงานของรัฐซึ่งปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและมีประสบการณ์ในหัวข้อที่บรรยายไม่น้อยกว่า 3 ปี

4. การยื่นคำขอเป็นหน่วยงานจัดฝึกอบรมให้ยื่นต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วยหลักฐานดังต่อไปนี้

(1) หลักฐานการจดทะเบียนนิติบุคคล

(2) รายชื่อกรรมการบริหาร

(3) รายชื่อบุคลากรที่ทำหน้าที่บริหารจัดการการฝึกอบรม พร้อมเอกสารหลักฐานแสดงคุณสมบัติ

(4) รายชื่อวิทยากร เอกสารหลักฐานแสดงคุณสมบัติของวิทยากรและหนังสือยืนยันการเป็นวิทยากรให้กับหน่วยงาน

(5) เอกสารประกอบการฝึกอบรมที่มีเนื้อหาวิชาตรงกับหัวข้อและวัตถุประสงค์ในหลักสูตรผู้ควบคุมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

(6) แผนการดำเนินการและเป้าหมายการจัดอบรมประจำปี โดยระบุสถานที่จัดฝึกอบรม

(7) อัตราค่าลงทะเบียน

(8) แผนที่หรือเอกสารแสดงที่ตั้งของหน่วยงานโดยสังเขป

(9) อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

5. หน่วยงานจัดฝึกอบรมต้องแจ้งแผนการดำเนินการประจำปี ภายในวันที่ 31 มกราคม ของทุกปี

6. หน่วยงานจัดฝึกอบรมต้องแจ้งกำหนดการจัดฝึกอบรม พร้อมแนบรายชื่อวิทยากรต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ทุกครั้งไม่น้อยกว่า 15 วันทำการก่อนการจัดฝึกอบรม

7. หน่วยงานจัดฝึกอบรม ต้องจัดให้มีผู้เข้ารับการฝึกอบรมในหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ครั้งละไม่เกิน 70 คน และจัดให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมมีการลงชื่อเข้าอบรมทั้งภาคเช้าและบ่ายตลอดหลักสูตรการฝึกอบรม

8. ให้พนักงานเจ้าหน้าที่ของกรมโรงงานอุตสาหกรรมมีอำนาจเข้าไปในสถานที่จัดฝึกอบรมของหน่วยงานจัดฝึกอบรม เพื่อประโยชน์ในการควบคุมและกำกับดูแลการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด

9. หน่วยงานจัดฝึกอบรม ต้องจัดให้มีการฝึกอบรมตามหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนตามที่กำหนดในส่วนที่ 2

10. หน่วยงานจัดฝึกอบรมต้องออกใบรับรองให้ผู้เข้ารับการอบรมที่ผ่านการสอบมาตรฐานหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนโดยให้ระบุชื่อหน่วยงานจัดฝึกอบรมเลขทะเบียนหน่วยงานจัดฝึกอบรม ชื่อหลักสูตร ชื่อสกุลผู้ผ่านการอบรม วันเดือนปีที่อบรม ลงในใบรับรอง

11. หน่วยงานฝึกอบรม ต้องรายงานสรุปผลการฝึกอบรมพร้อมแนบรายชื่อ และข้อมูลผู้สำเร็จการฝึกอบรมต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อทราบภายใน 15 วัน นับแต่วันที่เสร็จสิ้นการฝึกอบรม

12. การขึ้นทะเบียนเป็นหน่วยงานจัดฝึกอบรมผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน มีผลใช้บังคับ 3 ปีนับตั้งแต่วันที่ขึ้นทะเบียน หากหน่วยงานจัดฝึกอบรมมีความประสงค์จะดำเนินการต่อไป ให้ยื่นคำขอต่ออายุทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนวันที่หมดอายุไม่น้อยกว่า 30 วัน

13. กรณีที่ตรวจสอบพบว่า หน่วยงานจัดฝึกอบรมฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามกฎหมายนี้ ให้อธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมายมีอำนาจสั่งการดังต่อไปนี้

(1) มีหนังสือเตือนให้ปฏิบัติให้ถูกต้องภายในระยะเวลาที่กำหนด

(2) เพิกถอนสิทธิการจัดฝึกอบรมเป็นการชั่วคราว

(3) เพิกถอนใบรับรองการเป็นหน่วยงานจัดฝึกอบรม

ส่วนที่ 2 หลักสูตรการฝึกอบรมผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

1. หลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน มีระยะเวลาการฝึกอบรมจำนวน 36 ชั่วโมง ประกอบด้วยภาคทฤษฎี 30 ชั่วโมง การดูงานภาคสนาม 3 ชั่วโมง และการสอบมาตรฐาน 3 ชั่วโมง

2. หัวข้อ ระยะเวลาในการฝึกอบรมและวัตถุประสงค์ ของหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ให้เป็นไปตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด

ส่วนที่ 3 การสอบมาตรฐาน

1. การสอบมาตรฐานหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องดำเนินการโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือหน่วยงานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมาย

2. ผู้เข้าสอบมาตรฐานต้องเป็นผู้ที่เข้าอบรมหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของเวลาเรียนตามหลักสูตรทั้งหมด

3. ผู้เข้าสอบมาตรฐาน ต้องได้คะแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 จึงจะถือว่าผ่านการสอบมาตรฐาน

ภาคผนวก 3

หลักเกณฑ์ และวิธีการตรวจทดสอบหม้อน้ำ และหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ส่วนที่ 1 การเตรียมการก่อนการตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

1. ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดเตรียมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนก่อนการตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและบุคลากร ดังนี้

1.1 หยุดการใช้หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ล่วงหน้าก่อนการตรวจทดสอบ โดยการหยุดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (ปิด Burner กรณีหม้อน้ำใช้เชื้อเพลิงเหลว หากใช้เชื้อเพลิงแข็ง เช่น ฟืน ขี้เลื่อย แกลบ ถ่านหิน ฯลฯ ให้นำเชื้อเพลิงพร้อมขี้เถ้าออกจากเตาให้หมด)

1.2 ระบายไอน้ำออกจากหม้อน้ำให้หมด และลดอุณหภูมิภายในหม้อน้ำหรือ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนให้มีอุณหภูมิไม่เกิน 49^{0}C ทั้งนี้ การลดอุณหภูมิหม้อน้ำไม่ควรถ่ายน้ำร้อนทั้งหมดทิ้งแล้วเติมน้ำเย็นทันที

1.3 เปิดประตูเตาหรือฝาด้านหน้า-หลัง หรือช่องเปิดต่างๆ ของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เพื่อให้เห็นผิวด้านสัมผัสไฟและทำความสะอาดผิวด้านสัมผัสไฟทั้งหมดให้ปราศจากเขม่าขี้เถ้า

1.4 ระบายน้ำออกจากหม้อน้ำให้หมด เปิดช่องคนลอด ช่องมือลอด ช่องทำความสะอาดและทำความสะอาดภายในหม้อน้ำ

1.5 จัดเตรียมปะเก็นของส่วนต่างๆ เช่น ช่องคนลอด ช่องมือลอด ฝาหน้า-หลัง และหน้าแปลนต่างๆ เพื่อสำหรับเปลี่ยนใหม่ภายหลังจากการเปิดตรวจทดสอบหรือทำความสะอาด

1.6 จัดให้ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และผู้ที่เกี่ยวข้องอยู่อำนวยความสะดวกหรือให้ข้อมูลแก่วิศวกร และรับทราบคำแนะนำจากวิศวกรในวันตรวจทดสอบ

1.7 กรณีที่มีการใช้หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป โดยมีระบบท่อร่วมกันให้ตัดแยกระบบท่อไอน้ำของหม้อน้ำ หรือท่อน้ำมันของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ที่กำลังใช้งานออกจากระบบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่จะตรวจทดสอบ

1.8 จัดเตรียมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น บันทึกประจำวันการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ประวัติการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษา รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเข้าหม้อน้ำ รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน หรือเอกสารที่จำเป็นเพื่อประกอบการตรวจทดสอบ

1.9 ถอดชิ้นส่วนอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการตรวจทดสอบตามคำร้องขอของผู้ตรวจทดสอบ

2. ผู้ตรวจทดสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน จะต้องทบทวนประวัติหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เพื่อประกอบการพิจารณาตรวจทดสอบ การสืบค้นปัญหาและการวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยให้พิจารณาจากข้อมูลตามข้อ 1.8

3. ผู้ประกอบกิจการโรงงานและวิศวกรผู้ตรวจทดสอบจะต้องคำนึงถึงอันตรายต่างๆ และดำเนินการให้เกิดความปลอดภัยส่วนบุคคลในขณะตรวจสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ในเรื่องดังต่อไปนี้

3.1 ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้เพียงพอต่อการใช้งาน และต้องระมัดระวังอันตรายต่างๆ ในบริเวณทำงาน และอันตรายที่อาจเกิดจากการตรวจทดสอบ

3.2 ต้องจัดให้มีการป้องกันการเริ่มทำงานของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยการตัดแยกระบบพลังงานเพื่อป้องกันอันตรายจากการจ่ายพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานอื่นๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ตรวจทดสอบในระหว่างการตรวจทดสอบ

3.3 ต้องจัดให้มีการระบายอากาศภายในห้องเผาไหม้หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือบริเวณที่อับอากาศ (Confined Space) อย่างเพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ตรวจทดสอบ

ส่วนที่ 2 การตรวจสอบสภาพภายนอก (External Inspection)

ผู้ตรวจทดสอบต้องดำเนินการดังนี้

1. ตรวจดูสภาพการติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และระบบท่อ ความถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ความเหมาะสมของพื้นที่ติดตั้ง

2. ตรวจสอบสภาพภายนอก หากพบสิ่งผิดปกติให้ถอดฉนวนออกบางส่วนเพื่อตรวจสภาพเปลือกหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือโครงสร้างภายในฉนวน

3. ตรวจสอบสภาพการรั่วซึมของส่วนต่างๆ ของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

4. ตรวจสอบสภาพรอยร้าวในส่วนต่างๆ ของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

5. ตรวจสอบจำนวน ขนาด การติดตั้งอุปกรณ์ความปลอดภัย เพื่อให้มีความสมบูรณ์ตามหลักวิศวกรรมและถูกต้องตามที่กฎหมายกำหนด

ส่วนที่ 3 การตรวจสอบสภาพภายใน (Internal Inspection)

ผู้ตรวจทดสอบต้องดำเนินการดังนี้

1. ตรวจสอบสภาพผิวด้านสัมผัสไฟ และด้านสัมผัสน้ำ เช่น ผนังเตา ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) ท่อไฟใหญ่ ท่อไฟเล็ก (Smoke Tube) ผนังหน้า-หลัง (End Plate) ท่อน้ำ (Water Tube) ท่อของเหลว อุปกรณ์อุ่นน้ำ (Economizer) อุปกรณ์อุ่นอากาศ (Air Pre-heater) ของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยให้ตรวจสอบดังต่อไปนี้

1.1 ตรวจสอบการบิดเบี้ยว การยุบตัวหรือการเสียรูป การแตกร้าวของรอยเชื่อม การรั่วซึม และต้องตรวจสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว ความหนา เพื่อประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างรับความดัน

1.2 ตรวจสอบการบิดเบี้ยว การเสียรูปหรือความผิดปกติเนื่องจากความร้อน(Overheat)

1.3 ตรวจสอบสภาพการผุกร่อน การกัดกร่อนของผิวด้านสัมผัสน้ำ และด้านสัมผัสไฟ

1.4 สำหรับหม้อน้ำ ตรวจสอบสภาพของตะกรันและการสะสมของโคลนตะกอน โดยความหนาของตะกรันที่ตรวจพบต้องไม่มากกว่า 1/16 นิ้ว (1.5 มิลลิเมตร)

1.5 ตรวจสอบสภาพปูนทนไฟ อิฐทนไฟ หรือฉนวนกันความร้อน

1.6 ตรวจสอบความหนาและความแข็งแรงของโครงสร้างรับความดัน และสภาพรอยเชื่อมต่างๆ โดยวิธีการและเครื่องมือตรวจสอบให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ตรวจสอบ

1.7 ตรวจสอบสภาพเหล็กยึดโยงต่างๆ

1.8 ตรวจสอบการอุดตันของท่อทางเข้าและออกต่างๆ

2. ตรวจทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างรับความดันของหม้อน้ำ ด้วยการอัดน้ำ (Hydrostatic Test) โดยน้ำที่ใช้อัดทดสอบหม้อน้ำต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน 49^{0}C ในการตรวจทดสอบให้ดำเนินการดังนี้

2.1 กรณีหม้อน้ำ สร้างใหม่ หรือมีการดัดแปลง ซ่อมแซม หรือเปลี่ยนโครงสร้างรับความดัน ให้วิศวกรผู้ตรวจทดสอบทำการอัดน้ำที่ความดันไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (Maximum Allowable Working Pressure หรือ MAWP) และคงความดันไว้ไม่น้อยกว่า 10 นาที จากนั้นให้ลดความดันลงเหลือเท่ากับ 1 เท่า หรือไม่เกิน 1.25 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (MAWP) แล้วตรวจสอบการรั่วซึมในส่วนต่างๆ

2.2 กรณีการตรวจทดสอบความดันด้วยการอัดน้ำประจำปี (Annual Hydrostatic Test) ให้วิศวกรผู้ตรวจทดสอบทำการอัดน้ำที่ความดันไม่ต่ำกว่า 1 เท่า หรือไม่เกิน 1.25 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (MAWP) และต้องมีการตรวจสอบการรั่วซึม โดยในการนี้ให้คงความดันไว้จนกว่าการตรวจสอบการรั่วซึมจะแล้วเสร็จ

2.3 ในการดำเนินการตามข้อ 2.1 หรือข้อ 2.2 หากไม่ทราบข้อมูลความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (MAWP) ให้วิศวกรอัดน้ำทดสอบที่ความดันไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความดันใช้งานสูงสุด (Maximum Working Pressure หรือ MWP) และคงความดันไว้ไม่น้อยกว่า 30 นาที เพื่อตรวจสอบการรั่วซึมในส่วนต่างๆ

2.4 ปรับตั้งการทำงานลิ้นนิรภัย (Safety Valve) ของหม้อน้ำให้ระบายไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 1.03 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (MAWP)

ส่วนที่ 4 การตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบการควบคุมและอุปกรณ์ความปลอดภัย (Functional Test)

ผู้ตรวจทดสอบจะต้องตรวจสอบสภาพ ความเหมาะสม ความครบถ้วน ความถูกต้องในการทำงานของอุปกรณ์ส่วนควบ อุปกรณ์ ระบบความปลอดภัยตามที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ส่วนที่ 5 การดำเนินการภายหลังการตรวจสอบ และความรับผิดชอบของผู้ตรวจสอบ

1. ผู้ตรวจทดสอบต้องจัดให้มีการถ่ายภาพที่แสดงถึงการตรวจทดสอบภายใน และหรือภายนอกหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนซึ่งกระทำโดยผู้ตรวจทดสอบ โดยให้แนบภาพถ่ายท้ายรายงานผลการตรวจทดสอบ

2. ผู้ตรวจทดสอบ ต้องจัดทำเอกสารรายงานผลการตรวจทดสอบความปลอดภัยหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน แล้วจัดส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานพร้อมกับสำเนาใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม และสำเนาหนังสืออนุญาตให้ขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนโดยรับรองสำเนาถูกต้อง

3. กรณีพบว่าโครงสร้าง ส่วนประกอบหรือระบบการทำงานของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ส่วนหนึ่งส่วนใดหรือทั้งหมดมีข้อบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์เชิงวิศวกรรม วิศวกรตรวจทดสอบหรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องบันทึกข้อบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์พร้อมคำแนะนำวิธีการแก้ไขข้อบกพร่องและความไม่สมบูรณ์นั้นให้แก่ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

---

3) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 5 แห่งกฎกระทรวงกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549 ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ตามประกาศนี้ อุปกรณ์หรือระบบความปลอดภัยและการติดตั้ง ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานหม้อน้ำ มาตรฐานหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือมาตรฐานความปลอดภัยที่เกี่ยวข้อง ในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานใดกำหนดให้ใช้อุปกรณ์หรือระบบความปลอดภัยและการติดตั้งตามหลักวิศวกรรมในกรณีที่อุปกรณ์ หรือระบบความปลอดภัย หรือการติดตั้งไม่เป็นไปตามประกาศนี้ ต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

หมวด 1

อุปกรณ์ และระบบความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำ

ข้อ 2 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการติดตั้งหรือใช้หม้อน้ำ ต้องจัดให้มีอุปกรณ์และระบบความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำ ดังนี้

2.1 เครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำ

2.1.1 ต้องสามารถสูบน้ำป้อนหม้อน้ำที่ปริมาณไม่น้อยกว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุด

2.1.2 ต้องสามารถสูบน้ำป้อนหม้อน้ำที่ความดันไม่น้อยกว่า 1.1 เท่าของความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (Maximum Allowable Working Pressure: MAWP)

2.2 ลิ้นนิรภัย

2.2.1 ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด และในกรณีที่หม้อน้ำมีพื้นที่ผิวรับความร้อนมากกว่า 50 ตารางเมตร ต้องติดตั้งอย่างน้อย 2 ชุด

2.2.2 ต้องสามารถระบายไอน้ำที่ความดันออกแบบหม้อน้ำได้ไม่น้อยกว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุดและต้องระบายไอน้ำได้มากกว่าอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงสูงสุด (Maximum Firing Rate)

2.2.3 ต้องสามารถทดสอบการทำงานได้ในขณะใช้งาน

2.2.4 ต้องไม่มีลิ้นปิดเปิดคั่นระหว่างหม้อน้ำกับลิ้นนิรภัยและต้องไม่มีลิ้นปิดเปิด หรือปลั๊กอุดที่ท่อทางออกของลิ้นนิรภัย

2.2.5 ต้องปรับตั้งลิ้นนิรภัยให้ระบายไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 1.03 เท่าของความดันอนุญาตใช้งานสูงสุดของหม้อน้ำ (MAWP)

2.2.6 การต่อท่อระบายไอน้ำออกจากลิ้นนิรภัย ต้องมีขนาดและวิธีการติดตั้งที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

2.2.7 ต้องจัดให้มีการป้องกันอันตรายหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญ เนื่องจากความดัน ความร้อนและเสียงซึ่งเกิดจากการระบายไอน้ำของลิ้นนิรภัย

2.3 อุปกรณ์แสดงระดับน้ำ เช่น หลอดแก้ว แท่งแก้ว แถบแม่เหล็ก เป็นต้น

2.3.1 ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด

2.3.2 ต้องติดตั้งครอบป้องกันอันตราย ในกรณีอุปกรณ์แสดงระดับน้ำเป็นแบบหลอดแก้วและหลอดแก้วต้องเป็นชนิดนิรภัย

2.3.3 ต้องมีเครื่องหมายแสดงระดับน้ำต่ำสุด ระดับน้ำปกติและระดับน้ำสูงสุดให้เห็นชัดเจน

2.3.4 ต้องติดตั้งลิ้นปิดเปิด ที่ท่อระหว่างหม้อน้ำกับอุปกรณ์แสดงระดับน้ำโดยขนาดของท่อและลิ้นปิดเปิดต้องไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร

2.3.5 ต้องติดตั้งลิ้นปิดเปิดและต่อท่อระบายใต้อุปกรณ์แสดงระดับน้ำไปยังที่ที่ปลอดภัยและสามารถมองเห็นน้ำหรือไอน้ำที่ระบายออก

2.4 ลิ้นกันกลับ (Check Valve หรือ Non Return Valve)

2.4.1 ต้องติดตั้งที่ท่อป้อนน้ำระหว่างเครื่องสูบน้ำกับหม้อน้ำ อย่างน้อย 1 ชุด โดยให้อยู่ใกล้หม้อน้ำมากที่สุด และมีขนาดไม่เล็กกว่าท่อป้อนน้ำ ในกรณีที่หม้อน้ำมีการติดตั้งอุปกรณ์อุ่นน้ำ (Economizer) ให้ติดตั้งลิ้นกันกลับระหว่างเครื่องสูบน้ำและอุปกรณ์อุ่นน้ำ

2.4.2 ในกรณีที่หม้อน้ำใช้เครื่องสูบน้ำ 2 เครื่องต่อท่อป้อนน้ำเข้าหม้อน้ำร่วมกันต้องติดตั้งลิ้นกันกลับเพิ่มอีก 1 ชุด ที่ท่อส่งน้ำของเครื่องสูบน้ำแต่ละเครื่อง

2.4.3 ในกรณีที่หม้อน้ำ 2 เครื่องต่อท่อจ่ายไอน้ำร่วมกันต้องติดตั้งลิ้นกันกลับที่ท่อจ่ายไอน้ำของหม้อน้ำแต่ละเครื่อง

2.5 มาตรวัดความดันไอน้ำ (Pressure Indicator หรือ Pressure Gauge)

2.5.1 ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด

2.5.2 ต้องติดตั้งท่อไส้ไก่ (Siphon) หรือท่อรูปตัวยู (U-Shape) ระหว่างหม้อน้ำและมาตรวัดความดันไอน้ำ

2.6 ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ (Blow down Valve)

2.6.1 ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด

2.6.2 ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร และไม่มากกว่า 65 มิลลิเมตร

2.6.3 ต้องติดตั้งบริเวณจุดต่ำสุดของหม้อน้ำ และอยู่ในตำแหน่งที่สะดวกต่อการใช้งาน

2.6.4 ต้องจัดให้มีการป้องกันอันตรายหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญ เนื่องจากความดัน ความร้อนและเสียง ซึ่งเกิดจากการระบายน้ำร้อนออกจากลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ

2.7 ฉนวนกันความร้อน

2.7.1 ต้องหุ้มฉนวนกันความร้อนที่ตัวหม้อน้ำ ลิ้นจ่ายไอน้ำ (Main Steam Valve) ท่อจ่ายไอน้ำ ถังพักไอน้ำ ผนังห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง (ในกรณีห้องเผาไหม้อยู่นอกหม้อน้ำ) รวมทั้งถังเก็บน้ำร้อน ปล่องไอเสียและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำ ซึ่งมีอุณหภูมิผิวตั้งแต่ 85 องศาเซลเซียสขึ้นไป และติดตั้งอยู่ในระดับความสูงหรือบริเวณที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้อยู่ใกล้เคียง

2.7.2 ผิวฉนวนกันความร้อน ต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส ในขณะใช้หม้อน้ำ

2.8 ลิ้นจ่ายไอน้ำ

2.8.1 ต้องเป็นชนิดปิดเปิดช้า เช่น โกล์บวาล์ว (Globe Valve)

2.8.2 ต้องติดตั้งที่ด้านบนของตัวหม้อน้ำ ถังพักไอน้ำ (Steam Header) โดยติดตั้งให้ใกล้กับโครงสร้างรับความดันมากที่สุด

2.9 เครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ

2.9.1 ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด

2.9.2 ต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงานอย่างน้อย ดังนี้

(1) ต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย เมื่อระดับน้ำต่ำผิดปกติ (Low Water Alarm) โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากเครื่องควบคุมระดับน้ำ โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

(2) ต้องตัดวงจรพัดลมช่วยเผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อระดับน้ำต่ำถึงจุดวิกฤต (Low Water Cut-off) ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งใช้พัดลมช่วยเผาไหม้และป้อนเชื้อเพลิงแบบควบคุมด้วยคน

(3) ต้องตัดวงจรการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อระดับน้ำต่ำถึงจุดวิกฤตในกรณีที่ใช้เครื่องพ่นไฟ (Burner) หรืออุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแบบป้อนเชื้อเพลิงและอากาศอัตโนมัติ

2.10 สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure Switch)

2.10.1 ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด โดยไม่มีลิ้นปิดเปิดคั่นระหว่างหม้อน้ำกับสวิตช์ควบคุมความดัน

2.10.2 ต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงานอย่างน้อย ดังนี้

(1) ต้องตัดวงจรการทำงานทั้งหมดของเครื่องพ่นไฟ หรืออุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแบบป้อนเชื้อเพลิงและป้อนอากาศ (Force Draft Fan) อัตโนมัติ เมื่อความดันไอน้ำสูงถึงจุดวิกฤต (High Pressure Cut off) ในกรณีนี้เมื่อความดันไอน้ำต่ำลงถึงจุดที่ตั้งไว้ สวิตช์ควบคุมความดันต้องไม่สามารถต่อวงจรให้อุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงทำงานใหม่แบบอัตโนมัติ

(2) ต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย เมื่อความดันไอน้ำสูงถึงจุดวิกฤต โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากสวิตช์ควบคุมความดันโดยตรงและต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

2.11 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ (Flame Detector) สำหรับเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ

2.11.1 ต้องเป็นชนิดที่สามารถตรวจจับรังสีความร้อนหรือคลื่นแสงหรืออุณหภูมิของห้องเผาไหม้ ตรงตามประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อน้ำ

2.11.2 ต้องติดตั้งที่เครื่องพ่นไฟหรือห้องเผาไหม้และให้ทำหน้าที่ตัดวงจรการทำงานของเครื่องพ่นไฟ ในกรณี ดังนี้

(1) เมื่อตรวจพบเปลวไฟในห้องเผาไหม้ ในขณะวงจรไล่อากาศอัตโนมัติของเครื่องพ่นไฟกำลังทำงาน (Pre Purge)

(2) เมื่อตรวจไม่พบเปลวไฟในห้องเผาไหม้ ในขณะที่วงจรไล่อากาศอัตโนมัติทำงานสิ้นสุดลง และวงจรป้อนเชื้อเพลิงกำลังทำงานแต่จุดไฟไม่ติด หรือจุดไฟติดแล้วแต่เปลวไฟดับไป

2.12 มาตรวัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย

ต้องติดตั้งที่ปล่องไอเสียบริเวณใกล้ทางออกของหม้อน้ำมากที่สุด อย่างน้อย 1 ชุด

2.13 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปล่องไอเสีย (Flue Gas Thermostat)

2.13.1 ต้องติดตั้งที่ปล่องไอเสียบริเวณใกล้ทางออกของหม้อน้ำมากที่สุดอย่างน้อย 1 ชุด

2.13.2 ต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงาน เมื่ออุณหภูมิปล่องไอเสีย สูงเกินอุณหภูมิที่กำหนด โดยต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากสวิตช์ควบคุมอุณหภูมิโดยตรง โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

2.14 บันไดและทางเดินสำหรับหม้อน้ำ

หม้อน้ำที่สูงเกิน 3 เมตรจากพื้นถึงเปลือกด้านบน ต้องติดตั้งบันไดและทางเดินพร้อมราวจับและขอบกันตก

หมวด 2

อุปกรณ์ และระบบความปลอดภัยสำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ข้อ 3 ในหมวดนี้

“ของเหลว” หมายถึง ของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน (Heat Transfer Medium หรือ Thermal Fluid หรือ Thermo Fluid หรือ Thermic Fluid หรือ Thermal Oil หรือ Thermo Oil หรือ Hot Oil) เช่น น้ำมันจากปิโตรเลียม (Mineral Oil) ของเหลวกึ่งสังเคราะห์ (Semi-synthetic Fluid) ของเหลวสังเคราะห์ (Synthetic Fluid) หรือของเหลวอื่นๆ ที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำและจุดเดือดสูงกว่าน้ำ โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อน

ข้อ 4 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการติดตั้งหรือใช้หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องจัดให้มีอุปกรณ์และระบบความปลอดภัยอย่างน้อย ดังนี้

4.1 ถังรับการขยายตัว (Expansion Tank)

4.1.1 ปริมาณความจุของถัง

กรณีของเหลวในระบบทั้งหมด น้อยกว่า 1000 ลิตร ถังต้องรองรับปริมาณของเหลวที่ขยายตัวได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณของเหลวในระบบทั้งหมด

กรณีของเหลวในระบบทั้งหมด ตั้งแต่ 1000 ลิตรขึ้นไป ถังต้องรองรับปริมาณของเหลวที่ขยายตัวได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของปริมาณของเหลวในระบบทั้งหมด

4.1.2 ต้องติดตั้งถังในตำแหน่งที่สูงกว่าท่อหรืออุปกรณ์ที่มีของเหลวและอยู่สูงสุดในระบบ ไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร ยกเว้นระบบที่ใช้ก๊าซเฉื่อยเพิ่มความดันหน้าเครื่องสูบของเหลว

4.1.3 ต้องติดตั้งเครื่องควบคุมระดับของเหลวในถังรับการขยายตัว และให้ส่งสัญญาณเตือนภัย เป็นแสงหรือเสียง เมื่อระดับของเหลวต่ำกว่าปกติ

4.1.4 กรณีที่มีของเหลวในระบบตั้งแต่ 1000 ลิตรขึ้นไป ต้องจัดให้มีท่อระบายของเหลวไหลล้น (Overflow Pipes) จากถังรับการขยายตัวลงสู่ถังเก็บของเหลว

4.1.5 ต้องติดตั้งท่อสำหรับของเหลวขยายตัว(Expansion Pipe) ระหว่างจุดต่ำสุดของถังรับการขยายตัว กับ ท่อทางดูดของเครื่องสูบของเหลวหมุนเวียน

4.2 ถังเก็บของเหลว (Storage Tank หรือ Drain Tank)

4.2.1 ต้องติดตั้งถังเก็บของเหลวในกรณีที่มีของเหลวในระบบตั้งแต่ 1000 ลิตรขึ้นไป

4.2.2 ต้องติดตั้งเครื่องสูบของเหลว สำหรับเติมของเหลวเข้าสู่ระบบหรือถ่ายของเหลวออกจากระบบสู่ถังเก็บ โดยใช้สวิตช์ควบคุมการทำงานของเครื่องสูบของเหลวแบบปิดเปิดด้วยมือ ห้ามเติมของเหลวเข้าสู่ระบบ ในขณะที่ของเหลวในระบบมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าจุดเดือดของน้ำ

4.3 เครื่องสูบของเหลวหมุนเวียน (Circulating Pump)

4.3.1 ต้องติดตั้งลิ้นปิดเปิดที่ท่อทางเข้าและออกของเครื่องสูบของเหลว

4.3.2 ต้องมีอัตราการไหลและความดันเพียงพอต่อการหมุนเวียนของเหลวผ่านท่อรับความร้อน โดยไม่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของของเหลว (Film Temperature) สูงเกินค่าที่ยอมได้

4.3.3 ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง ต้องติดตั้งเครื่องสูบของเหลวที่ใช้กำลังจากเครื่องยนต์ อย่างน้อย 1 ชุด และต้องสามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ทันทีเมื่อไฟฟ้าดับหรือต้องจัดให้มีระบบไฟฟ้าสำรอง สำหรับป้อนมอเตอร์เครื่องสูบของเหลวหมุนเวียน พร้อมทั้งจัดให้มีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับควบคุมอุณหภูมิที่ผิวของของเหลวไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิที่ของเหลวนั้นสามารถรองรับได้

4.3.4 กรณีที่เครื่องสูบของเหลวไม่ทำงาน ต้องตัดระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยอัตโนมัติ

4.4 ไส้กรอง (Strainer)

ต้องติดตั้งไส้กรองที่ท่อทางดูดของเครื่องสูบของเหลว โดยมีขนาดไม่เล็กกว่าท่อของเหลว

4.5 อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature Sensor) เครื่องอ่านค่าและควบคุมอุณหภูมิของเหลว (Temperature Indicator and Controller)

4.5.1 ต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ ที่ท่อทางเข้าของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ท่อทางออกของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและที่ปล่องไอเสีย

4.5.2 ต้องติดตั้งให้ตัดระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงและส่งสัญญาณเตือนภัยอัตโนมัติ เมื่ออุณหภูมิของของเหลวที่ท่อทางออกของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนสูงถึงจุดที่กำหนด สัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติ โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

4.5.3 ต้องทำหน้าที่ส่งสัญญาณเตือนภัยอัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิปล่องไอเสียสูงผิดปกติ สัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติ โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

4.6 มาตรวัดความดันของเหลว

4.6.1 ต้องติดตั้งที่ท่อทางเข้าและท่อทางออกของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยมาตรวัดความดันต้องอ่านค่าได้อย่างน้อย 1.5 เท่าของความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด

4.6.2 ต้องติดตั้งที่ท่อทางดูด ระหว่างเครื่องสูบของเหลวหมุนเวียนกับไส้กรองโดยมาตรวัดความดัน ต้องอ่านค่าได้ทั้งค่าความดันและค่าสุญญากาศ

4.7 ลิ้นนิรภัย

4.7.1 ในกรณีที่ติดตั้งเครื่องสูบของเหลวที่ท่อทางเข้าของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องติดตั้งลิ้นนิรภัย (Safety Relief Valve) ที่ท่อทางออกของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และท่อทางออกของลิ้นนิรภัยให้ต่อเข้าสู่ถังรับการขยายตัวหรือถังเก็บของเหลว รวมทั้งต้องไม่มีลิ้นปิดเปิดที่ท่อทางเข้าและออกของลิ้นนิรภัย

4.7.2 การติดตั้งลิ้นนิรภัยตามข้อ 4.7.1 ต้องอยู่ในระดับที่สูงกว่าถังรับการขยายตัวหรือถังเก็บของเหลว

4.8 เครื่องวัดการไหลของของเหลว

4.8.1 ต้องติดตั้งที่ท่อทางออกของท่อรับความร้อนทุกท่อของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

4.8.2 ต้องส่งสัญญาณให้ตัดระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงและส่งสัญญาณเตือนภัยอัตโนมัติ เมื่อการไหลของของเหลวของท่อรับความร้อนท่อใดท่อหนึ่งต่ำถึงจุดวิกฤต

4.8.3 ในกรณีที่ของเหลวในระบบมีอัตราการไหลต่ำกว่าร้อยละ 90 ของอัตราการไหลออกแบบ ต้องส่งสัญญาณให้เครื่องควบคุมการทำงานของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงทำงานที่ตำแหน่งไฟอ่อนเท่านั้น

4.9 ฉนวนกันความร้อน

4.9.1 ต้องจัดให้มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนที่ตัวหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ท่อส่งของเหลว อุปกรณ์ต่างๆ ที่มีอุณหภูมิเกินกว่า 85 องศาเซลเซียส

4.9.2 อุณหภูมิของผิวฉนวนต้องไม่สูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ในขณะใช้งานหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

4.10 อุปกรณ์ไล่ก๊าซ (Air Venting)

ต้องติดตั้งที่ระบบท่อ ในบริเวณที่มีก๊าซสะสม

4.11 บันไดและทางเดิน

ต้องติดตั้งบันไดและทางเดินพร้อมราวจับและขอบกันตก สำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือถังรับการขยายตัวที่สูงเกิน 3 เมตร

4) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 8 แห่งกฎกระทรวงกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549 ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำต้องปรับสภาพน้ำสำหรับหม้อน้ำ ดังนี้

1. คุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำ (Boiler feed water) ให้เป็นไปตามเกณฑ์ ดังนี้

รายการ	ค่าเกณฑ์ควบคุม	หน่วย
pH value	5.8 - 9.5	-
Total Hardness	ไม่เกิน 10	ppm as $CaCO_3$

2. คุณภาพน้ำในหม้อน้ำ (Boiler water) ให้เป็นไปตามเกณฑ์ดังนี้

รายการ	ค่าเกณฑ์ควบคุม	หน่วย
pH value	8.5 - 11.8	-
Total Dissolved Solid (TDS)	ไม่เกิน 3,500	ppm

1.1.2 กฎหมายด้านความปลอดภัยของกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน

กฎหมายที่กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานใช้ในการกำกับดูแลความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำ มี 1 ฉบับ คือ กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร ปั้นจั่น และหม้อน้ำ พ.ศ. 2552 ได้รับการประกาศเมื่อวันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2552 ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดของกฎกระทรวงเฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับเรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ ได้ดังนี้

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 6 และมาตรา 103 แห่งพระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541 อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 33 มาตรา 41 และมาตรา 43 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้ โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงแรงงานออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดเก้าสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ 2 ในกฎกระทรวงนี้

“หม้อน้ำ” หมายความว่า ภาชนะปิดที่ผลิตน้ำร้อนหรือไอน้ำที่มีความดันสูงกว่าบรรยากาศ โดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง หรือความร้อนจากพลังงานอื่น

“ผู้ควบคุมหม้อน้ำ” หมายความว่า ผู้ซึ่งนายจ้างจัดให้มีหน้าที่ควบคุมการทำงานและการใช้หม้อน้ำ

“การตรวจสอบ” หมายความว่า การตรวจพิจารณาความเรียบร้อยของชิ้นส่วนหรือกลไกการทำงานของเครื่องจักร ปั้นจั่น และหม้อน้ำ ตามที่กำหนดไว้ในคู่มือของผู้ผลิต

"การทดสอบ" หมายความว่า การตรวจสอบและทดลองใช้งานชิ้นส่วนอุปกรณ์หรือกลไกการทำงานของอุปกรณ์เพื่อความถูกต้องโดยวิศวกร

"วิศวกร" หมายความว่า ผู้ซึ่งได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร

หมวด 3
หม้อน้ำ

ส่วนที่ 1 บททั่วไป

ข้อ 82 กฎกระทรวงนี้มิให้ใช้บังคับแก่หม้อน้ำทำความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำความดันไม่เกิน 1 บาร์ หรือไอน้ำอุณหภูมิไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส หรือน้ำร้อนความดันไม่เกิน 10 บาร์ แบบท่อขดที่ไม่มีที่พักไอน้ำ เว้นแต่

(1) มีที่พักไอน้ำและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อน้ำหรือหลอดน้ำเกิน 19 มิลลิเมตร

(2) มีความจุของน้ำเกิน 23 ลิตร

(3) มีอุณหภูมิของน้ำเกิน 177 องศาเซลเซียส

(4) มีไอน้ำเกิดขึ้นในท่อน้ำหรือหลอดน้ำ

ข้อ 83 นายจ้างต้องใช้หม้อน้ำและอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐาน ISO มาตรฐาน ASME มาตรฐาน JIS มาตรฐาน DIN มาตรฐาน TRD มาตรฐาน BS มาตรฐาน EN หรือมาตรฐานอื่นที่อธิบดีประกาศกำหนด

ข้อ 84 นายจ้างที่ใช้หม้อน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วหรือหม้อน้ำที่ย้ายที่ติดตั้งต้องจัดให้วิศวกรรับรองผลการทดสอบความดันที่อนุญาตให้ใช้ได้สูงสุดใหม่ ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่อธิบดีประกาศกำหนด และเก็บผลการทดสอบไว้ให้พนักงานตรวจแรงงานตรวจสอบได้

ข้อ 85 ในกรณีเกิดอุบัติเหตุที่มีผลกระทบต่อการใช้งานของหม้อน้ำซึ่งอาจทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยแก่ลูกจ้าง หรือเกิดอุบัติเหตุร้ายแรง นายจ้างต้องแจ้งให้อธิบดีหรือผู้ซึ่งอธิบดีมอบหมายทราบโดยทันที

ข้อ 86 นายจ้างต้องจัดทำป้ายประกาศกำหนดวิธีการทำงานของลูกจ้างเกี่ยวกับการใช้หม้อน้ำการตรวจสอบอุปกรณ์ประกอบ และการแก้ไขข้อขัดข้องในการปฏิบัติงาน ติดไว้บริเวณที่ลูกจ้างเห็นได้ชัดเจน

ข้อ 87 นายจ้างต้องจัดให้มีผู้ควบคุมหม้อน้ำที่มีคุณสมบัติอย่างหนึ่งอย่างใด ดังต่อไปนี้

(1) ผ่านการอบรมตามหลักสูตรผู้ควบคุมหม้อน้ำจากสถาบันของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือสถาบันอื่น ทั้งนี้ ตามที่อธิบดีประกาศกำหนด

(2) มีคุณวุฒิได้รับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างกลโรงงาน สาขาช่างยนต์ สาขาช่างเทคนิคอุตสาหกรรม สาขาช่างเทคนิคการผลิต หรือสาขาอื่นที่มีวิชาการเรียนภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติเกี่ยวกับไอน้ำ การเผาไหม้ ความร้อน การประหยัดพลังงาน หรือความแข็งแรงของวัสดุ รวมกันไม่น้อยกว่าเก้าหน่วยกิต

ข้อ 88 นายจ้างต้องใช้น้ำสำหรับหม้อน้ำที่มีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

(1) น้ำที่เข้าหม้อน้ำ (Boiler Feed Water) ต้องมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และค่าความกระด้างอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมกับชนิดและประเภทของหม้อน้ำตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม

(2) น้ำที่ใช้ภายในหม้อน้ำ (Boiler Water) ต้องมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และมีตะกอนแขวนลอยและสารละลายอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมกับชนิดและประเภทของหม้อน้ำตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม

ข้อ 89 ในกรณีที่นายจ้างให้ลูกจ้างทำการตรวจสอบหรือซ่อมแซมหม้อน้ำ นายจ้างต้องจัดให้มีการระบายอากาศเพื่อไล่ก๊าซพิษหรือก๊าซไวไฟตลอดเวลา

ส่วนที่ 2 การติดตั้ง การซ่อมบำรุง การซ่อมแซม และการใช้

ข้อ 90 ในการติดตั้งหม้อน้ำและอุปกรณ์ประกอบ นายจ้างต้องปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐาน ISO มาตรฐาน ASME มาตรฐาน JIS มาตรฐาน DIN มาตรฐาน TRD มาตรฐาน BS มาตรฐาน EN และตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม ทั้งนี้ ต้องจัดให้มีวิศวกรเป็นผู้รับรองตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่อธิบดีประกาศกำหนด

ข้อ 91 นายจ้างต้องจัดให้มีการซ่อมบำรุงหรือการซ่อมแซมหม้อน้ำและอุปกรณ์ประกอบให้อยู่ในสภาพปลอดภัยตลอดระยะเวลาที่ใช้งาน ทั้งนี้ ตามมาตรฐานและหลักวิชาการด้านวิศวกรรมตามข้อ 90

ข้อ 92 นายจ้างต้องจัดสถานที่ที่ติดตั้งหม้อน้ำให้มีลักษณะ ดังต่อไปนี้

(1) พื้นที่การทำงานและห้องหม้อน้ำต้องมีทางเข้าออกอย่างน้อยสองทาง มีความกว้างอย่างน้อย 60 เซนติเมตร ความสูงอย่างน้อย 2 เมตร และปราศจากสิ่งกีดขวางทางเข้าออก

(2) ช่องเปิดที่พื้นที่การทำงานต้องมีขอบกันตก และวัสดุกันลื่นที่พื้นที่การทำงาน ขั้นบันได และพื้นต่างๆ

(3) พื้นที่การทำงานต้องมีแสงสว่างอย่างเพียงพอ เครื่องวัดต่างๆ และอุปกรณ์ประกอบต้องมีแสงสว่างให้เพียงพอที่จะอ่านค่าและควบคุมได้สะดวก

(4) ระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉินส่องไปยังทางออก และเครื่องวัดต่างๆ รวมทั้งแผงควบคุมให้เห็นอย่างชัดเจนในกรณีไฟฟ้าดับ

(5) ทางเดินต้องไม่มีสิ่งกีดขวาง ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ต้องทำเครื่องหมาย ทาสี หรือใช้เทปสะท้อนแสง ติดไว้ให้เห็นได้อย่างชัดเจน

(6) ฐานรากที่ตั้งของหม้อน้ำและอุปกรณ์ประกอบที่มั่นคงแข็งแรงและทนต่อแรงดันและแรงกด การออกแบบและคำนวณให้เป็นไปตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม

(7) ปล่องควันและฐานที่มั่นคงแข็งแรง เป็นไปตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม

(8) จัดให้มีฉนวนกันความร้อนหุ้มหม้อน้ำ ลิ้นจ่ายไอน้ำ ท่อจ่ายไอน้ำ ถังพักไอน้ำ ถังเก็บน้ำร้อน ปล่องไอเสีย ท่อที่ต่อจากหม้อน้ำ และอุปกรณ์ประกอบที่มีความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่ในระดับหรือบริเวณที่ลูกจ้างผู้ปฏิบัติงานอาจได้รับอันตรายได้

ข้อ 93 ในกรณีหม้อน้ำที่สูงเกินสามเมตรจากพื้นถึงเปลือกหม้อน้ำด้านบน นายจ้างต้องจัดทำบันไดและทางเดินเพื่อให้ผู้ควบคุมหม้อน้ำซ่อมแซมหรือเดินได้สะดวกปลอดภัย พร้อมจัดให้มีราวจับและขอบกันตกและพื้นที่การทำงานทุกชั้นจะต้องจัดให้มีทางเข้าออกอย่างน้อยสองทาง

ส่วนที่ 3 การควบคุม

ข้อ 94 นายจ้างต้องจัดให้มีการทดสอบและรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง โดยวิศวกรหรือผู้ได้รับอนุญาตพิเศษให้ทดสอบหม้อน้ำได้ แล้วแต่กรณี ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร แล้วเก็บเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำไว้ให้พนักงานตรวจแรงงานตรวจสอบได้ เว้นแต่หม้อน้ำที่มีอัตราการผลิตไอน้ำเครื่องละตั้งแต่ 20 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป อาจขยายระยะเวลาการทดสอบและรับรองความ

ปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำเกินกว่า 1 ปี แต่ไม่เกิน 5 ปี หากปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่อธิบดีประกาศกำหนดเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำให้เป็นไปตามแบบที่อธิบดีประกาศกำหนด

ข้อ 95 การซ่อมแซมหรือการดัดแปลงหม้อน้ำหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของหม้อน้ำ ที่อาจมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของหม้อน้ำหรือความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำ นายจ้างต้องจัดให้มีวิศวกรทำหน้าที่ออกแบบควบคุม ทดสอบ และรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำก่อนใช้งาน แล้วเก็บเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำไว้เพื่อให้พนักงานตรวจแรงงานตรวจสอบได้

หมวด 4

การคุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล

ข้อ 96 นายจ้างต้องจัดให้สภาพแวดล้อมในการทำงานของสถานประกอบกิจการอยู่ในลักษณะที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและความปลอดภัยของลูกจ้าง หากนายจ้างไม่สามารถดำเนินการป้องกันแก้ไขอันตรายได้ นายจ้างต้องจัดหาอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลที่สามารถป้องกันอันตรายนั้นให้ลูกจ้างสวมใส่

ข้อ 97 นายจ้างต้องจัดและดูแลให้ลูกจ้างใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลที่ได้มาตรฐานและเหมาะสมกับประเภทและชนิดของงาน ตลอดเวลาที่ทำงาน สำหรับงานหม้อน้ำ ให้สวมแว่นตาชนิดใสหรือหน้ากากชนิดใส ปลั๊กลดเสียงหรือครอบหูลดเสียงชุดป้องกันความร้อนหรืออุปกรณ์ป้องกันความร้อน และรองเท้าพื้นยางหุ้มส้น นอกจากอุปกรณ์ที่กำหนดไว้ข้างต้น ให้นายจ้างจัดอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลอื่นให้ลูกจ้างตามความเหมาะสมกับลักษณะงานและอันตรายที่อาจเกิดกับลูกจ้างด้วย

1.2 กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อม

กฎหมายที่ใช้ในการกำกับดูแลสิ่งแวดล้อมในการใช้หม้อน้ำนั้น ทั้งหมดเป็นเรื่องเกี่ยวกับการควบคุมค่ามลพิษในไอเสียจากการเผาไหม้ภายในหม้อน้ำที่ระบายออกสู่บรรยากาศ ซึ่งหน่วยงานที่มีหน้าที่กำกับดูแลด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับการใช้หม้อน้ำในในประเทศไทยมี 2 หน่วยงานหลักด้วยกัน คือ **กรมโรงงานอุตสาหกรรม** และ**กรมควบคุมมลพิษ** โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมมีหน้าที่กำกับดูแลสิ่งแวดล้อมของหม้อน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น แต่กรมควบคุมมลพิษมีหน้าที่กำกับดูแลสิ่งแวดล้อมของหม้อน้ำทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและนอกโรงงานอุตสาหกรรม

1.2.1 กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

กฎหมายที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมใช้ในการกำกับดูแลสิ่งแวดล้อมจากการใช้หม้อน้ำ ในปัจจุบันมีทั้งสิ้น 3 ฉบับ คือ

- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำโรงสีข้าวที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง พ.ศ. 2549
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำของโรงงาน พ.ศ. 2549

- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549

รายละเอียดของกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมรับผิดชอบแยกตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมตามข้างต้นแสดงได้ดังนี้

1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำโรงสีข้าวที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง พ.ศ. 2549

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 16 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้

“หม้อน้ำ (Boiler)” หมายความว่า หม้อน้ำที่เป็นต้นกำเนิดพลังงานกลและหรือพลังงานความร้อนที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

“โรงสีข้าว” หมายความว่า โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการสี ฝัด หรือขัดข้าวทุกขนาด

“ค่าความทึบแสงของเขม่าควัน” หมายความว่า จำนวนร้อยละของแสงที่ไม่สามารถส่องผ่านเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่อง

ข้อ 2 อากาศที่ระบายออกจากปล่องต้องมีเขม่าควันเจือปนอยู่ในปริมาณที่ทำให้เกิดค่าความทึบแสงเมื่อตรวจวัดด้วยแผนภูมิเขม่าควันของริงเกิลมานน์ ไม่เกินค่าที่กำหนดดังต่อไปนี้

(1) ร้อยละยี่สิบ ในกรณีที่ตรวจวัดก่อนวันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550

(2) ร้อยละสิบ ในกรณีที่ตรวจวัดตั้งแต่วันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เป็นต้นไป

ข้อ 3 การตรวจวัดความทึบแสงให้ตรวจวัดในขณะประกอบกิจการโรงงานและหม้อน้ำมีการทำงานปกติ

ข้อ 4 วิธีการตรวจวัด การคำนวณ การเปรียบเทียบ และการสรุปผลการตรวจวัดค่าความทึบแสง ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

(1) วิธีการตรวจวัดค่าความทึบแสงของเขม่าควันให้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

(ก) การตรวจวัดแต่ละครั้ง ต้องมีผู้ตรวจวัด 2 คน และทำการตรวจวัดพร้อมกัน

(ข) ให้ผู้ตรวจวัดสังเกตสีของท้องฟ้าในบริเวณที่จะตรวจวัดก่อนดำเนินการตรวจวัด และพิจารณาว่ามีแสงสว่างเพียงพอหรือไม่ โดยสังเกตจากสีกลุ่มควันที่เกิดขึ้นและสีของฉากหลังที่มีความเข้มแตกต่างกันโดยชัดเจน (Contrasting background)

(ค) ให้ผู้ตรวจวัดยืนห่างจากปล่องระบายอากาศของหม้อน้ำ ไม่น้อยกว่าสามเท่าของระยะความสูงจากระดับตำแหน่งที่ผู้ตรวจวัดยืนอยู่จนถึงระดับปากปล่อง แต่ไม่เกิน 400 เมตร และอยู่ในทิศที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของกลุ่มควันโดยให้ดวงอาทิตย์อยู่ด้านหลังของผู้ตรวจวัดให้มากที่สุด

(ง) ให้ใช้แผนภูมิเขม่าควันของริงเกิลมานน์ที่จัดทำ โดยกรมควบคุมมลพิษ หรือที่มีมาตรฐานเทียบเท่า

(จ) ให้ผู้ตรวจวัดถือแผนภูมิไว้ในระดับสายตาและมองเขม่าควันผ่านช่องตรงกลางของแผนภูมิ โดยสังเกตความทึบแสงของเขม่าควันตรงจุดที่กลุ่มควันมีความหนาแน่นมากที่สุดและไม่มีการควบแน่นของไอน้ำเปรียบเทียบกับค่าความทึบแสงของแผนภูมิเขม่าควัน เพื่อหาค่าความทึบแสงที่ใกล้เคียงกับความทึบแสงของ

กลุ่มเขม่าควันที่เกิดขึ้นจริงและบันทึกผลการตรวจวัดทุก ๆ 15 วินาที จนกระทั่งครบ 15 นาที ลงในแบบ ขค. 01-49 ท้ายประกาศ ดังรูปที่ ก-1

(2) การคำนวณและการเปรียบเทียบค่าความทึบแสงให้ดำเนินการ ดังนี้

(ก) ให้หาค่าเฉลี่ยความทึบแสงของเขม่าควันตาม (1) (จ)

(ข) ให้นำค่าเฉลี่ยของผู้ตรวจวัดแต่ละคนตาม (ก) มาเปรียบเทียบกัน หากแตกต่างกันเกิน 3 ให้ทำการตรวจวัดใหม่ ถ้าแตกต่างกันไม่เกิน 3 ให้นำค่าเฉลี่ยความทึบแสงของผู้ตรวจวัด 2 คน มาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าความทึบแสงของเขม่าควันในครั้งนั้น

(3) การสรุปผลการตรวจวัดให้บันทึกข้อมูลลงในแบบ ขค. 02-49 ท้ายประกาศ ดังรูปที่ ก-2

แบบ ขค. 01-49

แบบบันทึกผลการตรวจวัดค่าความทึบแสงของเขม่าควัน

ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน ..... ประเภทโรงงาน.....

ชื่อผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน .....

เลขทะเบียนโรงงาน .....

สถานที่ตั้ง เลขที่ ..... หมู่ที่ ..... ซอย ..... ถนน .....

แขวง ..... เขต ..... จังหวัด ..... รหัสไปรษณีย์ .....

โทรศัพท์ ..... โทรสาร .....

ข้อมูลกระบวนการผลิตและการบำบัดมลพิษ

กำลังการผลิตไอน้ำ ..... ตันต่อชั่วโมง ขนาด∅..... ยาว ..... ฟุต

ประเภทของเชื้อเพลิง ☐ แกลบ ☐ น้ำมันเตา ☐ เชื้อเพลิงชีวมวล คือ .....

☐ น้ำมันดีเซล ☐ ถ่านหิน ☐ อื่นๆ (ระบุ) .....

ระบบควบคุมเขม่าควัน ☐ ไม่มี ☐ มี (ระบุ) .....

ระยะเวลาดำเนินกระบวนการผลิต ☐ ตลอด 24 ชั่วโมง

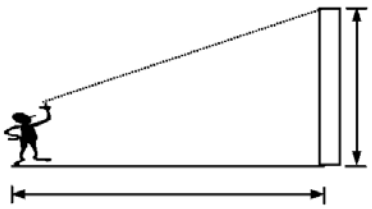
☐ แบ่งเป็นกะ วันละ ..... กะ โดย กลางวัน เริ่มเวลา ..... น. ถึงเวลา ..... น.

กลางคืน เริ่มเวลา ..... น. ถึงเวลา ..... น.

ข้อมูลผลการตรวจวัดค่าความทึบแสงของเขม่าควัน

ดำเนินการตรวจวัดเมื่อวันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ..... ตั้งแต่เวลา ..... น. ถึงเวลา ..... น.

วินาที / นาที	15	30	45	60
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
ผลรวมค่าความทึบแสงของเขม่าควันที่อ่านได้				
จำนวนครั้งที่จดบันทึกข้อมูล				



ระยะห่างระหว่างปล่องและผู้ตรวจวัด (X) – ..... เมตร

(X ต้องมีค่าไม่เกิน 400 เมตร)

$\frac{X}{Y}$ – ..... (ต้องไม่น้อยกว่า 3)

แสงพื้นฐานขณะตรวจวัด (Background Lighting)

(สภาพท้องฟ้าและฉากหลังของปล่องที่ทำการตรวจวัด)

☐ ท้องฟ้าโปร่ง ☐ ท้องฟ้ามืดครึ้ม มีเมฆดำ ☐ อื่นๆ (ระบุ).....

ค่าเฉลี่ยความทึบแสงของเขม่าควัน (ร้อยละ)

– ผลรวมค่าความทึบแสงของเขม่าควันที่อ่านได้ – .....

จำนวนครั้งที่จดบันทึกข้อมูล

ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจวัด

(.....)

ตำแหน่ง ..... สังกัด .....

รูปที่ ก-1 แบบ ขค. 01-49

แบบ ขค. 02-49

แบบสรุปผลการตรวจวัดค่าความทึบแสงของเขม่าควัน

ข้อมูลการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดค่าความทึบแสงของเขม่าควันระหว่างผู้ตรวจวัดทั้ง 2 คน

ชื่อโรงงาน ..... ประเภทโรงงาน..... เลขทะเบียนโรงงาน ..... สถานที่ตั้ง เลขที่ ..... หมู่ที่ ..... ซอย ..... ถนน ..... แขวง ..... เขต ..... จังหวัด ..... รหัสไปรษณีย์ ..... โทรศัพท์ ..... โทรสาร	
การตรวจวัดค่าความทึบแสงของเขม่าควันของผู้ตรวจวัดคนที่ 1 ชื่อ ..... นามสกุล ..... ตำแหน่ง ..... สังกัด ..... ค่าความทึบแสงของเขม่าควันที่ตรวจวัดได้ ร้อยละ	การตรวจวัดค่าความทึบแสงของเขม่าควันของผู้ตรวจวัดคนที่ 2 ชื่อ ..... นามสกุล ..... ตำแหน่ง ..... สังกัด ..... ค่าความทึบแสงของเขม่าควันที่ตรวจวัดได้ ร้อยละ .....
ค่าความแตกต่างของผลการตรวจวัดระหว่างผู้ตรวจวัด 2 คน = ค่าความทึบแสงของเขม่าควันของผู้ตรวจวัดคนที่ 1 – ค่าความทึบแสงของเขม่าควันของผู้ตรวจวัดคนที่ 2 = ... พิจารณาค่าความแตกต่างของผลการตรวจวัดระหว่างผู้ตรวจวัด 2 คน ดังนี้ กรณีที่ 1 ค่าความแตกต่างของผลการตรวจวัดระหว่างผู้ตรวจวัด 2 คน มีค่ามากกว่า 3 พิจารณาว่า ผลการตรวจวัดใช้เปรียบเทียบกับค่าความทึบแสงของเขม่าควันตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับนี้ไม่ได้ และต้องทำการตรวจวัดใหม่ กรณีที่ 2 ค่าความแตกต่างของผลการตรวจวัดระหว่างผู้ตรวจวัด 2 คน มีค่าไม่เกิน 3 พิจารณาว่า ผลการตรวจวัดใช้เปรียบเทียบกับค่าความทึบแสงของเขม่าควันตามตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับนี้ได้	

สรุปผลการตรวจวัดค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากปล่องระบายอากาศหม้อน้ำของโรงงาน

ค่าความทึบแสงของเขม่าควัน = $\frac{\text{ค่าความทึบแสงของเขม่าควันของผู้ตรวจวัดคนที่ 1 + ค่าความทึบแสงของเขม่าควันของผู้ตรวจวัดคนที่ 2}}{2}$ = ร้อยละ ..... ☐ เกินค่าความทึบแสงของเขม่าควันตามที่ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด ☐ ไม่เกินค่าความทึบแสงของเขม่าควันตามที่ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด	
ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจวัดคนที่ 1 (.....) วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ.	ลงชื่อ ..... ผู้ตรวจวัดคนที่ 2 (.....) วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. .....

หมายเหตุ

1. ต้นฉบับ สำหรับผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน หรือผู้รับมอบอำนาจจากผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน
2. สำเนา สำหรับผู้ตรวจวัดทั้ง 2 คน

รูปที่ ก-2 แบบ ขค. 02-49

2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำของโรงงาน พ.ศ. 2549

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 16 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้

“หม้อน้ำ (Boiler)” หมายความว่า หม้อน้ำที่เป็นต้นกำเนิดพลังงานกลและหรือพลังงานความร้อน แต่ไม่รวมถึงหม้อน้ำที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas) หรือก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) เป็นเชื้อเพลิง

“ค่าความทึบแสงของเขม่าควัน” หมายความว่า จำนวนร้อยละของแสงที่ไม่สามารถส่องผ่านเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่อง

ข้อ 2 อากาศที่ระบายออกจากปล่องหม้อน้ำโรงงานจำพวกที่ 3 ที่มีขนาดกำลังการผลิตไอน้ำตั้งแต่ 1 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป ต้องมีเขม่าควันเจือปนอยู่ในปริมาณที่ทำให้เกิดค่าความทึบแสง เมื่อตรวจวัดด้วยแผนภูมิเขม่าควันของริงเกิลมานน์ไม่เกินร้อยละสิบ

ข้อ 3 การตรวจวัดความทึบแสงให้ตรวจวัดในขณะประกอบกิจการโรงงาน และหม้อน้ำมีการทำงานปกติ

ข้อ 4 วิธีการตรวจวัด การคำนวณ การเปรียบเทียบ และการสรุปผลการตรวจวัดค่าความทึบแสง ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

(1) วิธีการตรวจวัดค่าความทึบแสงของเขม่าควัน ให้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

(ก) การตรวจวัดแต่ละครั้ง ต้องมีผู้ตรวจวัด 2 คน และทำการตรวจวัดพร้อมกัน

(ข) ให้ผู้ตรวจวัดสังเกตสีของท้องฟ้าในบริเวณที่จะตรวจวัดก่อนดำเนินการตรวจวัดและพิจารณาว่ามีแสงสว่างเพียงพอหรือไม่ โดยสังเกตจากสีกลุ่มควันที่เกิดขึ้นและสีของฉากหลังที่มีความเข้มแตกต่างกันโดยชัดเจน (Contrasting background)

(ค) ให้ผู้ตรวจวัดยืนห่างจากปล่องระบายอากาศของหม้อน้ำ ไม่น้อยกว่าสามเท่าของระยะความสูงจากระดับตำแหน่งที่ผู้ตรวจวัดยืนอยู่จนถึงระดับปากปล่อง แต่ไม่เกิน 400 เมตร และอยู่ในทิศที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของกลุ่มควันโดยให้ดวงอาทิตย์อยู่ด้านหลังของผู้ตรวจวัดให้มากที่สุด

(ง) ให้ใช้แผนภูมิเขม่าควันของริงเกิลมานน์ที่จัดทำ โดยกรมควบคุมมลพิษหรือที่มีมาตรฐานเทียบเท่า

(จ) ให้ผู้ตรวจวัดถือแผนภูมิไว้ในระดับสายตาและมองเขม่าควันผ่านช่องตรงกลางของแผนภูมิ โดยสังเกตความทึบแสงของเขม่าควันตรงจุดที่กลุ่มควันมีความหนาแน่นมากที่สุดและไม่มีการควบแน่นของไอน้ำเปรียบเทียบกับค่าความทึบแสงของแผนภูมิเขม่าควัน เพื่อหาค่าความทึบแสงที่ใกล้เคียงกับความทึบแสงของกลุ่มเขม่าควันที่เกิดขึ้นจริง และบันทึกผลการตรวจวัดทุก ๆ 15 วินาที จนกระทั่งครบ 15 นาที ลงในแบบ ขค. 01-49 ดังรูปที่ ก-1

(2) การคำนวณและการเปรียบเทียบค่าความทึบแสง ให้ดำเนินการดังนี้

(ก) ให้หาค่าเฉลี่ยความทึบแสงของเขม่าควันตาม (1) (จ)

(ข) ให้นำค่าเฉลี่ยของผู้ตรวจวัดแต่ละคนตาม (ก) มาเปรียบเทียบกัน หากแตกต่างกันเกิน 3 ให้ทำการตรวจวัดใหม่ ถ้าแตกต่างกันไม่เกิน 3 ให้นำค่าเฉลี่ยความทึบแสงของผู้ตรวจวัด 2 คน มาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าความทึบแสงของเขม่าควันในครั้งนั้น

(3) การสรุปผลการตรวจวัด ให้บันทึกข้อมูลลงในแบบ ขค. 02-49 ดังรูปที่ ก-2

ข้อ 5 ประกาศนี้ให้ใช้บังคับสำหรับประเภทโรงงานใด ๆ ที่ไม่ได้กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำไว้เป็นการเฉพาะ

---

3) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 16 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2548 ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548

ข้อ 2 ในประกาศนี้

“อากาศที่ระบายออกจากโรงงาน” หมายความว่า อากาศที่ระบายออกจากปล่องหรือช่องหรือท่อระบายอากาศของโรงงานไม่ว่าจะผ่านระบบบำบัดหรือไม่ก็ตาม

“น้ำมันหรือน้ำมันเตา” ให้หมายความรวมถึง ผลพลอยได้ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ด้วย

“ถ่านหิน” ให้หมายความรวมถึง ผลพลอยได้ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ด้วย

“เชื้อเพลิงชีวมวล” หมายความว่า เชื้อเพลิงที่ได้มาจากอินทรีย์สารหรือสิ่งมีชีวิต รวมทั้งผลผลิตจากการเกษตร การปศุสัตว์และการทำป่าไม้ เช่น ไม้ฟืน เศษไม้ แกลบ ฟาง ชานอ้อย ต้นและใบอ้อย ใยปาล์ม กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม กะลามะพร้าว ใยมะพร้าว เศษพืช มูลสัตว์ ก๊าซชีวภาพ กากตะกอน หรือของเสียจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นต้น

“เชื้อเพลิงอื่น ๆ” หมายความว่า เชื้อเพลิงอื่นใดนอกเหนือจากที่ระบุไว้ในประกาศนี้ แต่ไม่รวมถึงเชื้อเพลิงที่ได้กำหนดค่าการระบายปริมาณสารเจือปนในอากาศไว้เป็นการเฉพาะ

“ระบบปิด” หมายความว่า ระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงและหรือวัตถุดิบที่มีการออกแบบให้มีการควบคุมปริมาตรอากาศและสภาวะแวดล้อมในการเผาไหม้ เช่น หม้อเผาปูนซีเมนต์ หม้อน้ำ เป็นต้น

“ระบบเปิด” หมายความว่า ระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงและหรือวัตถุดิบที่ไม่มีการออกแบบเพื่อควบคุมปริมาตรอากาศและสภาวะแวดล้อมในการเผาไหม้ เช่น เตาเผาปูนขาว เตาหลอมโลหะแบบคิวโปล่า (Cupola) เป็นต้น

ข้อ 3 อากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่าปริมาณของสารเจือปนแต่ละชนิดไม่เกินที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

ชนิดของสารเจือปน (หน่วยวัด)	แหล่งที่มาของสารเจือปน	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่	
		ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง	มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง
1. ฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ก. แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้		
	- น้ำมันหรือน้ำมันเตา	-	240
	- ถ่านหิน	-	320
	- เชื้อเพลิงชีวมวล	-	320
	- เชื้อเพลิงอื่น ๆ	-	320
	ข. การถลุง หล่อหลอม รีดดึง และ/หรือผลิต อลูมิเนียม	300	240
	ค. การผลิตทั่วไป	400	320
2. พลวง (Antimony) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	20	16
3. สารหนู (Arsenic) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	20	16
4. ทองแดง (Copper) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	30	24
5. ตะกั่ว (Lead)	การผลิตทั่วไป	30	24
6. ปรอท (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	3	2.4
7. คลอรีน (Chlorine) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	30	24
8. ไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen chloride) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	200	160
9. กรดกำมะถัน (Sulfuric acid) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	25	-
10. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	100	80
11. คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	870	690

ชนิดของสารเจือปน (หน่วยวัด)	แหล่งที่มาของสารเจือปน	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่	
		ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง	มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง
12. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) (ส่วนในล้านส่วน)	ก. แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้		
	- น้ำมันหรือน้ำมันเตา	-	950
	- ถ่านหิน	-	700
	- เชื้อเพลิงชีวมวล	-	60
	- เชื้อเพลิงอื่น ๆ	-	60
	ข. การผลิตทั่วไป	500	-
13. ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of nitrogen) (ส่วนในล้านส่วน)	แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้		
	- น้ำมันหรือน้ำมันเตา	-	200
	- ถ่านหิน	-	400
	- เชื้อเพลิงชีวมวล	-	200
	- เชื้อเพลิงอื่น ๆ	-	200
14. ไซลีน (Xylene) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	200	-
15. ครีซอล (Cresol) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	5	-

ข้อ 4 กรณีโรงงานใช้เชื้อเพลิงร่วมกันตั้งแต่ 2 ประเภทขึ้นไป อากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่าปริมาณสารเจือปนในอากาศไม่เกินค่าที่กำหนด สำหรับเชื้อเพลิงประเภทที่มีสัดส่วนการใช้มากที่สุด

ข้อ 5 การตรวจวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน แต่ละชนิดให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

(1) การตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง ให้ใช้วิธี Determination of Particulate Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(2) การตรวจวัดค่าปริมาณพลวง สารหนู ทองแดง ตะกั่ว และสารปรอท ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(3) การตรวจวัดค่าปริมาณคลอรีน และไฮโดรเจนคลอไรด์ ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Non-Isokinetic หรือวิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Isokinetic ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(4) การตรวจวัดค่าปริมาณกรดกำมะถัน ให้ใช้วิธี Determination of Sulfuric Acid Mist and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(5) การตรวจวัดค่าปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Sulfuric, Carbonyl Sulfide and Carbon Disulfide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(6) การตรวจวัดค่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Carbon Monoxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(7) การตรวจวัดค่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources หรือวิธี Determination of Sulfuric Acid Mist and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(8) การตรวจวัดค่าปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนไดออกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(9) การตรวจวัดค่าปริมาณไซลีน และครีซอล ให้ใช้วิธี Measurement of Gaseous Organic Compound Emissions by Gas Chromatography ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

ข้อ 6 การรายงานผลการตรวจวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ ให้รายงานผลดังต่อไปนี้

(1) ในกรณีที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ให้คำนวณผลที่ความดัน 1 บรรยากาศ หรือที่ 760 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรออกซิเจนในอากาศเสียสภาวะจริงในขณะตรวจวัด

(2) ในกรณีที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง

(ก) ระบบปิดให้คำนวณผลที่ความดัน 1 บรรยากาศ หรือที่ 760 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้ (Excess Air) ร้อยละ 50 หรือ มีปริมาตรออกซิเจนในอากาศเสีย ร้อยละ 7

(ข) ระบบเปิดให้คำนวณผลที่ความดัน 1 บรรยากาศ หรือที่ 760 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรออกซิเจนในอากาศเสีย ณ สภาวะจริงขณะตรวจวัด

ข้อ 7 ประกาศฉบับนี้ใช้บังคับสำหรับประเภทโรงงานใด ๆ ที่เป็นแหล่งกำเนิดสารเจือปนในอากาศที่ไม่ได้กำหนดค่าการระบายปริมาณสารเจือปนในอากาศไว้เป็นการเฉพาะ

1.2.2 กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กฎหมายที่กรมควบคุมมลพิษใช้ในการกำกับดูแลสิ่งแวดล้อมจากการใช้หม้อน้ำ ในปัจจุบันมีทั้งสิ้น 4 ฉบับ คือ

- ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของโรงสีข้าวที่ใช้หม้อน้ำ พ.ศ. 2548
- ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ พ.ศ. 2548
- ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ พ.ศ. 2548
- ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2549

รายละเอียดของกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมที่กรมควบคุมมลพิษรับผิดชอบแยกประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมตามข้างต้นแสดงได้ดังนี้

1) ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของโรงสีข้าวที่ใช้หม้อน้ำ พ.ศ. 2548

เพื่อกำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของโรงสีข้าวที่ใช้หม้อไอน้ำ อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 55 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 แก้ไขโดยมาตรา 114 แห่งพระราชกฤษฎีกาแก้ไขบทบัญญัติให้สอดคล้องกับ การโอนอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการ ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. 2545 พ.ศ. 2545 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 มาตรา 50 และมาตรา 51 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้ โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติจึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้

“โรงสีข้าว” หมายความว่า โรงงานที่ประกอบกิจการสี ฝัด หรือขัดข้าว ทุกขนาดตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

“หม้อไอน้ำ” หมายความว่า หม้อไอน้ำที่เป็นต้นกำเนิดของพลังงานในการประกอบกิจการโรงสีข้าวโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

“ค่าความทึบแสง” หมายความว่า จำนวนร้อยละของแสงที่ไม่สามารถส่องผ่านเขม่าควันจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของโรงสีข้าวที่ใช้หม้อไอน้ำ

ข้อ 2 โรงสีข้าวที่ใช้หม้อไอน้ำ ต้องมีค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียดังต่อไปนี้

(1) ไม่เกินร้อยละยี่สิบ เมื่อตรวจวัดด้วยแผนภูมิเขม่าควันของริงเกิลมานน์ นับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา และ

(2) ไม่เกินร้อยละสิบ เมื่อตรวจวัดด้วยแผนภูมิเขม่าควันของริงเกิลมานน์ เมื่อพ้นกำหนดเวลาสองปีนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ 3 การสังเกตค่าความทึบแสงของเขม่าควัน ตามข้อ 2 (1) และ (2) ให้ใช้เวลา 15 นาที

ข้อ 4 วิธีการตรวจวัด คำนวณ เปรียบเทียบและสรุปผลการตรวจวัดค่าความทึบแสง ให้เป็นไปตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ 5 แบบบันทึกผลการตรวจวัดค่าความทึบแสง และแบบสรุปผลการตรวจวัดค่าความทึบแสงจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของโรงสีข้าว รวมทั้งลักษณะและหน่วยวัดค่าความทึบแสงของแผนภูมิริงเกิลมานน์ ให้เป็นไปตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

---

2) ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ พ.ศ. 2548

เพื่อกำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากสถานประกอบกิจการ ที่ใช้หม้อไอน้ำ อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 55 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 แก้ไขโดยมาตรา 114 แห่งพระราชกฤษฎีกาแก้ไขบทบัญญัติให้สอดคล้องกับการโอนอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปรับปรุง กระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. 2545 พ.ศ. 2545 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 มาตรา 50 และมาตรา 51 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้

“สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ” หมายความว่า สถานที่ซึ่งผู้ประกอบการมีและใช้หม้อไอน้ำเพื่อการประกอบกิจการของตน โดยมีขนาดกำลังการผลิตไอน้ำตั้งแต่ 1 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป เว้นแต่สถานประกอบกิจการที่มีประกาศของรัฐมนตรีกำหนดให้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษเป็นการเฉพาะไว้แล้ว

“หม้อไอน้ำ” หมายความว่า หม้อไอน้ำที่เป็นต้นกำเนิดพลังงานกลและ/หรือพลังงานความร้อน แต่ไม่รวมถึงหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้ม (LPG) ก๊าซธรรมชาติ (NG) หรือพลังงานไฟฟ้า

“ค่าความทึบแสง” หมายความว่า จำนวนร้อยละของแสงที่ไม่สามารถส่องผ่านเขม่าควันจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ

ข้อ 2 เขม่าควันที่ปล่อยทิ้งจากสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ ตามข้อ 1 จะต้องมีค่าความทึบแสงไม่เกินร้อยละสิบ เมื่อตรวจวัดด้วยแผนภูมิเขม่าควันของริงเกิลมานน์

ข้อ 3 การสังเกตค่าความทึบแสงของเขม่าควัน ตามข้อ 2 ให้ใช้เวลา 15 นาที

ข้อ 4 วิธีการตรวจวัด คำนวณ เปรียบเทียบ และสรุปผลการตรวจวัดค่าความทึบแสง ให้เป็นไปตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ 5 แบบบันทึกผลการตรวจวัดความทึบแสง และแบบสรุปผลการตรวจวัดค่าความทึบแสงจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ รวมทั้งลักษณะและหน่วยวัดค่าความทึบแสงของแผนภูมิริงเกิลมานน์ ให้เป็นไปตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

---

3) ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ พ.ศ. 2548

เพื่อกำหนดให้สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุม การปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 68 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 แก้ไขโดยมาตรา 114 แห่งพระราชกฤษฎีกาแก้ไขบทบัญญัติให้สอดคล้องกับการโอนอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปรับปรุง กระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. 2545 พ.ศ. 2545 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 มาตรา 50 และมาตรา 51 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษจึงออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้

“สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ” หมายความว่า สถานที่ซึ่งผู้ประกอบการมีและใช้หม้อไอน้ำเพื่อการประกอบกิจการของตน โดยมีขนาดกำลังการผลิตไอน้ำตั้งแต่ 1 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป เว้นแต่สถานประกอบกิจการที่มีประกาศของรัฐมนตรีกำหนดให้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษเป็นการเฉพาะไว้แล้ว

“หม้อไอน้ำ” หมายความว่า หม้อไอน้ำที่เป็นต้นกำเนิดพลังงานกลและ/หรือพลังงานความร้อน แต่ไม่รวมถึงหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้ม (LPG) ก๊าซธรรมชาติ (NG) หรือพลังงานไฟฟ้า

ข้อ 2 ให้สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ ดังต่อไปนี้ เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ

(1) โรงงานจำพวกที่ 3 ทุกประเภทโรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน เว้นแต่โรงงานประกอบการสีฝัด หรือขัดข้าว และโรงงานผลิต ส่ง หรือจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า

(2) โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล

(3) โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม

(4) สถานอาบน้ำ นวดหรืออบตัว ซึ่งมีผู้ให้บริการแก่ลูกค้าตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ

(5) สนามบิน ตามกฎหมายว่าด้วยการเดินอากาศ

(6) สถานประกอบกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพตามกฎหมายว่าด้วยการสาธารณสุข

ข้อ 3 ห้ามมิให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำตามข้อ 2 ปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ เว้นแต่จะได้ทำการบำบัดอากาศเสียให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ แต่ทั้งนี้ ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (dilution)

ข้อ 4 ประกาศนี้ให้ใช้บังคับนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เว้นแต่สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำดังกล่าวจะได้รับอนุญาตให้ประกอบการอยู่ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ จะต้องจัดให้มีการควบคุมการปล่อยทิ้งเขม่าควันตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ เมื่อพ้นกำหนดหนึ่งปีนับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

---

4) ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2549

เพื่อกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 55 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 แก้ไขโดยมาตรา 114 แห่งพระราชกฤษฎีกาแก้ไขบทบัญญัติให้สอดคล้องกับการโอนอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการ ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. 2545 พ.ศ. 2545 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 มาตรา 50 และมาตรา 51 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้ โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติจึงออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้

“โรงงานอุตสาหกรรม” หมายความว่า โรงงานจำพวกที่ 2 และโรงงานจำพวกที่ 3 ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

“การประกอบกิจการโรงงาน” หมายความว่า การทำ ผลิต ประกอบ บรรจุ ซ่อม ซ่อมบำรุง ทดสอบ ปรับปรุง แปรสภาพ ลำเลียง เก็บรักษา หรือทำลายสิ่งใด ๆ ตามลักษณะกิจการของโรงงาน แต่ไม่รวมถึง การทดลองเดินเครื่องจักร

“กระบวนการผลิต” หมายความว่า การประกอบกิจการโรงงานอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ

“กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง” หมายความว่า การประกอบกิจการโรงงานในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่มีกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือการสันดาป และมีการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ

“เชื้อเพลิงชีวมวล” หมายความว่า เชื้อเพลิงที่ได้มาจากอินทรีย์สารหรือสิ่งมีชีวิต รวมทั้งผลผลิตจากการเกษตร การปศุสัตว์ และการทำป่าไม้ เช่น ไม้ฟืน เศษไม้ แกลบ ฟาง ชานอ้อย ต้นอ้อย ใบอ้อย ใยปาล์ม กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม กะลามะพร้าว ใยมะพร้าว เศษพืช มูลสัตว์ ก๊าซชีวภาพ กากตะกอน หรือของเสียจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นต้น

ข้อ 2 อากาศเสียแต่ละชนิดที่ปล่อยทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีค่าไม่เกินกว่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ ดังต่อไปนี้

ชนิดของอากาศเสีย	แหล่งที่มาของอากาศเสีย	ค่าปริมาณของอากาศเสียที่ปล่อยทิ้งจาก	
		กระบวนการผลิตที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง	กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง
1. ฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	1.1 หม้อไอน้ำ หรือแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้		
	(1) น้ำมันเตา	-	ไม่เกิน 240
	(2) ถ่านหิน	-	ไม่เกิน 320
	(3) ชีวมวล	-	ไม่เกิน 320
	(4) เชื้อเพลิงอื่นๆ	-	ไม่เกิน 320
	1.2 การถลุง หล่อหลอม รีดดึง และ/หรือผลิต อะลูมิเนียม	ไม่เกิน 300	ไม่เกิน 240
	1.3 กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 400	ไม่เกิน 320
2. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) (ส่วนในล้านส่วน)	2.1 หม้อไอน้ำ หรือแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้		
	(1) น้ำมันเตา	-	ไม่เกิน 950
	(2) ถ่านหิน	-	ไม่เกิน 700
	(3) ชีวมวล	-	ไม่เกิน 60
	(4) เชื้อเพลิงอื่นๆ	-	ไม่เกิน 60
	2.2 กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 500	-
3. ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งคำนวณในรูปของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (Oxides of nitrogen as Nitrogen dioxide) (ส่วนในล้านส่วน)	หม้อไอน้ำ หรือแหล่งกำเนิดความร้อน ที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้		
	(1) น้ำมันเตา	-	ไม่เกิน 200
	(2) ถ่านหิน	-	ไม่เกิน 400
	(3) ชีวมวล	-	ไม่เกิน 200
	(4) เชื้อเพลิงอื่นๆ	-	ไม่เกิน 200
4. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) (ส่วนในล้านส่วน)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 870	ไม่เกิน 690
5. ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) (ส่วนในล้านส่วน)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 100	ไม่เกิน 80

ชนิดของอากาศเสีย	แหล่งที่มาของอากาศเสีย	ค่าปริมาณของอากาศเสียที่ปล่อยทิ้งจาก	
		กระบวนการผลิตที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง	กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง
6. ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen Chloride) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 160
7. กรดกำมะถัน (Sulfuric acid) (ส่วนในล้านส่วน)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 25	-
8. ไซลีน (Xylene) (ส่วนในล้านส่วน)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 200	-
9. ครีซอล (Cresol) (ส่วนในล้านส่วน)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 5	-
10. พลวง (Antimony) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 16
11. สารหนู (Arsenic) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 16
12. ทองแดง (Copper) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 24
13. ตะกั่ว (Lead) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 24
14. คลอรีน (Chlorine) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 24
15. ปรอท (Mercury) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 3	ไม่เกิน 2.4

ข้อ 3 การรายงานผลการตรวจวัดอากาศเสีย ให้รายงานผล ดังต่อไปนี้

(1) กระบวนการผลิตที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ให้คำนวณผลที่ความดัน 1 บรรยากาศ หรือที่ 760 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรอากาศเสียที่ออกซิเจน ($\%O_2$) ณ สภาวะจริงในขณะตรวจวัด

(2) กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ให้คำนวณผลที่ความดัน 1 บรรยากาศ หรือที่ 760 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรอากาศเสียที่ออกซิเจน ($\%O_2$) ร้อยละ 7

ข้อ 4 การตรวจวัดอากาศเสียแต่ละชนิดตามข้อ 2 ให้ใช้วิธี ดังต่อไปนี้

(1) การตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง ให้ใช้วิธี Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency) กำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(2) การตรวจวัดค่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources หรือวิธี Determination of Sulfuric Acid and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(3) การตรวจวัดค่าก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ให้ใช้วิธี Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(4) การตรวจวัดค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Carbon Monoxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(5) การตรวจวัดค่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Sulfide, Carbonyl Sulfide and Carbon Disulfide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(6) การตรวจวัดค่าก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Non-Isokinetic หรือวิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Isokinetic ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(7) การตรวจวัดค่ากรดกำมะถัน ให้ใช้วิธี Determination of Sulfuric Acid and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(8) การตรวจวัดค่าไซลีน ให้ใช้วิธี Measurement of Gaseous Organic Compound Emissions by Gas Chromatography ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(9) การตรวจวัดค่าครีซอล ให้ใช้วิธี Measurement of Gaseous Organic Compound Emissions by Gas Chromatography ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(10) การตรวจวัดค่าพลวง ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(11) การตรวจวัดค่าสารหนู ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(12) การตรวจวัดค่าทองแดง ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(13) การตรวจวัดค่าตะกั่ว ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(14) การตรวจวัดค่าคลอรีน ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Non-Isokinetic หรือวิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Isokinetic ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(15) การตรวจวัดค่าสารปรอท ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ 5 ประกาศนี้ไม่ใช้บังคับกับแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีการกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสีย ตามกฎหมายว่าด้วยส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติไว้เป็นการเฉพาะแล้ว

ข้อ 6 ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

1.3 ระเบียบ เอกสาร และขั้นตอนตามกฎหมายของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ในการสร้าง ใช้งาน ควบคุม ตรวจสอบ ซ่อมแซม และยกเลิกการใช้ หม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน จำเป็นต้องมีการขึ้นทะเบียนผู้ที่มีหน้าที่ดังกล่าวข้องต้น ตลอดจนต้องมีการขึ้นทะเบียนหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนในกรณีที่มีการติดตั้งใหม่หรือย้ายสถานที่ติดตั้ง ระเบียบเอกสาร และขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนในส่วนที่รับผิดชอบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม มีดังต่อไปนี้

1.3.1 การขึ้นทะเบียนโรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีการตรวจสอบภายนอกภายใน และการทำงานของระบบการควบคุมก่อนการใช้งานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในภาคผนวก 3 โดยวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และจัดส่งต้นฉบับรายงานให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมภายใน 30 วัน หลังจากทำการตรวจสอบความปลอดภัย หากหม้อน้ำที่นำชิ้นส่วนมาประกอบ ณ สถานที่ใช้งานต้องทำการตรวจสอบตามแนวเชื่อมส่วนรับแรงดัน ภายใต้การควบคุมดูแลของวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อม หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

1.3.2 การตรวจทดสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ ต้องจัดให้มีการตรวจสอบหม้อน้ำโดยวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เป็นประจำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง สำหรับหม้อน้ำที่มีอัตราการผลิตไอน้ำเครื่องละตั้งแต่ 20 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป ที่มีการออกแบบโครงสร้าง การสร้างและใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายตามมาตรฐานสากล หากประสงค์จะตรวจสอบภายใน ทุกระยะเวลาเกินกว่า 1 ปีแต่ไม่เกิน 5 ปีต่อการตรวจสอบหนึ่งครั้งก็ให้กระทำได้ ทั้งนี้ ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด และได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมก่อน

ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีการตรวจทดสอบความปลอดภัยระหว่างการใช้งาน โดยวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เป็นประจำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง สำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่มีการออกแบบ การสร้างและมีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายตามมาตรฐานสากล หากประสงค์จะตรวจสอบภายใน ทุกระยะเวลาเกินกว่า 1 ปีแต่ไม่เกิน 3 ปีต่อการตรวจทดสอบหนึ่งครั้ง ก็ให้กระทำได้ ทั้งนี้ ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด และได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมก่อน

ในส่วนของผู้ตรวจทดสอบ มีหน้าที่และความรับผิดชอบหลังการดำเนินการตรวจสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ดังนี้

(ก) ผู้ตรวจทดสอบต้องจัดให้มีการถ่ายภาพที่แสดงถึงการตรวจทดสอบภายใน และหรือภายนอกหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนซึ่งกระทำโดยผู้ตรวจทดสอบ โดยให้แนบภาพถ่ายท้ายรายงานผลการตรวจทดสอบ แบบฟอร์มเอกสารรับรองความปลอดภัยการใช้หม้อน้ำ และรายงานผลการตรวจทดสอบหม้อน้ำ และแบบฟอร์มเอกสารรับรองความปลอดภัยการใช้หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และรายงานผลการตรวจทดสอบหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

(ข) ผู้ตรวจทดสอบ ต้องจัดทำเอกสารรายงานผลการตรวจทดสอบความปลอดภัยหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน แล้วจัดส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานพร้อมกับสำเนาใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม และสำเนาหนังสืออนุญาตให้ขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนโดยรับรองสำเนาถูกต้อง

(ค) กรณีพบว่าโครงสร้าง ส่วนประกอบหรือระบบการทำงานของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ส่วนหนึ่งส่วนใดหรือทั้งหมดมีข้อบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์เชิงวิศวกรรม วิศวกรตรวจทดสอบหรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องบันทึกข้อบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์พร้อมคำแนะนำวิธีการแก้ไขข้อบกพร่องและความไม่สมบูรณ์นั้นให้แก่ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

รหัส…… ……...
เลขรับที่……..……วันที่……..……
(ช่องที่ 1) สำหรับเจ้าหน้าที่กรอก

เอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อไอน้ำ

ข้าพเจ้า…… อายุ……..ปี อาชีพ……
พักอยู่บ้านเลขที่……หมู่……ตรอก/ซอย……..ถนน…….
ตำบล/แขวง……อำเภอ/เขต……จังหวัด……..โทรศัพท์……..
สถานที่ทำงาน……ตั้งอยู่ ณ ……โทรศัพท์……..
ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ตามพระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ.2542
เลขทะเบียน สก/วก/พก……ตั้งแต่วันที่……ถึงวันที่……..และไม่อยู่ในระหว่างถูกสั่งพักหรือเพิกถอนใบอนุญาตฯ ตามสำเนาบัตรประจำตัวที่แนบมาพร้อมนี้ ได้รับอนุญาตให้ขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ เลขทะเบียน 6-…….. หมดอายุวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.…….

ข้าพเจ้าได้ทำการอัดน้ำทดสอบและตรวจสภาพหม้อไอน้ำของโรงงาน ……
ซึ่งตั้งอยู่เลขที่……..หมู่ที่……..ตรอก/ซอย……ถนน…….
ตำบล/แขวง……..อำเภอ/เขต……จังหวัด……โทรศัพท์…….
ประกอบกิจการ……ทะเบียนโรงงานเลขที่ …… หมดอายุวันที่……..…….
ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานชื่อ……จำนวนคนงาน……คน
ตรวจทดสอบเมื่อวันที่……..……..เวลา……น. โรงงานนี้มีหม้อไอน้ำทั้งหมด……เครื่อง
หม้อไอน้ำเครื่องนี้หมายเลข …… ขณะตรวจ หม้อไอน้ำเครื่องอื่นอยู่ในสภาพ ☐ กำลังใช้งาน ☐ หยุด

ข้าพเจ้าได้ตรวจทดสอบสภาพหม้อไอน้ำเครื่องนี้ โดยการอัดน้ำ (Hydrostatic Test) ที่ความดันไม่น้อยกว่าเกณฑ์การอัดน้ำทดสอบตามที่ระบุในหน้า 4 ของเอกสารนี้ และขอรับรองว่าหม้อไอน้ำและอุปกรณ์ทุกส่วนของหม้อไอน้ำเป็นไปตามรายละเอียดแสดงไว้ในหน้า 2 และ 3 ของเอกสารนี้ ข้าพเจ้าได้ทำการตรวจสภาพและหรือทดสอบอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และหม้อไอน้ำเครื่องนี้สามารถใช้งานได้โดยปลอดภัย **เป็นเวลา 1 ปี นับตั้งแต่ตรวจทดสอบ** ที่ความดัน **ซึ่งได้ปรับตั้งลิ้นนิรภัยให้เปิดระบายไอที่ความดันไม่เกิน** …… ข้าพเจ้าจึงลงลายมือชื่อไว้เป็นหลักฐาน

(ลงชื่อ)……
(……..)
วิศวกรผู้ตรวจทดสอบ

(ลงชื่อ)……..
(……..)
ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน

ก่อนการตรวจทดสอบฯ โปรดอ่านรายละเอียดในหน้า 4 ของเอกสารนี้

หม้อไอน้ำเครื่องนี้ เป็นแบบหม้อไอน้ำ ☐ เรือ ☐ รถไฟ ☐ ลูกหมู ☐ ท่อน้ำขวาง ☐ ท่อไฟนอน (Package)
☐ ดัดแปลงเตาจากหม้อไอน้ำแบบ……อื่น ๆ (ระบุ)……..ใช้งานมาแล้ว……ปี
หมายเลขเครื่อง……..สร้างโดย……..โดยออกแบบความดันสูงสุดไว้ที่……..
อุณหภูมิ……..อัตราการผลิตไอ……พื้นที่ผิวรับความร้อน ……
แรงม้าหม้อไอน้ำ……การเคลื่อนย้ายหม้อไอน้ำ ☐ ไม่เคย ☐ เคย เมื่อ……..
จาก (ที่ใด)……
ชื่อผู้ควบคุมหม้อไอน้ำ……ขึ้นทะเบียนฯ เลขที่……หมดอายุ พ.ศ.25……
ชื่อผู้ควบคุมหม้อไอน้ำ……ขึ้นทะเบียนฯ เลขที่……หมดอายุ พ.ศ.25……
ชื่อผู้ควบคุมหม้อไอน้ำ……ขึ้นทะเบียนฯ เลขที่……หมดอายุ พ.ศ.25……

1. ตัวหม้อไอน้ำ

การต่อแผ่นเหล็กหม้อไอน้ำ เป็นแบบ ☐ เชื่อม ☐ หมุดย้ำ เปลือกหม้อไอน้ำหนา……

ฉนวนหุ้มหม้อไอน้ำ ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ ☐ ใยแก้ว ☐ Asbestos ☐ อิฐทนไฟ ☐ อื่น ๆ ……

ขนาดหม้อไอน้ำ ∅ ……ยาว/สูง……ท่อไฟใหญ่ ขนาด ∅……ยาว……..หนา……..จำนวน……..ท่อ

ท่อไฟเล็กขนาด ∅……ยาว……..จำนวน……ท่อ, ท่อไฟเล็กขนาด ∅……ยาว……..จำนวน……ท่อ

ท่อน้ำ (สำหรับหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ) ขนาด ∅……ยาว……..จำนวน……..……ท่อ

ผนังเตาขนาด……..หนา……ผนังด้านหน้า-หลัง (End Plates) หนา……

ถังพักไอ (Header or Steam Dome) ขนาด ∅……..

ช่องคนลง (Manhole) ☐ ไม่มี ☐ มี จำนวน……..….ช่อง, ช่องมือลอด (Handhole) ☐ ไม่มี ☐ มี จำนวน…….……ช่อง

ช่องทำความสะอาดท่อน้ำ (สำหรับหม้อไอน้ำตั้งแบบท่อน้ำขวาง) ☐ ไม่มี ☐ มี จำนวน……..ช่อง

เหล็กยึดโยงเป็นแบบ ☐ Stay Rod ขนาด ∅……..จำนวน……..ชุด

☐ Stay Tube ขนาด ∅……..จำนวน……..ชุด

☐ Gusset Stay หนา……ด้านหน้า……..ชุด ด้านหลัง……..ชุด

☐ อื่น ๆ ……..……จำนวน……..……..ชุด

2. สภาพอุปกรณ์ของหม้อไอน้ำ

2.1 ลิ้นนิรภัย (Safety Valve) มีจำนวน……ชุด เป็นแบบ

☐ แบบน้ำหนักถ่วง ขนาด ∅……..ระบายไอน้ำที่ความดัน ……

☐ แบบสปริงมีคานงัด ขนาด ∅……..ระบายไอน้ำที่ความดัน ……

☐ แบบ…… ขนาด ∅……..ระบายไอน้ำที่ความดัน ……

2.2 ระบบความดัน

ความดันใช้งานปกติ (Working Pressure)……

เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) จำนวน……..ชุด สเกลสูงสุดอ่านได้……..……

สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure Control Switch) ☐ ไม่มี ☐ มี จำนวน……..ชุด

ตั้งไว้ที่ความดัน……. Diff.Pressure……

2.3 ระบบน้ำ

หลอดแก้วและวาล์วบังคับ มีจำนวน……..ชุด พร้อมท่อระบายจากวาล์วหลอดแก้วถึงระดับพื้น

เครื่องควบคุมระดับน้ำ (Water Level Control) ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ ☐ ลูกลอย (Float Type) ☐ Electrode

☐ อื่น ๆ (ระบุ)……จำนวน……ชุด

เครื่องสูบน้ำเข้าหม้อไอน้ำ เป็นแบบ ☐ Reciprocating ☐ Turbine ☐ อื่น ๆ ……จำนวน……ชุด

โดยใช้พลังงานจาก ☐ ไฟฟ้า ☐ ไอน้ำ ☐ อื่น ๆ ……..

วาล์วกันกลับ (Check Valve) ที่ท่อน้ำ เข้าหม้อไอน้ำ ขนาด ∅……..จำนวน……..ชุด

น้ำที่เข้าหม้อไอน้ำ ☐ น้ำประปา ☐ น้ำบาดาล ☐ น้ำบ่อ ☐ น้ำคลอง ☐ อื่น ๆ (ระบุ)……

กรรมวิธีการปรับสภาพน้ำ ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ ☐ Softener (Resin) ☐ เติมสารเคมี ☐ อื่น ๆ ……

คุณสมบัติของน้ำเข้าหม้อไอน้ำ pH =……Hardness = ……อื่น ๆ (ถ้ามี)……..

วาล์วถ่ายน้ำ (Blow Down Valve) ขนาด ∅……..จำนวน……..ชุด

2.4 ระบบการจ่ายไอน้ำ

วาล์วจ่ายไอน้ำ (Main Steam Valve) ขนาด ∅……..จำนวน……..ชุด

วาล์วกันกลับที่ท่อจ่ายไอ (Check Valve) ขนาด ∅……..จำนวน……..ชุด

ท่อจ่ายไอน้ำ (Steam Pipe) ขนาด ∅……, ฉนวนหุ้มท่อจ่ายไอน้ำ ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ……..

- 3 -

2.5 ระบบสัญญาณเตือนภัย ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ ☐ กระดิ่งไฟฟ้า ☐ ไซเรน ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....

2.6 ระบบการเผาไหม้

เชื้อเพลิงที่ใช้ ☐ ฟืน ☐ แกลบ ☐ ขี้เลื่อย ☐ น้ำมันดีเซล ☐ น้ำมันเตาเกรด..... ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....

ปริมาณการใช้ ..... (ต่อหน่วยเวลา) ☐ มีระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง เป็นแบบ.....

ขนาดความสามารถ.....การจัดทิศทางเปลวไฟ ☐ 1 Pass ☐ 2 Pass ☐ 3 Pass ☐ 4 Pass

ปล่องไฟขนาด.....สูง.....ลมช่วยในการเผาไหม้ ☐ ธรรมชาติ ☐ พัดลมขนาด.....

สายล่อฟ้า ☐ ไม่จำเป็นต้องมี ☐ จำเป็นต้องมี (☐ มีเหมาะสม ☐ ยังไม่มี)

2.7 ปลั๊กหลอมละลาย (Fusible Plug) ☐ ไม่มี ☐ มี จำนวน.....ชุด

2.8 ระบบปรับปรุงประสิทธิภาพ

เครื่องอุ่นน้ำมัน (Oil Heater) ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ.....อุ่นถึงอุณหภูมิ.....

เครื่องอุ่นอากาศ (Air Heater) ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ.....อุ่นถึงอุณหภูมิ.....

เครื่องอุ่นน้ำ (Economizer) ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ.....อุ่นถึงอุณหภูมิ.....

การนำคอนเดนเสดกลับมาใช้ ☐ ไม่มี ☐ มี ปริมาณ.....

2.9 ภาชนะรับแรงดันไอน้ำ (Pressure Vessel) ☐ ไม่มี ☐ มี (ระบุ)

เครื่องจักรไอน้ำ ขนาด ∅ ไอดี (High Pressure)..... ขนาด ∅ ไอเสีย (Low Pressure).....

จำนวน.....ชุด

เครื่อง.....จำนวน.....ชุด ใช้ความดัน..... ☐ มีลิ้นนิรภัยตั้งความดันที่.....

เครื่อง.....จำนวน.....ชุด ใช้ความดัน..... ☐ มีลิ้นนิรภัยตั้งความดันที่.....

เครื่อง.....จำนวน.....ชุด ใช้ความดัน..... ☐ มีลิ้นนิรภัยตั้งความดันที่.....

เครื่อง.....จำนวน.....ชุด ใช้ความดัน..... ☐ มีลิ้นนิรภัยตั้งความดันที่.....

รายงานผลการตรวจหม้อน้ำก่อนรับรอง

ท่อไฟใหญ่	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง		ท่อไฟเล็ก	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง	
ผนังด้านหน้า-หลัง	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง		ผนังเตา	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง	
เหล็กยึดโยง	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง		ช่องมือลอด	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง	
ช่องคนลง	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง		ท่อน้ำ	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง	
เกจวัดความดัน	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง		ลิ้นนิรภัย	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง	
เครื่องสูบน้ำเข้าหม้อไอน้ำ	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง		สวิตช์ควบคุมความดัน	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง	
ระบบสัญญาณเตือนภัย	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง		เครื่องควบคุมระดับน้ำ	☐ เรียบร้อย	☐ บกพร่อง	
สภาพตะกรันภายในหม้อไอน้ำ	☐ ไม่มี	☐ มี	☐ มาก		☐ ปานกลาง	☐ น้อย	

รายละเอียดของส่วนที่บกพร่องและอื่น ๆ

.....

.....

.....

ข้าพเจ้าได้ให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานดำเนินการซ่อมแซมแก้ไขจนเป็นที่เรียบร้อยสมบูรณ์แล้วก่อนลงลายมือชื่อรับรอง

.....(วิศวกรผู้ตรวจทดสอบ)

- 4 -

ข้อกำหนดในการตรวจทดสอบฯ และกรอกรายงานในเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อไอน้ำ

ชื่อโรงงาน :-	ใช้ตามที่ระบุไว้ในใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน ถ้าไม่มีให้ใช้ชื่อผู้รับใบอนุญาตฯ
ประกอบกิจการโรงงาน :-	ใช้ตามที่ระบุในบรรทัดที่ 7 ของหน้าที่ 1 ในใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน, รง. 4 (นับจากวันที่ลงมา)
ทะเบียนโรงงานเลขที่ :-	ใช้ตามที่ระบุในกรอบสี่เหลี่ยมมุมบนด้านขวาของใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน, รง. 4
หม้อไอน้ำหมายเลข :-	หม้อไอน้ำที่ติดตั้งก่อนถือว่าเป็นหมายเลข 1
ออกแบบความดันสูงสุด :-	ความดันสูงสุดที่ผู้สร้างกำหนดให้ใช้ (Max. Allowable Working Pressure)
สวิตช์ควบคุมความดัน :-	(ถ้ามี) จะต้องตั้งไว้ไม่เกินความดันใช้งานสูงสุด (Max. Working Pressure)
ลิ้นนิรภัย :-	- ต้องติดตั้งที่เปลือกหรือถังพักไอ **และต้องไม่มีวาล์วต่อคั่นกลาง** - ต้องเป็นแบบน้ำหนักถ่วงหรือแบบสปริงที่มีคานงัด **ไม่มีคานงัดห้ามใช้** หรือแบบอื่นที่สามารถตรวจสอบการเปิดได้ง่าย มีขนาดที่สามารถระบายไอได้ทันเมื่อความดันเกินกำหนดและปรับตั้งให้ระบายที่ความดันไม่เกิน 10% ของความดันใช้งานสูงสุด (Max. Working Pressure) แต่ต้องไม่เกิน 3% ของการออกแบบความดันสูงสุด (Max. Allowable Working Pressure) - ต้องมีไม่น้อยกว่า 2 ชุด สำหรับหม้อไอน้ำที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนตั้งแต่ 50 ตารางเมตรขึ้นไป
ตะกรัน :-	ถ้ามีหนากว่า 1/16 นิ้ว จะต้องล้างออก
การตรวจทดสอบ :-	ให้ใช้หลักวิชาการทางด้านวิศวกรรม หรือมาตรฐานสากลอันเป็นที่ยอมรับที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นชอบ
การอัดน้ำทดสอบ :-	ต้องใช้ความดัน 1.5 เท่าของความดันสูงสุดที่ออกแบบ (Max. Allowable Working Pressure) ถ้าความดันใช้งานสูงสุดต่ำกว่า 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ต้องใช้ความดันไม่น้อยกว่า 2 เท่า ของความดันที่ใช้งานสูงสุด ถ้าความดันใช้งานสูงสุดอยู่ในระหว่าง 60-80 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ต้องใช้ความดันไม่น้อยกว่า 120 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

หมายเหตุ

1. ในการตรวจทดสอบหากพบว่า ส่วนประกอบและหรืออุปกรณ์ของหม้อไอน้ำส่วนหนึ่งส่วนใดมีข้อบกพร่องชำรุด หรือไม่ทำงาน วิศวกรผู้ตรวจทดสอบ ต้องแจ้งให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน ดำเนินการซ่อมปรับปรุงแก้ไข หรือเปลี่ยนใหม่ให้อยู่ในสภาพเรียบร้อย ให้แล้วเสร็จสมบูรณ์ก่อนลงลายมือชื่อรับรอง
2. ต้องกรอกข้อความให้ครบทุกข้อ ข้อความใดที่ไม่ได้กรอก ต้องแสดงเหตุผล มิฉะนั้น เจ้าหน้าที่จะถือว่าไม่ได้ตรวจทดสอบหรือดูสภาพส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ของหม้อไอน้ำนั้น และอาจพิจารณาไม่รับเอกสารฯ ฉบับนี้
3. ข้อความนอกเหนือจากที่ระบุในข้อกำหนด ให้ใช้หลักวิชาการทางวิศวกรรม

คำรับรองของผู้ประกอบกิจการโรงงาน

1. ข้าพเจ้าขอรับรองว่าในการตรวจทดสอบความปลอดภัยในการใช้หม้อไอน้ำครั้งนี้ วิศวกรผู้ตรวจทดสอบได้ดำเนินการตรวจทดสอบหม้อไอน้ำ ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดจริง หากกรมโรงงานอุตสาหกรรมตรวจพบในภายหลังว่า มิได้มีการตรวจทดสอบหม้อไอน้ำตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ข้าพเจ้ายินดีให้กรมโรงงานอุตสาหกรรม เพิกถอนใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานโดยไม่มีเงื่อนไข
2. เมื่อครบกำหนดที่จะต้องตรวจทดสอบหม้อไอน้ำครั้งต่อไป ข้าพเจ้าจะต้องแจ้งเป็นหนังสือให้กรมโรงงานอุตสาหกรรม ในกรณีโรงงานตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร หรือ สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด ในกรณีโรงงานตั้งอยู่นอกเขตกรุงเทพมหานคร ทราบล่วงหน้าไม่น้อยกว่า 7 วัน เพื่อที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด จะได้ส่งเจ้าหน้าที่ไปสังเกตการณ์ในการตรวจทดสอบหม้อไอน้ำ

ข้าพเจ้าได้อ่านและเข้าใจในข้อความดังกล่าวข้างต้นแล้ว จึงลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญ

ลงชื่อ.....ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน

(.....)

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
กรมโรงงานอุตสาหกรรม

รายงานผลการตรวจทดสอบความปลอดภัยในการใช้หม้อไอน้ำ

<u>การตรวจสอบ (Inspection)</u>

1. ประวัติการชำรุดและการซ่อมแซมโครงสร้าง อุปกรณ์ และการล้างตะกรัน ในรอบ 1 ปี ที่ผ่านมา ดังนี้

1. ลักษณะการชำรุด.....ซ่อมโดย.....เมื่อ.....
2. ลักษณะการชำรุด.....ซ่อมโดย.....เมื่อ.....
3. ลักษณะการชำรุด.....ซ่อมโดย.....เมื่อ.....
4. วิศวกรควบคุมและอำนวยการซ่อม ชื่อ.....ทะเบียนเลขที่.....

2. การตรวจสอบสภาพภายนอก (External Inspectin)

การติดตั้งหม้อไอน้ำ ..... การติดตั้งระบบท่อ.....
สภาพภายนอกหม้อไอน้ำ (โครงสร้าง).....
การติดตั้งอุปกรณ์ทั่วไป หรือ อุปกรณ์ความปลอดภัย ตามกฎหมายกำหนด ถูกต้อง ไม่ถูกต้อง (ระบุ).....
.....
.....

3. การตรวจสอบสภาพภายใน (Internal Inspectin)

3.1. สภาพผิวด้านสัมผัสไฟ

สภาพท่อไฟใหญ่ ท่อไฟเล็ก ท่อน้ำ ผนังเตา ผนังหน้า-หลัง Smoke Chamber ปูนทนไฟ อิฐทนไฟ ฉนวนกันความร้อน (ลักษณะการชำรุด เสียรูป แตกร้าว รั่วซึม กัดกร่อน ขี้เถ้า เขม่า หรือ ความผิดปกติต่างๆ).....
.....
.....

3.2. สภาพผิวด้านสัมผัสน้ำ

สภาพท่อไฟใหญ่ ท่อไฟเล็ก ท่อน้ำ ผนังเตา ผนังหน้า-หลัง Upper Drum Lower Drum(ลักษณะการชำรุด เสียรูป แตกร้าว รั่วซึม กัดกร่อน ตะกรัน โคลนตะกอน การอุดตันของอุปกรณ์ความปลอดภัยต่างๆ) .....
.....
.....

4. การทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างโดยการอัดน้ำ (Hydrostatic Test)

กรณี สร้างใหม่ ประจำปี ดัดแปลง ซ่อมแซม เปลี่ยนโครงสร้าง อื่น ๆ.....
ทดสอบที่ความดัน ..... ผลการทดสอบ ปกติ ควรปรับปรุง
หากควรปรับปรุง สาเหตุ.....วิธีการปรับปรุง.....
การทำงานของลิ้นนิรภัย (Safety Valve) ผลการทดสอบ ปกติ ควรปรับปรุง
หากควรปรับปรุง สาเหตุ.....วิธีการปรับปรุง.....

5. การตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบหรืออุปกรณ์ความปลอดภัย (Functional Test)

- การทำงานของเกจวัดความดัน ปกติ ควรปรับปรุง .....
- การทำงานของเครื่องสูบน้ำ (Feed Water Pump) ปกติ ควรปรับปรุง .....
- การทำงานของเครื่องควบคุมระดับน้ำ ปกติ ควรปรับปรุง .....
- การทำงานของระบบสัญญาณเตือนภัย ปกติ ควรปรับปรุง .....
- การทำงานของเครื่องควบคุมความดัน (Pressure Control Switch) ปกติ ควรปรับปรุง .....
- หลอดแก้วบอกระดับน้ำ ปกติ ควรปรับปรุง .....
- การทำงานของลิ้นกันกลับ (Check Valve) ปกติ ควรปรับปรุง .....

6. การตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบหรืออุปกรณ์ทั่วไป (General Equipment)

- การทำงานของเกจวัดอุณหภูมิปล่อง ปกติ ควรปรับปรุง .....
- ภาชนะเก็บน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ หรือ ถังคอนเดนเสด รวมถึงระบบท่อ ปกติ ควรปรับปรุง .....
- เครื่องปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ปกติ ควรปรับปรุง .....
- ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า ปกติ ควรปรับปรุง .....
- ฉนวนทั้งหมด (ตัวหม้อไอน้ำ ระบบท่อ อุปกรณ์การใช้ไอน้ำ ฯลฯ) ปกติ ควรปรับปรุง .....
- วาล์วถ่ายน้ำ (Blow Down Valve) ปกติ ควรปรับปรุง .....
- ลิ้นหรือวาล์วที่ติดตั้งกับหม้อไอน้ำ ปกติ ควรปรับปรุง .....

7. รายละเอียดของส่วนที่บกพร่องเพิ่มเติม และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข

1.....

2.....

3.....

4.....

5.....

8. สรุปผลการตรวจสอบ

8.1. ขอรับรองว่าหม้อไอน้ำเครื่องนี้สามารถใช้งานได้โดยปลอดภัยภายใต้ความดันใช้งานไม่เกิน.....เป็นเวลา 1 ปีนับตั้งแต่วันที่ตรวจสอบ

8.2. ขอรับรองว่าหม้อไอน้ำเครื่องนี้ตามข้อ 8.1. และผู้ประกอบกิจการโรงงานได้แก้ไขตามรายละเอียด ดังนี้แล้ว

8.2.1.....

8.2.2.....

อื่นๆ.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลข้างต้นเป็นความจริงทุกประการจึงได้ลงลายมือชื่อรับรองไว้เป็นหลักฐาน

.....วิศวกรผู้ตรวจทดสอบ

( )

หมายเหตุ

1. เอกสารนี้ ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ท้ายระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยการขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำ วิศวกรตรวจทดสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน วิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ.2528
2. ในการตรวจทดสอบหากพบว่า ส่วนประกอบและหรืออุปกรณ์ของหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ส่วนหนึ่งส่วนใดหรือทั้งหมดมีข้อบกพร่องไม่สมบูรณ์เชิงวิศวกรรม วิศวกรผู้ตรวจทดสอบต้องบันทึกข้อบกพร่องพร้อมคำแนะนำวิธีการแก้ไขในเอกสารรายงานฉบับนี้ และแจ้งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน ดำเนินการซ่อมปรับปรุงแก้ไข หรือเปลี่ยนใหม่อยู่ในสภาพเรียบร้อยให้แล้วเสร็จสมบูรณ์
3. ต้องกรอกข้อความให้ครบทุกข้อ ข้อความใดที่ไม่ได้กรอก ต้องแสดงเหตุผล มิฉะนั้น เจ้าหน้าที่จะถือว่าไม่ได้ตรวจทดสอบหรือดูสภาพส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ของหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯนั้น และอาจพิจารณาไม่รับเอกสารฯ ฉบับนี้
4. ข้อความนอกเหนือจากที่ระบุในข้อกำหนด ให้ใช้หลักวิชาการทางวิศวกรรม
5. ต้องแนบภาพถ่ายซึ่งแสดงได้ว่าการตรวจทดสอบได้กระทำโดยวิศวกรผู้ตรวจทดสอบ ทั้งนี้รายละเอียดของภาพถ่ายให้เป็นไปตามที่เจ้าหน้าที่

DIW-04-AP-FN-19(00)
21 มกราคม 2543
หน้า 1/4

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
กรมโรงงานอุตสาหกรรม

รหัส.....
เลขรับที่.....วันที่.....
(ช่องที่ 1) สำหรับเจ้าหน้าที่กรอก

เอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ข้าพเจ้า..... อายุ.....ปี อาชีพ.....
พักอยู่บ้านเลขที่.....หมู่.....ตรอก/ซอย.....ถนน.....
ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....โทรศัพท์.....
สถานที่ทำงาน.....เลขที่.....หมู่.....
ตรอก/ซอย.....ถนน.....ตำบล/แขวง.....
อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....โทรศัพท์.....
ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ.2505 เลขทะเบียน สก/วก/พก.....ตั้งแต่วันที่.....ถึงวันที่.....และไม่อยู่ในระหว่างถูกสั่งพักหรือเพิกถอนใบอนุญาตฯ ตามสำเนาบัตรประจำตัวที่แนบมาพร้อมนี้ ได้รับอนุญาตให้ขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ เลขทะเบียน 6-..... หมดอายุวันที่ 31 ธันวาคม .....

ข้าพเจ้าได้ทำการตรวจสอบหม้อต้มฯ ของโรงงาน [.....]
ซึ่งตั้งอยู่เลขที่.....หมู่ที่.....ตรอก/ซอย.....ถนน.....
ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....โทรศัพท์.....
ประกอบกิจการ.....ทะเบียนโรงงานเลขที่ [.....] หมดอายุ 31 ธันวาคม.....
ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานชื่อ.....จำนวนคนงาน.....คน
ตรวจทดสอบเรียบร้อยเมื่อวันที่.....เวลา.....น. โรงงานนี้มีหม้อต้มฯ ทั้งหมด.....เครื่อง
หม้อต้มฯ เครื่องนี้หมายเลข [.....] ขณะตรวจ หม้อต้มฯ เครื่องอื่นอยู่ในสภาพ ☐ กำลังใช้งาน ☐ หยุด

ข้าพเจ้าได้ตรวจหม้อต้มฯ เครื่องนี้ ตามหลักวิชาวิศวกรรมแล้ว ขอรับรองว่าหม้อต้มฯ และอุปกรณ์ทุกส่วนของหม้อต้มฯ เป็นไปตามรายละเอียดที่แสดงไว้ในเอกสารนี้ และหม้อต้มฯ เครื่องนี้สามารถใช้งานได้โดยปลอดภัย**เป็นระยะเวลา 1 ปี นับตั้งแต่วันที่ตรวจสอบ** ข้าพเจ้าจึงลงลายมือชื่อไว้เป็นหลักฐาน

(ลงชื่อ).....
(.....)
วิศวกรผู้ตรวจสอบ

(ลงชื่อ).....
(.....)
(ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน)

หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หมายเลข.....ติดตั้งเมื่อปี.....สร้างโดย.....
ผู้ควบคุมการใช้งานชื่อ.....เลขทะเบียน.....หมดอายุ พ.ศ.....
ผู้ควบคุมการใช้งานชื่อ.....เลขทะเบียน.....หมดอายุ พ.ศ.....

1. **ตัวหม้อต้มฯ**

หม้อต้มฯ เครื่องนี้เป็นแบบ.....ใช้งานมาแล้ว.....ปี
หมายเลขเครื่อง.....สร้างโดย.....
ออกแบบให้ใช้อุณหภูมิสูงสุด.....พื้นที่ผิวรับความร้อน.....
การเคลื่อนย้ายหม้อต้มฯ ☐ ไม่เคย ☐ เคย เมื่อ.....จากที่ใด.....
ชื่อผู้ควบคุมหม้อต้มฯ..... ☐ ยังไม่ได้ขึ้นทะเบียนเป็นผู้ควบคุมประจำ
☐ ขึ้นทะเบียนเป็นผู้ควบคุมประจำแล้ว เลขที่.....หมดอายุวันที่ 31 ธันวาคม.....
การต่อแผ่นเหล็กหม้อต้มฯ เป็นแบบ ☐ เชื่อม ☐ ..... เปลือกหม้อต้มฯ หนา.....
ฉนวนหุ้มหม้อต้มฯ ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ ☐ ใยแก้ว ☐ Asbestos ☐ .....
ขนาดหม้อต้มฯ ∅ ..... ยาว..... จำนวน.....ท่อ
ท่อของเหลวที่เป็นสื่อนำความร้อนภายในหม้อต้มฯ เป็นชนิด.....
ขนาด ∅ ..... ยาว..... จำนวน.....ท่อ
ช่องทำความสะอาดภายในหม้อต้มฯ ☐ ไม่มี ☐ มี จำนวน..... .ช่อง
ห้องเผาไหม้ ขนาด..... หนา.....

2. **ของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน**

ของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนคือ.....ปริมาณทั้งหมดที่ใช้.....
คุณสมบัติของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน
อุณหภูมิจุดวาบไฟ (Flash Point temperature).....
อุณหภูมิจุดติดไฟ (Fire Point temperature).....
อุณหภูมิจุดติดไฟได้เอง (Auto-ignition temperature).....
ความหนืด (Viscosity).....

3. **อุปกรณ์ของหม้อต้มฯ**

3.1 ระบบของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน
ถังพักของเหลวที่เป็นสื่อนำความร้อน (Storage tank) ขนาด ∅..... ยาว.....
มีหลอดแก้ว จำนวน.....ชุด
เครื่องควบคุมของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ..... .....
เครื่องสูบของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน เป็นแบบ ☐ Reciprocating ☐ Turbine
☐ อื่น ๆ ..... จำนวน.....ชุด มีอัตราการไหล.....
โดยใช้พลังงานจาก ☐ ไฟฟ้า ☐ อื่น ๆ ..... คิดเป็นพลังงาน.....แรงม้าหรือ.....

3.2 ระบบการส่งของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน
ท่อส่งของเหลวฯ เป็นชนิด..... ขนาด ∅..... ยาว.....
ฉนวนหุ้ม ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ..... .....
ท่ออ่อน (Flexible pipe) ☐ ไม่มี ☐ มี ขนาด ∅..... จำนวน.....ชุด
ที่ระบายอากาศ (Vent) ในระบบท่อส่งของเหลวฯ ☐ ไม่มี ☐ มี จำนวน.....ชุด

วาล์วท่อส่งของเหลวฯ (Main Valve) ขนาด ขนาด ∅..... จำนวน.....ชุด

วาล์วกันกลับ (Check Valve) ที่ท่อส่งของเหลวฯ ขนาด ขนาด ∅..... จำนวน.....ชุด

ลิ้นนิรภัย (Safety Valve) ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ..... ขนาด ∅.....

จำนวน.....ชุด ระบายของเหลวที่ความดัน.....

3.3 ระบบความร้อนของของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนของหม้อต้มฯ

อุณหภูมิที่ใช้งานปกติ (Working temperature).....อุณหภูมิก่อนเข้าหม้อต้มฯ.....

เกจวัดอุณหภูมิ (Temperature gauge) จำนวน.....ชุด สเกลสูงสุดอ่านได้.....

เครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ (Thermostat) ☐ ไม่มี ☐ มี จำนวน.....ชุด

ตั้งไว้ที่อุณหภูมิ..... Diff.Pressure.....

3.4 ระบบความดันของของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน

ความดันใช้งานปกติ (Working Pressure).....

เกจวัดความดัน (Pressure gauge) จำนวน.....ชุด สเกลสูงสุดอ่านได้.....

สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure Control Switch) ☐ ไม่มี ☐ มี จำนวน.....ชุด

ตั้งไว้ที่ความดัน.....Diff.Pressure.....

3.5 ระบบการเผาไหม้

เชื้อเพลิงที่ใช้ ☐ ฟืน ☐ น้ำมันเตาเกรด..... ☐ อื่น ๆ .....

ปริมาณการใช้.....(ต่อหน่วยเวลา)

เครื่องอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง (Oil Heater) ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ..... .....

อุ่นถึงอุณหภูมิ.....

ระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ..... .....

ขนาดความสามารถ.....

การจัดทิศทางเปลวไฟ ☐ 1 Pass ☐ 2 Pass ☐ 3 Pass ☐ .....

ปล่องไฟขนาด.....สูง.....ลมช่วยในการเผาไหม้ ☐ ธรรมชาติ ☐ พัดลม

ขนาด.....สายล่อฟ้า ☐ ไม่มี ☐ มี

3.6 ระบบสัญญาณเตือนภัย ☐ ไม่มี ☐ มี เป็นแบบ ☐ กระดิ่งไฟฟ้า ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....

3.7 เครื่องถ่ายเทความร้อน (Heat Exchange) จำนวน.....ชุด

เครื่อง.....ขนาด.....จำนวน.....ชุด ใช้อุณหภูมิ.....

เครื่อง.....ขนาด.....จำนวน.....ชุด ใช้อุณหภูมิ.....

เครื่อง.....ขนาด.....จำนวน.....ชุด ใช้อุณหภูมิ.....

DIW-04-AP-FN-19(00)
21 มกราคม 2543
หน้า 4/4

รายงานผลการตรวจหม้อต้มฯ ก่อนรับรอง

ท่อของเหลวฯ ภายในหม้อต้มฯ	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
ท่อส่งของเหลวฯ	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
ถังพักของเหลวฯ	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
หลอดแก้วที่ถังพักของเหลวฯ	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
เครื่องสูบของเหลวฯ	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
ท่ออ่อน	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
วาล์วปิด-เปิด	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
เกจวัดความดัน	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
เกจวัดอุณหภูมิ	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
ระบบสัญญาณเตือนภัย	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
เครื่องควบคุมของเหลวฯ	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
สวิตช์ควบคุมความดัน	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย
เครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ	☐ เรียบร้อย	☐ ไม่เรียบร้อย

รายละเอียดของส่วนที่บกพร่องและอื่น ๆ .....
.....
.....
ได้ดำเนินการซ่อมแซมแก้ไขจนเป็นที่เรียบร้อยสมบูรณ์ก่อนลงลายมือชื่อรับรองแล้ว

ลงชื่อ.....
(วิศวกรผู้ตรวจสอบ)

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
กรมโรงงานอุตสาหกรรม

รายงานผลการตรวจทดสอบความปลอดภัยในการใช้หม้อต้มฯ

<u>การตรวจสอบ (Inspection)</u>

1. ประวัติการชำรุดและการซ่อมแซมโครงสร้าง อุปกรณ์ ในรอบ 1 ปี ที่ผ่านมา ดังนี้

1.ลักษณะการชำรุด.....ซ่อมโดย.....เมื่อ.....

2. ลักษณะการชำรุด.....ซ่อมโดย.....เมื่อ.....

3. ลักษณะการชำรุด.....ซ่อมโดย.....เมื่อ.....

4. วิศวกรควบคุมและอำนวยการซ่อม ชื่อ.....ทะเบียนเลขที่.....

2. การตรวจสอบสภาพภายนอก (External Inspectin)

การติดตั้งหม้อต้มฯ ..... การติดตั้งระบบท่อ.....

สภาพภายนอกหม้อต้มฯ (โครงสร้าง).....

การติดตั้งอุปกรณ์ทั่วไป หรือ อุปกรณ์ความปลอดภัย ตามกฎหมายกำหนด ถูกต้อง ไม่ถูกต้อง(ระบุ).....

.....

.....

3. การตรวจสอบสภาพภายใน (Internal Inspectin)

3.1. สภาพผิวด้านสัมผัสไฟ

สภาพห้องเผาไหม้ ท่อน้ำมัน ผนังเตา ผนังหน้า-หลัง Smoke Chamber ปูนทนไฟ อิฐทนไฟ ฉนวนกันความร้อน (ลักษณะการชำรุด เสียรูป แตกร้าว รั่วซึม กัดกร่อน ขี้เถ้า เขม่า หรือ ความผิดปกติต่างๆ).....

.....

.....

4. การทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างโดยการอัดความดัน (Hydrostatic Test)

กรณี สร้างใหม่ ประจำปี ดัดแปลง ซ่อมแซม เปลี่ยนโครงสร้าง อื่น ๆ.....

ทดสอบโดยใช้.....ที่ความดัน ..... ผลการทดสอบ ปกติ ควรปรับปรุง

หากควรปรับปรุง สาเหตุ.....วิธีการปรับปรุง.....

การทำงานของลิ้นนิรภัย (Safety Valve) ผลการทดสอบ ปกติ ควรปรับปรุง

หากควรปรับปรุง สาเหตุ.....วิธีการปรับปรุง.....

5. การตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบหรืออุปกรณ์ความปลอดภัย (Functional Test)

- เกจวัดความดัน ปกติ ควรปรับปรุง .....
- เครื่องสูบน้ำมัน(Pump) ปกติ ควรปรับปรุง .....
- เครื่องควบคุมระดับน้ำมัน ปกติ ควรปรับปรุง .....
- ระบบสัญญาณเตือนภัย ปกติ ควรปรับปรุง .....
- เครื่องควบคุมความดัน (Pressure Control Switch) ปกติ ควรปรับปรุง .....
- หลอดแก้วบอกระดับน้ำมัน ปกติ ควรปรับปรุง .....

6. การตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบหรืออุปกรณ์ทั่วไป (General Equipment)

- การทำงานของเกจวัดอุณหภูมิปล่อง ปกติ ควรปรับปรุง .....
- ภาชนะเก็บน้ำมัน รวมถึงระบบท่อ ปกติ ควรปรับปรุง .....
- ระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า ปกติ ควรปรับปรุง .....
- ฉนวนทั้งหมด (ตัวหม้อต้มฯ ระบบท่อ อุปกรณ์การถ่ายเทความร้อน ฯลฯ) ปกติ ควรปรับปรุง .....

-2-

7. รายละเอียดของส่วนที่บกพร่องเพิ่มเติม และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข

1.....

2.....

3.....

4.....

5.....

8. สรุปผลการตรวจสอบ

8.1. ขอรับรองว่าหม้อต้มฯเครื่องนี้สามารถใช้งานได้โดยปลอดภัยเป็นเวลา 1 ปีนับตั้งแต่วันที่ตรวจสอบ

8.2. ขอรับรองว่าหม้อต้มฯเครื่องนี้ตามข้อ 8.1. และผู้ประกอบกิจการโรงงานได้แก้ไขตามรายละเอียด ดังนี้แล้ว

8.2.1.....

8.2.2.....

อื่นๆ.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลข้างต้นเป็นความจริงทุกประการจึงได้ลงลายมือชื่อรับรองไว้เป็นหลักฐาน

.....วิศวกรผู้ตรวจทดสอบ

( )

หมายเหตุ

1.เอกสารนี้ ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ท้ายระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยการขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำ วิศวกรตรวจทดสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน วิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ.2528

2.ในการตรวจทดสอบหากพบว่า ส่วนประกอบและหรืออุปกรณ์ของหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ส่วนหนึ่งส่วนใดหรือทั้งหมดมีข้อบกพร่องไม่สมบูรณ์เชิงวิศวกรรม วิศวกรผู้ตรวจทดสอบต้องบันทึกข้อบกพร่องพร้อมคำแนะนำวิธีการแก้ไขในเอกสารรายงานฉบับนี้ และแจ้งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน ดำเนินการซ่อมปรับปรุงแก้ไข หรือเปลี่ยนใหม่อยู่ในสภาพเรียบร้อยให้แล้วเสร็จสมบูรณ์

3.ต้องกรอกข้อความให้ครบทุกข้อ ข้อความใดที่ไม่ได้กรอก ต้องแสดงเหตุผล มิฉะนั้น เจ้าหน้าที่จะถือว่าไม่ได้ตรวจทดสอบหรือดูสภาพส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ของหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯนั้น และอาจพิจารณาไม่รับเอกสารฯ ฉบับนี้

4.ข้อความนอกเหนือจากที่ระบุในข้อกำหนด ให้ใช้หลักวิชาการทางวิศวกรรม

5.ต้องแนบภาพถ่ายซึ่งแสดงได้ว่าการตรวจทดสอบได้กระทำโดยวิศวกรผู้ตรวจทดสอบ ทั้งนี้รายละเอียดของภาพถ่ายให้เป็นไปตามที่ เจ้าหน้าที่ กรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำกับดูแลการตรวจทดสอบกำหนด

1.3.3 การหยุดใช้งานชั่วคราวและการยกเลิกการใช้งานหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

การยกเลิกการใช้งานหม้อน้ำ และหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เพื่อเคลื่อนย้ายหรือทำลาย ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องแจ้งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบก่อนดำเนินการเคลื่อนย้ายหรือทำลายไม่น้อยกว่า 30 วันทำการ

1.3.4 การขึ้นทะเบียนและต่ออายุทะเบียนผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน นอกจากนี้ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องแสดงใบอนุญาตผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ไว้ ณ ที่เปิดเผยและเห็นได้ง่ายในบริเวณที่ติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มฯ แบบฟอร์มคำขอขึ้นทะเบียนเป็นผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ส่วนการต่ออายุทะเบียนเป็นผู้ควบคุมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนนั้น ให้ใช้แบบฟอร์มคำขอต่ออายุทะเบียนเป็นผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

1.3.5 การขึ้นทะเบียนและต่ออายุทะเบียนวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ

ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำที่มีกำลังการผลิตไอน้ำเครื่องละตั้งแต่ 20 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป นอกจากจะต้องดำเนินการให้มีผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำแล้ว ต้องจัดให้มีวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบการใช้งานหม้อน้ำตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด แบบฟอร์มคำขอขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ ส่วนการต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำนั้น ให้ใช้แบบฟอร์มคำขอต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ

1.3.6 การขึ้นทะเบียนและต่ออายุทะเบียนวิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

วิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน คือ วิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรที่ทำหน้าที่ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้งและควบคุมการติดตั้งตรวจทดสอบ วิเคราะห์และจัดทำรายงานความปลอดภัยในการใช้งานของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พร้อมทั้งแนะนำวิธีการแก้ไขให้ถูกต้อง เป็นไปตามหลักวิศวกรรม แบบฟอร์มคำขอขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ส่วนการต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ให้ใช้แบบฟอร์มคำขอต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

DIW-04-AP-FN-09(00)

21 มกราคม 2543

หน้า 1/1

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คำขอขึ้นทะเบียนเป็นผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

ติดรูป 1 นิ้ว

เขียนที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี สัญชาติ.....

อยู่บ้านเลขที่.....หมู่ที่ .....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

โทรศัพท์..... โทรสาร .....E-mail.....

บัตรประชาชนเลขที่ ☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐☐ ☐☐ ☐

มีความประสงค์ขออนุญาตขึ้นทะเบียนเป็นผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

ของโรงงาน .....

ตั้งอยู่ เลขที่ ..... ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐ หมดอายุ 31 ธันวาคม พ.ศ. ☐

พร้อมนี้ได้แนบเอกสารประกอบคำขอ ดังนี้

1. รูปถ่ายปัจจุบันหน้าตรงไม่สวมหมวก ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 1 รูป (ติดรูปในคำขอ)
2. สำเนาบัตรประจำตัวประชาชน จำนวน 1 ฉบับ
3. สำเนาหลักฐานการศึกษาเป็นผู้สำเร็จการศึกษา ปวส. สาขาช่างยนต์ ช่างกลโรงงาน ช่างเทคนิคอุตสาหกรรม /สำเนาหนังสือรับรองว่าเป็นผู้ผ่านการทดสอบหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือสถาบันอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมรับรอง จำนวน 1 ฉบับ
4. สำเนาใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (รง.4) จำนวน 1 ชุด

ลงชื่อ .....ผู้ยื่นคำขอ

(.....)

การรับรองของผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ข้าพเจ้า.....เป็นผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ชื่อโรงงาน.....ผลิต.....

ตั้งอยู่เลขที่.....หมู่ที่.....ซอย.....ถนน.....

แขวง/ตำบล.....เขต/อำเภอ.....จังหวัด.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....E-mail.....

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐

ขอรับรองว่า.....ได้ปฏิบัติงานอยู่ในโรงงานของข้าพเจ้าจริง

ลงชื่อ .....ผู้ประกอบกิจการโรงงาน/

(.....) ผู้ได้รับมอบอำนาจ

หมายเหตุ 1. กรณีย้ายโรงงานผู้ขอต้องทำหนังสือแจ้งย้ายโรงงาน เพื่อขอขึ้นทะเบียนใหม่ด้วย

2. กรณีผู้ประกอบกิจการโรงงานเป็นนิติบุคคล ผู้ลงนามรับรองต้องเป็นผู้มีอำนาจลงนามตามที่ระบุไว้ในหนังสือรับรองการจดทะเบียนของนิติบุคคล พร้อมประทับตราสำคัญของนิติบุคคลด้วย

3. ผู้ได้รับมอบอำนาจ ต้องมีหนังสือมอบอำนาจ จากผู้ประกอบกิจการโรงงาน

DIW-04-AP-FN-10(00)
21 มกราคม 2543
หน้า 1/1

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คำขอต่ออายุทะเบียนเป็นผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

ติดรูป 1 นิ้ว

เขียนที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี สัญชาติ.....

อยู่บ้านเลขที่.....หมู่ที่ .....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

โทรศัพท์..... โทรสาร .....E-mail.....

บัตรประชาชนเลขที่ ☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐☐ ☐☐ ☐

มีความประสงค์ขออนุญาตต่ออายุทะเบียนเป็นผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

ทะเบียนเลขที่ ☐ - ☐ - ☐ ของโรงงาน.....

ตั้งอยู่ เลขที่ ..... ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐ หมดอายุ 31 ธันวาคม พ.ศ. ☐

พร้อมนี้ได้แนบเอกสารประกอบคำขอ ดังนี้

1. รูปถ่ายปัจจุบันหน้าตรงไม่สวมหมวก ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 1 รูป (ติดรูปในคำขอ)
2. สำเนาหนังสืออนุญาตให้ขึ้นทะเบียนเป็นผู้ควบคุมหม้อไอน้ำ จำนวน 1 ฉบับ

ลงชื่อ .....ผู้ยื่นคำขอ

(.....)

การรับรองของผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ข้าพเจ้า.....เป็นผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ชื่อโรงงาน.....ผลิต.....

ตั้งอยู่เลขที่.....หมู่ที่.....ซอย.....ถนน.....

แขวง/ตำบล.....เขต/อำเภอ.....จังหวัด.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....E-mail.....

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐

ขอรับรองว่า.....ได้ปฏิบัติงานอยู่ในโรงงานของข้าพเจ้าจริง

ลงชื่อ .....ผู้ประกอบกิจการโรงงาน/

(.....) ผู้ได้รับมอบอำนาจ

หมายเหตุ 1. กรณีย้ายโรงงานผู้ขอต้องทำหนังสือแจ้งย้ายโรงงาน เพื่อขอขึ้นทะเบียนใหม่ด้วย

2. กรณีผู้ประกอบกิจการโรงงานเป็นนิติบุคคล ผู้ลงนามรับรองต้องเป็นผู้มีอำนาจลงนามตามที่ระบุไว้ในหนังสือรับรองการจดทะเบียนของนิติบุคคล พร้อมประทับตราสำคัญของนิติบุคคลด้วย

3. ผู้ได้รับมอบอำนาจ ต้องมีหนังสือมอบอำนาจ จากผู้ประกอบกิจการโรงงาน

DIW-04-AP-FN-13(00)

21 มกราคม 2543

หน้า 1/1

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คำขอขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำ

ติดรูป 1 นิ้ว

เขียนที่……

วันที่…..เดือน……...……พ.ศ……..…

ข้าพเจ้า……..……อายุ……..…ปี สัญชาติ…….

อยู่บ้านเลขที่……..…หมู่ที่ ……...…ตรอก/ซอย……..……ถนน……..

ตำบล/แขวง……..……..อำเภอ/เขต……จังหวัด……..……..

โทรศัพท์…….…. โทรสาร …… E-mail……

บัตรประชาชนเลขที่ ☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐☐ ☐☐ ☐

มีความประสงค์ขออนุญาตขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำ

ของโรงงาน……..……..

ตั้งอยู่ เลขที่ …… ตรอก/ซอย……..……..…ถนน…….……..

ตำบล/แขวง……....อำเภอ/เขต……จังหวัด……...

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐ หมดอายุ 31 ธันวาคม พ.ศ. ☐

พร้อมนี้ได้แนบเอกสารประกอบคำขอ ดังนี้

1. รูปถ่ายปัจจุบันหน้าตรงไม่สวมหมวก ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 1 รูป (ติดรูปในคำขอ)
2. สำเนาภาพถ่ายบัตรประจำตัวผู้ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 หรือพระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542 จำนวน 1 ชุด
3. สำเนาใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (รง.4) จำนวน 1 ชุด

ลงชื่อ ……...……..ผู้ยื่นคำขอ

(……..…...)

การรับรองของผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ข้าพเจ้า……..เป็นผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ชื่อโรงงาน……ผลิต……..……

ตั้งอยู่เลขที่……หมู่ที่…..……..ซอย……ถนน……

แขวง/ตำบล……เขต/อำเภอ……จังหวัด……..

โทรศัพท์……..……..โทรสาร……..……..E-mail……..

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐

ขอรับรองว่า นาย……ได้ปฏิบัติงานเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำในโรงงานของข้าพเจ้าจริง

ลงชื่อ ……..……ผู้ประกอบกิจการโรงงาน/

(……..…….) ผู้ได้รับมอบอำนาจ

หมายเหตุ 1. กรณีย้ายโรงงานผู้ขอต้องทำหนังสือแจ้งย้ายโรงงานเพื่อขอขึ้นทะเบียนใหม่ด้วย

2. กรณีผู้ประกอบกิจการโรงงานเป็นนิติบุคคล ผู้ลงนามรับรองต้องเป็นผู้มีอำนาจลงนามตามที่ระบุไว้ในหนังสือรับรองการจดทะเบียนของนิติบุคคลพร้อมประทับตราสำคัญของนิติบุคคลด้วย

3. ผู้ได้รับมอบอำนาจ ต้องมีหนังสือมอบอำนาจ จากผู้ประกอบกิจการโรงงาน

DIW-04-AP-FN-14(00)

21 มกราคม 2543

หน้า 1/1

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คำขอต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำ

เขียนที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ติดรูป 1 นิ้ว

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี สัญชาติ.....

อยู่บ้านเลขที่.....หมู่ที่ .....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

โทรศัพท์..... โทรสาร ..... E-mail.....

บัตรประชาชนเลขที่ ☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐☐ ☐☐ ☐

มีความประสงค์ขออนุญาต ต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำ

ทะเบียนเลขที่ ☐☐☐ - ☐☐☐ - ☐☐☐ ของโรงงาน.....

ตั้งอยู่ เลขที่ ..... ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐☐☐☐☐☐☐☐☐☐ หมดอายุ 31 ธันวาคม พ.ศ. ☐☐☐☐

พร้อมนี้ได้แนบเอกสารประกอบคำขอ ดังนี้

1. รูปถ่ายปัจจุบันหน้าตรงไม่สวมหมวก ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 1 รูป (ติดรูปในคำขอ)
2. สำเนาภาพถ่ายบัตรประจำตัวผู้ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 หรือพระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542 จำนวน 1 ชุด
3. สำเนาหนังสืออนุญาตให้ขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำ จำนวน 1 ชุด

ลงชื่อ .....ผู้ยื่นคำขอ

(.....)

การรับรองของผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ข้าพเจ้า.....เป็นผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ชื่อโรงงาน.....ผลิต.....

ตั้งอยู่เลขที่.....หมู่ที่.....ซอย.....ถนน.....

แขวง/ตำบล.....เขต/อำเภอ.....จังหวัด.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....E-mail.....

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐☐☐☐☐☐☐☐☐☐

ขอรับรองว่า นาย.....ได้ปฏิบัติงานเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำในโรงงานของข้าพเจ้าจริง

ลงชื่อ .....ผู้ประกอบกิจการโรงงาน/

(.....) ผู้ได้รับมอบอำนาจ

หมายเหตุ 1. กรณีย้ายโรงงานผู้ขอต้องทำหนังสือแจ้งย้ายโรงงานเพื่อขอขึ้นทะเบียนใหม่ด้วย

2. กรณีผู้ประกอบกิจการโรงงานเป็นนิติบุคคล ผู้ลงนามรับรองต้องเป็นผู้มีอำนาจลงนามตามที่ระบุไว้ในหนังสือรับรองการจดทะเบียนของนิติบุคคลพร้อมประทับตราสำคัญของนิติบุคคลด้วย

3. ผู้ได้รับมอบอำนาจ ต้องมีหนังสือมอบอำนาจ จากผู้ประกอบกิจการโรงงาน

DIW-04-AP-FN-11(00)
21 มกราคม 2543
หน้า 1/1

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คำขอขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

ติดรูป
1 นิ้ว

เขียนที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี สัญชาติ.....

อยู่บ้านเลขที่.....หมู่ที่ .....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

โทรศัพท์..... โทรสาร .....E-mail.....

บัตรประชาชนเลขที่ ☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐☐ ☐☐ ☐

สถานที่ทำงานเลขที่.....หมู่ที่ .....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

โทรศัพท์..... โทรสาร .....E-mail.....

ได้รับใบอนุญาตให้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 หรือ พระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542 ประเภท .....ทะเบียนเลขที่ .....

หมดอายุ .....

มีความประสงค์ขออนุญาตขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ของกรมโรงงาน อุตสาหกรรม

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ข้าพเจ้ามิได้ถูกสั่งให้พักใช้หรือเพิกถอนใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมจากสภาวิศวกรแต่ประการใด พร้อมนี้ได้แนบเอกสารประกอบคำขอ ดังนี้

1. รูปถ่ายปัจจุบันหน้าตรงไม่สวมหมวก ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 1 รูป (ติดรูปในคำขอ)
2. สำเนาภาพถ่ายบัตรประจำตัวผู้ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 หรือพระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542 จำนวน 1 ชุด

ลงชื่อ .....ผู้ยื่นคำขอ

(.....)

DIW-04-AP-FN-12(00)
21 มกราคม 2543
หน้า 1/1

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คำขอต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

ติดรูป
1 นิ้ว

เขียนที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี สัญชาติ.....

อยู่บ้านเลขที่.....หมู่ที่ .....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

โทรศัพท์..... โทรสาร .....E-mail.....

บัตรประชาชนเลขที่ ☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐☐ ☐☐ ☐

สถานที่ทำงานเลขที่.....หมู่ที่ .....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

โทรศัพท์..... โทรสาร .....E-mail.....

ได้รับใบอนุญาตให้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 หรือ พระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542 ประเภท .....ทะเบียนเลขที่ .....

หมดอายุ .....

มีความประสงค์ขออนุญาตต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ทะเบียนเลขที่ ☐ - ☐ - ☐

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ข้าพเจ้ามิได้ถูกสั่งให้พักใช้หรือเพิกถอนใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมจากสภาวิศวกรแต่ประการใด พร้อมนี้ได้แนบเอกสารประกอบคำขอ ดังนี้

1. รูปถ่ายปัจจุบันหน้าตรงไม่สวมหมวก ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 1 รูป (ติดรูปในคำขอ)
2. สำเนาภาพถ่ายบัตรประจำตัวผู้ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 หรือพระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542 จำนวน 1 ชุด

ลงชื่อ .....ผู้ยื่นคำขอ

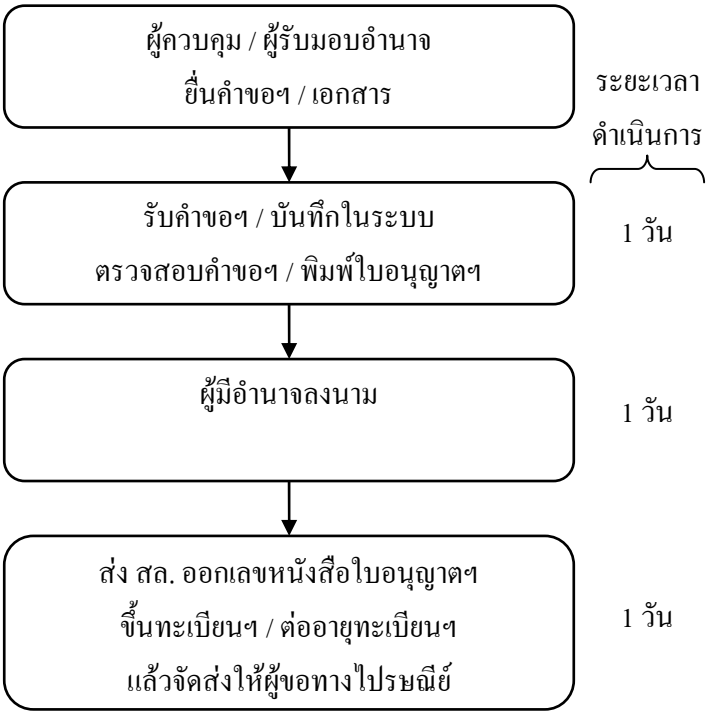
(.....)

1.3.7 การขึ้นทะเบียนและต่ออายุทะเบียนวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

วิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน คือ วิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบและรับรองแบบ ควบคุมตรวจสอบ กำกับดูแลการสร้าง การซ่อมแซม หรือการดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ให้เป็นไปตามแบบและรายละเอียดที่ผ่านการรับรอง ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องทำการสร้าง หรือดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ได้รับการออกแบบและตรวจรับรองแบบ โดยหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนเท่านั้น แบบฟอร์มคำขอขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ส่วนการต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ให้ใช้แบบฟอร์มคำขอต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

1.3.8 ขั้นตอนการจัดการเอกสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ในการยื่นเอกสารทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง ใช้งาน ควบคุม ตรวจสอบ ซ่อมแซม และยกเลิกการใช้ หม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ดังที่กล่าวมาข้างต้นกับทางกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม มีขั้นตอนการยื่นเอกสาร และการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับเอกสารดังแสดงในรูปที่ ก-3



รูปที่ ก-3 ขั้นตอนการยื่นเอกสาร และการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับเอกสาร

DIW-04-AP-FN-15(00)
21 มกราคม 2543
หน้า 1/1

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คำขอขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

ติดรูป 1 นิ้ว

เขียนที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี สัญชาติ.....

อยู่บ้านเลขที่.....หมู่ที่ .....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

โทรศัพท์..... โทรสาร .....E-mail.....

บัตรประชาชนเลขที่ ☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐☐ ☐☐ ☐

มีความประสงค์ขออนุญาตขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

ของโรงงาน.....

ตั้งอยู่ เลขที่ ..... ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐ หมดอายุ 31 ธันวาคม พ.ศ. ☐

พร้อมนี้ได้แนบเอกสารประกอบคำขอ ดังนี้

1. รูปถ่ายปัจจุบันหน้าตรงไม่สวมหมวก ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 1 รูป (ติดรูปในคำขอ)
2. สำเนาภาพถ่ายบัตรประจำตัวผู้ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 หรือพระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542 จำนวน 1 ชุด
3. สำเนาใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ร.ง.4) จำนวน 1 ชุด
4. แบบรายละเอียดพร้อมรายการคำนวณของหม้อไอน้ำ ที่จะทำการซ่อมหรือสร้าง จำนวน 1 ชุด

ลงชื่อ .....ผู้ยื่นคำขอ

(.....)

การรับรองของผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ข้าพเจ้า.....เป็นผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ชื่อโรงงาน.....ผลิต.....

ตั้งอยู่เลขที่.....หมู่ที่.....ซอย..... ถนน..... .....

แขวง/ตำบล.....เขต/อำเภอ.....จังหวัด.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....E-mail .....

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐

ขอรับรองว่า นาย.....ได้ปฏิบัติงานเป็นวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ในโรงงานของข้าพเจ้าจริง

ลงชื่อ .....ผู้ประกอบกิจการโรงงาน/

(.....) ผู้ได้รับมอบอำนาจ

หมายเหตุ 1. กรณีย้ายโรงงานผู้ขอต้องทำหนังสือแจ้งย้ายโรงงาน เพื่อขอขึ้นทะเบียนใหม่ด้วย

2. กรณีผู้ประกอบกิจการโรงงานเป็นนิติบุคคล ผู้ลงนามรับรองต้องเป็นผู้มีอำนาจลงนามตามที่ระบุไว้ในหนังสือรับรองการจดทะเบียนของนิติบุคคล พร้อมประทับตราสำคัญของนิติบุคคลด้วย

3. ผู้ได้รับมอบอำนาจ ต้องมีหนังสือมอบอำนาจ จากผู้ประกอบกิจการโรงงาน

DIW-04-AP-FN-16(00)

21 มกราคม 2543

หน้า 1/1

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คำขอต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

เขียนที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ติดรูป 1 นิ้ว

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี สัญชาติ.....

อยู่บ้านเลขที่.....หมู่ที่ .....ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

โทรศัพท์..... โทรสาร ..... E-mail .....

บัตรประชาชนเลขที่ ☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐☐ ☐☐ ☐

มีความประสงค์ขออนุญาตต่ออายุทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

ทะเบียนเลขที่ ☐☐☐☐ - ☐☐☐☐ - ☐☐☐☐ ของโรงงาน.....

ตั้งอยู่ เลขที่ ..... ตรอก/ซอย.....ถนน.....

ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐☐☐☐☐☐☐☐☐☐ หมดอายุ 31 ธันวาคม พ.ศ. ☐☐☐☐

พร้อมนี้ได้แนบเอกสารประกอบคำขอ ดังนี้

1. รูปถ่ายปัจจุบันหน้าตรงไม่สวมหมวก ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 1 รูป (ติดรูปในคำขอ)
2. สำเนาภาพถ่ายบัตรประจำตัวผู้ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 หรือพระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ. 2542 จำนวน 1 ชุด
3. สำเนาใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (รง.4) จำนวน 1 ชุด

ลงชื่อ .....ผู้ยื่นคำขอ

(.....)

การรับรองของผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ข้าพเจ้า.....เป็นผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ชื่อโรงงาน.....ผลิต.....

ตั้งอยู่เลขที่.....หมู่ที่.....ซอย.....ถนน.....

แขวง/ตำบล.....เขต/อำเภอ.....จังหวัด.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....E-mail.....

ทะเบียนโรงงานเลขที่ ☐☐☐☐☐☐☐☐☐☐

ขอรับรองว่า นาย.....ได้ปฏิบัติงานเป็นวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ในโรงงานของข้าพเจ้าจริง

ลงชื่อ .....ผู้ประกอบกิจการโรงงาน/

(.....) ผู้ได้รับมอบอำนาจ

หมายเหตุ 1. กรณีย้ายโรงงานผู้ขอต้องทำหนังสือแจ้งย้ายโรงงาน เพื่อขอขึ้นทะเบียนใหม่ด้วย

2. กรณีผู้ประกอบกิจการโรงงานเป็นนิติบุคคล ผู้ลงนามรับรองต้องเป็นผู้มีอำนาจลงนามตามที่ระบุไว้ในหนังสือรับรองการจดทะเบียนของนิติบุคคล พร้อมประทับตราสำคัญของนิติบุคคลด้วย

3. ผู้ได้รับมอบอำนาจ ต้องมีหนังสือมอบอำนาจ จากผู้ประกอบกิจการโรงงาน

ภาคผนวก ข
ตารางแปลงหน่วย

ตารางที่ ข-1 ตารางแปลงหน่วยความดัน

หน่วย	PSI	kPa	kg/cm^2	cm H_2O	feet H_2O	inch Hg	mm Hg	inch H_2O	Atm	Bar	mPa
PSI	1	6.894757	0.070307	70.306927	2.306723	2.03602	51.71486	27.68068	0.068046	0.0689476	0.00689
kPa	0.1450377	1	0.0101972	10.19745	0.3345618	0.2952997	7.50061	4.01472	0.0096692	0.01	0.001
kg/cm^2	14.223343	98.06694	1	1,000.026	32.809312	28.95901	735.5588	393.71181	0.9678416	0.9806649	0.09806
cm H_2O	0.0142229	0.0980634	0.001	1	0.032808	0.0289581	0.7355372	0.3937	0.0009678	0.0009806	0.00098
feet H_2O	0.433515	2.968961	0.0304791	30.48	1	0.882646	22.4192	12	0.029499	0.0296896	0.00298
inch Hg	0.4911542	3.386389	0.0345316	34.53253	1.132957	1	25.4	13.595484	0.0334211	0.0338639	0.00386
mm Hg	0.0193368	0.1333225	0.0013595	1.359554	0.0446046	0.0393701	1	0.535255	0.0013158	0.0013332	0.00013
inch H_2O	0.0361263	0.2490819	0.0025422	2.54	0.08333	0.0735539	1.8682683	1	0.0024583	0.0024908	0.000249
Atm	14.696	101.32535	1.033231	1,033.263	33.8995	29.9213	760	406.794	1	1.0132535	0.1013
Bar	14.5038	100	1.019716	1019.7466	33.4833	29.53	750.0626	401.8596	0.986923	1	0.1
mPa	145.0377	1,000	10.197	10,197.45	334.56	295.299	7500.61	4014.74	9.669	10	1

หมายเหตุ: น้ำ (H_2O) ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 68 $^{\circ}F$ (20 $^{\circ}C$) และปรอท (Hg) ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 32 $^{\circ}F$ (0 $^{\circ}C$)
ตารางนี้นอกจากใช้ในการแปลงหน่วยความดัน ยังใช้ได้กับการแปลงหน่วยความแข็งแรงและความเค้นของวัสดุ (Strength & Stress) ด้วย

ตารางที่ ข-2 ตารางแปลงหน่วยอุณหภูมิ

หน่วย	Celsius	Fahrenheit	Kelvin	Rankine	Réaumur
Celsius	-	$^{\circ}F = (^{\circ}C \times 1.8) + 32$	$K = ^{\circ}C + 273.15$	$Ra = (^{\circ}C \times 1.8) + 32 + 459.67$	$^{\circ}Re = ^{\circ}C \times 0.8$
Fahrenheit	$^{\circ}C = (^{\circ}F - 32) / 1.8$	-	$K = (^{\circ}F + 459.67) / 1.8$	$Ra = ^{\circ}F + 459.67$	$^{\circ}Re = (^{\circ}F - 32) / 2.25$
Kelvin	$^{\circ}C = K - 273.15$	$^{\circ}F = (K \times 1.8) - 459.67$	-	$Ra = K \times 1.8$	$^{\circ}Re = (K - 273.15) \times 0.8$
Rankine	$^{\circ}C = (Ra - 32 - 459.67) / 1.8$	$^{\circ}F = Ra - 459.67$	$K = Ra / 1.8$	-	$^{\circ}Re = (Ra - 32 - 459.67) / 2.25$
Réaumur	$^{\circ}C = ^{\circ}Re \times 1.25$	$^{\circ}F = (^{\circ}Re \times 2.25) + 32$	$K = (^{\circ}Re \times 1.25) + 273.15$	$Ra = (^{\circ}Re \times 2.25) + 32 + 459.67$	-

ตารางที่ ข-3 ตารางแปลงหน่วยปริมาตร

หน่วย	US gallon	UK gallon	$inch^3$	ft^3	liter	m^3	barrel
US gallon	1	0.83267	231	0.13368	3.7853	0.00378	0.02381
UK gallon	1.2009	1	277.42	0.16054	4.5459	0.00455	0.02859
$inch^3$	0.004329	0.003604	1	0.000579	0.0164	0.000016	0.0001
ft^3	7.4805	6.2288	1728	1	28.316	0.02832	0.17813
liter	0.26418	0.21997	61.024	0.0353	1	0.001	0.00629
m^3	264.17	219.97	61,023.74	35.3147	1,000	1	6.2899
barrel	42	34.977	9702	5.614	158.983	0.15876	1

หมายเหตุ: หน่วย barrel ในที่นี้เป็นหน่วยตวงน้ำมัน (Oil barrel), 1 Barrel = 42 US Gallon

ตารางที่ ข-4 ตารางแปลงหน่วยอัตราการไหล

หน่วย	GPM (US)	GPM (UK)	ft^3/min	ft^3/sec	m^3/hr	m^3/min	liter/sec
GPM (US)	1	0.8327	0.1337	0.00223	0.2271	0.003785	0.06308
GPM (UK)	1.201	1	0.1605	0.002676	0.27275	0.004545	0.0758
ft^3/min	7.481	6.229	1	0.01667	1.699	0.02832	0.4719
ft^3/sec	448.83	373.7	60	1	101.94	1.699	28.32
m^3/hr	4.403	3.666	0.5886	0.00981	1	0.01667	0.2778
m^3/min	0.2642	0.22	35.3147	0.5886	60	1	16.667
liter/sec	15.85	13.2	2.119	0.0353	3.6	0.06	1

ตารางที่ ข-5 ตารางแปลงหน่วยกำลัง

หน่วย	HP	ft-lb/sec	Watt	kW	Btu/hr
HP	1	550	745.7	0.7457	2,544
ft-lb/sec	0.00182	1	1.3558	0.00136	4.626
Watt	0.00134	1	1	0.001	3.412
kW	1.34	737.6	1,000	1	3,412
Btu/hr	0.00039	0.2161	0.2931	0.00029	1

ตารางที่ ข-6 ตารางแปลงหน่วยพื้นที่

หน่วย	$inch^2$	ft^2	acre	cm^2	m^2
$inch^2$	1	0.006944		6.4516	0.0006452
ft^2	144	1		929.0304	0.0929
acre		43,560	1		4,047
cm^2	0.155	6.2288		1	0.0001
m^2	1,550.003	10.76391	0.000247	10,000	1

ตารางที่ ข-7 ตารางแปลงหน่วยความเร็ว

หน่วย	mm/s	ft/min	cm/s	ft/s	m/s
mm/s	1	0.19685	0.1	0.003281	0.001
ft/min	5.08	1	0.508	0.016667	0.00508
cm/s	10	1.9685	1	0.032808	0.01
ft/s	304.8	60	30.48	1	0.3048
m/s	1,000	196.85	100	3.2808	1

ตารางที่ ข-8 ตารางแปลงหน่วยความยาว

หน่วย	inch	ft	yard	mile	cm	m	km
inch	1	0.08333	0.027778		2.54	0.0254	
ft	12	1	0.333333		30.48	0.3048	
yard	36	3	1	0.0005682	91.44	0.9144	0.0009144
mile	63,360	5,280	1,760	1		1,609.344	1.609344
cm	0.3937	0.032808	0.010936		1	0.01	
metre	39.3701	3.28084	1.093613	0.0006214	100	1	0.001
km	39,370	3,280.8	1,093.613	0.62137	100,000	1,000	1

ตารางที่ ข-9 ตารางแปลงหน่วยความหนาแน่น

หน่วย	$lb/inch^3$	lb/ft^3	$gram/cm^3$	kg/m^3	$slug/ft^3$
$lb/inch^3$	1	1,728	27.6799	27,679.9	53.708
lb/ft^3	0.0005787	1	0.01602	16.01846	0.31081
$gram/cm^3$	0.03613	62.4281	1	1,000	1.9403
kg/m^3	0.0000361	0.06243	0.001	1	0.00194
$slug/ft^3$	0.019	32.17	0.51538	515.379	1

ตารางที่ ข-10 ตารางแปลงหน่วยน้ำหนัก (มวล)

หน่วย	pound	ounce	gram	kg	slug	stone	tonne
pound	1	16	453.6	0.453597	0.031	0.0135	0.0004536
ounce	0.0625	1	28.3495	0.028349		0.0019	
gram	0.0022	0.0353	1	0.001			
kg	2.2046	35.274	1,000	1	0.0685	0.157	0.001
slug	32.174	514.785	14,593.9	14.5939	1	2.29825	0.014594
stone	13.988	223.99	6,350.0	6.35	0.4351	1	0.00635
tonne	2,204.6			1,000	68.5213	157.48	1

หมายเหตุ: Metric tonne เรียกทั่วไปว่า Tonne มีค่า = 1,000 kg
US ton เรียกทั่วไปว่า Short ton มีค่า = 0.907185 Metric Tonne
UK ton เรียกทั่วไปว่า Long ton มีค่า = 1.01605 Metric Tonne

บรรณานุกรม

กฎกระทรวง กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549

กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร ปั้นจั่น และหม้อน้ำ พ.ศ. 2552

กรณีศึกษาการระเบิดของหม้อไอน้ำ, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 2548.

คู่มือการปฏิบัติงานที่ดีสำหรับหม้อน้ำ, โครงการพัฒนาคุณภาพหม้อน้ำในภาคอุตสาหกรรม, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 2552.

คู่มือการปรับแต่งหัวเผา, โครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือจากโรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 2547.

คู่มือการปรับแต่งหัวเผา, ศูนย์วิศวกรรมอุณหภาพ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2547.

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในระบบหม้อไอน้ำ, สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

คู่มือการอบรมโครงการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในอุปกรณ์เครื่องจักรกลางที่ใช้ในโรงงานและอาคารธุรกิจ (ด้านหม้อไอน้ำ), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

คู่มือประกอบการอบรมผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 2551.

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2549

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ พ.ศ. 2548

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของโรงสีข้าวที่ใช้หม้อน้ำ พ.ศ. 2548

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ พ.ศ. 2548

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำของโรงงาน พ.ศ. 2549

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อน้ำโรงสีข้าวที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง พ.ศ. 2549

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549

ร่างมาตรฐานวิชาชีพเรื่องระบบหม้อไอน้ำ, สภาวิศวกร, กรุงเทพฯ, 2553.

เอกสารเผยแพร่เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ชุด รู้ 'รักษ์พลังงาน ระบบไอน้ำ, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 2548.

ASME Boiler and Pressure Vessel Code, An International Code, The American Society of Mechanical Engineers, New York, USA, 2001.

Boiler Operator's Guide, 4th edition, Anthony L. Kohan, McGraw-Hill, New York, USA, 1997.

Energy Efficiency Manual, Donald R. Wulfinghoff, Energy Institute Press, Maryland, USA, 1999.

Steam Engineering Tutorials, Spirax-Sarco Ltd., USA, 2010.