



บทที่ 2

การอนุรักษ์พลังงาน สำหรับระบบไอน้ำ (Energy Conservation for Steam System)

ความสำคัญของเนื้อหาวิชา

ระบบไอน้ำเป็นระบบผลิตพลังงานความร้อน (ในรูปของไอน้ำ) ที่มีใช้งานอยู่ทั่วไปทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและในอาคารกลุ่มโรงแรม โรงพยาบาล ซึ่งระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้เชื้อเพลิงในปริมาณสูง และอาจก่อมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การบริหารจัดการ การใช้งาน การปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงระบบอุปกรณ์ รวมทั้ง การบำรุงรักษาหรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบไอน้ำ จะเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และลดมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีแก่สถานประกอบการ และช่วยลดอัตราการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เพื่อให้สถานประกอบการก้าวสู่ ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero emissions)

วัตถุประสงค์

1. รู้จักอุปกรณ์และการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไอน้ำ
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบไอน้ำ
3. ทราบวิธีตรวจวัดและประเมินประสิทธิภาพพลังงานของระบบไอน้ำ
4. ทราบมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบไอน้ำ

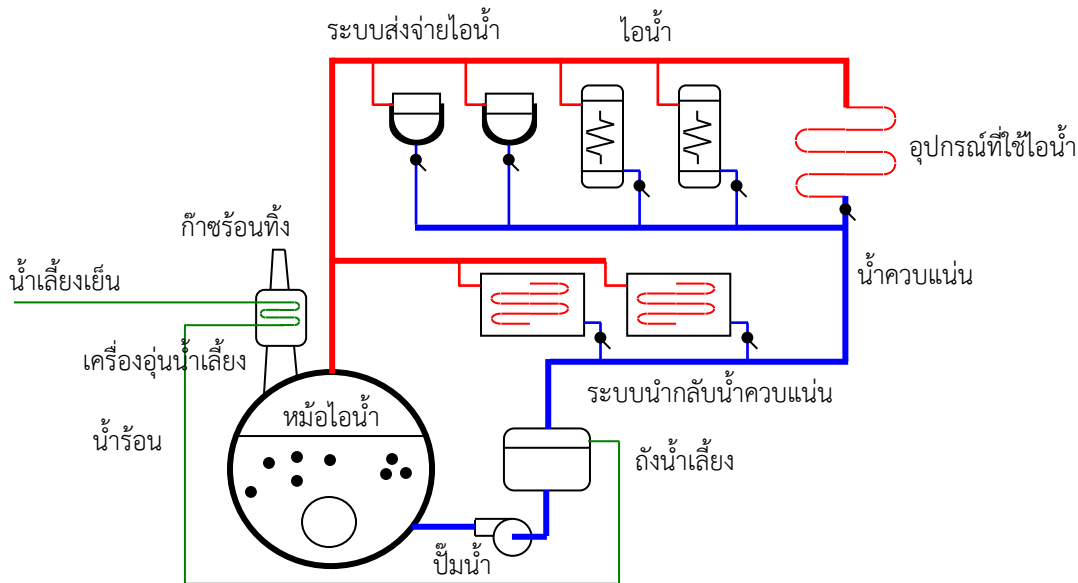
2.1 บทนำ

การอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ การอนุรักษ์พลังงานในหม้อไอน้ำ การอนุรักษ์พลังงานในระบบส่งจ่ายไอน้ำ การอนุรักษ์พลังงานจากระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น (คอนเดนเสท) และการอนุรักษ์พลังงานในอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ ซึ่งเทคนิคการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละส่วนนั้น จะต้องเริ่มจากองค์ความรู้พื้นฐานในเรื่อง ส่วนประกอบและหลักการทำงาน เพื่อนำสู่ปัญหาสาเหตุ แนวทางปรับปรุง/

เปลี่ยนแปลง และการวิเคราะห์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน ก่อนที่จะทำการปรับปรุง/เปลี่ยนแปลงให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานอย่างเป็นรูปธรรมต่อไป

2.2 ระบบไอน้ำอุตสาหกรรม

ระบบไอน้ำเป็นระบบที่มีการใช้งานในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 100°C โดยระบบไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์ และระบบย่อยต่างๆ ได้แก่ (1) หม้อไอน้ำ (2) ระบบส่งจ่ายไอน้ำ (3) อุปกรณ์ใช้ไอน้ำ และ (4) ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น (คอนเดนเสท)



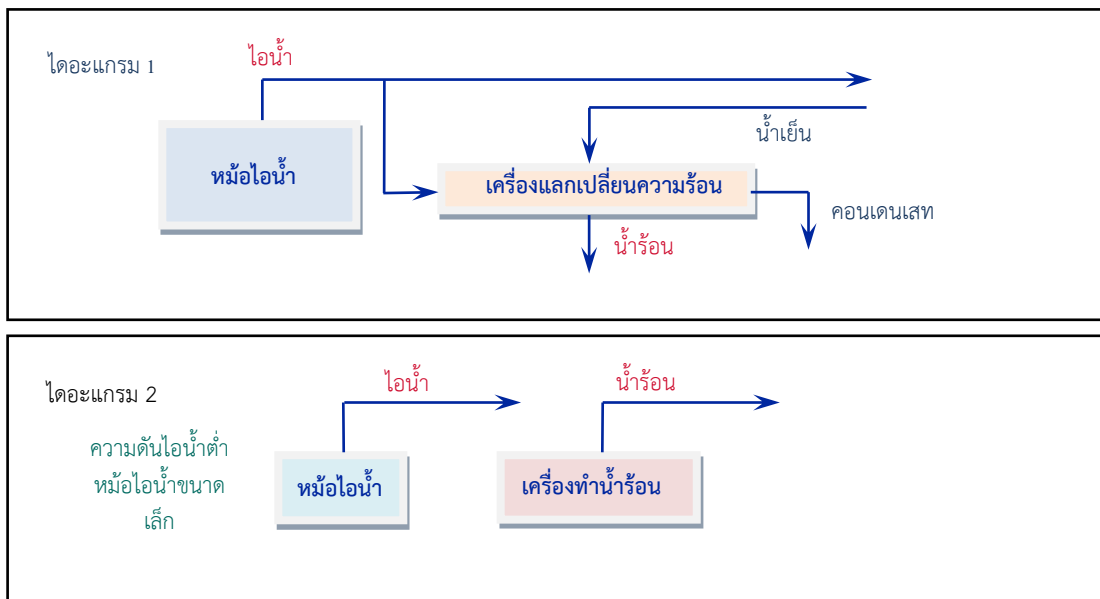
รูปที่ 2.2-1 แผนภาพระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ

น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกเครื่องสูบน้ำป้อนส่งน้ำไปยังหม้อไอน้ำเพื่อรับความร้อนจากก๊าซเผาไหม้ และกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะผ่านระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ แล้วเกิดการควบแน่น เป็นของเหลว (คอนเดนเสท) ผ่านกับดักไอน้ำ ซึ่งน้ำคอนเดนเสทที่มีอุณหภูมิสูงจะไหลผ่านท่อคอนเดนเสท กลับไปยังถังน้ำเลี้ยงเพื่อรวมกับน้ำเดิม ก่อนที่จะส่งไปยังหม้อไอน้ำและผลิตเป็นไอน้ำต่อไป

ก๊าซร้อนจากกระบวนการเผาไหม้ เมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำแล้ว จะถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่ง ความร้อนที่ปล่อยออกไปพร้อมกับก๊าซไอเสียนี้เป็นการสูญเสียพลังงานมากที่สุดของหม้อไอน้ำ ดังนั้น ควรพิจารณานำกลับมาใช้ประโยชน์โดยการติดตั้งอุปกรณ์อุ่นน้ำป้อน (Economizer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซไอเสียกับน้ำป้อนเพื่อให้ น้ำป้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนจ่ายเข้าหม้อไอน้ำ วิธีการดังกล่าวเป็นหนึ่งในหลายมาตรการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทนี้

ในสถานประกอบการที่มีความต้องการใช้ทั้งไอน้ำและน้ำร้อน มักใช้หม้อไอน้ำขนาดใหญ่หนึ่งลูกเพื่อ ผลิตไอน้ำความดันปานกลาง และนำไอน้ำส่วนหนึ่งไปใช้เพื่อผลิตน้ำร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งเป็นการลดคุณภาพด้านพลังงาน (ไต่อะแกรม 1) ดังนั้นควรใช้หม้อไอน้ำขนาดเล็กหนึ่ง ลูกผลิตไอน้ำและใช้เครื่องทำน้ำร้อน 1 ลูกแทน (ไต่อะแกรม 2) ด้วยเหตุผลดังนี้

- หม้อไอน้ำจะมีประสิทธิภาพมากกว่า เมื่อใช้งานที่ความดันไอน้ำต่ำ ๆ
- หม้อไอน้ำขนาดใหญ่จะมีการสูญเสียโดยการแผ่รังสีมากกว่าหม้อไอน้ำขนาดเล็ก
- หม้อไอน้ำจะมีการสูญเสียทางปล่อง (Stack Losses) สูงกว่าเครื่องทำน้ำร้อน



รูปที่ 2.2-2 การใช้งานหม้อไอน้ำให้เหมาะสม

ในงานที่ต้องการอุณหภูมิสูงมาก (เช่น 260°C) ควรใช้หม้อต้มน้ำมันร้อน (Thermal Oil Boiler) ซึ่งสามารถทำความร้อนได้ถึง 350°C ที่ความดันบรรยากาศแทนหม้อไอน้ำความดันสูง ในระบบน้ำมันร้อนนี้ ป้อนน้ำมันร้อนจะทำหน้าที่ดูดและส่งน้ำมันร้อนอุณหภูมิ 350°C ด้วยความดันต่ำ (2-3 bar) ไปยังกระบวนการผลิตที่อยู่ไกลๆ หลังจากนั้นน้ำมันร้อนถ่ายเทความร้อนให้กับอุปกรณ์ที่ใช้ความร้อนแล้ว จะทำให้อุณหภูมิลดลง 10-20°C แล้วจึงไหลกลับเข้าไปรับความร้อนในหม้อต้มใหม่อีกจนมี อุณหภูมิ 350°C และถูกส่งไปใช้งานใหม่

จากคุณสมบัติไอน้ำ ถ้าต้องการอุณหภูมิ 260°C ไอน้ำจะต้องมีความดันสูงถึง 47 bar ซึ่งหม้อไอน้ำความดันสูงจะมีราคาแพงมาก ระบบท่อไอน้ำ และอุปกรณ์ใช้ไอน้ำจะต้องออกแบบให้ทนความดันสูงได้ การใช้งานต้องการการควบคุมดูแล และบำรุงรักษาอย่างละเอียดรอบคอบ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยตลอดเวลาเป็นผลให้มีความคุ้มค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องและการบำรุงรักษาสูง ดังนั้นการใช้หม้อต้มน้ำมันร้อนทำงานที่ความดันต่ำ และการใช้ระบบท่อความดันต่ำจึงมีความปลอดภัยกว่า

2.3 หม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์สำคัญหลักในระบบไอน้ำ ซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตไอน้ำให้ได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการเพื่อจ่ายไปยังกระบวนการผลิตภายในโรงงานหรือกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร

2.3.1 ประเภทของหม้อไอน้ำ

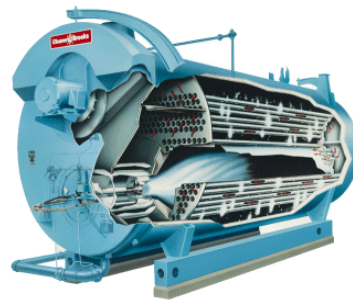
หม้อไอน้ำมีหลายชนิดและหลายลักษณะ อย่างไรก็ตามอาจจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.3.1.1 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water-tube Boiler) หม้อไอน้ำชนิดนี้น้ำจะถูกบรรจุ และไหลอยู่ในท่อโดยเปลวไฟหรือก๊าซร้อนจะเคลื่อนที่อยู่โดยรอบท่อ

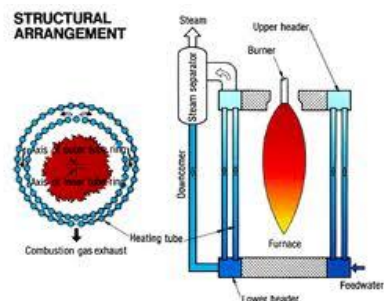
2.3.1.2 หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire-tube or Shell Boiler) หม้อไอน้ำชนิดนี้ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ในท่อซึ่งจมอยู่ในน้ำ โดยที่น้ำจะอยู่นอกท่อ (ระหว่างเปลือกหม้อไอน้ำและท่อ) ของหม้อไอน้ำ



(ก) หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ



(ข) หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ



(ค) หม้อไอน้ำแบบไหลผ่าน

รูปที่ 2.3-1 ประเภทของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟสามารถผลิตไอน้ำให้ได้ความดันตามต้องการช้ากว่าหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ ในกรณีที่ภาระของไอน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ควรใช้หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ เพราะจะสามารถผลิตไอน้ำได้ทันต่อความต้องการได้อย่างรวดเร็วกว่าหม้อไอน้ำแบบท่อไฟสำหรับหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ จำนวนกลับของท่อไฟยิ่งมากประสิทธิภาพหม้อไอน้ำก็ยิ่งสูงขึ้น เนื่องจากก๊าซร้อนใช้เวลาไหลอยู่ในหม้อไอน้ำนานกว่า สำหรับหม้อไอน้ำขนาดเล็กมักจะมีจำนวนกลับเพียง 2 กลับ ขณะที่หม้อไอน้ำขนาดใหญ่จะมี 3 หรือ 4 กลับ

2.3.1.3 หม้อไอน้ำชนิดไหลผ่าน (Once Through Boiler)

ในกรณีที่ภาระไอน้ำน้อยไม่ต่อเนื่องและต้องการไอน้ำเร็วควรเลือกใช้หม้อไอน้ำชนิดไหลผ่าน (Steam Generator or Once through Boiler) ซึ่งเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ โดยไม่มีหม้อพักไอน้ำ สามารถผลิตไอน้ำจนได้ความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ได้รวดเร็วกว่า โดยจะทำงานก็ต่อเมื่อต้องการไอน้ำเท่านั้นการที่หม้อไอน้ำไม่มีหม้อพักไอน้ำทำให้สามารถลดการสูญเสียพลังงานลงได้มากในช่วงเวลาที่หยุด (Idle Periods)

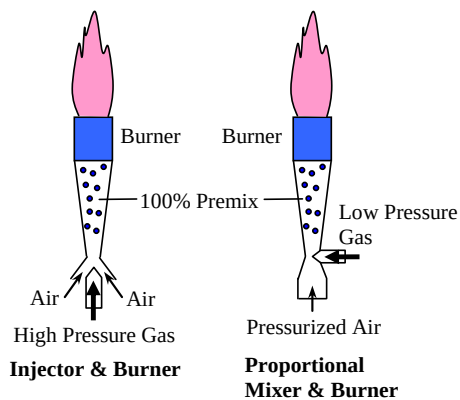
ข้อดี	ข้อเสีย
1. ราคาถูก (ประมาณครึ่งหนึ่งของหม้อไอน้ำ) 2. ตอบสนองต่อความต้องการไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว	1. ประสิทธิภาพต่ำ : จำนวนกลับของท่อมีน้อยกว่า ทำให้มีเวลาที่น้ำไหลอยู่ในหม้อไอน้ำน้อย หมายถึง เวลาที่น้ำจะกลายเป็นไอน้ำมีเวลาน้อยเป็นผลให้ต้องใช้เชื้อเพลิงมากขึ้น
3. สามารถติดตั้งใกล้กับจุดที่ต้องการใช้ไอน้ำ ซึ่งจะลดการสูญเสียความร้อนในการส่งจ่ายไอน้ำไปใช้ประโยชน์	2. อุณหภูมิก๊าซร้อนที่ออกปล่องสูงกว่าเป็นผลให้การสูญเสียความร้อนไปทางปล่องและการสูญเสียจากการแผ่รังสีสูงกว่า
4. ขดใส่ไอน้ำ (Steam Coil) ในเครื่องผลิตไอน้ำจะมีความแข็งแรง แต่ผนังของขดจะบางกว่า (เปรียบเทียบกับท่อของหม้อไอน้ำ)	3. อาจจะต้องให้ความสำคัญและใส่ใจในเรื่องคุณภาพน้ำป้อน และการบำรุงดวามมากขึ้น

2.3.2 อุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ การเผาไหม้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดต้องทำการออกแบบอุปกรณ์ที่ช่วยให้อากาศทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงได้ดีที่สุดเพื่อให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด

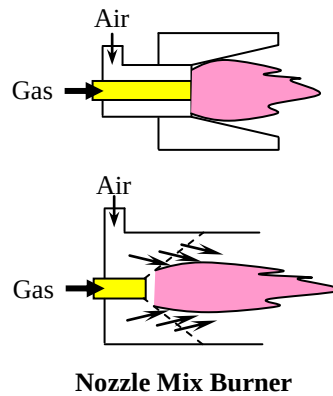
2.3.2.1 การเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ

สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

- 1) แบบผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนป้อนเข้าเผาไหม้ (Pre-mix Burner)
- 2) แบบผสมกันภายในหัวเผา (Nozzle-mix Burner)



(1) Pre-mix Burner



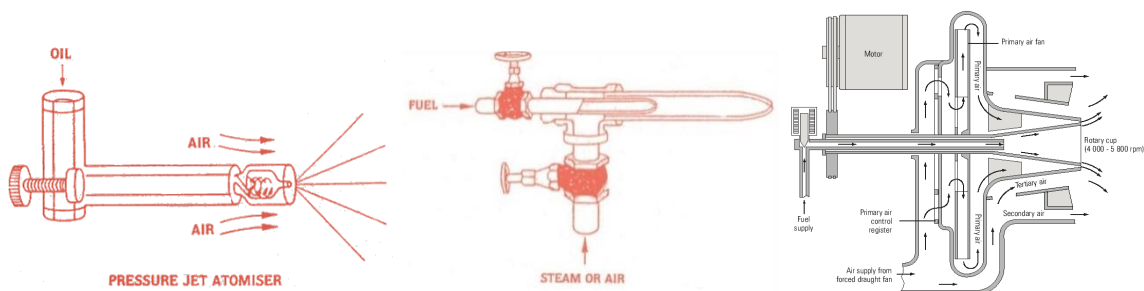
(2) Nozzle-mix Burner

รูปที่ 2.3-2 ประเภทของหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ

2.3.2.2 การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว

สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

- 1) แบบใช้ความดันน้ำมัน (Pressure Atomized)
- 2) แบบใช้ไอน้ำหรืออากาศ (Steam or Air Atomized)
- 3) แบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน (Rotary Cup)



(1) Pressure Atomized

(2) Steam or Air Atomized

(3) Rotary Cup

รูปที่ 2.3-3 ประเภทของหัวเผาเชื้อเพลิงเหลว

นอกจากหัวเผ่าจะมีอยู่ด้วยกันหลายประเภทแล้ว เรายังต้องเลือกใช้หัวเผ่าให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนที่เหมาะสม โดยสามารถจัดแบ่งหัวเผ่าตามลักษณะการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพดีที่สุดได้ดังนี้

หัวเผ่าแบ่งตามลักษณะการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพดีที่สุ่ดเป็น 3 แบบ	
1) หัวเผ่าแบบเผ่าต่อเนื่อง (Modulating Burners)	หัวเผ่าแบบนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยปริมาณเชื้อเพลิงที่หัวเผ่าป้อนเพื่อผลิตไอน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการใช้ไอน้ำ เพื่อรักษาความดันไอน้ำตามที่กำหนดไว้ กล่าวคือ เมื่อค่าความดันไอน้ำในหม้อไอน้ำสูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ หัวเผ่าจะลดปริมาณเชื้อเพลิงลง และเมื่อความดันไอน้ำต่ำกว่าที่กำหนดไว้ หัวเผ่าจะเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงให้มากขึ้น
2) หัวเผ่าแบบไฟสูง-ต่ำ (High/Low-Fire Burners)	หัวเผ่าแบบนี้สามารถป้อนเชื้อเพลิงด้วยอัตราคงที่ 2 ระดับ คือ ไฟสูง (High Fire) และไฟต่ำ (Low Fire) ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับสภาพการใช้ไอน้ำและช่วงของการควบคุมความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ทั้ง 2 ระดับ ซึ่งหัวเผ่าลักษณะนี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก
3) หัวเผ่าแบบไฟตัด-ต่อ (Constant-Fire or ON-OFF Burners)	หัวเผ่าแบบนี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำคงที่ เชื้อเพลิงที่ถูกป้อนเข้าหัวเผ่าอัตราเดียวขึ้นกับความดันไอน้ำในหม้อไอน้ำที่ตั้งไว้ คือ เมื่อความดันไอน้ำเกินกว่าที่ตั้งไว้หัวเผ่าก็จะตัด (OFF) การป้อนเชื้อเพลิง และหากความดันต่ำกว่าที่ตั้งไว้หัวเผ่าก็จะต่อ (ON) การป้อนเชื้อเพลิง

การเลือกใช้หัวเผ่ากับหม้อไอน้ำจำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับภาระของไอน้ำ หากภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงมาก ควรเลือกหัวเผ่าที่มีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ (Turn Down Ratio) สูง ซึ่งจะช่วยให้การผลิตไอน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น หัวเผ่าแบบ High-fire/Low-fire มีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ 3:1 ขณะที่หัวเผ่าแบบเผ่าต่อเนื่องซึ่งมีราคา และประสิทธิภาพสูงจะมีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ 10:1

$$\text{ค่าเทิร์นดาวน์เรโซ (Turn Down Ratio)} = \frac{\text{อัตราการเผาไหม้สูงสุด (Maximum Firing Rate)}}{\text{อัตราการเผาไหม้ต่ำสุด (Minimum Firing Rate)}}$$

โดยที่ประสิทธิภาพการเผาไหม้ยังดีเช่นเดิม ดังนั้น หัวเผาที่มีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ 10:1 จะสามารถลดการผลิตไอน้ำลงเหลือ 10% ของกำลังผลิตไอน้ำสูงสุด โดยที่หม้อไอน้ำไม่มีการตัดการเผาไหม้

2.3.2.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงที่ติดไฟยากและมีปัญหาในการจัดการค่อนข้างมาก เช่น **ปัญหาในการขนย้าย ปัญหาพื้นที่ในการเก็บ และปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม** ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงแข็งโดยทั่วไปมักจะทำให้เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กกลง เพื่อให้อัตราการเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง โดยมีเตาเผาทำหน้าที่เผาไหม้เชื้อเพลิงให้ได้ความร้อนเพื่อเอาก๊าซร้อนไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การนำความร้อนที่ได้ไปผลิตไอน้ำร้อนที่มีความดันสูงเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า หรือใช้ในกระบวนการผลิต ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งนั้นเตาเผาดังกล่าวเป็นหัวใจสำคัญ เพราะการจะนำพลังงานเคมีในเชื้อเพลิงเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อนให้ได้มากที่สุดนั้น เตาเผาที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพที่ดี และเหมาะสมกับการใช้งานกับเชื้อเพลิงในแต่ละประเภท ซึ่งระบบการป้อนเชื้อเพลิงของเตาเผาที่ใช้อยู่ทั่วไปมี 5 ระบบ ได้แก่

1) ระบบการป้อนเชื้อเพลิงด้วยคน (Manual Feed) ต้องอาศัยคนงานที่มีความชำนาญในการกระจายเชื้อเพลิงให้ทั่วสม่ำเสมอบนตะแกรงเตาไฟ อากาศที่ใช้สำหรับเผาไหม้จะถูกส่งจากใต้เตาเหนือตะแกรงเตาไฟ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของระบบนี้ค่อนข้างต่ำ

2) ระบบสโตเกอร์ (Stoker Feed) เป็นระบบที่ป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาโดยอาศัยเครื่องกล ข้อดีของระบบนี้คือ มีราคาถูกและสามารถออกแบบให้ใช้ได้กับเชื้อเพลิงแข็งหลายชนิด โดยระบบนี้สามารถแบ่งตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงได้เป็น 2 ชนิด คือ

(ก) ระบบสโตเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน (Overfeed Stoker)

(ข) ระบบสโตเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง (Underfeed Stoker)

ก. ระบบสโตเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน หรือสูงกว่าตำแหน่งทางเข้าของอากาศ โดยป้อนเชื้อเพลิงให้อยู่บนตะแกรง จากนั้นอากาศส่วนแรกถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของตะแกรงผ่านขึ้นมาเผาไหม้เชื้อเพลิงบนตะแกรง อากาศอีกส่วนหนึ่งจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของตะแกรงเพื่อช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์

ข้อได้เปรียบ ของการเผาไหม้ระบบนี้ คือ การที่เชื้อเพลิงกองอยู่บาง ๆ บนตะแกรงทำให้ความดันอากาศไหลผ่านเชื้อเพลิงมีค่าน้อยกว่าสโตเกอร์แบบตะแกรงเลื่อน ดังนั้นการควบคุมอากาศที่ป้อนได้ตะแกรงสามารถทำได้ง่ายกว่า

ข้อเสีย ของระบบสโตเกอร์แบบกระจาย คือ มีปริมาณเขม่าและควันออกจากปล่องมากจึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับดักขี้เถ้าที่ออกจากปล่องสู่บรรยากาศภายนอก



รูปที่ 2.3-4 แสดงลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบสโตเกอร์แบบกระจาย

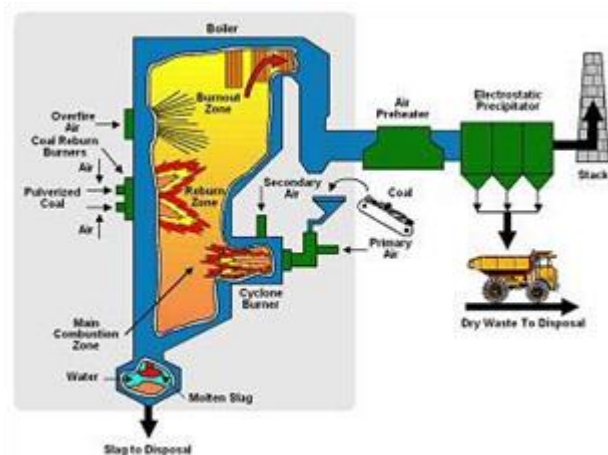
ข. ระบบสต็อกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง โดยส่งเชื้อเพลิงไปตามรางให้เคลื่อนตัวลึกเข้าไปในเตาตลอดเวลา ทำให้เกิดความดันขึ้นในเชื้อเพลิงส่วนล่าง ส่งผลให้เชื้อเพลิงส่วนบนขยับขึ้นด้านบนได้ วิธีนี้จะทำให้สารระเหยที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงระเหยขึ้นสู่ส่วนบนจึงทำให้ติดไฟได้ง่ายขึ้นและเกิดการเผาไหม้ขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ เชื้อเพลิงที่ลุกไหม้หมดแล้วเป็นเถ้าซึ่งอยู่ส่วนบนสุดจะถูกเชื้อเพลิงตอนล่างดันกระจายลงสู่ที่รองรับเถ้า

ข้อดี ของระบบสต็อกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง คือ การป้อนเชื้อเพลิงทางด้านล่างจะช่วยลดควันได้ เพราะสารระเหยที่ปล่อยออกจากเชื้อเพลิงจะไหลผ่านชั้นเชื้อเพลิงที่ร้อนทำให้เผาไหม้หมด

3) ระบบพัลเวอร์ไรซ์ (Pulverised) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเตาระบบพัลเวอร์ไรซ์จะเกิดขึ้นขณะที่เชื้อเพลิงลอยอยู่ ดังนั้นเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาแบบนี้จะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะลอยอยู่ในอากาศภายในเตา อากาศส่วนแรกจะถูกอุ่นก่อนส่งเข้าเตา เพื่อใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงในขณะที่อากาศส่วนที่สองถูกส่งเข้าเตาโดยตรง เพื่อช่วยให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ชี้อ่ถ้าที่ได้จากการเผาไหม้จะถูกพัดพาออกจากเตาเผาติดมากับแก๊สร้อนที่ได้จากการเผาไหม้

ข้อได้เปรียบ ของการเผาไหม้ระบบนี้ คือ ไม่จำเป็นต้องมีระบบตะแกรงที่จะต้องให้ความร้อน ไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงจากเชื้อเพลิงเก่าบนตะแกรง จากเหตุดังกล่าวข้างต้น เตาเผาแบบนี้จึงให้ความร้อนในการเผาไหม้ได้สูงกว่าเตาแบบตะแกรง

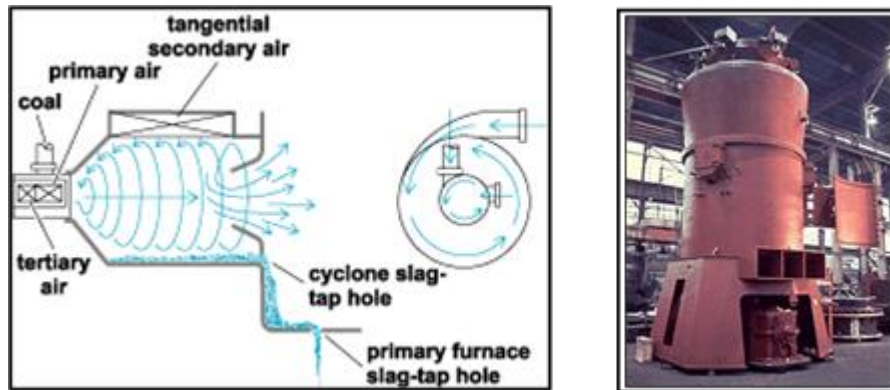
ข้อเสีย ของระบบพัลเวอร์ไรซ์นี้ คือ การควบคุมเถ้าทำได้ยาก ดังนั้นจึงต้องมีระบบกำจัดเถ้าที่ดีซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้การควบคุมอุณหภูมิภายในเตาทำได้ยาก เพราะถ้าอุณหภูมิของการเผาไหม้สูงเกินไปจะทำให้เกิดการหลอมตัวของเถ้าเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ ซึ่งจะทำให้เตาเผาเสียหายได้ เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องแห้งเพียงพอจึงต้องมีการอบแห้ง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นการเพิ่มราคาต้นทุนและพลังงานที่ใช้



รูปที่ 2.3-5 แสดงลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบพัลเวอร์ไรซ์

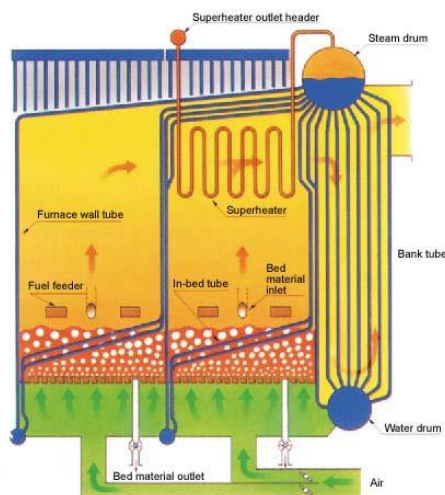
4) ระบบไซโคลน (Cyclone) เตาเผาแบบนี้เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าเตาเผาโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงเช่นเดียวกับระบบพัลเวอร์ไรซ์ แต่ไม่จำเป็นต้องบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการบดเชื้อเพลิงลงได้ การเผาไหม้ในระบบไซโคลนจะใช้หัวเผาแบบ Horizontal water-cooled ขนาดเล็ก ทำให้เตาเผาแบบไซโคลนมีขนาดเล็กกว่าเตาเผาแบบพัลเวอร์ไรซ์ อุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในเตาระบบ

ไซโคลนสูงถึง 1650°C ซึ่งจะทำให้ขี้เถ้าถูกเผาไหม้กลายเป็นขี้เถ้าเหลว (Liquid Slag) ได้ประมาณ 30-50% และเหลือขี้เถ้าที่ปนออกมากับแก๊สร้อนเพียง 70-50% ขี้เถ้าเหลวที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาในระบบไซโคลนนี้สามารถปล่อยออกทางด้านล่างของเตาเผาได้



รูปที่ 2.3-6 แสดงลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบไซโคลน

5) ระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิง และเมื่อเพิ่มค่าความเร็วของอากาศถึงค่าหนึ่งเชื้อเพลิงจะลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายของไหล การเผาไหม้จะเกิดขึ้นทั่วๆ บริเวณเตา โดยปกติจะใส่สารเฉื่อย (Inert Material) เช่น หินทราย หรือ สารที่ทำปฏิกิริยา (Reaction Material) เช่น หินปูน (Limestone) หรือตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะช่วยในด้านการถ่ายเทความร้อนและช่วยทำความสะอาดภายในเตาระบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้แสดงดังรูป



รูปที่ 2.3-7 แสดงลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบฟลูอิดไดซ์เบด

ระบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้กับเชื้อเพลิงแข็งได้ทุกชนิด เพราะอุณหภูมิภายในเตาจะมีค่าใกล้เคียงตลอดทั่วเตาเผา ทำให้อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงสม่ำเสมอ สามารถเผาเชื้อเพลิงที่มีปริมาณความชื้นสูงได้ดี นอกจากนี้ยังทำให้อุณหภูมิของเปลวไฟคงที่

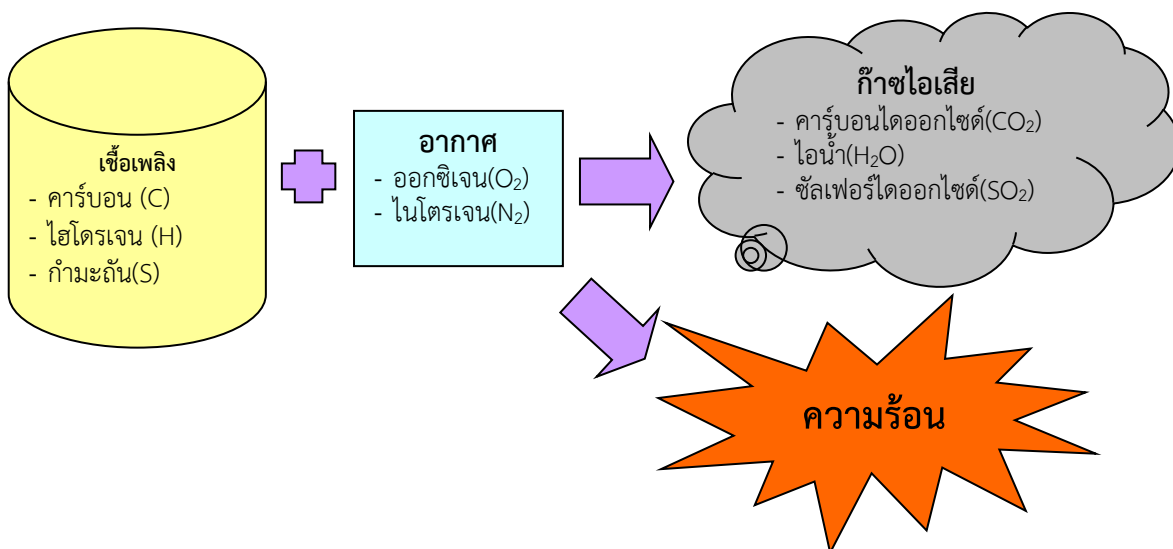
ข้อดี ของระบบฟลูอิดไดซ์เบด คือมีสารเฉื่อย เช่น หินทราย เป็นเบด จึงทำให้เกิดการผสมของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนได้ดี เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว นอกจากนี้ตัวเบดยังช่วยอมความร้อนทำให้เตามี

ความเสถียร ไม่ดับง่าย และเกิดการเผาไหม้ในตัวเตาเผาได้อย่างทั่วถึง จึงทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าเท่ากัน และสม่ำเสมอ สามารถใช้เผาไหม้เชื้อเพลิงในช่วงอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำ (ประมาณ 850°C) จึงช่วยแก้ปัญหาด้านมลพิษของอากาศเนื่องจากการเกิดสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ได้

2.3.3 การเผาไหม้เบื้องต้น

การเผาไหม้ คือ กระบวนการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนทำให้ได้ความร้อนออกมา องค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ คือ **เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมี** โดยองค์ประกอบทั้งหมดนี้ต้องเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจึงจะทำให้เกิดการเผาไหม้ โดยทั่วไปแล้ว ออกซิเจนได้มาจากอากาศที่อยู่ในบริเวณของการเผาไหม้ รูปที่ 2.3-8 แสดงหลักการเบื้องต้นของกระบวนการเผาไหม้

เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่แตกต่างกันโดย เชื้อเพลิงแข็งมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ 75-85% เชื้อเพลิงเหลว 80-85% และเชื้อเพลิงก๊าซ 80-90 % **ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงเหลวต่ำกว่าเชื้อเพลิงก๊าซ** เนื่องจากพื้นที่สัมผัสระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศน้อยกว่ากันตามลำดับ นอกจากนั้น เชื้อเพลิงที่มีความหนืดสูงจะกระจายออกเป็นฝอยละอองได้ยาก ทำให้พื้นที่สัมผัสน้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ



รูปที่ 2.3-8 หลักการเผาไหม้เบื้องต้น

หมายเหตุ สำหรับการเผาไหม้จริงอาจมีก๊าซไอเสียอื่นอีก ได้แก่ CO , HC , NO_x , SO_x , O_2

2.3.3.1 ปฏิกริยาเคมีการเผาไหม้ทฤษฎี

สมการพื้นฐานซึ่งอธิบายปฏิกริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและปล่อยพลังงานความร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน	
$C + O_2 = CO_2 + 393,520 \text{ kJ/kmol}$ (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของคาร์บอน)	
$C + \frac{1}{2} O_2 = CO + 110,530 \text{ kJ/kmol}$ (ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของคาร์บอน)	
$CO + \frac{1}{2} O_2 = CO_2 + 282,990 \text{ kJ/kmol}$ (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของคาร์บอนมอนอกไซด์)	
$H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O(g) + 241,820 \text{ kJ/kmol}$ $H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O(l) + 285,830 \text{ kJ/kmol}$ (การเกิดไอน้ำหรือน้ำจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของไฮโดรเจน)	
$S + O_2 = SO_2 + 334,960 \text{ kJ/kmol}$ (ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของซัลเฟอร์)	

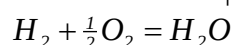
2.3.3.2 อากาศตามทฤษฎี (Theoretical air)

สำหรับอากาศ เราประมาณได้ว่ามีส่วนประกอบของ O_2 เป็นส่วนผสม 23.2% โดยมวล ในกรณีที่มีการเผาไหม้ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จากสมการจะเห็นได้ว่าน้ำมันดีเซล 1 kg ต้องใช้ปริมาณ O_2 ในการเผาไหม้ 3.334 kg ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณอากาศ $3.334/0.232=14.37 \text{ kg}$ ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎีเท่ากับ 14.37 ต่อ 1

$C + O_2 = CO_2$ $12kg + 32kg = 44kg$	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O$ $2kg + 16kg = 18kg$	$S + O_2 = SO_2$ $32kg + 32kg = 64kg$
--	---	--

ชนิดของเชื้อเพลิง	% องค์ประกอบโดยมวล		
	C	H	S
น้ำมันดีเซล	86.3	12.8	0.9
น้ำมันเตา	86.1	11.8	2.1

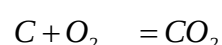
การหาปริมาณอากาศเชิงทฤษฎีในการเผาไหม้



$$2kg + 16kg = 18kg$$

$$0.128 \frac{2}{2} kg + 0.128 \frac{16}{2} kg = 0.128 \frac{18}{2} kg$$

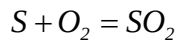
$$0.128kg + 1.024kg = 1.152kg$$



$$12kg + 32kg = 44kg$$

$$0.863 \frac{12}{12} kg + 0.863 \frac{32}{12} kg = 0.863 \frac{44}{12} kg$$

$$0.863kg + 2.301kg = 3.164kg$$



$$32kg + 32kg = 64kg$$

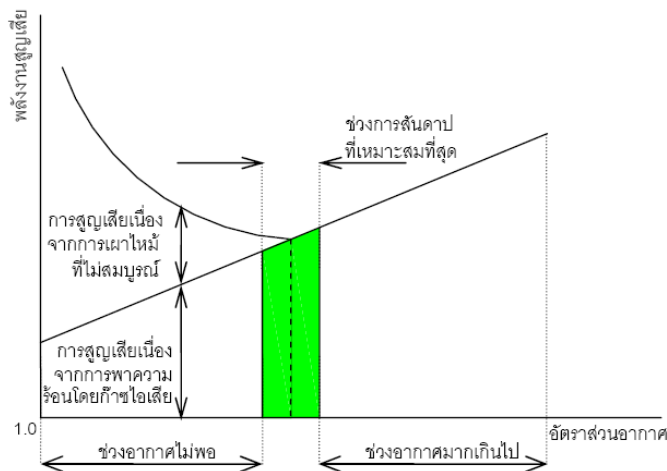
$$0.009 \frac{32}{32} kg + 0.009 \frac{32}{32} kg = 0.009 \frac{64}{32} kg$$

$$0.009kg + 0.009kg = 0.018kg$$

2.3.3.3 อากาศส่วนเกิน (Excess Air)

ในการเผาไหม้จริงๆ หากป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ในปริมาณที่พอดีกับค่าทางทฤษฎีแล้ว เป็นการยากที่จะทำให้ออกซิเจนทุกตัวพบกับธาตุต่างๆ ในเชื้อเพลิงได้หมดและทั่วถึงกัน จึงเป็นผลให้เกิดการเผาไหม้ในลักษณะอากาศไม่เพียงพอ ซึ่งการเผาไหม้ที่อากาศไม่เพียงพอนี้ จะให้พลังงานความร้อนออกมาน้อยกว่าการเผาไหม้สมบูรณ์ โดยเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ เเขม่า และควันสีดำ ดังนั้นในทางปฏิบัติการเผาไหม้จริงๆ จำเป็นต้องป้อนอากาศให้เกินกว่าความต้องการในเชิงทฤษฎี ซึ่งอากาศส่วนนี้เรียกว่า อากาศส่วนเกิน (Excess Air) อย่างไรก็ตาม การป้อนอากาศมากเกินไปจะเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนออกไปกับก๊าซไอเสียมาก เพราะออกซิเจนและไนโตรเจนในอากาศที่เกินมานี้มิได้ทำปฏิกิริยาใดๆ ในการเผาไหม้นอกจากจะดูดพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้และพาออกทิ้งยังปล่องไอเสีย

ปริมาณอากาศเข้าเผาไหม้ที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงแต่ละประเภทสังเกตได้จากปริมาณ O_2 หรือ CO_2 ในไอเสีย โดยค่าที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.3-1 สำหรับเชื้อเพลิงทุกประเภท ปริมาณ CO ในก๊าซไอเสียไม่ควรสูงกว่า 200 ส่วนในล้านส่วน (ppm)



รูปที่ 2.3-9 ปริมาณอากาศป้อนและการสูญเสียพลังงาน

ตารางที่ 2.3-1 ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสม

เชื้อเพลิง	อากาศส่วนเกิน (%)	O_2 ในก๊าซไอเสีย (%)	CO_2 ในก๊าซไอเสีย (%)
ก๊าซ	5-15	1-2	9-10
เหลว	15-20	3-4	12-14
แข็ง	15-60	7-10	12-13

2.3.4 การระบายน้ำจากหม้อไอน้ำ (โบลว์ดาวน์)

นอกจากการควบคุมการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำแล้วการควบคุมคุณภาพของน้ำในหม้อไอน้ำก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยปกติ น้ำจะมีของแข็งแขวนลอยและแร่ธาตุต่างๆ เจือปนอยู่ ดังนั้นเมื่อน้ำถูกผลิตเป็นไอน้ำแล้ว ความเข้มข้นของสารเจือปนเหล่านี้จะสูงขึ้นและเกิดการตกตะกอน/ตกผลึก ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อการลดลงของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและคุณภาพของไอน้ำ รวมถึงความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และเพื่อป้องกันปัญหาเหล่านี้ เราจำเป็นต้องระบายน้ำร้อนในหม้อไอน้ำทิ้งผ่านระบบโบลว์ดาวน์

ระบบโบลว์ดาวน์ที่ทำงานไม่เหมาะสม เช่น ระบายน้ำโบลว์ดาวน์มากเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลงและสิ้นเปลืองน้ำ และหากระบายน้อยเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนเกาะผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงและอาจเกิดการเดือดอย่างรุนแรงของน้ำ ทำให้ไอน้ำเปื้อนและอาจนำมาซึ่งความเสียหายของระบบเพื่อน้ำ

2.3.4.1 การระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ

- 1) การระบายน้ำจากด้านล่างหม้อไอน้ำ (Bottom Blowdown) เพื่อระบายตะกอนโคลนที่สะสมบริเวณก้นหม้อไอน้ำทิ้ง
- 2) การระบายน้ำจากด้านบนหม้อไอน้ำ (Surface Blowdown) เพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายและสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ

2.3.4.2 การควบคุมการระบายน้ำแบ่งได้ 2 แบบ

- 1) แบบเป็นครั้งคราว โดยผู้ใช้หม้อไอน้ำจะเปิดวาล์วระบายหลายๆ ครั้ง ครึ่งละสั้นๆ
- 2) แบบต่อเนื่อง โดยวาล์วระบายน้ำของหม้อไอน้ำจะเปิดหรือปิดเมื่อได้รับสัญญาณเวลาที่ตั้งไว้ (Timer Control) หรือสัญญาณที่ได้จากการวัดสมบัติของน้ำในหม้อไอน้ำ เช่น สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity)

การพิจารณาว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายเหมาะสมหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากค่า TDS (Total Dissolved Solid) ซึ่งวัดปริมาณสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำของหม้อไอน้ำโดยตรงว่าใน 1 ลิ้นส่วนมีสารแขวนลอยกี่ส่วน (ppm) หรือวัดโดยอ้อมจากค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity) ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ผู้ใช้หม้อไอน้ำควรควบคุมคุณภาพน้ำป้อน และน้ำในหม้อไอน้ำให้ได้มาตรฐานตามตารางที่ 2.3-2 เพื่อความปลอดภัยและคุณภาพของไอน้ำที่ดี

ตารางที่ 2.3-2 มาตรฐานน้ำป้อนและน้ำหม้อไอน้ำ
(ความดันไม่เกิน 20 barg : British Standard and JIS)

รายการ	น้ำป้อน	น้ำในหม้อไอน้ำ
ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<400	ไม่เกิน 7,000
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	8.5-9.5	10.8-11.3
โซเดียมฟอสเฟต (mg/l)	-	50-100
ซิลิกา (mg/l)	-	ไม่เกิน 120-150
ความกระด้าง (ppm)	ค่าเข้าใกล้ 0	0

2.3.5 ข้อควรปฏิบัติในการใช้หม้อไอน้ำ

ข้อควรปฏิบัติในการใช้หม้อไอน้ำ
1. ขั้นตอนการออกแบบ ควรเลือกขนาดของหม้อไอน้ำ (กำลังการผลิตไอน้ำต่อชั่วโมง) ที่พอเหมาะกับภาระไอน้ำ และควรเดินใช้งานที่ภาระเต็มทีตลอดเวลาเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยทั่วไปหม้อไอน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ภาระเต็มทีหรือใกล้เคียงเต็มที่ ดังนั้นหม้อไอน้ำที่เดินภาระต่ำๆ ตลอดเวลา เรียกว่า “หม้อไอน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป” (Oversized) ควรเปลี่ยนไปใช้หม้อไอน้ำที่มีขนาดเล็กลง (ถ้าสามารถทำได้)
2. หลีกเลี่ยงการสตาร์ทบ่อยๆ เนื่องจากจะทำให้เกิดการ • สูญเสียพลังงานไปในการที่ต้องทำให้หม้อไอน้ำร้อนขึ้นมาใหม่ • สูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการเดินพัดลมเป่าไล่อากาศและก๊าซต่างๆ ออกจากห้องเผาไหม้ ก่อนการจุดสตาร์ททุกครั้ง • สูญเสียความร้อนออกไปจากหม้อไอน้ำ ในขณะที่พัดลมเป่าไล่ความร้อนออกไปจากหม้อไอน้ำ (Purging)
3. ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงควรใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งแสดงให้ทราบได้โดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง (หรือปริมาณออกซิเจนต่ำ) คว้นดำ คือ คาร์บอนที่มีขนาดเล็กมากเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อันเนื่องมาจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินต่ำมากเกินไป หรือการปรับแต่งการเผาไหม้ไม่ดี หรือ หัวเผาทำงานผิดปกติ
4. อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกปล่องควรต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่ต้องสูงกว่าจุดกลับตัวของน้ำและกรดเล็กน้อย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการผุกร่อน หม้อไอน้ำทั่วๆ ไป ขณะเดินที่ไฟต่ำ (Low Fire) จะมีอุณหภูมิปล่องต่ำกว่าขณะเดินที่ไฟสูง (High Fire) หรือเดินที่ไฟปานกลาง (Medium Fire)
5. ทำความสะอาดท่อในหม้อไอน้ำเป็นระยะๆ เพื่อลดการขัดข้องอันเนื่องมาจากตะกรัน (หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ) และเขม่า (หม้อไอน้ำท่อไฟ) ซึ่งจะลดความสามารถในการผลิตไอน้ำให้ได้สูงสุดตามพิกัดของหม้อไอน้ำ การทำความสะอาดสามารถเพิ่มความสามารถของหม้อไอน้ำให้กลับคืนดังเดิมได้
6. ตรวจวัดปริมาณการผลิตไอน้ำ (หรือปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ) เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไปในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อติดตามดูว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลงหรือไม่ วิธีที่นิยมใช้กันกับหม้อไอน้ำน้ำมันเตา คือ • ติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณ และเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ น้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ • ติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

2.4 กับดักไอน้ำ

กับดักไอน้ำ (Steam Trap) คือ วาล์วอัตโนมัติที่ทำหน้าที่แยกน้ำที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำหรือเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำออกไปจากระบบ เพื่อป้องกันการอุดตันของน้ำ (Water Locked) ส่งผลให้อุปกรณ์ไม่ร้อน (ร้อนช้า) หรือทำอุณหภูมิไม่ได้และอาจนำไปสู่การเกิดแรงกระแทกอย่างรุนแรง หรือปรากฏการณ์ “ค้อนน้ำ” (Water Hammer) ซึ่งมีผลให้ท่อ ข้อต่อ และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำต่างๆ ในกระบวนการผลิตเกิดความเสียหาย กับดักไอน้ำยังทำหน้าที่ในการระบายก๊าซ และอากาศออกจากระบบโดยไม่เกิดการสูญเสียไอน้ำ ก๊าซและอากาศเหล่านั้นสามารถแทนที่ไอน้ำ ซึ่งทำให้ความสามารถในการพาความร้อนลดลงและยังกั้นไม่ให้ไอน้ำไปถึงพื้นผิวถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตด้วย และในกรณีที่เลวร้ายที่สุดก็คือ

ท่อหรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์เกิดอากาศอัด (Air Locked) ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไม่ได้ ซึ่งแม้แต่น้ำควบแน่นก็ไม่สามารถออกไปได้ เราจะเห็นได้ชัดว่า กักตุนไอน้ำที่มีประสิทธิภาพเป็นส่วนสำคัญที่สร้างความเชื่อมั่นว่าอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม กักตุนไอน้ำที่เสื่อมสภาพลงจากการใช้งานก็สามารถสร้างปัญหาให้กับระบบไอน้ำได้อย่างมากเช่นกัน

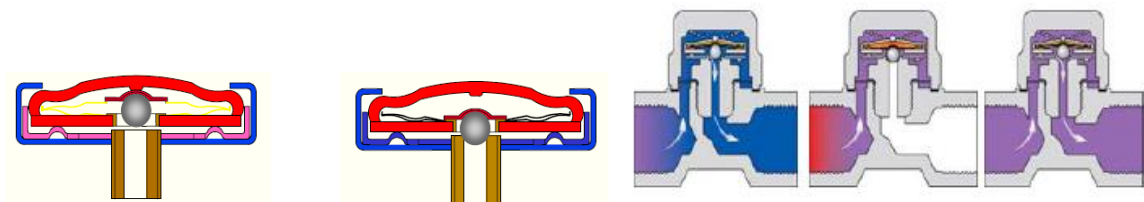
2.4.1 ประเภทของกักตุนไอน้ำ

กักตุนไอน้ำสามารถแบ่งตามหลักการทำงานหรือตามโครงสร้างทางกลไกของอุปกรณ์ภายในออกเป็น 4 กลุ่ม ได้ดังนี้

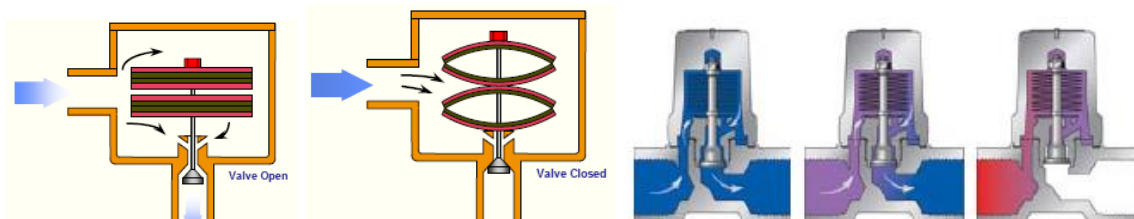
2.4.1.1 กักตุนไอน้ำทำงานโดยความร้อน (Thermostatic Trap)

กักตุนไอน้ำกลุ่มนี้ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิของไอน้ำและของคอนเดนเสทเป็นตัวทำให้วาล์วเปิดและปิด คอนเดนเสทจะต้องเย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิไอน้ำก่อนที่จะถูกปล่อยออกจากกักตุนไอน้ำ ซึ่งกักตุนไอน้ำกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น

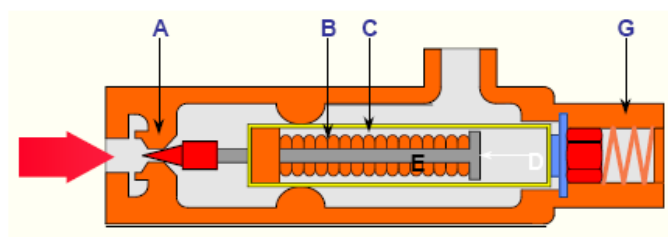
- แบบสมดุลความดัน (Balanced Pressure Type)
- แบบใช้โลหะ 2 ชนิด (Bimetallic Type)
- แบบใช้การขยายตัวของเหลว (Liquid Expansion Type)



กักตุนไอน้ำแบบสมดุลความดัน



กักตุนไอน้ำแบบใช้โลหะ 2 ชนิด



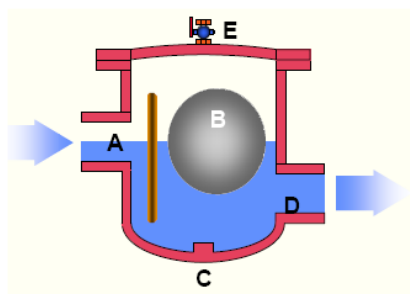
กักตุนไอน้ำแบบใช้การขยายตัวของเหลว

รูปที่ 2.4-1 กักตุนไอน้ำทำงานโดยความร้อน

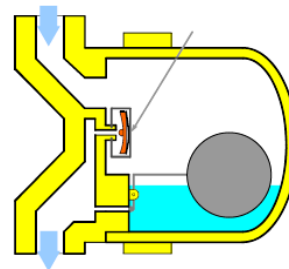
2.4.1.2 กักตักไอน้ำทำงานโดยกลไก (Mechanical Group)

กักตักไอน้ำกลุ่มนี้ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างไอน้ำและคอนเดนเสททำให้ลูกลอย (Float) หรือถ้วย (Bucket) ส่งอาการไปเปิด-ปิดวาล์ว ซึ่งกักตักไอน้ำในกลุ่มนี้ แบ่งออกเป็น

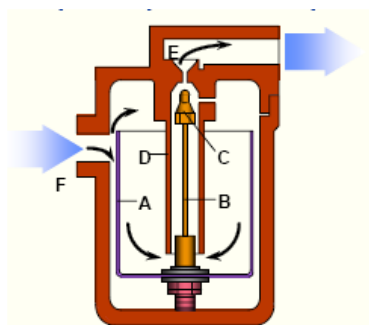
- แบบลูกลอย (Loose Float Type)
- แบบลูกลอยมีก้าน (Float and Lever Type)
- แบบถ้วยหงาย (Open Top Bucket Type)
- แบบถ้วยคว่ำ (Inverted Bucket Type)



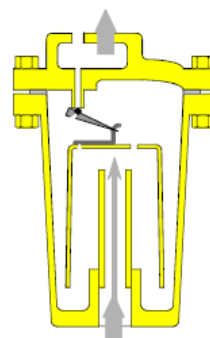
แบบลูกลอย



แบบลูกลอยมีก้าน



แบบถ้วยหงาย

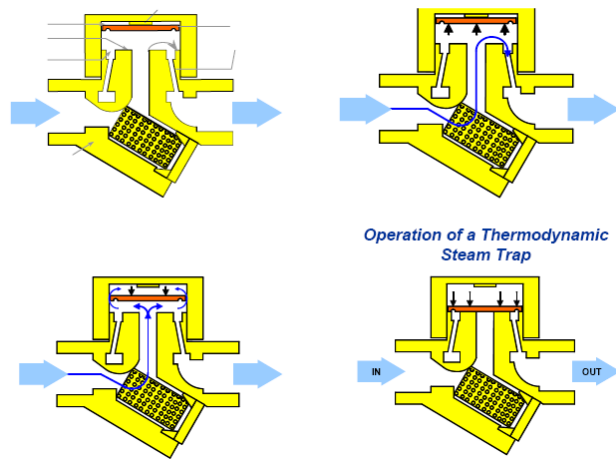


แบบถ้วยคว่ำ

รูปที่ 2.4-2 กักตักไอน้ำทำงานโดยกลไก

2.4.1.3 กักตักไอน้ำกลุ่มที่ทำงานด้วยการเคลื่อนไหวนื่องจากความร้อน (Thermodynamic Groups)

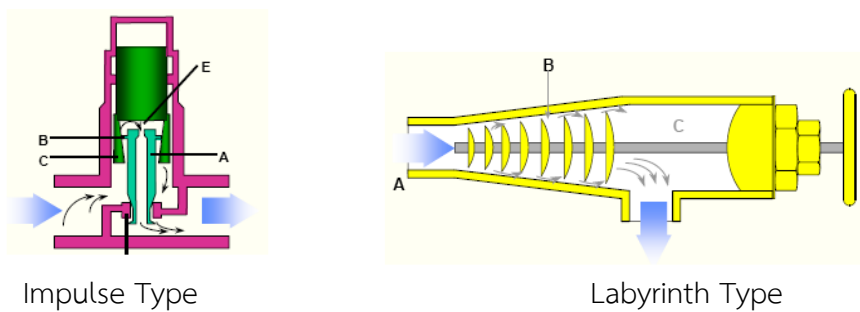
กักตักไอน้ำกลุ่มนี้ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของความเร็วระหว่างไอน้ำและคอนเดนเสทที่ไหลผ่านตัววาล์วที่เป็นจานกลม ซึ่งจะปิดเมื่อมีไอน้ำไหลเข้ามาด้วยความเร็วสูง และจะเปิดเมื่อมีคอนเดนเสทไหลเข้ามาด้วยความเร็วที่ต่ำกว่า ซึ่งกักตักไอน้ำในกลุ่มนี้เรียกว่า กักตักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์



รูปที่ 2.4-3 กับไอน้ำทำงานด้วยการเคลื่อนไหวเนื่องจากความร้อน

2.4.1.4 กับดักไอน้ำชนิดอื่นๆ (Miscellaneous Group)

กลุ่มนี้ประกอบด้วยกับดักไอน้ำที่ไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มใดๆ ข้างต้นได้ เช่น Impulse Type, Labyrinth Type หรือ Orifice Plate Type



รูปที่ 2.4-4 กับดักไอน้ำทำงานด้วยระบบอื่นๆ

สำหรับกับดักไอน้ำแต่ละประเภทมีข้อดี และข้อเสียสรุปได้ดังตารางที่ 2.4-1

ตารางที่ 2.4-1 ข้อดี และข้อเสียของกับดักไอน้ำแต่ละประเภท

	แบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
กับดักไอน้ำแบบเมคานิกส์	แบบถ้วยหยาย	- การทำงานแม่นยำ - ไอน้ำไม่รั่วไหลเนื่องจากมี Water Seal	- รูปร่างและขนาดใหญ่ - การระบายอากาศทิ้งไม่ดี
	แบบถ้วยคว่ำ	การระบายอากาศทิ้งดี	- การติดตั้งไม่สะดวก - ประสิทธิภาพการระบายน้ำคอนเดนเสทไม่ดี
	แบบลูกกลอยติดคาน	- เหมาะสมกับความดันต่ำและการระต่ำ - โครงสร้างง่าย - ปล่อยทิ้งอย่างต่อเนื่องและการทำงานเงียบ - เปลี่ยนลูกกลอยและบ่าลิ้นได้ง่าย	- ไม่ทนต่อ Water Hammer - จำเป็นต้องติดตั้งในแนวระนาบจึงมีข้อจำกัดด้านสถานที่ติดตั้ง
กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมสแตติกส์	แบบเบลโลส	- สามารถปรับตั้งและควบคุมอุณหภูมิระบายได้ - การระบายอากาศทิ้งดี	- ไม่ทนต่อ Water Hammer - ไม่เหมาะสมกับความดันสูง
	แบบไบเมทัล	- ไม่มีปัญหาลิ้นปิดตาย - การระบายอากาศทิ้งดี	- ผลต่างอุณหภูมิสำหรับเปิดปิดลิ้นสูง - คุณสมบัติของไบเมทัลเปลี่ยนแปลงไปในขณะใช้งาน
กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์	แบบอริฟิส	- ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา - เหมาะสมกับความดันสูง อุณหภูมิสูง	- ไอน้ำรั่วไหลมาก - มีขีดจำกัดความดันย้อนกลับ (30%)
	แบบจาน	- ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา - โครงสร้างง่าย - สามารถใช้กับไอแดงได้ - ทนต่อ Water Hammer ได้	- ต้องมีผลต่างความดันทำงานอย่างต่ำสุด 0.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร - มีขีดจำกัดของความดันย้อนกลับ (30%)

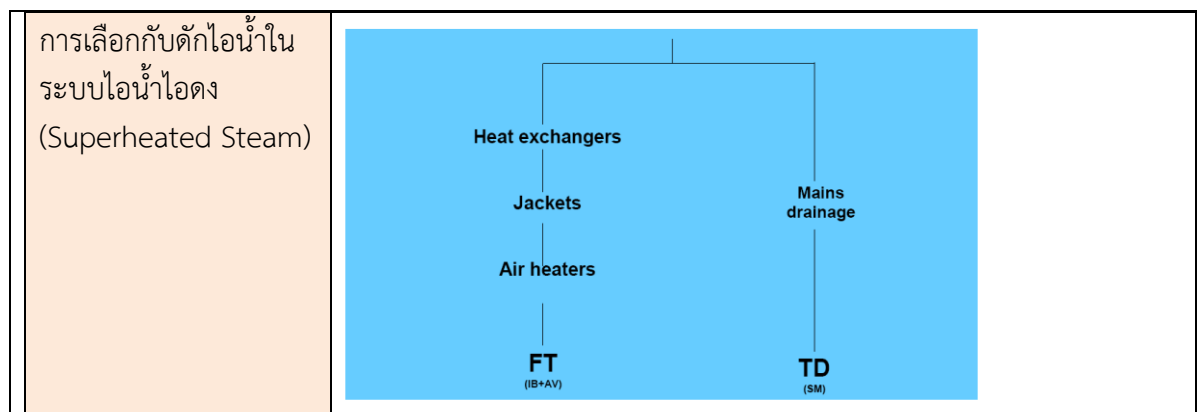
2.4.2 การเลือกใช้กับดักไอน้ำ

กับดักไอน้ำมีหลายประเภท ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และลักษณะงานต่างๆ โดยทั่วไป

ข้อพิจารณาและหลักเกณฑ์ในการเลือกกับดักไอน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน
2.4.2.1 ข้อพิจารณาในการเลือกกับดักไอน้ำให้เหมาะสม 1) ความดันไอน้ำ 2) อุณหภูมิไอน้ำ 3) ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น 4) เงื่อนไขในการติดตั้ง
2.4.2.2 หลักเกณฑ์ง่ายๆ ในการเลือกใช้กับดักไอน้ำ 1) ใช้กับดักไอน้ำแบบจานกับท่อไอน้ำหลัก ท่อย่อย ถังรองรับ และเฮดเดอร์ หรือบริเวณที่อาจเกิดการกระแทกของน้ำ (Water Hammer) 2) ใช้กับดักไอน้ำแบบลูกลอยอิสระ ถ้วยกลมอิสระ ถ้วยกลมติดคานและแบบถ้วยคว่ำกับเครื่องให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เครื่องระเหย เครื่องกลั่น เครื่องอบแห้ง 3) ในกรณีที่ปริมาณการใช้ไอน้ำสูงควรใช้กับดักไอน้ำแบบถ้วยกลมอิสระและแบบถ้วยคว่ำติดคานหากเป็นกรณีที่ปริมาณน้อยควรใช้แบบลูกลอยอิสระ ลูกลอยติดคานและแบบถ้วยคว่ำอิสระ 4) ถ้าการใช้ไอน้ำอาจเกิดการกระแทกของน้ำ ไม่ควรใช้กับดักไอน้ำแบบถ้วยคว่ำติดคานแบบลูกลอยติดคานและแบบลูกลอยอิสระ เพราะการกระแทกของน้ำจะทำให้คานและลูกลอยเสียรูปทรงได้ ซึ่งจะทำให้วาล์วปิดไม่สนิท 5) โดยทั่วไปแล้ว กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ไม่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ โดยเฉพาะถ้ามีการนำคอนเดนเสทกลับ กับดักไอน้ำนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียของไอน้ำอย่างมาก

ตารางที่ 2.4-2 การเลือกใช้กับดักไอน้ำ

การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam)	<pre> graph TD Root[] --- Storage[Storage tanks] Root --- Heat[Heat exchangers] Root --- Tracers[Tracers and jacketed pipes] Root --- Space[Space heating] Storage --- Outflow[Outflow heaters] Storage --- Base[Base coils] Outflow --- FT1["FT (IB+AV)"] Base --- BP1["BP (SM)"] Heat --- Mains[Mains drainage] Heat --- Jackets[Jackets] Heat --- Air[Air heaters] Heat --- Flash[Flash vessels] Mains --- TD1["TD (BP)"] Jackets --- Rotating[Rotating cylinders] Air --- Instrument[Instrument] Flash --- BP2["BP (TD)"] Rotating --- FT2["FT (IB+AV)"] Instrument --- BP3["BP (SM)"] Tracers --- NonCritical[Non critical Frost protection] Tracers --- Critical[Critical] NonCritical --- BP4["BP (BP)"] Critical --- TD2["TD (BP)"] Space --- Pipe[Pipe coils] Space --- Radiators[Radiators] Space --- AHU[AHU Unit heaters] Space --- Calorifiers[Calorifiers] Space --- Radiant[Radiant panels] Pipe --- BP5["BP (FT)"] Radiators --- BP6["BP (FT)"] AHU --- FT3["FT (IB+AV)"] Calorifiers --- FT4["FT (BP)"] Radiant --- FT5["FT (BP)"] </pre>
---	---



2.4.2.3 การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) สามารถแบ่งตามลักษณะตำแหน่งติดตั้งได้ 5 ประเภท
1) ถังบรรจ (Storage Tanks) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ก) ถังบรรจที่ให้ความร้อนภายนอก กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB) และควรต่อ Air vent คร่อมด้วย ข) ถังบรรจที่มี Coil อยู่ด้านล่างถึง กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Bimetallic (SM)
2) ท่อประธานของไอน้ำ (Steam Mains Drainage) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD)
3) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger), หม้อต้ม (Jackets), ลมร้อน (Air Heaters), ถังเก็บไอน้ำแฟลช (Flash vessels), ลูกกลิ้ง (Rotating Cylinders) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB) และควรต่อ Air vent คร่อมด้วย
4) ระบบอุ่นอุณหภูมิในท่อ (Tracers and Jacketed pipe) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ก) เครื่องมือวัด (Instrument) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) หรือกับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD) ข) ระบบป้องกันน้ำแข็งตัว (Frost Protection) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Bimetallic (SM) ค) ระบบฉุกเฉิน (Critical) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP)
5) ระบบให้ความร้อนสัมผัส แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ก) ชุด Coil ที่เป็นท่อ กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ ชนิด Balanced Pressure (BP) หรือ ชนิด Ball float (FT) ข) เครื่องกระจายความร้อน (Radiators) กับดักไอน้ำที่เหมาะสมคือกับดักไอน้ำชนิดกับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) ค) เครื่องปรับอากาศ (AHU), ชุดให้ความร้อน (Unit Heaters), ชุดวัดความร้อน (Calorifiers) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิดกับดักไอน้ำชนิด กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB)และควรต่อ Air vent คร่อมด้วย ง) ชุดเปล่งรังสี (Radiant Panels) กับดักไอน้ำชนิดกับดักไอน้ำชนิด กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP)

2.4.2.4 การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำไจด (Superheated Steam) สามารถแบ่งตามลักษณะตำแหน่งติดตั้งได้ 2 ประเภท

1) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger), หม้อต้ม (Jackets), ลมร้อน (Air Heaters), ถังเก็บไอน้ำแฟลช (Flash vessels), ลูกกลิ้ง (Rotating Cylinders)

กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB) และควรต่อ Air vent คร่อมด้วย

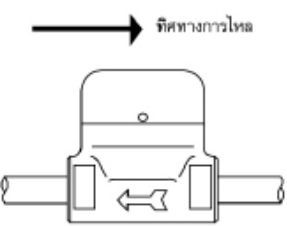
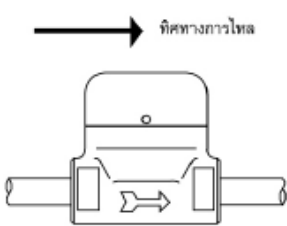
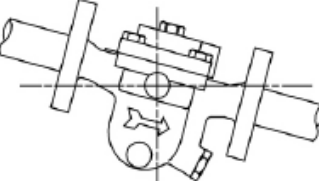
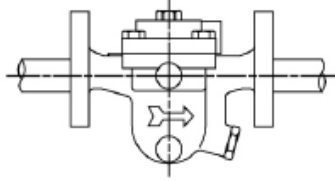
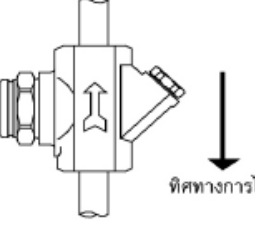
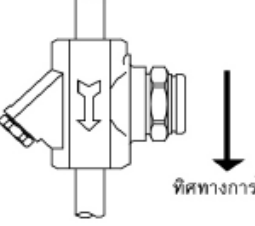
2) ท่อประธานของไอน้ำ (Steam Mains Drainage)

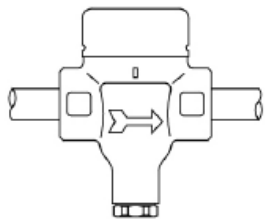
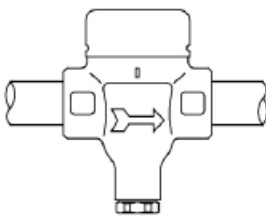
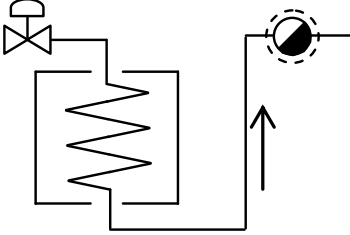
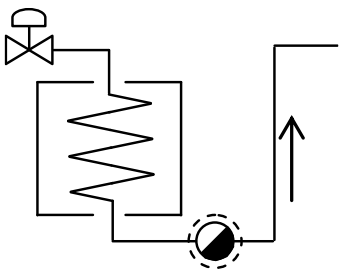
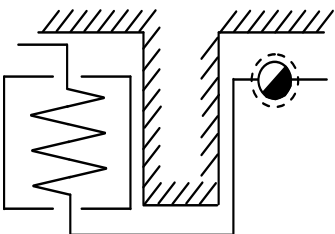
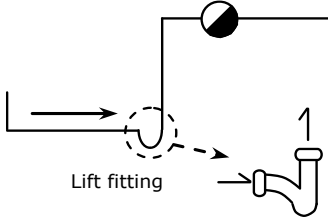
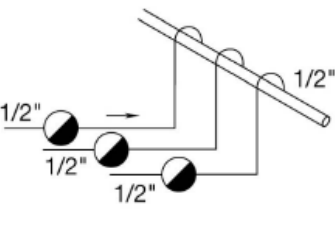
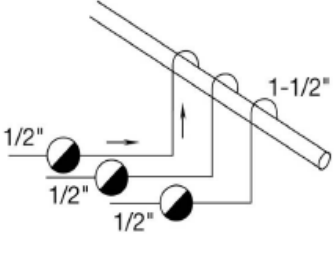
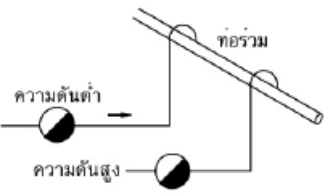
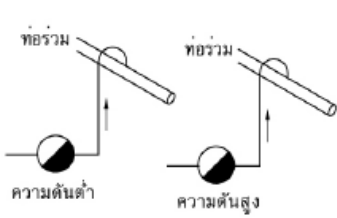
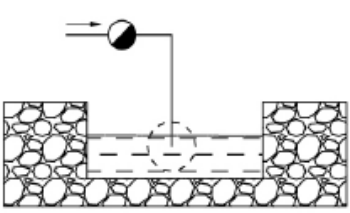
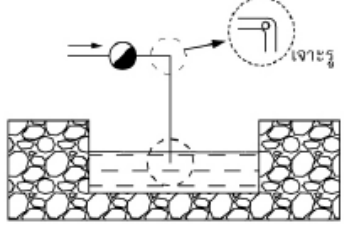
กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Bimetallic (SM)

2.4.3 ข้อแนะนำในการติดตั้งกับดักไอน้ำ

การเลือกกับดักไอน้ำในชนิดและขนาดที่เหมาะสมแล้ว แต่การติดตั้งไม่ถูกต้องก็จะทำให้เกิดปัญหาในระบบไอน้ำหรือเกิดการสูญเสียพลังงานเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นควรตรวจสอบและแก้ไขให้ถูกต้องดังตารางที่ 2.4-3

ตารางที่ 2.4-3 ข้อแนะนำในการติดตั้งกับดักไอน้ำ

ผิด	ถูก	คำแนะนำ
		ติดตั้งกับดักไอน้ำให้ถูกต้องตามทิศทางการไหล
		กับดักไอน้ำแบบลูกลอยอิสระต้องติดตั้งในแนวนอน
		กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ไม่มีข้อจำกัดในการติดตั้ง

ผิด	ถูก	คำแนะนำ
		ไม่ควรใช้ท่อเล็กกว่าขนาดของกับดักไอน้ำ
		ไม่ควรติดตั้งกับดักไอน้ำสูงกว่าจุดที่ระบายน้ำออก ทางเข้าของกับดักไอน้ำควรอยู่ในระดับที่คอนเดนเสทสามารถไหลเข้ามาได้ด้วยแรงโน้มถ่วง
		ถ้ากับดักไอน้ำต้องติดตั้งในระดับที่สูงกว่าจุดระบายน้ำออก ควรใช้ Lift Fitting
		ขนาดของท่อรวมที่จะนำน้ำกลับควรมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของกับดักไอน้ำ และพื้นที่หน้าตัดต้องมากกว่าพื้นที่หน้าตัดของกับดักไอน้ำทั้งหมดรวมกัน
		คอนเดนเสทที่มีความดันแตกต่างกัน ไม่ควรนำไปรวมในท่อรวมเดียวกัน
		ท่อทางออกไม่ควรจุ่มอยู่ในน้ำ และควรมีรูเล็กๆ เพื่อไม่ให้เกิดการดูดกลับ

ผิด	ถูก	คำแนะนำ
		อุปกรณ์แต่ละอย่างควรมีกับดักไอน้ำแยกกันไม่ควรติดตั้งกับดักไอน้ำตัวเดียวกับอุปกรณ์หลายๆอย่าง เพราะจะทำงานได้ไม่ดี
		การใช้กับดักไอน้ำซ้อนกัน 2 ตัว จะทำงานได้ไม่ดี ใช้ตัวเดียวก็พอ
		กับดักไอน้ำต้องติดตั้งไว้ด้านทางเข้าเพื่อเอาน้ำคอนเดนเสทออกก่อนที่จะเข้าวาล์วควบคุม (Regulating Valve)
		ทางออกของกับดักไอน้ำไม่ควรต่อที่ด้านล่างของท่อรวม
		ท่อรวมไม่ควรมีส่วนที่ยกขึ้น เพราะจะทำให้มีความดันเกิดขึ้นเนื่องจากความสูงของน้ำคอนเดนเสทซึ่งจะทำให้เกิดความดันย้อนกลับ (Back Pressure)

2.5 การตรวจวิเคราะห์หม้อไอน้ำ

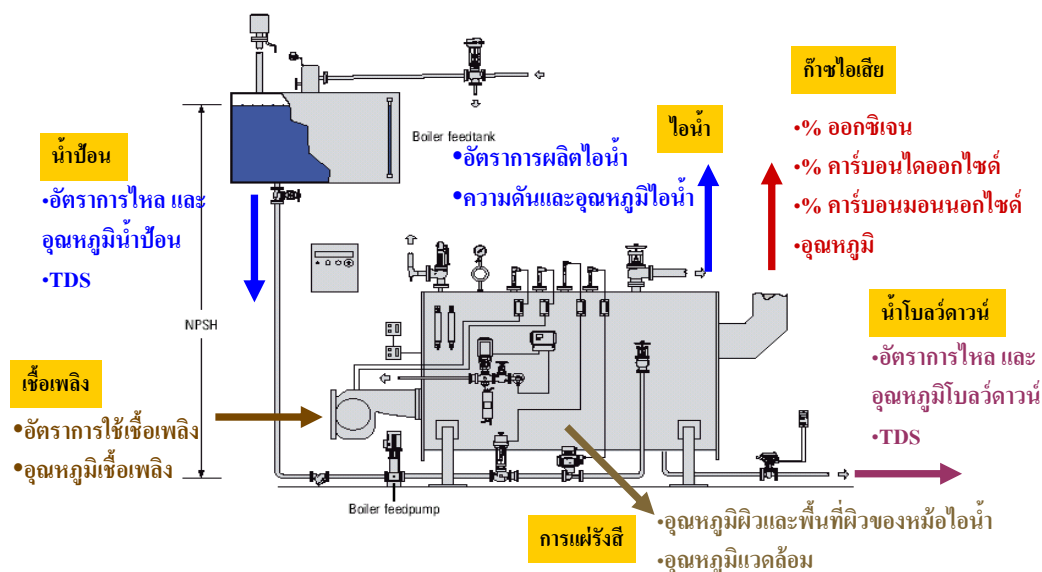
หม้อไอน้ำแต่ละลูกจะระบุข้อมูลจำเพาะของหม้อไอน้ำ เช่น กำลังการผลิตไอน้ำพิกัด ชนิดและปริมาณความต้องการใช้เชื้อเพลิง และอื่นๆ ข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ประเมินเพื่อให้ทราบค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลูกนั้นๆ โดยเบื้องต้นได้ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ เรายังจำเป็นต้องตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อไอน้ำเป็นประจำเพื่อให้ทราบถึงสภาพการทำงานและประสิทธิภาพพลังงานที่แท้จริงของหม้อไอน้ำที่เราใช้งานอยู่

2.5.1 การตรวจวัดการทำงานของหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 2.5-1 แสดงข้อมูลการวัดที่จำเป็นต้องทราบสำหรับการประเมินสมรรถนะการทำงาน และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 2.5-1 ข้อมูลตรวจวัดหม้อไอน้ำ

ข้อมูล	ค่าตรวจวัด	การวิเคราะห์
เชื้อเพลิง	- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง - อัตราการใช้เชื้อเพลิง - อุณหภูมิเชื้อเพลิง	- อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ
ไอน้ำ	- ความดันและอุณหภูมิไอน้ำ - อัตราการผลิตไอน้ำ	- อัตราการผลิตพลังงานความร้อน (ไอน้ำ) ของหม้อไอน้ำ
น้ำป้อนและน้ำโบว์ลด์วอร์น	- อัตราการไหลของน้ำป้อนและโบว์ลด์วอร์น - อุณหภูมิของน้ำป้อนและโบว์ลด์วอร์น - ค่า TDS (Total Dissolved Solid)	- การสูญเสียพลังงานจากการโบว์ลด์วอร์น
ก๊าซไอเสีย	- เปอร์เซนต์ของ O₂ - เปอร์เซนต์ของ CO₂ - เปอร์เซนต์ของ CO และอื่นๆ - อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย	- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ
การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี	- อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของหม้อไอน้ำ - อุณหภูมิแวดล้อม - ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)	- การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีของหม้อไอน้ำ



รูปที่ 2.5-1 การตรวจวัดข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ

สำหรับความร้อนสูญเสียของระบบส่งจ่ายไอน้ำ ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของท่อส่งจ่าย วาล์ว และหน้าแปลน อุณหภูมิแวดล้อม และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ของพื้นผิว ตลอดจนสภาพของฉนวน

เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการตรวจวัดข้อมูลข้างต้น ประกอบด้วย เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ เครื่องวิเคราะห์สภาพน้ำ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส รายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือวัดแสดงในบทที่ 1

2.5.2 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

จากข้อมูลการวัดที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.5.1 เราสามารถคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของหม้อไอน้ำได้ โดยปกติแล้ว การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ

2.5.2.1 การคำนวณโดยวิธีตรง

2.5.2.2 การคำนวณโดยวิธีอ้อม

2.5.2.1 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง

การคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง เป็นการคำนวณประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลของปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำที่ผลิตขึ้นโดยหม้อไอน้ำและข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง การคำนวณโดยวิธีนี้ง่ายและไม่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่ได้แสดงให้เห็นว่า การสูญเสียพลังงานหรือการลดลงของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเกิดจากสาเหตุใด สมการที่ (2.1) แสดงการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง

$$\eta_B = \frac{m_s (h_s - h_w)}{m_F \cdot HV} \quad (2.1)$$

เมื่อ	η_B	=	ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ
	m_s	=	อัตราการไหลของไอน้ำ, kg/s
	m_F	=	อัตราการใช้เชื้อเพลิง, kg/s
	h_s	=	เอนทาลปีของไอน้ำ, kJ/kg
	h_w	=	เอนทาลปีของน้ำป้อน, kJ/kg
	HV	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, kJ/kg

2.5.2.2 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อม

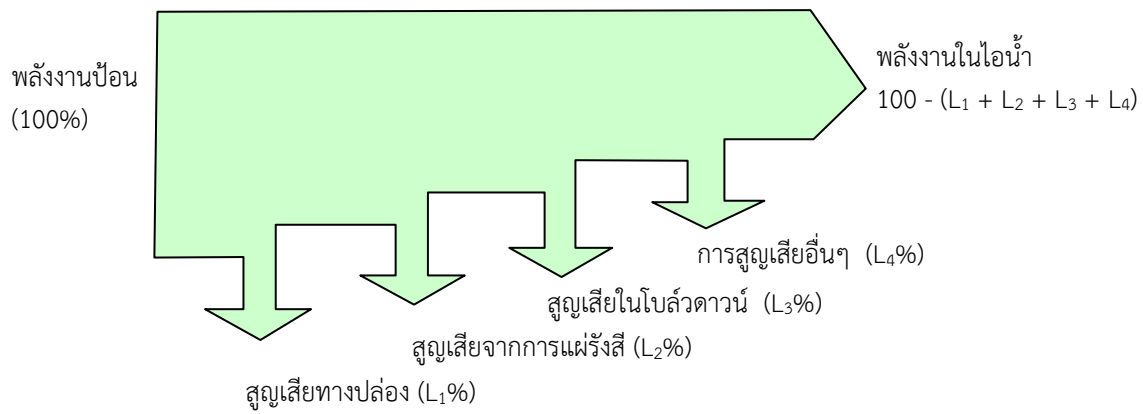
การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อมจะใช้วิธีวัดการสูญเสียพลังงานจากแหล่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ แล้วหักออกจาก 100 ซึ่งก็คือค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ การคำนวณประสิทธิภาพโดยวิธีอ้อม เราจะต้องตรวจวัดหรือคำนวณเพื่อให้ทราบการสูญเสียพลังงานต่างๆ ที่เกิดขึ้นประกอบด้วย

- การสูญเสียพลังงานทางปล่อง (L_1)
- การสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อนที่ผิว (L_2)
- การสูญเสียพลังงานจากโบล์ดาวน์ (L_3)
- การสูญเสียพลังงานอื่นๆ (L_4)

ทันทีที่ทราบการสูญเสียเหล่านี้ เราสามารถคำนวณประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ (2.2)

$$\eta_B = 100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) \quad (2.2)$$

ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ



ตัวอย่างที่ 1

สมมติให้หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำลูกหนึ่งซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ผลิตไอน้ำที่ความดัน 10 barg อุณหภูมิ 184°C ข้อมูลข้างล่างได้จากการตรวจวัดหม้อไอน้ำ

ข้อมูลตรวจวัด

ปริมาณการใช้น้ำมันเตา	800	L/h (สมมุติน้ำมันเตามีค่าความร้อน $\approx 40 \text{ MJ/L}$)
ปริมาณน้ำป้อน	10,600	kg/h
ปริมาณโบล์ดวาร์	600	kg/h
อุณหภูมิน้ำป้อน	25	$^\circ\text{C}$
หม้อไอน้ำทำงาน	6,000	h/y
ไม่มีการนำกลับคอนเดนเสท		
ราคาน้ำมันเตาสมมติให้เท่ากับ	14.0	฿/L

จงคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (โดยใช้วิธีตรง)

วิธีคำนวณ

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าความร้อนของน้ำ } 25^{\circ}\text{C} ; h_f &= 105 \text{ kJ/kg} \\
 \text{ค่าความร้อนของน้ำ } 184^{\circ}\text{C} ; h_f &= 781 \text{ kJ/kg} \\
 \text{ค่าความร้อนของไอน้ำ } 184^{\circ}\text{C} ; h_g &= 2,782 \text{ kJ/kg} \\
 \text{ปริมาณการผลิตไอน้ำ} &= 10,600 - 600 = 10,000 \text{ kg/h} \\
 \text{ความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ} &= \text{ค่าความร้อนของน้ำจาก } 25^{\circ}\text{C} \text{ เป็น } 184^{\circ}\text{C} + \\
 &\quad \text{ค่าความร้อนของน้ำ } 184^{\circ}\text{C} \text{ เป็นไอน้ำ } 184^{\circ}\text{C} \\
 &= 10,600 \times (781 - 105) + 10,000 \times (2,782 - 781) \\
 &= 27,175,600 \text{ kJ/h} \\
 \text{พลังงานจากการใช้เชื้อเพลิง} &= 800 \times 40,000 = 32,000,000 \text{ kJ/h} \\
 \text{ดังนั้น ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ} &= 27,175,600 / 32,000,000 = 0.849 \text{ (84.9\%)} \\
 \\
 \text{ปริมาณน้ำมันที่ใช้ต่อปี} &= 800 \times 6,000 = 4,800,000 \text{ L/y} \\
 \text{ค่าน้ำมันเตาต่อปี} &= 4,800,000 \times 14 = 67,200,000 \text{ B/y} \\
 \text{ราคาไอน้ำต่อตัน} &= 67,200,000 / (10 \times 6,000) = 1,120 \text{ B/t}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 2.5-2 ตารางแสดงค่าเอนทาลปีของน้ำที่ค่าความดันต่างๆ

Pressure (absolute) bar	Temp °C	Enthalpy in kJ/kg		
		Water h_f kJ/kg	Evaporation h_{fg} kJ/kg	Steam h_g kJ/kg
0.48	80.34	336.40	2307.17	2643.57
0.49	80.85	338.54	2305.86	2644.41
0.50	81.35	340.66	2304.58	2645.23
1.00	99.64	417.60	2257.22	2674.82
1.50	111.38	467.18	2225.98	2693.17
2.00	120.23	504.74	2201.77	2706.50
2.50	127.43	535.37	2181.57	2716.94
3.00	133.54	561.45	2164.02	2725.47
3.50	138.87	584.29	2148.36	2732.65
4.00	143.62	604.70	2134.12	2738.82
4.50	147.91	623.20	2121.00	2744.19
5.00	151.84	640.16	2108.78	2748.94
5.50	155.46	655.86	2097.32	2753.18
6.00	158.83	670.49	2086.50	2756.99
6.50	161.99	684.21	2076.23	2760.44
7.00	164.95	697.14	2066.43	2763.58
7.50	167.76	709.39	2057.06	2766.44
8.00	170.42	721.03	2048.05	2769.08
8.50	172.95	732.13	2039.39	2771.51
9.00	175.36	742.74	2031.02	2773.76
9.50	177.67	752.92	2022.93	2775.84
10.00	179.89	762.70	2015.08	2777.78
10.50	182.02	772.12	2007.47	2779.59
11.00	184.13	781.6	2000.1	2781.7
11.50	186.2	791.8	1991.0	2783.2

ตัวอย่างที่ 2

จากตัวอย่างที่ 1 และจากการตรวจวัดการสูญเสียความร้อนจากแหล่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ พบได้ว่าการสูญเสียความร้อนจากปล่อง = 12.4 % (ผลจากการตรวจวัดไอเสีย) การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี = 1.7 %

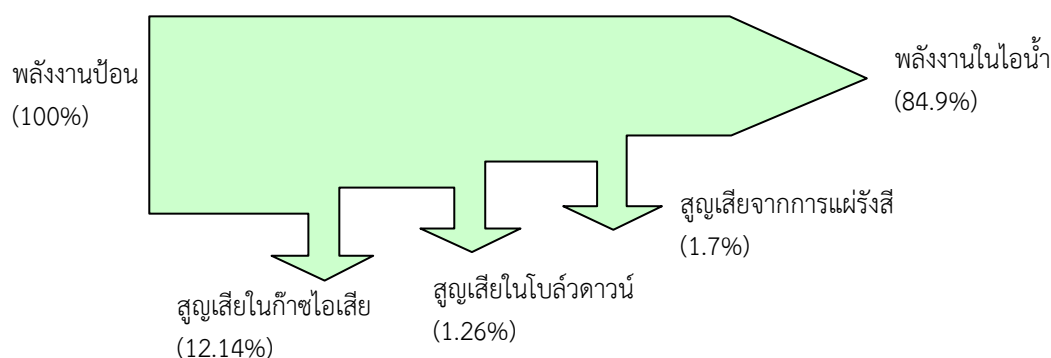
จงคำนวณหาการสูญเสียจากโบลว์ดาวน์และประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำ

วิธีคำนวณ

$$\begin{aligned}\text{การสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์} &= 600 \times (781 - 105) \\ &= 405,600 \quad \text{kJ/h} \\ &= 405,600 / 32,000,000 \\ &= 1.26 \%\end{aligned}$$

จากสมการที่ (2.2) ประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำ

$$\begin{aligned}&= 100 - 12.14 - 1.7 - 1.26 \\ &= 84.9 \%\end{aligned}$$



2.6 การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพ 70-80% หมายความว่าพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง 100 ส่วน สามารถให้ความร้อนกับน้ำได้ 70-80 ส่วนเท่านั้น พลังงานส่วนที่เหลือจะสูญเสียไปกับก๊าซร้อนที่ปล่อยทิ้งทางปล่อง ผ่านพื้นผิวของหม้อไอน้ำ และน้ำที่ต้องระบายทิ้งเป็นระยะ แนวทางและวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีรายละเอียด ดังนี้

2.6.1 การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศป้อนต่อเชื้อเพลิง

การควบคุมประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำให้อยู่ในระดับสูงตลอดเวลาเป็นสิ่งสำคัญยิ่งต่อการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบไอน้ำ ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม ซึ่งผู้ดูแลหม้อไอน้ำสามารถดำเนินการได้โดยดูจากเปลวไฟ ความสว่างในห้องเผาไหม้และสีของควันไฟ อย่างไรก็ตามหากเป็นไปได้ควรทำการตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซเผาไหม้เป็นประจำ จะช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด นอกจากนั้นควรทำการติดตั้งเครื่องควบคุมและปรับปริมาณ O_2 (Continuous Oxygen Trimming) จะช่วยให้หม้อไอน้ำทำงานด้วยการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดเวลา สำหรับหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำขนาดใหญ่มักจะติดตั้งเครื่องมือดังกล่าวไว้

การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศจำเป็นต้องปรับตั้งที่ทุกๆ ภาระการทำงาน เช่น หัวเผาทำงานแบบเป็นขั้น ให้ปรับตั้งค่าสำหรับแต่ละขั้น และหัวเผาทำงานแบบต่อเนื่องให้ปรับตั้งอย่างน้อยที่ภาระต่ำ ปานกลางและสูง ในการปรับตั้งเริ่มจากการบังคับหัวเผาให้ทำงานที่ภาระใดภาระหนึ่ง จากนั้นตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย แล้วปรับแตรเปอร์อากาศ เพื่อให้ร้อยละของ O_2 ในก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานหรือปริมาณ CO_2 มีค่าสูงสุด ทั้งนี้ก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งต้องไม่เกิดเขม่าดำและปริมาณ CO ไม่เกิน 200 ppm ให้ล็อกตำแหน่งนั้นไว้ แล้วปรับตั้งสำหรับที่ภาระอื่นๆ ต่อไป

2.6.1.1 การคำนวณค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency)

ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3)

$$\eta_c = 100 - L_1 \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.3) ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%) ของหม้อไอน้ำเท่ากับ 100 หักด้วยร้อยละ (%) ของความร้อนที่สูญเสียทางปล่องไฟ

ผู้ผลิตหม้อไอน้ำบางรายใช้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เป็นประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ขณะที่ผู้ผลิตหม้อไอน้ำบางรายใช้ประสิทธิภาพจากการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำซึ่งรวมการสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสีไว้ด้วย เป็นประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ดังนั้นควรตรวจสอบข้อมูลจากผู้ผลิตให้ชัดเจนก่อนตัดสินใจเลือกซื้อ

2.6.1.2 ขั้นตอนการหาการสูญเสียความร้อนทางปล่องไฟ

1. เลือกตารางของเชื้อเพลิง โดยน้ำมันดีเซลใช้ตารางที่ 2.6-1 NO.2 OIL, น้ำมันเตาใช้ตารางที่ 2.6-2 NO.6 OIL และก๊าซธรรมชาติใช้ตารางที่ 2.6-3 NATURAL GAS
2. วัด % CO_2 จากก๊าซไอเสียที่ปล่องไฟ ณ ตำแหน่งที่ใกล้หม้อไอน้ำมากที่สุด
3. ถ้าเครื่องมือวัดที่ใช้ เป็นเครื่องมือวัด % O_2 ของก๊าซไอเสีย ให้ใช้กราฟในรูปที่ 2.6-1 ในการเทียบค่า (Convert) % O_2 ไปเป็น % CO_2
4. วัดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่องไฟ แล้วลบด้วยอุณหภูมิห้อง (ค่าอุณหภูมิในตารางที่ 2.6-1, 2.6-2 และ 2.6-3 เป็นผลต่างของอุณหภูมิปล่องกับอุณหภูมิแวดล้อม , หน่วยเป็น $^{\circ}F$)
5. หา % ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟจากตาราง

หมายเหตุ

- ก) ตารางที่ 2.6-1, 2.6-2 และ 2.6-3 เป็นตารางที่คิดจากค่าความร้อนสูงของน้ำมันเตา ถ้าคิดด้วยค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเตาจะต้องลบค่า % ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟประมาณ 4-5 %
- ข) ดังนั้นก่อนการใช้งานตารางหรือกราฟใดๆ ที่เกี่ยวกับ%ของความร้อนต่างๆ จะต้องตรวจสอบก่อนว่าตารางหรือกราฟนั้น ใช้กับค่าความร้อนสูงหรือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง ไม่เช่นนั้นเมื่อนำค่าที่หาได้ไปใช้งานต่อ เช่น คำนวณต้นทุนของการผลิตไอน้ำจะผิดพลาดไป ถ้าไม่สามารถหาข้อมูลได้ว่าตารางหรือกราฟนั้น ใช้กับค่าความร้อนสูงหรือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง อาจสังเกตจากเครื่องมือวัด เช่น ถ้าผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกาจะใช้ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง ถ้าผลิตจากประเทศญี่ปุ่นหรือยุโรปจะใช้ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง
- ค) ข้อสังเกตจากตาราง % ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟ
 - ถ้าอุณหภูมิของไอเสียสูง จะมีความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องมาก
 - ถ้า % CO_2 สูง หรือ % O_2 ต่ำ จะมีความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องน้อย

ตารางที่ 2.6-1 ร้อยละการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสีย สำหรับน้ำมันดีเซล

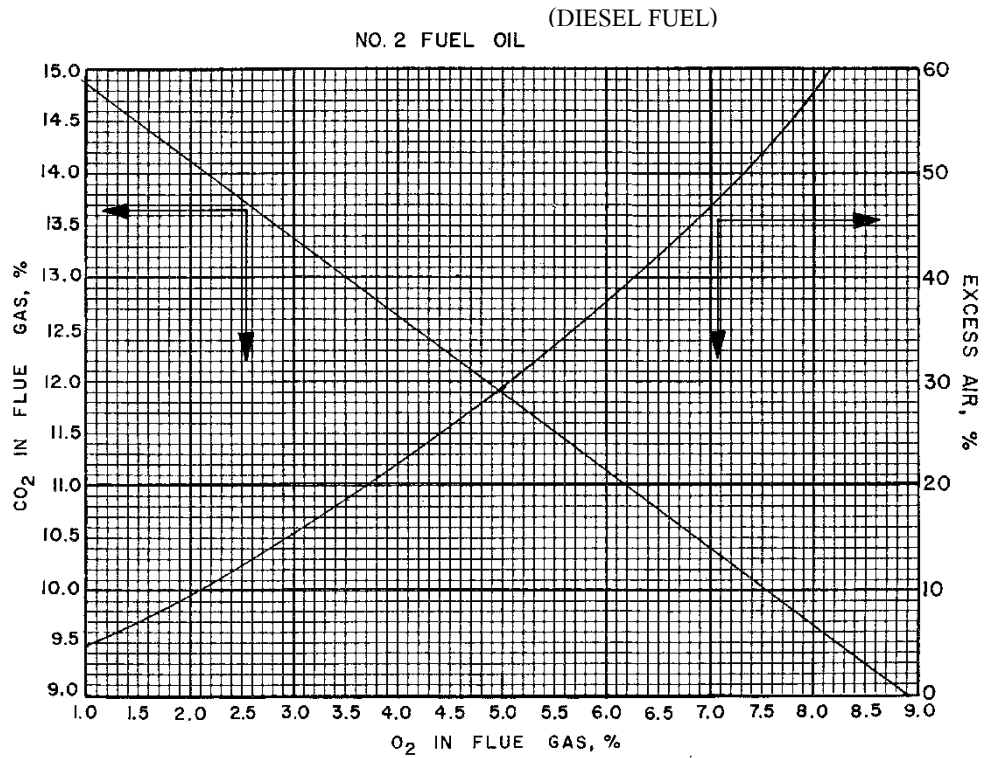
STACK LOSS -%- NO.2 OIL																																	
%	DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																																
CO ₂ \	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000	
3.0	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	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	26.8	27.5	28.2	29.0	29.8	30.6	31.3	32.3	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	25.7	26.3	27	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	20.6	21.2	21.8	22.4	23.1	23.8	24.4	25	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	14.6	15.2	15.7	16.3	16.9	17.5	18.1	18.7	19.3	20	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	15.5	16.7	17.2	17.8	18.3	18.7	19.4	20.0	20.5	20.9	21.5	22	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	15.9	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	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	14.8	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	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 2.6-2 ร้อยละการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสีย สำหรับน้ำมันเตาซี

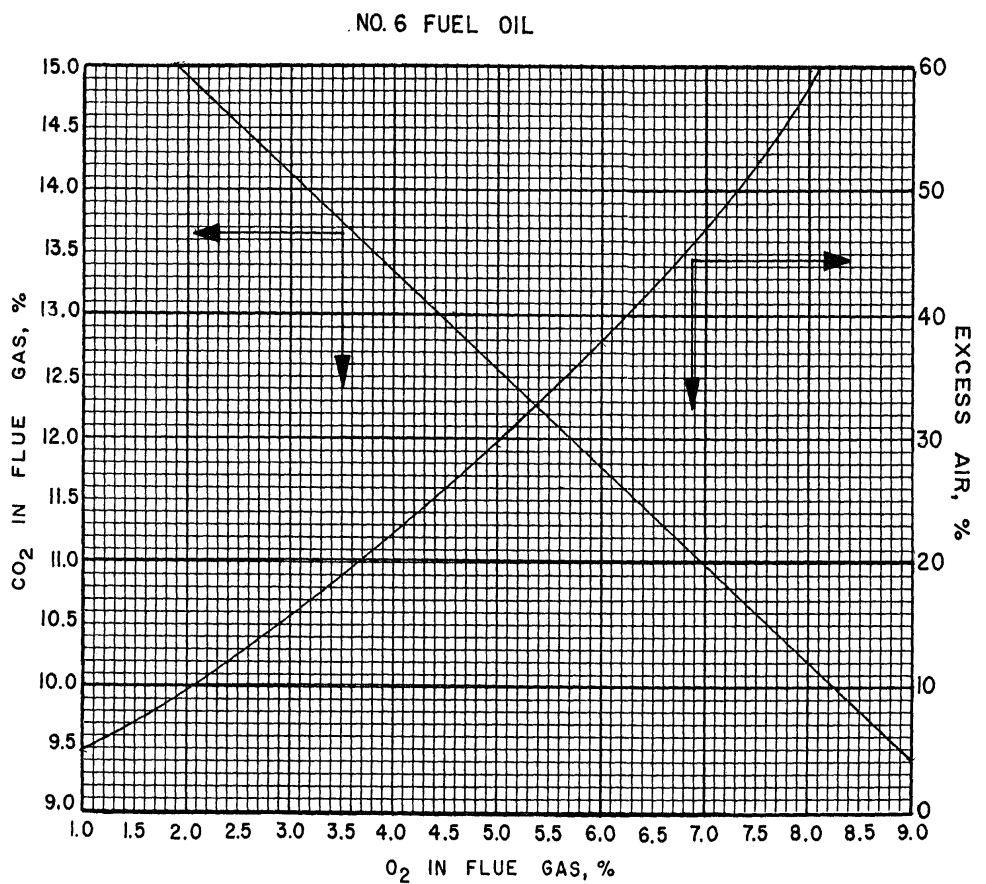
STACK LOSS -%- NO.6 OIL																																	
%	DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																																
CO ₂	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000	
3.0	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	4.6	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	38.3	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	28.3	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	20.7	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	13.8	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	14.0	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 2.6-3 ร้อยละการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสีย สำหรับน้ำมันก๊าซธรรมชาติ

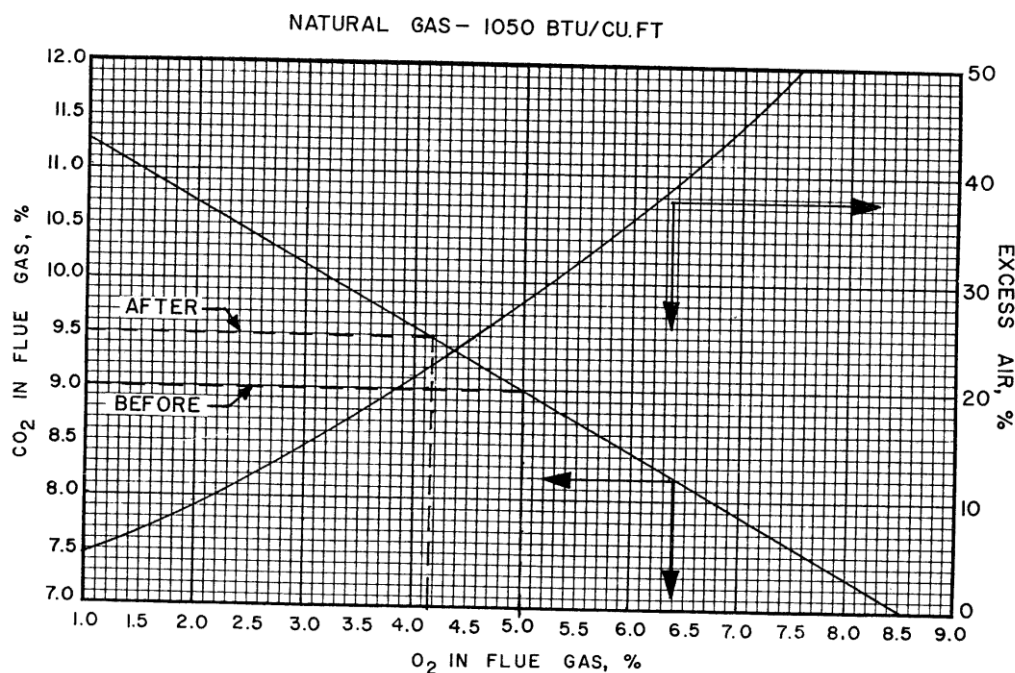
STACK LOSS -%- NATURAL GAS																																		
%	DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																																	
	CO ₂	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000	
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	38.0	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	20.6	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		



ก) ความสัมพันธ์ของ Excess air, % O_2 และ % CO_2 ของน้ำมันดีเซล



ข) ความสัมพันธ์ของ Excess air, % O_2 และ % CO_2 ของน้ำมันเตา C



ค) ความสัมพันธ์ของ Excess air, %O₂ และ %CO₂ ของก๊าซธรรมชาติ

รูปที่ 2.6-1 ความสัมพันธ์ของ Excess air, %O₂ และ %CO₂ ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

ตัวอย่างที่ 3

จากการตรวจวัดหม้อไอน้ำลูกหนึ่งพบว่าปริมาณ O₂ ในก๊าซไอเสียมีค่าเท่ากับ 8% และอุณหภูมิไอเสียเท่ากับ 246°C ขณะที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 35°C จงประเมินการสูญเสียความร้อนของไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ

วิธีคำนวณ

จากรูปที่ 2.6-1 ข) เมื่อ O₂ เท่ากับ 8% และเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นน้ำมันเตา ดังนั้น ปริมาณอากาศส่วนเกินจะเท่ากับ 58% และ CO₂ เท่ากับ 10.2% จากตารางที่ 2.6-1 ข) เมื่ออุณหภูมิไอเสียหักด้วยอุณหภูมิห้อง ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 211°C (380°F)

ฉะนั้น การสูญเสียในก๊าซไอเสีย ≈ 16.8 % (พิจารณาที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูง HHV)

การสูญเสียในก๊าซไอเสีย $\approx 16.8 - 4.5 = 12.3$ % (พิจารณาที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ LHV)

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ = $100 - 12.3 = 87.7$ % (พิจารณาที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ LHV)

2.6.2 การลดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย

พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะถูกนำไปใช้ในการต้มน้ำเพื่อผลิตไอน้ำ โดยผ่านพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนของหม้อไอน้ำแต่ละลูกจะไม่เท่ากัน ดังนั้น จึงเกิดการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการสูญเสียประมาณ 10-30%

2.6.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย

1) ปริมาณอากาศที่ใช้เผาไหม้ไม่เหมาะสม ถ้าปริมาณอากาศมากเกินไป อากาศส่วนที่ไม่ได้ช่วยในการเผาไหม้ จะพาความร้อนจากห้องเผาไหม้ ทิ้งทางปล่องไอเสียมากขึ้น โดยสังเกตได้จากอุณหภูมิไอเสียที่สูงขึ้น ดังนั้น ควรทำการปรับอัตราส่วนอากาศ (Air Ratio) ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

2) เขม่า (Soot) เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงแข็งจะเกิดเขม่ามากกว่าเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ โดยเขม่าจะมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าควัน (Smoke) ดังนั้นจึงเกาะและสะสมอยู่บนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเขม่ามากขึ้นอุณหภูมิไอเสียที่ออกปล่องจะสูงขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียความร้อนออกทางปล่องมากขึ้น โดยทั่วไปเขม่าที่หนาขึ้น 1 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 15-20%

3) ตะกรัน (Scale) เกิดจากการรวมตัวของสารละลายที่อยู่ในน้ำเกิดเป็นของแข็งเกาะบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดต่ำลง ซึ่งจะทำให้การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียมากขึ้น โดยสังเกตจากอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ซึ่งตะกรันที่หนาขึ้นทุกๆ 1 mm. จะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 2%

ปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาจะทำให้อุณหภูมิไอเสียสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียเพิ่มขึ้น ดังนั้น ผู้ใช้หม้อไอน้ำควรตรวจสอบอุณหภูมิไอเสียเป็นประจำโดยทำการบันทึกอุณหภูมิไอเสียหลังจากปรับตั้งปริมาณอากาศที่เหมาะสมและทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว อุณหภูมิไอเสียที่ได้ไม่ควรเกินค่าในตารางที่ 2.6-4 บวกกับอุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อมด้วย 20 นอกจากนั้น หลังจากใช้งานไประยะหนึ่งจะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิไอเสียสูงกว่าเดิม 20°C ควรทำความสะอาดโดยการขูดเขม่า เพื่อลดการสูญเสียความร้อนดังกล่าว

ตารางที่ 2.6-4 มาตรฐานอุณหภูมิไอเสียของหม้อไอน้ำ (°C)

ขนาดพิกัดหม้อไอน้ำ	เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	เชื้อเพลิงก๊าซ	ก๊าซทิ้ง กระบวนการผลิต
หม้อไอน้ำขนาดใหญ่เพื่อผลิตไฟฟ้า	-	145	110	200
หม้อไอน้ำอื่นๆ 30 ตันต่อชั่วโมง หรือมากกว่า	200	200	170	200
10 ถึง 30 ตันต่อชั่วโมง	200	200	170	-
5 ถึง 10 ตันต่อชั่วโมง	-	220	200	-
น้อยกว่า 5 ตันต่อชั่วโมง	-	250	220	-

หมายเหตุ ใช้ที่อุณหภูมิบรรยากาศ 20°C และภาระ 100% และพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสะอาด

2.6.2.2 การคำนวณการสูญเสียความร้อนจากไอเสีย

การสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสียของหม้อไอน้ำแต่ละชุดไม่เท่ากัน เราสามารถคำนวณการสูญเสียความร้อนจากไอเสีย จากตารางที่ 2.6-1 ถึง 2.6-3 และรูปที่ 2.6-1 ในหัวข้อที่ 2.6.1

ตัวอย่างที่ 4

จากตัวอย่างที่ 1 และ 3 การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียพบว่าเท่ากับ 8% และอุณหภูมิไอเสียเท่ากับ 246°C โดยที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 35°C หากต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยการปรับลดปริมาณ O₂ ในก๊าซไอเสียลงเหลือ 5% ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีค่าเท่าใด (พิจารณาเฉพาะมาตรการปรับลดปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียเท่านั้น)

วิธีคำนวณ

จากรูปที่ 2.6-1 ข) และตารางที่ 2.6-2 ที่ปริมาณ O₂ เท่ากับ 5% การสูญเสียในก๊าซไอเสียจะเท่ากับ 10.3%

ดังนั้น ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

= 100 – 10.3 – 1.7 – 1.23

= 86.8 %

หรือเพิ่มขึ้น

= 86.8 – 84.7

= 2.1 %

จากตัวอย่างที่ 1 เพื่อผลิตไอน้ำในอัตรา 10 ตันต่อชั่วโมงต้องป้อนพลังงานความร้อนให้น้ำ

= 27,124,800

kJ/h

ดังนั้น พลังงานเชื้อเพลิงที่ต้องใช้

= 27,124,800 / 0.868

kJ/h

= 31,249,769.6

kJ/h

ปริมาณการใช้น้ำมันเตา

= 31,249,769.6 / 40,000 (ค่าความร้อน≈ 40 MJ/L)

= 781.2

L/h (4,687,200 L/y)

ค่าน้ำมันเตาต่อปี

= 4,687,200 × 14

B/y

= 65,620,800.0

B/y

ราคาไอน้ำต่อตัน

= 65,620,800.0 / (10 × 6,000)

= 1,093.7

B/t

2.6.2.3 มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวกับการใช้และการบำรุงรักษา ระบบ/อุปกรณ์ในการเผาไหม้

1) ทำความสะอาดหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวทุกสัปดาห์ และเชื้อเพลิงก๊าซทุกเดือน เขม่าหรือสิ่งสกปรกจะทำให้อากาศและเชื้อเพลิงไหลไม่สะดวก ไม่สามารถฉีดเป็นละอองได้

2) ตรวจสอบสภาพการเผาไหม้และปรับตั้งอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐานทุกเดือน

3) ควรทำเครื่องหมายไว้ที่เกจวัดความดันน้ำมันเชื้อเพลิง หมั่นตรวจสอบว่าความดันยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิม

4) ควบคุมอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าเผาไหม้ให้เหมาะสม เชื้อเพลิงที่หนืดเกินไปจะกระจายเป็นละอองได้ไม่ดีส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดต่ำลง ขณะเดียวกันถ้าอุ่นร้อนเกินไป จะสิ้นเปลืองพลังงาน และเกิดคราบเขม่าที่หัวเผา

น้ำมันเตาเอ อุณหภูมิอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะสม 90–100°C

น้ำมันเตาซี อุณหภูมิอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะสม 110–120°C

5) อุ่นน้ำมันเตาด้วยไอน้ำแทนการใช้ไฟฟ้าเนื่องจากต้นทุนไฟฟ้าสูงกว่าเชื้อเพลิงประมาณ 30%

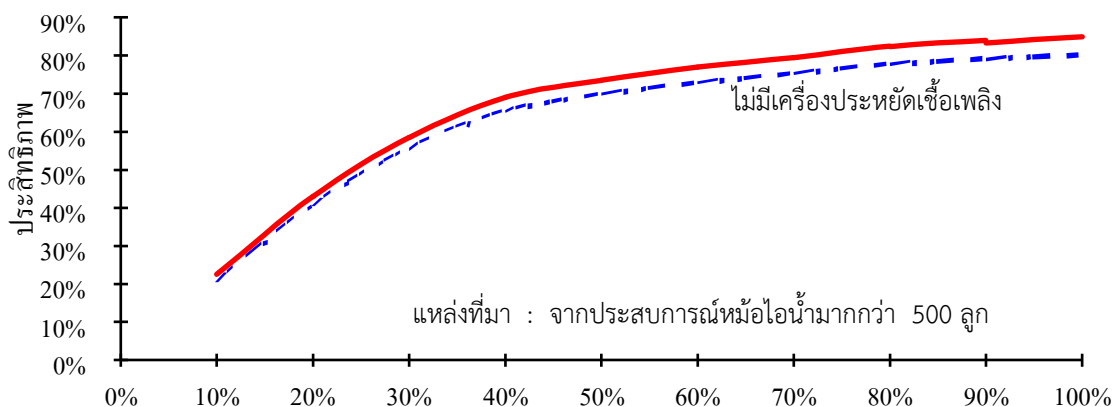
6) ล้างกรองน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นประจำและปล่อยน้ำกันถึงน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างน้อยปีละครั้ง

- 7) ลดขนาดหัวเผาให้เหมาะกับการผลิตไอน้ำ หากพบว่าหัวเผาทำงานที่ภาระต่ำตลอดเวลาหรือเดินหยุดบ่อย
- 8) อุปกรณ์อุ่นน้ำมันควรมีฉนวนหุ้ม
- 9) ในกรณีของเชื้อเพลิงแข็ง ควรลดความชื้นและลดขนาดของเชื้อเพลิงก่อนเข้าเผาไหม้

2.6.3 เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงหรือเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง

นอกจากการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากปล่องแล้ว เราสามารถนำก๊าซร้อนทิ้งซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 200-250°C มาใช้ประโยชน์ โดยการติดตั้งเครื่องประหยัดเชื้อเพลิง (หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) ที่ปล่องไอเสียโดยบางส่วนของความร้อนในก๊าซร้อนทิ้งจะถูกนำกลับคืนมาเพื่ออุ่นน้ำเลี้ยงหรือผลิตน้ำร้อนได้ ในทางปฏิบัติจริงต้องคำนวณการประหยัดออกมาเป็นรายการณี การประหยัดจะได้มากที่สุดก็ต่อเมื่ออุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งสูงและไม่มีการเก็บคืนคอนเดนเสทกลับเข้าไปในหม้อไอน้ำหรือมีก็น้อยมาก

การติดตั้งเครื่องประหยัดเชื้อเพลิงจะคู่กับการลงทุนก็ต่อเมื่อ หม้อไอน้ำมีขนาดใหญ่ประมาณ 3 MW (ผลิตไอน้ำประมาณ 3.6 ตัน/ชั่วโมง) หรือใหญ่กว่าในกรณีที่หม้อไอน้ำต้องเดินที่ภาระต่ำๆ เป็นเวลานานๆ ก็จำเป็นต้องติดตั้งทางผ่าน (Bypass) เพื่อบังคับให้ก๊าซร้อนทิ้งออกปล่องไปโดยตรงโดยไม่ผ่านเครื่องประหยัดเชื้อเพลิง เพื่อหลีกเลี่ยงการกลั่นตัวของกรดที่จะทำให้เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงผุกร่อน อันเนื่องมาจากอุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งต่ำ



รูปที่ 2.6-2 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำขนาดใหญ่

2.6.4 การควบคุมน้ำระบาย (โบล์ดวอร์น)

การระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำ หรือ โบล์ดวอร์น เป็นการสูญเสียพลังงานที่สำคัญอย่างหนึ่ง รองจากการสูญเสียไปกับก๊าซไอเสีย โดยทั่วไปควรมีปริมาณน้ำที่ระบายออกไม่เกิน 5% ของปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ โดยระหว่างการใช้งานหม้อไอน้ำ ความเข้มข้นและความเป็นด่างของน้ำที่อยู่ในหม้อไอน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น และก่อให้เกิดอันตรายเนื่องจากการเปลี่ยนสภาพและการสึกกร่อนของโลหะที่เป็นเปลือกหม้อไอน้ำ และที่สำคัญจะเกิดไอน้ำเปียกเนื่องจากการเดือดอย่างรุนแรง ดังนั้นจึงต้องมีการระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำ เพื่อควบคุมความเข้มข้นของน้ำในหม้อไอน้ำไม่ให้มีค่าสูงเกินไป อย่างไรก็ตามการปล่อยน้ำระบายมากเกินไปจะทำให้มีความร้อนสูญเสียออกไปมากเช่นกัน ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำสามารถทำได้โดยการควบคุมการปล่อยน้ำระบายให้อยู่ในระดับให้ต่ำที่สุด

การควบคุมการโบลว์ดาวน์ ทำได้โดยการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำในหม้อไอน้ำ โดยนำน้ำจากหม้อไอน้ำมาวัดด้วยเครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า โดยต้องปล่อยน้ำระบายทิ้ง เพื่อไล่สิ่งสกปรกในท่อออกก่อน แล้วจึงนำมาเข้าเครื่องวัด หากค่าที่วัดได้ต่ำกว่ามาตรฐานก็ควรลดความถี่หรือปริมาณการระบายลง

2.6.4.1 การคำนวณการสูญเสียความร้อนจากน้ำระบาย

เราสามารถคำนวณการสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์ Q_B (kW) ได้จากสมการที่ (2.4)

$$Q_B = m_B(h_B - h_W) \quad (2.4)$$

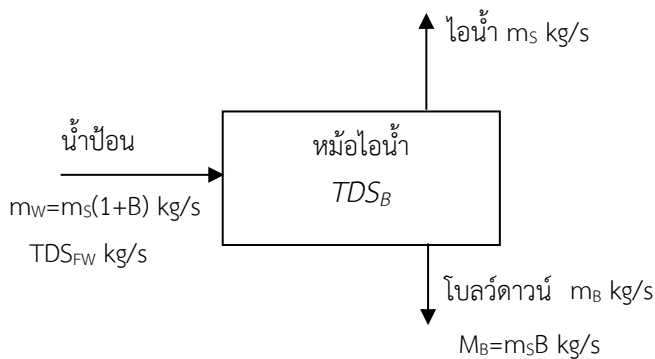
เมื่อ	m_B	= อัตราการโบลว์ดาวน์, kg/s
	C_p	= ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.18 kJ/kg.K)
	h_B	= เอนทาลปีของน้ำโบลว์ดาวน์, kJ/kg
	h_W	= เอนทาลปีของน้ำป้อน, kJ/kg
	T_B	= อุณหภูมิของน้ำโบลว์ดาวน์, kJ/kg
	T_W	= อุณหภูมิของน้ำป้อน, kJ/kg

ค่าการสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์ Q_B (kW) ที่ได้จากสมการที่ (2.4) เมื่อหารด้วยปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเราจะทราบค่าเป็นร้อยละของการสูญเสียความร้อนจากการโบลว์ดาวน์ (B)

ในกรณีที่มีการตรวจวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของทั้งน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำ เราสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการประเมินร้อยละของการโบลว์ดาวน์ (B) โดยใช้ตารางที่ 2.6-5

2.6.4.2 ขั้นตอนการหาข้อมูลของน้ำโบลว์ดาวน์

1. ตรวจวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำโดยใช้เครื่องมือวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ ซึ่งน้ำป้อนจะวัดในตำแหน่งก่อนเข้าหม้อไอน้ำ และน้ำในหม้อไอน้ำวัดจากน้ำที่ระบายทิ้ง
2. นำค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำไปเปิดตารางที่ 2.6-5 จะได้ร้อยละของน้ำโบลว์ดาวน์ (เทียบกับปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้)



ตารางที่ 2.6-5 ร้อยละของปริมาณน้ำโบล์ดวาร์ (เทียบกับปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้)

ค่าการนำไฟฟ้า น้ำป้อน ($\mu\text{s/cm}$)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในหม้อไอน้ำ ($\mu\text{s/cm}$)					
	3,000	3,500	4,000	5,000	6,000	7,000
100	3.45%	2.94%	2.56%	2.04%	1.69%	1.45%
200	7.14%	6.06%	5.26%	4.17%	3.45%	2.94%
300	11.11%	9.38%	8.11%	6.38%	5.26%	4.48%
400	15.38%	12.90%	11.11%	8.70%	7.14%	6.06%
500	20.00%	16.67%	14.29%	11.11%	9.09%	7.69%
600	25.00%	20.69%	17.65%	13.64%	11.11%	9.38%
700	30.43%	25.00%	21.21%	16.28%	13.21%	11.11%
800	36.36%	29.63%	25.00%	19.05%	15.38%	12.90%
900	42.86%	34.62%	29.03%	21.95%	17.65%	14.75%
1000	50.00%	40.00%	33.33%	25.00%	20.00%	16.67%

2.6.5 การปรับสภาพน้ำป้อน

ตัวแปรที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการระบายน้ำ คือ คุณภาพน้ำป้อน ถ้าน้ำป้อนมีสารละลายและสารแขวนลอยอยู่มาก จะส่งผลให้สารละลายและสารแขวนลอยในหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ผู้ใช้หม้อไอน้ำจะต้องระบายน้ำในหม้อไอน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองน้ำและความร้อนที่อยู่ในน้ำ ดังนั้น น้ำที่ใช้กับหม้อไอน้ำควรมีการปรับสภาพให้ได้มาตรฐาน นอกจากนั้นผู้ใช้ต้องควบคุมคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำให้ได้ตามมาตรฐาน บ่อยครั้งพบว่ามีการระบายถี่เกินไป หรือ นานเกินไป ส่งผลให้คุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำต่ำกว่ามาตรฐานมาก จึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำและปรับตั้งการควบคุมอยู่เสมออย่างน้อยทุกเดือน

2.6.5.1 เหตุผลของการปรุงแต่งน้ำโดยอาศัยสารเคมี

- 1) เพื่อป้องกันการเกาะตัวของตะกรันในหม้อไอน้ำ ซึ่งจะทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดี และอุณหภูมิของก๊าซที่ปล่องสูงมาก ทำให้เสียค่าเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น
- 2) เพื่อควบคุมปริมาณตะกอน (Sludge) และตะกรันในหม้อไอน้ำ
- 3) เพื่อลดการสึกหรอของหม้อไอน้ำ และท่อไอน้ำ (Steam Main) ซึ่งเกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำละลายตัวเป็นกรด
- 4) เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงฟองลอยตัวไปกับไอน้ำ
- 5) เพื่อลดการสึกกร่อนเนื่องจากออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

การเติมสารปรุงแต่งน้ำจะต้องให้ในปริมาณที่เหมาะสมโดยปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้ โดยเฉพาะ เนื่องจากการเติมสารมากเกินไปมีผลเสียเช่นกัน และควรควบคุมปั๊มเติมสารให้ทำงานพร้อมกับปั๊มน้ำเข้าหม้อไอน้ำ (Feed Water Pump)

ตัวอย่างที่ 5

จากการตรวจวัดสภาพการนำไฟฟ้าของหม้อไอน้ำตามตัวอย่างที่ 1 พบว่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำเท่ากับ 200 และ 3,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ เมื่อเจ้าหน้าที่ได้ทำการปรับคุณภาพของน้ำป้อนเพื่อให้มีคุณภาพดีขึ้นและวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าได้เท่ากับ 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ สถานประกอบการจะสามารถลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงได้เท่าไร

วิธีคำนวณ

จากตารางที่ 2.6-5 เราสามารถประเมินร้อยละของการปล่อยน้ำโบลว์ดาวน์ได้เท่ากับ 6.06 (สภาพนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำเท่ากับ 200 และ 3,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) เมื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อนให้ดีขึ้น โดยมีค่าสภาพนำไฟฟ้าได้เท่ากับ 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ประเมินได้ว่าการปล่อยน้ำโบลว์ดาวน์จะลดลงเหลือร้อยละ 2.94

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น ปริมาณน้ำป้อนสามารถลดลงเหลือ} &= (100 + (6.06 - 2.94)) \times 10,000 \\ &= 103.12 \times 10,000 \\ &= 10,312 \quad \text{kg/h}\end{aligned}$$

เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำป้อนเดิม 10,600 kg/h ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ $10,600 - 10,312 = 288 \text{ kg/h}$ (หรือ 1,728,000 kg/y เมื่อจำนวนชั่วโมงทำงานของหม้อไอน้ำเท่ากับ 6,000 h/y)

$$\begin{aligned}\text{ความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ} &= 10,312 \times (763 - 105) + 10,000 \times (2,766 - 763) \\ &= 26,815,296 \quad \text{kJ/h}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำลดลง} &= 27,004,800 - 26,815,296 \quad \text{kJ/h} \\ &= 189,504 \quad \text{kJ/h}\end{aligned}$$

จากตัวอย่างที่ 1 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเท่ากับ 84.4%

$$\begin{aligned}\text{พลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงลดลง} &= 189,504 / 0.844 \\ &= 224,530.8 \quad \text{kJ/h}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{หรือ} &= 224,530.8 \times 6,000 / 1,000 \quad \text{MJ/y} \\ &= 1,347,184.8 \quad \text{MJ/y}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{คิดเป็นปริมาณน้ำมันที่ลดลงต่อปี} &= 1,347,184.8 / 40 \quad \text{L/y} \\ &= 33,679.6 \quad \text{L/y}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าน้ำมันเตาต่อปี} &= (4,800,000 - 33,679.6) \times 14 \quad \text{B/y} \\ &= 66,728,485.6 \quad \text{B/y}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ราคาไอน้ำต่อตัน} &= 66,728,485.6 / (10 \times 6,000) \\ &= 1,112 \quad \text{B/t}\end{aligned}$$

2.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ระบบส่งจ่ายไอน้ำทำหน้าที่ส่งไอน้ำที่ผลิตได้ไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่างๆ โดยทั่วไปภายในท่อของระบบส่งจ่ายจะมีการควบแน่นของไอน้ำซึ่งเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จากการเย็นตัวลงของไอน้ำในท่อทั้งขณะใช้งานและหลังจากใช้งาน (ตกค้าง) เราจำเป็นต้องดึงไอน้ำที่ควบแน่นเหล่านี้่ออกจากระบบเพื่อ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง โดยการติดตั้งอุปกรณ์ดักไอน้ำ (Steam trap) ทั้งในส่วนของระบบส่งจ่ายไอน้ำและส่วนของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่างๆ ซึ่งข้อมูลชนิดและลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ดักไอน้ำสามารถค้นหาได้จากเอกสารผู้ผลิตอุปกรณ์ได้โดยตรง

2.7.1 การติดตั้งฉนวนกันความร้อน

การปล่อยท่อไอน้ำให้เปลือยไว้โดยไม่มีการหุ้มฉนวน จะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณสูง ความร้อนที่สูญเสียไปเทียบได้กับปริมาณไอน้ำที่เกิดการควบแน่นภายในท่อ ส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่ใช้งานได้จริงลดลงเท่ากับปริมาณความร้อนที่สูญเสียไป ปริมาณการสูญเสียความร้อนจากผิวท่อเปลือยจะมากกว่าท่อที่หุ้มฉนวนมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวนอกของท่อหรือฉนวนกับอากาศภายนอก โดยทั่วไปจะประมาณ 5-10%

ฉนวนมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ ดังนั้นจึงสามารถป้องกันหรือหน่วงการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำสู่บรรยากาศฉนวนที่ใช้หุ้มในระบบไอน้ำ เช่น ที่ท่อไอน้ำ อุปกรณ์ต่างๆ ผนังแปลน วาล์ว ควรเลือกชนิดให้เหมาะสม โดยเป็นฉนวนที่ทนต่ออุณหภูมิของไอน้ำได้ เช่น ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยหิน ปัจจุบันฉนวนความร้อนมีหลายแบบให้เลือกใช้งาน ตามความเหมาะสมของการใช้งาน เช่น แบบแผ่นแข็ง แบบแผ่นม้วน แบบสำเร็จรูปหุ้มท่อ แบบผืนผ้า และ แบบฝุ่นผง โดยควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับอุณหภูมิใช้งาน และเลือกวัสดุที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำ ดังตารางที่ 2.7-1 และ 2.7-2

ในการหุ้มฉนวนนั้นควรพิจารณาใช้ความหนาที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ไม่มีฉนวนใดสามารถป้องกันการสูญเสียความร้อนได้โดยสมบูรณ์ ดังนั้น ความหนาของฉนวนและชนิดของฉนวนที่ใช้จะถูกกำหนดจากต้นทุนการผลิตความร้อน และต้นทุนในการใช้ฉนวนความร้อนในการป้องกันการสูญเสียความร้อนของฉนวน กล่าวคือ ถ้าใช้ความหนาฉนวนต่ำกว่าค่าๆ หนึ่ง แล้วจะเกิดการสูญเสียความร้อนมาก นั่นคือ หนาไม่พอ แต่ถ้าใช้ความหนาฉนวนสูงกว่าค่าๆ หนึ่งแล้ว ต้นทุนฉนวนที่สูงขึ้น จะไม่คุ้มกับพลังงานที่ประหยัดเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้น จะมีความหนาฉนวนอยู่ค่าหนึ่งที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ผลรวมของราคาฉนวนกับราคาพลังงานที่สูญเสียต่ำที่สุด

ท่อไอน้ำทั้งหมดควรหุ้มฉนวนด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและเพื่อลดการสูญเสียความร้อน การสูญเสียความร้อนมากเกินไปไม่เพียงแต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงเท่านั้น ยังทำให้อากาศในห้องร้อนขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพภายในการทำงาน

ตารางที่ 2.7-1 สมบัติบางประการของฉนวนความร้อน

ชนิดของฉนวน	ค่าการนำความร้อน (W/m. K)	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.K)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
แคลเซียมซิลิเกต	0.0407	0.84	135
ใยแก้ว	0.0324	0.84	45
ใยหิน	0.0314	1.13	100

ตารางที่ 2.7-2 ประเภทของฉนวนและการเลือกใช้

วัสดุฉนวน	ประเภท	อุณหภูมิใช้งานที่ปลอดภัย (°C)	สภาพการนำความร้อน (W/m.K)	จุดเด่น
แอสเบสตอส (Asbestos)	ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 1 ฉนวนแผ่น หมายเลข 2	550 350	ไม่เกิน 0.046 - 0.048 ไม่เกิน 0.041 - 0.046	การติดตั้งสะดวก เหมาะสมกับบริเวณ สันสะท้อน
	ผ้าห่มทนความร้อน เชือกฉนวน	400	ไม่เกิน 0.047 - 0.056	การติดตั้งสะดวก สามารถถอดได้ เหมาะสมกับวาล์วหน้า แปลน
ใยหิน (Rock Wool)	ฉนวนแผ่น ฉนวนทรงกระบอก ฉนวนแถบ	400 – 600	ไม่เกิน 0.034 - 0.041	เหมาะสมกับอุณหภูมิ สูง ใช้เป็นฉนวนของ หม้อไอน้ำ ถึง ท่อ และ ทางไฟ เป็นต้น
ใยแก้ว Glass Wool)	ฉนวนแผ่น หมายเลข 1 8K-24K หมายเลข 2 10K-96K หมายเลข 3 96K ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 1 ฉนวนแถบ	300 – 350	ไม่เกิน 0.046 - 0.034 ไม่เกิน 0.049 - 0.031 ไม่เกิน 0.034 ไม่เกิน 0.032 ไม่เกิน 0.039	เป็นวัสดุฉนวนที่นิยมใช้ กันมากที่สุด สภาพการ นำความร้อนต่ำ ความสามารถในการ รักษาอุณหภูมิได้ดี
แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate)	ฉนวนแผ่น หมายเลข 1 1,000°C ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 2 650°C	650	ไม่เกิน 0.050 ไม่เกิน 0.046	มีความแข็งแรงมากถ้า ทำเป็นแบบสำเร็จรูป การติดตั้งและมีความ ทนทานได้ดี

ตารางที่ 2.7-3 ความหนาของฉนวนความร้อนที่เหมาะสมสำหรับหุ้มท่อทางเศรษฐศาสตร์

ระบบท่อ	ช่วงอุณหภูมิของไหล		ขนาดท่อ					
	°C	°F	<1" (33 mm)	1 1/2" - 2" (42-60mm)	2 1/2" - 4" (73-14mm)	5" - 6" (140-168mm)	8" - 12" (219-324mm)	14" - 20" (350-500mm)
	ความหนาฉนวน							
ไอน้ำ, ไอร้อนยิ่งยวด	239-320	462-608	2.0"(50 mm)	2.0"(50 mm)	2.5"(63 mm)	3"(63 mm)	3.5"(88 mm)	3.5"(88 mm)
ไอน้ำ, น้ำร้อน	238-152	450-306	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	2.0"(50 mm)	2.5"(63 mm)	3.0"(75 mm)	3.5"(88 mm)
ความดันสูง	151-122	305-251	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	2.0"(50 mm)	2.0"(50 mm)	2.5"(63 mm)	3.0"(75 mm)
ความดันปานกลาง	121-94	250-201	1.0"(25 mm)	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	2.0"(50 mm)	2.0"(50 mm)	2.5"(63 mm)
ความดันต่ำ	93-49	200-120	1.0"(25 mm)	1.0"(25 mm)	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	2.0"(50 mm)
คอนเดนเสท	50-30	148-110	1.0"(25 mm)	1.0"(25 mm)	1.0"(25 mm)	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	2.0"(50 mm)

การหุ้มฉนวนกันความร้อนจะส่งผลให้ลดการสูญเสียทางพื้นผิวของวัตถุได้ประมาณ 95% ของการสูญเสียความร้อนทางพื้นผิว ซึ่งผลประหยัดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ ชนิดและความหนาของฉนวนความร้อน ดังนั้นเมื่อลงทุนหุ้มฉนวนพื้นผิววัตถุแล้ว ระยะเวลาคืนทุนจะมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุ, ชั่วโมงการใช้งาน และค่าเชื้อเพลิง ซึ่งปกติการหุ้มฉนวนจะมีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 2 ปี โดยปกติเมื่อหุ้มฉนวนที่ความหนาแน่นเหมาะสม อุณหภูมิพื้นผิวฉนวนจะไม่เกิน 60°C

2.7.1.1 การคำนวณการสูญเสียความร้อนของท่อ

ตารางที่ 2.7-4 ถึง 2.7-11 แสดงค่าการสูญเสียความร้อนผ่านพื้นผิวท่อและผนังที่หุ้มและไม่หุ้มฉนวนความร้อน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่	รายละเอียดของตาราง
ตารางที่ 2.7-4	แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน
ตารางที่ 2.7-5	แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังที่ไม่ได้หุ้มฉนวน
ตารางที่ 2.7-6 ถึง 2.7-8	แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อหลังจากหุ้มฉนวนใยแก้ว ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต และฉนวนใยหิน ที่ความหนาที่เหมาะสมตามลำดับ
ตารางที่ 2.7-9 ถึง 2.7-11	แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังหลังจากหุ้มฉนวนใยแก้ว ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต และฉนวนใยหิน ที่ความหนาที่เหมาะสมตามลำดับ

ตารางที่ 2.7-4 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (kW/m)

ขนาด ท่อ	ขนาดท่อ (mm)		อุณหภูมิผิวท่อหรือผนังร้อน (°C)													
	De	Di	70	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
1/8"	10.29	6.83	0.03	0.03	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.15	0.17	0.2	0.24	0.27	0.31	0.35
1/4"	13.72	9.25	0.03	0.03	0.05	0.08	0.1	0.13	0.16	0.19	0.22	0.26	0.3	0.35	0.4	0.45
3/8"	17.75	12.52	0.04	0.04	0.07	0.09	0.12	0.16	0.2	0.24	0.28	0.33	0.38	0.44	0.5	0.56
1/2"	21.34	15.8	0.05	0.05	0.08	0.11	0.15	0.19	0.23	0.28	0.33	0.39	0.45	0.51	0.59	0.66
3/4"	26.67	20.93	0.06	0.06	0.09	0.13	0.18	0.23	0.28	0.34	0.4	0.47	0.55	0.63	0.72	0.81
1"	33.4	26.64	0.07	0.07	0.12	0.16	0.22	0.28	0.34	0.41	0.49	0.57	0.67	0.77	0.88	0.99
1.1/4"	42.16	35.05	0.09	0.09	0.14	0.2	0.27	0.34	0.42	0.51	0.6	0.71	0.82	0.95	1.08	1.23
1.1/2"	48.26	40.89	0.1	0.1	0.16	0.23	0.3	0.38	0.47	0.57	0.68	0.8	0.93	1.07	1.22	1.39
2"	60.33	52.5	0.12	0.12	0.19	0.27	0.36	0.46	0.57	0.7	0.83	0.97	1.13	1.31	1.5	1.7
2 1/2"	73.03	62.71	0.14	0.14	0.23	0.32	0.43	0.55	0.68	0.83	0.98	1.16	1.35	1.55	1.78	2.02
3"	88.9	77.93	0.17	0.17	0.27	0.39	0.51	0.65	0.81	0.98	1.17	1.38	1.61	1.86	2.13	2.42
3 1/2"	101.6	90.12	0.19	0.19	0.31	0.43	0.58	0.74	0.91	1.11	1.32	1.56	1.82	2.1	2.41	2.74
4"	114.3	102.26	0.21	0.21	0.34	0.48	0.64	0.82	1.02	1.23	1.47	1.74	2.02	2.34	2.68	3.06
5"	141.3	128.19	0.26	0.26	0.41	0.58	0.78	0.99	1.23	1.5	1.79	2.11	2.46	2.84	3.26	3.72
6"	168.27	154.05	0.3	0.3	0.48	0.68	0.91	1.16	1.44	1.75	2.09	2.47	2.88	3.34	3.83	4.37
8"	219.08	202.72	0.38	0.38	0.61	0.86	1.15	1.47	1.83	2.23	2.66	3.15	3.68	4.26	4.89	5.58
10"	273.05	254.51	0.47	0.47	0.74	1.05	1.41	1.8	2.24	2.72	3.26	3.85	4.5	5.22	6	6.85
12"	323.85	304.8	0.55	0.55	0.87	1.23	1.64	2.1	2.61	3.18	3.81	4.51	5.27	6.11	7.03	8.04

หมายเหตุ: ท่อ Schedule 40 อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2.7-5 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (kW/m)

อุณหภูมิผิวผนัง (°C)	70	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
ความสูงผนัง (m)	การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (kW/m)													
0.5	0.17	0.24	0.37	0.53	0.71	0.92	1.15	1.4	1.68	2	2.35	2.74	3.16	3.62
0.6	0.21	0.29	0.46	0.65	0.87	1.11	1.39	1.7	2.04	2.43	2.85	3.31	3.83	4.39
0.7	0.25	0.34	0.54	0.77	1.02	1.31	1.64	2	2.41	2.86	3.35	3.9	4.5	5.16
0.8	0.29	0.39	0.62	0.88	1.18	1.52	1.89	2.31	2.78	3.29	3.86	4.49	5.18	5.94
0.9	0.33	0.44	0.71	1	1.34	1.72	2.15	2.62	3.15	3.73	4.38	5.09	5.87	6.72
1	0.37	0.5	0.79	1.12	1.5	1.93	2.4	2.93	3.52	4.18	4.9	5.69	6.56	7.51
1.1	0.41	0.55	0.88	1.25	1.67	2.14	2.66	3.25	3.9	4.62	5.42	6.29	7.26	8.31
1.2	0.45	0.61	0.96	1.37	1.83	2.35	2.92	3.57	4.28	5.07	5.94	6.9	7.96	9.11
1.3	0.49	0.66	1.05	1.49	2	2.56	3.19	3.89	4.67	5.53	6.47	7.52	8.66	9.91
1.4	0.53	0.72	1.14	1.62	2.16	2.77	3.45	4.21	5.05	5.98	7.01	8.13	9.37	10.72
1.5	0.57	0.77	1.23	1.75	2.33	2.99	3.72	4.54	5.44	6.44	7.54	8.75	10.08	11.54
1.6	0.61	0.83	1.32	1.87	2.5	3.2	3.99	4.86	5.83	6.9	8.08	9.38	10.8	12.35
1.7	0.65	0.89	1.41	2	2.67	3.42	4.26	5.19	6.22	7.37	8.62	10	11.52	13.17
1.8	0.7	0.94	1.5	2.13	2.84	3.64	4.53	5.52	6.62	7.83	9.17	10.63	12.24	14
1.9	0.74	1	1.59	2.26	3.01	3.86	4.8	5.85	7.02	8.3	9.71	11.26	12.97	14.83
2	0.78	1.06	1.68	2.39	3.19	4.08	5.08	6.19	7.41	8.77	10.26	11.9	13.69	15.66
2.1	0.82	1.12	1.77	2.52	3.36	4.3	5.35	6.52	7.81	9.24	10.81	12.54	14.43	16.49
2.2	0.87	1.18	1.86	2.65	3.53	4.53	5.63	6.86	8.22	9.72	11.37	13.18	15.16	17.33
2.3	0.91	1.23	1.96	2.78	3.71	4.75	5.91	7.2	8.62	10.19	11.92	13.82	15.9	18.17

หมายเหตุ: อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2.7-6 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อหลังหุ้มฉนวนใยแก้ว (W/m)

อุณหภูมิก่อนหุ้ม(°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
อุณหภูมิหลังหุ้มเฉลี่ย (°C)	40.19	41.34	42.43	42.51	44.28	43.55	44.23	45.36	46.45	47.51	45.69	46.49	47.26	48.02	48.77
ขนาดท่อ (in.)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)														
1/8"	4.27	5.6	6.96	8.35	11.16	12.2	14.63	17.07	19.52	21.98	22.17	24.39	26.6	28.82	31.04
1/4"	4.83	6.35	7.91	8.46	11.25	13.73	16.48	19.25	22.02	24.8	24.81	27.29	29.77	32.26	34.74
3/8"	5.44	7.17	8.94	9.51	12.67	15.41	18.51	21.62	24.74	27.87	27.66	30.43	33.21	35.98	38.76
1/2"	5.97	7.87	9.83	10.4	13.86	16.82	20.22	23.63	27.05	30.48	30.06	33.07	36.09	39.12	42.14
3/4"	6.72	8.88	11.09	11.67	15.56	18.84	22.65	26.49	30.33	34.19	33.45	36.81	40.18	43.55	46.92
1"	7.64	10.1	12.64	13.2	17.63	21.28	25.61	29.96	34.32	38.7	37.54	41.32	45.11	48.9	52.69
1.1/4"	8.8	11.65	14.6	15.11	20.21	24.35	29.32	34.32	39.34	44.38	42.65	46.96	51.27	55.59	59.9
1.1/2"	9.59	12.72	15.94	13.85	18.38	26.44	31.85	37.29	42.76	48.25	46.11	50.78	55.45	60.12	64.79
2"	11.13	14.78	18.55	15.81	21	30.5	36.76	43.06	49.4	55.76	52.81	58.16	63.52	68.88	74.25
2 1/2"	10.54	13.84	17.22	17.81	23.68	29.61	35.59	41.59	47.61	53.65	52	57.23	62.46	67.7	72.94
3"	12.06	15.86	19.74	20.25	26.95	33.76	40.59	47.45	54.34	61.24	58.95	64.89	70.83	76.78	82.73
3 1/2"	13.26	17.45	21.73	22.17	29.52	37.04	44.54	52.08	59.65	67.25	64.43	70.93	77.43	83.93	90.44
4"	14.46	19.04	23.72	24.06	32.05	40.29	48.46	56.68	64.93	73.2	69.86	76.9	83.96	91.02	98.09
5"	16.98	22.38	27.9	24.18	32.09	47.14	48.57	56.71	64.88	73.07	72.2	79.45	86.7	93.96	101.22
6"	19.49	25.7	32.06	27.41	36.39	53.92	55.27	64.55	73.86	83.19	81.84	90.07	98.3	106.54	114.79
8"	24.18	31.91	39.84	33.37	44.35	56.42	59.79	69.76	79.76	89.78	88.87	97.77	106.68	115.59	124.51
10"	29.15	38.49	48.07	39.57	52.63	67.38	71.06	82.94	94.84	106.77	105.2	115.74	126.3	136.86	147.42
12"	33.81	44.66	55.81	45.32	60.3	77.64	81.62	95.27	108.96	122.68	120.46	132.54	144.64	156.74	168.85

หมายเหตุ: ท่อ Sch. 40 ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ค่าการนำความร้อน = 0.042 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม

ตารางที่ 2.7-7 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อหลังหุ้มฉนวนแคลเซียมซิลิเกต (W/m)

อุณหภูมิก่อนหุ้ม(°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
อุณหภูมิหลังหุ้มเฉลี่ย (°C)	40.86	42.17	43.42	43.54	45.57	44.79	45.59	46.88	48.14	49.36	47.32	48.24	49.14	50.02	50.88
ขนาดท่อ (in.)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)														
1/8"	4.83	6.35	7.92	9.51	12.76	14.08	16.91	19.75	22.60	25.46	25.75	28.33	30.91	33.49	36.08
1/4"	5.45	7.19	8.97	9.54	12.71	15.84	19.03	22.25	25.47	28.71	28.80	31.69	34.58	37.48	40.38
3/8"	6.13	8.10	10.13	10.70	14.27	17.75	21.35	24.97	28.61	32.25	32.09	35.32	38.56	41.79	45.03
1/2"	6.71	8.88	11.11	11.68	15.60	19.37	23.31	27.28	31.26	35.25	34.87	38.38	41.90	45.42	48.95
3/4"	7.54	9.99	12.52	13.07	17.48	21.67	26.10	30.56	35.03	39.52	38.79	42.71	46.63	50.56	54.49
1"	8.55	11.35	14.24	14.74	19.75	24.46	29.48	34.53	39.61	44.71	43.51	46.63	52.33	56.75	61.17
1.1/4"	9.82	13.07	16.42	16.84	22.59	27.97	33.73	39.54	45.37	51.23	49.41	54.43	59.45	64.48	69.52
1.1/2"	10.69	14.24	17.91	15.62	20.79	30.35	36.62	42.94	49.29	55.67	53.41	58.84	64.28	69.73	75.18
2"	12.39	16.52	20.81	17.80	23.71	34.97	42.23	49.55	56.91	64.30	61.14	67.37	73.61	79.86	86.12
2 1/2"	11.91	15.69	19.57	20.02	26.69	34.10	41.04	48.01	55.02	62.05	60.30	66.39	72.49	78.59	84.70
3"	13.61	17.95	22.41	22.73	30.32	38.85	46.78	54.75	62.76	70.80	68.34	75.25	82.18	89.11	96.04
3 1/2"	14.96	19.74	24.66	24.85	33.18	42.60	51.31	60.08	68.88	77.72	74.67	82.24	89.82	97.40	104.99
4"	16.29	21.52	26.89	26.95	35.99	46.32	55.81	65.36	74.96	84.58	80.95	89.16	97.38	105.61	113.85
5"	19.11	25.28	31.60	27.25	36.25	54.17	56.08	65.55	75.06	84.59	83.75	92.19	100.65	109.11	117.58
6"	21.91	29.00	36.28	30.85	41.06	61.93	63.80	74.59	85.42	96.29	94.91	104.50	114.09	123.70	133.31
8"	27.16	35.97	45.04	37.49	49.93	65.00	69.11	80.72	92.36	104.03	103.15	113.52	123.90	134.29	144.68
10"	32.70	43.35	54.31	44.39	59.16	77.59	82.12	95.93	109.79	123.69	122.06	134.35	146.65	158.96	171.28
12"	37.90	50.27	63.01	50.77	67.70	89.38	94.30	110.18	126.11	142.09	139.75	153.83	167.93	182.03	196.15

หมายเหตุ: ท่อ Schedule 40 ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต ความหนาแน่น 135 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ค่าการนำความร้อน = 0.049 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2.7-8 การสูญเสียความร้อนของท่อหลังหุ้มฉนวนใยหิน (W/m)

อุณหภูมิก่อนหุ้ม(°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
อุณหภูมิหลังหุ้มเฉลี่ย (°C)	40.38	41.58	42.72	42.81	44.65	43.91	44.62	45.80	46.94	48.04	46.16	46.99	47.80	48.60	49.38
ขนาดท่อ (in.)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)														
1/8"	4.43	5.82	7.24	8.69	11.62	12.74	15.29	17.84	20.41	22.98	23.20	25.52	27.84	30.16	32.48
1/4"	5.01	6.59	8.22	8.78	11.68	14.34	17.22	20.11	23.01	25.92	25.95	28.55	31.15	33.75	36.36
3/8"	5.65	7.44	9.29	9.86	13.14	16.08	19.33	22.58	25.85	29.13	28.93	31.83	34.74	37.65	40.56
1/2"	6.19	8.17	10.20	10.78	14.37	17.56	21.11	24.68	28.26	31.85	31.44	34.60	37.76	40.92	44.09
3/4"	6.96	9.20	11.51	12.08	16.13	19.66	23.65	27.66	31.69	35.73	34.98	38.50	42.03	45.56	49.09
1"	7.90	10.47	13.11	13.65	18.25	22.20	26.72	31.28	35.85	40.43	39.25	43.21	47.18	51.15	55.12
1.1/4"	9.10	12.07	15.13	15.62	20.91	25.40	30.60	35.83	41.08	46.35	44.59	49.10	53.62	58.14	62.66
1.1/2"	9.91	13.16	16.52	14.37	19.09	27.57	33.23	38.92	44.64	50.38	48.21	53.09	57.98	62.88	67.77
2"	11.50	15.30	19.22	16.39	21.79	31.79	38.34	44.94	51.56	58.22	55.20	60.81	66.42	72.03	77.66
2 1/2"	10.94	14.38	17.90	18.46	24.56	30.91	37.16	43.44	49.74	56.06	54.38	59.86	65.34	70.82	76.31
3"	12.51	16.47	20.52	20.98	27.94	35.23	42.37	49.55	56.76	63.99	61.64	67.86	74.08	80.31	86.54
3 1/2"	13.76	18.12	22.59	22.96	30.59	38.64	46.49	54.38	62.31	70.26	67.37	74.17	80.98	87.80	94.61
4"	15.00	19.76	24.64	24.91	33.21	42.03	50.58	59.18	67.82	76.48	73.04	80.42	87.81	95.21	102.61
5"	17.61	23.23	28.98	25.08	33.30	49.17	50.73	59.25	67.81	76.38	75.51	83.10	90.70	98.30	105.91
6"	20.20	26.66	33.29	28.42	37.76	56.24	57.73	67.44	77.19	86.96	85.59	94.21	102.83	111.46	120.09
8"	25.06	33.10	41.36	34.58	45.98	58.90	62.47	72.91	83.38	93.87	92.97	102.29	111.62	120.95	130.29
10"	30.19	39.91	49.90	40.99	54.54	70.32	71.25	86.67	99.14	111.63	110.04	121.08	132.13	143.19	154.26
12"	35.01	46.31	57.92	46.92	62.47	81.03	85.27	99.56	113.89	128.26	125.99	138.65	151.32	163.99	176.67

หมายเหตุ : ท่อ Schedule 40 ฉนวนใยหิน ความหนาแน่น 40-200 kg/m³ ค่าการนำความร้อน=0.044W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2.7-9 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังหุ้มฉนวนใยแก้ว ตามความหนาแน่นที่เหมาะสม (W/m)

ความหนาแน่นที่เหมาะสม			อุณหภูมิก่อน หุ้ม(°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
49-93 (°C)	94-238 (°C)	239-320 (°C)	อุณหภูมิหลัง หุ้มเฉลี่ย (°C)	40.98	40.48	44.76	43.09	45.74	48.42	51.12	53.83	56.55	59.27	55.76	57.84	59.93	62.02	64.11
in.	in.	in.	ความสูงผนัง (m)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)														
1"	1.5"	2"	0.5	23.93	31.4	39.03	32.36	42.97	53.68	64.47	75.31	86.18	97.09	83.02	91.36	99.71	108.06	116.42
1"	1.5"	2"	0.6	28.72	37.69	46.84	38.83	51.56	64.42	77.36	90.37	103.42	116.51	99.63	109.63	119.65	129.68	139.71
1"	1.5"	2"	0.7	33.5	43.97	54.65	45.31	60.15	75.15	90.25	105.43	120.66	135.93	116.23	127.91	139.59	151.29	162.99
1"	1.5"	2"	0.8	38.29	50.25	62.45	51.78	68.75	85.89	103.15	120.49	137.89	155.34	132.83	146.18	159.53	172.9	186.28
1"	1.5"	2"	0.9	43.07	56.53	70.26	58.25	77.34	96.62	116.04	135.55	155.13	174.76	149.44	164.45	179.48	194.51	209.56
1"	1.5"	2"	1	47.86	62.81	78.07	64.72	85.93	107.36	128.93	150.61	172.37	194.18	166.04	182.72	199.42	216.13	232.85
1"	1.5"	2"	1.1	52.65	69.09	85.87	71.2	94.53	118.1	141.83	165.67	189.6	213.6	182.65	200.99	219.36	237.74	256.13
1"	1.5"	2"	1.2	57.43	75.37	93.68	77.67	103.12	128.83	154.72	180.74	203.84	233.02	199.25	219.27	239.3	259.35	279.42
1"	1.5"	2"	1.3	62.22	81.65	101.49	84.14	111.71	139.57	167.61	195.8	224.08	252.43	215.85	237.54	259.24	280.97	302.7
1"	1.5"	2"	1.4	67	87.93	109.29	90.61	120.31	150.3	180.51	210.86	241.31	271.85	232.46	255.81	279.19	302.58	325.99
1"	1.5"	2"	1.5	71.79	94.21	117.1	97.09	128.9	161.04	193.4	225.92	258.55	291.27	249.06	274.08	299.13	324.19	349.27
1"	1.5"	2"	1.6	76.58	100.5	124.91	103.56	137.49	171.78	206.29	240.98	275.79	310.69	265.67	292.36	319.07	345.8	372.56
1"	1.5"	2"	1.7	81.36	106.78	132.71	110.03	146.09	182.51	219.19	256.04	293.03	330.11	282.27	310.63	339.01	367.42	395.84
1"	1.5"	2"	1.8	86.15	113.06	140.52	116.5	154.68	193.25	232.08	271.1	310.26	349.52	298.88	328.9	358.95	389.03	419.13
1"	1.5"	2"	1.9	90.93	119.34	148.33	122.98	163.27	203.98	244.97	286.16	327.5	368.94	315.48	347.17	378.9	410.64	442.41
1"	1.5"	2"	2	95.72	125.62	156.13	129.45	171.86	214.72	257.87	301.23	344.74	388.36	332.08	365.44	398.84	432.26	465.7
1"	1.5"	2"	2.1	100.51	131.9	163.94	135.92	180.46	225.46	270.76	316.29	361.97	407.78	348.69	383.72	418.78	453.87	488.98
1"	1.5"	2"	2.2	105.29	138.18	171.75	142.39	189.05	236.19	283.66	331.35	379.21	427.2	365.29	401.99	438.72	475.48	512.26

หมายเหตุ : ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 kg/m³ ค่าการนำความร้อน = 0.042 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2.7-10 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังหุ้มฉนวนเคลือบซีเมนต์ ตามความหนาที่เหมาะสม (W/m)

ความหนาฉนวนที่เหมาะสม			อุณหภูมิก่อนหุ้ม(°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
49-93 (°C)	94-238 (°C)	239-320 (°C)	อุณหภูมิหลังหุ้มเฉลี่ย (°C)	41.77	41.44	46.10	44.29	47.36	50.46	53.60	56.75	59.91	63.08	59.07	61.50	63.93	66.37	68.80
in.	in.	in.	ความสูงผนัง (m)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)														
1"	1.5"	2"	0.50	27.08	35.63	44.39	37.14	49.42	61.85	74.38	86.98	99.64	112.33	96.28	106.00	115.73	125.47	135.21
1"	1.5"	2"	0.60	32.49	42.76	53.27	44.57	59.31	74.23	89.26	104.38	119.56	134.80	115.54	127.20	138.88	150.56	162.25
1"	1.5"	2"	0.70	37.91	49.89	62.15	52.00	69.19	86.60	104.14	121.78	139.49	157.26	134.80	148.40	162.02	175.65	189.30
1"	1.5"	2"	0.80	43.33	57.01	71.03	59.43	79.08	98.97	119.01	139.18	159.42	179.73	154.05	169.60	185.17	200.75	216.34
1"	1.5"	2"	0.90	48.74	64.14	79.90	66.86	88.96	111.34	133.89	156.57	179.35	202.19	173.31	190.80	208.31	225.84	243.38
1"	1.5"	2"	1.00	54.16	71.27	88.78	74.28	98.85	123.71	148.77	173.97	199.29	224.66	192.57	212.00	231.46	250.93	270.42
1"	1.5"	2"	1.10	59.57	78.40	97.66	81.71	108.73	136.08	163.64	191.37	219.20	247.12	211.82	233.20	254.60	276.03	297.46
1"	1.5"	2"	1.20	64.99	85.52	106.54	89.14	118.62	148.45	178.52	208.76	239.13	269.59	231.08	254.40	277.75	301.12	324.51
1"	1.5"	2"	1.30	70.41	92.65	115.42	96.57	128.50	160.82	193.40	226.16	259.06	292.06	250.34	275.60	300.90	326.21	351.55
1"	1.5"	2"	1.40	75.82	99.78	124.30	104.00	138.39	173.19	208.28	243.56	278.98	314.52	269.60	296.80	324.04	351.31	378.59
1"	1.5"	2"	1.50	81.24	106.90	133.17	111.43	148.27	185.56	223.15	260.95	298.91	336.99	288.85	318.00	347.19	376.40	405.63
1"	1.5"	2"	1.60	86.65	114.03	142.05	118.86	158.16	197.93	238.03	278.35	318.84	359.45	308.11	339.20	370.33	401.49	432.67
1"	1.5"	2"	1.70	92.07	121.16	150.93	126.28	168.04	210.30	252.91	295.75	338.77	381.92	327.37	360.40	393.48	426.59	459.72
1"	1.5"	2"	1.80	97.48	128.28	159.81	133.71	177.93	222.68	267.78	313.14	358.69	404.39	346.62	381.60	416.63	451.68	486.76
1"	1.5"	2"	1.90	102.90	135.41	168.69	141.14	187.81	235.05	282.66	330.54	378.62	426.85	365.88	402.80	439.77	476.77	513.80
1"	1.5"	2"	2.00	108.32	142.54	177.56	148.57	197.70	247.42	297.54	347.94	398.55	449.32	385.14	424.01	462.92	501.87	540.84
1"	1.5"	2"	2.10	113.73	149.66	186.44	156.00	207.58	259.79	312.41	365.34	418.48	471.78	404.39	445.21	486.06	526.96	567.89
1"	1.5"	2"	2.20	119.15	156.79	195.32	163.43	217.47	272.16	327.29	382.73	438.40	494.25	423.65	466.41	509.21	552.05	594.93

หมายเหตุ : ฉนวนเคลือบซีเมนต์ ความหนาแน่น 135 kg/m³ ค่าการนำความร้อน = 0.049 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2.7-11 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังหุ้มฉนวนใยหิน ตามความหนาที่เหมาะสม (W/m)

ความหนาฉนวนที่เหมาะสม			อุณหภูมิก่อนหุ้ม (°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
49-93 (°C)	94-238 (°C)	239-320 (°C)	อุณหภูมิหลังหุ้มเฉลี่ย (°C)	41.21	40.76	45.15	43.44	46.21	49.01	51.83	54.67	57.51	60.37	56.71	58.89	61.08	63.26	65.45
in.	in.	in.	ความสูงผนัง (m)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)														
1"	1.5"	2"	0.50	24.85	32.64	40.59	33.74	44.83	56.04	67.32	78.67	90.05	101.47	86.83	95.56	104.30	113.05	121.81
1"	1.5"	2"	0.60	29.82	39.16	48.71	40.49	53.80	67.24	80.79	94.40	108.06	121.76	104.19	114.67	125.16	135.66	146.17
1"	1.5"	2"	0.70	34.79	45.69	56.83	47.24	62.76	78.45	94.25	110.13	126.07	142.06	121.56	133.78	146.02	158.27	170.53
1"	1.5"	2"	0.80	39.76	52.22	64.95	53.99	71.73	89.66	107.72	125.87	144.08	162.35	138.92	152.90	166.89	180.89	194.89
1"	1.5"	2"	0.90	44.73	58.75	73.07	60.74	80.69	100.86	121.18	141.60	162.09	182.65	156.29	172.01	187.75	203.50	219.26
1"	1.5"	2"	1.00	49.70	65.27	81.18	67.49	89.66	112.07	134.65	157.33	180.11	202.34	173.65	191.12	208.61	226.11	243.62
1"	1.5"	2"	1.10	54.67	71.80	89.30	74.24	98.63	123.28	148.11	173.07	198.12	223.23	191.02	210.23	229.47	248.72	267.38
1"	1.5"	2"	1.20	59.64	78.33	97.42	80.99	107.59	134.49	161.58	188.80	216.13	243.53	208.38	229.35	250.33	271.33	292.34
1"	1.5"	2"	1.30	64.61	84.86	105.54	87.73	116.56	145.69	175.04	204.53	234.14	263.82	225.75	248.46	271.19	293.94	316.70
1"	1.5"	2"	1.40	69.58	91.38	113.66	94.48	125.52	156.90	188.50	225.27	252.15	284.12	243.11	267.57	292.05	316.55	341.07
1"	1.5"	2"	1.50	74.55	97.91	121.78	101.23	134.49	168.11	201.97	236.00	270.16	304.41	260.48	286.68	312.91	339.16	365.43
1"	1.5"	2"	1.60	79.52	104.44	129.89	107.98	143.46	179.32	215.43	251.73	288.17	324.70	277.85	305.79	333.77	361.77	389.79
1"	1.5"	2"	1.70	84.49	110.97	138.01	114.73	152.42	190.52	228.90	267.47	306.18	345.00	295.21	324.91	354.63	384.38	414.15
1"	1.5"	2"	1.80	89.46	117.49	146.13	121.48	161.39	201.73	242.36	283.20	324.19	365.29	312.58	344.02	375.49	406.99	438.51
1"	1.5"	2"	1.90	94.43	124.02	154.25	128.23	170.35	212.94	255.83	298.93	342.20	385.59	329.94	363.13	396.35	429.60	462.87
1"	1.5"	2"	2.00	99.40	130.55	162.37	134.98	179.32	224.14	269.29	314.67	360.21	405.88	347.31	382.24	417.21	452.21	487.24
1"	1.5"	2"	2.10	104.37	137.08	170.49	141.72	188.29	235.35	282.76	330.40	378.22	426.17	364.67	401.35	438.07	474.82	511.60
1"	1.5"	2"	2.20	109.34	143.60	178.61	148.47	197.25	246.56	296.22	346.13	396.23	446.47	382.04	420.47	458.93	497.43	535.96

หมายเหตุ : ฉนวนใยหิน ความหนาแน่น 40-200 kg/m³ ค่าการนำความร้อน = 0.044 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตัวอย่างที่ 6

จากการตรวจสอบระบบท่อของหม้อไอน้ำตามตัวอย่างที่ 1 พบว่าท่อไอน้ำขนาด 2" ความยาว 50 m. ไม่มีการหุ้มฉนวน จึงคำนวณพลังงานที่ประหยัดได้หากท่อความยาวดังกล่าวถูกหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 kg/m^3

วิธีคำนวณ

การหาค่าการสูญเสียความร้อนของท่อก่อนหุ้มฉนวนความร้อน

รายการ	ข้อมูลวัดและคำนวณ
อุณหภูมิผิวท่อที่ไม่หุ้มฉนวน	วัดได้ 180°C (อุณหภูมิไอน้ำ)
ความยาวท่อและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทั้งหมด	ท่อขนาด 2" ความยาว 50 m
จำนวนวาล์วและหน้าแปลนทั้งหมด โดยหน้าแปลนคิดเป็นความยาวเทียบเท่า 0.4 ม./ตัว และวาล์วคิดเป็นความยาวเทียบเท่า 1.2 ม./ตัว	วาล์ว 2" จำนวน 3 ตัว และหน้าแปลน 2" จำนวน 6 ตัว ดังนั้น ความยาว $(1.2 \times 3) + (0.4 \times 6) = 6 \text{ m}$
จากตาราง 2.7-4 การสูญเสียความร้อนของท่อไม่หุ้มฉนวน ที่อุณหภูมิ 180°C ท่อขนาด 2 นิ้ว	อ่านค่าได้ 0.57 kW/m
ชั่วโมงการใช้งานระบบความร้อนของโรงงาน	$= 6,000 \text{ h/y}$
ค่าการสูญเสียความร้อนรวม	$= 0.57(\text{kW/m}) \times (50+6)(\text{m}) \times 6,000(\text{h/y})$ $= 191,520.0 \text{ kWh/y}$

การหาค่าการสูญเสียความร้อนของท่อหลังหุ้มฉนวนความร้อน

รายการ	ข้อมูลวัดและคำนวณ
ประเภทฉนวน	ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 kg/m^3
อ่านค่าการสูญเสียความร้อนของฉนวนใยแก้วที่อุณหภูมิผิวท่อ 180°C ของท่อขนาด 2 นิ้ว จากตารางที่ 2.7-6 ถึง 2.7-8	ค่าการสูญเสีย 43.06 W/m อุณหภูมิพื้นผิวหลังหุ้มฉนวนเฉลี่ย 45.36°C
นำค่าอุณหภูมิผิวท่อก่อนหุ้มฉนวนไปเลือกขนาดความหนาแน่นที่เหมาะสมจากตารางที่ 2.7-3	ได้ความหนาแน่น $1.5''$ (38 mm.)
ชั่วโมงการใช้งานระบบความร้อนของโรงงาน	$= 3,000 \text{ h/y}$
คิดเป็นค่าการสูญเสียความร้อนรวม	$= 43(\text{W/m}) \times (50+6)(\text{m}) \times 6,000(\text{h/y}) \times 10^{-3}$ $= 14,448 \text{ kWh/y}$
ความร้อนสูญเสียที่ลดลงจากการหุ้มฉนวน	$= 191,520.0 - 14,448.0 = 177,072.0 \text{ kWh/y}$

หมายเหตุ: การหาค่าการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนัง ใช้วิธีเดียวกันกับการหาความร้อนสูญเสียของท่อ โดยใช้ตารางที่ 2.7-5, ตารางที่ 2.7-9 ถึง 2.7-11 ซึ่งสามารถหาค่าการสูญเสียความร้อนได้

2.7.2 การตรวจสอบกับดักไอน้ำ

เราควรดำเนินการตรวจสอบกับดักไอน้ำเป็นประจำและอย่างเป็นระบบ วิธีการตรวจสอบกับดักไอน้ำมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การตรวจสอบอุณหภูมิสูงที่ท่อทางเข้า การติดตั้งกระจกกมองเห็นที่ท่อทางออก หรือการใช้เครื่องมือตรวจสอบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Detector) ปัจจุบันกับดักไอน้ำสามารถใช้ร่วมกับเครื่องมือตรวจสอบทำให้สามารถทำการตรวจสอบได้ง่าย ตามคู่มือที่แนบมาหรือระบบการตรวจติดตามโดยฐานข้อมูลจากคอมพิวเตอร์

การตรวจสอบกับดักไอน้ำ
2.7.2.1 รายการตรวจสอบกับดักไอน้ำ 1) มีช่วงที่กับดักไอน้ำเย็นตัวหรือไม่ 2) กับดักไอน้ำพ่นไอน้ำทิ้งอยู่ตลอดเวลาหรือไม่ 3) กับดักไอน้ำอุดตันหรือไม่ 4) วาล์ว by-pass ของกับดักไอน้ำเปิดทิ้งอยู่หรือไม่ 5) การติดตั้งกับดักไอน้ำถูกต้องหรือไม่ (ตำแหน่ง ทิศทาง มุม) 6) เลือกใช้ชนิดของกับดักไอน้ำเหมาะสมกับอุปกรณ์หรือไม่ 7) อุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยไอน้ำมีปัญหาอุณหภูมิผิดปกติหรืออุณหภูมิไม่สม่ำเสมอหรือไม่ 8) กับดักไอน้ำมีน้ำท่วมอยู่หรือไม่ 9) กับดักไอน้ำที่ติดตั้งอยู่เหมาะสมกับความดันหรือไม่ 10) ติด Sight Glasses Check เพื่อดูว่ามีการรั่วหรือไม่ 11) ใช้ Ultrasonic ต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์สูง กับดักไอน้ำมีรูเล็กๆ และมีส่วนเคลื่อนไหวหลายชิ้น ถ้าไม่มีการดูแลบำรุงรักษาเป็นประจำจะเกิดการอุดตันบางส่วนหรืออุดตันทั้งหมดได้อย่างรวดเร็วด้วยตะกอน สนิมและอื่นๆ เป็นผลให้การปล่อยคอนเดนเสทออกได้ช้า ออกน้อยหรือไม่ออกเลย เกิดอาการที่เรียกว่า “น้ำขัง” ในเครื่องอุปกรณ์การผลิตทำให้ผลิตช้าลง ผลผลิตไม่ได้คุณภาพตามต้องการ แต่ถ้าตะกอนสนิมไปขัดส่วนเคลื่อนไหวทำให้เปิดค้างตลอดเวลา จะเกิดไอน้ำรั่ว สิ้นเปลืองไอน้ำมาก กระบวนการผลิตไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้น กับดักไอน้ำทุกตัวในโรงงาน จึงควรได้รับการตรวจสอบและบำรุงรักษาแก้ไขให้ทำงานเป็นปกติอย่างน้อย 3 เดือนครั้ง
2.7.2.2 สาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำทำงานไม่ดี 1. คุณภาพไอน้ำไม่ดี (ไอน้ำเปียก, ความดันไอน้ำต่ำกว่าปกติ, ใช้สารเคมีปรุงแต่งน้ำเลี้ยงเข้าหม้อไอน้ำไม่ถูกต้อง) 2. ระบบไอน้ำทำงานไม่ดี (น้ำขังในเครื่องอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ, มีการกัดกร่อน, รั่ว, สั่นสะเทือน) 3. ใช้กับดักไอน้ำไม่ถูกต้องกับงาน 4. ติดตั้งกับดักไอน้ำไม่ถูกต้อง (คอนเดนเสทไม่สามารถหาทางไหลออกไปยังกับดักไอน้ำได้, ไม่อยู่ที่จุดต่ำสุดในระบบ, มีขนาดไม่ถูกต้องกับอัตราการไหลของไอน้ำ/คอนเดนเสท) ก) ขนาดเล็กไป (Under Size) ปล่อยคอนเดนเสทได้น้อยกว่าคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น เกิดอาการ “น้ำขัง” ข) ขนาดใหญ่ไป (Oversize) ปล่อยคอนเดนเสทได้มากกว่าที่เกิดทำให้มีการเปิด-ปิดถี่มาก วาล์วและบ่าวาล์วสึกหรอเร็ว และเกิดการรั่วของไอน้ำขึ้นได้ 5. สิ่งสกปรก และหรือค้อนน้ำ จะทำให้กับดักไอน้ำไม่ทำงาน/ชำรุด 6. มีอากาศในไอน้ำ

2.7.3 การตรวจสอบระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ

ไม่ว่าจะเป็นไอน้ำหรือน้ำหรืออากาศ ต่างก็ต้องส่งด้วยระบบท่อ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากระบบท่อนับเป็นการสูญเสียที่มาก ดังนั้น การตรวจสอบระบบท่ออย่างเคร่งครัดจึงนับเป็นจุดเริ่มต้นของการประหยัดพลังงานที่ดี

การตรวจสอบระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ
1) ระบบท่อชำรุดหรือไม่
2) มีรอยรั่วจากข้อต่อต่างๆ (หน้าแปลน วาล์ว เป็นต้น) หรือไม่
3) มีรอยรั่วจากบริเวณรอยเชื่อมหรือเกลียวต่อหรือไม่
4) มีระบบท่อซึ่งไม่ใช้อยู่หรือไม่
5) มีท่อไอน้ำบางส่วนแช่อยู่ในน้ำบ้างหรือไม่
6) มีการรั่วจากฉนวนกันความร้อนหรือไม่
7) มีระบบท่อไอน้ำซึ่งเปลือยอยู่หรือไม่

2.7.4 การใช้วาล์วอย่างถูกต้อง

ตรวจดูว่าวาล์วของเชื้อเพลิงไอน้ำและอากาศ เป็นต้น ทำงานได้อย่างสมบูรณ์หรือไม่ นอกจากนี้ จะต้องตระหนักไว้ด้วยว่าวาล์วเป็นสิ่งที่รั่วได้ การลืมนิบัติวาล์วหรือปิดไม่สนิทหลังการปฏิบัติงานมีส่วนให้สูญเสียพลังงานได้อย่างมากมายทีเดียว ดังนั้นควรประหยัดพลังงานโดยการเปิดปิดวาล์วให้ถูกต้อง

การใช้วาล์วอย่างถูกต้อง
1) มีการรั่วจากวาล์วหรือไม่
2) ตรวจดูอีกครั้งหนึ่งว่าลืมนิบัติวาล์วขณะเลิกงานหรือขณะหยุดพักหรือไม่
3) มีการกำหนดและติดประกาศชื่อผู้รับผิดชอบในการเปิดปิดวาล์วหรือไม่
4) เปิดวาล์วเกินจำเป็นหรือไม่
5) มีป้ายแสดงการเปิดปิดของวาล์วหรือไม่
6) วาล์วที่ติดตั้งเหมาะสมกับความดันหรือไม่
7) ตำแหน่งติดตั้งวาล์วเหมาะสมหรือไม่
8) ใช้วาล์วทั้ง ๆ ที่ชำรุดหรือไม่

2.8 การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบคอนเดนเสท

ไอน้ำเป็นพลังงานที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม ปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในไอน้ำที่อุปกรณ์ไอน้ำทั่วไปนำมาใช้งานจะมีเพียงความร้อนแฝงของการควบแน่นเท่านั้น ส่วนความร้อนสัมผัส คือ ความร้อนที่มีอยู่ในน้ำควบแน่นมักจะถูกปล่อยทิ้งไปในบรรยากาศ

หากเราสามารถนำความร้อนในน้ำควบแน่นกลับมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมดแล้ว อัตราส่วนของความร้อนที่นำกลับมาใช้ต่อความร้อนทั้งหมดในไอน้ำอาจจะมีค่าสูงถึง 20-30% นอกจากนั้น ยิ่งความดันสูงขึ้นเท่าใด อัตราส่วนนี้ยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น อีกทั้งน้ำคอนเดนเสทสะอาดกว่าน้ำป้อน ดังนั้นจะส่งผลให้สามารถลดการสูญเสียและความร้อนจากการโบลด์วาน์ได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามเท่าที่จะทำได้ที่จะไม่ปล่อยน้ำควบแน่นทิ้งไปในบรรยากาศ

2.8.1 การใช้คอนเดนเสท

น้ำควบแน่น (คอนเดนเสท) ถือเป็นน้ำที่สะอาดมาก ถ้าไม่มีสิ่งปลอมปนเกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายน้ำ และยังมีพลังงานความร้อนที่มาก ดังนั้นควรนำกลับมาใช้เป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ จะสามารถลดต้นทุนน้ำป้อน ลดอัตราการโบลว์ดาวน์และเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ อย่างไรก็ตามต้องระมัดระวังไม่ให้สิ่งปลอมปน เช่น อากาศละลายในน้ำ น้ำมันและสนิมเหล็กต่างๆ หรือของเหลวในกระบวนการผลิตเข้ามาปะปน เป็นต้น กรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงสิ่งปลอมปนได้ ให้นำกลับมาใช้แต่ความร้อนอย่างเดียว โดยยอมที่จะไม่นำน้ำกลับมาใช้

2.8.1.1 วิธีนำ คอนเดนเสทกลับมาใช้แบ่งเป็นวิธีส่งกลับด้วยความดันของตัวเองและวิธีสูบล้าง

1) **วิธีส่งกลับด้วยความดันของตัวเอง** จะใช้ Back Pressure ของคอนเดนเสทส่งกลับด้วยท่อ Recovery ไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ วิธีนี้มีประสิทธิภาพในกรณีที่ความดันใช้งานของอุปกรณ์ไอน้ำต่างๆ มีค่าค่อนข้างสูง และระยะทางไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำมีระยะทางไม่ไกลมาก

2) **วิธีส่งกลับด้วยปั๊ม** ยังแบ่งเป็นแบบเปิดกับแบบปิดโดยแบบเปิดจะรวบรวมคอนเดนเสทใส่ถังเปิด (Recovery Tank) ก่อน แล้วใช้ปั๊มสูบไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากคอนเดนเสทมีอุณหภูมิสูง จึงต้องระมัดระวังในการเลือกประเภทและกำหนดตำแหน่งของปั๊ม ในกรณีของปั๊มทั่วไปจะรองรับคอนเดนเสทที่มีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 70-80°C เพื่อป้องกัน Cavitations ส่วนแบบปิดจะใช้ปั๊มซึ่งออกแบบมาสำหรับ Drain Recovery โดยเฉพาะ ปั๊มนี้สามารถติดตั้งไว้กลางทางท่อ Drain Recovery ได้ และสูบน้ำส่งไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ หรือส่งไปยังหม้อไอน้ำโดยตรงก็ได้

การนำน้ำควบแน่นกลับมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องออกแบบท่อนำกลับน้ำควบแน่นอย่างเหมาะสม กล่าวคือ สมบัติของของเหลวภายในท่อคอนเดนเสทเป็นกระแสของไหลสองสถานะ ได้แก่ ไอน้ำแฟลชกับน้ำคอนเดนเสท ดังนั้นในการออกแบบท่อคอนเดนเสท โดยถือว่าเป็นท่อน้ำอุ่นที่มีแต่น้ำคอนเดนเสท ซึ่งเกิดจากไอน้ำควบแน่นเพียงอย่างเดียว ในทางปฏิบัติแล้วท่อจะมีขนาดเล็กไป ทำให้ความเร็วของของไหลภายในท่อสูงเกินไปมาก ความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น ทำให้ Back Pressure ของก๊อบดักไอน้ำเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้ก๊อบดักไอน้ำมีความจุ (Capacity) ไม่เพียงพอได้ ช่วงความเร็วของของไหลภายในท่อที่เหมาะสมจะเท่ากับ 5-15 m/s นอกจากนี้ ไอน้ำแฟลชที่เกิดขึ้นในท่อไม่เพียงแต่จะขัดขวางการไหลตามปกติของน้ำคอนเดนเสทเท่านั้น แต่ยังทำให้ก๊อบดักไอน้ำมีความสามารถในการระบายลดลงอีกด้วย จึงต้องพยายามเท่าที่จะทำได้ในการออกแบบท่อไม่ให้เกิดของไหลสองสถานะขึ้น

ตารางที่ 2.8-1 ขนาดของท่อในการนำคอนเดนเสทกลับที่เหมาะสม

ขนาดท่อ mm (inch)	ปริมาณสูงสุด (kg/h)
15 (1/2)	160
20 (3/4)	370
25 (1)	700
32 (1-1/4)	1,500
40 (1-1/2)	2,300
50 (2)	4,500
65 (2-1/2)	9,000
80 (3)	14,000
100 (4)	29,000

2.8.1.2 การคำนวณอุณหภูมิน้ำหลังจากผสมกับคอนเดนเสท

- 1) วัดอุณหภูมิของน้ำที่จะนำไปผสมกับคอนเดนเสท และอุณหภูมิคอนเดนเสท โดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิในตำแหน่งที่น้ำและคอนเดนเสทก่อนเข้าผสม
- 2) ประเมินหรือตรวจวัดสัดส่วนระหว่างคอนเดนเสทต่อน้ำที่เข้าผสม
- 3) นำค่าอุณหภูมิที่เข้าผสมและคอนเดนเสท รวมทั้งสัดส่วนระหว่างคอนเดนเสทต่อน้ำ ไปเปิดตารางที่ 2.8-2 โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เข้าผสมกับคอนเดนเสทจะได้อุณหภูมิหลังจากผสมกับคอนเดนเสท

การหาอุณหภูมิที่ป้อนหลังผสมกับคอนเดนเสทและปริมาณพลังงานเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้จากการใช้คอนเดนเสทสามารถคำนวณได้จากการสมดุลมวลและพลังงาน

$$\text{สมดุลมวล} \quad m_W = m_{CD} + m_M \quad (2.5)$$

$$\text{สมดุลความร้อน} \quad m_W c_p t_3 = m_{CD} c_p t_1 + m_M c_p t_2 \quad (2.6)$$

$$\text{อุณหภูมิหลังจากผสม} \quad t_3 = \frac{m_{CD} c_p t_1 + m_M c_p t_2}{m_W c_p} \quad (2.7)$$

$$\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัด} \quad \text{Fuel saving} = \frac{m_W c_p (t_3 - t_2)}{LHV \cdot \eta_B} \quad (2.8)$$

เมื่อ	m_{CD}	=	อัตราการไหลของน้ำคอนเดนเสท, kg/s
	m_M	=	อัตราการไหลของน้ำเข้าผสม, kg/s
	m_W	=	อัตราการไหลของน้ำหลังผสม (น้ำป้อนหม้อไอน้ำ), kg/s
	t_1	=	อุณหภูมิคอนเดนเสทที่เข้าผสม, °C
	t_2	=	อุณหภูมิน้ำเข้าผสม, °C
	t_3	=	อุณหภูมิหลังจากการผสมหรืออุณหภูมิที่ป้อนหม้อไอน้ำ, °C
	LHV	=	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง, kJ/kg
	η_B	=	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ
	C_p	=	ค่าความจุความร้อนของน้ำ, 4.187 kJ/kg °C

ตารางที่ 2.8-2 อุณหภูมิของน้ำหลังจากผสมกับคอนเดนเสท (t_3 ; °C)

อุณหภูมิที่เข้าผสม (°C)	อุณหภูมิคอนเดนเสท (°C)	อัตราส่วนผสมระหว่าง (คอนเดนเสท : น้ำ)								
		10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10
25	60	28.5	32.0	35.5	39.0	42.5	46.0	49.5	53.0	56.5
	70	29.5	34.0	38.5	43.0	47.5	52.0	56.5	61.0	65.5
	80	30.5	36.0	41.5	47.0	52.5	58.0	63.5	69.0	74.5
	90	31.5	38.0	44.5	51.0	57.5	64.0	70.5	77.0	83.5
	100	32.5	40.0	47.5	55.0	62.5	70.0	77.5	85.0	92.5
	110	33.5	42.0	50.5	59.0	67.5	76.0	84.5	93.0	101.5
30	60	33.0	36.0	39.0	42.0	45.0	48.0	51.0	54.0	57.0
	70	34.0	38.0	42.0	46.0	50.0	54.0	58.0	62.0	66.0
	80	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0

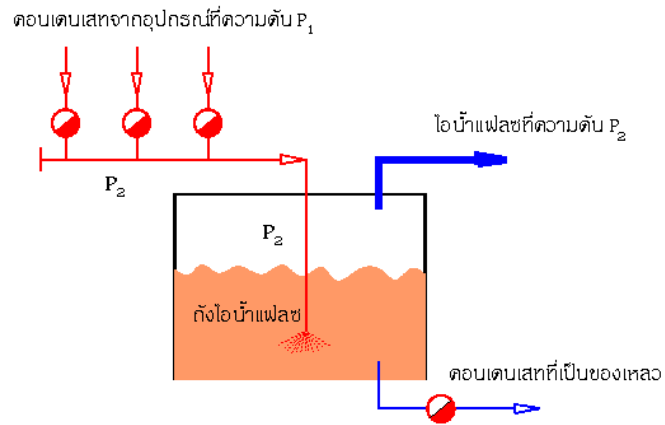
อุณหภูมิน้ำที่ เข้าผสม (°C)	อุณหภูมิคอน เดนเสท (°C)	อัตราส่วนผสมระหว่าง (คอนเดนเสท : น้ำ)								
		10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10
	90	36.0	42.0	48.0	54.0	60.0	66.0	72.0	78.0	84.0
	100	37.0	44.0	51.0	58.0	65.0	72.0	79.0	86.0	93.0
	110	38.0	46.0	54.0	62.0	70.0	78.0	86.0	94.0	102.0
35	60	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5
	70	38.5	42.0	45.5	49.0	52.5	56.0	59.5	63.0	66.5
	80	39.5	44.0	48.5	53.0	57.5	62.0	66.5	71.0	75.5
	90	40.5	46.0	51.5	57.0	62.5	68.0	73.5	79.0	84.5
	100	41.5	48.0	54.5	61.0	67.5	74.0	80.5	87.0	93.5
	110	42.5	50.0	57.5	65.0	72.5	80.0	87.5	95.0	102.5
40	60	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0	52.0	54.0	56.0	58.0
	70	43.0	46.0	49.0	52.0	55.0	58.0	61.0	64.0	67.0
	80	44.0	48.0	52.0	56.0	60.0	64.0	68.0	72.0	76.0
	90	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0
	100	46.0	52.0	58.0	64.0	70.0	76.0	82.0	88.0	94.0
	110	47.0	54.0	61.0	68.0	75.0	82.0	89.0	96.0	103.0

2.8.2 การนำไอน้ำแฟลชกลับมาใช้

ไอน้ำแฟลชเป็นไอน้ำที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้กับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันต่ำ ปริมาณไอน้ำแฟลชจะมากขึ้นเมื่อความแตกต่างระหว่างความดันคอนเดนเสทกับความดันของไอน้ำแฟลชมาก ไอน้ำแฟลชเกิดขึ้นได้โดยการนำคอนเดนเสทที่ออกจากกับดักไอน้ำ (Steam trap) มารวมกันแล้วต่อเข้ากับถังแฟลช ซึ่งมีความดันต่ำกว่าความดันคอนเดนเสท จะทำให้คอนเดนเสทเกิดการระเหยกลายเป็นไอ (รูปที่ 2.8-1) ซึ่งไอน้ำแฟลชที่ได้จากถังแฟลชนี้สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันต่ำ สำหรับขนาดของถังไอน้ำแฟลชที่เหมาะสมสามารถดูได้จาก ตารางที่ 2.8-3

2.8.2.1 การคำนวณร้อยละของปริมาณไอน้ำแฟลช

- 1) ตรวจสอบวัดความดันของน้ำร้อนก่อนเข้าถังแฟลชหรือก่อนลดความดัน (ด้านความดันสูง) โดยใช้เครื่องมือวัดความดัน
- 2) ตรวจสอบวัดความดันของไอน้ำหลังจากเข้าถังแฟลชหรือหลังจากลดความดัน (ด้านความดันต่ำ) โดยใช้เครื่องมือวัดความดัน
- 3) นำความดันทั้งสองไปเปิดตารางที่ 2.8-4 จะได้ร้อยละของไอน้ำแฟลชที่เกิด



รูปที่ 2.8-1 การเกิดไอน้ำแฟลช

ตารางที่ 2.8-3 ขนาดของถังไอน้ำแฟลชที่เหมาะสม

ปริมาณคอนเดนเสท (kg/h)	ขนาดของถังไอน้ำแฟลช	
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความสูง (mm)
900	150	940
2,250	200	940
4,500	300	1,000
9,000	380	1,100
13,000	460	1,200
16,000	500	1,400
20,000	600	1,400
34,000	760	1,400
50,000	920	1,500

ตารางที่ 2.8-4 ร้อยละของปริมาณการเกิดไอน้ำแฟลช

ด้านความดันสูง (barg)	ด้านความดันต่ำ (barg)															
	0.0	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0
1	3.7	2.5	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	6.2	5.0	4.2	2.6	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	8.1	6.9	6.1	4.5	3.2	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	9.7	8.5	7.7	6.1	4.8	3.6	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	11.0	9.8	9.1	7.5	6.2	5.0	3.1	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-
6	12.2	11.0	10.3	8.7	7.4	6.2	4.3	3.0	1.3	-	-	-	-	-	-	-
8	14.2	13.1	12.3	10.8	9.5	8.3	6.4	4.8	3.4	2.2	-	-	-	-	-	-
10	15.9	14.8	14.2	12.5	11.2	10.1	8.2	6.6	5.3	4.0	1.9	-	-	-	-	-
12	17.4	16.3	15.5	14.0	12.7	11.6	9.8	8.2	6.9	5.7	3.5	1.7	-	-	-	-
14	18.7	17.6	16.9	15.4	14.1	13.0	11.2	9.6	8.3	7.1	5.0	3.2	1.5	-	-	-
16	19.0	18.8	18.1	16.6	15.3	14.3	12.4	10.9	9.6	8.4	6.3	4.5	2.9	1.4	-	-
18	21.0	19.9	19.2	17.7	16.5	15.4	13.6	12.1	10.8	9.6	7.5	5.7	4.1	2.7	1.3	-
20	22.0	20.9	20.2	18.8	17.5	16.5	14.7	13.2	11.9	10.7	8.7	6.9	8.3	3.8	2.5	1.2

$$\text{ร้อยละของไอน้ำแฟลชที่เกิดขึ้น} \quad R_{FS} = \frac{m_{FS}}{m_{CD}} = \frac{h_{P1} - h_{P2}}{h_{fg(P2)}} \quad (2.9)$$

$$\text{ปริมาณความร้อนสูญเสียจากไอน้ำแฟลช} \quad Q_{FS} = m_{CD} h_{fg} \frac{R_{FS}}{100} \quad (2.10)$$

$$\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสียจากไอน้ำแฟลช} \quad Loss_{fuel} = \frac{Q_{FS} \times 10^{-3}}{LHV \times \eta_B} \quad (2.11)$$

เมื่อ	m_{FS}	=	ปริมาณไอน้ำแฟลช (kg/s)
	m_{CD}	=	ปริมาณน้ำคอนเดนเสท (kg/s)
	$h(P_1)$	=	เอนทาลปีของน้ำคอนเดนเสทที่ความดัน P_1 (kJ/kg) (ก่อนการแฟลช)
	$h(P_2)$	=	เอนทาลปีของน้ำคอนเดนเสทที่ความดัน P_2 (kJ/kg) (หลังการแฟลช)
	$h_{fg}(P_2)$	=	เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดัน P_2 (kJ/kg)
	LHV	=	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง MJ/kg
	η_B	=	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

ตัวอย่างที่ 7

จากตัวอย่างที่ 1 หากมีการติดตั้งระบบนำกลับคอนเดนเสท ระบบสามารถนำคอนเดนเสทกลับมาได้ 6,000 kg/h ที่อุณหภูมิ 100°C นอกจากนี้ยังติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อน (Economizer) ซึ่งสามารถนำความร้อนจากก๊าซไอเสียมาใช้เพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนได้อีก 30°C จงคำนวณพลังงานที่ประหยัดได้

ระบบผลิตไอน้ำได้	=	10,000	kg/h
ปริมาณน้ำป้อน	=	10,600	kg/h (รวมโบล์วดาวน์ 6%)
เก็บคืนคอนเดนเสท	=	6,000	kg/h ที่ 100°C (60%)
ต้องเติมน้ำ	=	10,600 - 6,000 = 4,600	kg/h ที่ 25°C
อุณหภูมิน้ำป้อน	=	[(6,000 × 100) + (4,600 × 25)] / 10,600 = 67.5 °C	

ในกรณีที่ใช้ตาราง 2.8-2 คำนวณอุณหภูมิน้ำป้อนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าอัตราส่วนของ คอนเดนเสท : น้ำเติม} &= (6,000 / 10,600) : (4,600 / 10,600) \\ &= 56.6 : 43.4 \end{aligned}$$

$$\text{ที่อุณหภูมิน้ำเติม 25°C และคอนเดนเสท 100°C จะได้อุณหภูมิน้ำป้อน} = 66.8 \text{ °C}$$

เมื่อน้ำป้อนผ่านเครื่องอุ่นน้ำป้อน (Economizer) อุณหภูมิน้ำเพิ่มได้อีก 30°C ดังนั้น อุณหภูมิน้ำป้อนเท่ากับ 67.5 + 30 = 97.5°C

$$\begin{aligned} \text{จากตารางไอน้ำ น้ำป้อนที่อุณหภูมิ 97.5°C มีพลังงานความร้อน} &= 408.5 \text{ kJ/kg} \\ \text{ความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ} &= 10,600 \times (781 - 408.5) + 10,000 \times (2,782 - 781) \\ &= 23,958,500 \text{ kJ/h} \\ \text{ความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำลดลง} &= 27,124,800 - 23,958,500 \text{ kJ/h} \\ &= 3,166,300 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

จากตัวอย่างที่ 1 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเท่ากับ 84.7%			
พลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงลดลง	=	3,166,300 / 0.849	
	=	3,729,446	kJ/h
หรือ	=	3,729,446 × 6,000 / 1,000	MJ/y
	=	22,376,676	MJ/y
คิดเป็นปริมาณน้ำมันที่ลดลงต่อปี	=	22,376,676 / 40	L/y
	=	559,417	L/y
ค่าน้ำมันต่อปี	=	(4,800,000 – 559,417) × 14	
	=	59,368,162	B/y
ราคาไอน้ำต่อตัน (เมื่อมีการนำคอนเดนเสทกลับมา)	=	59,368,162 / (10 × 6,000)	
	=	989.5	B/t
ราคาไอน้ำต่อตัน (เดิมเมื่อไม่มีการนำกลับคอนเดนเสท)	=	1,120	B/t

จากตัวอย่างนี้ จะเห็นได้ว่า ประโยชน์จากการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ นอกเหนือจากการลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงแล้ว ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายของน้ำประปาที่จะต้องป้อนให้กับหม้อไอน้ำในปริมาณเท่าๆ กับคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ รวมถึงยังสามารถลดค่าการปรับปรุงสภาพน้ำให้เหมาะสมอีกด้วย

2.9 การตรวจวินิจฉัยเพื่อหาแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในหม้อไอน้ำ และระบบส่งจ่ายไอน้ำนั้น เหตุของการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นควรทำการตรวจวินิจฉัยเพื่อหาสิ่งผิดปกติ เพื่อทำการแก้ไขอย่างสม่ำเสมอ ดังตาราง

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
1. ตรวจสอบสีของเปลวไฟในแต่ละภาระ	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดี สามารถตรวจสอบเบื้องต้นจากเปลวไฟ - เชื้อเพลิงเหลวเปลวไฟควรมีสีส้ม - เชื้อเพลิงก๊าซเปลวไฟควรมีสีฟ้าปลายสีส้ม - เปลวไฟควรมีสภาพคงตัว	● จัดทำแผนการตรวจสอบทุกวัน ● ปรับตั้งหัวเผาให้อยู่ในจุดที่ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด ● เปลี่ยนแปลง ปรับปรุงหัวเผาเมื่อสึกหรอ ● ความดันและอุณหภูมิเชื้อเพลิงต้องเหมาะสม
2. ตรวจสอบสีควันไฟที่ออกจากปล่อง	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดี สามารถตรวจสอบเบื้องต้นจากสีของควันไฟที่ออกจากปล่องโดยควันไฟควรมีสีเทาอ่อน	● ลดปริมาณอากาศเมื่อควันไฟสีขาวหรือไม่มีสี ● ลดปริมาณเชื้อเพลิงเมื่อควันไฟสีดำ
3. ตรวจสอบความสว่างภายในห้องเผาไหม้	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดี สามารถตรวจสอบเบื้องต้นจากความสว่างภายในห้องเผาไหม้โดยภายในห้องเผาไหม้ไม่สว่างจ้าหรือคล้ำ	● ลดปริมาณอากาศเมื่อห้องเผาไหม้สว่างจ้า ● ลดปริมาณเชื้อเพลิงเมื่อห้องเผาไหม้คล้ำ

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
4. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง	น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดสูง การพ่นเป็นฝอยจะไม่ดีส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นควรอุ่นเชื้อเพลิงให้มีอุณหภูมิเหมาะสม น้ำมันเตาเกรด เอ ที่ 90-100 °C น้ำมันเตาเกรด ซี ที่ 110-120 °C	• ปรับตั้งอุณหภูมิในการอุ่นให้เหมาะสม • ควรใช้ไฟฟ้าในการอุ่นช่วงแรกและอุ่นด้วยไอน้ำเมื่อมีไอน้ำ • ลดจำนวน Heater ในการอุ่นให้เหมาะสมกับการใช้งาน • หุ้มฉนวนถังป้อนน้ำมันและระบบท่อ
5. ตรวจสอบความดันน้ำมันเชื้อเพลิง	ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่ามาตรฐานของหัวเผาจะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง	• ตรวจสอบและปรับตั้งความดันให้ได้ตามมาตรฐานของหัวเผาแต่ละชนิด
6. ตรวจวัดปริมาณ O ₂ ส่วนเกิน ที่ออกจากห้องเผาไหม้	ปริมาณ O ₂ ส่วนเกินควรจะน้อยที่สุดที่ทำให้เกิด CO ไม่เกิน 200 ppm - เชื้อเพลิงก๊าซไม่เกิน 2 % - เชื้อเพลิงเหลวไม่เกิน 4 % - เชื้อเพลิงแข็งขึ้นอยู่กับสภาพเชื้อเพลิง	• ตรวจวัดและปรับตั้งหัวเผาทุกครั้งเมื่อทำการบำรุงรักษาหัวเผา • ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเผาไหม้อัตโนมัติ
7. ตรวจสอบอุณหภูมิไอเสียขณะใช้งานกับหลังจากจุดเขม่าและปรับตั้งหัวเผา ณ สถานะการทำงานระดับและความดันไอน้ำเท่ากัน	อุณหภูมิไอเสียขณะใช้งานไม่ควรสูงขึ้นจากเดิมเกิน 20 °C เพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกทางปล่อง	• ทำการชุดเขม่าบนพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน • ปรับส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงให้เหมาะสม
8. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำป้อน	อุณหภูมิน้ำป้อนควรสูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อไล่ O ₂ และ CO ₂ ในน้ำ และผลิตไอน้ำได้เร็วขึ้น โดยทั่วไปควรสูงกว่า 90 °C	• นำคอนเดนเสทกลับมาอุ่นน้ำป้อน • นำไอเสียมาอุ่นน้ำป้อน • นำไอน้ำมาอุ่นน้ำป้อน • เพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนจะต้องยกระดับถึงน้ำป้อนให้สูงขึ้น
9. ตรวจสอบคุณภาพน้ำป้อน	น้ำป้อนควรผ่านการปรับสภาพอย่างดีเพื่อลดสารแขวนลอยและสารละลายต่างๆ ซึ่งเป็นต้นเหตุของตะกรันโคลน และการเกิดผิบบกตี โดยทั่วไปค่าสภาพการนำไฟฟ้าควรต่ำกว่า 800 $\mu\text{s/cm}$	• ทำแผนการตรวจสอบคุณภาพน้ำป้อนเป็นประจำ • ติดตั้งระบบน้ำ RO
10. ตรวจสอบคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำ	น้ำในหม้อไอน้ำควรมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 6,000 – 7,000 $\mu\text{s/cm}$	• ลดอัตราหรือระยะเวลาการโบลว์ดาวน์เมื่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 6,000 $\mu\text{s/cm}$

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
		- ตรวจสอบคุณภาพน้ำป้อนและคอนเดนเสทที่นำกลับ เมื่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่า $7,000 \mu\text{s}/\text{cm}$ - ถ่ายน้ำในหม้อไอน้ำทิ้งทุกสัปดาห์ เพื่อลดความเข้มข้น
11. ตรวจสอบอุณหภูมิเฉลี่ยบนผิวผนังหม้อไอน้ำ	อุณหภูมิเฉลี่ยไม่ควรเกิน 60°C เพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกทางพื้นผิว	- ซ่อมฉนวนเมื่อเกิดการสึกหรอ - เปลี่ยนฉนวนเมื่อหมดสภาพ
12. ตรวจสอบระยะเวลาในการกำจัดตะกอนในหม้อไอน้ำ	ควรกำจัดตะกอนในหม้อไอน้ำอย่างน้อยทุกปี	จัดทำแผนการทำความสะอาดทุกปี
13. ตรวจสอบแผนการทำความสะอาดหัวเผา	เชื้อเพลิงเหลวควรทำความสะอาดหัวเผาอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง	จัดทำแผนการทำความสะอาดทุกสัปดาห์
14. ตรวจสอบความดันไอน้ำที่ผลิต และความดันสูงสุดที่อุปกรณ์ใช้ไอน้ำต้องการ	ความดันไอน้ำที่ผลิตควรสูงกว่าความดันสูงสุดที่อุปกรณ์ใช้ไอน้ำต้องการประมาณ $0.5\text{--}1.0 \text{ barg}$ ซึ่งขึ้นอยู่กับความดันตกในระบบถ้าสามารถลดความดันไอน้ำที่ผลิตลงจะส่งผลให้สัดส่วนระหว่างไอน้ำที่ผลิตได้ต่อเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น และการสูญเสียความร้อนต่าง ๆ ของหม้อไอน้ำและระบบส่งจ่ายไอน้ำจะลดลง	ลดความดันในการผลิตไอน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน
15. ตรวจสอบปริมาณไอน้ำที่ใช้กับอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่างๆ	อุปกรณ์ใช้ไอน้ำส่วนน้อยที่ต้องการความดันสูงให้ทำการแยกระบบเป็นระบบความดันสูงและความดันต่ำ เพื่อลดความดันไอน้ำของระบบรวมลง	จัดหาหม้อไอน้ำขนาดเล็กและเดินท่อไอน้ำไปใช้กับอุปกรณ์ส่วนน้อยแต่ใช้ความดันไอน้ำสูง
16. ตรวจสอบหม้อไอน้ำขนาดใหญ่กว่าการใช้งานหรือไม่	ควรใช้หม้อไอน้ำที่ภาระ $80\text{--}90\%$ ตลอดเวลาเพราะเป็นจุดที่หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูง	- บริหารจัดการใช้ไอน้ำให้เหมาะสม - จัดหาหม้อไอน้ำขนาดเล็กมาใช้แทน
17. ตรวจสอบหัวเผาเดิน-หยุดบ่อยหรือไม่	ก่อนจุดไฟของหัวเผาทุกครั้งจะมีการไล่เชื้อเพลิง (Purge) ประมาณ 2 นาที ซึ่งทำให้ห้องเผาไหม้สูญเสียความร้อน	- ลดเวลาในการไล่เชื้อเพลิง - ลดขนาดหัวเผาหรือลดขนาดหม้อไอน้ำ

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
18. ตรวจสอบอัตราการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำแต่ละชุดที่ความดันไอน้ำเท่ากัน	หม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีสัดส่วนระหว่างไอน้ำที่ผลิตได้ต่อเชื้อเพลิงสูง เช่น เชื้อเพลิงเหลว ควรมีสัดส่วนประมาณ 13 – 14 : 1	• ทาสาเหตุและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น • เลือกใช้งานหม้อไอน้ำชุดที่มีสัดส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงสูงเป็นหลัก • เปลี่ยนหม้อไอน้ำใหม่
19. ตรวจสอบบางช่วงเวลาความดันในการผลิตไอน้ำตกจึงต้องเดินหม้อไอน้ำสำรองเสริมตลอดเวลา	ไม่ควรเดินหม้อไอน้ำเพื่อรอเสริมในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ของวัน เพราะหม้อไอน้ำมีการสูญเสียตลอดเวลาในขณะที่ไม่มีการจ่ายไอน้ำ	• บริหารจัดการการใช้ไอน้ำใหม่ • อุ่นน้ำป้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น • ติดตั้งถังเก็บไอน้ำ (Steam Accumulator) • แก้ไขความดันตกในระบบส่งจ่ายไอน้ำ เช่น ขนาดท่อ ความยาวท่อ จำนวนข้อต่อข้องอ
20. ตรวจสอบว่ามีอุปกรณ์ ไอน้ำบางส่วนร้อนช้า แล้วจึงเปิดวาล์ว Bypass หรือไม่	ไม่ควรเปิดวาล์ว Bypass ถ้าความดันไอน้ำที่เข้าอุปกรณ์ได้ตามมาตรฐานอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ แต่อุปกรณ์ร้อนช้า	• ไอน้ำที่เข้าอุปกรณ์ต้องแห้ง • กับดักไอน้ำขนาดเล็กปล่อยคอนเดนเสทไม่ทัน • ไม่มีอุปกรณ์ไล่อากาศ (Air Vent) • วาล์วควบคุม (Control Valve) ทำงานผิดปกติ • พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์สกปรก • ปริมาณไอน้ำเข้าอุปกรณ์น้อยไป
21. ตรวจสอบกับดักไอน้ำ	กับดักไอน้ำต้องไม่รั่วภายใน ไม่ตัน ไม่เล็กเกินไป และติดตั้งไม่ถูกต้อง	• ซ่อมหรือเปลี่ยนกับดักไอน้ำ • เลือกชนิดและขนาดให้เหมาะสม • ติดตั้งในตำแหน่งที่ถูกต้อง
22. ตรวจสอบคุณภาพไอน้ำก่อนเข้าอุปกรณ์	ไอน้ำก่อนเข้าอุปกรณ์ต้องแห้ง	• ไอน้ำออกจากหม้อไอน้ำต้องแห้ง • ฉนวนท่อส่งจ่ายไอน้ำมีสภาพดี • ระบบท่อไอน้ำต้องมีกับดักไอน้ำเป็นระยะ • ก่อนเข้าอุปกรณ์ไอน้ำต้องมีอุปกรณ์กำจัดน้ำ (Steam Separator)
23. ตรวจสอบสภาพฉนวน ท่อ วาล์ว และหน้าแปลน	ระบบส่งจ่ายไอน้ำทั้งหมดจะต้องมีฉนวนที่อยู่ในสภาพดี โดยทั่วไปอุณหภูมิผิวฉนวนไม่ควรเกิน 60 °C	• ติดตั้งฉนวนเพิ่มเติม • ซ่อมฉนวนที่ชำรุด • เปลี่ยนฉนวนที่เสื่อมสภาพ

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
24. ตรวจสอบการรั่วไหลของไอน้ำทั้งหมด	ระบบไอน้ำทั้งหมดจะต้องไม่มีการรั่วไหลของไอน้ำ	ตรวจสอบและซ่อมทันทีที่พบ
25. ตรวจสอบปริมาณและคุณภาพคอนเดนเสท	ควรนำคอนเดนเสททั้งหมดกลับมาใช้	- คอนเดนเสทคุณภาพสูงและมีปริมาณมากนำกลับมาอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ - คอนเดนเสทคุณภาพสูงและมีปริมาณน้อยนำไปใช้กับกระบวนการผลิตที่อยู่ใกล้ - คอนเดนเสทคุณภาพต่ำ และมีปริมาณมากนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนปล่อยทิ้ง
26. ตรวจสอบอุณหภูมิใช้งานของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ	อุณหภูมิใช้งานสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด	- ปรับลดอุณหภูมิให้ได้มาตรฐาน - เปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิใหม่
27. ตรวจสอบอุณหภูมิผิวของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ	อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำไม่ควรสูงเกิน 60 °C	- เปลี่ยนฉนวนที่ชำรุด - หุ้มฉนวนใหม่
28. ตรวจสอบการนำไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์	อุณหภูมิไอเสียสูงกว่า 200 °C ควรนำกลับมาใช้ถ้าในเชื้อเพลิงไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ	- ใช้อุ่นน้ำป้อน (Economizer) - ใช้อุ่นอากาศ (Air Preheated)
29. ตรวจสอบการนำน้ำระบาย (Blow down) กลับมาใช้ประโยชน์	กรณีมีการ Blow down จำนวนมากควรหาทางนำกลับมาใช้	ติดตั้งระบบการระบายแบบต่อเนื่อง (Continuous Blow down) แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำป้อน
30. ตรวจสอบการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิง	เลือกใช้เชื้อเพลิงต้นทุนต่ำและสะอาด	- เปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิง - น้ำมันดีเซลเป็น LPG - น้ำมันเกรดเอเป็นเกรดซี - น้ำมันเตาเป็น LPG - น้ำมันเตาเป็นถ่านหินหรือเชื้อเพลิงแข็ง
31. ตรวจสอบความชื้นของเชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงมีความชื้นสูง ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ	- นำไอเสียไปไล่ความชื้นจากเชื้อเพลิง - ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปไล่ความชื้น

2.10 แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานนี้มีประโยชน์ในการค้นหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานก่อนที่จะดำเนินการตรวจวิเคราะห์เชิงลึก เพื่อหาผลการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

รายการศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการตรวจสอบศักยภาพ		
	ดำเนินการแล้ว	พร้อมดำเนินการ	ไม่พร้อมดำเนินการ
1. การลดปริมาณอากาศส่วนเกิน(Excess Air) ที่ใช้ในการเผาไหม้			เพราะ...
2. การทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน			เพราะ...
3. การปรับลดความดันไอน้ำที่ผลิตให้เหมาะสม			เพราะ...
4. การลดอัตราการโบว์ดาวน์			เพราะ...
5. การอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาไหม้			เพราะ...
6. การอุ่นเชื้อเพลิงก่อนเข้าเผาไหม้			เพราะ...
7. การอุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ			เพราะ...
8. การปรับปรุงฉนวนหุ้มหม้อไอน้ำ			เพราะ...
9. การลดความชื้นของเชื้อเพลิงแข็ง			เพราะ...
10. การเปลี่ยนหม้อไอน้ำใหม่			เพราะ...
11.การใช้หม้อไอน้ำที่ภาระใกล้เคียงปกติ			เพราะ...
12. การจัดโหลดการใช้งานเพื่อลดการเดินหม้อไอน้ำ			เพราะ...
13. การเลือกเดินหม้อไอน้ำชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก			เพราะ...
14. การลดความถี่ในการดับเตาที่บ่อยเกินไป			เพราะ...
15. การติดตั้งถังเก็บไอน้ำในจุดที่ใช้ไอน้ำบางช่วงเวลามาก			เพราะ...
16. การนำ Flash Steam กลับมาใช้			เพราะ...
17. การนำคอนเดนเสทกลับมาใช้			เพราะ...
18. การนำความร้อนจากน้ำโบว์ดาวน์กลับมาใช้			เพราะ...
19. การนำความร้อนจากไอเสียกลับมาใช้			เพราะ...
20. การเลือกซื้อเชื้อเพลิงจากหลายผู้ผลิต			เพราะ...
21. การหุ้มฉนวนท่อวาล์วและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ			เพราะ...
22. การเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิง			เพราะ...
23. การใช้ไอน้ำอุ่นน้ำมันร่วมกับการใช้ไฟฟ้า			เพราะ...
24. การลดความดันใช้งานของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำให้เหมาะสม			เพราะ...
25. การตรวจสอบหรือเปลี่ยนกับดักไอน้ำ			เพราะ...
26. การลดความดันตกในระบบท่อ			เพราะ...
27. การแยกระบบการใช้ไอน้ำเป็นหลายระดับความดัน			เพราะ...
28. การลดไอน้ำแปรชจากอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ			เพราะ...
29. การติดตั้งอุปกรณ์ไล่อากาศที่อุปกรณ์ใช้ไอน้ำ			เพราะ...

รายการศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการตรวจสอบศักยภาพ		
	ดำเนินการแล้ว	พร้อมดำเนินการ	ไม่พร้อมดำเนินการ
30. การเปลี่ยนการใช้ไอน้ำจากผสมโดยตรงเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อน			เพราะ...
31. การปรับปรุงคุณภาพไอน้ำก่อนเข้าอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ			เพราะ...
32. การเลือกชนิดและขนาดกับดักไอน้ำให้เหมาะสม			เพราะ...
33. การใช้ระบบควบคุมการเผาไหม้อัตโนมัติ			เพราะ...
34. การผลิตน้ำร้อนด้วย Heat Pump แทนการใช้ไอน้ำ			เพราะ...
35. อุณหภูมิพื้นผิวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์			เพราะ...

2.11 โปรแกรมวิเคราะห์ผลการอนุรักษ์พลังงาน

เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการวิเคราะห์ผลการอนุรักษ์พลังงาน จึงทำเป็นโปรแกรม Microsoft Excel โดยผู้ใช้งานข้อมูลเบื้องต้น และข้อมูลตรวจวัดกรอกลงในช่องว่าง โปรแกรมจะคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงานที่ถูกต้องได้ทันที

มาตรการที่ 1 การลดปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้	
1. หลักการและเหตุผล	
โรงงานติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 1 ตัน จำนวน 1 ชุดโดยปกติจะทำการปรับตั้งส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ปีละหนึ่งครั้ง โดยขณะใช้งานมีการบำรุงรักษาอุปกรณ์และปรับตั้งโดยใช้การสังเกตส่งผลให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง มีปริมาณอากาศส่วนเกินที่ไม่เหมาะสมโรงงานจึงได้ตัดสินใจซื้อเครื่องมือตรวจวัดไอเสียที่ออกจากปล่องซึ่งจะทำให้โรงงานสามารถประหยัดการใช้เชื้อเพลิงลงได้	
 สีของเปลวไฟก่อนปรับอัตราส่วน A/F  สีของเปลวไฟหลังปรับอัตราส่วน A/F	
2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์	
2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค	
2.1.1 พลังงานความร้อนที่สูญเสียทางปล่องไอเสีย - เชื้อเพลิงแข็ง $Q_{ES} = \text{อัตราการใช้เชื้อเพลิงแข็งเฉลี่ย (kg/h)} \times \text{ปริมาณก๊าซไอเสียจริง (Nm}^3\text{/kg)} \times \text{ค่าความจุความร้อนของก๊าซไอเสีย (kcal/Nm}^3\text{ }^{\circ}\text{C)} \times (\text{อุณหภูมิไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ (}^{\circ}\text{C)} - \text{อุณหภูมิอากาศเข้าห้องเผาไหม้ (}^{\circ}\text{C)}) \times \text{ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี (h/y)} \times \text{ตัวประกอบการใช้งาน} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ}$	

- เชื้อเพลิงเหลว

$$Q_{EL} = \text{อัตราการใช้เชื้อเพลิงเหลวเฉลี่ย (L/h)} \times \text{ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/L)} \times \text{ปริมาณก๊าซไอเสียจริง (Nm}^3\text{/kg)} \times \text{ค่าความจุความร้อนของก๊าซไอเสีย (kcal/Nm}^3\text{ }^{\circ}\text{C)} \times (\text{อุณหภูมิไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ (}^{\circ}\text{C)} - \text{อุณหภูมิอากาศเข้าห้องเผาไหม้ (}^{\circ}\text{C)}) \times \text{ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี (h/y)} \times \text{ตัวประกอบการใช้งาน} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ}$$

- เชื้อเพลิงก๊าซ

$$Q_{EG} = \text{อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซเฉลี่ย (m}^3\text{/h)} \times \text{ปริมาณก๊าซไอเสียจริง (Nm}^3\text{/m}^3\text{)} \times \text{ค่าความจุความร้อนของก๊าซไอเสีย (kcal/Nm}^3\text{ }^{\circ}\text{C)} \times (\text{อุณหภูมิไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ (}^{\circ}\text{C)} - \text{อุณหภูมิอากาศเข้าห้องเผาไหม้ (}^{\circ}\text{C)}) \times \text{ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี (h/y)} \times \text{ตัวประกอบการใช้งาน} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ}$$

2.1.2 ปริมาณความร้อนสูญเสียลดลง (kcal/y)

$$Q_S = \text{พลังงานความร้อนที่สูญเสียก่อนปรับ (kcal/y)} - \text{พลังงานความร้อนที่สูญเสียหลังปรับ (kcal/y)}$$

2.1.3 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้

- เชื้อเพลิงแข็ง (kg/y)

$$F_{SS} = \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียลดลง (kcal/y)} / (\text{ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิงแข็ง (kcal/kg)} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (\%)} / 100)$$

- เชื้อเพลิงเหลว (L/y)

$$F_{LS} = \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียลดลง (kcal/y)} / (\text{ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิงเหลว (kcal/L)} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (\%)} / 100)$$

- เชื้อเพลิงก๊าซ (m³/y)

$$F_{GS} = \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียลดลง (kcal/y)} / (\text{ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิงก๊าซ (kcal/m}^3\text{)} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (\%)} / 100)$$

2.1.4 ค่าเชื้อเพลิงลดลง

$$C_S = \text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้} \times \text{ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อหน่วย}$$

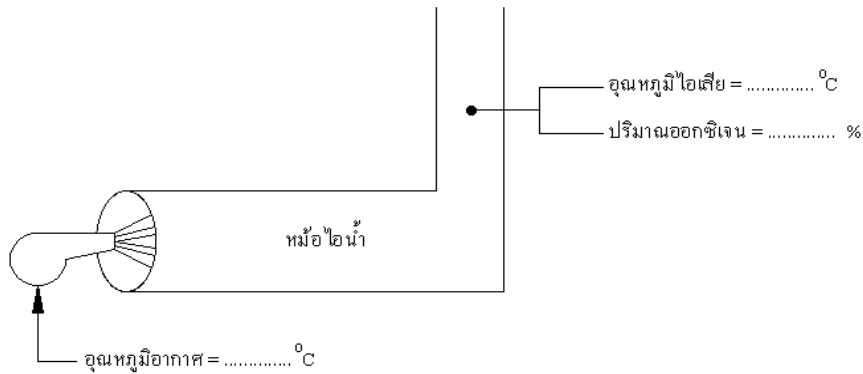
2.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การลงทุน

2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)

$$PB = \text{เงินลงทุน (บาท)} / \text{ค่าเชื้อเพลิงลดลง (บาท)}$$

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า



รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี	h	h/y	3,500	ข้อมูลโรงงาน
1.2 ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง				
- เชื้อเพลิงแข็ง	LHV _S	kcal/kg	0	
- เชื้อเพลิงเหลว	LHV _L	kcal/L	8,698.77	น้ำมันดีเซล
- เชื้อเพลิงก๊าซ	LHV _G	kcal/m ³	0	
1.3 ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อหน่วย				
- เชื้อเพลิงแข็ง	C _S	฿/kg	0	
- เชื้อเพลิงเหลว	C _L	฿/L	25.00	น้ำมันดีเซล
- เชื้อเพลิงก๊าซ	C _G	฿/m ³	0	
1.4 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง				
- เชื้อเพลิงเหลว	D _L	kg/L	0.85	ผู้ผลิต
- เชื้อเพลิงก๊าซ	D _G	kg/m ³	0	
1.5 ตัวประกอบการใช้งาน	OF		0.80	ข้อมูลโรงงาน
1.6 ค่าความจุความร้อนของก๊าซไอเสีย (ที่ 200 °C = 0.33 , ที่ 400 °C = 0.34)	C _{Pg}	kcal/Nm ³ °C	0.33	
1.7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้	η _C	%	83	การคำนวณ
1.8 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	η _F	%	80	การคำนวณ

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.9 อัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย				
- เชื้อเพลิงแข็ง	m_{FS}	kg/h	0	การตรวจวัด
- เชื้อเพลิงเหลว	m_{FL}	L/h	40	
- เชื้อเพลิงก๊าซ	m_{FG}	m^3/h	0	
1.10 ค่าเครื่องมือตรวจวัดปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	COST	฿	50,000	
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 อุณหภูมิไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ก่อนปรับ	T_{gO}	$^{\circ}C$	184.00	
2.2 อุณหภูมิอากาศเข้าห้องเผาไหม้ก่อนปรับส่วนผสม	T_{aO}	$^{\circ}C$	36.00	
2.3 อุณหภูมิไอเสียออกจากห้องเผาไหม้หลังปรับ	T_{gN}	$^{\circ}C$	150.00	
2.4 อุณหภูมิอากาศเข้าห้องเผาไหม้หลังปรับส่วนผสม	T_{aN}	$^{\circ}C$	36.00	
2.5 ปริมาณออกซิเจนออกจากห้องเผาไหม้ก่อนปรับ	O_{2O}	%	5.32	
2.6 ปริมาณออกซิเจนออกจากห้องเผาไหม้หลังปรับ	O_{2N}	%	4.50	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค การสูญเสียความร้อนก่อนปรับส่วนผสม				
3.1 อัตราส่วนอากาศเดิม $M = 21/(21 - O_{2O})$	M	-	1.34	
3.2 ปริมาณอากาศทางทฤษฎีก่อนปรับส่วนผสม				
- เชื้อเพลิงแข็ง $A_{OS} = (1.01 \times LHV_S / 1,000) + 0.5$	A_{OS}	Nm^3/kg	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $A_{OL} = (0.85 \times LHV_L / 1,000)$	A_{OL}	Nm^3/L	7.39	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $A_{OG} = ((1.09 \times LHV_G) / 1000) - 0.25$	A_{OG}	Nm^3/m^3	0.00	

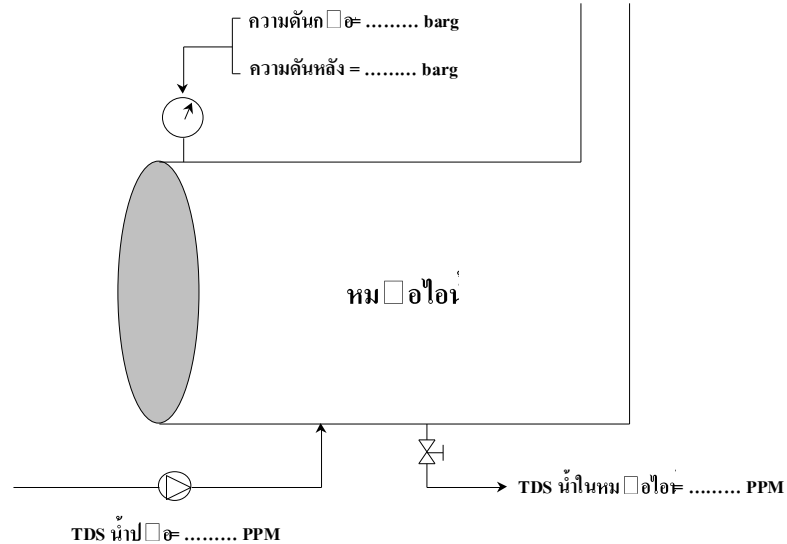
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
3.3 ปริมาณอากาศใช้จริงก่อนปรับส่วนผสม				
- เชื้อเพลิงแข็ง	A_S	Nm^3/kg	0.00	
$A_S = A_{OS} \times M$				
- เชื้อเพลิงเหลว	A_L	Nm^3/L	9.90	
$A_L = A_{OL} \times M$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	A_G	Nm^3/m^3	0.00	
$A_G = A_{OG} \times M$				
3.4 ปริมาณก๊าซเสียทางทฤษฎีก่อนปรับส่วนผสม				
- เชื้อเพลิงแข็ง	O_{OS}	Nm^3/kg	0.00	
$O_{OS} = (0.89 \times LHV_S / 1,000) + 1.65$				
- เชื้อเพลิงเหลว	O_{OL}	Nm^3/L	9.66	
$O_{OL} = (1.11 \times LHV_L / 1,000)$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	O_{OG}	Nm^3/m^3	0.00	
$O_{OG} = ((1.14 \times LHV_G) / 1000) + 0.25$				
3.5 ปริมาณก๊าซเสียจริงก่อนปรับส่วนผสม				
- เชื้อเพลิงแข็ง	O_S	Nm^3/kg	0.00	
$O_S = O_{OS} + (M-1) \times A_{OS}$				
- เชื้อเพลิงเหลว	O_L	Nm^3/L	12.17	
$O_L = O_{OL} + (M-1) \times A_{OL}$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	O_G	Nm^3/m^3	0.00	
$O_G = O_{OG} + (M-1) \times A_{OG}$				
3.6 พลังงานความร้อนที่สูญเสียก่อนปรับส่วนผสม				
- เชื้อเพลิงแข็ง	Q_{ES}	kcal/y	0.00	
$Q_{ES} = m_{IS} \times O_S \times C_{Pg} \times (T_{go} - T_{ao}) \times h \times OF \times \eta_C / 100$				
- เชื้อเพลิงเหลว	Q_{EL}	kcal/y	55,453,538	
$Q_{EL} = m_{IL} \times O_L \times C_{Pg} \times (T_{go} - T_{ao}) \times h \times OF \times \eta_C / 100$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	Q_{EG}	kcal/y	0.00	
$Q_{EG} = m_{IG} \times O_G \times C_{Pg} \times (T_{go} - T_{ao}) \times h \times OF \times \eta_C / 100$				

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
การสูญเสียความร้อนหลังปรับส่วนผสม				
3.7 อัตราส่วนอากาศหลังปรับส่วนผสม $M_N = 21/(21-O_{2N})$	M_N	-	1.27	
3.8 ปริมาณอากาศทางทฤษฎีหลังปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงแข็ง $A_{OSN} = (1.01 \times LHV_S / 1,000) + 0.5$	A_{OSN}	Nm^3/kg	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $A_{OLN} = (0.85 \times LHV_L / 1,000)$	A_{OLN}	Nm^3/L	7.39	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $A_{OGN} = ((1.09 \times LHV_G) / 1000) - 0.25$	A_{OGN}	Nm^3/m^3	0.00	
3.9 ปริมาณอากาศที่ใช้จริงหลังปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงแข็ง $A_{SN} = A_{OSN} \times M_N$	A_{SN}	Nm^3/kg	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $A_{LN} = A_{OLN} \times M_N$	A_{LN}	Nm^3/L	9.39	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $A_{GN} = A_{OGN} \times M_N$	A_{GN}	Nm^3/m^3	0.00	
3.10 ปริมาณก๊าซเสียทางทฤษฎีหลังปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงแข็ง $O_{OSN} = (0.89 \times LHV_S / 1,000) + 1.65$	O_{OSN}	Nm^3/kg	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $O_{OLN} = (1.11 \times LHV_L / 1,000)$	O_{OLN}	Nm^3/L	9.66	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $O_{OGN} = ((1.14 \times LHV_G) / 1000) + 0.25$	O_{OGN}	Nm^3/m^3	0.00	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
3.11 ปริมาณก๊าซเสียจริงหลังปรับส่วนผสม				
- เชื้อเพลิงแข็ง	O_{SN}	Nm^3/kg	0.00	
$O_{SN} = O_{OSN} + (M_N - 1) \times A_{OSN}$				
- เชื้อเพลิงเหลว	O_{LN}	Nm^3/L	11.66	
$O_{LN} = O_{OLN} + (M_N - 1) \times A_{OLN}$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	O_{GN}	Nm^3/m^3	0.00	
$O_{GN} = O_{OGN} + (M_N - 1) \times A_{OGN}$				
3.12 พลังงานความร้อนสูญเสียหลังปรับส่วนผสม				
- เชื้อเพลิงแข็ง	Q_{ESN}	kcal/y	0.00	
$Q_{ESN} = m_{IS} \times O_{SN} \times C_{Pg} \times (T_{gN} - T_{aN}) \times h \times OF \times \eta_C / 100$				
- เชื้อเพลิงเหลว	Q_{ELN}	kcal/y	40,924,216	
$Q_{ELN} = m_{IL} \times O_{LN} \times C_{Pg} \times (T_{gN} - T_{aN}) \times h \times OF \times \eta_C / 100$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	Q_{EGN}	kcal/y	0.00	
$Q_{EGN} = m_{IG} \times O_{GN} \times C_{Pg} \times (T_{gN} - T_{aN}) \times h \times OF \times \eta_C / 100$				
3.13 พลังงานความร้อนสูญเสียลดลง				
- เชื้อเพลิงแข็ง	Q_{SS}	kcal/y	0.00	
$Q_{SS} = Q_{ES} - Q_{ESN}$				
- เชื้อเพลิงเหลว	Q_{LS}	kcal/y	14,529,322	
$Q_{LS} = Q_{EL} - Q_{ELN}$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	Q_{GS}	kcal/y	0.00	
$Q_{ES} = Q_{EG} - Q_{EGN}$				
3.14 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้				
- เชื้อเพลิงแข็ง	F_{SS}	kg/y	0.00	
$F_{SS} = Q_{SS} / [LHV_S \times (\eta_F / 100)]$				
- เชื้อเพลิงเหลว	F_{LS}	L/y	2,087.84	
$F_{LS} = Q_{LS} / [LHV_L \times (\eta_F / 100)]$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	F_{GS}	m^3/y	0.00	
$F_{GS} = Q_{GS} / [LHV_G \times D_G \times (\eta_F / 100)]$				

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
3.15 ค่าเชื้อเพลิงลดลง				
- เชื้อเพลิงแข็ง	C_{SS}	฿/y	0.00	
$C_{SS} = F_{SS} \times C_S$				
- เชื้อเพลิงเหลว	C_{LS}	฿/y	52,196.00	
$C_{LS} = F_{LS} \times C_L$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	C_{GS}	฿/y	0.00	
$C_{GS} = F_{GS} \times C_G$				
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ระยะเวลาคืนทุน				
- เชื้อเพลิงแข็ง	PB_S	y	0.00	
$PB_S = C_C / C_{SS}$				
- เชื้อเพลิงเหลว	PB_L	y	0.96	
$PB_L = C_C / C_{LS}$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	PB_G	y	0.00	
$PB_G = C_C / C_{GS}$				
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์				
5.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง	F_S	L/y	2,087.84	
5.2 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดลง	C_F	฿ / y	52,196.00	
5.3 ระยะเวลาคืนทุน	PB	y	0.96	

มาตรการที่ 2 การปรับลดความดันไอน้ำที่ผลิตให้เหมาะสม	
1. หลักการและเหตุผล	
โรงงานติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟใช้น้ำมันเตา C เป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 2 ตัน จำนวน 1 ชุด โดยปกติปรับตั้งความดันสูงสุดที่ 9 barg อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำต้องการความดันไอน้ำสูงสุด 6.5 barg ซึ่งความดันไอน้ำที่ผลิตในปัจจุบันสูงกว่าความต้องการของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ โรงงานจึงสามารถลดความดันไอน้ำลงเหลือ 8 barg ซึ่งจะทำให้โรงงานประหยัดเชื้อเพลิงลงได้	
 ความดันไอน้ำที่ปรับตั้งเดิม 9 barg  ความดันไอน้ำที่ปรับตั้งใหม่ 8 barg	
2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์	
2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค	
2.1.1 เพอร์เซ็นต์การสูญเสียความร้อนที่ลดลงจากการต้มน้ำที่ความดันต่ำลง $\%Q_p = [(เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดันก่อนปรับลดความดัน (kJ/kg) - เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดันหลังปรับลดความดัน (kJ/kg)) / เอนทาลปีของไอน้ำก่อนปรับลดความดัน (kJ/kg)] \times \text{ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (\%)}$ 2.1.2 ปริมาณการโบลว์ดาวน์ $m_B = [\text{ค่า TDS น้ำป้อน (PPM)} / (\text{ค่า TDS น้ำในหม้อไอน้ำ (PPM)} - \text{ค่า TDS น้ำป้อน (PPM)})] \times \text{ปริมาณน้ำป้อนที่ใช้เฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมง (kg/h)}$ 2.1.3 พลังงานความร้อนที่ลดลงจากน้ำโบลว์ดาวน์ $Q_B = \text{ปริมาณการโบลว์ดาวน์ (kg/h)} \times (\text{เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดันก่อนปรับลดความดัน (kJ/kg)} - \text{เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดันหลังปรับลดความดัน (kJ/kg)})$	
2.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การลงทุน	
2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y) $PB = \text{ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (B)} / \text{ค่าเชื้อเพลิงที่ลดลง (B/y)}$	
3. การวิเคราะห์ข้อมูล	
ใช้โปรแกรม excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า	



รายการ	ตัวย่อ	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี	h	h/y	4,800	ข้อมูลโรงงาน
1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง				บิลเชื้อเพลิง
- เชื้อเพลิงแข็งที่ใช้ตลอดทั้งปี	m_S	k/y	0	ผู้จำหน่าย
- เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ตลอดทั้งปี	m_L	l/y	480,000.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซที่ใช้ตลอดทั้งปี	m_G	m^3/y	0	
1.3 ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย				
- ราคาเชื้อเพลิงแข็งเฉลี่ย	C_S	฿/kg	0	ตารางไอน้ำ
- ราคาเชื้อเพลิงเหลวเฉลี่ย	C_L	฿/l	14.00	
- ราคาเชื้อเพลิงก๊าซเฉลี่ย	C_G	฿/ m^3	0	
1.4 เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดันก่อนปรับลด	h_g	kJ/kg	2,778.1	ตารางไอน้ำ
1.5 เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดันหลังปรับลด	h_N	kJ/kg	2,774	ตารางไอน้ำ
1.6 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	C	฿	500.00	ผู้ให้บริการ
1.7 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	η_B	%	80.00	ตรวจวัด

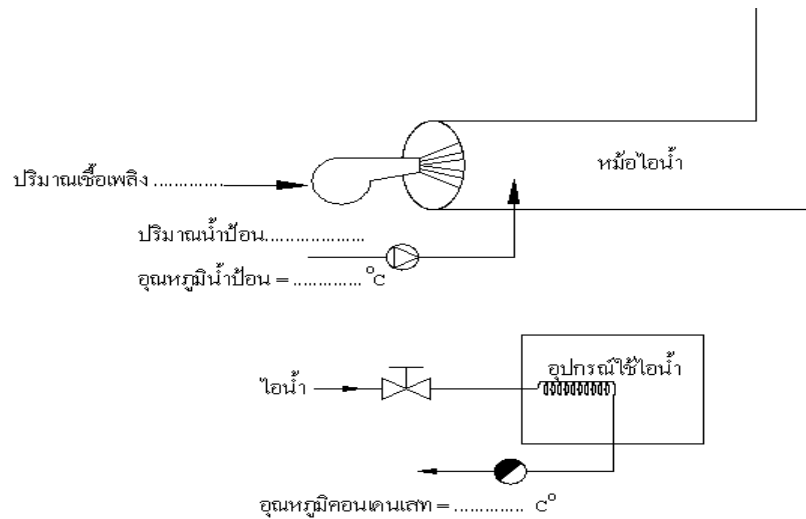
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
1.8 ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง				
- เชื้อเพลิงแข็ง	LHV _S	kJ/kg	0	น้ำมันเตา C
- เชื้อเพลิงเหลว	LHV _L	kJ/l	41,280.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซ	LHV _G	kJ/m ³	0	
1.9 ตัวประกอบการใช้งาน	OF	-	0.80	
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 ความดันสูงสุดก่อนปรับลด (Gage Pressure)	P _g	barg	9.00	
2.2 ความดันสูงสุดหลังปรับลด (Gage Pressure)	P _N	barg	8.00	
2.3 ค่า TDS น้ำป้อน	TDS _F	PPM	400.00	
2.4 ค่า TDS น้ำในหม้อไอน้ำ	TDS _B	PPM	3,000.00	
2.5 ปริมาณน้ำป้อนที่ใช้ใน 1 ชั่วโมงเฉลี่ย	W _F	kg/h	1,200.00	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้เมื่อไม่ ต้องต้มน้ำที่ความดันสูง				
- เปอร์เซ็นต์ของความร้อนที่สูญเสียลดลง	%Q _P	%	0.17	
$\%Q_P = [(h_g - h_N) / h_g]$				
- เชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง				
เชื้อเพลิงแข็ง	Q _{PS}	kg/y	0.00	
$Q_{PS} = [(\%Q_P / 100) \times m_S \times OF] / \eta_B$				
เชื้อเพลิงเหลว	Q _{PL}	L/y	816.00	
$Q_{PL} = [(\%Q_P / 100) \times mL \times OF] / \eta_B$				
เชื้อเพลิงก๊าซ	Q _{PG}	m ³ /y	0.00	
$Q_{PL} = [(\%Q_P / 100) \times mG \times OF] / \eta_B$				

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
- ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้				
เชื้อเพลิงแข็ง	C_{PS}	B/y	0.00	
$C_{PS} = Q_{PS} \times C_S$				
เชื้อเพลิงเหลว	C_{PL}	B/y	11,424.00	
$C_{PL} = Q_{PL} \times C_L$				
เชื้อเพลิงก๊าซ	C_{PG}	B/y	0.00	
$C_{PG} = Q_{PG} \times C_G$				
3.2 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้เมื่อ				
โบลว์ดาวน์ที่ความดันต่ำลง				
- ปริมาณการโบลว์ดาวน์	m_B	kg/h	184.62	
$m_B = [TDS_F / (TDS_B - TDS_F)] \times W_F$				
- พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้	Q_B	kJ/h	886.18	
$Q_B = m_B \times (h_g - h_N)$				
- พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ทั้งปี	Q_{BT}	kJ/y	4,253,664.00	
$Q_{BT} = Q_B \times h$				
- ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้				
เชื้อเพลิงแข็ง	F_{BS}	kg/y	0.00	
$F_{BS} = [Q_{BT} / (LHV_S \times (\eta_B / 100))] \times OF$				
เชื้อเพลิงเหลว	F_{BL}	l/y	103.04	
$F_{BL} = [Q_{BT} / (LHV_L \times (\eta_B / 100))] \times OF$				
เชื้อเพลิงก๊าซ	F_{BG}	m ³ /y	0.00	
$F_{BG} = [Q_{BT} / (LHV_G \times (\eta_B / 100))] \times OF$				
- ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้				
เชื้อเพลิงแข็ง	C_{BS}	B/y	0.00	
$C_{BS} = F_{BS} \times C_S$				
เชื้อเพลิงเหลว	C_{BL}	B/y	1,442.56	
$C_{BL} = F_{BL} \times C_L$				

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
เชื้อเพลิงก๊าซ $C_{BG} = F_{BG} \times C_G$ 3.3 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้จากการสูญเสียความร้อนออกจากผิวหม้อไอน้ำ และระบบส่งจ่ายไอน้ำประมาณ 20% ของความร้อนสูญเสียจากการต้มไอน้ำที่ความดันต่ำลง และจากการโบล์ว์ดาวน์ - ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ เชื้อเพลิงแข็ง $F_{RS} = (Q_{PS} + F_{BS}) \times 0.2$ เชื้อเพลิงเหลว $F_{RL} = (Q_{PL} + F_{BL}) \times 0.2$ เชื้อเพลิงก๊าซ $F_{RG} = (Q_{PG} + F_{BG}) \times 0.2$ - ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ เชื้อเพลิงแข็ง $C_{RS} = (C_{PS} + C_{BS}) \times 0.2$ เชื้อเพลิงเหลว $C_{RL} = (C_{PL} + C_{BL}) \times 0.2$ เชื้อเพลิงก๊าซ $C_{RG} = (C_{PG} + C_{BG}) \times 0.2$ 3.4 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดทั้งสิ้น - เชื้อเพลิงแข็ง $F_{TS} = Q_{PS} + F_{BS} + F_{RS}$ - เชื้อเพลิงเหลว $F_{TL} = Q_{PL} + F_{BL} + F_{RL}$ - เชื้อเพลิงก๊าซ $F_{TG} = Q_{PG} + F_{BG} + F_{RG}$	C_{BG} F_{RS} F_{RL} F_{RG} C_{RS} C_{RL} C_{RG} F_{TS} F_{TL} F_{TG}	B/y kg/y l/y m³/y B/y B/y B/y kg/y l/y m³/y	0.00 0.00 183.81 0.00 0.00 2,573.31 0.00 0.00 1,102.85 0.00	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
3.5 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดไปทั้งสิ้น - เชื้อเพลิงแข็ง $C_{TS} = C_{PS} + C_{BS} + C_{RS}$ - เชื้อเพลิงเหลว $C_{TL} = C_{PL} + C_{BL} + C_{RL}$ - เชื้อเพลิงก๊าซ $C_{TG} = C_{PG} + C_{BG} + C_{RG}$	C_{TS} C_{TL} C_{TG}	B/y B/y B/y	0.00 15,439.87 0.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน 4.1 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C / (CTS \text{ หรือ } CTL \text{ หรือ } CTG)$	PB	y	0.03	
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ 5.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ 5.2 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดลง 5.3 ระยะเวลาคืนทุน	F_T C_T PB	l/y B / y y	1,102.85 15,439.87 0.03	

มาตรการที่ 3 การนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ไอน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	
1. หลักการและเหตุผล โรงงานติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาเกรด C ขนาดพิกัด 1 ตัน จำนวน 1 ชุด โดยปกติโรงงานมีการปล่อยน้ำคอนเดนเสททิ้งดังรูป ทางโรงงานมีแนวคิดที่จะนำน้ำคอนเดนเสทมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่จะป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ซึ่งจะทำให้โรงงานสามารถประหยัดการใช้เชื้อเพลิงลงได้	
	
การปล่อยคอนเดนเสททิ้ง	
2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์	
2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค	
2.1.1 ปริมาณคอนเดนเสทที่นำกลับมาได้โดยให้ Flash ไป 20% (kg/y) $C_R = \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงตลอดทั้งปี} \times \text{สัดส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิง} \times (\text{เปอร์เซ็นต์คอนเดนเสทที่สามารถนำกลับมาได้} / 100) \times 0.8$	
2.1.2 ปริมาณความร้อนในคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ (kJ/y) $Q_C = \text{ปริมาณคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ (kg/y)} \times (\text{เอนทาลปีของน้ำคอนเดนเสทที่อุณหภูมิคอนเดนเสท (kJ/kg)} - \text{เอนทาลปีของน้ำป้อนที่อุณหภูมิไอน้ำป้อน (kJ/kg)})$	
2.1.3 เชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ $F = \text{ปริมาณความร้อนในคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ (kJ/y)} / (\text{ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (\%)} / 100)$	
2.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การลงทุน	
2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y) $PB = \text{เงินลงทุน (\text{฿})} / \text{ค่าใช้จ่ายที่ลดลง (\text{฿/y})}$	
3. การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้โปรแกรม excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า	



รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ชั่วโมงการใช้งานของหม้อไอน้ำ	hr	h/y	4,800	
1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง				
- เชื้อเพลิงแข็งที่ใช้ตลอดทั้งปี	m _S	kg/y	0	
- เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ตลอดทั้งปี	m _L	l/y	200,000.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซที่ใช้ตลอดทั้งปี	m _G	m ³ /y	0	
1.3 ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย				
- ราคาเชื้อเพลิงแข็งเฉลี่ย	C _S	฿/kg	0	
- ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย	C _L	฿/L	14.00	น้ำมันเตา C
- ราคาเชื้อเพลิงก๊าซเฉลี่ย	C _G	฿/m ³	0	
1.4 ราคาน้ำมันค่าปรับสภาพน้ำ	W _C	฿/m ³	20.00	
1.5 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	η _B	%	80.00	

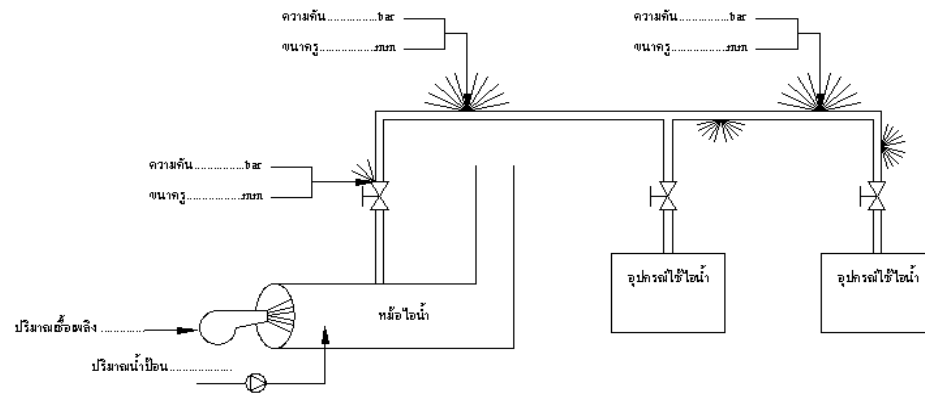
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.6 ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง				
- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง	LHV_S	kJ/kg	0	น้ำมันเตา C
- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหลว	LHV_L	kJ/L	41,280.00	
- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซ	LHV_G	kJ/m ³	0	
1.7 เปอร์เซนต์คอนเดนเสทที่สามารถนำกลับมาได้	C_D	%	10.00	
1.8 เอนทัลปีของน้ำป้อนที่อุณหภูมิน้ำป้อน	h_f	kJ/kg	125.79	h_f ที่ 30°C
1.9 เอนทัลปีของน้ำคอนเดนเสทที่อุณหภูมิคอนเดนเสท	h_c	kJ/kg	376.92	h_f ที่ 90°C
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 สัดส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิง				
- สัดส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงแข็งที่ใช้	R_S	kg/kg	0	
- สัดส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงเหลวที่ใช้	R_L	kg/l	13.00	
- สัดส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงก๊าซที่ใช้	R_G	kg/m ³	0	
2.2 อุณหภูมิน้ำป้อน	T_F	°C	30.00	
2.4 อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท	T_C	°C	90.00	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 ปริมาณคอนเดนเสทที่นำกลับมาได้โดยให้ Flash ไป 20%				
- เชื้อเพลิงแข็ง	C_{RS}	kg/y	0.00	
$C_{RS} = m_S \times R_S \times (C_D/100) \times 0.8$				
- เชื้อเพลิงเหลว	C_{RL}	kg/y	208,000.00	
$C_{RL} = m_L \times R_L \times (C_D/100) \times 0.8$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	C_{RG}	kg/y	0.00	
$C_{RG} = m_G \times R_G \times (C_D/100) \times 0.8$				
3.2 ปริมาณความร้อนในน้ำคอนเดนเสทซึ่งนำกลับมาใช้ได้ทั้งปี				
- เชื้อเพลิงแข็ง	Q_{CS}	kJ/y	0.00	
$Q_{CS} = C_{RS} \times (h_C - h_f)$				

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
- เชื้อเพลิงเหลว $Q_{CL} = C_{RL} \times (h_C - h_P)$	Q_{CL}	kJ/y	52,235,040.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $Q_{CG} = C_{RG} \times (h_C - h_P)$	Q_{CG}	kJ/y	0.00	
3.3 เชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ทั้งปี				
- เชื้อเพลิงแข็ง $F_S = Q_{CS} / [LHV_S \times (\eta_B/100)]$	F_S	kg/y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $F_L = Q_{CL} / [LHV_L \times (\eta_B/100)]$	F_L	L/y	1,581.73	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $F_G = Q_{CG} / [LHV_G \times (\eta_B/100)]$	F_G	m ³ /y	0.00	
3.4 คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้จากเชื้อเพลิง				
- เชื้อเพลิงแข็ง $O_{LS} = F_S \times C_S$	O_{LS}	฿/y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $C_{LL} = F_L \times C_L$	C_{LL}	฿/y	22,144.22	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $C_{LG} = F_G \times C_G$	C_{LG}	฿/y	0.00	
3.5 ปริมาณน้ำที่ประหยัดได้				
- เชื้อเพลิงแข็ง $W_{LS} = (C_{RS} / 1,000)$	W_{LS}	m ³ /y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $W_{LL} = (C_{RL} / 1,000)$	W_{LL}	m ³ /y	208.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $W_{LG} = (C_{RG} / 1,000)$	W_{LG}	m ³ /y	0.00	
3.6 ค่าน้ำที่ประหยัดได้				
- เชื้อเพลิงแข็ง $W_{SS} = W_{LS} \times W_C$	W_{SS}	฿/y	0.00	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
- เชื้อเพลิงเหลว $W_{SL} = W_{LL} \times W_C$ - เชื้อเพลิงก๊าซ $W_{SG} = W_{LG} \times W_C$ 3.7 รวมค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ทั้งสิ้น - เชื้อเพลิงแข็ง $M_S = C_{LS} + W_{SS}$ - เชื้อเพลิงเหลว $M_L = C_{LL} + W_{SL}$ เชื้อเพลิงก๊าซ $M_G = C_{LG} + W_{SG}$	W_{SL} W_{SG} M_S M_L M_G	B/y B/y B/y B/y B/y	4,160.00 0.00 0.00 26,304.22 0.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน 4.1 ท่อคอนเดนเสทรวมฉนวนใยแก้ว - หนา 1 นิ้ว และหุ้ม Jacket ขนาดท่อ 1 นิ้ว ยาว 0 ม. - หนา 1 นิ้ว และหุ้ม Jacket ขนาดท่อ 1 1/2 นิ้ว ยาว 0 ม. - หนา 1 นิ้ว และหุ้ม Jacket ขนาดท่อ 2 นิ้ว ยาว 10 ม. - หนา 1 นิ้ว และหุ้ม Jacket ขนาดท่อ 2 1/2 นิ้ว ยาว 0 ม. - หนา 1 นิ้ว และหุ้ม Jacket ขนาดท่อ 3 นิ้ว ยาว 0 ม. - ความยาวท่อรวม - ค่าแรงในการติดตั้ง 4.2 ค่าแรงในการติดตั้ง $L_C = L_{EN} \times L_R$ 4.3 รวมราคาวัสดุและค่าติดตั้ง $T_C = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + L_C$ 4.4 ระยะเวลาการคืนทุน $PB = T_C / M_L$	P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 L_{EN} L_R L_C L_C PB	B B B B B m B/m B B Y	0 0 20,000.00 0 0 10.00 500.00 5,000.00 25,000.00 0.95	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์				
5.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	F	L/y	1,581.73	
5.2 ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	C	฿/y	22,144.22	
5.3 ปริมาณน้ำที่ประหยัดได้	W_C	m^3/y	208.00	
5.4 ค่าน้ำที่ประหยัดได้	W_S	฿/y	4,160.00	
5.5 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้รวม	C_T	฿/y	26,304.22	
5.6 ระยะเวลาคืนทุน	PB	y	0.95	

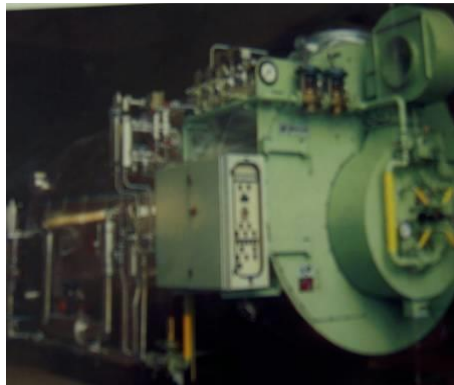
มาตรการที่ 4 การซ่อมแซมรอยรั่วในระบบส่งจ่ายไอน้ำ	
1. หลักการและเหตุผล	
โรงงานติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ใช้น้ำมันเตาเกรด C เป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 5 ตัน จำนวน 1 ชุด จากการสำรวจพบว่ามีไอน้ำรั่วไหลตามข้อต่อ ข้องอ จำนวน 4 จุด การรั่วไหลของไอน้ำส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานความร้อน และปริมาณน้ำ รวมทั้งยังทำให้สภาวะแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะลดการสูญเสียดังกล่าว โดยการซ่อมรื้อของไอน้ำทั้งหมด ซึ่งจะทำให้โรงงานสามารถประหยัดการใช้เชื้อเพลิงลงได้	
 การรั่วของไอน้ำบริเวณต่างๆ  การรั่วของไอน้ำบริเวณต่างๆ	
2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์	
2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค	
2.1.1 อัตราการสูญเสียไอน้ำผ่านรูรั่ว (kg/y) $m_s = [0.2827 (\text{ขนาดรูรั่ว (mm)})^2 \times (\text{ความดันไอน้ำ (kg/cm}^2\text{)} + 1.013)] \times \text{จำนวนรูรั่ว} \times \text{ชั่วโมงการใช้งานตลอดปี (h/y)}$ 2.1.2 ปริมาณความร้อนสูญเสีย (kJ/y) $Q = \text{อัตราการการสูญเสียไอน้ำผ่านรูรั่ว (kg/y)} \times (\text{เอนทัลปีของไอน้ำในท่อ (kJ/kg)} - \text{เอนทัลปีของน้ำป้อน (kJ/kg)})$ 2.1.3 ปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสีย $M_F = \text{ปริมาณความร้อนที่สูญเสีย (kJ/y)} / (\text{ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (\%) / 100})$	
2.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การลงทุน	
2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y) $PB = \text{ค่าใช้จ่ายในการซ่อมรื้อทั้งหมด (฿)} / \text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (฿/y)}$	
3. การวิเคราะห์ข้อมูล	
ใช้โปรแกรม excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า	

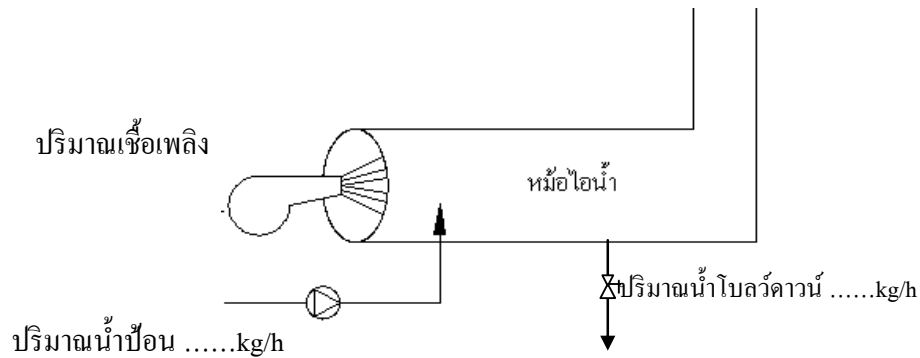


รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ชั่วโมงการใช้งานตลอดปี	h	h/y	2,400	ข้อมูลโรงงาน
1.2 ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย				ผู้จำหน่าย
- ราคาเชื้อเพลิงแข็งเฉลี่ย	C_S	฿/kg	0	
- ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย	C_L	฿/L	14.00	น้ำมันเตา C
- ราคาเชื้อเพลิงก๊าซเฉลี่ย	C_G	฿/m^3	0	
1.3 ค่าน้ำและค่าปรับสภาพน้ำ	C_W	฿/m^3	20.00	บิลน้ำ
1.4 เอนทัลปีของไอน้ำในท่อที่ความดันจุด d_1	h_{g1}	MJ/kg	2.7691	ตารางไอน้ำ
1.5 เอนทัลปีของไอน้ำในท่อที่ความดันจุด d_2	h_{g2}	MJ/kg	2.7691	ตารางไอน้ำ
1.6 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	h_B	%	80.00	ตรวจวัด
1.7 ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง				คุณสมบัติ เชื้อเพลิง
- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง	LHV_S	MJ/kg	0	
- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหลว	LHV_L	MJ/L	41.28	
- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซ	LHV_G	MJ/m^3	0	
1.8 เอนทัลปีของน้ำป้อนที่อุณหภูมิน้ำป้อน	h_f	MJ/kg	0.1258	ตารางน้ำอิ่มตัว
1.9 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมรื้อรวมทั้งหมด	C	฿	500	ผู้ให้บริการ

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 ขนาดรูรั่วที่จุด d_1	d_1	mm	1.00	
2.2 จำนวนรูรั่วที่จุด d_1	n_1	จุด	1	
2.3 ความดันไอน้ำที่จุด d_1	P_1	kg/cm ²	7.00	
2.4 ขนาดรูรั่วที่จุด d_2	d_2	mm	0.50	
2.5 จำนวนรูรั่วที่จุด d_2	n_2	จุด	3	
2.6 ความดันไอน้ำที่จุด d_2	P_2	kg/cm ²	7.00	
2.7 อุณหภูมิของน้ำป้อน	T_F	°C	30.00	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 อัตราการสูญเสียไอน้ำผ่านรูรั่วที่จุด d_1 $m_{S1} = [0.2827(d_1)^2 \times (P_1 + 1.013)] \times n_1 \times h$	m_{S1}	kg/y	5,436.66	
3.2 อัตราการสูญเสียไอน้ำผ่านรูรั่วที่จุด d_2 $m_{S2} = [0.2827(d_2)^2 \times (P_2 + 1.013)] \times n_2 \times h$	m_{S2}	kg/y	4,077.50	
3.3 อัตราการสูญเสียไอน้ำผ่านรูรั่วรวมทั้งสิ้น $m_{ST} = m_{S1} + m_{S2}$	m_{ST}	kg/y	9,514.16	
3.4 ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากการรั่วไหล $Q_T = m_{S1} \times (h_{g1} - h_f) + m_{S2} \times (h_{g2} - h_f)$	Q_T	kJ/y	25,095,594.97	
3.5 ปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสีย - เชื้อเพลิงแข็ง $m_S = Q_T / (LHV_S \times h_B / 100)$	m_S	kg/y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $m_L = Q_T / (LHV_L \times h_B / 100)$	m_L	L/y	759.92	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $m_G = Q_T / (LHV_G \times h_B / 100)$	m_G	m ³ /y	0.00	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
3.6 ค่าใช้จ่ายค่าน้ำและปรับสภาพน้ำที่ประหยัดได้ $S_W = (m_{ST} / 1,000) \times C_W$	S_W	฿/y	190.28	
3.7 คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้จากเชื้อเพลิง - เชื้อเพลิงแข็ง $S_S = m_S \times C_S$	S_S	฿/y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $S_L = m_L \times C_L$	S_L	฿/y	10,638.88	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $S_G = m_G \times C_G$	S_G	฿/y	0.00	
3.8 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ทั้งสิ้น - เชื้อเพลิงแข็ง $S_{TS} = S_W + S_S$	S_{TS}	฿/y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $S_{TL} = S_W + S_L$	S_{TL}	฿/y	10,829.16	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $S_{TG} = S_W + S_G$	S_{TG}	฿/y	0.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C / (S_{TS} \text{ หรือ } S_{TL} \text{ หรือ } S_{TG})$	PB	y	0.05	
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์				
5.1 อัตราการสูญเสียไอน้ำผ่านรูรั่ว m_{ST}	m_{ST}	kg/y	9,514.16	
5.2 ปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสีย m_S, m_L, m_G	m_S, m_L, m_G	L/y	759.92	
5.3 ค่าน้ำที่ประหยัดได้ S_W	S_W	฿/y	190.28	
5.4 ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ S_S, S_L, S_G	S_S, S_L, S_G	฿/y	10,638.88	
5.5 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ทั้งสิ้น S_{TS}, S_{TL}, S_{TG}	S_{TS}, S_{TL}, S_{TG}	฿/y	10,829.16	
5.6 ระยะเวลาคืนทุน PB	PB	y	0.05	

มาตรการที่ 5 การเปลี่ยนหม้อไอน้ำใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม	
1. หลักการและเหตุผล โรงงานติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ใช้น้ำมันเตาเกรด C เป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 5 ตัน จำนวน 1 ชุด ปัจจุบันหม้อไอน้ำมีอายุการใช้งานมาก และมีประสิทธิภาพต่ำ จึงมีแนวคิดที่จะเปลี่ยนหม้อไอน้ำใหม่ โดยใช้หม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าหม้อไอน้ำเดิม มีอัตราการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงที่สูงกว่าเดิม ทำให้โรงงานสามารถประหยัดเชื้อเพลิงลงได้	
 	
หม้อไอน้ำชุดที่ต้องการเปลี่ยน	
2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์	
2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค	
2.1.1 ร้อยละอัตราการส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น $\%R = \frac{(\text{อัตราการส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดใหม่} - \text{อัตราการส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดเดิม})}{\text{อัตราการส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดเดิม}} \times 100$	
2.1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลง $F_s = \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเดิมตลอดทั้งปี} \times (\text{อัตราการส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดเดิม} / \text{อัตราการส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดใหม่})$	
2.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การลงทุน	
2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y) $PB = \text{เงินลงทุนในการเปลี่ยนหม้อไอน้ำ} (\text{฿}) / \text{ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ลดลง} (\text{฿/y})$	
3. การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้โปรแกรม excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า	



อัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิง = (ปริมาณน้ำป้อน - ปริมาณน้ำไอน้ำ) / ปริมาณเชื้อเพลิง

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ขนาดพิกัดหม้อไอน้ำเดิม	TON _Q	T/h	5	
1.2 ขนาดพิกัดหม้อไอน้ำใหม่	TON _N	T/h	5	
1.3 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงตลอดปี				
- เชื้อเพลิงแข็ง	m _{FS}	kg/y	0	
- เชื้อเพลิงเหลว	m _{FL}	L/y	500,000.00	น้ำมันเตา C
- เชื้อเพลิงก๊าซ	m _{FG}	m ³ /y	0	
1.4 อัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดใหม่				
- เชื้อเพลิงแข็ง	R _{NS}	kg / kg fuel	0	
- เชื้อเพลิงเหลว		kg / L fuel	14.00	น้ำมันเตา C
- เชื้อเพลิงก๊าซ	R _{NG}	kg / Nm ³ fuel	0	
1.5 ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย				
เชื้อเพลิงแข็ง	C _S	฿ / kg	0	
เชื้อเพลิงเหลว	C _L	฿ / L	14.00	น้ำมันเตา C
เชื้อเพลิงก๊าซ	C _G	฿ / m ³	0	
1.6 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเปลี่ยนหม้อไอน้ำ	C _C	฿	6,000,000	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 อัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดเดิม				
- เชื้อเพลิงแข็ง	R _{OS}	kg/kg fuel	0	น้ำมันเตา C
- เชื้อเพลิงเหลว	R _{OL}	kg/L fuel	10.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซ	R _{OG}	kg/Nm ³ fuel	0	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 ร้อยละอัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น				
- เชื้อเพลิงแข็ง	% R _S	%	0.00	
%R _S = [(R _{NS} - R _{OS}) / R _{OS}] x 100				
- เชื้อเพลิงเหลว	%R _L	%	40.00	
%R _L = [(R _{NL} - R _{OL}) / R _{OL}] x 100				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	%R _G	%	0.00	
%R _G = [(R _{NG} - R _{OG}) / R _{OG}] x 100				
3.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลง				
- เชื้อเพลิงแข็ง	F _{SS}	kg/y	0.00	
F _{SS} = m _{FS} x (%R _S / 100)				
- เชื้อเพลิงเหลว	F _{SL}	L/y	200,000.00	
F _{SL} = m _{FL} x (%R _L / 100)				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	F _{SG}	m ³ /y	0.00	
F _{SG} = m _{FG} x (%R _G / 100)				

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
3.3 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดลง				
- เชื้อเพลิงแข็ง $C_{FS} = F_{SS} \times C_S$	C_{FS}	฿/y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $C_{FL} = F_{SL} \times C_L$	C_{FL}	฿/y	2,800,000.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $C_{FG} = F_{SG} \times C_G$	C_{FG}	฿/y	0.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ระยะเวลาคืนทุน				
- เชื้อเพลิงแข็ง $PB_S = C_C / C_{FS}$	PB_S	y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $PB_L = C_C / C_{FL}$	PB_L	y	2.14	
- เชื้อเพลิงเหลว $PB_G = C_C / C_{FG}$	PB_G	y	0.00	
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์				
5.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง	F_S	L/y	200,000.00	
5.2 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดลง	C_F	฿ / y	2,800,000.00	
5.3 ระยะเวลาคืนทุน	PB	y	2.14	

2.12 กรณีศึกษาที่ประสบผลสำเร็จ

กรณีศึกษาถือเป็นต้นแบบของมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ประสบผลสำเร็จในการอนุรักษ์พลังงานที่โรงงานสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดผลการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นรูปธรรมต่อไป

กรณีศึกษาที่ 1: การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้	
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน	
สถานประกอบการติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 1 ตันไอน้ำ จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด ผลิตไอน้ำที่ความดัน 6.5 บาร์ เพื่อใช้ในการ ชัก ริด และทำน้ำร้อนจ่ายให้กับห้องพักจำนวน 460 ห้อง โดยมีการเปิดใช้งาน 5,293 ชั่วโมง/ปี	
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง	
โดยทั่วไปการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียของหม้อไอน้ำจะมีปริมาณมากที่สุดประมาณร้อยละ 10-30 ซึ่งขึ้นอยู่กับ การปรับตั้งอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่เข้าเผาไหม้และประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้กับน้ำที่ต้องการต้มให้กลายเป็นไอน้ำ ปกติสถานประกอบการทำการปรับอัตราส่วนผสมโดยสังเกตจากเปลวไฟและสีของควันไฟที่ออกจากปล่อง ส่งผลให้ต้องใช้อากาศในการเผาไหม้มากเกินความจำเป็น	
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน	
ทำการปรับตั้งส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศใหม่ โดยใช้เครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนส่วนเกินของก๊าซไอเสียที่ออกจากห้องเผาไหม้ ซึ่งเชื้อเพลิงเหลวควรมีค่าไม่เกิน 4% แล้วทำการปรับลดปริมาณอากาศที่เข้าเผาไหม้ เพื่อให้ได้ปริมาณออกซิเจนส่วนเกินไม่เกินเกณฑ์ แล้วนำค่าที่ได้ก่อนและหลังการปรับตั้งไปวิเคราะห์หาปริมาณการสูญเสียความร้อน	
4. สภาพก่อนปรับปรุง	
หม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 36 ลิตร/ชั่วโมง ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง 38.9 MJ/kg จากการตรวจวัดไอเสียพบว่าปริมาณ ออกซิเจน 8.0 % คาร์บอนมอนนอกไซด์ 48 ppm และอุณหภูมิไอเสีย 210.6 °C	
5. สภาพหลังปรับปรุง	
ทำการปรับแตรเปอร์เพื่อลดปริมาณอากาศเข้าไหม้ แล้วทำการวัดไอเสียพบว่า ปริมาณ ออกซิเจน 5.0 % คาร์บอนมอนนอกไซด์ 51 ppm และอุณหภูมิไอเสีย 209.6 °C ส่งผลให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 85.6 % เป็น 89.6 % ค่าใช้จ่ายในการผลิตไอน้ำลดลงจาก 1.56 Baht/kg เป็น 1.43 Baht/kg	

6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค					
ข้อมูล		สัญลักษณ์	หน่วย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ข้อมูลทั่วไป					
ชนิดหม้อไอน้ำ				ท่อไฟ	ท่อไฟ
เส้นผ่านศูนย์กลาง		D	m.	1.7	1.7
ความยาว		L	m.	3.2	3.2
ขนาดพิกัดกำลังผลิตไอน้ำ		Cap	Ton/hr	1.0	1.0
ความดันไอน้ำใช้งาน		P	kg/cm ²	6.5	6.5
เวลาทำงาน		H	hr/y	5,293	5,293
อุณหภูมิแวดล้อมหม้อไอน้ำ		T _r	°C	35	35
เชื้อเพลิง					
ชนิดเชื้อเพลิง				ดีเซล	ดีเซล
อุณหภูมิน้ำมัน		T _F	°C	36.3	36.3
ความหนาแน่นน้ำมัน		ρ _F	kg/L	0.88	0.88
ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง		HHV	MJ/kg	43.1	43.1
ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง		LHV	MJ/kg	39.8	39.8
ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง		C _p	kJ/kg. °C	1.88	1.88
ปริมาณน้ำมันที่ใช้		V _F	Liter/hr	36	33
ราคาเชื้อเพลิง			Baht/Liter	20	20
อุณหภูมิอากาศที่ใช้เผาไหม้		T _a	°C	35	35
น้ำป้อน					
อัตราการป้อนน้ำ		m _w	kg/hr	470	470
อุณหภูมิน้ำป้อน		T _w	°C	68.5	68.5
ก๊าซไอเสีย					
ปริมาณ CO		CO	ppm	48	51
ปริมาณ O ₂		O ₂	%	8.0	5.0
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย		T _{FLUE}	°C	210.6	209.6
โบลว์ดาวน์					
อัตราการโบลว์ดาวน์		m _B	kg/hr	9.4 (2%)	9.4 (2%)
อุณหภูมิน้ำโบลว์ดาวน์		T _B	°C	161	161
การแผ่รังสีความร้อน					
ส.ป.ส การแผ่รังสี		e	-	0.8	0.8
พื้นที่ผิว		A	m ²	21.6	21.6
อุณหภูมิผิว		T _{surf}	°C	48	48
การวิเคราะห์หม้อไอน้ำ					
ความร้อนเข้า					
ความร้อนจากเชื้อเพลิง		Q _C	MJ/hr	1,206.9	1,154.6

	$Q_C = V_F \times \rho_F \times \text{LHV}$				
ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง	$Q_S = V_F \times \rho_F \times C_p \times (T_F - T_r)$	Q_S	MJ/hr	0.08	0.08
ความร้อนสัมผัสของน้ำป้อน	$Q_W = m_W \times C_p \times (T_W - T_r)$	Q_W	MJ/hr	66.1	66.1
ผลรวมความร้อนที่ป้อนเข้า	$Q_{in} = Q_C + Q_S + Q_W$	Q_{in}	MJ/hr	1,273.1	1,220.9
ความร้อนออก					
การสูญเสียความร้อนในก๊าซไอเสีย					
ผลต่างอุณหภูมิไอเสียกับสิ่งแวดล้อม	$DT = (T_{FLUE} - T_r)$	DT	°C (°F)	175 (347)	175 (347)
ปริมาณ CO ₂ ในไอเสีย (รูปที่ 2.6-1 ก)		CO ₂	%	9.6	11.9
ปริมาณอากาศส่วนเกิน (รูปที่ 2.6-2 ก)			%	58	29
ร้อยละการสูญเสียความร้อนทางปล่อง (ค่าจากการเปิดตารางที่ 2.6 และหักด้วย 5 สำหรับกรณีค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง)			% (LHV)	13.9	10.1
ความร้อนสูญเสียของก๊าซไอเสีย		Q_E	MJ/hr	167.8	115.5
การสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์					
เอนทาลปีของน้ำโบลว์ดาวน์		h_B	kJ/kg	684.2	684.2
ความร้อนสูญเสียจากโบลว์ดาวน์	$Q_B = (M_B \times h_B) - (M_B \times C_p \times T_r)$	Q_B	MJ/hr	5.1	5.1
การสูญเสียความร้อนจากผนังหม้อไอน้ำ					
ความร้อนสูญเสียจากผนังหม้อไอน้ำ	$Q_R = Q_{conv} + Q_{rad}$	Q_R	MJ/hr	5.6	5.6
ความร้อนของไอน้ำ	$Q_S = Q_{in} - Q_E - Q_B - Q_R$	Q_S	MJ/hr	1,094.6	1,094.6
รวมความร้อนออก		Q_{out}	MJ/hr	1,273.1	1,220.9
สมรรถนะหม้อไอน้ำ					
ปริมาณไอน้ำที่ผลิต	$m_S = m_W - m_B$	m_S	kg/hr	460.6	460.6
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (ค่าความร้อนต่ำ)	$Eff = Q_S / Q_{in}$	Eff	%	85.6	89.6
ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ			Baht/kg	1.56	1.43

ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง = (ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ก่อน-ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้หลัง) x ชั่วโมงใช้ งานต่อปี	=	(36 - 33) x 5,293	
	=	15,879	ลิตร/ปี
ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	=	15,879 x 20	
	=	317,580	บาท
7. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน			
เงินลงทุน	=	ดำเนินการเอง	บาท
ประหยัดค่าเชื้อเพลิง	=	317,580	บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 2: การลดแรงดันของไอน้ำที่ผลิต														
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน														
สถานประกอบการติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟที่ใช้ไอน้ำเป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 2 ตันไอน้ำ จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด ผลิตไอน้ำที่ความดัน 105 psig เพื่อใช้ในการ ชัก รีด และทำน้ำร้อนจ่ายให้กับห้องพัก จำนวน 400 ห้อง โดยมีการเปิดใช้งาน 17 ชั่วโมง/วัน 365 วัน/ปี ใช้งานประมาณ 70 %														
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง														
อุปกรณ์ใช้ไอน้ำต้องการความดันสูงสุดประมาณ 75 psig ดังนั้นการผลิตไอน้ำที่ความดันสูงกว่าความต้องการมากจะส่งผลให้การสูญเสียความร้อนในด้านต่างๆของหม้อไอน้ำและระบบส่งจ่ายไอน้ำเพิ่มขึ้น และความร้อนแฝงที่ได้จากไอน้ำจะลดต่ำลง														
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน														
ทำการปรับลดความดันในการผลิตไอน้ำจาก 105 psig 172°C เป็น 90 psig 166°C โดยค่อยๆปรับลดลง ครั้งละ 5 psig แล้วสังเกตการณ์ทำงานของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่าง ในกรณีที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับลดความดันไอน้ำก่อนเข้าอุปกรณ์ให้ทำการปรับตั้งค่าใหม่ด้วย														
4. สภาพก่อนปรับปรุง														
หม้อไอน้ำปรับตั้งความดันไอน้ำที่ 105 psig มีอุณหภูมิ 172°C ซึ่งสูงเกินกว่าความต้องการของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำทำให้หม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงเกินความจำเป็น														
5. สภาพหลังปรับปรุง														
ทำการปรับลดความดันในการผลิตไอน้ำจาก 105 psig อุณหภูมิ 172°C เป็น 90 psig อุณหภูมิ 166°C ส่งผลให้ลดการใช้เชื้อเพลิงในส่วน of ความร้อนแฝงที่แตกต่างกันประมาณ 1,221.03 ลิตร/ปี														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>รายการ</th><th>ก่อนปรับปรุง</th><th>หลังปรับปรุง</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ (Psig)</td><td>105</td><td>90</td></tr> <tr> <td>อุณหภูมิไอน้ำ (°C)</td><td>172</td><td>166</td></tr> <tr> <td>เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)</td><td>2770.31</td><td>2,764.72</td></tr> </tbody> </table>			รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ (Psig)	105	90	อุณหภูมิไอน้ำ (°C)	172	166	เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)	2770.31	2,764.72
รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง												
ความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ (Psig)	105	90												
อุณหภูมิไอน้ำ (°C)	172	166												
เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)	2770.31	2,764.72												
6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค														
พลังงานจากไอน้ำที่ลดลง = $(2,770.31 - 2,764.72) \times 2,000 \times 17 \times 365 \times 0.7$ = 48,560,330 kJ/ปี = 48,560.33 MJ/ปี ค่าความร้อนทางต่ำของน้ำมันเตา = 39.77 MJ/ลิตร คิดเป็นปริมาณน้ำมันเตา = $48,560.33 / 39.77$ = 1,221.03 ลิตร/ปี ราคาน้ำมันเตาเฉลี่ย = 16 บาท/ลิตร คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = $1,221.03 \times 16$ = 19,536.48 บาท/ปี														
7. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน														
เงินลงทุน = ค่าเงินการเอง บาท ประหยัดค่าเชื้อเพลิง = 19,536.48 บาท/ปี														

กรณีศึกษาที่ 3: การลดการโบว์ดาวน์			
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน			
สถานประกอบการติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟที่ใช้ น้ำมันเตาเกรดเอเป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 4 ตันไอน้ำ จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด โดยมีการเปิดใช้งาน 20 ชั่วโมง/วัน 365 วัน/ปี มีการโบว์ดาวน์วันละ 2 ครั้ง			
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง			
การโบว์ดาวน์มากเกินไปส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานความร้อนและน้ำรวมทั้งสารเคมีที่เติมในหม้อไอน้ำ โดยทั่วไปหม้อไอน้ำที่มีแรงดันต่ำกว่า 150 psig ค่าความเข้มข้นของสารละลายในหม้อไอน้ำควรอยู่ประมาณ 3,000-3500 ppm ดังนั้นควรปรับลดอัตราการโบว์ดาวน์ให้เหมาะสมโดยดูจากคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำเป็นหลัก			
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน			
จากการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายในหม้อไอน้ำพบว่ามีความเข้มข้นประมาณ 685 ppm จึงทำการปรับลดอัตราการโบว์ดาวน์จากวันละ 2 ครั้งเป็นวันละ 1 ครั้ง ครั้งละ 5 วินาที โดยควบคุมความเข้มข้นของสารละลายในหม้อไอน้ำไม่เกิน 3,500 ppm และทำการตรวจวัดปริมาณน้ำโบว์ดาวน์ที่ลดลง เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน			
4. สภาพก่อนปรับปรุง			
ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายในน้ำของหม้อไอน้ำอยู่ที่ 685 ppm ขณะที่มีการโบว์ดาวน์วันละ 2 ครั้ง อุณหภูมิไอน้ำอยู่ที่ 95°C น้ำประปาที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำมีการรั่วไหลประมาณ 1,680 ลิตร/ชั่วโมง หรือ 14,716.80 ลบ.ม./ปี			
5. สภาพหลังปรับปรุง			
ทำการลดอัตราการโบว์ดาวน์เป็น 1 ครั้ง/วัน ครั้งละไม่เกิน 5 นาที พบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายในหม้อไอน้ำไม่เกิน 3,500 ppm ส่งผลให้ลดการสูญเสียไอน้ำได้ประมาณ 360 ลิตร/ชั่วโมง หรือ 3,153.6 ลบ.ม./ปี และทำการเปลี่ยนวาล์วควบคุมน้ำประปาที่ชำรุดขนาด 1.5 นิ้ว จำนวน 4 ชุด ทำให้ลดการสูญเสียไอน้ำประมาณ 1,680 ลิตร/ชั่วโมง หรือ 14,716.80 ลบ.ม./ปี			
6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค			
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเฉลี่ย	=	84.52	%
ชั่วโมงการใช้งาน	=	7,300	ชั่วโมง/ปี
อุณหภูมิไอน้ำป้อน	=	95.0	°C
อัตราการโบว์ดาวน์	=	360	ลิตร/ชั่วโมง
อัตราการไหลของน้ำประปาที่รั่วจากวาล์ว	=	1,680	ลิตร/ชั่วโมง
ค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเตาเกรดเอ	=	39.77	MJ/ลิตร
ค่าน้ำเฉลี่ย	=	17.11	บาท/ลิตร
ค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ย	=	14.31	บาท/ลิตร
น้ำร้อน	=	อัตราการไหลของน้ำรั่ว × ชั่วโมงใช้งาน	
	=	(360 × 7,300) / 1,000	
	=	2,628	m ³ /y
น้ำประปา	=	อัตราการไหลของน้ำรั่ว × ชั่วโมงใช้งาน	
	=	(1,680 × 7,300) / 1,000	

	=	12,264	m ³ /y
ค่าน้ำประปาสูญเสีย	=	(2,628 + 12,264) × 17.11	
	=	254,802.12	บาท/ปี
ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำที่รั่ว (น้ำร้อน)			
เมื่อ	$Q_w = F_w \times D_w \times C_p \times (T_w - T_{wo})$		
	$F_w =$	อัตราการไหลของน้ำที่รั่ว (L/h)	
	$D_w =$	ค่าความหนาแน่นของน้ำ	
	$C_p =$	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	
	$T_w =$	อุณหภูมิน้ำรั่ว	
	$T_{wo} =$	อุณหภูมิน้ำปกติที่สภาวะมาตรฐาน	
	$Q_w =$	$F_w \times D_w \times C_p \times (T_w - T_{wo})$	
	=	$360 \times 1 \times 4.187 \times (95 - 25) / 1,000$	
	=	105.51	MJ/h
คิดเป็นน้ำมันเตาเกรดเอ	=	$(Q_w / LHV) / \eta$	
	=	$(105.51 / 39.77) / 0.8452$	
	=	3.29	ลิตร/ชั่วโมง
	=	$3.29 \times 7,300$	
	=	24,017	ลิตร/ปี
ค่าเชื้อเพลิง	=	$24,017 \times 14.31$	
	=	343,683.27	บาท/ปี
ผลประหยัดรวม	=	ค่าน้ำ + ค่าเชื้อเพลิง	
	=	$254,802.12 + 343,683.27$	
	=	598,485.39	บาท/ปี
7. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน			
เงินลงทุนวาล์ว 1.5 นิ้ว 4 ชุด	=	91,440	บาท
ประหยัดค่าใช้จ่าย	=	598,485.39	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	$91,440 / 598,485.39$	
	=	0.15	ปี

กรณีศึกษาที่ 4: การนำน้ำคอนเดนเสทปล่อยทิ้งกลับมาใช้งาน**1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน**

สถานประกอบการมีการใช้ไอน้ำกระบวนการ Paint Shop โดยไม่การนำคอนเดนเสทซึ่งเป็นน้ำร้อนที่สะอาดมากกลับมาใช้ประโยชน์

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

น้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ และคุณภาพไม่ดีส่งผลให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำลดลง อีกทั้งหม้อไอน้ำผลิตไอน้ำได้ช้าและต้องปล่อยน้ำกันหม้อไอน้ำทิ้งมาก

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการตรวจวัดปริมาณและอุณหภูมิคอนเดนเสทที่ปล่อยทิ้งและน้ำป้อนก่อนและหลังทำการปรับปรุงเพื่อนำมาวิเคราะห์หาผลการประหยัดพลังงาน รวมทั้งติดตั้งท่อนำคอนเดนเสทกลับและถังรวมคอนเดนเสทก่อนส่งเข้ายังถังน้ำป้อน

4. สภาพก่อนปรับปรุง

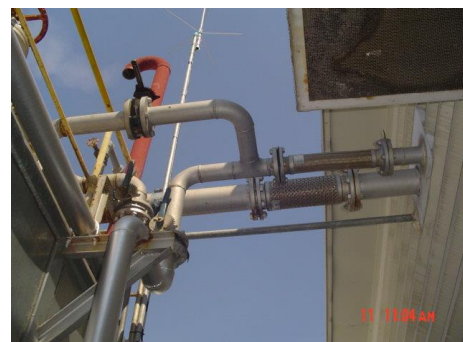
ปริมาณน้ำคอนเดนเสทเฉลี่ย 21,883 กิโลกรัม/วัน อุณหภูมิ 90 °C คิดเป็นปริมาณความร้อน 5,488 MJ/วัน



รูปที่ 2.12-1 แสดงการวัดปริมาณน้ำคอนเดนเสท

5. สภาพหลังปรับปรุง

ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่นำกลับเฉลี่ย 18,133 กิโลกรัม/วัน อุณหภูมิ 83.3 °C คิดเป็นปริมาณความร้อน 4,133 MJ/วัน ส่งผลให้สามารถประหยัดเชื้อเพลิง LPG ได้ 24,818 kg/ปี และสามารถประหยัดได้ 371,773.64 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 0.32 ปี



ตำแหน่งเชื่อมต่อท่อน้ำคอนเดนเสทเดิม

ท่อน้ำคอนเดนเสทเข้าถึงน้ำป้อน

รูปที่ 2.12-2 แสดงต่อท่อน้ำคอนเดนเสทเข้าถึงน้ำป้อน หลังปรับปรุง

ตารางที่ 2.12-1 แสดงผลการตรวจวัดปริมาณน้ำคอนเดนเสท
อุณหภูมิของน้ำคอนเดนเสท อุณหภูมิ และปริมาณน้ำเติมหลังปรับปรุง

Date	Soft Water (kg/day)	Condensate (m) (kg/day)	Temp		ปริมาณความร้อนที่นำ กลับมาได้ $Q = m C_p \Delta T$ (MJ/day)
			Condensate (°C)	Soft Water (°C)	
15-Jan-06	55,930	21,570	84.0	28.2	5,027
16-Jan-06	47,930	20,150	80.3	28.5	4,360
17-Jan-06	40,930	19,870	86.1	29.9	4,668
18-Jan-06	33,930	16,170	83.6	28.8	3,699
19-Jan-06	38,930	11,870	84.8	28.6	2,785
20-Jan-06	27,930	19,170	81.2	28.1	4,260
Avg/day	40,930	18,133	83.3	28.7	4,133

6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

รายการ	สัญลักษณ์	สูตร	ค่า	หน่วย
พลังงานความร้อนที่สูญเสีย				
Post Retrofit	P		4,133	MJ/วัน
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง LPG	LHV		50.22	MJ/kg
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	%		82.24%	
การคำนวณ				
วันทำงาน	D		248	วัน/ปี
เชื้อเพลิงที่ประหยัดต่อปี	F	$(P \times D) / (LHV \times \%)$	24,818	kg/ปี
ราคาเชื้อเพลิง	E		14.98	บาท
จำนวนเงินที่ประหยัดได้	C	$(F \times D)$	371,773.64	บาท/ปี

7. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

เงินลงทุน	=	118,770.00	บาท
ผลประโยชน์ที่ได้	=	371,773.64	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	118,770.00 / 371,773.64	
	=	0.32	ปี

กรณีศึกษาที่ 5 : การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการผลิตไฟฟ้าจำหน่าย โดยใช้ แกลบ , เปลือกไม้ และ ไม้ซิป เป็นเชื้อเพลิง โดยทางโรงงานทำการผลิตไฟฟ้า 24 ชั่วโมง/วัน, 350 วัน/ปี



รูป 2.12-3 หม้อไอน้ำของทางโรงงาน



รูปที่ 2.12-4 เชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับหม้อไอน้ำเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจพบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเทียบกับการผลิตไฟฟ้าของทางโรงงานมีค่าเท่ากับ 19.03 MJ/kWh อัตราการผลิตไฟฟ้าของโรงงานเฉลี่ยเท่ากับ 203,660 kWh/day ในการป้อนเชื้อเพลิงเมื่อคิดจากค่าความร้อนแกลบเท่ากับ 13,918 kJ/kg และค่าความร้อนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เท่ากับ 6,845 kJ/kg เมื่อคิดเป็นสัดส่วนการใช้พบว่าในการผลิตไฟฟ้าจะใช้ค่าความร้อนจากแกลบ 80% และใช้ค่าความร้อนจากเปลือกยูคาลิปตัส 20% เมื่อมาพิจารณาค่าการใช้เชื้อเพลิงเทียบกับการผลิตไฟฟ้าของทางโรงงานที่ 19.03 MJ/kWh พบว่ามีค่าค่อนข้างสูงเนื่อง เนื่องจากมีรอยรั่วที่หม้อไอน้ำ และมีตะกรันจับที่ บริเวณท่อของหม้อไอน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของหม้อไอน้ำตกลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าด้วย ซึ่งผลที่ตามมาคือการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำก็จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้ทางโรงงานสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์



รูปที่ 2.12-5 ตะแกรงที่จับที่ท่อไอน้ำก่อนทำความสะอาด



รูปที่ 2.12-6 รอยรั่วของหม้อไอน้ำก่อนปรับปรุง

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการปรับปรุงโดยการทำความสะอาดหม้อไอน้ำเพื่อกำจัดตะกรัน และทำการซ่อมรอยรั่วของหม้อไอน้ำ โดยมอบหมายให้แผนกซ่อมบำรุงเป็นผู้รับผิดชอบ และกำหนดการซ่อมบำรุงหม้อไอน้ำเป็นแผนของบริษัทโดยกำหนดให้มีการซ่อมบำรุงทุกๆ 3 เดือน



รูปที่ 2.12-7 ขณะทำการซ่อมบำรุงหม้อไอน้ำ

4. สภาพหลังปรับปรุง

หลังปรับปรุงพบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเทียบกับการผลิตไฟฟ้าของทางโรงงานมีค่าเท่ากับ 18.46 MJ/kWh

ซึ่งเมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุงพบว่ามีค่าลดลง $\left(\frac{19.03 - 18.46}{19.03} \right) \times 100 = 2.995\%$

โดยคิดเป็นพลังงานความร้อนที่สามารถลดลงได้ 35,457,650.28 MJ/y



รูปที่ 2.12-8 ท่อไอน้ำหลังทำความสะอาด



รูปที่ 2.12-9 หม้อไอน้ำหลังทำการซ่อมรอยรั่ว

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

จากการตรวจวัดข้อมูลของระบบหม้อไอน้ำได้ข้อมูลต่างๆดังนี้

ค่าความร้อนของแกลบ(LHV)	=	13,918 kJ/kg
ค่าความร้อนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (LHV)	=	6,845 kJ/kg
สัดส่วนการใช้พบว่าในการผลิตไฟฟ้าจะใช้ค่าความร้อนจากแกลบ 80% และใช้ค่าความร้อนจากเปลือกยูคาลิปตัส 20 %		
ปริมาณไฟฟ้าที่โรงงานสามารถผลิตได้ทั้งปี	=	62,206,404 kWh/ปี
ราคาแกลบเฉลี่ย	=	1.03867 บาท/kg
ราคาเปลือกยูคาลิปตัสเฉลี่ย	=	0.41267 บาท/kg

ก่อนปรับปรุง

มีค่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเทียบกับการผลิตไฟฟ้าของทางโรงงานมีค่าเท่ากับ 19.03 MJ/kWh

หลังปรับปรุง

มีค่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเทียบกับการผลิตไฟฟ้าของทางโรงงานมีค่าเท่ากับ 18.46 MJ/kWh
คิดเป็นพลังงานความร้อนที่สามารถประหยัดได้

	=	(19.03-18.46) × 62,206,404	MJ/ปี
	=	35,457,650.28	MJ/ปี
เทียบเท่าต้นน้ำมันดิบ	=	35,457,650.28/39.77 × 941.24 × 10 ⁻⁹	
	=	0.8391	ktoe/year

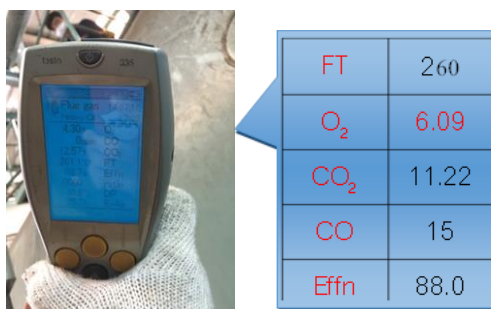
คิดเป็นจำนวนแกลบที่ประหยัดได้	=	35,457,650.28×0.8/13.918	kg/ปี
	=	2,038,088.822	kg/ปี
คิดเป็นมูลค่าแกลบที่สามารถประหยัดได้	=	2,038,088.822×1.03867	บาท/ปี
	=	2,116,901.717	บาท/ปี
คิดเป็นจำนวนเปลือกยูคาลิปตัสที่ประหยัดได้	=	35,457,650.28×0.2/6.845	kg/ปี
	=	1,036,016.078	kg/ปี

คิดเป็นมูลค่าเปลือกยวคาลิปตัสที่สามารถประหยัดได้			
	=	1,036,016.078x0.41267	บาท/ปี
	=	427,532.755	บาท/ปี
คิดเป็นผลประหยัดรวม	=	2,116,901.717 + 427,532.755	บาท/ปี
	=	2,544,434.472	บาท/ปี
6. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน			
เงินลงทุน	=	198,100	บาท
ผลการประหยัด	=	2,544,434.47	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	198,100/2,544,434.47	ปี
	=	0.077	ปี

กรณีศึกษาที่ 6 : การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการได้มีการเดินหม้อไอน้ำขนาด 6.3 ตัน/ชั่วโมง ครั้งละ 1 ชุด โดยเดินช่วง Medium เป็นส่วนใหญ่ จากการตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Flue gas Analyzer) ในช่วง Medium พบว่า Boiler ชุดที่ 1 มีค่าออกซิเจน (O_2) เกินกว่าค่ามาตรฐานอยู่ที่ 6.09% (ค่ามาตรฐานปริมาณออกซิเจน (O_2) ของเชื้อเพลิงเหลวไม่เกิน 4%) ส่งผลให้เกิดความร้อนสูญเสียจากปล่องสูง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก



รูปที่ 2.12-10 การตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ก่อนการปรับปรุง

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

การนำอากาศเข้าเผาไหม้มากเกินไปจนส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงและการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียสูงขึ้น

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F Ratio) ในช่วง Medium แล้วใช้เครื่องมือตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้ เพื่อควบคุม ออกซิเจน (O_2) ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในช่วงที่เดิน Medium Fire



รูปที่ 2.12-11 ทำการปรับตั้งอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

4. สภาพหลังปรับปรุง

ค่าออกซิเจน (O_2) ส่วนเกินของหม้อไอน้ำลดต่ำลงจากเดิมเข้าใกล้เกณฑ์มาตรฐานอยู่ที่ 4.30 % ค่า CO_2 เพิ่มมากขึ้น และประสิทธิภาพในระบบการเผาไหม้สูงขึ้น



FT	255
O ₂	4.30
CO ₂	12.57
CO	19
Effn	89

รูปที่ 2.12-12 การตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้หลังปรับปรุง

6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

หม้อไอน้ำใช้น้ำมันเตา A เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ มีค่าความร้อนต่ำ 9,500 kcal/kg ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงเหลว 0.94 kg/L มีการเปิดใช้งานตลอดทั้งปี 5,891 h/y มีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 254 L/h และราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย 11.50 B/L จากการตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ ในช่วง Medium Fire

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล เตา 1	แหล่งที่มา ของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี	h	h/y	5,891	
1.2 ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง				
- เชื้อเพลิงเหลว	LHV _L	kcal/kg	9,500.00	น้ำมันเตา A
1.3 ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อหน่วย				
- เชื้อเพลิงเหลว	C _L	฿/L	11.50	น้ำมันเตา A
1.4 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง				
- เชื้อเพลิงเหลว	D _L	kg/L	0.94	
1.5 ตัวประกอบการใช้งาน	OF		1.00	
1.6 ค่าความจุความร้อนของก๊าซไอเสีย	C _{Pg}	kcal/Nm ³ °C	0.33	
(ที่ 200 °C = 0.33 , ที่ 400 °C = 0.34)				
1.7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้	h _C	%	88	
1.8 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	h _F	%	82	
1.9 อัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย				
- เชื้อเพลิงเหลว	m _{FL}	L/h	254	
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 อุณหภูมิไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ ก่อนปรับ	T _{gO}	°C	260.00	
2.2 อุณหภูมิอากาศเข้าห้องเผาไหม้ก่อนปรับส่วนผสม	T _{aO}	°C	35.00	
2.3 อุณหภูมิไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ หลังปรับ	T _{gN}	°C	255.00	
2.4 อุณหภูมิอากาศเข้าห้องเผาไหม้หลังปรับส่วนผสม	T _{aN}	°C	35.00	
2.5 ปริมาณออกซิเจนออกจากห้องเผาไหม้ ก่อนปรับ	O _{2O}	%	6.09	
2.6 ปริมาณออกซิเจนออกจากห้องเผาไหม้ หลังปรับ	O _{2N}	%	4.30	

3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค การสูญเสียความร้อนก่อนปรับส่วนผสม				
3.1 อัตราส่วนอากาศเดิม $M = 21/(21 - O_{2o})$	M	-	1.41	
3.2 ปริมาณอากาศทางทฤษฎีก่อนปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $A_{OL} = (0.85 \times LHV_L / 1,000)$	A_{OL}	Nm^3/kg	8.08	
3.3 ปริมาณอากาศใช้จริงก่อนปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $A_L = A_{OL} \times M$	A_L	Nm^3/kg	11.39	
3.4 ปริมาณก๊าซเสียทางทฤษฎีก่อนปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $O_{OL} = (1.11 \times LHV_L / 1,000)$	O_{OL}	Nm^3/kg	10.55	
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
3.5 ปริมาณก๊าซเสียจริงก่อนปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $O_L = O_{OL} + (M-1) \times A_{OL}$	O_L	Nm^3/kg	13.86	
3.6 พลังงานความร้อนที่สูญเสียก่อนปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $Q_{EL} = m_{fL} \times D_L \times O_L \times C_{Pg} \times (T_{go} - T_{ao}) \times h \times OF \times h_C / 100$	Q_{EL}	kcal/y	1,269,845,948.45	5315575.14
การสูญเสียความร้อนหลังปรับส่วนผสม				
3.7 อัตราส่วนอากาศหลังปรับส่วนผสม $M_N = 21/(21 - O_{2N})$	M_N	-	1.26	
3.8 ปริมาณอากาศทางทฤษฎีหลังปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $A_{OLN} = (0.85 \times LHV_L / 1,000)$	A_{OLN}	Nm^3/kg	8.08	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
3.9 ปริมาณอากาศที่ใช้จริงหลังปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $A_{LN} = A_{OLN} \times M$	A_{LN}	Nm^3/kg	10.18	
3.10 ปริมาณก๊าซเสียทางทฤษฎีหลังปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $O_{OLN} = (1.11 \times LHV_L / 1,000)$	O_{OLN}	Nm^3/kg	10.55	
3.11 ปริมาณก๊าซเสียจริงหลังปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $O_{LN} = O_{OLN} + (M-1) \times A_{OLN}$	O_{LN}	Nm^3/kg	12.65	
3.12 พลังงานความร้อนสูญเสียหลังปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $Q_{ELN} = m_{fL} \times O_{LN} \times C_{Pg} \times (T_{gN} - T_{aN}) \times h \times$ $OF \times h_C / 100$	Q_{ELN}	kcal/y	1,133,231,128.59	4743705.504
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
3.13 พลังงานความร้อนสูญเสียลดลง - เชื้อเพลิงเหลว $Q_{LS} = Q_{EL} - Q_{ELN}$	Q_{LS}	kcal/y	136,614,819.86	571869.6359
3.14 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ - เชื้อเพลิงเหลว $F_{LS} = Q_{LS} / (LHV_L \times D_L \times h_F / 100)$	F_{LS}	L/y	18,737.19	
3.15 ค่าเชื้อเพลิงลดลง - เชื้อเพลิงเหลว $C_{LS} = F_{LS} \times C_L$	C_{LS}	฿/y	215,477.69	
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
4. การวิเคราะห์การลงทุน 4.1 ระยะเวลาคืนทุน - เชื้อเพลิงเหลว $PB_L = C_C / C_{LS}$	PB_L	y	0.00	
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ 5.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง 5.2 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดลง 5.3 ระยะเวลาคืนทุน	F_S C_F PB	L/y ฿ / y y	18,737.19 215,477.69 0.00	ลดลงรวม 18,737.19 215,477.69 0.00

กรณีศึกษาที่ 7 : การเลือกใช้งานหม้อไอน้ำชุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นหลัก																										
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน																										
สถานประกอบการประเภท ฟอกย้อม ทำการผลิตหนังสำเร็จรูปใช้งานระบบไอน้ำในกระบวนการผลิต โดยติดตั้งหม้อไอน้ำที่ใช้ น้ำมันเตาเกรด C No. 1 ขนาด 4.5 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 1 ชุด และ No.2 ขนาด 5 ตันต่อชั่วโมงจำนวน 1 ชุด สลับกันเดินโดยใช้งานเปิด 24 ชั่วโมงต่อวัน ครั้งละ 1 ชุด ซึ่งทำการตั้งแรงดันไอน้ำผลิตที่ 7 บาร์ เพื่อส่งเข้าไปยังกระบวนการผลิต ชุดที่ 2 มีสัดส่วนการใช้น้ำต่อเชื้อเพลิงสูงสุด ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จํานํามาใช้งานเป็นหลัก																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>หม้อไอน้ำ</th><th>No.1</th><th>No.2</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ขนาดพิกัด (kg)</td><td>4,500</td><td>5,000</td></tr> <tr> <td>การใช้เชื้อเพลิง (ลิตร/ชม.)</td><td>253.63</td><td>233.35</td></tr> <tr> <td>การใช้น้ำ (ลิตร/ชม.)</td><td>3,256.80</td><td>3,701.38</td></tr> <tr> <td>การผลิตไอน้ำ / เชื้อเพลิง</td><td>12.84</td><td>15.86</td></tr> <tr> <td>การใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 9 เดือน (ลิตร)</td><td>66,959.15</td><td>56,003.60</td></tr> <tr> <td>การใช้น้ำ เฉลี่ย 9 เดือน (ลิตร)</td><td>859,795.56</td><td>888,331.11</td></tr> <tr> <td>ลำดับประสิทธิภาพ</td><td>2</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>			หม้อไอน้ำ	No.1	No.2	ขนาดพิกัด (kg)	4,500	5,000	การใช้เชื้อเพลิง (ลิตร/ชม.)	253.63	233.35	การใช้น้ำ (ลิตร/ชม.)	3,256.80	3,701.38	การผลิตไอน้ำ / เชื้อเพลิง	12.84	15.86	การใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 9 เดือน (ลิตร)	66,959.15	56,003.60	การใช้น้ำ เฉลี่ย 9 เดือน (ลิตร)	859,795.56	888,331.11	ลำดับประสิทธิภาพ	2	1
หม้อไอน้ำ	No.1	No.2																								
ขนาดพิกัด (kg)	4,500	5,000																								
การใช้เชื้อเพลิง (ลิตร/ชม.)	253.63	233.35																								
การใช้น้ำ (ลิตร/ชม.)	3,256.80	3,701.38																								
การผลิตไอน้ำ / เชื้อเพลิง	12.84	15.86																								
การใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 9 เดือน (ลิตร)	66,959.15	56,003.60																								
การใช้น้ำ เฉลี่ย 9 เดือน (ลิตร)	859,795.56	888,331.11																								
ลำดับประสิทธิภาพ	2	1																								
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง																										
หม้อไอน้ำ No.2 ขนาด 5,000 kg มีประสิทธิภาพสูงกว่าหม้อไอน้ำ No.1 ดังนั้นจึงเปลี่ยนวิธีการใช้งานจากการเดินสลับกันไปมาเป็นการใช้งาน No.2 เป็นหลัก																										
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน																										
เปลี่ยนวิธีการใช้งานจากการใช้งานสลับกันไปมา เป็นการใช้งาน No.2 เป็นหลัก เดือนละ 3 สัปดาห์ วันละ 24 ชั่วโมง ซึ่งอัตราการการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นจาก 14.22 เป็น 15.86																										

4. สภาพหลังปรับปรุง

ใช้งาน No.2 เป็นหลักเดือนละ 3 สัปดาห์ ส่งผลให้การใช้เชื้อเพลิงลดลงปีละประมาณ 87,505.92 ลิตร/ปี



รูปที่ 2.12-13 หม้อไอน้ำขนาด 4.5 ตัน



รูปที่ 2.12-14 หม้อไอน้ำขนาด 4.5 ตัน

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

ข้อมูลจาก Log Sheet รายเดือน พบว่ามีการใช้น้ำในหม้อไอน้ำเฉลี่ย 1,748,126.67 ลิตร/เดือน หรือ 83,244.13 ลิตร/วัน และใช้เชื้อเพลิงรวม 122,962.75 ลิตร/เดือน สัดส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงเฉลี่ย 14.22 และหม้อไอน้ำ No.2 มีการใช้น้ำรวม 888,331.11 ลิตร และใช้เชื้อเพลิงรวม 56,003.60 ลิตร สัดส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงเฉลี่ย 15.86 ใช้งาน No.2 เป็นหลัก เดือนละ 5 สัปดาห์ ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย 19.46 บาทต่อลิตร

สัดส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงสูงขึ้น	=	15.86 – 14.22	
	=	1.64	ลิตรน้ำต่อลิตรเชื้อเพลิง
สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงต่อการผลิตไอน้ำลดลง	=	0.0703 – 0.0630	
	=	0.0073	ลิตรเชื้อเพลิงต่อลิตรน้ำ
คิดเป็นต่อเชื้อเพลิงที่ลดลงต่อวัน	=	0.0073 × 83,244.13	
	=	607.68	ลิตรเชื้อเพลิงต่อวัน
คิดเป็นต่อเชื้อเพลิงที่ลดลงต่อปี	=	607.68 × 15 × 12 × 0.8	
	=	87,505.92	ลิตรต่อปี
ค่าเชื้อเพลิงที่ลดลงต่อปี	=	87,505.92 × 18.71	
	=	1,637,235.76	บาทต่อปี

กรณีศึกษาที่ 8: การใช้ความร้อนและน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

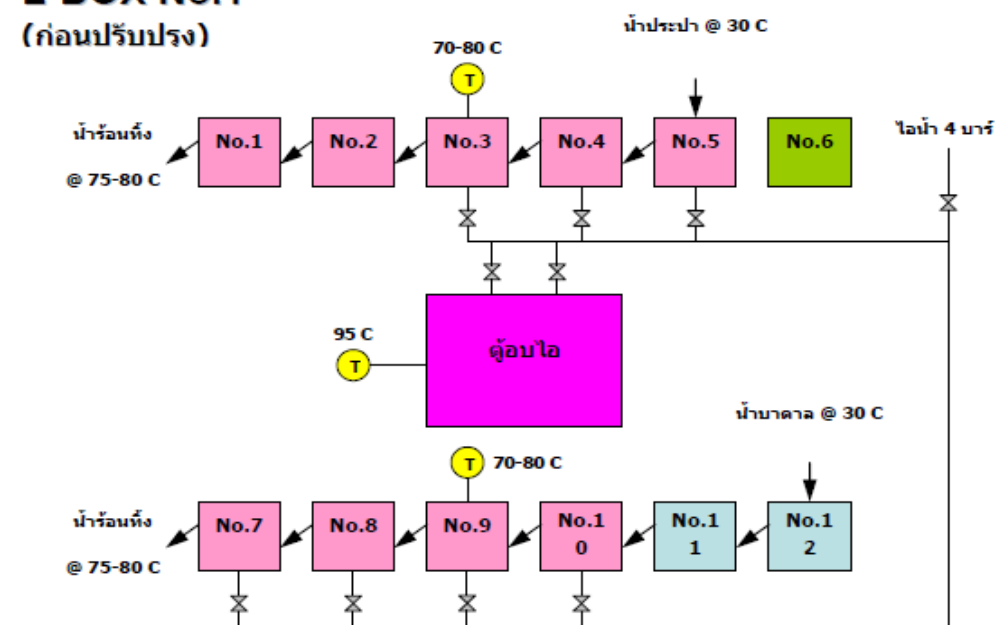
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในกระบวนการซักผ้าขาวมีการใช้งานเครื่อง L-Box จำนวน 2 ชุด (No.1 และ No.2) ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังรูป และจากรูปสามารถอธิบายการใช้และการสูญเสียพลังงานได้ดังนี้

- 1) บ่อที่ 3-5 เป็นบ่อน้ำร้อน (อุณหภูมิที่ต้องการประมาณ 70°C - 80°C) ที่ได้จากการนำน้ำประปาที่อุณหภูมิ 30°C มาจ่ายเข้าในบ่อที่ 5 และปล่อยให้น้ำล้นผ่านไปยังบ่อที่ 4-3-2-1 ตามลำดับ โดยในบ่อที่ 3-5 จะมีการจ่ายไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 4 บาร์เกจ (ควบคุมโดย Ball Valve แบบ Manual Control) ลงไปผสมกับน้ำในบ่อโดยตรง และเมื่อน้ำร้อนได้ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผ้าขาวในกระบวนการผลิตแล้วบางส่วนก็จะถูกปล่อยทิ้งออกทางท้ายบ่อที่ 1 ด้วยระบบน้ำล้น ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและพลังงานความร้อน
- 2) บ่อที่ 1-2 เป็นบ่อน้ำเย็น และบ่อที่ 6 เป็นบ่อเคมี เป็นส่วนที่ไม่มีการใช้พลังงานความร้อน
- 3) ตู้อบไอน้ำ เป็นส่วนที่ใช้ไอน้ำพ่นลงบนเนื้อผ้าโดยตรง ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ไว้ไม่เกิน 95°C โดยใช้ Ball Valve ที่เปิด-ปิดการจ่ายไอน้ำตามอุณหภูมิที่แสดงไว้ที่หน้าตู้แบบ Manual Control

L-BOX No.1

(ก่อนปรับปรุง)



รูปที่ 2.12-15 เครื่อง L-Box (กระบวนการซักผ้าขาว)

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

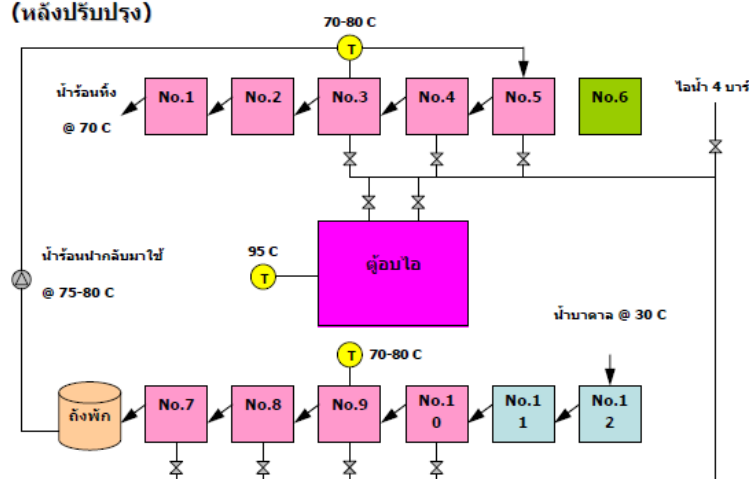
จากข้อ 1) – 4) ในข้างต้นจะเห็นได้ว่าการสูญเสียพลังงานความร้อนและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในส่วนของน้ำร้อนที่ล้นทิ้งตลอดเวลา (บ่อที่ 1 และ 7) เนื่องจากมีปริมาณที่มากในแต่ละวันและต้องใช้ความร้อนจากไอน้ำโดยตรงในการรักษาอุณหภูมิขณะใช้งาน ประกอบกับเรื่องของค่าใช้จ่ายทางด้านเคมีที่ใช้ควบคุมคุณภาพของน้ำด้วย

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทางฝ่ายผลิตได้ประสานงานกับทางฝ่ายวิศวกรรมในการปรับปรุงอุปกรณ์ดังกล่าวให้สามารถนำน้ำทิ้งและพลังงานความร้อนที่สูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด (ดังรูป) โดยการนำน้ำร้อนทิ้งจากบ่อที่ 7 มาเก็บในถังพักและสูบกลับไปเติมลงในบ่อที่ 5 ที่อุณหภูมิประมาณ 77°C - 79°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เพียงพอต่อกระบวนการผลิตในบ่อที่ 1-5 ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องจ่ายไอน้ำเข้าในบ่อที่ 1-5 รวมทั้งสามารถยกเลิกการเติมน้ำประปาในบ่อที่ 5 ได้ด้วยเนื่องจากน้ำที่ได้จากบ่อที่ 7 มีปริมาณมากพอสำหรับใช้แทนน้ำประปาในบ่อที่ 5

L-BOX No.1

(หลังปรับปรุง)



รูปที่ 2.12-16 เครื่อง L-Box (หลังปรับปรุง)

4. สภาพหลังปรับปรุง

ทางโรงงานสามารถลดการใช้น้ำประปา (ส่วนที่เติมลงในบ่อที่ 5), การใช้ไอน้ำ (บ่อที่ 1-5) และสารเคมีสำหรับบำบัดน้ำลงได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพการผลิตแต่อย่างใด



รูปที่ 2.12-17 ถังพักน้ำร้อนและเครื่องสูบน้ำกลับจากบ่อที่ 7 ไปยังบ่อที่ 5

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค		
- ส่วนของสารเคมีในการบำบัดน้ำ		
ปริมาณสารเคมีที่ใช้ลดลง	=	300 kg/เดือน x 12 เดือน/ปี
	=	3,600 kg/ปี
อัตราค่าสารเคมี	=	26 บาท/kg
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	=	3,600 kg/ปี x 26 บาท/kg
	=	93,600 บาท/ปี
- ส่วนของน้ำร้อนทิ้ง		
ปริมาณน้ำร้อนทิ้งที่ลดลง	=	ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ลดลงในบ่อที่ 5
	=	5,616,000 ลิตร/ปี
อุณหภูมิน้ำร้อนทิ้งเฉลี่ย	=	75 °C
อุณหภูมิน้ำประปาที่ป้อนเข้า	=	30 °C
พลังงานความร้อนสูญเสียที่ลดลง	=	5,616,000 ลิตร/ปี x 1 kg/ลิตร x 0.004187
MJ/kg-°C		x (75 - 30)°C
	=	1,058,139 MJ/ปี
คิดเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	=	1,058,139 MJ/ปี / 17,930 MJ/ตัน
	=	59.01 ตัน/ปี
6.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน		
คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้	=	59.01 ตัน/ปี x 2,500 บาท/ตัน
	=	147,525 บาท/ปี
รวมทั้งสิ้นคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	=	336,128 บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 9 : การปรับปรุงฉนวนหุ้มท่อส่งไอน้ำ	
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน	
โรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปส่งออกจำหน่ายต่างประเทศทำงานวันละ 20 ชั่วโมง จำนวน 312 วัน/ปี ในบางขั้นตอนของกระบวนการผลิตจะมีการใช้ไอน้ำในการย้อมสีผลิตภัณฑ์ ใช้หม้อไอน้ำ ขนาด 4 ตัน/ชม. ชนิดท่อไฟใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันเตาเกรด C ผลิตไอน้ำส่งไปตามท่อส่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ไปยังสายการผลิต	
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง	
โรงงานเปิดกิจการมาเป็นระยะเวลานานทำให้ฉนวนที่ใช้หุ้มท่อเกิดการชำรุดคิดเป็นความยาว 170 เมตร	
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน	
ทำการหุ้มฉนวนท่อไอน้ำที่ชำรุดทั้งหมด	
4. สภาพหลังปรับปรุง	
โรงงานสามารถประหยัดพลังงานได้ 330,936 MJ/ปี หรือเชื้อเพลิง 9,717 ลิตร/ปี หรือเป็นเงิน 115,181 บาท/ปี และมีระยะ เวลาคืนทุน 1.70 ปี	
5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค	
ข้อมูลสำหรับการคำนวณ	
(1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2 นิ้ว	
(2) ขนาดความยาวท่อ 170 เมตร	
(3) พื้นที่ผิวการระบายความร้อน (A) 27.12 m ²	
(4) อุณหภูมิที่ผิวเตาก่อนหุ้มฉนวน (Ta) 140.0 °C	
(5) อุณหภูมิภายนอก (Ts) 27 °C	
(6) สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (hr) 0.9 W/m ² K	
(7) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (hc) 5.110 W/m ² K	
(8) ค่าเชื้อเพลิง (น้ำมันเตา C) 11.85 บาท/ลิตร	
(9) ประสิทธิภาพการเผาไหม้หม้อไอน้ำเฉลี่ย 82.5 %	
(10) เงินลงทุนในการปรับปรุง 196,227 บาท	
กำลังความร้อนสูญเสียก่อนปรับปรุงฉนวน = (hr + hc) × A × (Ts-Ta)	
= 18,415 W	
การหุ้มฉนวนลดการสูญเสียพลังงานลงได้ (ข้อมูลจาก พพ.) 80%	
คิดเป็นค่ากำลังงานที่ลดลง = 18.415 kW × 80%	
= 14.732 kW	
คิดเป็นค่าพลังงานที่ประหยัดได้ = 18.415 kW × 20 ชม. × 312 วัน	
= 91,927 kWh/ปี	
หรือ = 330,936 MJ/ปี	
หรือเทียบเท่าน้ำมันเตา C = 330,936 MJ/ปี	
= 41.28 MJ/ลิตร × 82.5% = 9,717 ลิตร/ปี	
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 9,717 ลิตร/ปี × 11.85 บาท/ลิตร	
= 115,181 บาท/ปี	
6.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน	
คิดระยะเวลาคืนทุน = 196,227 บาท /115,181 บาท/ปี	
= 1.70 ปี	

กรณีศึกษาที่ 10 : การนำความร้อนจากไอเสียไปอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน	
โรงงานผลิตเครื่องตีหม้อออกจำหน่ายภายในประเทศ ทำงานวันละ 24 ชั่วโมง จำนวน 300 วัน/ปี ใช้หม้อไอน้ำขนาด 10 ตัน/ชม. ชนิดท่อไฟ ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันเตาเกรด C ราคา 12.50 บาท/ลิตร ในอัตรา 1,000 ลิตร/ชม. จากการตรวจวัดพบว่า อุณหภูมิก๊าซไอเสีย 300°C ปริมาณ O ₂ ในก๊าซไอเสีย 4% ประสิทธิภาพการเผาไหม้ 80.5% อุณหภูมิน้ำป้อน 30°C	
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง	
อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงถึง 300°C ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียมาก	
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน	
นำความร้อนทั้งจากก๊าซไอเสียมาอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำจะส่งผลให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำสูงขึ้น	
4. สภาพหลังปรับปรุง	
ประหยัดพลังงานได้ 6,816,202 MJ/ปี หรือเชื้อเพลิง 205,120 ลิตร/ปี หรือเป็นเงิน 2,564,000 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 0.59 ปี	
5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค	
สมการสำหรับการคำนวณ $M = 21/(21 - O_2)$ $A = M/A_0$ $G = G_0 + (M-1) A_0$ โดย A คือ ปริมาณอากาศที่ใช้จริง (m³/kgfuel) A₀ คือ ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (m³/kgfuel) G คือ ปริมาณไอเสียจริง (m³/kgfuel) G₀ คือ ปริมาณไอเสียทางทฤษฎี (m³/kgfuel) M คือ อัตราส่วนอากาศ O₂ คือ เปอร์เซ็นต์ของ O₂ ในก๊าซเสีย แทนค่าลงในสมการ $M = 21/(21 - 4)$ $= 1.24$ $A_0 = 10.8 \text{ m}^3/\text{kgfuel}$ $G_0 = 11.4 \text{ m}^3/\text{kgfuel}$ $G = 11.4 \text{ m}^3/\text{kgfuel} + [(1.24-1) \times 10.8] = 14 \text{ m}^3/\text{kgfuel}$ ค่าความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ 300°C = $1.29 \times (273/(273+300))$ $= 0.61 \text{ kg/ m}^3$ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศที่อุณหภูมิ 300°C มีค่าประมาณ 1.045 kJ/kg.K ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง = 0.96 kg/ m³ ดังนั้น พลังงานที่สามารถนำกลับมาได้สูงสุด = $mc\Delta T$ $= (14 \times 0.61 \times 1,000 \times 0.96) (1.045) (300-170)$ $= 1,456,446 \text{ kJ/hr}$ ถ้า Economizer มีประสิทธิภาพ 75% พลังงานที่นำกลับมาใช้จริง $= 1,456,446 \text{ kJ/hr} \times 75\%$	

	= 1,092,335 kJ/hr
คิดเป็นค่าพลังงานที่ประหยัดได้	= 1,092.34 MJ/ชม. x 20 ชม. x 312 วัน
	= 6,816,202 MJ/ปี
หรือเทียบเท่าน้ำมันเตา C	= 6,816,202 MJ/ปี / (41.28 MJ/ลิตร x 80.5%)
	= 205,120 ลิตร/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 205,120 ลิตร/ปี x 12.50 บาท/ลิตร
	= 2,564,000 บาท/ปี
6.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน	
คิดระยะเวลาคืนทุน	= 1,500,000 บาท / 2,564,000 บาท/ปี
	= 0.59 ปี

กรณีศึกษาที่ 11 : เตินเครื่องแบบ Low Fire เป็นหลักแทนเตนเครื่องแบบ Medium Fire

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการมีการใช้หม้อไอน้ำขนาด 3.2 ตันต่อชั่วโมง เตินครั้งละ 1 ชุด ขณะตรวจวัดการทำงานของหัวเผาพบว่ามีการทำงานของหัวเผาแบบไฟปานกลาง Medium fire (เชื้อเพลิงป้อนเข้าหัวเผาปานกลาง) ทำให้หม้อไอน้ำเตน-หยุดบ่อย เนื่องจากทำความดันไอน้ำได้เร็วและภาระการใช้ไอน้ำที่น้อยมาก ส่งผลต่อการสูญเสียความร้อน เนื่องจากการเตนที่ medium fire ตลอด

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ก่อนจุดหัวเผาแต่ละครั้งจะต้องมีการไล่เชื้อเพลิงที่ตกค้างออกก่อนโดยใช้เวลาประมาณ 2 นาที ช่วงเวลาดังกล่าวอากาศที่ส่งเข้าห้องเผาไหม้จะพาความร้อนออกจากห้องเผาไหม้ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนมาก

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ตั้งหัวเผาให้มีการเตนแบบ เพลวไฟต่ำ Low fire (เชื้อเพลิงป้อนเข้าหัวเผาน้อย) ซึ่งจะช่วยยืดเวลาการเตนของหัวเผาให้มากขึ้นและลดเวลาการตัดการทำงานของหัวเผาให้น้อยลง เพื่อลดความถี่การ เติน-หยุดของหม้อไอน้ำลง จะส่งผลให้ลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้



รูปที่ 2.12-18 การปรับตั้งหัวเผา

4. สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากการปรับตั้งเป็นตำแหน่งให้หัวเผาเตนที่ Low fire แล้ว การทำไอน้ำที่ความดันเดิมก็จะช้าลงแต่ก็สามารถรองรับภาระจากการใช้งานได้พอเพียงไม่เกิดปัญหาที่จะผลิตไอน้ำได้ไม่ทันและจากการตรวจวัดอัตราส่วนไอน้ำต่อเชื้อเพลิง ระหว่างตอนเตน medium fire กับ หลังปรับตั้งเป็น Low fire พบว่าช่วง low fire มีสัดส่วนที่ดีขึ้น คือผลิตไอน้ำได้มากขึ้นแต่ใช้เชื้อเพลิงเท่าเดิม อุณหภูมิปล่องลดลงจากช่วง medium fire ประมาณ 20 °C ส่งผลต่อการลดการสูญเสียความร้อนน้อยลง

จำนวนเท่าของการระเหย = อัตราการผลิตไอน้ำต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง

		Low Fire	Medium Fire
มวลไอน้ำจริง (m_s)	kg/hr	1,004.00	1,000.30
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อชั่วโมง	L/hr	83.00	88.40
จำนวนเท่าการระเหยจริง ที่ภาระ 40 %	kg/L	12.10	11.32

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

จำนวนเท่าของการระเหยช่วงเดิน Medium Fire

ปริมาณน้ำป้อนต่อ 1 ชั่วโมง (kg.steam)	=	1,000.30	L/hr
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ 1 ชั่วโมง (L fuel)	=	88.40	L/hr
อัตราการผลิตไอน้ำต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg.steam/L.fuel)	=	1,000.30 / 88.40	
	=	11.32	kg steam/L fuel

จำนวนเท่าของการระเหยช่วงเดิน Low Fire

ปริมาณน้ำป้อนต่อ 1 ชั่วโมง (kg steam)	=	1,004.00	L/hr
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ 1 ชั่วโมง (L fuel)	=	83.00	L/hr
อัตราการผลิตไอน้ำต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg.steam/L.fuel)	=	1,004.00 / 83.00	
	=	12.10	kg steam/L fuel
อัตราการผลิตไอน้ำต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง เฉลี่ย	=	(11.32 + 12.10) / 2	
	=	11.71	kg steam/L fuel
เดินเครื่องแบบ Low Fire ตลอด	=	12.10	kg steam/L fuel
ผลประหยัด	=	[(12.10 - 11.71) / 12.10] x 100	
คิดเป็น %	=	3.22%	

ก่อนปรับปรุงพลังงานเชื้อเพลิงที่หม้อไอน้ำขนาด 3.2 Ton/hr ใช้ทั้งปี 5,200 hr/y

ประเมินจากชุดที่ 1 (ชุดที่ 2 ขำรุดอยู่)	=	88.40 L/hr x 5,200 hr/y	
	=	459,680	L/ปี

หลังปรับปรุงพลังงานเชื้อเพลิงที่หม้อไอน้ำใช้ทั้งปี	=	459,680 x 0.9678	
	=	444,878	L/ปี

พลังงานเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	=	459,680 - 444,878	
	=	14,802	L/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ที่ประหยัด	=	14,802 x 12.84	
	=	190,057.68	บาท/ปี

คิดเป็นพลังงานความร้อนที่ประหยัด	=	14,802 x 39.77	
	=	588,675.54	MJ/ปี

กรณีศึกษาที่ 12 : การเปลี่ยนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ขนาด 6.3 ตันต่อชั่วโมง	
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน	
สถานประกอบการได้มีการเดินหม้อไอน้ำขนาด 6.3 ตัน/ชั่วโมง ใช้น้ำมันเตาเกรด A อายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี จากการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ 76.7% จำนวนเท่าของการระเหย 12.6 kg steam/ลิตร	
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง	
จำนวนเท่าของการระเหย 12.6 kg steam/ลิตร สูงกว่าหม้อไอน้ำใหม่ที่มีอัตราการระเหยมากกว่า 14 kg steam/ลิตร ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตไอน้ำสูง	
	
รูปที่ 2.12-19 หม้อไอน้ำชุดเดิม	
3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน	
หม้อไอน้ำอยู่ในสภาพเก่าต้องใช้ค่าบำรุงรักษาสูง อีกทั้งมีต้นทุนไอน้ำสูง จึงทำการเปลี่ยนใหม่	
4. สภาพหลังปรับปรุง	
หม้อไอน้ำใหม่ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า 85% และมีจำนวนเท่าของการระเหยมากกว่า 14.0 kg steam/ลิตร	
	
รูปที่ 2.12-20 หม้อไอน้ำที่ติดตั้งใหม่	
5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค	
การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง	
หม้อไอน้ำเปิดใช้งาน 16 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี วันละ 1 ชุด สลับไป-มา อัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 3.44 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง มีจำนวนเท่าของการระเหย 12.6 kg steam/ลิตร ใช้น้ำมันเตาเกรด A เชื้อเพลิงที่ใช้ $= \frac{\text{ปริมาณไอน้ำที่ผลิต (kg steam)}}{\text{สมรรถนะ (kg steam/ลิตร)}} \times \frac{\text{ชั่วโมง/วัน(h/d)}}{\text{วัน/ปี(d/y)}} \times \text{O.F.}$ $= \frac{3,440 \text{ kg steam}}{12.6 \text{ kg steam/ลิตร}} \times 16 \text{ h/d} \times 365 \text{ d/y} \times 0.4$ $= 637,765 \text{ ลิตร/y}$	

สรุปก่อนการปรับปรุง ชนิดพลังงาน พลังงานความร้อน (น้ำมันเตาเกรด A) หน่วย (ลิตร)

เชื้อเพลิงที่ใช้	= 637,765	ลิตร/ปี
ราคาพลังงาน	= 24.29	บาท/ลิตร (ราคาเฉลี่ยตั้งแต่ ม.ค.56-พ.ค.59)
ค่าเชื้อเพลิง	= 15,491,311.85	บาท/ปี

การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

หม้อไอน้ำใหม่ มีจำนวนเท่าของการระเหยประมาณ 14.0 kg steam/ลิตร ใช้เดินเป็นหลักทุกวัน 16 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี

$$\begin{aligned}\text{เชื้อเพลิงที่ใช้} &= [\text{ปริมาณไอน้ำที่ผลิต(kg steam)} / \text{สมรรถนะ (kg steam/ลิตร)}] \times \text{ชั่วโมง/วัน} \\ &\quad (\text{h/d}) \times \text{วัน/ปี(d/y)} \times \text{O.F.} \\ &= [3,440 \text{ kg steam} / 14.0 \text{ kg steam/ลิตร}] \times 16 \text{ h/d} \times 365 \text{ d/y} \times 0.4 \\ &= 573,989 \text{ ลิตร/y}\end{aligned}$$

สรุปหลังการปรับปรุง ชนิดพลังงาน พลังงานความร้อน (น้ำมันเตาเกรด A) หน่วย (ลิตร)

เชื้อเพลิงที่ใช้	= 573,989	ลิตร/ปี
ราคาพลังงาน	= 24.29	บาท/ลิตร (ราคาเฉลี่ยตั้งแต่ ม.ค.56-พ.ค.59)
ค่าเชื้อเพลิง	= 13,942,192.81	บาท/ปี

สรุปผลประหยัด

ค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเตา	39.77 MJ/ลิตร (ค่ามาตรฐาน)
เชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง	= 63,776 ลิตร/ปี

6.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

ค่าเชื้อเพลิงที่ลดลง	= 1,549,119.04 บาท/ปี
เงินลงทุน	= 9,603,250.00 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	= 6.2 ปี

กรณีศึกษาที่ 13 : ปรับลดความดันไอน้ำที่ผลิตให้เหมาะสม

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

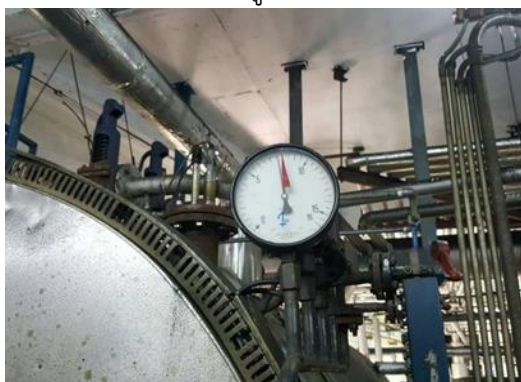
สถานประกอบการมีการตั้งความดันไอน้ำตัดต่อที่ 6.5 – 8 บาร์ แต่อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำต้องการแรงดันไอน้ำเพียงแค่ 5 บาร์เท่านั้น

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

การเดินหม้อไอน้ำที่ความดันสูงมากเกินไปทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเกินความจำเป็นและส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนที่ผิวท่อไอน้ำที่ไม่ได้หุ้มฉนวนกับที่ตัวหม้อไอน้ำ และน้ำระบาย (Blow down) อีกด้วย

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการปรับลดแรงดันตัดต่อให้อยู่ในช่วงการใช้งานหรือให้สูงกว่าแรงดันที่อุปกรณ์ใช้งานประมาณ 1 บาร์ จะทำให้ลดการใช้พลังงานลงได้เพราะหม้อไอน้ำไม่ต้องผลิตไอน้ำที่ความดันสูงเกินความจำเป็น



รูปที่ 2.12-21 ความดันไอน้ำก่อนลดลง

4. สภาพหลังปรับปรุง

การลดความดันของหม้อไอน้ำ ไม่พบว่าส่งผลเสียต่ออุปกรณ์และกระบวนการ เป็นผลให้การใช้ปริมาณเชื้อเพลิงลดลง เนื่องจากไม่ต้องผลิตไอน้ำที่ความดัน 100 psig ซึ่งสามารถลดการสูญเสียความร้อนในส่วนต่างๆของหม้อไอน้ำ และระบบส่งจ่ายด้วย



รูปที่ 2.12-22 ความดันไอน้ำหลังลดลง 1 Barg

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
รายการ	ตัวย่อ	หน่วย	ข้อมูล เตาเบอร์ 1	แหล่งที่มา ของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี	h	h/y	5,200	ข้อมูลโรงงาน
1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง				บิลเชื้อเพลิง
- เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ตลอดทั้งปี	m_L	L/y	459,680	ข้อมูลโรงงาน
- ราคาเชื้อเพลิงเหลวเฉลี่ย	C_L	B/L	12.84	ผู้จำหน่าย
1.4 เอนทัลปีของไอน้ำที่ความดันก่อนปรับลด	h_g	kJ/kg	2,773.10	ตารางไอน้ำ
1.5 เอนทัลปีของไอน้ำที่ความดันหลังปรับลด	h_N	kJ/kg	2,768.37	ตารางไอน้ำ
1.6 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	C	B	0.00	ผู้ให้บริการ
1.7 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	h_B	%	67.00	ตรวจวัด
1.8 ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง				คุณสมบัติ เชื้อเพลิง
- เชื้อเพลิงเหลว	LHV _L	kJ/L	39,770.00	น้ำมันเตา A
1.9 ตัวประกอบการใช้งาน	OF	-	0.83	ข้อมูลโรงงาน
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 ความดันสูงสุดก่อนปรับลด (Pressure)	P_g	barg	8.00	
2.2 ความดันสูงสุดหลังปรับลด (Pressure)	P_N	barg	7.00	
2.3 ค่า TDS น้ำป้อน	TDS _F	PPM	239.20	
2.4 ค่า TDS น้ำในหม้อไอน้ำ	TDS _B	PPM	7,910.00	
2.5 ปริมาณน้ำป้อนที่ใช้ใน 1 ชั่วโมงเฉลี่ย	W_F	kg/h	1,000.00	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้เมื่อไม่ต้องต้มน้ำ ที่ความดันสูง				
- เปอร์เซ็นต์ของความร้อนที่สูญเสียไป $\%Q_P = [(h_g - h_N) / h_g] \times h_B$	$\%Q_P$	%	0.11	
- เชื้อเพลิงที่ไอลดลง เชื้อเพลิงเหลว $Q_{PL} = \%Q_P \times m_L / 100 \times OF$	Q_{PL}	L/y	419.69	

รายการ	ตัวย่อ	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
- ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ เชื้อเพลิงเหลว $C_{PL} = Q_{PL} \times C_L$ 3.2 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้เมื่อโบลว์ดาวน์ที่ ความดันต่ำลง - ปริมาณการโบลว์ดาวน์ $m_B = [TDS_F / (TDS_B - TDS_F)] \times W_F$ - พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ $Q_B = m_B \times (h_g - h_N)$ - พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ทั้งปี $Q_{BT} = Q_B \times h$ - ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ เชื้อเพลิงเหลว $F_{BL} = Q_{BT} / (LHV_L \times h_g / 100) \times OF$ - ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ เชื้อเพลิงเหลว $C_{BL} = F_{BL} \times C_L$	C_{PL} m_B Q_B Q_{BT} F_{BL} C_{BL}	B/y kg/h kJ/h kJ/y l/y B/y	5,388.82 31.18 147.48 766,896.00 23.89 306.75	
3.3 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้จากการสูญเสียความร้อนออกจากผิวหม้อไอน้ำ และระบบส่งจ่ายไอน้ำ ของ ความร้อนสูญเสียจากการต้มไอน้ำที่ความดันต่ำลงจาก 8 บาร์ มาเป็น 7 บาร์ประมาณ 3% และจากการโบลว์ - ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ เชื้อเพลิงเหลว $F_{RL} = (Q_{PL} + F_{BL}) \times 0.2$ - ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ เชื้อเพลิงเหลว $C_{RL} = (C_{PL} + C_{BL}) \times 0.2$ 3.4 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดทั้งสิ้น - เชื้อเพลิงเหลว $F_{TL} = Q_{PL} + F_{BL} + F_{RL}$	F_{RL} C_{RL} F_{TL}	l/y B/y l/y	13,879.12 1,139.11 14,322.70	

รายการ	ตัวย่อ	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
3.5 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดไปทั้งสิ้น - เชื้อเพลิงเหลว $C_{TL} = C_{PL} + C_{BL} + C_{RL}$	C_{TL}	B/y	185,042.58	
4. การวิเคราะห์การลงทุน 4.1 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C / C_{TL}$	PB	y	0.00	
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ 5.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ 5.2 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดลง 5.3 ระยะเวลาคืนทุน	F_T C_T PB	l/y B / y y	14,322.70 185,042.58 0.00	เมกะจูล/ปี 569,613.78

กรณีศึกษาที่ 14 : ลดเวลาการเดินหม้อไอน้ำทั้ง 2 ชุดลงวันละครึ่งชั่วโมง

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ปัจจุบันเปิดใช้งานหม้อไอน้ำเวลา 6.00 น. ถึง 19.00 น. โดยการใช้ไอน้ำเวลา 7.00 น. ถึง 18.00 น.

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

การเปิดเร็วและปิดช้าส่งผลทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

จัดทำแผนบริหารจัดการอุปกรณ์ใช้ไอน้ำและปรับลดเวลาในการปิดหม้อไอน้ำให้เร็วกว่าเดิมครึ่งชั่วโมง และปิดก่อนเลิกใช้งาน 15 นาที เพื่อให้ใช้ไอน้ำที่ตกค้างในระบบหมด



รูปที่ 2.12-23 หม้อไอน้ำที่ลดเวลาการใช้งาน

4. สภาพหลังปรับปรุง

สามารถลดเวลาการเดินและการใช้พลังงานของหม้อไอน้ำลงได้โดยไม่มีผลเสียต่อการผลิต

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

ข้อมูล	Boiler 1	Boiler 2	หน่วย
Temp feed water	95.6	84.0	C
h_f feed water	401	352	kJ/kg _s
h_g steam at 6 bar _g	2,763	2,763	kJ/kg _s
LHV of LPG	46,700	46,700	kJ/kg _F
h_{Boiler}	79.5	81.6	%
h_{CB}	86	86.2	%
Water flow rate	1,007	978	kg _s /hr
Working Day	182	183	d/y
ราคาเชื้อเพลิง	22.69	22.69	บาท/kg
Time reduced	0.5	0.5	hr/d
ข้อมูล	ตัวย่อ	ความหมาย	หน่วย
Temp feed water	T_f	อุณหภูมิน้ำป้อน	C
h_f feed water	h_f	เอนทัลปีที่อุณหภูมิน้ำป้อน	kJ/kg _s
h_g steam at 6 bar _g	h_g	เอนทัลปีไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันที่ผลิต	kJ/kg _s
LHV of LPG	LHV	ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง	kJ/kg _F
η_{Boiler}	η_B	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	%

η_{CB}	η_{CB}	ประสิทธิภาพการเผาไหม้	%
Water flow rate	m	อัตราการไหลของน้ำป้อน	kg _s /hr
Working Day	W _D	วันทำงานต่อปี	d/y
ราคาเชื้อเพลิง	F _{Cost}	ราคาเชื้อเพลิง LPG ของสถานประกอบการ	บาท/kg
Time reduced	T _r	เวลาการทำงานของหม้อไอน้ำที่ลดลง	hr/d
ความร้อนที่สามารถประหยัดได้	Q _{Save}	ความร้อนที่สามารถประหยัดได้ต่อปี	kJ/y
เชื้อเพลิงที่สามารถประหยัดได้	F _{Save}	เชื้อเพลิงที่สามารถประหยัดได้ต่อปี	Kg/y
เงินที่คาดว่าจะสามารถประหยัดได้	M _{Save}	เงินที่คาดว่าจะสามารถประหยัดได้ต่อปี	บาท/y

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$Q_{Save} = \frac{[m(h_g - h_f)(T_r)(W_D)(100)](OF)}{\eta_B}$$
$$F_{Save} = \frac{(Q_{save})(100)}{(\eta_{CB})(LHV)}$$
$$M_{Save} = \frac{(F_{save})(F_{cost})}{100}$$

kJ/y

kg/y

บาท/y

หม้อไอน้ำเบอร์ 1

ก่อนปรับปรุง

$$= [(1,007 \text{ kg}_s/\text{hr}) \times (2,763 \text{ kJ/kg}_s - 401 \text{ kJ/kg}_s) \times 2,366 \text{ hr/y} \times 100) / 79.5] \times 0.5$$
$$= 3,539,378,267 \text{ kJ/y}$$

kJ/y

หลังปรับปรุง

$$= [(1,007 \text{ kg}_s/\text{hr}) \times (2,763 \text{ kJ/kg}_s - 401 \text{ kJ/kg}_s) \times 2,275 \text{ hr/y} \times 100) / 79.5] \times 0.5$$
$$= 3,403,248,333 \text{ kJ/y}$$
$$= 3,539,378,267 - 3,403,248,333$$
$$= 136,129,934 \text{ kJ/y}$$
$$= (136,129,934 \text{ kJ/y} \times 100) / (86)(46,700 \text{ kJ/kg})$$
$$= 3,389.52 \text{ kg/y}$$
$$= 3,389.52 \text{ kg/y} \times 22.69 \text{ บาท/kg}$$
$$= 76,908.23 \text{ บาท/ปี}$$

บาท/ปี

หม้อไอน้ำชุดที่ 2

ก่อนปรับปรุง

$$= [(978 \text{ kg}_s/\text{hr}) \times (2,763 \text{ kJ/kg}_s - 352 \text{ kJ/kg}_s) \times 2,379 \text{ hr/y} \times 100) / 81.5] \times 0.5$$
$$= 3,441,461,400 \text{ kJ/y}$$

kJ/y

หลังปรับปรุง

$$= [(978 \text{ kg}_s/\text{hr}) \times (2,763 \text{ kJ/kg}_s - 352 \text{ kJ/kg}_s) \times 2,287 \text{ hr/y} \times 100) / 81.5] \times 0.5$$
$$= 3,308,374,200 \text{ kJ/y}$$
$$= 3,441,461,400 - 3,308,374,200$$
$$= 133,087,200 \text{ kJ/y}$$

kJ/y

ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

	=	$(133,087,200 \text{ kJ/y} \times 100) / (86.2)(46,700 \text{ kJ/kg})$
	=	3,313.76 kg/y
	=	$3,313.76 \text{ kg/y} \times 22.69 \text{ บาท/kg}$
	=	75,189.20 บาท/ปี
ผลประหยัดรวมทั้ง 2 เครื่อง		
พลังงานที่ประหยัดรวม	=	$136,129,934 + 133,087,200$
	=	269,217,134 kJ/y
	=	$269,217,134 / 1000$
	=	269,217.13 MJ/y
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	$76,908.23 + 75,189.20$
	=	152,097.42 บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 15 : การปรับปรุงประสิทธิภาพกับดักไอน้ำ

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการติดตั้งหม้อไอน้ำขนาด 3.0 ตันต่อชั่วโมง ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG ผลิตไอน้ำที่ความดัน 6.5 บาร์ เพื่อใช้ในกระบวนการผลิต

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจพบว่ามีกับดักไอน้ำขนาด 0.25 นิ้ว รั่วภายในโดยมีขนาดรู 0.16 นิ้ว ส่งผลให้สิ้นเปลืองไอน้ำมาก



รูปกับดักไอน้ำชุดที่รั่ว

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

หม้อไอน้ำอยู่ในสภาพเก่าต้องใช้ค่าบำรุงรักษาสูง อีกทั้งมีต้นทุนไอน้ำสูง จึงทำการเปลี่ยนใหม่

4. สภาพหลังปรับปรุง

หม้อไอน้ำใหม่ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า 85% และมีจำนวนเท่าของการระเหยมากกว่า 14.0 kg steam/ลิตร



รูปกับดักไอน้ำชุดที่ปรับปรุง

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค		
ขนาดพิกัดหม้อไอน้ำ	3	ตันต่อชั่วโมง
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	85 %	
ความดันไอน้ำที่ผลิต	6.5	bar
ชั่วโมงการทำงาน	12	ชั่วโมงต่อวัน
วันทำงาน	300	วันต่อปี
ราคา LPG เฉลี่ย	16.50	บาทต่อกิโลกรัม
ค่าความร้อน LPG	50.23	MJ/ kg
<u>การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง</u>		
ก๊าดักไอน้ำขนาด 0.25 นิ้วมีขนาดรู Orifice	= 1.6	mm
ความดันไอน้ำที่จุดรั่วไหลประมาณ	= 5.5	bar
ค่าเอนทัลปีไอน้ำ @ 5.5 bar	= 2,760.50	kJ/ kg
อุณหภูมิคอนเดนเสท	= 80°C	
ค่าเอนทัลปี	= 334.9	kJ/ kg
อัตราการสูญเสียไอน้ำ	= 0.4 D ² (P + 1.013)	
	= 0.4 x (1.6) ² x (5.5 + 1.013)	
	= 6.67	kg/ hr
พลังงานความร้อนที่สูญเสีย	= 6.67 x (2,760.50 – 334.9)	
	= 16,178.75	kJ/ hr
	= 16.18	MJ/ hr
คิดเป็นเชื้อเพลิง	= 16.18 / (50.23 x 0.85)	
	= 0.38	kg/ hr
คิดเป็นการสูญเสียเชื้อเพลิงทั้งปี	= 0.38 x 12 x 300	
	= 1,368	kg/ yr
<u>การใช้พลังงานหลังปรับปรุง</u>		
หลังปรับปรุงไม่เกิดการรั่วไหลของไอน้ำ	= 0	kg/yr
<u>พลังงานที่ใช้ลดลง</u>		
เชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	= เชื้อเพลิงที่ใช้ก่อนปรับปรุง - เชื้อเพลิงที่ใช้หลังปรับปรุง	
	= 1,368 – 0	
	= 1,368	kg/ yr
คิดเป็นพลังงานความร้อน	= 1,368 x 50.23	
	= 68,714.64	MJ/ yr
ค่าเชื้อเพลิงลดลง	= 1,368 x 16.50	
	= 22,572	บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 16 : การเลือกเดินหม้อไอน้ำชุดที่มีประสิทธิภาพสูง
1.ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน
โรงงานผลิตภัณท์ที่มีการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต โดยความดันไอน้ำที่ผลิตอยู่ที่ประมาณ 7 บาร์เกจ
2.ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง
โรงงานมีหม้อไอน้ำ 2 ลูก มีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน หม้อไอน้ำNo.1 มีประสิทธิภาพ 79% หม้อไอน้ำ No.2 มีประสิทธิภาพ 72% ปริมาณการใช้งานหม้อไอน้ำใน 1 ปี ทำการเดินหม้อไอน้ำ No.1 50% และทำการเดินหม้อไอน้ำ No.2 50%
 รูปที่ 2.12-24 หม้อไอน้ำ No.1  รูปที่ 2.12-25 หม้อไอน้ำ No.2

3.แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน			
เลือกเดินหม้อไอน้ำ No.1 เป็นหลัก			
4.สภาพหลังปรับปรุง			
สามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันเตาลงได้โดยไม่กระทบกับกระบวนการผลิต			
5.การวิเคราะห์ทางเทคนิค			
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ No.1	η_1	=	79 %
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ No.2	η_2	=	72 %
เปอร์เซ็นต์การใช้หม้อไอน้ำ No.1 ใน 1 ปี		=	50 %
เปอร์เซ็นต์การใช้หม้อไอน้ำ No.2 ใน 1 ปี		=	50 %
ปริมาณการใช้น้ำมันเตา C ใน 1 ปี		=	943,850 ลิตร/ปี
ค่าความร้อนน้ำมันเตา C		=	39.77 MJ/ลิตร
พลังงานที่ประหยัดได้	$= \left(1 - \left(\frac{\eta_1 + \eta_2}{2} \right) \right) \times 943850 \times 39.77 \quad \text{MJ/ปี}$		
	$= \left(1 - \left(\frac{79 + 72}{2} \right) \right) \times 943850 \times 39.77$		
	= 1663027.858 MJ/ปี		
คิดเป็นเชื้อเพลิง	= 1663027.858 / 39.77		
	= 41816.13 ลิตร/ปี		

กรณีศึกษาที่ 17 : การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้**1.ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน**

โรงงานมีการใช้หม้อไอน้ำขนาด 1 ตัน/ชั่วโมง จำนวน 1 ชุด โดยใช้ น้ำมันเตาเกรด A เป็นเชื้อเพลิง ผลิตไอน้ำที่ความดัน 7 Barg

2.ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำ พบว่ามีปริมาณ O_2 เท่ากับ 10% และอุณหภูมิของไอเสีย $160^\circ C$ โดยทั่วไปหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวขนาดกำลังการผลิตไอน้ำไม่เกิน 10 ตัน/ชั่วโมง ควรจะมีค่า O_2 ไม่เกิน 4% ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียมาก

3.แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการปรับลดปริมาณอากาศเข้าเผาไหม้ให้เหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย แล้วทำการบันทึกการใช้เชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับระหว่างก่อนและหลังการปรับตั้ง

4.สภาพหลังปรับปรุง

ดำเนินการควบคุมปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ให้น้อยลงโดยการปรับอัตราส่วนการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำให้มีค่า O_2 อยู่ที่ 4% ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาปริมาณ การเกิดก๊าซ CO ให้อยู่ในปริมาณที่ต่ำไม่เกิน 200 PPM



รูปที่ 2.12-26 การตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำก่อน-หลังปรับปรุง

5.การวิเคราะห์ทางเทคนิค

ปริมาณการใช้น้ำมันเตา ; F	= 273,873	L/y
ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง ; D	= 0.95	kg/L
ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง ; LH	= 38.18	MJ/L , 40.189
MJ/kg		
ความร้อนจำเพาะของก๊าซเสีย ; Cp _g	= 1.39	kJ/Nm ³ °C
อุณหภูมิของบรรยากาศ ; Ta	= 36	°C
ราคาเชื้อเพลิง	= 16.29	บาท/ลิตร
ระดับการใช้พลังงานอ้างอิงก่อนปรับปรุง		
ปริมาณออกซิเจนออกจากห้องเผาไหม้ (% O ₂)	= 10	%
อุณหภูมิไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ (T _g)	= 160	°C
ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี(A _o)	= (0.85 × LH/4.187) + 2	
	= (0.85 × 40.189/4.187) + 2	
	= 10.158	Nm ³ /kgfue

ปริมาณก๊าซเสียเชิงทฤษฎี(G_o)	= $1.11 \times LH/4.187$
	= $1.11 \times 40.189/4.187$
	= 10.654 Nm^3/kg_{fue}
อัตราส่วนของอากาศ (m)	= $21/(21-02)$
	= $21/(21-10)$
	= 1.91
ปริมาณก๊าซเสียจริง (G)	= $G_o + (A_o \times (m-1))$
	= $10.654 + (10.158 \times (1.91 - 1))$
	= 19.897 Nm^3/kg_{fue}
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย (Q_g)	= $F \times D \times G \times C_{pg} \times (T_g - T_a)/1,000$
	= $273,873 \times 0.95 \times 19.897 \times 1.39 \times (160-$
36)/ 1,000	= 892,405.80 MJ/yr
ระดับการใช้พลังงานอ้างอิงหลังปรับปรุง	
ปริมาณออกซิเจนออกจากห้องเผาไหม้ (% O ₂)	= 4%
อุณหภูมิไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ (T_g)	= 165 $^{\circ}C$
ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี(A_o)	= $(0.85 \times LH / 4.187) + 2$
	= $(0.85 \times 40.189/4.187) + 2$
	= 10.158 Nm^3/kg_{fue}
ปริมาณก๊าซเสียเชิงทฤษฎี(G_o)	= $1.11 \times LH/4.187$
	= $1.11 \times 40.189/4.187$
	= 10.654 Nm^3/kg_{fue}
อัตราส่วนของอากาศ (m)	= $21/(21-02)$
	= $21/(21-4)$
	= 1.24
ปริมาณก๊าซเสียจริง (G)	= $G_o + (A_o \times (m-1))$
	= $10.654 + (10.158 \times (1.24 - 1))$
	= 13.09 Nm^3/kg_{fue}
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย (Q_g)	= $F \times D \times G \times C_{pg} \times (T_g - T_a)/1,000$
	= $273,873 \times 0.95 \times 13.09 \times 1.39 \times (165-$
36)/ 1,000	= 629,969.39 MJ/yr
เชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	= $[Q_g(\text{ก่อน}) - Q_g(\text{หลัง})]/(LH)$
	= $[892,405.80 - 629,969.39]/(38.18)$
	= 6,873.66 ลิตร/ปี
คิดเป็นเงิน	= 6,873.66 $\times$ 16.29
	= 111,971.92 บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 18 : การหุ้มฉนวนปั๊มน้ำมันร้อน

1.ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการผลิต และใช้น้ำมันร้อนให้ความร้อนในการทอดไก่ โดยมีหม้อน้ำมันร้อน 4 ชุด ปกติทำงาน 2 ชุด และปั๊มน้ำมันร้อน 6 ชุด ปัจจุบันทำงาน 2 ชุด อุณหภูมิน้ำมันร้อนที่จ่าย 280-290°C น้ำมันกลับ 270 °C ปั๊มน้ำมันทั้ง 6 ชุดไม่มีฉนวนหุ้ม

2.ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

เนื่องจากไม่มีฉนวนหุ้ม ทำให้ผิวปั๊มอุณหภูมิประมาณ 245°C จึงสูญเสียความร้อนอยู่ตลอดเวลา



รูปที่ 2.12-27 ปั๊มน้ำมันร้อนก่อนปรับปรุง

3.แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

โรงงานได้หุ้มฉนวนปั๊มทั้ง 6 ชุด ด้วยใยแก้ว และมือลูมิเนียมปิดครอบ ขั้นตอนการดำเนินงาน ได้แก่

- 1.สำรวจและประเมินความร้อนสูญเสีย
- 2.ออกแบบและจัดหาผู้รับเหมาติดตั้ง
- 3.ตรวจวัดและประเมินความร้อนสูญเสียหลังปรับปรุง

4.สภาพหลังปรับปรุง

หลังปรับปรุงความร้อนสูญเสียที่ออกจากฉนวนของปั๊มลดลง



รูปที่ 2.12-28 ปั๊มน้ำมันร้อนหลังปรับปรุง

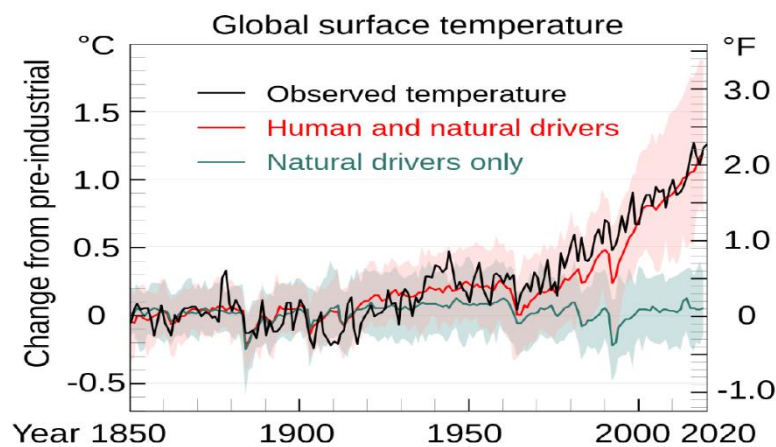
5.การวิเคราะห์ทางเทคนิค			
จำนวนปีมที่ทำงาน	=	2	ชุด
ขนาดท่อน้ำมันร้อน	=	6	นิ้ว หรือ 0.17 เมตร
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม(Ta)	=	30	°C
ชั่วโมงการทำงาน	=	8,760	ชั่วโมง/ปี
ราคาน้ำมันเตา	=	15	บาท/ลิตร
สภาพก่อนหุ้มฉนวน			
อุณหภูมิผิว(Ti)	=	245	°C
ค่า emissivity(e)	=	0.6	
ความยาวสมมูลย์ของปีม	=	1	เมตร/ชุด
พื้นที่ผิวท่อที่จะหุ้ม	=	πdL	
	=	0.53	ตารางเมตร/ชุด
hr	=	$(5.67 \times 10^{-8} \times e \times (T_i + 273.15)^4 - (T_a + 273.15)^4) / (T_i - T_a)$	
	=	10.07	W/m ² K
hc	=	$1.32 \times (T_i - T_a) / d^{0.25}$	
	=	7.89	W/m ² K
Total (h)	=	hr + hc	
	=	17.96	W/m ² K
ความร้อนสูญเสีย Q	=	hA(Ti – Ta)	
	=	17.96x0.53x215	วัตต์
	=	2,040.37	วัตต์/ชุด
หลังหุ้มฉนวน			
อุณหภูมิผิว(Ti)	=	50	°C
ค่า emissivity(e)	=	0.3	
เส้นผ่าศูนย์กลางรวมฉนวน	=	0.22	เมตร
พื้นที่ผิวท่อที่จะหุ้ม	=	πdL	
	=	0.69	ตารางเมตร/ชุด
hr(ค่าใหม่)	=	2.09	W/m ² K
hc(ค่าใหม่)	=	4.08	W/m ² K
Total(h)	=	6.17	W/m ² K
ความร้อนสูญเสีย Q	=	hA(Ti – Ta)	
	=	6.17x0.69x20	
	=	85.21	วัตต์/ชุด

ความร้อนสูญเสียลดลง	=	2,040.37 – 85.21	
	=	1,955.16	วัตต์/ชุด
คิดเป็นเมกะจูล	=	1.95 kWx8,760 hr x3.6	
	=	61,652.8	MJ/ปี/ชุด
หรือ น้ำมันเตา	=	61,652.8/39.77x0.9	
	=	1,722.48	ลิตร/ชุด/ปี
	=	25,613	บาท/ชุด
รวม 2 ชุด	=	3,444.96	ลิตร/ปี
	=	51,226	บาท/ปี
6.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน			
เงินลงทุนค่าแรง+ค่าของ	=	6,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	0.12	ปี

2.13 เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานเพื่อไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero emissions)

เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานถือเป็นเทคนิคการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิง จะส่งผลให้สามารถลดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้พลังงานได้

องค์การบริหารมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Oceanic and Atmospheric Administration หรือ NOAA) ได้รวบรวมสถิติอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโลก (Global average surface temperature) ตั้งแต่ปี ค.ศ.1880 จนถึงปัจจุบันพบว่าอุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 0.08 °C ต่อทศวรรษ โดยปี ค.ศ.2022 เป็นปีที่ร้อนที่สุดอันดับ 6 นับตั้งแต่มีการเก็บข้อมูลมา และยังเป็นปีที่มีอุณหภูมิอุ่นกว่าช่วงก่อนยุคอุตสาหกรรม (ช่วงปี ค.ศ.1880-1900)



รูปที่ 2.13-1 สถิติอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโลก

ประชาคมโลกเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) จึงทำให้เกิดกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) เพื่อเป็นเวทีสำหรับกำหนดกฎกติกาในการแก้ไขปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและกำหนดแนวทางรับมือต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นร่วมกัน โดยมีการประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือที่เรียกว่า Conference Of the Parties (COP) เป็นประจำทุกปี

การประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วย การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 21 (COP 21) ในปี ค.ศ.2015 ได้มีการรับรองความตกลงปารีส (Paris Agreement) ซึ่งมีกฎกติกาในการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เข้มข้นขึ้น โดยกำหนดให้ทุกประเทศมีเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกทั้งระยะสั้นและระยะยาว

โดยแต่ละประเทศจะต้องจัดส่ง “การมีส่วนร่วมที่ประเทศกำหนด หรือ Nationally Determined Contribution (NDC)” ในทุก 5 ปี และ “ยุทธศาสตร์ระยะยาวในการพัฒนาแบบปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ หรือ Long-term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategies (LT-LEDS)” เพื่อจำกัดการ

เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นเกิน 2 °C หรือ 1.5 °C เพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มของอุณหภูมิโลก

จากรูปที่ 2.13-2 นั้นเป็นการคาดการณ์อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกตั้งแต่ปี 2022 ถึงปี 2100 โดยถ้าดำเนินการตามแผนอย่างเต็มที่ที่จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกสูงขึ้นจาก 1.2 °C เป็น 1.8 °C แต่ถ้าไม่ดำเนินการอะไรเลยจะเพิ่มขึ้นเป็น 2.7 °C ซึ่งจะทำให้สภาพอากาศโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ

จากรูปที่ 2.13-3 ในกรณีที่อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกสูงขึ้นถึง 2.0 °C จะทำให้ GDP ของโลกสูญเสียไป 13% ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 50 cm. ในปี 2100 ปริมาณน้ำใช้ลดลง 17% ระยะเวลาการเกิดคลื่นความร้อนยาวนานถึง 1.5 เดือน นอกจากนั้นอาจทำให้ปะการังฟอกขาวมากขึ้น

จากรูปที่ 2.13-4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้เกิดความเสี่ยงของต่อธุรกิจมากมาย เนื่องจากภัยธรรมชาติต่างๆ ที่มีความรุนแรงและมีความถี่มากขึ้น เทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิต การอยู่อาศัย การบริโภคสินค้า ทำให้ธุรกิจต่างๆต้องปรับตัวและเกิดผลกระทบ

รูปที่ 2.13-5 นายกรัฐมนตรี กล่าวถ้อยแถลงในการประชุม COP26 “ประเทศไทยจะยกระดับการแก้ไขปัญหาภูมิอากาศอย่างเต็มที่และด้วยทุกวิถีทาง เพื่อให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี 2050 และบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ได้ในปี 2065 และด้วยการสนับสนุนทางการเงินและเทคโนโลยีอย่างเต็มที่และเท่าเทียม รวมถึงการเสริมสร้างขีดความสามารถจากความร่วมมือระหว่างประเทศ และกลไกภายใต้กรอบอนุสัญญา ผมมั่นใจว่าประเทศไทยก็จะสามารถยกระดับ NDC ของเราขึ้นเป็นร้อยละ 40 ได้ ซึ่งจะทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิของไทยเป็นศูนย์ได้ภายในปี 2050”

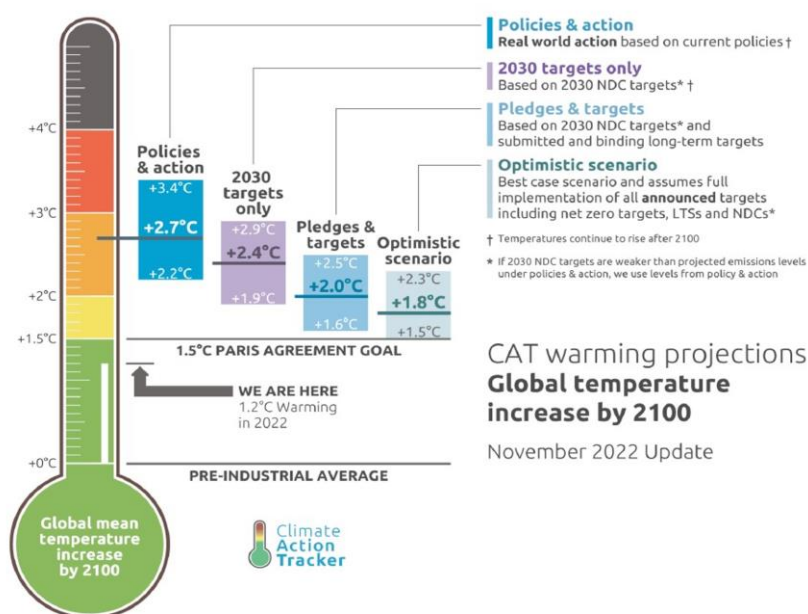
รูปที่ 2.13-7 ประเทศจะต้องดำเนินงานให้เกิดความป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ในปี 2050 โดยจะต้องดำเนินการให้เกิดความสมดุลระหว่าง การปล่อย CO₂ จากแหล่งกำเนิดโดยกิจกรรมของมนุษย์ กับการดูดกลับ CO₂ จากป่าไม้ และเทคโนโลยีดักจับและกักเก็บคาร์บอน ในส่วนจะต้องดำเนินงานให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net-Zero GHG Emission) ในปี 2065 นั้น ประเทศจะต้องดำเนินการให้เกิดความสมดุลระหว่าง การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 7 ชนิดจากแหล่งกำเนิดโดยกิจกรรมของมนุษย์ กับการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากป่าไม้ และเทคโนโลยีดักจับและกักเก็บคาร์บอน

รูปที่ 2.13-8 Carbon Neutrality ในระดับองค์กร นั้น หมายถึงการที่องค์กร บุคคล งานอีเว้นท์ มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนหนึ่งจากนั้น พยายามลดก๊าซ CO₂ ลง ส่วนปริมาณที่ลดไม่ได้ อนุญาตให้มีการซื้อคาร์บอนเครดิตจากโครงการลดก๊าซเรือนกระจกต่างๆในปริมาณเท่ากันมาชดเชย ส่วน Net-Zero GHG Emission ในระดับองค์กร นั้นหมายถึงการที่องค์กรมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 7 ชนิด จำนวนหนึ่ง จากนั้นพยายามลดก๊าซเรือนกระจกลง และเพิ่มการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมหรือโครงการที่สามารถกักเก็บก๊าซไว้ได้ในระยะยาว เช่น การปลูกป่า CCUS จนการปล่อยเท่ากับการดูดกลับ และอนุญาตให้มีการชดเชยปริมาณได้จากโครงการหรือกิจกรรมดูดกลับก๊าซเรือนกระจกเท่านั้น

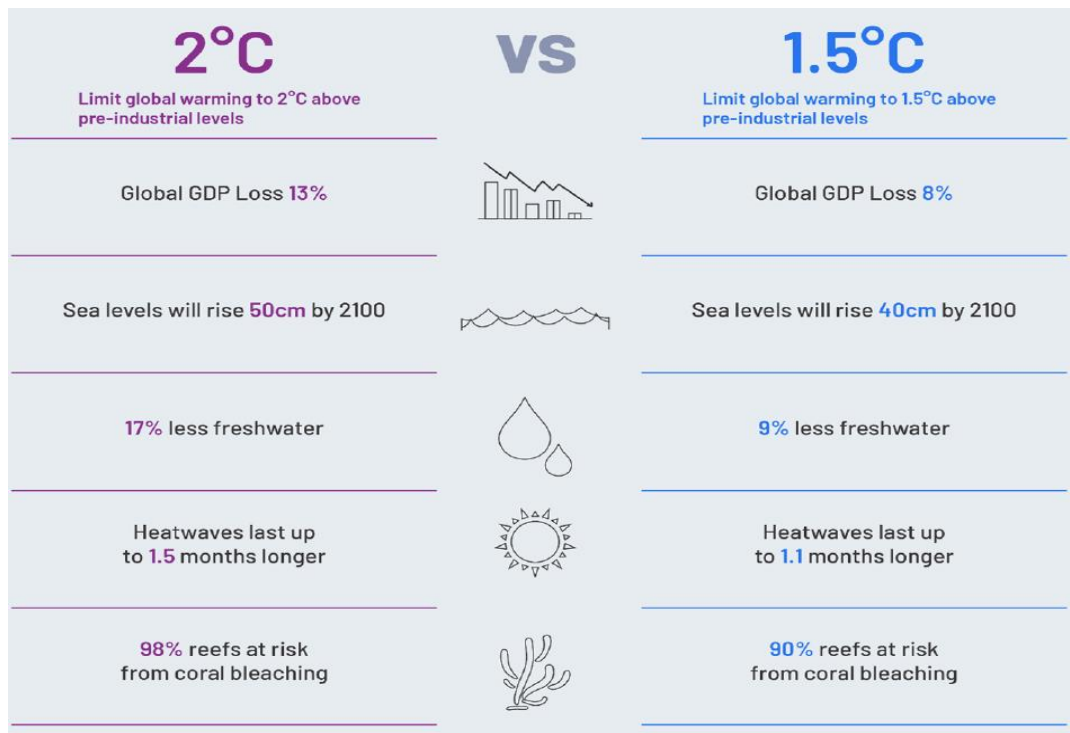
รูปที่ 2.13-9 การเตรียมความพร้อม ในระดับองค์กร เพื่อมุ่งสู่ Carbon Neutrality/ Net Zero นั้น มี 3 ขั้นตอนหลัก โดยเริ่มจากการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร (Carbon Footprint & GHG Disclosure) เพื่อให้ทราบว่ามี การปล่อยทางใดมากน้อยเพียงใด แล้วจึงทำการตั้งเป้าหมายในการลดก๊าซเรือนกระจก (GHG Targets) โดยพิจารณาตามนัยสำคัญ หลังจากนั้นจึงดำเนินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Reductions) เพื่อให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด

รูปที่ 2.13-10 การวัด Carbon Footprint นั้นเป็นการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจาก ผลิตภัณฑ์ (CFP) จากองค์กร (CFO) จากบุคคล หรือจากบริการ ว่ามีมากน้อยเท่าใดก่อนดำเนินการลด

รูปที่ 2.13-11 คาร์บอนฟุตพริ้นสำหรับองค์กร (CFO : Carbon Footprint for Organization) หมายถึงมาตรฐานการประเมินปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ซึ่งมีการแบ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็น 3 Scope คือ Scope 1.การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง จากกิจกรรมการเผาไหม้โดยตรง การรั่วไหล และอื่นๆ Scope 2.การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม จากกิจกรรมนำเข้าพลังงานมาใช้ในองค์กร เช่น พลังงานไฟฟ้า ไอน้ำ น้ำเย็น อากาศอัด เป็นต้น และ Scope 3.การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ จากกิจกรรมการจ้างเหมาหรือนอกขอบเขตองค์กร ในส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์(CFP : Carbon Footprint of Products) หมายถึงมาตรฐานการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการแบ่งขั้นตอนการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ 1.การจัดหาวัตถุดิบ 2.การผลิต 3.การกระจายสินค้า 4.การใช้งาน/บริโภค และ 5.การจัดการของเสียหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.13-2 คาดการณ์อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกตั้งแต่ปี 2022 ถึงปี 2100 ในกรณีที่มีการดำเนินการต่างๆ



รูปที่ 2.13-3 ผลกระทบจากการที่อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกสูงขึ้น 1.5 °C และ 2.0 °C



รูปที่ 2.13-4 ความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อธุรกิจ (จากสื่อ TGO 4.0)

นายกฯ กล่าวถ้อยแถลงในการประชุม COP26 พลิกโฉมประเทศไทย เพื่อมุ่งสู่สังคมคาร์บอนต่ำ

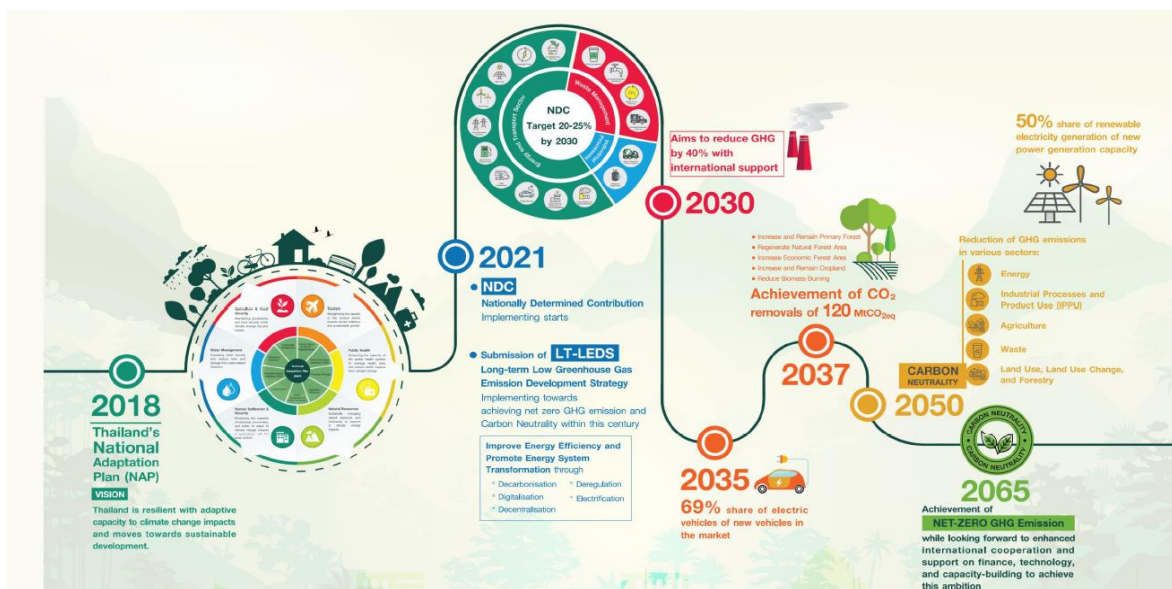
“ประเทศไทยจะยกระดับการแก้ไขปัญหาภูมิอากาศอย่างเต็มที่
และด้วยทุกวิถีทาง เพื่อให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมาย
ความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี 2050 และบรรลุเป้าหมาย
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ได้ในปี 2065
และด้วยการสนับสนุนทางด้านการเงินและเทคโนโลยีอย่างเต็มที่
และเท่าเทียม รวมถึงการเสริมสร้างขีดความสามารถ
จากความร่วมมือระหว่างประเทศ และกลไกภายใต้กรอบอนุสัญญา
พรมันใจว่าประเทศไทยจะสามารถยกระดับ NDC ของเราขึ้นเป็น
ร้อยละ 40 ได้ ซึ่งจะทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิของไทย
เป็นศูนย์ได้ภายในปี 2050 **”**



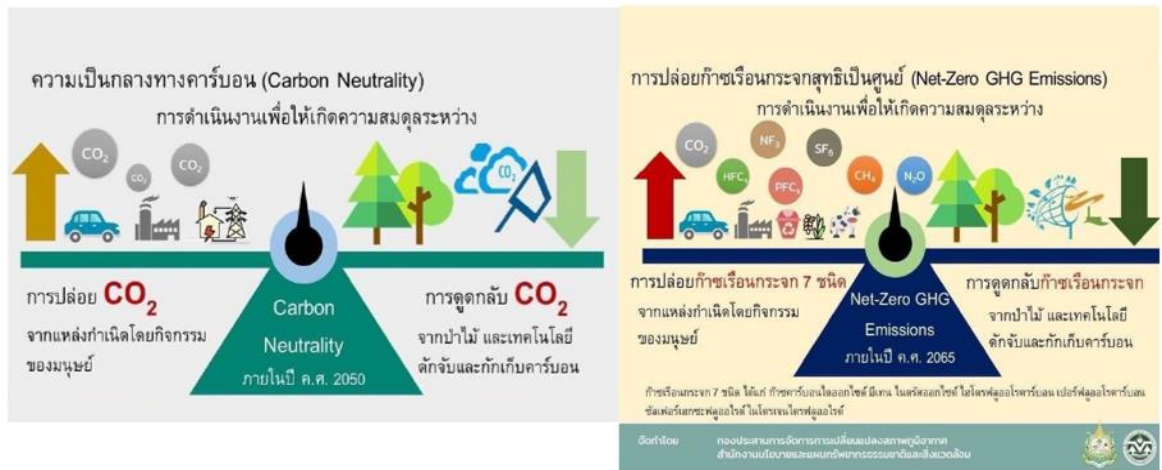
พลเอก ประยุทธ์ จันทร์โอชา
กล่าวถ้อยแถลงในการประชุม COP26
เมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2564
ณ เมืองกลาสโกว์ สหราชอาณาจักร



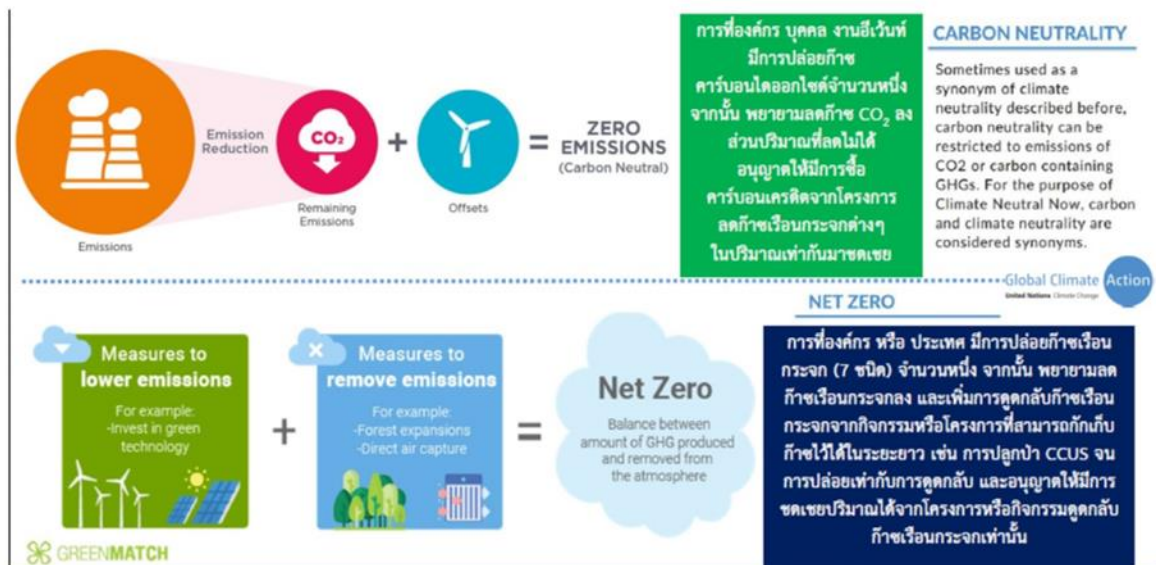
รูปที่ 2.13-5 นายกรัฐมนตรี กล่าวถ้อยแถลงในการประชุม COP26 (จากสื่อ TGO 4.0)



รูปที่ 2.13-6 แผนการลดก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ตั้งแต่ปี 2018 ถึง 2065 (จากสื่อ TGO 4.0)



รูปที่ 2.13-7 ความแตกต่างระหว่าง Carbon Neutrality และ Net-Zero GHG Emission ในระดับประเทศ (จากสื่อ TGO 4.0)



รูปที่ 2.13-8 ความแตกต่างระหว่าง Carbon Neutrality และ Net-Zero GHG Emission ในระดับองค์กร (จากสื่อ TGO 4.0)



รูปที่ 2.13-9 การเตรียมความพร้อม ในระดับองค์กร เพื่อมุ่งสู่ Carbon Neutrality/ Net Zero (จากสื่อ TGO 4.0)

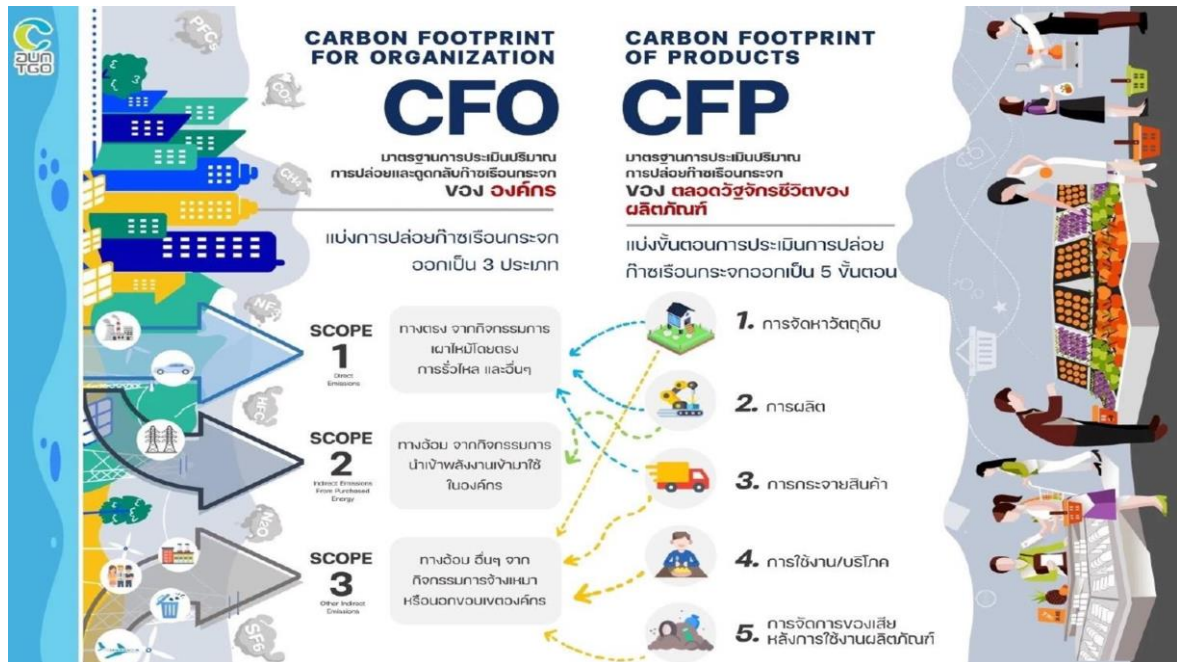


ประโยชน์ของ CF

- 1) ทราบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่างๆ
- 2) สามารถจำแนกสาเหตุของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญและหาแนวทางเพื่อลดขนาดของคาร์บอนฟุตพริ้นท์
- 3) เกิดการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อสนับสนุนนโยบายและเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก



รูปที่ 2.13-10 การวัด Carbon Footprint (จากสื่อ TGO 4.0)



รูปที่ 2.13-11 ความแตกต่างระหว่าง CFO และ CFP

2.13.1 การใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน (Heat Pump for Process Heating)

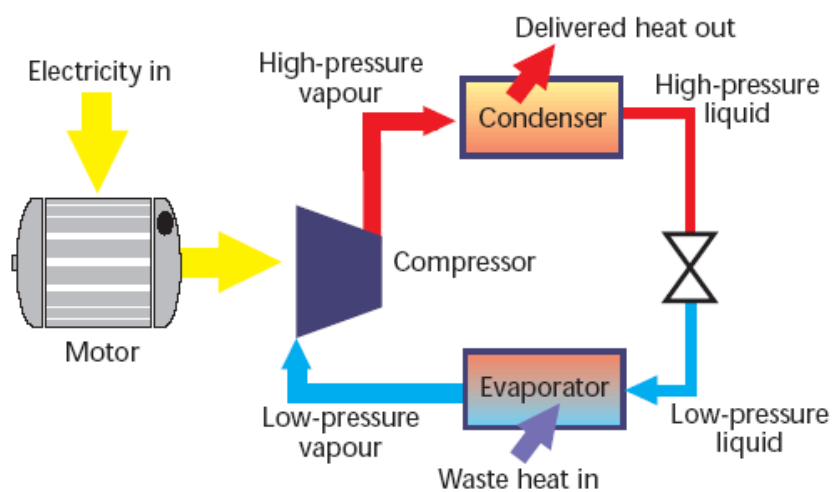
1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

ปั๊มความร้อน คืออะไร

ปั๊มความร้อน เป็นระบบที่มีวัฏจักรการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่รู้จักกันว่า Carnot Cycle ซึ่งดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อน หรือกล่าวอย่างง่ายก็คือการปั๊มความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งนั่นเอง วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Mechanical Vapour Compression System) ต่างกันเพียงแต่ปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากด้านความร้อนเป็นหลักและควบคุมอุณหภูมิด้านความร้อนแทนด้านความเย็น

ส่วนประกอบการทำงานหลักของปั๊มความร้อน ประกอบด้วย

- อีวาพอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากภายนอกเข้าสู่วงจรปั๊มความร้อน โดยสารทำความเย็นที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกจะดึงความร้อนจากภายนอกและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ
- คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่เพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในสถานะไอที่อุณหภูมิต่ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าภายนอกและส่งต่อไปที่คอนเดนเซอร์
- คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำความเย็นที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่ความดันสูงไหลต่อไปยังเอ็กซ์แพนชันวาล์ว
- เอ็กซ์แพนชันวาล์ว ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นเพื่อป้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์



รูปที่ 2.13-12 แสดงวัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน ⁽²⁾

จึงเห็นได้ว่าปั๊มความร้อนจะทำงานโดยใช้การหมุนเวียนของสารทำความเย็นเพื่อพาความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำมาให้แก่ด้านที่ต้องการอุณหภูมิสูงได้ โดยใช้พลังงานจากคอมเพรสเซอร์ ความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อนจึงมีค่าเท่ากับ ความร้อนจากภายนอกผ่านอีวาพอเรเตอร์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์

การประยุกต์ใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อนในกระบวนการผลิต

จากหลักการทำงานของปั๊มความร้อนจะเห็นได้ว่าปั๊มความร้อนสามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ความร้อนในอากาศหรือแหล่งความร้อนสูญเสียซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนตามปกติ มาทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ได้ ในระบบปั๊มความร้อนทั่วไปซึ่งมีค่า COP (Heating) เท่ากับ 3 พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปที่คอมเพรสเซอร์เพียง 1 ส่วนสามารถสร้างความร้อนได้ถึง 3 ส่วน โดยพลังงานความร้อนอีก 2 ส่วนจะดึงมาจากอากาศภายนอกหรือความร้อนสูญเสียจากกระบวนการอื่นได้ ดังนั้นปั๊มความร้อนจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงสำหรับการทำความร้อน ได้แก่ การผลิตน้ำร้อนสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในอาคาร รวมทั้งการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

เทคโนโลยีปั๊มความร้อนสามารถนำมาเปลี่ยนใช้แทนหม้อต้มน้ำหรือหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงหรือไฟฟ้า เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 50 – 60 °C สำหรับกระบวนการผลิตหรือการใช้งานต่างๆในอาคาร และใช้ทดแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ใช้น้ำ หรือไฟฟ้า ในกระบวนการทำความร้อนหรือการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ เช่น พืชผลทางการเกษตร อาหาร ไม้ ที่มีอุณหภูมิไม่สูงนักประมาณไม่เกิน 60 °C ซึ่งเมื่อพิจารณาในแง่ประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การทำงาน (COP) แล้ว ปั๊มความร้อนโดยทั่วไปซึ่งมีค่า COP มากกว่า 3 จึงมีประสิทธิภาพมากกว่าการผลิตความร้อนโดยใช้ก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันที่มีค่า COP ประมาณ 0.75 – 0.95 มาก

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของการใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตความร้อน เปรียบเทียบกับการใช้หม้อต้มน้ำด้วยน้ำมันเตา LPG และไฟฟ้า⁽⁵⁾ ปั๊มความร้อนมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้มากกว่า 60% โดยสามารถประเมินเปรียบเทียบในกรณีการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C จากน้ำดิบอุณหภูมิ 27 °C ปริมาณ 16,000 ลิตรต่อวัน (เทียบเท่าปริมาณการใช้น้ำร้อนสำหรับโรงแรมขนาด 100 ห้อง) ดังนั้นพลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการผลิตน้ำร้อน 448,000 กิโลแคลอรี

ประเภทหม้อต้มน้ำ	ประสิทธิภาพการให้ความร้อน	ปริมาณการใช้พลังงาน (kcal)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
ด้วยน้ำมันเตา	60%	746,666	79 ลิตร/วัน
ด้วยก๊าซ LPG	70%	640,000	53 กก./วัน
ด้วยขดลวดไฟฟ้า	100%	448,000	520 kWh
ด้วยปั๊มความร้อน	300%	149,333	173 kWh

ตารางที่ 2.13-1 แสดงศักยภาพการประหยัดพลังงานของปั๊มความร้อน⁽⁵⁾

กรณี	การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการให้ความร้อน	ปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้
เปลี่ยนจากน้ำมันเตาเป็นปั๊มความร้อน	จาก 60% เป็น 300%	80%
เปลี่ยนจาก LPG เป็นปั๊มความร้อน	จาก 70% เป็น 300%	76%
เปลี่ยนจากขดลวดไฟฟ้าเป็นปั๊มความร้อน	จาก 100% เป็น 300%	66%

นอกจากนี้จากข้อมูลการติดตั้งใช้งานปั๊มความร้อนในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยังแสดงถึงปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้ซึ่งมากกว่า 30% ในหลายๆกระบวนการ⁽²⁾

4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี
เทคโนโลยีปั๊มความร้อนเหมาะสำหรับการใช้ผลิตความร้อน ได้แก่ น้ำร้อน หรืออากาศร้อน สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคาร ในช่วงอุณหภูมิของการทำความร้อนไม่เกิน 60 °C ซึ่งเป็นช่วงที่ปั๊มความร้อนทำงานที่ประสิทธิภาพสูง โดยการผลิตความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้ปั๊มความร้อนมีประสิทธิภาพลดลงมาก รวมทั้งข้อจำกัดของคอมเพรสเซอร์ที่ไม่สามารถทำงานได้อุณหภูมิสูงกว่าช่วง 80 – 90 °C
5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี
กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ ได้แก่ ● โรงงานผลิตอาหารและเครื่องดื่ม ● โรงงานเคมี ● โรงงานสิ่งทอ ● โรงงานผลิตชิ้นส่วนโลหะ ● โรงงานอบแห้งไม้แปรรูป ● อาคารโรงแรม ● อาคารโรงพยาบาล ● ฯลฯ
6. ราคาของเทคโนโลยี
ราคาของระบบปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน จะขึ้นอยู่กับขนาดติดตั้งของระบบและประเภทการติดตั้งใช้งาน โดยจากข้อมูลผู้จำหน่ายระบบ ⁽⁶⁾ และกรณีศึกษาการติดตั้งในประเทศไทย ^{(4) (5)} ค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแบบวงจรปิดจะอยู่ระหว่าง 12,000 – 28,000 บาทต่อกิโลวัตต์ความร้อน หรือ 3,500,000 – 8,200,000 บาทต่อ MMBtu
7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี
จากข้อมูลจากกรณีศึกษาการติดตั้งในประเทศไทย ^{(4) (5) (6)} เทคโนโลยีการใช้ปั๊มความร้อนในการทำความร้อนสามารถให้ผลประโยชน์ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 – 5 ปี ซึ่งในบางกรณีปั๊มความร้อนอาจให้ระยะเวลาคืนทุนไม่ถึง 1 ปี
8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
เทคโนโลยีปั๊มความร้อนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำอยู่ในระดับเดียวกับระบบเครื่องปรับอากาศทั่วไป
9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย
จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. ประมาณการว่ามีการนำเทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวไปประยุกต์ใช้แล้วกับสถานประกอบการประมาณไม่เกิน 4% ของจำนวนสถานประกอบการที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้ (ประมาณ 100 แห่งจาก 2,741 แห่ง)
โดยเมื่อพิจารณาถึงกลุ่มเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ ในกลุ่มอุตสาหกรรมและอาคารที่มีศักยภาพแล้วพบว่าเทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 9,797 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศในปี 2549 ⁽⁷⁾ และจากการประมาณการในกรณีที่ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 19,594 ล้านบาท

10. ตัวอย่างกรณีศึกษา⁽³⁾

กรณีศึกษา:	โรงแรม The Royal City
ประเภทอาคาร:	โรงแรมขนาดห้องพัก 400 ห้อง
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนแทนการใช้หม้อไอน้ำเดิมซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง
เงินลงทุน:	1,120,000 บาท (ระบบปั๊มความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 5.25 kW ซึ่งมีอัตราการทำน้ำร้อนได้ 861 ลิตรต่อชั่วโมง รองรับการใช้น้ำร้อนได้ 20,000 ลิตรต่อวัน ทำงานร่วมกับถังเก็บน้ำร้อนขนาด 13,000 ลิตร จำนวน 2 ถัง)
ผลประหยัดพลังงาน:	น้ำมันเตา 70,273 ลิตร/ปี (2,795 GJ/ปี) ใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 37,405 kWh/ปี (135 GJ/ปี)
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	517,412 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-
ระยะเวลาคืนทุน:	2.16 ปี
กรณีศึกษา:	โรงแรม Mike
ประเภทอาคาร:	โรงแรมขนาดห้องพัก 110 ห้อง
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนแทนการใช้หม้อทำน้ำร้อนเดิมซึ่งใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง
เงินลงทุน:	557,000 บาท (ระบบปั๊มความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 11 kW ซึ่งมีอัตราการทำน้ำร้อนได้ 1,200 ลิตรต่อชั่วโมง พร้อมถังเก็บน้ำร้อนขนาด 3,000 ลิตร)
ผลประหยัดพลังงาน:	LPG 17,520 kg/ปี (880 GJ/ปี) ใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 54,073 kWh/ปี (195 GJ/ปี)
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	131,351 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-
ระยะเวลาคืนทุน:	4.24 ปี
กรณีศึกษา:	จากกรายงาน Energy Audit โรงงานประกอบรถยนต์
ประเภทอาคาร:	โรงงานประกอบรถยนต์
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนแทนการใช้หม้อไอน้ำเดิมซึ่งใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง
เงินลงทุน:	420,000 บาท (ระบบปั๊มความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 7.8 kW ซึ่งมีอัตราการทำน้ำร้อนได้ 700 ลิตรต่อชั่วโมง)
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	180,181 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-
ระยะเวลาคืนทุน:	2.32 ปี

11. แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- (1) Energy Efficiency: A Guide to Current and Emerging Technologies, Volume 2 Part 8 Chapter 3: Heat Pump and Related Plant, Centre for Advanced Engineering, New Zealand, 1996.
- (2) Industrial Heat Pump, A Means to Mitigate Global Industrial Emissions, Heat Pump Programme, IEA, OECD, 1995.
- (3) Industrial Heat Pumps for Steam and Fuel Savings, Industrial Technologies Program, U.S. Department of Energy, 2003.
- (4) กรณีศึกษา 017 การใช้ปั๊มความร้อน (Heat Pump), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547

- (5) รายงานโครงการส่งเสริมการใช้ Heat Pump ในสถานประกอบการโรงแรม, มูลนิธิสถาบันประสิทธิภาพพลังงาน (ประเทศไทย)
- (6) การใช้ปั๊มความร้อนในขบวนการทางอุตสาหกรรม, นายปรเมธ ประเสริฐยิ่ง วก.485
- (7) รายงานพลังงานของประเทศไทยปี 2549, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

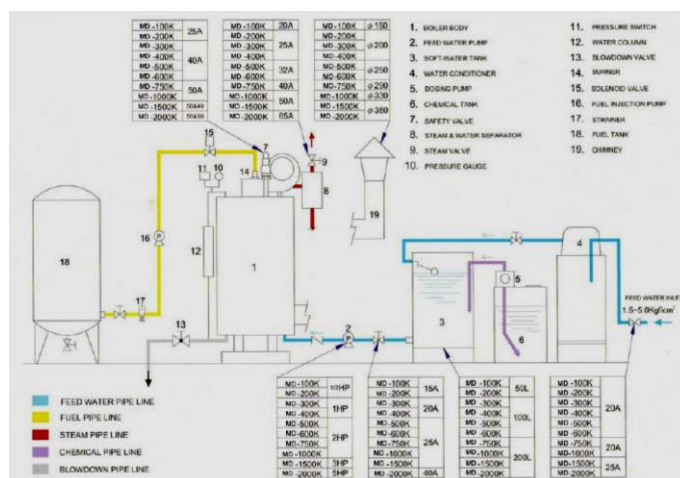
2.13.2 หม้อไอน้ำแบบ Once-Through

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

หม้อไอน้ำแบบ Once-Through มักจะมีโครงสร้างง่ายๆ มีน้ำอยู่ในท่อ โดยมีท่อขดเป็นคอยล์หรืออาจจะเป็นท่อตรง มีปริมาณน้ำน้อย ทำให้การระเหยกลายเป็นไอน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว รวกับว่าน้ำที่ป้อนเข้ามาแล้วระเหยไปทันที จึงได้ตั้งชื่อเรียกหม้อไอน้ำแบบนี้ว่า Once-Through Boiler หม้อไอน้ำชนิดนี้ เข้าใจว่ามีถิ่นกำเนิดจากสหรัฐอเมริกา แต่ปรากฏว่าได้ถูกพัฒนาและนิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่น โดยในปี พ.ศ. 2498 ญี่ปุ่น ได้สั่งหม้อไอน้ำชนิด Single-Tube Type Steam Generators จากสหรัฐฯ และได้พัฒนาต่อ จากนั้นมา การควบคุมมาตรฐานของหม้อไอน้ำขนาดเล็กในญี่ปุ่นไม่ได้ขึ้นอยู่กับ JIS Code แต่ขึ้นอยู่กับ The Safety Rule of Boiler and Pressure Chamber รวมทั้ง Structural Code ทั้งนี้ เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน ซึ่งกฎดังกล่าวได้ครอบคลุมถึง Small-Sized and Once-Through Type Boilers ด้วยสาเหตุที่ทำให้หม้อไอน้ำแบบ Once-Through เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากว่าไม่จำเป็นต้องมีผู้ควบคุมหม้อไอน้ำที่รับใบอนุญาตและได้รับการยกเว้นไม่ต้องมีการตรวจสอบประจำปีถ้าหากหม้อไอน้ำดังกล่าวสร้างขึ้นและใช้งานในลักษณะดังนี้

1. เป็นแบบท่อน้ำ
 2. พื้นผิวรับความร้อนน้อยกว่า 10 ตารางเมตร
 3. ความดันใช้งานสูงสุด 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ตัวอย่างข้อมูลของหม้อไอน้ำแบบ Once-Through ขนาดเล็กมีดังนี้

- อัตราการระเหยเทียบเท่า: 40 - 2,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
- ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ: สูงกว่า 87%
- เชื้อเพลิงที่ใช้ได้: ก๊าซ น้ำมันก๊าด น้ำมันเตา
- ระบบควบคุม: อัตโนมัติทั้งหมด



รูปที่ 2.13-13 ระบบการทำงานของหม้อไอน้ำแบบ Once-Through

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

เนื่องจากประสิทธิภาพของหม้อน้ำแบบ Once-Through ได้ถูกพัฒนาให้เทียบเท่าหรืออาจจะดีกว่าหม้อน้ำขนาดเล็กกว่า (คือ 3-10 ตันต่อชั่วโมง) จึงได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมด้วย

ข้อดี

- มีขนาดเล็ก ทำให้ประหยัดพื้นที่
- มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากมีแรงดันน้อย
- ใช้งานง่าย เพราะเป็นการควบคุมอัตโนมัติ

ข้อเสีย

- มีแรงดันน้อย ทำให้ใช้งานกับอุปกรณ์ที่มีแรงดันสูงไม่ได้

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

ประสิทธิภาพของหม้อน้ำโดยทั่วไป ผู้ผลิตหม้อน้ำมักจะบ่งบอกประสิทธิภาพหม้อน้ำในขณะที่ใช้งานที่ภาระสูงสุด แต่ในการใช้งานจริง ภาระที่หม้อน้ำประสมมักจะไม่ใช่ภาระสูงสุด วิธีการหนึ่งที่จะทำให้ประสิทธิภาพหม้อน้ำสูงตลอดเวลา สามารถทำได้โดยการใช้หม้อน้ำขนาดเล็กหลายตัว

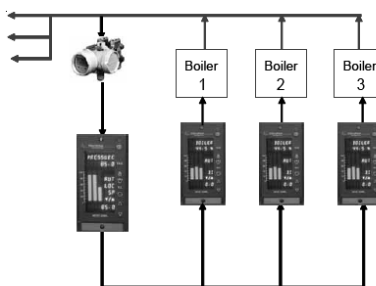
2.13.3 การปรับสมดุลการใช้หม้อน้ำ

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

สำหรับโรงงานที่มีขนาดใหญ่ อาจจะมีมีความจำเป็นต้องใช้หม้อน้ำหลายตัวทำงานร่วมกันโดยต่อร่วมกันแบบขนาน ซึ่งในบางช่วงเวลาที่เครื่องจักรในระบบการผลิตไม่ได้ทำงานเต็มที่ อาจจะมีมีความต้องการไอน้ำไม่สูงมากนัก หม้อน้ำเพียงตัวเดียวก็สามารถผลิตไอน้ำได้มากเพียงพอ แต่โรงงานอาจจะต้องเปิดให้หม้อน้ำทำงานพร้อมกันทั้งหมดตลอดเวลา ซึ่งจะส่งผลให้หม้อน้ำทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ผลิตไอน้ำเกินความจำเป็น และต้องสูญเสียทั้งเชื้อเพลิงและไอน้ำไปโดยเปล่าประโยชน์

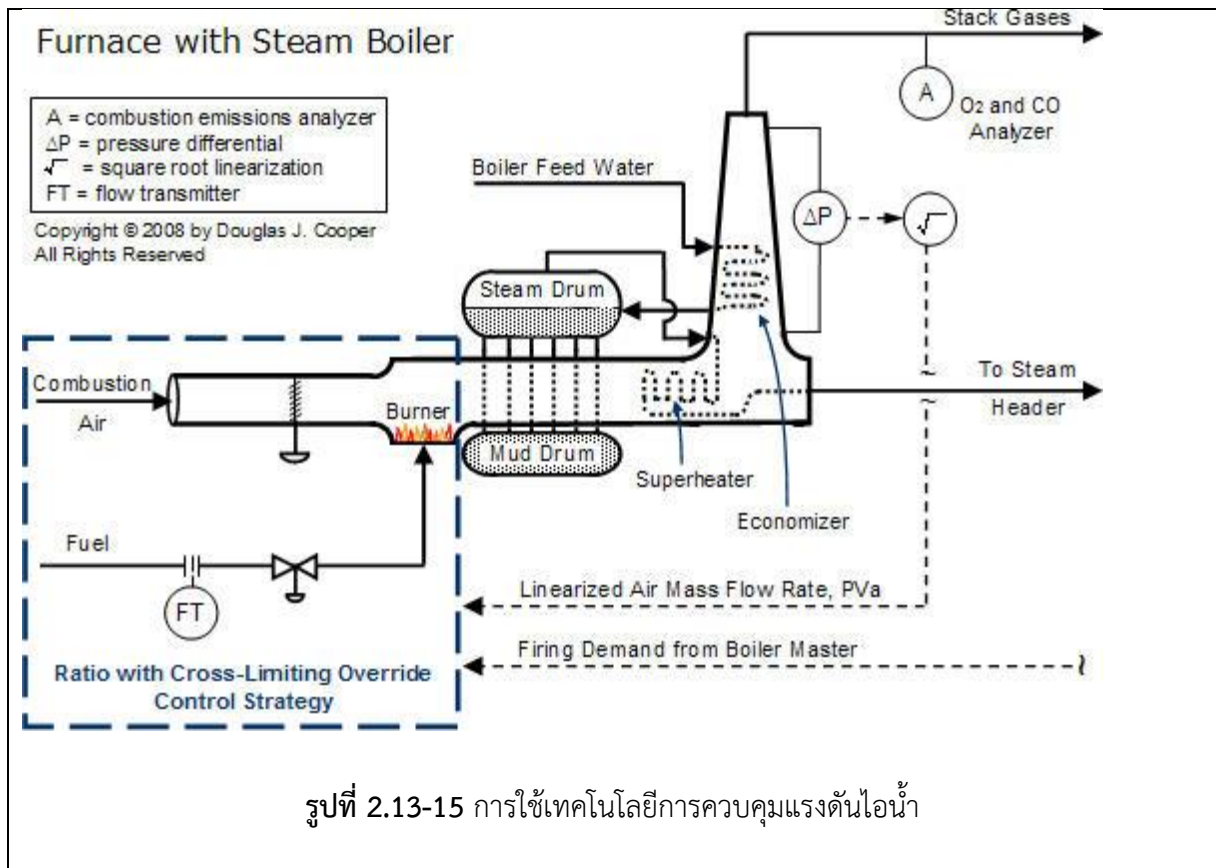
ระบบการปรับสมดุลการใช้หม้อน้ำนั้นจะเข้าไปควบคุมการเริ่มต้นทำงานและการหยุดการทำงานของหม้อน้ำ โดยพิจารณาจากปริมาณไอน้ำที่ต้องการในระบบ และวิเคราะห์จากกำลังของหม้อน้ำแต่ละตัวในระบบ โดยเมื่อมีความต้องการใช้ไอน้ำน้อย ระบบจะสั่งให้หม้อน้ำทำงานเฉพาะเท่าที่จำเป็น จากนั้น เมื่อมีความต้องการมากขึ้น ก็จะสั่งให้หม้อน้ำตัวถัดมาเริ่มทำงาน และปรับกำลังให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จนกระทั่งเมื่อระบบในโรงงานต้องการไอน้ำมากขึ้น ก็จะสั่งให้หม้อน้ำถัดมาทำงาน เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ และเมื่อมีความต้องการใช้ไอน้ำลดลงจนถึงจุดที่ต่ำเพียงพอ ระบบจะตัดสินใจหยุดการทำงานของหม้อน้ำบางตัวลงเพื่อลดการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองได้เอง รวมทั้งสามารถปรับชั่วโมงการทำงานของหม้อน้ำที่มีในโรงงานให้เหมาะสมกันเพื่อยืดอายุการใช้งานของหม้อน้ำได้เอง และหน่วงเวลาการเริ่มทำงานระหว่างหม้อน้ำแต่ละตัวเพื่อช่วยลดเชื้อเพลิงและไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นจากการเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์หลายๆ ตัวพร้อมกันได้อีกด้วย

- แผนผังการใช้งานเทคโนโลยี



รูปที่ 2.13-14 การใช้งานระบบปรับสมดุลช่วยกระจายภาระการทำงานของหม้อน้ำ

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม
จำเป็นต้องมีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดปริมาณการใช้ไอน้ำ อุปกรณ์ควบคุมส่วนกลาง และอุปกรณ์ควบคุมที่หม้อน้ำแต่ละตัว
3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน
ลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและไอน้ำจากการทำงานของหม้อน้ำที่ไม่จำเป็น โดยลดกำลังการผลิตให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และช่วยกระจายภาระการทำงานของหม้อน้ำให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันทุกตัวช่วยให้อุปกรณ์มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น แต่ระบบนี้มักจะสามารถจำกัด โดยสามารถควบคุมหม้อน้ำได้เป็นชุด ชุดละ 3-4 ตัวเท่านั้น หากโรงงานมีหม้อน้ำมากกว่านี้ จะต้องติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นหรือแยกระบบท่อส่งไอน้ำออกจากกัน
2.13.4 ระบบควบคุมแรงดันไอน้ำ
1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี
สำหรับหม้อน้ำที่มีขนาดเล็กระหว่าง 100-300 แรงม้า นั้น ปริมาณการผลิตไอน้ำจะมีผลต่อการทำงานของหม้อน้ำเป็นอย่างมาก ซึ่งในช่วงที่มีความต้องการใช้ไอน้ำมาก แรงดันไอน้ำจะลดต่ำลง และเมื่อหยุดการใช้งานไอน้ำ แรงดันไอน้ำจะเพิ่มขึ้นได้ในเวลาอันสั้น ซึ่งเมื่อไม่มีการควบคุมการผลิตไอน้ำที่เหมาะสม ไอน้ำส่วนเกินจะต้องถูกถ่ายทิ้งไปทางวาล์วระบาย จึงเกิดการสูญเสียโดยไม่จำเป็น จะเห็นได้ว่าโดยปกติแล้วความต้องการไอน้ำสำหรับการใช้ในการผลิตที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจะทำให้แรงดันไอน้ำเปลี่ยนแปลงได้เร็วมาก การใช้วาล์วระบายเป็นตัวควบคุมไม่ให้แรงดันเกินเพียงอย่างเดียวจึงส่งผลให้ บางจังหวะเกิดการผลิตไอน้ำเกินความจำเป็น ดังนั้น หากสามารถลดไอน้ำที่เกินความจำเป็นและปรับปริมาณการผลิตให้เหมาะสมได้ ไอน้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากวาล์วระบายนั้นก็ย่อมลดลงและช่วยประหยัดพลังงานได้ในทางอ้อมเช่นกัน เทคโนโลยีการควบคุมแรงดันไอน้ำนั้นจะอาศัยการวัดแรงดันไอน้ำจากดรัมทางด้านบน โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันเอาไว้ พร้อมทั้งติดตั้งระบบควบคุมแรงดันไอน้ำภายในดรัม เมื่อมีแรงดันไอน้ำใกล้เคียงกับที่ต้องการหรือค่าที่ตั้งเอาไว้แล้ว ระบบควบคุมก็จะเข้าไปสั่งให้มีการจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศให้ลดลงเพื่อลดปริมาณการเผาไหม้ ทำให้ระบบค่อยๆ ลดอัตราการผลิตไอน้ำลงตามไปด้วย โอกาสที่ไอน้ำที่ผลิตมากเกินไป ความต้องการและจำเป็นต้องปล่อยทิ้งไปทางวาล์วระบายจึงลดลง เมื่อมีความต้องการใช้ไอน้ำมากแรงดันไอน้ำที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกับค่าที่กำหนด ระบบควบคุมก็สามารถสั่งให้หม้อน้ำทำงานเต็มกำลัง หม้อน้ำก็จะผลิตไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว จนกระทั่งใกล้ถึงค่าที่กำหนดเอาไว้ก็จะมี การปรับลดอัตราการผลิตลง • แผนผังการใช้งานเทคโนโลยี



2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

จำเป็นต้องมีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดแรงดันไอน้ำที่หม้อน้ำและอุปกรณ์ควบคุมเพื่อปรับปริมาณอากาศและเชื้อเพลิงเพิ่มเติมให้กับระบบ

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

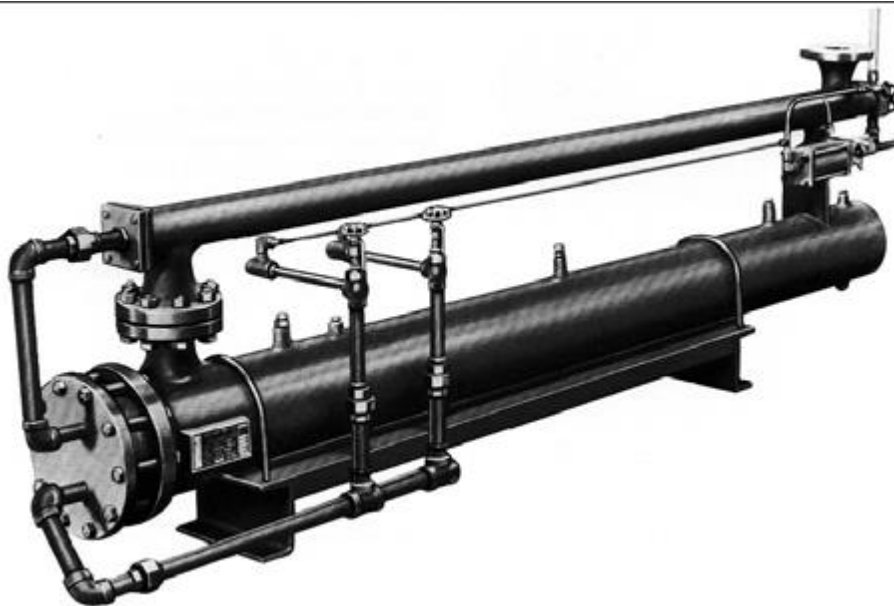
ลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไอน้ำในส่วนที่ไม่จำเป็น เป็นการช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี แต่จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม และหากหม้อน้ำมีขนาดใหญ่อาจจะได้ประโยชน์จากการควบคุมจากส่วนนี้เพียงอย่างเดียว

2.13.5 ระบบควบคุมการระบายน้ำทิ้งของหม้อน้ำ (Blowdown)

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

การระบายน้ำทิ้งหม้อน้ำเป็นระยะขณะเดินเครื่องเป็นการระบายตะกอน ช่วยป้องกันไม่ให้ตะกอนสะสมจนท่วมห้องเผาไหม้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุการเกิดการบวมของห้องเผาไหม้ นอกจากนี้ การระบายน้ำทิ้งที่มีสารละลายเข้มข้นในหม้อน้ำออกในปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้เราสามารถควบคุมสารละลายในน้ำหม้อน้ำให้มีค่าคงที่อยู่ในระดับที่ใช้งาน และไม่มีปัญหาเรื่องการเดือดพล่านและการกัดกร่อนเกิดขึ้นภายในหม้อน้ำ การปล่อยน้ำในหม้อน้ำออกมาขณะมีความดันใช้งานจะมีไอน้ำพ่นออกมาแรงและเสียงดังมากซึ่งอาจเกิดอันตรายได้ ดังนั้น การปล่อยน้ำทิ้งหม้อน้ำโดยผ่านถังแยกน้ำจะช่วยลดความรุนแรงและเก็บเสียงได้อันตรายจะหมดไป เพราะมีการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำที่ปล่อยออกมา ทำให้น้ำร้อนถูกทิ้งลงทางด้านล่างในแนวตั้ง ส่วนไอน้ำแฟลชที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยทิ้งออกทางด้านบนสู่ภายนอกจากการระบายน้ำทิ้งหม้อน้ำทิ้งเป็นระยะแล้ว อีกวิธีหนึ่งจะเป็นการปล่อยน้ำในหม้อน้ำทิ้งแบบต่อเนื่อง (Continuous Blowdown) การควบคุมความเข้มข้นของสารละลายในหม้อน้ำโดยวิธีปล่อยน้ำทิ้งทางวาล์วได้หม้อน้ำจะเก็บความร้อนจากน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ไม่ได้เพราะน้ำทิ้งมีตะกอนมาก จะทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอุดตันได้ ดังนั้น ในทาง

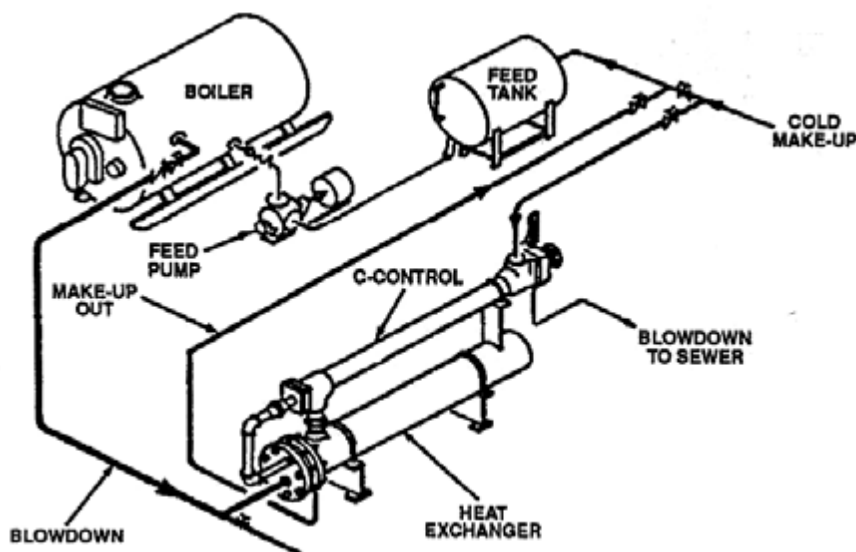
ปฏิบัติจึงปล่อยน้ำทิ้งทางผิวน้ำ (Surface Blowdown) แทน โดยธรรมชาติของน้ำเวลาเดือดกลายเป็นไอน้ำ การระเหยจะเกิดที่ผิวน้ำ ซึ่งช่วงขณะที่น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำจะทิ้งสารละลายไว้ ทำให้บริเวณผิวน้ำมีความเข้มข้นของสารละลายสูงกว่าด้านล่าง ดังนั้น ถ้าต้องการควบคุมสารละลาย การปล่อยน้ำทิ้งด้านผิวน้ำจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด น้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาจะมีตะกอนน้อย สามารถนำความร้อนกลับได้ง่าย น้ำที่ปล่อยทิ้งจะควบคุมอัตราการไหลได้ด้วยการทรีวาล์ว ความร้อนจากน้ำทิ้งสามารถนำมาให้ความร้อนแก่น้ำป้อนได้โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดังรูป เทคโนโลยี Automatic Blowdown Control System เป็นระบบที่หาความเหมาะสมของการระบายน้ำทิ้งโดยการปล่อยน้ำทิ้งที่เที่ยงตรง มีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณ TDS ปริมาณซิลิกา ฯลฯ โดยที่ระบบควบคุมจะเป็นตัวควบคุมการเปิดปิดวาล์วของน้ำโบล์ดาวน์



รูปที่ 2.13-16 อุปกรณ์เก็บความร้อนกลับจากน้ำระบายทิ้ง

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

การติดตั้ง Automatic Blowdown Control System จะต้องมีกรติดตั้งชุดควบคุมเพิ่ม



รูปที่ 2.13-17 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บความร้อนกลับจากการโบล์ดาวน์

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

จากตารางแสดงพลังงานที่นำกลับมาใช้ได้จากการโบลว์ดาวน์ แสดงให้เห็นถึงค่าความร้อนที่นำกลับมาใช้ได้จากการโบลว์ดาวน์ โดยนำน้ำที่ได้จากการโบลว์ดาวน์ไปผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อไปอุ่นน้ำที่จะป้อนให้กับหม้อน้ำ ยิ่งอัตราการโบลว์ดาวน์เพิ่มขึ้น ค่าความร้อนที่นำกลับมาใช้ได้อีกจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย หม้อน้ำที่มีการติดตั้งเทคโนโลยี Automatic blowdown control system แล้วจะมีการลดลงของอัตราการโบลว์ดาวน์ซึ่งทุก 100,000 lb/hr หม้อน้ำจะมีการลดอัตราการโบลว์ดาวน์ลงจาก 8% เหลือ 6% และอัตราการป้อนน้ำให้หม้อน้ำจะลดลงประมาณ 2,300 lb/hr

ตาราง พลังงานที่นำกลับมาใช้ได้จากการโบลว์ดาวน์

Recoverable Heat from Boiler Blowdown					
Blowdown	Heat Recovered, Million Btu per hour (MMBtu/hr)				
Rate, % Boiler	Steam Pressure , psig				
Feedwater	50	100	150	250	300
2	0.45	0.5	0.55	0.65	0.65
4	0.9	1.0	1.1	1.3	1.3
6	1.3	1.5	1.7	1.9	2.0
8	1.7	2.0	2.2	2.6	2.7
10	2.2	2.5	2.8	3.2	3.3
20	4.4	5.0	5.6	6.4	6.6

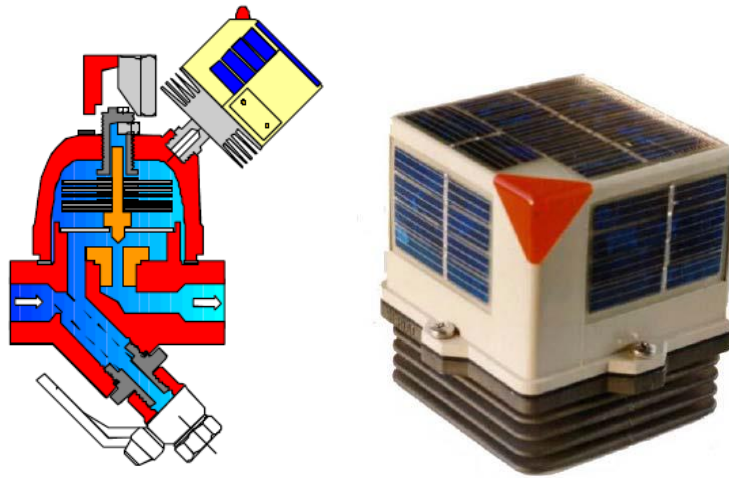
2.13.6 กับดักไอน้ำแบบแฉ่งเตียนอัตโนมัติ

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

กับดักไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ขาดไม่ได้ในระบบไอน้ำ เพราะจะช่วยแยกระหว่างไอน้ำกับน้ำที่ควบแน่นออกจากกัน โดยจะทำหน้าที่ปิดกั้นไม่ให้ไอน้ำผ่าน แต่จะปล่อยให้ น้ำที่ควบแน่นแล้วผ่านไป ได้ ซึ่งสามารถต่อท่อน้ำย้อนกลับเข้าสู่ระบบใหม่ได้เช่นกัน แต่เนื่องจากกับดักไอน้ำในระบบมีเป็นจำนวนมากและบ่อยครั้งที่ขาดการดูแลรักษาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ไม่ทราบว่ากับดักไอน้ำบางตัวเกิดความเสียหายขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยตรง การตรวจสอบกับดักไอน้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญข้อหนึ่งที่มีมักจะถูกละเลยไป โดยอาจจะต้องรอถึงช่วงเวลาบำรุงรักษาประจำปีจึงจะได้มีการตรวจสอบ ซึ่งทำให้โรงงานสูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์แล้วเป็นปริมาณมาก

เทคโนโลยี Intelligent Autonomous Steam Trap นั้นจะช่วยให้กับดักไอน้ำสามารถตรวจสอบตัวเองได้โดยอัตโนมัติ และสามารถแจ้งเตือนให้ผู้ให้ทราบได้ทันทีที่เกิดปัญหา โดยปัญหามักจะเกิดขึ้นได้สองกรณี คือ ปิดสนิท ไม่สามารถเปิดทั้งน้ำที่ควบแน่นได้ และรั่ว ทำให้น้ำไหลผ่านออกมาได้ ซึ่งในกรณีแรกจะทำให้มีน้ำควบแน่นที่กับดักไอน้ำเป็นปริมาณมากและไอน้ำไม่สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ได้ ส่วนกรณีที่สองนั้น ไอน้ำจะถูกปล่อยทิ้งออกไป โดย IAST นั้นจะติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดเสียงความถี่สูง และใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งสะสมเอาไว้ด้วยแบตเตอรี่ภายในตัว หากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าปกติ เช่น ต่ำกว่า 60°C แสดงว่ามีน้ำค้างอยู่ภายใน และหากสามารถจับเสียงความถี่สูงได้ แสดงว่ามีไอน้ำรั่วไหล ซึ่งไม่ว่าจะเป็นกรณีใดก็ตาม หากว่าเซ็นเซอร์อ่านค่าได้ต่างจากค่าปกติที่กำหนดเอาไว้ อุปกรณ์จะแจ้งเตือนให้ผู้

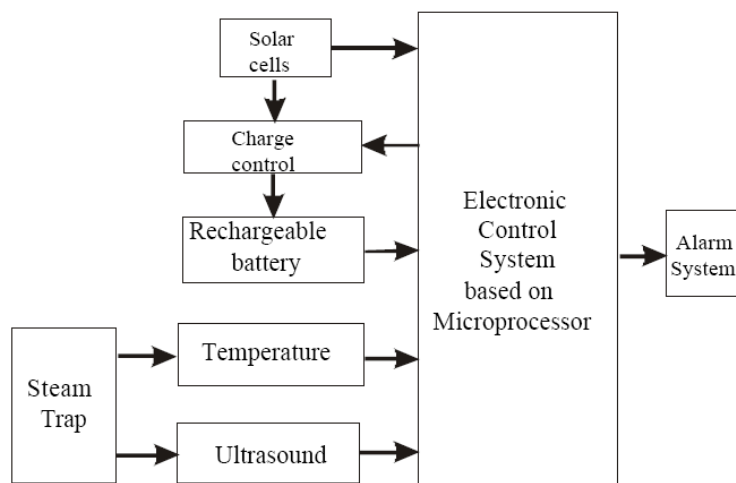
ทราบโดยเป็นไฟกระพริบเพื่อบอกสถานะว่ากับดักไอน้ำดังกล่าวเสียหายและจำเป็นต้องเปลี่ยนตัวใหม่ ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนได้ทันที จึงลดการรั่วไหลและสูญเสียพลังงานได้



รูปที่ 2.13-18 กับดักไอน้ำแบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

เปลี่ยนเข้าไปติดตั้งแทนกับดักไอน้ำเดิมได้ทันที



รูปที่ 2.13-19 แผนผังการใช้งานกับดักไอน้ำแบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

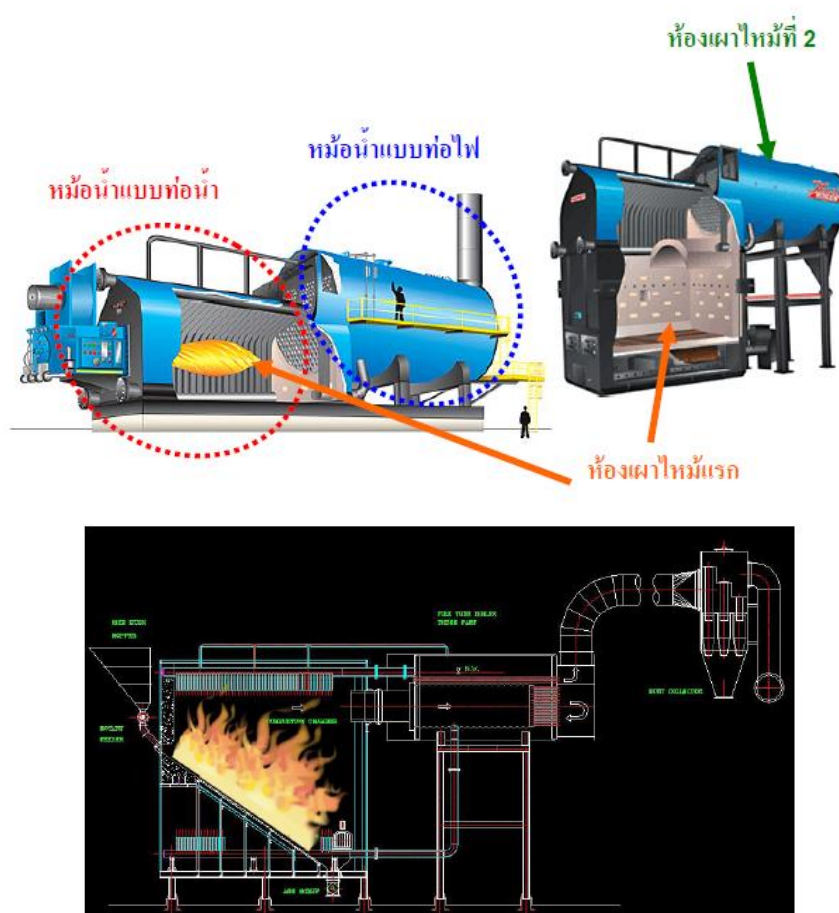
ลดการสูญเสียไอน้ำจากการรั่วไหลของไอน้ำจากกับดักไอน้ำ รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในกรณีที่กับดักไอน้ำปิดถาวรได้จากการแจ้งเตือน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถเปลี่ยนอุปกรณ์ได้ทันทีที่ทราบปัญหา แต่จำเป็นต้องเปลี่ยนกับดักไอน้ำใหม่เป็นรุ่นที่รองรับอุปกรณ์หรือเพื่อให้สามารถติดตั้งอุปกรณ์ได้

2.13.7 หม้อน้ำลูกผสม

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

หม้อน้ำที่ออกแบบห้องเผาไหม้เป็นลูกผสมระหว่างหม้อน้ำแบบท่อน้ำกับท่อไฟรวมอยู่ในตัวเดียวกัน เรียกว่า หม้อน้ำลูกผสม (Hybrid Boiler or Composite Boiler) สามารถเผาเชื้อเพลิงสองชนิดที่แตกต่างกันได้ ปกติจะใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงหรือความร้อนที่จะต้องทิ้ง (Waste Heat) และเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนที่เป็นปิโตรเลียม ของเสียจากการผลิตหรือเชื้อเพลิงแข็งจะเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แรก และความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะผ่านไปยังห้องเผาไหม้ที่สอง ซึ่งเชื้อเพลิงปกติจะเผาต่อ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบเช่นกัน เช่น อาจออกแบบให้ก๊าซร้อนจากห้องเผาไหม้แรกสามารถผ่านพื้นผิวถ่ายเทความร้อนไปได้บางส่วนก่อนเข้าไปห้องเผาไหม้ที่สอง หรืออีกทางหนึ่ง ก๊าซร้อนอาจผ่านเข้าหม้อน้ำโดยตรงหลังจากเผาไหม้สมบูรณ์แล้ว

ปัจจุบันนิยมนำของเสียจากอุตสาหกรรมหรือพาณิชย์กรรมมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพราะได้ประโยชน์มากกว่า การที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพื่อนำไปกำจัดทิ้ง โดยการนำเตาเผาขยะ (Incinerator) มาต่อพ่วงกับหม้อน้ำ ความร้อนทิ้ง (Waste Heat Boiler) แต่ระบบนำความร้อนกลับนั้นมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นในระยะแรก หม้อน้ำแบบลูกผสมจึงถูกออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในปัจจุบันได้มีการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์หม้อน้ำแบบลูกผสมให้มีประสิทธิภาพสูงและสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิดพร้อมกัน รวมทั้งของเสียจากอุตสาหกรรมหรือพาณิชย์กรรมก็นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ด้วย ซึ่งขณะนี้ในประเทศไทยได้เริ่มมีการนำหม้อน้ำแบบลูกผสมมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้น



รูปที่ 2.13-20 การทำงานของระบบหม้อน้ำแบบลูกผสม (Hybrid Boiler)

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายชนิดโดยเฉพาะเชื้อเพลิงแข็ง ชีวมวล รวมทั้งขยะและของเสียจากอุตสาหกรรมหรือพาณิชย์กรรมก็นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ด้วย

2.13.8 Coal Water Mixture (CWM)

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

Coal Water Mixture (CWM) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Coal Water Slurry (CWS) หรือ Coal Water Fuel (CWF) คือ เชื้อเพลิงเหลวชนิดหนึ่งซึ่งได้จากการผสมน้ำกับถ่านหินที่บดจนได้ขนาดและเติมสารเติมแต่ง (Additives) ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ สารตัวกระจาย (Dispersant) และสารคงสภาพ (Stabilizer) เพื่อให้อนุภาคถ่านหินสามารถแขวนลอยอยู่ในของเหลวได้โดยไม่ตกตะกอน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาสำหรับหม้อน้ำอุตสาหกรรมหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งอาจเป็นการเผาพร้อมกับถ่านหินบดละเอียด (Pulverized Coal) เพื่อควบคุมการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ให้อยู่ในระดับที่มาตรฐานกำหนด CWM ถือว่าเป็นเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด (Clean Coal Technology) เนื่องจากสามารถช่วยลดมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินตั้งแต่ขั้นตอนการขนส่งการจัดเก็บ การเผาไหม้ และการปลดปล่อยก๊าซไอเสีย

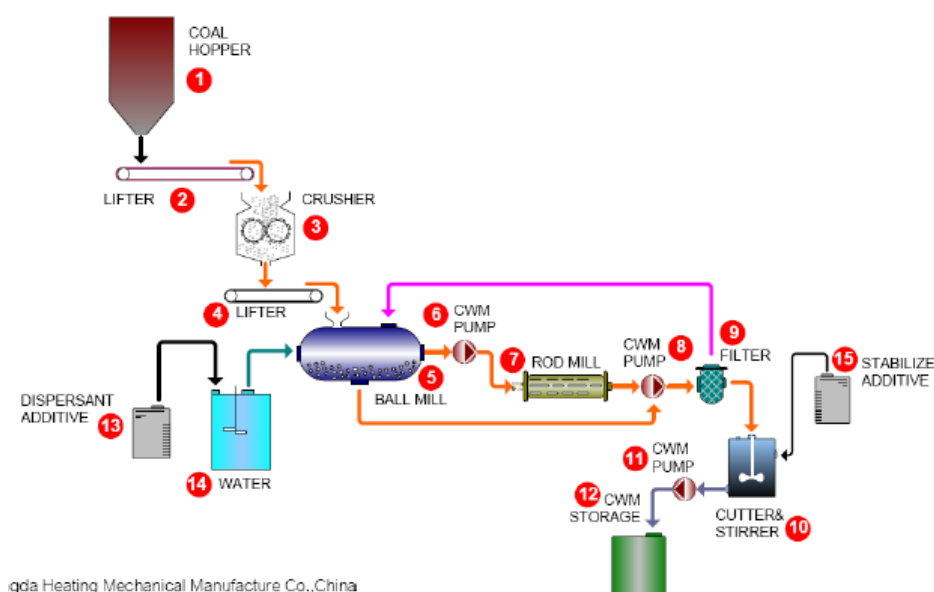
CWM ต่างจากเชื้อเพลิงเหลวชนิดอื่น เนื่องจากมีองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้ (Noncombustible Content) สูงกว่า และมีค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักต่ำกว่าน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติ ดังนั้น เมื่อใช้ CWM กับระบบที่ถูกออกแบบมาสำหรับใช้เชื้อเพลิงคุณภาพสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเป็นหม้อน้ำขนาดเล็ก ก็จะต้องลดสมรรถนะของหม้อน้ำลงเพื่อไม่ให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ลดลงมากเกินไป ทั้งนี้สาเหตุสำคัญของการลดสมรรถนะของหม้อน้ำเกิดจากปัจจัยหลัก คือ

1. เมื่อใช้ CMW เป็นเชื้อเพลิง ระยะเวลาสำหรับการเผาคาร์บอนในเตาเผา (Residence Time) จะสั้นเกินไป จึงทำให้ต้องลดสมรรถนะในการเผาไหม้ลง
2. ต้องการเพิ่มเวลาเพื่อให้อนุภาคของเถ้าและละอองต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้เย็นลงก่อนที่จะเข้าสู่ส่วนถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน (Convection Section) เพื่อป้องกันการเกาะตัวของเถ้า (Fouling)
3. หากทำการเผา CWM ตามสมรรถนะของหม้อน้ำ ความเร็วของอากาศร้อนจากการเผาไหม้ที่เข้าสู่ส่วนถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนอาจสูงมาก และเป็นสาเหตุให้เกิดการสีกกร่อนหรือการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อน้ำ (Water Tube) ไม่มีประสิทธิภาพ จึงต้องลดอัตราการเผาไหม้ลง

ตารางที่ 2.13-2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง CWM

Coal concentration (wt%)	68-70
Higher heating value (kcal/kg)	5,000-5,200
Lower heating value (kcal/kg)	4,600-4,800
Apparent consistency (mPa-s)	1,000
Specific gravity	1.25
Ash content (wt%)	6
Sulfur content (wt%)	0.2
Grain of 200 mesh or less (%)	80-85





รูปที่ 2.13-21 เชื้อเพลิงหม่อน้ำชนิด Coal Water Mixture (CWM)

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

ในกรณีของหม่อน้ำที่ออกแบบมาสำหรับใช้เผาถ่านหิน หรือถ่านหินร่วมกับเชื้อเพลิงอื่นๆ สามารถใช้ CWM เป็นเชื้อเพลิงได้โดยทำการปรับปรุงย่อย (Minor Modification) ที่หัวเผาและ Atomizer ในกรณีของหม่อน้ำที่ออกแบบมาสำหรับใช้เผาเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซจะต้องทำการปรับปรุงใหญ่ (Major Modification) เพื่อให้จัดการกับเถ้าที่เกิดขึ้น เช่น ถังรับเถ้า Soot Blower เพื่อทำความสะอาดด้านในของ หม่อน้ำและระบบ Bag Filter ร่วมกับส่วนที่ระบุก่อนหน้านี้ ได้แก่ หัวเผาและ Atomizer ด้วย

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

ประโยชน์ ข้อดี และข้อเสียของเทคโนโลยี

ข้อดี

- นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาได้
- เป็นเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด ช่วยลดมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิงถ่าน

ข้อเสีย

- ต้องมีการปรับปรุงอุปกรณ์ของหม่อน้ำบางส่วน
- ต้องลดสมรรถนะของหม่อน้ำลงเพื่อไม่ให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ลดลงมากเกินไป
- เนื่องจาก CWM เป็นเชื้อเพลิงที่มีอนุภาคของแข็งอยู่ในของเหลว ซึ่งเมื่อไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ปัม วาล์ว ระบบหัวเผาเชื้อเพลิง ก็จะทำให้เกิดการสึกกร่อนขึ้นอย่างรวดเร็วหากไม่ได้มีการป้องกันไว้

2.13.9 การใช้อุปกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Contact Catalyst

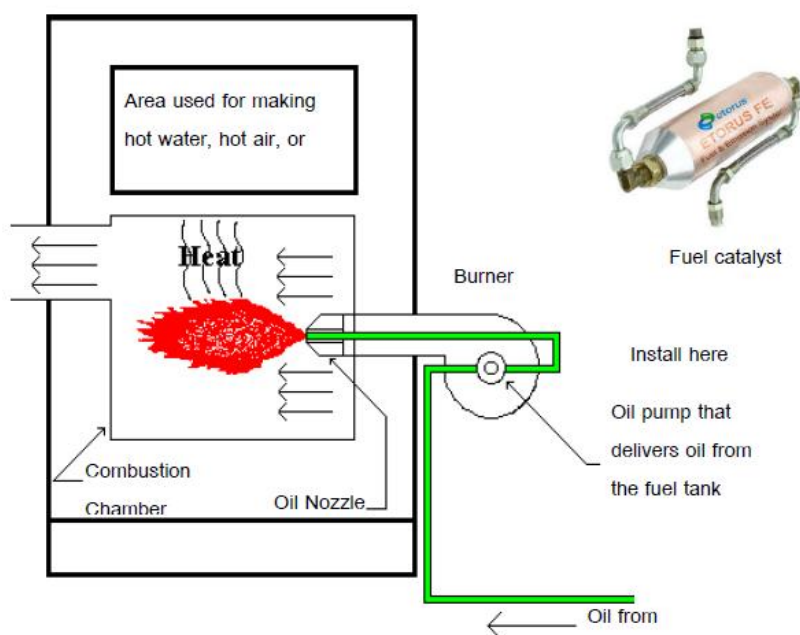
1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

อุปกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Contact catalyst มีหลักการทำงานบนพื้นฐานของโลหะ Catalyst โดย กระบวนการไฮโดรแครกกิง หมายถึง กระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกย่อยของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงให้มีโครงสร้างที่เล็กลง มีผลทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น (โมเลกุล ของน้ำมันเชื้อเพลิงมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับออกซิเจนได้เพิ่มขึ้น) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการแครกกิงของ สารไฮโดรคาร์บอนโดยทั่วไปผลิตจากสารซีโอไลท์ (เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างประกอบด้วยอะลูมิเนียม ออกไซด์และซิลิกาออกไซด์) โดยที่มีการเติมออกไซด์ของโลหะแรร์เอิร์ธไปบนผิวของซีโอไลท์ ซึ่งออกไซด์

ของโลหะแร่เอิร์ธจะเป็นตัวควบคุมและป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียอุณหภูมิในซีโอไลต์ และยังทำให้การเป็นกรดของซีโอไลต์สูงขึ้น กระบวนการแตกกิ่งที่เกิดจากตัวเร่งปฏิกิริยามักจะเกิดควบคู่กับกระบวนการดีไฮโดรจิเนชัน (หมายถึง กระบวนการที่ไฮโดรเจนอะตอมถูกดึงออกมาจากโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทำให้เกิดสารประกอบอัลคีน)

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

เป็นอุปกรณ์ใช้กับน้ำมันเชื้อเพลิง โดยปลายข้างหนึ่งต่อเข้ากับท่อน้ำมัน ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งต่อเข้ากับท่อน้ำมันที่ทางเข้าของหัวเผาของหม้อน้ำ



รูปที่ 2.13-22 อุปกรณ์เร่งปฏิกิริยาแบบ Contact catalyst เพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

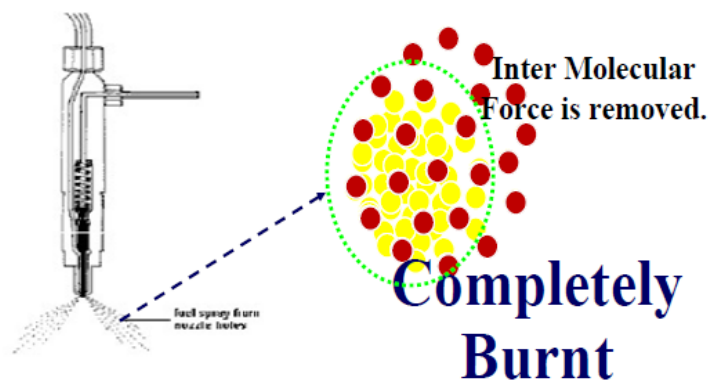
ประโยชน์และข้อดี

- ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น
- อัตราการใช้เชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยลดลง 5-15%
- อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง 10-30%

2.13.10 การใช้สารลดแรงยึดเหนี่ยวโมเลกุล

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

การเติมสารลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเข้าไปในน้ำมันเชื้อเพลิงช่วยให้การเผาไหม้ของน้ำมันมากขึ้น ทำให้การสันดาปได้พลังงานเต็มที่ เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ (Fuel Cluster) ดังนั้น เมื่อเติมสารเพื่อลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจะทำให้เกิดการแยกตัวเป็นโมเลกุลเดี่ยวๆ มากขึ้น มีโอกาสเกิดการสันดาปสูงขึ้น การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น



รูปที่ 2.13-23 การแตกตัวและลดการรวมกลุ่มของโมเลกุล

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

เทคโนโลยีนี้ไม่ต้องทำการปรับปรุงอุปกรณ์ใดเพิ่มเติม สามารถที่จะดำเนินการได้โดยเติมสารเคมีลงในเชื้อเพลิง

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

ประโยชน์และข้อดี

- เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ช่วยให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์
- ลดมลพิษและลดค่าใช้จ่ายทางด้านการกำจัดมลภาวะ
- ลดค่าใช้จ่ายต้นทุนน้ำมันได้ประมาณ 10-30%

2.13.11 หัวเผาเม็ดพลาสติก

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

หัวเผาชนิดเชื้อเพลิงพลาสติก คือ หัวเผาที่ออกแบบมาให้สามารถใช้เชื้อเพลิงของแข็งประเภทเม็ดพลาสติกได้ ซึ่งเม็ดพลาสติกเป็นแหล่งเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนที่ได้จากขยะพลาสติก เป็นทางเลือกที่น่าสนใจในสถานะที่น้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้นอย่างมาก อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกที่มากขึ้นทุกวัน หัวเผาทำงานโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงก่อนประมาณ 15 นาที จากนั้นจึงป้อนเม็ดพลาสติกเข้าสู่ห้องเผาไหม้ซึ่งใช้ความร้อนเปลี่ยนเม็ดพลาสติกให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) เมื่อผสมกับอากาศที่ป้อนเข้ามาจึงเกิดการเผาไหม้ขึ้น เม็ดพลาสติกโดยทั่วไปมีความร้อนใกล้เคียงกับก๊าซหุงต้ม (LPG) แต่ราคาเม็ดพลาสติกที่ปริมาณเท่ากันจะมีราคาถูกกว่าครึ่งหนึ่ง ทำให้ประหยัดค่าเชื้อเพลิงลงได้อย่างชัดเจน ส่วนผลกระทบจากการเผาไหม้เม็ดพลาสติก พบว่า ประสิทธิภาพของการเผาไหม้โดยใช้หัวเผานี้สูงถึง 90% เพราะองค์ประกอบของพลาสติกเป็นไฮโดรคาร์บอนเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้มีปริมาณของมลพิษเป็นไปตามเกณฑ์ของกฎหมาย ในการเผาไหม้จะมีปริมาณเถ้าประมาณ 100 กรัมต่อเม็ดพลาสติก 40 กิโลกรัม



รูปที่ 2.13-24 หัวเผาชนิดเชื้อเพลิงพลาสติก

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

การติดตั้งหัวเผาเชื้อเพลิงพลาสติกทำได้โดยการเปลี่ยนหัวเผาเท่านั้น โดยกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ ได้แก่

- อุตสาหกรรมอาหาร
- อุตสาหกรรมสิ่งทอ และภาคบริการ เช่น โรงแรม

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

หัวเผาชนิดเชื้อเพลิงพลาสติกที่ใช้เชื้อเพลิงพลังงานทดแทนที่ได้จากขยะพลาสติกเป็นทางเลือกที่น่าสนใจทางหนึ่ง เพราะมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง และไม่มีผลกระทบเนื่องจากมลพิษ ที่สำคัญราคาเม็ดพลาสติกที่ได้จากขยะพลาสติกมีราคาถูกกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นมาก

ตาราง ค่าความร้อนและราคาของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

ประเภทเชื้อเพลิง	น้ำมันเตา	น้ำมันดีเซล	เม็ดเชื้อเพลิงพลาสติก (kg)	ก๊าซ LPG	RDF (kg)	RPF (kg) มีพลาสติกอยู่ 60%
ค่าความร้อน (Cal/kg)	9,900	8,600	11,000-11,500	10,500-12,000	4,000-5,000	มากกว่า 6,000
ราคาต่อหน่วย (ขายส่ง)	15.90	24.37	9.50	12.45		
ราคาต่อหน่วย (ขายปลีก)	19.05	27.34	9.50	16.81		

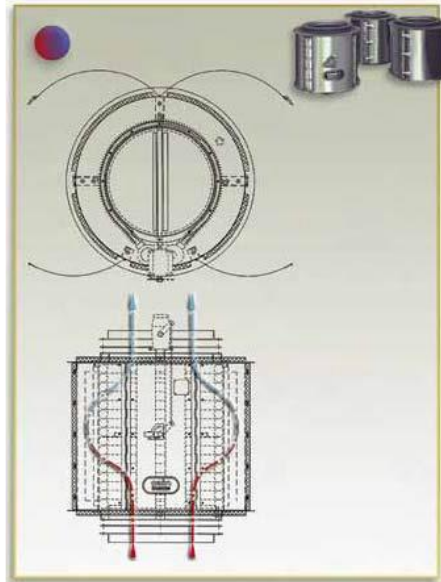
2.13.12 เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบ Tube & Fin

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

หลักการทำงานของ Economizer แบบ Tube & Fin จะประกอบด้วยท่อตัดและเพิ่มครีบเพื่อเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนจากปล่องไอเสียสู่น้ำป้อนที่จะวิ่งผ่าน Economizer เพื่อรับความร้อนจากไอเสียก่อนเข้าหม้อน้ำ ไอเสียเมื่อวิ่งผ่านครีบท่อจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำป้อนโดยที่น้ำป้อนวิ่งอยู่ภายในท่อ

Economizer แบบ Tube & Fin นี้จะมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบท่อกลม (Cylindrical Economizer) และแบบท่อสี่เหลี่ยม (Rectangular Economizer)

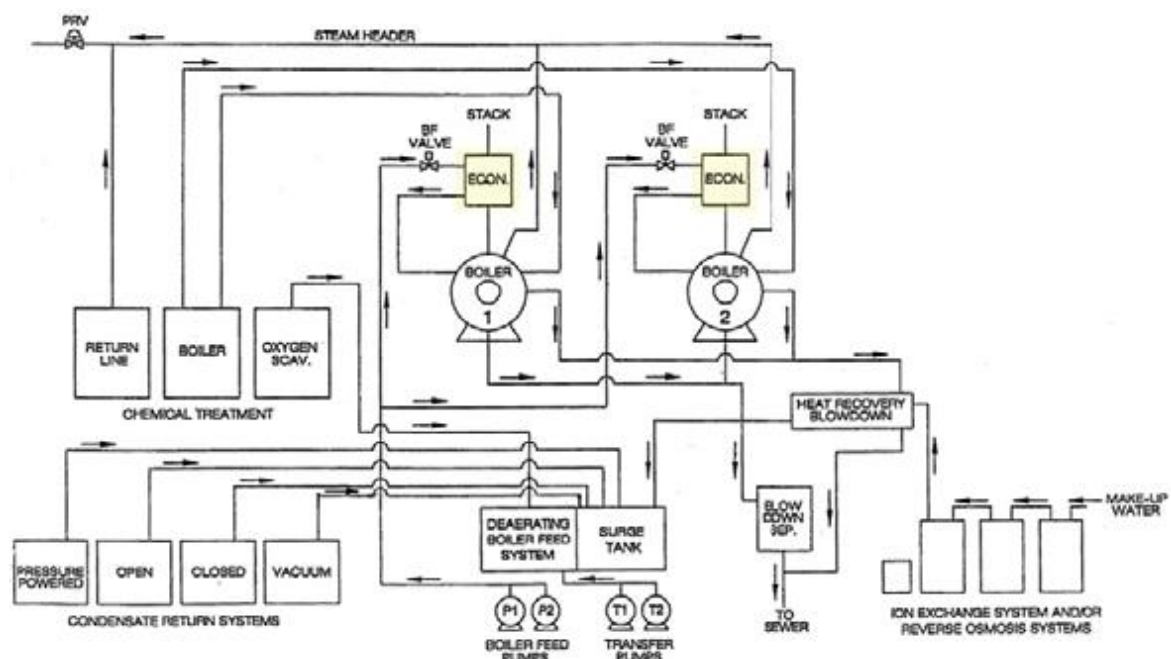
แบบท่อกลม หมายถึง ลักษณะของการวางท่อน้ำจะวางวนรอบเป็นวงกลมล้อมรอบปล่องไอเสีย ทำให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาแบบท่อสี่เหลี่ยม หมายถึง ลักษณะของการวางท่อน้ำจะวางวนรอบปล่องไอเสียเป็นแบบสี่เหลี่ยม ทำให้มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนมากกว่าแบบท่อกลม แต่ก็มีข้อเสีย คือ จะมีน้ำหนักมากกว่า



รูปที่ 2.13-25 Economizer แบบท่อกลม (Cylindrical Economizer)

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

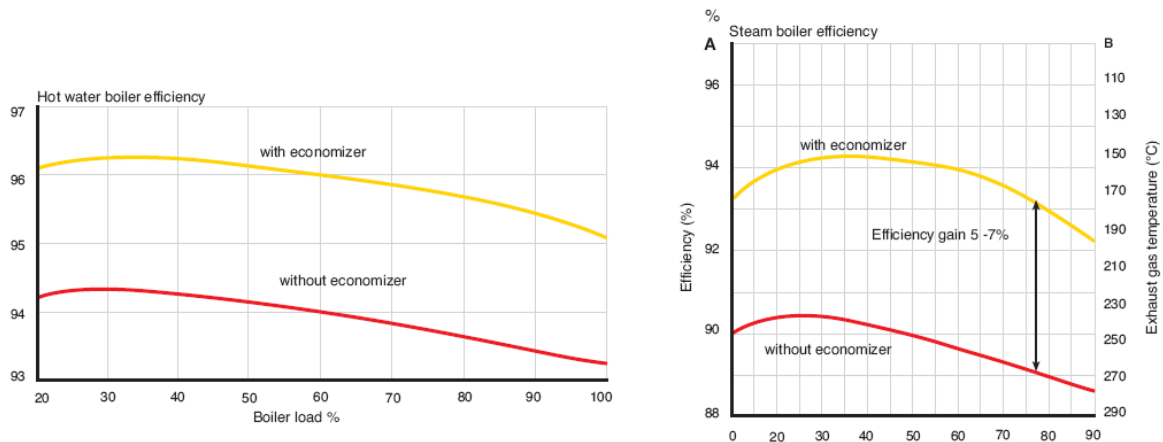
การติดตั้ง Economizer แบบ Tube & Fin จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม คือ จะต้องติดตั้งปั๊ม เติมน้ำ และตัดแปลงปล่องเพื่อติดตั้งตัว Economizer



รูปที่ 2.13-26 การประยุกต์ใช้ Economizer แบบ Tube & Fin

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

การติดตั้ง Economizer จะทำให้ประสิทธิภาพรวมของระบบเพิ่มขึ้นประมาณ 5-7% ขึ้นอยู่กับชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ ขนาดหม้อน้ำ และสภาพการใช้งานของเครื่อง เทคโนโลยีนี้มีระยะเวลาในการคืนทุนสั้นประมาณ 6 เดือนถึง 3 ปี

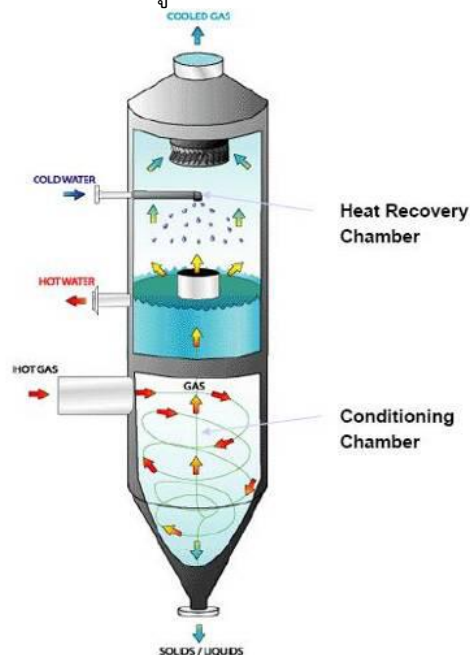


รูปที่ 2.13-27 ประสิทธิภาพของหม้อน้ำเมื่อทำการติดตั้ง Economizer

2.13.13 เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบสัมผัสตรง

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

หลักการทำงานของ Economizer แบบสัมผัสตรงนั้นเป็นการนำเอาแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้เข้าไปผ่านกระบวนการแยกของแข็ง (Cyclone) ให้ออกจากแก๊สภายในถังแรงดัน หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้วจะเหลือแต่แก๊ส และจะนำแก๊สนี้ไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำโดยตรง หลังจากสิ้นสุดกระบวนการจะได้อากาศที่เย็นและน้ำที่ร้อน ซึ่งอากาศที่เย็นจะถูกปล่อยทิ้งออกไป ส่วนน้ำที่ร้อนจะถูกส่งไปยังหม้อต้มน้ำ

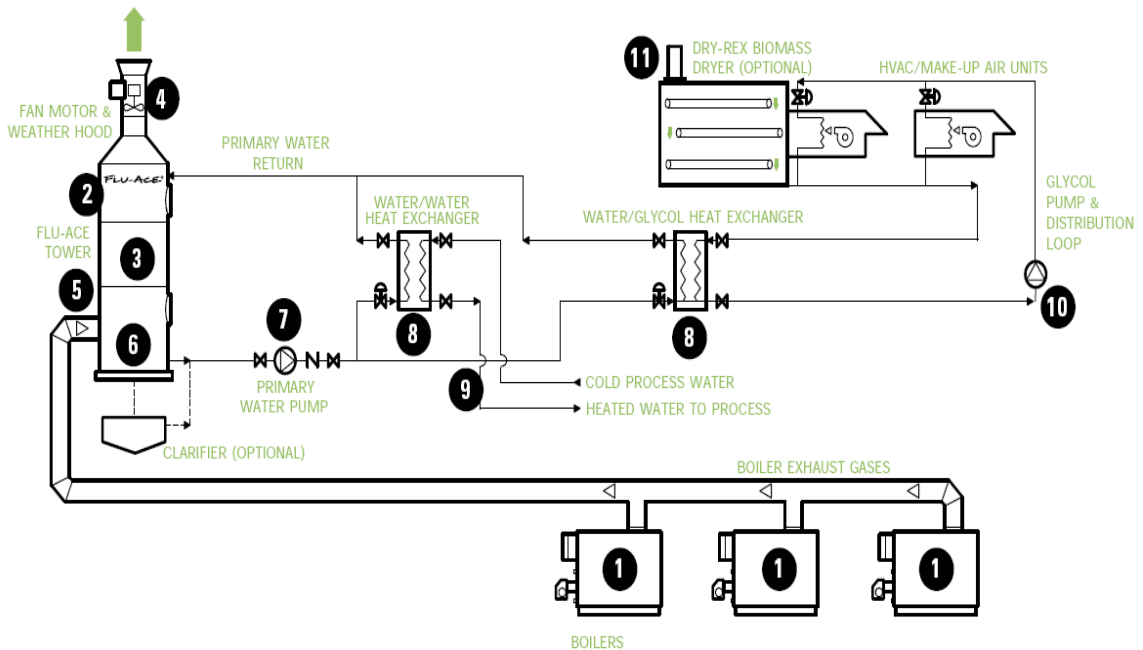


รูปที่ 2.13-28 เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบสัมผัสตรง

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

อุปกรณ์และการปรับปรุง

- Pressure Vessel
- Pump
- Blower



รูปที่ 2.13-29 การใช้งาน Economizer แบบสัมผัสตรง

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

ประโยชน์ ข้อดี และข้อเสียของเทคโนโลยี

ข้อดี

- ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงมาก และความดันสูญเสียทางด้านไอเสียต่ำ
- ลดมลภาวะของอากาศ เช่น แก๊สเรือนกระจก
- มีการคืนทุนเร็ว 1-3 ปี

ข้อเสีย

- น้ำที่ส่งไปยังหม้อน้ำมีคุณภาพด้อยลง
- มีการกัดกร่อนโลหะ

การใช้เทคโนโลยี Economizer แบบสัมผัสตรงสามารถทำให้ประหยัดพลังงานได้ 15-35% การคืนทุน 1-3 ปี

สรุปเนื้อหาวิชา

1. หน้าที่ของหม้อไอน้ำ
มีหน้าที่ในการผลิตไอน้ำให้ได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการเพื่อจ่ายไปยังกระบวนการผลิตภายในโรงงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร
2. ระบบไอน้ำประกอบด้วยระบบย่อยๆ ได้แก่
(1) หม้อไอน้ำ (2) ระบบส่งจ่ายไอน้ำ (3) ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น (คอนเดนเสท) และ (4) อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ (ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง)
3. หม้อไอน้ำที่ใช้งานอยู่สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ
3.1 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water-tube Boiler) หม้อไอน้ำชนิดนี้น้ำจะถูกบรรจุและไหลอยู่ในท่อโดยเปลวไฟหรือก๊าซร้อนจะเคลื่อนที่อยู่ที่รอบท่อ 3.2 หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire-tube or Shell Boiler) หม้อไอน้ำชนิดนี้ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ในท่อซึ่งจมอยู่ในน้ำ โดยที่น้ำจะอยู่นอกท่อ (ระหว่างเปลือกหม้อไอน้ำและท่อ) ของหม้อไอน้ำ 3.3 หม้อไอน้ำชนิดไหลผ่าน (Once Through Boiler) ในกรณีที่มีภาระไอน้ำน้อยไม่ต่อเนื่องและต้องการไอน้ำเร็วควรเลือกใช้หม้อไอน้ำชนิดไหลผ่าน (Steam Generator or Once through Boiler) ซึ่งเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ
4. หน้าที่และชนิดหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ
หัวเผาเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้อากาศทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงได้ดีที่สุดเพื่อให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด โดยหัวเผาแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิงได้ดังนี้
4.1 การเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ 1) แบบผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนป้อนเข้าเผาไหม้ (Pre-mix Burner) 2) แบบผสมกันภายในหัวเผา (Nozzle-mix Burner)
4.2 การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ 1) แบบใช้ความดันน้ำมัน (Pressure Atomized) 2) แบบใช้น้ำหรืออากาศ (Steam or Air Atomized) 3) แบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน (Rotary Cup)
5. จัดแบ่งหัวเผาตามลักษณะการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพดีที่สุดได้ดังนี้
5.1 หัวเผาแบบเผาต่อเนื่อง (Modulating Burners) หัวเผาแบบนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา 5.2 หัวเผาแบบไฟสูง-ต่ำ (High/Low-Fire Burners) หัวเผาแบบนี้สามารถป้อนเชื้อเพลิงด้วยอัตราคงที่ 2 ระดับ คือ ไฟสูง (High Fire) และไฟต่ำ (Low Fire) ซึ่งหัวเผาลักษณะนี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก หัวเผาแบบไฟติด-ต่อ (Constant-Fire or ON-OFF Burners) หัวเผาแบบนี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำคงที่ เมื่อความดันไอน้ำเกินกว่าที่ตั้งไว้หัวเผาก็จะตัด (OFF) การป้อนเชื้อเพลิง และหากความดันต่ำกว่าที่ตั้งไว้หัวเผาก็จะต่อ (ON) การป้อนเชื้อเพลิง

6. ค่าเทิร์นดาวน์เรโซ

ค่าเทิร์นดาวน์เรโซ เป็นค่าที่แสดงถึง อัตราส่วนระหว่างอัตราการเผาไหม้สูงสุด (Maximum Firing Rate) และอัตราการเผาไหม้ต่ำสุด (Minimum Firing Rate) โดยที่ประสิทธิภาพการเผาไหม้ยังดีเช่นเดิม ดังนั้น หัวเผาที่มีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ 10:1 จะสามารถลดการผลิตไอน้ำลงเหลือ 10% ของกำลังผลิตไอน้ำสูงสุด โดยที่หม้อไอน้ำไม่มีการตัดการเผาไหม้

7. การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงที่ติดไฟยากและมีปัญหาในการจัดการค่อนข้างมาก เช่น ปัญหาในการขนย้าย ปัญหาพื้นที่ในการเก็บ และปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เตาเผาที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งานกับเชื้อเพลิงในแต่ละประเภท ซึ่งระบบการเผาไหม้ของเตาเผาที่ใช้อยู่ทั่วไปมี 5 ระบบ ได้แก่

7.1 ระบบการป้อนเชื้อเพลิงด้วยคน (Manual Feed)

ต้องอาศัยคนงานที่มีความชำนาญในการกระจายเชื้อเพลิงให้ทั่วสม่ำเสมอบนตะแกรงเตาไฟ อากาศที่ใช้สำหรับเผาไหม้จะถูกส่งจากใต้เตาเหนือตะแกรงเตาไฟ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของระบบนี้ค่อนข้างต่ำ

7.2 ระบบสโตเกอร์ (Stoker Feed)

เป็นระบบที่ป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาโดยอาศัยเครื่องกล ข้อดีของระบบนี้คือ มีราคาถูก และสามารถออกแบบให้ใช้กับเชื้อเพลิงแข็งหลายชนิด โดยระบบนี้สามารถแบ่งตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงได้เป็น 2 ชนิด คือ

(ก) ระบบสโตเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน (Overfeed Stoker)

(ข) ระบบสโตเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง (Underfeed Stoker)

7.3 ระบบพัลเวอร์ไรซ์ (Pulverised)

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเตาระบบพัลเวอร์ไรซ์จะเกิดขึ้นขณะที่เชื้อเพลิงลอยอยู่ ดังนั้นเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาแบบนี้จะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะลอยอยู่ในอากาศภายในเตา อากาศส่วนแรกจะถูกอุ่นก่อนส่งเข้าเตาเพื่อใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงในขณะที่ยังอยู่ในเตา ส่วนที่สองถูกส่งเข้าเตาโดยตรง

7.4 ระบบไซโคลน (Cyclone)

เตาเผาแบบนี้เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าเตาเผาโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงเช่นเดียวกับระบบพัลเวอร์ไรซ์ แต่ไม่จำเป็นต้องบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการบดเชื้อเพลิงลงได้ การเผาไหม้ในระบบไซโคลนจะใช้หัวเผาแบบ Horizontal water-cooled ขนาดเล็ก ทำให้เตาเผาแบบนี้มีขนาดเล็กกว่าเตาเผาแบบพัลเวอร์ไรซ์

7.5 ระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed)

อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิง และเมื่อเพิ่มค่าความเร็วของอากาศถึงค่าหนึ่งเชื้อเพลิงจะลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายของไหล การเผาไหม้จะเกิดขึ้นทั่ว ๆ บริเวณเตา โดยปกติจะใส่สารเฉื่อย (Inert Material) เช่น หินทราย หรือ สารที่ทำปฏิกิริยา (Reaction Material) เช่น หินปูน (Limestone) หรือตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะช่วยในด้านการถ่ายเทความร้อนและช่วยทำความสะอาดภายในเตาระบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้

8. การเผาไหม้ คือ

กระบวนการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนทำให้เกิดความร้อนออกมา องค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมี โดยองค์ประกอบทั้งหมดนี้ต้องเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจึงจะทำให้เกิดการเผาไหม้

9. ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่แตกต่างกันโดย เชื้อเพลิงแข็งมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ 75-85% เชื้อเพลิงเหลว 80-85% และเชื้อเพลิงก๊าซ 80-90 % ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงเหลวต่ำกว่าเชื้อเพลิงก๊าซ

10. อากาศส่วนเกิน (Excess Air)			
การเผาไหม้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดต้องการปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มากกว่าทางทฤษฎีไม่เท่ากัน เพื่อให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุด			
เชื้อเพลิง	อากาศส่วนเกิน (%)	O ₂ ในก๊าซไอเสีย (%)	CO ₂ ในก๊าซไอเสีย (%)
ก๊าซ	5-15	1-2	9-10
เหลว	15-20	3-4	12-14
แข็ง	15-60	7-10	12-13
11. การระบายน้ำจากหม้อไอน้ำ (โบลว์ดาวน์)			
เมื่อน้ำถูกผลิตเป็นไอน้ำแล้ว ความเข้มข้นของสารเจือปนเหล่านี้จะสูงขึ้นและเกิดการตกตะกอน/ตกผลึก ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อการลดลงของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและคุณภาพของไอน้ำ รวมถึงความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จึงต้องปล่อยน้ำทิ้งบางส่วนเพื่อควบคุมความเข้มข้นของน้ำในหม้อไอน้ำ การโบลว์ดาวน์มากเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลงและสิ้นเปลืองน้ำ และหากระบายน้อยเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนเกาะผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงและอาจเกิดการเดือดอย่างรุนแรงของน้ำ ทำให้ไอน้ำเปื้อกและอาจนำมาซึ่งความเสียหายของระบบท่อน้ำ			
11.1 การระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ			
1) การระบายน้ำจากด้านล่างหม้อไอน้ำ (Bottom Blowdown) เพื่อระบายตะกอนโคลนที่สะสมบริเวณก้นหม้อไอน้ำทิ้ง			
2) การระบายน้ำจากด้านบนหม้อไอน้ำ (Surface Blowdown) เพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายและสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ			
11.2 การควบคุมการระบายน้ำแบ่งได้ 2 แบบ			
1 แบบเป็นครั้งคราว โดยผู้ใช้หม้อไอน้ำจะเปิดวาล์วระบายหลายๆ ครั้ง ครั้งละสั้นๆ			
2 แบบต่อเนื่อง โดยวาล์วระบายน้ำของหม้อไอน้ำจะเปิดหรือปิดเมื่อได้รับสัญญาณเวลาที่ตั้งไว้ (Timer Control) หรือสัญญาณที่ได้จากการวัดสมบัติของน้ำในหม้อไอน้ำ เช่น สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity)			
การพิจารณาว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายเหมาะสมหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากค่า TDS (Total Dissolved Solid) ซึ่งวัดปริมาณสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำของหม้อไอน้ำโดยตรงว่าใน 1 ลิ้นส่วนมีสารแขวนลอยกี่ส่วน (ppm) หรือวัดโดยอ้อมจากค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity) ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (µS/cm) ผู้ใช้หม้อไอน้ำควรควบคุมคุณภาพน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำให้ได้มาตรฐานตามตาราง			
(ความดันไม่เกิน 20 barg : British Standard and JIS)			
รายการ	น้ำป้อน	น้ำในหม้อไอน้ำ	
ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (µS/cm)	<400	ไม่เกิน 7,000	
ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	8.5-9.5	10.8-11.3	
โซเดียมฟอสเฟต (mg/l)	-	50-100	
ซิลิกา (mg/l)	-	ไม่เกิน 120-150	
ความกระด้าง (ppm)	ค่าเข้าใกล้ 0	0	

12. กับดักไอน้ำ (Steam Trap) คือ

วาล์วอัตโนมัติที่ทำหน้าที่แยกน้ำที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำหรือเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำออกไปจากระบบ เพื่อป้องกันการอุดตันตัวของน้ำ (Water Locked) ส่งผลให้อุปกรณ์ไม่ร้อน (ร้อนช้า) หรือทำอุณหภูมิไม่ได้และอาจนำไปสู่การเกิดแรงกระแทกอย่างรุนแรง หรือปรากฏการณ์ “ค้อนน้ำ” (Water Hammer) ซึ่ง กับดักไอน้ำยังมีหน้าที่ในการระบายก๊าซและอากาศออกจากระบบโดยไม่เกิดการสูญเสียไอน้ำ ก๊าซและอากาศเหล่านั้นสามารถแทนที่ไอน้ำ ซึ่งทำให้ความสามารถในการพาความร้อนลดลงและยังกั้นไม่ให้ไอน้ำไปถึงพื้นผิวถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตด้วย และในกรณีที่เลวร้ายที่สุดก็คือ ท่อหรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์เกิดอากาศอัด (Air Locked) ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไม่ได้ ซึ่งแม้แต่ไอน้ำควบแน่นก็ไม่สามารถออกไปได้

13. ประเภทของกับดักไอน้ำ

กับดักไอน้ำสามารถแบ่งตามหลักการทำงานหรือตามโครงสร้างทางกลไกของอุปกรณ์ภายในออกเป็น 4 กลุ่ม

13.1 กับดักไอน้ำทำงานโดยความร้อน (Thermostatic Trap)

กับดักไอน้ำกลุ่มนี้ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิของไอน้ำและของคอนเดนเสทเป็นตัวทำให้วาล์วเปิดและปิด คอนเดนเสทจะต้องเย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิไอน้ำก่อนที่จะถูกปล่อยออกจากกับดักไอน้ำ ซึ่งกับดักไอน้ำกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น

- แบบสมดุลความดัน (Balanced Pressure Type)
- แบบใช้โลหะ 2 ชนิด (Bimetallic Type)
- แบบใช้การขยายตัวของเหลว (Liquid Expansion Type)

13.2 กับดักไอน้ำทำงานโดยกลไก (Mechanical Group)

กับดักไอน้ำกลุ่มนี้ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างไอน้ำและคอนเดนเสททำให้ลูกลอย (Float) หรือถ้วย (Bucket) ส่งอาการไปเปิด-ปิดวาล์ว ซึ่งกับดักไอน้ำในกลุ่มนี้ แบ่งออกเป็น

- แบบลูกลอย (Loose Float Type)
- แบบลูกลอยมีก้าน (Float and Lever Type)
- แบบถ้วยหงาย (Open Top Bucket Type)
- แบบถ้วยคว่ำ (Inverted Bucket Type)

13.3 กับดักไอน้ำกลุ่มที่ทำงานด้วยการเคลื่อนไหวเนื่องจากความร้อน (Thermodynamic Groups)

กับดักไอน้ำกลุ่มนี้ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของความเร็วระหว่างไอน้ำและคอนเดนเสทที่ไหลผ่านตัววาล์วที่เป็นจานกลม ซึ่งจะปิดเมื่อมีไอน้ำไหลเข้ามาด้วยความเร็วสูง และจะเปิดเมื่อมีคอนเดนเสทไหลเข้ามาด้วยความเร็วที่ต่ำกว่า ซึ่งกับดักไอน้ำในกลุ่มนี้เรียกว่า กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์

13.4 กับดักไอน้ำชนิดอื่นๆ (Miscellaneous Group)

กลุ่มนี้ประกอบด้วยกับดักไอน้ำที่ไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มใดๆ ข้างต้นได้ เช่น Impulse Type, Labyrinth Type หรือ Orifice Plate Type

14. การเลือกใช้กับดักไอน้ำ

14.1 ข้อพิจารณาในการเลือกกับดักไอน้ำให้เหมาะสม

- 1) ความดันไอน้ำ
- 2) อุณหภูมิไอน้ำ
- 3) ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น
- 4) เงื่อนไขในการติดตั้ง

14.2 หลักเกณฑ์ง่ายๆ ในการเลือกใช้กับดักไอน้ำ

- 1) ใช้กับดักไอน้ำแบบจานกับท่อน้ำหลัก ท่อย่อย ถังรองรับ และเฮดเดอร์ หรือบริเวณที่อาจเกิดการกระแทกของน้ำ (Water Hammer)
- 2) ใช้กับดักไอน้ำแบบลูกลอยอิสระ ถ้วยกลมอิสระ ถ้วยกลมติดคาน และแบบถ้วยคว่ำกับเครื่องให้ความร้อนด้วย ไอน้ำ เครื่องระเหย เครื่องกลั่น เครื่องอบแห้ง
- 3) ในกรณีที่ปริมาณการใช้ไอน้ำสูงควรใช้กับดักไอน้ำแบบถ้วยกลมอิสระและแบบถ้วยคว่ำติดคานหากเป็นกรณีที่ปริมาณน้อยควรใช้แบบลูกลอยอิสระ ลูกลอยติดคานและแบบถ้วยคว่ำอิสระ
- 4) ถ้าการใช้ไอน้ำอาจเกิดการกระแทกของน้ำ ไม่ควรใช้กับดักไอน้ำแบบถ้วยคว่ำติดคานแบบลูกลอยติดคานและแบบลูกลอยอิสระ เพราะการกระแทกของน้ำจะทำให้คานและลูกลอยเสียรูปทรงได้ ซึ่งจะทำให้วาล์วปิดไม่สนิท
- 5) โดยทั่วไปแล้ว กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ไม่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ โดยเฉพาะถ้ามีการนำคอนเดนเสทกลับ กับดักไอน้ำนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียของไอน้ำอย่างมาก

15. การประเมินหรือการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำต้องมีข้อมูลต่อไปนี้

ข้อมูล	ค่าตรวจวัด	การวิเคราะห์
เชื้อเพลิง	- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง - อัตราการใช้เชื้อเพลิง - อุณหภูมิเชื้อเพลิง	- อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ
ไอน้ำ	- ความดันและอุณหภูมิไอน้ำ - อัตราการผลิตไอน้ำ	- อัตราการผลิตพลังงานความร้อน (ไอน้ำ) ของหม้อไอน้ำ
น้ำป้อนและน้ำโบว์ดาร์น	- อัตราการไหลของน้ำป้อนและโบว์ดาร์น - อุณหภูมิของน้ำป้อนและโบว์ดาร์น - ค่า TDS (Total Dissolved Solid)	- การสูญเสียพลังงานจากการโบว์ดาร์น
ก๊าซไอเสีย	- เปอร์เซ็นต์ของ O_2 - เปอร์เซ็นต์ของ CO_2 - เปอร์เซ็นต์ของ CO และอื่นๆ - อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย	- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ
การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี	- อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของหม้อไอน้ำ - อุณหภูมิแวดล้อม - ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)	- การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีของหม้อไอน้ำ

16. การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมี 2 วิธี คือ**16.1 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง**

การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง เป็นการคำนวณประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลของปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำที่ผลิตขึ้นโดยหม้อไอน้ำและข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง การคำนวณโดยวิธีนี้ง่ายและไม่ยุ่งยาก

$$\eta_B = \frac{m_s(h_s - h_w)}{m_F \cdot HV}$$

เมื่อ	η_B	=	ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ
	m_s	=	อัตราการไหลของไอน้ำ, kg/s
	m_F	=	อัตราการใช้เชื้อเพลิง, kg/s
	h_s	=	เอนทาลปีของไอน้ำ, kJ/kg
	h_w	=	เอนทาลปีของน้ำป้อน, kJ/kg
	HV	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, kJ/kg

16.2 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อม

การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อมจะใช้วิธีวัดการสูญเสียพลังงานจากแหล่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ แล้วหักออกจาก 100 ซึ่งก็คือค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ การคำนวณประสิทธิภาพโดยวิธีอ้อม เราจะต้องตรวจวัดหรือคำนวณเพื่อให้ทราบการสูญเสียพลังงานต่างๆ ที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย

- การสูญเสียพลังงานทางปล่อง (L_1)
- การสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อนที่ผิว (L_2)
- การสูญเสียพลังงานจากโบล์ดวาร์น (L_3)
- การสูญเสียพลังงานอื่นๆ (L_4)

$$\eta_B = 100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4)$$

17. การคำนวณค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency)

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%) ของหม้อไอน้ำเท่ากับ 100 หักด้วยร้อยละ (%) ของความร้อนที่สูญเสียทางปล่องไฟ

$$\eta_c = 100 - L_1$$

18. การลดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย

โดยทั่วไปจะมีการสูญเสียทางปล่องไอเสียประมาณ 10-30% ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียที่มากที่สุด

ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย

- 1) ปริมาณอากาศที่ใช้เผาไหม้ไม่เหมาะสม ถ้าปริมาณอากาศมากเกินไป อากาศส่วนที่ไม่ได้ช่วยในการเผาไหม้ จะพาความร้อนจากห้องเผาไหม้ ทั้งทางปล่องไอเสียมากขึ้น โดยสังเกตได้จากอุณหภูมิไอเสียที่สูงขึ้น ดังนั้น ควรทำการปรับอัตราส่วนอากาศ (Air Ratio) ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงแต่ละชนิด
- 2) เเขม่า (Soot) เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงแข็งจะเกิดเเขม่ามากกว่าเชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงก๊าซ โดยเเขม่าจะมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าควัน (Smoke) ดังนั้นจึงเกาะและสะสมอยู่บนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเเขม่ามากขึ้นอุณหภูมิไอเสียที่ออกปล่องจะสูงขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียความร้อนออกทางปล่องมากขึ้น โดยทั่วไปเเขม่าที่หนาขึ้น 1 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 15-20%

3) ตะกรัน (Scale) เกิดจากการรวมตัวของสารละลายที่อยู่ในน้ำเกิดเป็นของแข็งเกาะบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดต่ำลง ซึ่งจะทำให้การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียมากขึ้น โดยสังเกตจากอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ซึ่งตะกรันที่หนาขึ้นทุกๆ 1 mm. จะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 2% ในทางปฏิบัติ หลังจากใช้งานไประยะหนึ่งจะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิไอเสียสูงกว่าเดิม 20°C ควรทำความสะอาดโดยการขูดเขม่า เพื่อลดการสูญเสียความร้อนดังกล่าว		
19. มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ		
	ระบบไอน้ำ	มาตรการอนุรักษ์พลังงาน
	หม้อไอน้ำ	- การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศป้อนต่อเชื้อเพลิง - การควบคุมน้ำระบาย - การปรับสภาพน้ำป้อน - การลดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย - เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงหรือเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง - มาตรการบำรุงรักษา
	ระบบส่งจ่ายไอน้ำ	- การติดตั้งฉนวนกันความร้อน - การตรวจสอบกับดักไอน้ำ - การตรวจสอบระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ - การใช้วาล์วอย่างถูกต้อง
	ระบบนำกลับคอนเดนเสท	- การใช้คอนเดนเสท - การผลิตไอน้ำแฟลช

เอกสารอ้างอิง
[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ
[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) อาวุโส ด้านความร้อน
[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2550), คู่มือประกอบการฝึกอบรม หลักสูตร “พัฒนาบุคลากร ภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในอุปกรณ์เครื่องจักรกลางที่ใช้ในโรงงานและอาคารธุรกิจ (ด้านหม้อไอน้ำ)”
[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2550), คู่มือการอนุรักษ์พลังงาน อุปกรณ์เครื่องจักรกลางในโรงงานและอาคารธุรกิจ (กับดักไอน้ำ)
[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2551), มาตรการการอนุรักษ์พลังงานจากเทคโนโลยีที่ประสบความสำเร็จสำหรับอาคารธุรกิจ
[6] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), (2543), เทคนิคการประหยัดพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรม
[7] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, (2549), Thermal Energy Efficiency Improvement Handbook
[8] ศุภชัย ปัญญาวิธี และจตุพรสฤกุลเจริญ,การลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น),กรุงเทพฯ,2549
[9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2554), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจ
[10] http://www.energo-spaw.pl/en/kotlownie.php
[11] http://proficienttechnologies.com/serv_utilizationsurvey.html
[12] http://www.power-technology.com/contractors/boilers/loos-international/loos-international3.html
[13] http://www.cesare-bonetti.it/Products/Valves/blowdown.htm

ความดันเกจ bar	ความดัน สัมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอนทัลปีจำเพาะ			ปริมาตร จำเพาะ ของไอน้ำ (V _g) m ³ /kg
			น้ำ (h _f) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h _{fg}) kJ/kg	ไอน้ำ (h _g) kJ/kg	
	0.05	32.88	137.82	2423.7	2561.5	28.192
	0.10	45.81	191.83	2392.8	2584.7	14.674
	0.15	53.97	225.94	2373.1	2599.1	10.022
	0.20	60.06	251.40	2358.3	2609.7	7.649
	0.25	64.97	271.93	2346.3	2618.2	6.204
	0.30	69.10	289.23	2336.1	2625.3	5.229
	0.35	72.70	304.30	2327.2	2631.5	4.530
	0.40	75.87	317.58	2319.2	2636.8	3.993
	0.45	78.70	329.67	2312.0	2641.7	3.580
	0.50	81.33	340.49	2305.4	2645.9	3.240
	0.55	83.72	350.54	2299.3	2649.8	2.964
	0.60	85.94	359.86	2293.6	2653.5	2.732
	0.65	88.01	368.54	2288.3	2656.9	2.535
	0.70	89.95	376.70	2283.3	2660.0	2.365
	0.75	91.78	384.39	2278.6	2663.0	2.217
	0.80	93.50	391.66	2274.1	2665.8	2.087
	0.85	95.14	398.57	2269.8	2668.4	1.972
	0.90	96.71	405.15	2265.7	2670.9	1.869
	0.95	98.20	411.43	2261.8	2673.2	1.777
	1.00	99.63	417.46	2258.0	2675.5	1.694
0	1.013	100.00	419.04	2257.0	2676.0	1.673
0.05	1.063	101.40	424.9	2253.3	2678.2	1.601
0.10	1.113	102.66	430.2	2250.2	2680.4	1.533
0.15	1.163	103.87	435.6	2246.7	2682.3	1.471
0.20	1.213	105.10	440.8	2243.4	2684.2	1.414
0.25	1.263	106.26	445.7	2240.3	2686.0	1.361
0.30	1.313	107.39	450.4	2237.2	2687.6	1.312
0.35	1.363	108.50	455.2	2234.1	2689.3	1.268
0.40	1.413	109.55	459.7	2231.3	2691.0	1.225
0.45	1.463	110.58	464.1	2228.4	2692.5	1.186
0.50	1.513	111.61	468.3	2225.6	2693.9	1.149
0.55	1.563	112.60	472.4	2223.1	2695.5	1.115
0.60	1.613	113.56	476.4	2220.4	2696.8	1.083
0.65	1.663	114.51	480.2	2217.9	2698.1	1.051
0.70	1.713	115.40	484.1	2215.4	2699.5	1.024
0.75	1.763	116.28	487.9	2213.0	2700.9	0.997
0.80	1.813	117.14	491.6	2210.5	2702.1	0.971
0.85	1.863	117.96	495.1	2208.3	2703.4	0.946
0.90	1.913	118.80	498.9	2205.6	2704.5	0.923
0.95	1.963	119.63	502.2	2203.5	2705.7	0.901
1.00	2.013	120.42	505.6	2201.1	2706.7	0.881
1.05	2.063	121.21	508.9	2199.1	2708.0	0.860
1.10	2.113	121.96	512.2	2197.0	2709.2	0.841
1.15	2.163	122.73	515.4	2195.0	2710.4	0.823
1.20	2.213	123.46	518.7	2192.8	2711.5	0.806
1.25	2.263	124.18	521.6	2190.7	2712.3	0.788
1.30	2.313	124.90	524.6	2188.7	2713.3	0.773
1.35	2.363	125.59	527.6	2186.7	2714.3	0.757
1.40	2.413	126.28	530.5	2184.8	2715.3	0.743
1.45	2.463	126.96	533.3	2182.9	2716.2	0.728
1.50	2.513	127.62	536.1	2181.0	2717.1	0.714
1.55	2.563	128.26	538.9	2179.1	2718.0	0.701
1.60	2.613	128.89	541.6	2177.3	2718.9	0.689

ความดันเกจ bar	ความดัน สัมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอนทัลปีจำเพาะ			ปริมาตร จำเพาะ ของไอน้ำ (V _g) m ³ /kg
			น้ำ (h _f) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h _{fg}) kJ/kg	ไอน้ำ (h _g) kJ/kg	
1.65	2.663	129.51	544.4	2175.5	2719.9	0.677
1.70	2.713	130.13	547.1	2173.7	2720.8	0.665
1.75	2.763	130.75	549.7	2171.9	2721.6	0.654
1.80	2.813	131.37	552.3	2170.1	2722.4	0.643
1.85	2.863	131.96	554.8	2168.3	2723.1	0.632
1.90	2.913	132.54	557.3	2166.7	2724.0	0.622
1.95	2.963	133.13	559.8	2165.0	2724.8	0.612
2.00	3.013	133.69	562.2	2163.3	2725.5	0.603
2.05	3.063	134.25	564.6	2161.7	2726.3	0.594
2.10	3.113	134.82	567.0	2160.1	2727.1	0.585
2.15	3.163	135.36	569.4	2158.5	2727.9	0.576
2.20	3.213	135.88	571.7	2156.9	2728.6	0.568
2.25	3.263	136.43	574.0	2155.3	2729.3	0.560
2.30	3.313	136.98	576.3	2153.7	2730.0	0.552
2.35	3.363	137.50	578.5	2152.2	2730.7	0.544
2.40	3.413	138.01	580.7	2150.7	2731.4	0.536
2.45	3.463	138.53	582.8	2149.2	2732.0	0.529
2.50	3.513	139.02	585.0	2147.6	2732.6	0.522
2.55	3.563	139.52	586.9	2146.3	2733.2	0.515
2.60	3.613	140.00	589.2	2144.7	2733.9	0.509
2.65	3.663	140.48	591.3	2143.3	2734.6	0.502
2.70	3.713	140.96	593.3	2141.9	2735.2	0.496
2.75	3.763	141.44	595.3	2140.5	2735.8	0.489
2.80	3.813	141.92	597.4	2139.0	2736.4	0.483
2.85	3.863	142.40	599.4	2137.6	2737.0	0.477
2.90	3.913	142.86	601.4	2136.1	2737.5	0.471
2.95	3.963	143.28	603.3	2134.8	2738.1	0.466
3.00	4.013	143.75	605.3	2133.4	2738.7	0.461
3.10	4.113	144.67	609.1	2130.7	2739.8	0.451
3.20	4.213	145.46	612.9	2128.1	2741.0	0.440
3.30	4.313	146.36	616.4	2125.5	2741.9	0.431
3.40	4.413	147.20	620.0	2122.9	2742.9	0.422
3.50	4.513	148.02	623.6	2120.3	2743.9	0.413
3.60	4.613	148.84	627.1	2117.8	2744.9	0.405
3.70	4.713	149.64	630.6	2115.3	2745.9	0.396
3.80	4.813	150.44	634.0	2112.9	2746.9	0.389
3.90	4.913	151.23	637.3	2110.5	2747.8	0.381
4.00	5.013	151.96	640.7	2108.1	2748.8	0.374
4.10	5.113	152.68	643.9	2105.7	2749.6	0.367
4.20	5.213	153.40	647.1	2103.5	2750.6	0.361
4.30	5.313	154.12	650.2	2101.2	2751.4	0.355
4.40	5.413	154.84	653.3	2098.9	2752.2	0.348
4.50	5.513	155.55	656.3	2096.7	2753.0	0.342
4.60	5.613	156.24	659.3	2094.5	2753.8	0.336
4.70	5.713	156.94	662.3	2092.3	2754.6	0.330
4.80	5.813	157.62	665.2	2090.2	2755.4	0.325
4.90	5.913	158.28	668.1	2088.1	2756.2	0.320
5.00	6.013	158.92	670.9	2086.0	2756.9	0.315
5.10	6.113	159.56	673.7	2083.9	2757.6	0.310
5.20	6.213	160.20	676.5	2081.8	2758.3	0.305
5.30	6.313	160.82	679.2	2079.8	2759.0	0.301
5.40	6.413	161.45	681.9	2077.8	2759.7	0.296
5.50	6.513	162.08	684.6	2075.7	2760.3	0.292

ความดันเกจ bar	ความดัน สัมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอนทัลปีจำเพาะ			ปริมาตร จำเพาะ ของไอน้ำ (V _g) m ³ /kg
			น้ำ (h _f) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h _{fg}) kJ/kg	ไอน้ำ (h _g) kJ/kg	
5.60	6.613	162.68	687.2	2073.8	2761.0	0.288
5.70	6.713	163.27	689.8	2071.8	2761.6	0.284
5.80	6.813	163.86	692.4	2069.9	2762.3	0.280
5.90	6.913	164.46	695.0	2067.9	2762.9	0.276
6.00	7.013	165.04	697.5	2066.0	2763.5	0.272
6.10	7.113	165.60	700.0	2064.1	2764.1	1.269
6.20	7.213	166.16	702.5	2062.3	2764.8	0.265
6.30	7.313	166.73	705.0	2060.4	2765.4	0.261
6.40	7.413	167.29	707.4	2058.6	2766.0	0.258
6.50	7.513	167.83	709.7	2056.8	2766.5	0.255
6.60	7.613	168.38	712.1	2055.0	2767.1	0.252
6.70	7.713	168.89	714.5	2053.1	2767.6	0.249
6.80	7.813	169.43	716.8	2051.3	2768.1	0.246
6.90	7.913	169.95	719.1	2049.5	2768.6	0.243
7.00	8.013	170.50	721.4	2047.7	2769.1	0.240
7.10	8.113	171.02	723.6	2046.1	2769.7	0.237
7.20	8.213	171.53	725.9	2044.3	2770.2	0.235
7.30	8.313	172.03	728.1	2042.6	2770.7	0.232
7.40	8.413	172.53	730.4	2040.8	2771.2	0.229
7.50	8.513	173.02	732.5	2039.2	2771.7	0.227
7.60	8.613	173.50	734.7	2037.5	2772.2	0.224
7.70	8.713	174.00	736.8	2035.9	2772.7	0.222
7.80	8.813	174.46	738.9	2034.2	2773.1	0.219
7.90	8.913	174.93	741.0	2032.6	2773.6	0.217
8.00	9.013	175.43	743.1	2030.9	2774.0	0.215
8.10	9.113	175.88	745.2	2029.3	2774.5	0.212
8.20	9.213	176.37	747.2	2027.6	2774.8	0.210
8.30	9.313	176.83	749.3	2026.1	2775.4	0.208
8.40	9.413	177.27	751.3	2024.5	2775.8	0.206
8.50	9.513	177.75	753.3	2022.9	2776.2	0.204
8.60	9.613	178.20	755.3	2021.3	2776.6	0.202
8.70	9.713	178.64	757.2	2019.7	2776.9	0.200
8.80	9.813	179.08	759.2	2018.2	2777.4	0.198
8.90	9.913	179.53	761.1	2016.6	2777.7	0.196
9.00	10.013	179.97	763.0	2015.1	2778.1	0.194
9.10	10.113	180.41	765.0	2013.5	2778.5	0.192
9.20	10.213	180.83	766.9	2012.0	2778.9	0.191
9.30	10.313	181.26	768.7	2010.5	2779.2	0.189
9.40	10.413	181.68	770.6	2009.0	2779.6	0.187
9.50	10.513	182.10	772.5	2007.5	2780.0	0.185
9.60	10.613	182.51	774.4	2006.0	2780.4	0.184
9.70	10.713	182.91	776.2	2004.5	2780.7	0.182
9.80	10.813	183.31	778.0	2003.1	2781.1	0.181
9.90	10.913	183.72	779.8	2001.6	2781.4	0.179
10.00	11.013	184.13	781.6	2000.1	2781.7	0.177
10.20	11.213	184.92	785.1	1997.3	2782.4	0.174
10.40	11.413	185.68	788.6	1994.4	2783.0	0.172
10.60	11.613	186.49	792.1	1991.6	2783.7	0.169
10.80	11.813	187.25	795.5	1988.8	2784.3	0.166
11.00	12.013	188.02	798.8	1986.0	2784.8	0.163
11.20	12.213	188.78	802.3	1983.2	2785.5	0.161
11.40	12.413	189.52	805.5	1980.5	2786.0	0.158
11.60	12.613	190.24	808.8	1977.8	2786.6	0.156

ความดันเกจ bar	ความดัน สมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอนทัลปีจำเพาะ			ปริมาตร จำเพาะ ของไอน้ำ (V _g) m ³ /kg
			น้ำ (h _f) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h _{fg}) kJ/kg	ไอน้ำ (h _g) kJ/kg	
11.80	12.813	190.97	812.0	1975.1	2787.1	0.153
12.00	13.013	191.68	815.1	1972.5	2787.6	0.151
12.20	13.213	192.38	818.3	1969.9	2788.2	0.149
12.40	13.413	193.08	821.4	1967.2	2788.6	0.147
12.60	13.613	193.77	824.5	1964.6	2789.1	0.145
12.80	13.813	194.43	827.5	1962.1	2789.6	0.143
13.00	14.013	195.10	830.4	1959.6	2790.0	0.141
13.20	14.213	195.77	833.4	1957.1	2790.5	0.139
13.40	14.413	196.43	836.4	1954.5	2790.9	0.137
13.60	14.613	197.08	839.3	1952.0	2791.3	0.135
13.80	14.813	197.72	842.2	1949.6	2791.8	0.133
14.00	15.013	198.35	845.1	1947.1	2792.2	0.132
14.20	15.213	198.98	848.0	1944.6	2792.6	0.130
14.40	15.413	199.61	850.7	1942.3	2793.0	0.128
14.60	15.613	200.23	853.5	1939.8	2793.3	0.127
14.80	15.813	200.84	856.3	1937.4	2793.7	0.125
15.00	16.013	201.45	859.0	1935.0	2794.0	0.124
15.20	16.213	202.04	861.7	1932.7	2794.4	0.122
15.40	16.413	202.62	864.4	1930.4	2794.8	0.121
15.60	16.613	203.21	867.1	1928.0	2795.1	0.119
15.80	16.813	203.79	869.7	1925.7	2795.4	0.118
16.00	17.013	204.38	872.3	1923.4	2795.7	0.117
16.20	17.213	204.94	874.9	1921.2	2796.1	0.115
16.40	17.413	205.49	877.5	1918.9	2796.4	0.114
16.60	17.613	206.05	880.0	1916.7	2796.7	0.113
16.80	17.813	206.61	882.5	1914.4	2796.9	0.111
17.00	18.013	207.17	885.0	1912.1	2797.1	0.110
17.20	18.213	207.75	887.5	1909.9	2797.4	0.109
17.40	18.413	208.30	889.9	1907.7	2797.6	0.108
17.60	18.613	208.84	892.4	1905.5	2797.9	0.107
17.80	18.813	209.37	894.8	1903.4	2798.2	0.106
18.00	19.013	209.90	897.2	1901.3	2798.5	0.105
18.20	19.213	210.43	899.6	1899.1	2798.7	0.104
18.40	19.413	210.96	902.0	1896.9	2798.9	0.103
18.60	19.613	211.47	904.3	1894.8	2799.1	0.102
18.80	19.813	211.98	906.7	1892.6	2799.3	0.101
19.00	20.013	212.47	909.0	1890.5	2799.5	0.100
19.20	20.213	212.98	911.3	1888.4	2799.7	0.0986
19.40	20.413	213.49	913.6	1886.3	2799.9	0.0976
19.60	20.613	213.99	915.8	1884.3	2800.1	0.0967
19.80	20.813	214.48	918.1	1882.2	2800.3	0.0958
20.00	21.013	214.96	920.3	1880.2	2800.5	0.0949
20.50	21.513	216.15	925.8	1875.1	2800.9	0.0927
21.00	22.013	217.35	931.3	1870.1	2801.4	0.0906
21.50	22.513	218.53	936.6	1865.1	2801.7	0.0887
22.00	23.013	219.65	941.9	1860.1	2802.0	0.0868
22.50	23.513	220.76	947.1	1855.3	2802.4	0.0849
23.00	24.013	221.85	952.2	1850.4	2802.6	0.0832
23.50	24.513	222.94	957.3	1845.6	2802.9	0.0815
24.00	25.013	224.02	962.2	1840.9	2803.1	0.0797
24.50	25.513	225.08	967.2	1836.1	2803.3	0.0783
25.00	26.013	226.12	972.1	1831.4	2803.5	0.0768
26.00	27.013	228.15	981.6	1822.2	2803.8	0.0740

ความดันเกจ bar	ความดัน สัมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอนทัลปีจำเพาะ			ปริมาตร จำเพาะ ของไอน้ำ (V _g) m ³ /kg
			น้ำ (h _f) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h _{fg}) kJ/kg	ไอน้ำ (h _g) kJ/kg	
27.00	28.013	230.14	990.7	1813.3	2804.0	0.0714
28.00	29.013	232.05	999.7	1804.4	2804.1	0.0689
29.00	30.013	233.93	1008.6	1795.6	2804.2	0.0666
30.00	31.013	235.78	1017.0	1787.0	2804.1	0.0645
31.00	32.013	237.55	1025.6	1778.5	2804.1	0.0625
32.00	33.013	239.28	1033.9	1770.0	2803.9	0.0605
33.00	34.013	240.97	1041.9	1761.8	2803.7	0.0587
34.00	35.013	242.63	1049.7	1753.8	2803.5	0.0571
35.00	36.013	244.26	1057.7	1745.5	2803.2	0.0554
36.00	37.013	245.86	1065.7	1737.2	2802.9	0.0539
37.00	38.013	247.42	1072.9	1729.5	2802.4	0.0524
38.00	39.013	248.95	1080.3	1721.6	2801.9	0.0510
39.00	40.013	250.42	1087.4	1714.1	2801.5	0.0498
40.00	41.013	251.94	1094.6	1706.3	2800.9	0.0485
42.00	43.013	254.74	1108.6	1691.2	2799.8	0.0461
44.00	45.013	257.50	1122.1	1676.2	2798.2	0.0441
46.00	47.013	260.13	1135.3	1661.6	2796.9	0.0421
48.00	49.013	262.73	1148.1	1647.1	2795.2	0.0403
50.00	51.013	265.26	1160.8	1632.8	2793.6	0.0386

