



## บทที่ 2

### การอนุรักษ์พลังงาน สำหรับระบบไอน้ำ (Energy Conservation for Steam System)

#### ความสำคัญของเนื้อหาวิชา

ระบบไอน้ำเป็นระบบผลิตพลังงานความร้อน (ในรูปของไอน้ำ) ที่มีใช้งานอยู่ทั่วไปทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม และในอาคารกลุ่มโรงแรม โรงพยาบาล ระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้เชื้อเพลิงในปริมาณสูง และอาจก่อมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การบริหารจัดการ การใช้งาน การปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงระบบอุปกรณ์รวมทั้ง การบำรุงรักษา หรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบไอน้ำ จะเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและลดมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีแก่สถานประกอบการ และช่วยลดอัตราการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

#### วัตถุประสงค์

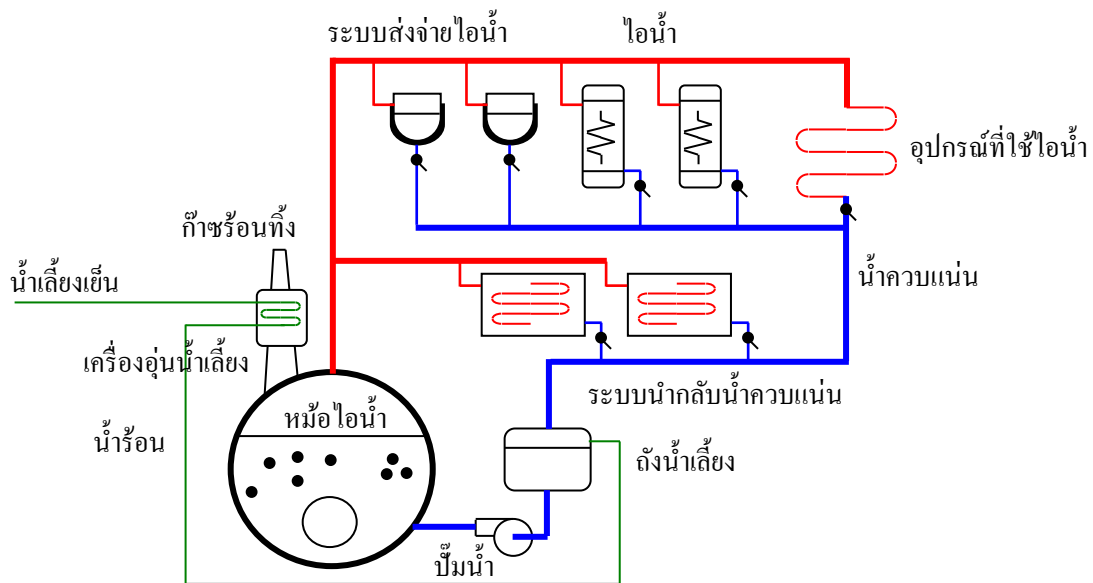
1. รู้จักอุปกรณ์และการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไอน้ำ
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบไอน้ำ
3. ทราบวิธีตรวจวัดและประเมินประสิทธิภาพพลังงานของระบบไอน้ำ
4. ทราบมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบไอน้ำ

## 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

ระบบไอน้ำเป็นระบบที่มีการใช้งานในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำที่สูงกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  โดยระบบไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์และระบบย่อยต่างๆ ได้แก่ (1) หม้อไอน้ำ (2) ระบบส่งจ่ายไอน้ำ (3) อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ และ (4) ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น (คอนเดนเสท)



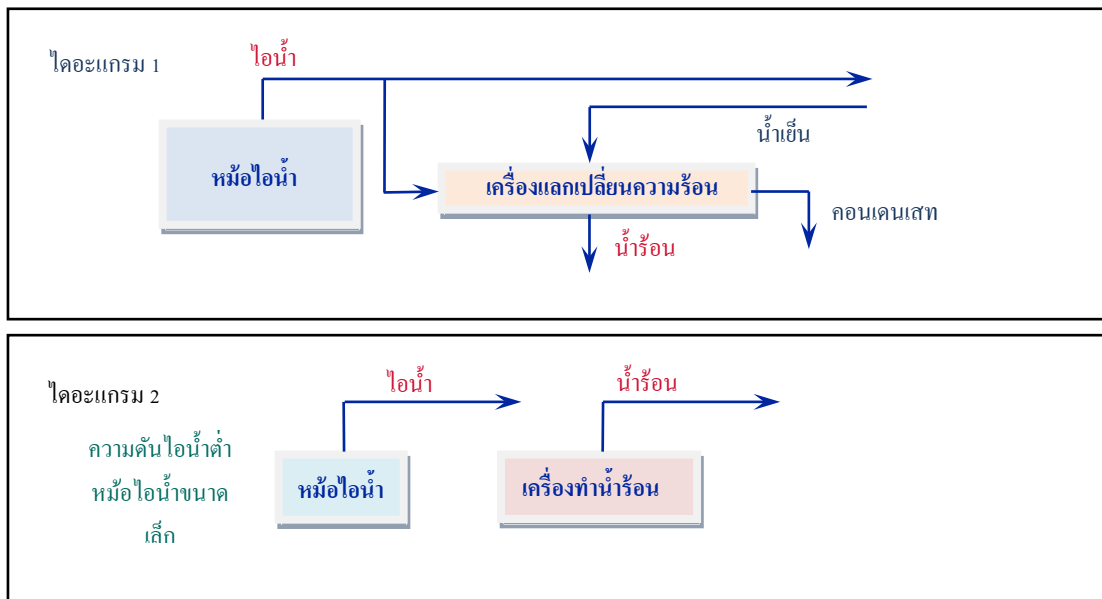
รูปที่ 2.2-1 แผนภาพระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ

น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกเครื่องสูบน้ำป้อนส่งน้ำไปยังหม้อไอน้ำเพื่อรับความร้อนจากก๊าซเผาไหม้และกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะผ่านระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ แล้วเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว (คอนเดนเสท) ผ่านกับดักไอน้ำ ซึ่งน้ำคอนเดนเสทที่มีอุณหภูมิสูงจะไหลผ่านท่อคอนเดนเสทกลับไปยังถังน้ำเลี้ยงเพื่อรวมกับน้ำเดิม ก่อนที่จะส่งไปยังหม้อไอน้ำและผลิตเป็นไอน้ำต่อไป

ก๊าซร้อนจากกระบวนการเผาไหม้ เมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำแล้ว จะถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งความร้อนที่ปล่อยออกไปพร้อมกับก๊าซไอเสียนี้เป็นการสูญเสียพลังงานมากที่สุดของหม้อไอน้ำ ดังนั้นควรพิจารณากลับมาใช้ประโยชน์โดยการติดตั้งอุปกรณ์อุ่นน้ำป้อนซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซไอเสียกับน้ำป้อน เพื่อให้ น้ำป้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนจ่ายเข้าหม้อไอน้ำ วิธีการดังกล่าวเป็นหนึ่งในหลายมาตรการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำอุตสาหกรรม ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทนี้

ในสถานประกอบการที่มีความต้องการใช้ทั้งไอน้ำและน้ำร้อน มักใช้หม้อไอน้ำขนาดใหญ่หนึ่งลูกเพื่อผลิตไอน้ำ ความดันปานกลาง และนำไอน้ำส่วนหนึ่งไปใช้เพื่อผลิตน้ำร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งเป็นการลดคุณภาพด้านพลังงาน (ไคอะแกรม 1) ดังนั้นควรใช้หม้อไอน้ำเล็กๆ หนึ่งลูกผลิตไอน้ำ และใช้เครื่องทำน้ำร้อน 1 ลูกแทน (ไคอะแกรม 2) ด้วยเหตุผลดังนี้

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



รูปที่ 2.2.2 การใช้งานหม้อไอน้ำให้เหมาะสม

ในงานที่ต้องการอุณหภูมิสูงมาก (เช่น 260°C) ควรใช้หม้อต้มน้ำมันร้อน (Thermal Oil Boiler) ซึ่งสามารถทำ ความร้อนได้ถึง 350°C ที่ความดันบรรยากาศแทนหม้อไอน้ำความดันสูงในระบบน้ำมันร้อนนี้ ป้อนน้ำมันร้อนจะ ทำหน้าที่ดูดและส่งน้ำมันร้อนอุณหภูมิ 350°C ด้วยความดันต่ำ (2-3 bar) ไปยังกระบวนการผลิตที่อยู่ไกลๆ หลังจากนั้นน้ำมันร้อนถ่ายเทความร้อนให้กับอุปกรณ์ที่ใช้งานความร้อนแล้ว ทำให้อุณหภูมิจะลดลง 10-20°C แล้วจึง ไหลกลับเข้าไปปรับความร้อนในหม้อต้มใหม่อีกจนมี อุณหภูมิ 350°C และถูกส่งไปใช้งานวนไปเรื่อยๆ

### ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

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

## 2.3 หม้อไอน้ำ

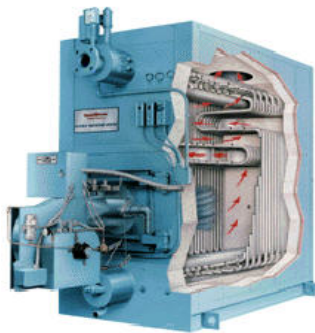
หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์สำคัญหลักในระบบไอน้ำ ซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตไอน้ำให้ได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการเพื่อจ่ายไปยังกระบวนการผลิตภายในโรงงานหรือกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร

### 2.3.1 ประเภทของหม้อไอน้ำ

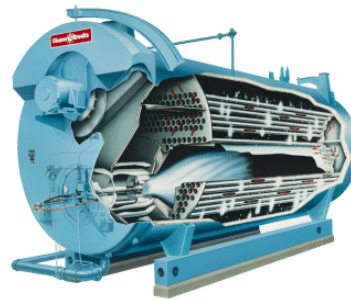
หม้อไอน้ำมีหลายชนิดและหลายลักษณะ อย่างไรก็ตามอาจจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

**2.3.1.1 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water-tube Boiler)** หม้อไอน้ำชนิดนี้น้ำจะถูกบรรจุและไหลอยู่ในท่อโดยเปลวไฟหรือก๊าซร้อนจะเคลื่อนที่อยู่ที่โดยรอบท่อ

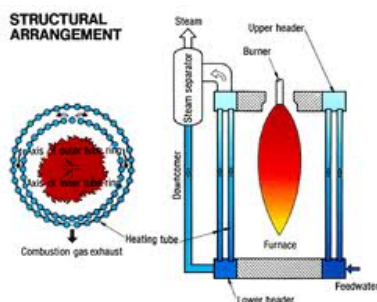
**2.3.1.2 หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire-tube or Shell Boiler)** หม้อไอน้ำชนิดนี้ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ในท่อซึ่งจมอยู่ในน้ำ โดยที่น้ำจะอยู่นอกท่อ (ระหว่างเปลือกหม้อไอน้ำและท่อ) ของหม้อไอน้ำ



(ก) หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ



(ข) หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ



(ค) หม้อไอน้ำแบบไหลผ่าน



รูปที่ 2.3-1 ประเภทของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟสามารถผลิตไอน้ำให้ได้ความดันตามต้องการช้ากว่าหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ ในกรณีที่ภาระของไอน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ควรใช้หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ เพราะจะสามารถผลิตไอน้ำได้ทันต่อความต้องการได้อย่างรวดเร็วกว่าหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

สำหรับหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ จำนวนกลับของท่อไฟยิ่งมากประสิทธิภาพหม้อไอน้ำก็ยิ่งสูงขึ้น เนื่องจากก๊าซร้อนใช้เวลาไหลอยู่ในหม้อไอน้ำนานกว่า สำหรับหม้อไอน้ำขนาดเล็กมักจะมีจำนวนกลับเพียง 2 กลับ ขณะที่หม้อไอน้ำขนาดใหญ่จะมี 3 หรือ 4 กลับ

### 2.3.1.3 หม้อไอน้ำชนิดไหลผ่าน (Once Through Boiler)

ในกรณีที่มีภาระไอน้ำน้อยไม่ต่อเนื่องและต้องการไอน้ำเร็วควรเลือกใช้หม้อไอน้ำชนิดไหลผ่าน (Steam Generator or Once through Boiler) ซึ่งเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ โดยไม่มีหม้อพักไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำงานได้ ความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ได้รวดเร็วกว่าโดยจะทำงานก็ต่อเมื่อต้องการไอน้ำเท่านั้นการที่หม้อไอน้ำไม่มีหม้อพักไอน้ำทำให้สามารถลดการสูญเสียพลังงานลงได้มากในช่วงเวลาที่หยุด (Idle Periods)

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ราคาถูก (ประมาณครึ่งหนึ่งของหม้อไอน้ำ)	1. ประสิทธิภาพต่ำ : จำนวนกลับของท่อน้ำน้อยกว่า ทำให้มีเวลาที่น้ำไหลอยู่ในหม้อไอน้ำน้อย หมายถึง เวลาที่น้ำจะกลายเป็นไอน้ำมีเวลาน้อยเป็นผลให้ต้องใช้เชื้อเพลิงมากขึ้น
2. ตอบสนองต่อความต้องการไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว	
3. สามารถติดตั้งใก้ๆ กับจุดที่ต้องการใช้ไอน้ำ ซึ่งจะลดการสูญเสียความร้อนในการส่งจ่ายไอน้ำไปใช้ประโยชน์	2. อุณหภูมิก๊าซร้อนที่ออกปล่องสูงกว่าเป็นผลให้การสูญเสียความร้อนไปทางปล่องและการสูญเสียจากการแผ่รังสีสูงกว่า
4. ขดใส่ไอน้ำ (Steam Coil) ในเครื่องผลิตไอน้ำจะมีความแข็งแรง แต่ผนังของขดจะบางกว่า (เปรียบเทียบกับท่อของหม้อไอน้ำ)	3. อาจจะต้องให้ความสำคัญและใส่ใจในเรื่อง คุณภาพน้ำป้อน และการโบว์ลด์วอร์มมากขึ้น

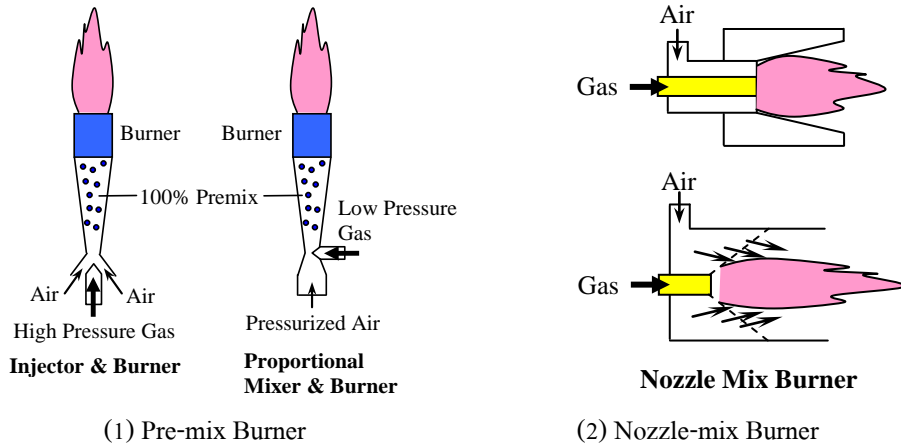
2.3.2 อุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ การเผาไหม้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดต้องทำการออกแบบอุปกรณ์ที่ช่วยให้อากาศทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงได้ดีที่สุดเพื่อให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด

#### 2.3.2.1 การเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ

สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

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

ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

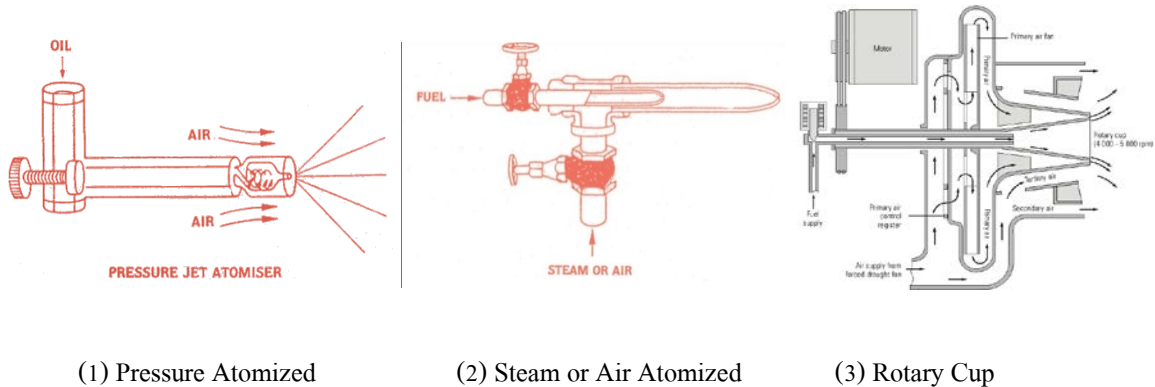


รูปที่ 2.3-2 ประเภทของหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ

2.3.2.2 การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว

สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

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



รูปที่ 2.3-3 ประเภทของหัวเผาเชื้อเพลิงเหลว

นอกจากหัวเผามีอยู่ด้วยกันหลายประเภทแล้ว เรายังต้องเลือกใช้หัวเผาให้เหมาะกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนที่เหมาะสม โดยสามารถจัดแบ่งหัวเผาตามลักษณะการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีที่สุดได้ดังนี้

<b>หัวเผาแบ่งตามลักษณะการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพดีที่สุดใน 3 แบบ</b>
<b>1) หัวเผาแบบเผาต่อเนื่อง (Modulating Burners)</b>
หัวเผาแบบนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยปริมาณเชื้อเพลิงที่หัวเผาป้อนเพื่อผลิตไอน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการใช้ไอน้ำ เพื่อรักษาความดันไอน้ำตามที่กำหนดไว้ กล่าวคือ เมื่อค่าความดันไอน้ำในหม้อไอน้ำสูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ หัวเผาจะลดปริมาณเชื้อเพลิงลง และเมื่อความดันไอน้ำต่ำกว่าที่กำหนดไว้ หัวเผาจะเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงให้มากขึ้น
<b>2) หัวเผาแบบไฟสูง-ต่ำ (High/Low-Fire Burners)</b>
หัวเผาแบบนี้สามารถป้อนเชื้อเพลิงด้วยอัตราคงที่ 2 ระดับ คือ ไฟสูง (High Fire) และ ไฟต่ำ (Low Fire) ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้ไอน้ำและช่วงของการควบคุมความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ทั้ง 2 ระดับ ซึ่งหัวเผาลักษณะนี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก
<b>3) หัวเผาแบบไฟตัด-ต่อ (Constant-Fire or ON-OFF Burners)</b>
หัวเผาแบบนี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำคงที่ เชื้อเพลิงที่ถูกป้อนเข้าหัวเผาอัตราเดียวขึ้นกับความดันไอน้ำในหม้อไอน้ำที่ตั้งไว้ คือ เมื่อความดันไอน้ำเกินกว่าที่ตั้งไว้หัวเผาก็จะตัด (OFF) การป้อนเชื้อเพลิง และหากความดันต่ำกว่าที่ตั้งไว้หัวเผาก็จะต่อ (ON) การป้อนเชื้อเพลิง

การเลือกใช้หัวเผากับหม้อไอน้ำจำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับภาระของไอน้ำ หากภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงมาก ควรเลือกหัวเผาที่มีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ (Turn Down Ratio) สูง ซึ่งจะช่วยให้การผลิตไอน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น หัวเผาแบบ High-fire/Low-fire มีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ 3:1 ขณะที่หัวเผาแบบเผาต่อเนื่องซึ่งมีราคาและประสิทธิภาพสูงจะมีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ 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 ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงแข็งโดยทั่วไปมักจะทำให้เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กลง เพื่อให้อัตราการเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง โดยมีเตาเผาทำหน้าที่เผาไหม้เชื้อเพลิงให้ได้ความร้อนเพื่อเอาก๊าซร้อนไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การนำความร้อนที่ได้ไปผลิตไอน้ำร้อนที่มีความดันสูงเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า หรือใช้ในกระบวนการผลิต ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งนั้นเตาเผาถือว่าเป็นหัวใจสำคัญ เพราะการจะนำพลังงานเคมีในเชื้อเพลิงเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อนให้ได้มากที่สุดนั้น เตาเผาที่ใช้จะต้องมี



ประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งานกับเชื้อเพลิงในแต่ละประเภท ซึ่งระบบการป้อนเชื้อเพลิงของเตาเผาที่ใช้อยู่ทั่วไปมี 5 ระบบ ได้แก่

- 1) ระบบการป้อนเชื้อเพลิงด้วยคน (Manual Feed) ต้องอาศัยคนงานที่มีความชำนาญในการกระจายเชื้อเพลิงให้ทั่วสม่ำเสมอบนตะแกรงเตาไฟ อากาศที่ใช้สำหรับเผาไหม้จะถูกส่งจากใต้เตาเหนือตะแกรงเตาไฟ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของระบบนี้ค่อนข้างต่ำ
- 2) ระบบสโตกเกอร์ (Stoker Feed) เป็นระบบที่ป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาโดยอาศัยเครื่องกล ข้อดีของระบบนี้คือ มีราคาถูกและสามารถออกแบบให้ใช้ได้กับเชื้อเพลิงแข็งหลายชนิด โดยระบบนี้สามารถแบ่งตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงได้เป็น 2 ชนิด คือ
  - (ก) ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน (Overfeed Stoker)
  - (ข) ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง (Underfeed Stoker)

ก. ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน หรือสูงกว่าตำแหน่งทางเข้าของอากาศ โดยป้อนเชื้อเพลิงให้อยู่บนตะแกรง จากนั้นอากาศส่วนแรกถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของตะแกรงผ่านขึ้นมาเผาไหม้เชื้อเพลิงบนตะแกรง อากาศอีกส่วนหนึ่งจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของตะแกรงเพื่อช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์

ข้อได้เปรียบ ของการเผาไหม้ระบบนี้ คือ การที่เชื้อเพลิงกองอยู่บาง ๆ บนตะแกรงทำให้ความดันอากาศไหลผ่านเชื้อเพลิงมีค่าน้อยกว่าสโตกเกอร์แบบตะแกรงเลื่อน ดังนั้นการควบคุมอากาศที่ป้อนใต้ตะแกรงสามารถทำได้ง่ายกว่า

ข้อเสีย ของระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย คือ มีปริมาณเขม่าและควันออกจากปล่องมากจึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับดักขี้เถ้าที่ออกจากปล่องสู่บรรยากาศภายนอก



รูปที่ 2.3-4 แสดงลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย

ข. ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง โดยส่งเชื้อเพลิงไปตามรางให้เคลื่อนตัวลึกเข้าไปในเตาตลอดเวลา ทำให้เกิดความดันขึ้นในเชื้อเพลิงส่วนล่าง ส่งผลให้เชื้อเพลิงส่วนบนขยับขึ้นด้านบนได้ วิธีนี้จะทำให้สารระเหยที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงระเหยขึ้นสู่ส่วนบนจึงทำให้ติดไฟ



ได้ง่ายขึ้นและเกิดการเผาไหม้ขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ เชื้อเพลิงที่ลุกไหม้หมดแล้วเป็นเถ้าซึ่งอยู่ส่วนบนสุดจะถูกเชื้อเพลิงตอนล่างคั่นกระจายลงสู่ที่รองรับเถ้า

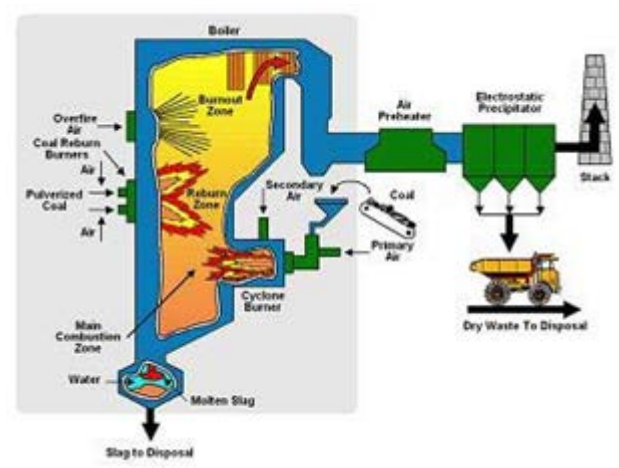
ข้อดี ของระบบสโตคเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง คือ การป้อนเชื้อเพลิงทางด้านล่างจะช่วยลดควันได้ เพราะสารระเหยที่ปล่อยออกจากเชื้อเพลิงจะไหลผ่านชั้นเชื้อเพลิงที่ร้อนทำให้เผาไหม้หมด

### 3) ระบบพัลเวอร์ไรซ์ (Pulverised)

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเตาระบบพัลเวอร์ไรซ์จะเกิดขึ้นขณะที่เชื้อเพลิงลอยอยู่ ดังนั้นเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาแบบนี้จะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะลอยอยู่ในอากาศภายในเตา อากาศส่วนแรกจะถูกอุ่นก่อนส่งเข้าเตา เพื่อใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงในขณะที่อากาศส่วนที่สองถูกส่งเข้าเตาโดยตรง เพื่อช่วยให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้จะถูกพัดพาออกจากเตาเผาติดมากับแก๊สร้อนที่ได้จากการเผาไหม้

ข้อได้เปรียบ ของการเผาไหม้ระบบนี้ คือ ไม่จำเป็นต้องมีระบบตะแกรงที่จะต้องให้ความร้อน ไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงจากเชื้อเพลิงเก่าบนตะแกรง จากเหตุดังกล่าวข้างต้น เตาเผาแบบนี้จึงให้ความร้อนในการเผาไหม้ได้สูงกว่าเตาแบบตะแกรง

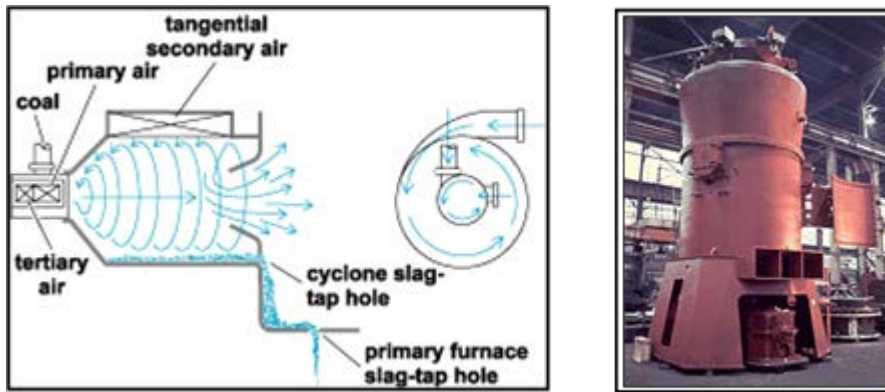
ข้อเสีย ของระบบพัลเวอร์ไรซ์นี้ คือ การควบคุมเถ้าทำได้ยาก ดังนั้นจึงต้องมีระบบกำจัดเถ้าที่ดีซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้การควบคุมอุณหภูมิภายในเตาทำได้ยาก เพราะถ้าอุณหภูมิของการเผาไหม้สูงเกินไปจะทำให้เกิดการหลอมตัวของเถ้าเกาะกันเป็นก้อนใหญ่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



รูปที่ 2.3-5 แสดงลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบพัลเวอร์ไรซ์

4) ระบบไซโคลน (Cyclone)

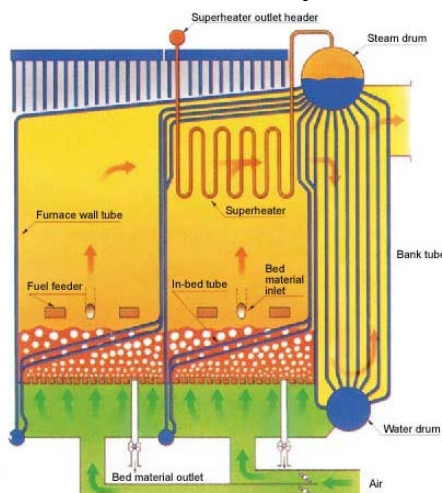
เตาเผาแบบนี้เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าเตาเผาโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงเช่นเดียวกับระบบพัลเวอร์ไรซ์ แต่ไม่จำเป็นต้องบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการบดเชื้อเพลิงลงได้ การเผาไหม้ในระบบไซโคลนจะใช้หัวเผาแบบ Horizontal water-cooled ขนาดเล็ก ทำให้เตาเผาในระบบไซโคลนมีขนาดเล็กกว่าเตาเผาแบบพัลเวอร์ไรซ์ อุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในเตาระบบไซโคลนสูงถึง 1650°C ซึ่งจะทำให้ขี้เถ้าถูกเผาไหม้กลายเป็นขี้เถ้าเหลว (Liquid Slag) ได้ประมาณ 30-50% และเหลือขี้เถ้าที่ปนออกมากับแก๊สร้อนเพียง 70-50% ขี้เถ้าเหลวที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาในระบบไซโคลนนี้สามารถปล่อยออกทางด้านล่างของเตาเผาได้



รูปที่ 2.3-6 แสดงลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบไซโคลน

5) ระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed)

อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิง และเมื่อเพิ่มค่าความเร็วของอากาศถึงค่าหนึ่งเชื้อเพลิงจะลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายของไหล การเผาไหม้จะเกิดขึ้นทั่ว ๆ บริเวณเตา โดยปกติจะใส่สารเฉื่อย (Inert Material) เช่น ทราย หรือสารที่ทำปฏิกิริยา (Reaction Material) เช่น หินปูน (Limestone) หรือตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะช่วยในด้านการถ่ายเทความร้อนและช่วยทำความสะอาดภายในเตาระบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้แสดงดังรูป



รูปที่ 2.3-7 แสดงลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบฟลูอิดไดซ์เบด

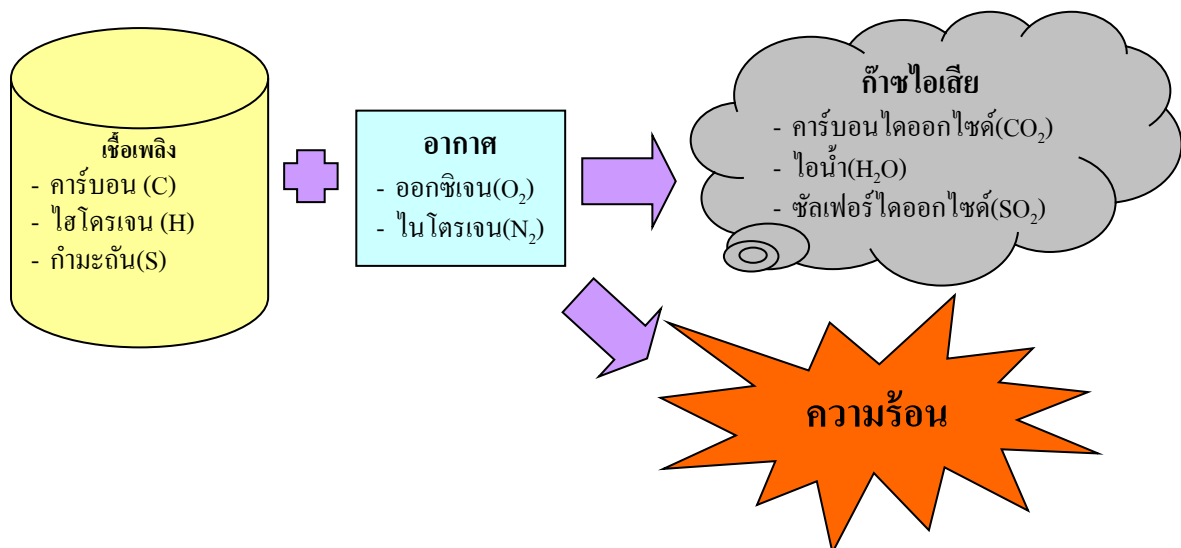
ระบบฟลูอิดไคซ์เบดนี้ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้กับเชื้อเพลิงแข็งได้ทุกชนิด เพราะอุณหภูมิภายในเตาจะมีค่าใกล้เคียงตลอดทั่วเตาเผา ทำให้อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงสม่ำเสมอ สามารถเผาเชื้อเพลิงที่มีปริมาณความชื้นสูงได้ดี นอกจากนี้ยังทำให้อุณหภูมิของเปลวไฟคงที่

**ข้อดี** ของระบบฟลูอิดไคซ์เบด คือมีสารเหนียว เช่น ทราช เป็นเบด จึงทำให้เกิดการผสมของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนได้ดี เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว นอกจากนี้ตัวเบดยังช่วยอมความร้อนทำให้เตามีความเสถียร ไม้ดับง่าย และเกิดการเผาไหม้ในตัวเตาเผาได้อย่างทั่วถึง จึงทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าเท่ากันและสม่ำเสมอสามารถใช้เผาไหม้เชื้อเพลิงในช่วงอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำ (ประมาณ 850°C) จึงช่วยแก้ปัญหาด้านมลพิษของอากาศเนื่องจากการเกิดสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ได้

### 2.3.3 การเผาไหม้เบื้องต้น

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

เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน โดย เชื้อเพลิงแข็งมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ 75-85% เชื้อเพลิงเหลว 80-85% และเชื้อเพลิงก๊าซ 80-90% ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงเหลวต่ำกว่าเชื้อเพลิงก๊าซ เนื่องจากพื้นที่สัมผัสระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศน้อยกว่ากันตามลำดับ นอกจากนี้ เชื้อเพลิงที่มีความหนืดสูงจะกระจายออกเป็นฝอยละเอียดยาก ทำให้พื้นที่สัมผัสน้อยส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ



รูปที่ 2.3-8 หลักการเผาไหม้เบื้องต้น

*หมายเหตุ* สำหรับการเผาไหม้จริงอาจมีก๊าซไอเสียอื่นอีก ได้แก่ CO, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>

### 2.3.3.1 ปฏิริยาเคมีการเผาไหม้ทฤษฎี

สมการพื้นฐานซึ่งอธิบายปฏิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและปล่อยพลังงานความร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

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

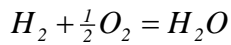
### 2.3.3.2 อากาศตามทฤษฎี (Theoretical air)

สำหรับอากาศ เราประมาณได้ว่ามีส่วนประกอบของ  $O_2$  เป็นส่วนผสม 23.2% โดยมวล ในกรณีที่มีการเผาไหม้ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จากสมการจะเห็นได้ว่าน้ำมันดีเซล 1 kg ต้องใช้ปริมาณ  $O_2$  ในการเผาไหม้ 3.334 kg ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณอากาศ  $3.334/0.232=14.37$  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

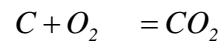
การหาปริมาณอากาศเชิงทฤษฎีในการเผาไหม้



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

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

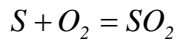
$$0.128kg + 1.024kg = 1.152kg$$



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

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

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



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

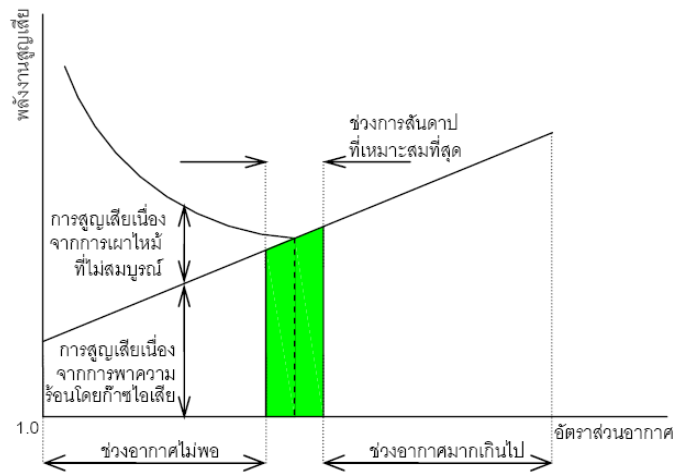
$$0.009 \frac{32}{32} kg + 0.009 \frac{32}{32} kg = 0.009 \frac{64}{32} kg$$

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

### 2.3.3.3 อากาศส่วนเกิน (Excess Air)

ในการเผาไหม้จริงๆ หากป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ในปริมาณที่พอดีกับค่าทางทฤษฎีแล้ว เป็นการยากที่จะทำให้ ออกซิเจนทุกตัวพบกับธาตุต่างๆ ในเชื้อเพลิงได้หมดและทั่วถึงกัน จึงเป็นผลให้เกิดการเผาไหม้ในลักษณะอากาศไม่เพียงพอ การเผาไหม้ที่อากาศไม่เพียงพอนี้ จะให้พลังงานความร้อนออกมาน้อยกว่าการเผาไหม้สมบูรณ์ โดยเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ เขม่า และควันสีดำ ดังนั้นในทางปฏิบัติการเผาไหม้จริงๆ จำเป็นต้องป้อนอากาศให้เกินกว่าความต้องการในเชิงทฤษฎี ซึ่งอากาศส่วนนี้เรียกว่า อากาศส่วนเกิน (Excess Air) อย่างไรก็ตาม การป้อนอากาศมากจนเกินไปจะเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนออกไปกับก๊าซไอเสียมาก 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 <sub>2</sub> ในก๊าซไอเสีย (%)	CO <sub>2</sub> 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 ดังนั้นเมื่อน้ำถูกผลิตเป็น ไอน้ำแล้ว ความเข้มข้นของสารเจือปนเหล่านี้จะสูงขึ้นและเกิดการตกตะกอน/ตกผลึก ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อการลดลงของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและคุณภาพของไอน้ำ รวมถึงความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และเพื่อป้องกันปัญหาเหล่านี้ เราจำเป็นต้องระบายน้ำร้อนในหม้อไอน้ำที่ผ่านระบบโบลว์ดาวน์

ระบบโบลว์ดาวน์ที่ทำงานไม่เหมาะสม เช่น ระบายน้ำโบลว์ดาวน์มากเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลงและสิ้นเปลืองน้ำ และหากระบายน้อยเกินไปจะทำให้เกิดตะกรันเกาะผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงและอาจเกิดการเค็ยคอย่างรุนแรงของน้ำ ทำให้ไอน้ำเป็ยกและอาจนำมาซึ่งความเสียหายของระบบท่อน้ำ

#### 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 ครั้งละสั้นๆ
- 2) แบบต่อเนื่อง โดยวาล์วระบายน้ำของหม้อไอน้ำจะเปิดหรือปิดเมื่อได้รับสัญญาณเวลาที่ตั้งไว้ (Timer Control) หรือสัญญาณที่ได้จากการวัดสมบัติของน้ำในหม้อไอน้ำ เช่น สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity)

การพิจารณาว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายเหมาะสมหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากค่า TDS (Total Dissolved Solid) ซึ่งวัดปริมาณสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำของหม้อไอน้ำโดยตรงว่าใน 1 ลิ้นส่วนมีสารแขวนลอยกี่ส่วน (ppm) หรือวัดโดยอ้อมจากค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity) ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ผู้ใช้หม้อไอน้ำควรควบคุมคุณภาพน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำให้ได้มาตรฐานตามตารางที่ 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
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

#### 2.3.5 ข้อควรปฏิบัติในการใช้หม้อไอน้ำ

ข้อควรปฏิบัติในการใช้หม้อไอน้ำ
1. ขั้นตอนการออกแบบ
ควรเลือกขนาดของหม้อไอน้ำ (กำลังการผลิตไอน้ำต่อชั่วโมง) ที่พอเหมาะกับภาระไอน้ำ และควรเดินใช้งานที่ภาระเต็มตลอดเวลาเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยทั่วไปหม้อไอน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ภาระเต็มหรือใกล้เต็ม ดังนั้นหม้อไอน้ำที่เดินภาระต่ำๆ ตลอดเวลา เรียกว่า “หม้อไอน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป” (Oversized) ควรเปลี่ยนไปใช้หม้อไอน้ำที่มีขนาดเล็กลง (ถ้าสามารถทำได้)



2. หลีกเลี่ยงการสตาร์ทบ่อยๆ เนื่องจากจะทำให้เกิดการ
<ul style="list-style-type: none"> <li>• สูญเสียพลังงานไปในการทำงานที่ต้องทำให้หม้อไอน้ำร้อนขึ้นมาใหม่</li> <li>• สูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการเดินพัลลัมเป่าไต่อากาศและก๊าซต่างๆ ออกไปจากห้องเผาไหม้ ก่อนการจุดสตาร์ททุกครั้ง</li> <li>• สูญเสียความร้อนออกไปจากหม้อไอน้ำ ในขณะที่พัลลัมเป่าไต่ลมร้อนออกไปจากหม้อไอน้ำ (Purging)</li> </ul>
3. ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงควรใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
ซึ่งแสดงให้เห็นทราบได้โดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง (หรือปริมาณออกซิเจนต่ำ) คว้นดำ คือ คาร์บอนที่มีขนาดเล็กมากเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อันเนื่องมาจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินต่ำมากเกินไป หรือการปรับแต่งการเผาไหม้ไม่ดี หรือ หัวเผาทำงานผิดปกติ
4. อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่งอกปล่องควรต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้
แต่ต้องสูงกว่าจุดกลั่นตัวของน้ำและกรดเล็กน้อย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการผุกร่อน หม้อไอน้ำต่างๆ ไป ขณะเดินที่ไฟต่ำ (Low Fire) จะมีอุณหภูมิลดต่ำกว่าขณะเดินที่ไฟสูง (High Fire) หรือเดินที่ไฟปานกลาง (Medium Fire)
5. ทำความสะอาดท่อในหม้อไอน้ำเป็นระยะๆ
เพื่อลดการขัดข้องอันเนื่องมาจากตะกรัน (หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ) และเขม่า (หม้อไอน้ำท่อไฟ) ซึ่งจะลดความสามารถในการผลิตไอน้ำให้ได้สูงสุดตามพิกัดของหม้อไอน้ำ การทำความสะอาดสามารถเพิ่มความสามารถของหม้อไอน้ำให้กลับคืนดั้งเดิมได้
6. ตรวจสอบวัดปริมาณการผลิตไอน้ำ (หรือปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ)
เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไปในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อติดตามดูว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลงหรือไม่ วิธีที่นิยมใช้กันกับหม้อไอน้ำน้ำมันเตา คือ <ul style="list-style-type: none"> <li>• ติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณ และเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ</li> <li>• ติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง</li> </ul>

## 2.4 ก๊ับดักไอน้ำ

ก๊ับดักไอน้ำ (Steam Trap) คือ วาล์วอัตโนมัติที่ทำหน้าที่แยกน้ำที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำหรือเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำออกไปจากระบบ เพื่อป้องกันการอั้นตัวของน้ำ (Water Locked) ส่งผลให้อุปกรณ์ไม่ร้อน (ร้อนช้า) หรือทำอุณหภูมิไม่ได้และอาจนำไปสู่การเกิดแรงกระแทกอย่างรุนแรง หรือปรากฏการณ์ “ค้อนน้ำ” (Water Hammer) ซึ่งมีผลให้ท่อ ข้อต่อ และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำต่างๆ ในกระบวนการผลิตเกิดความเสียหาย ก๊ับดักไอน้ำยังมีหน้าที่ในการระบายก๊าซและอากาศออกจากระบบโดยไม่เกิดการสูญเสียไอน้ำ ก๊าซและอากาศเหล่านั้นสามารถแทนที่ไอน้ำ ซึ่งทำให้ความสามารถในการพาความร้อนลดลงและยังกั้นไม่ให้ไอน้ำไปถึงพื้นผิวถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตด้วย และในกรณีที่เลวร้ายที่สุดก็คือ ท่อหรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์เกิดอากาศอั้น (Air Locked) ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไม่ได้ ซึ่งแม้แต่ไอน้ำควบแน่นก็ไม่สามารถออกไปได้ เราจะเห็นได้ชัดว่า ก๊ับดักไอน้ำที่มีประสิทธิภาพเป็นส่วนสำคัญที่สร้างความเชื่อมั่นว่าอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ก๊ับดักไอน้ำที่เสื่อมสภาพลงจากการใช้งานก็สามารถสร้างปัญหาให้กับระบบไอน้ำได้อย่างมากเช่นกัน

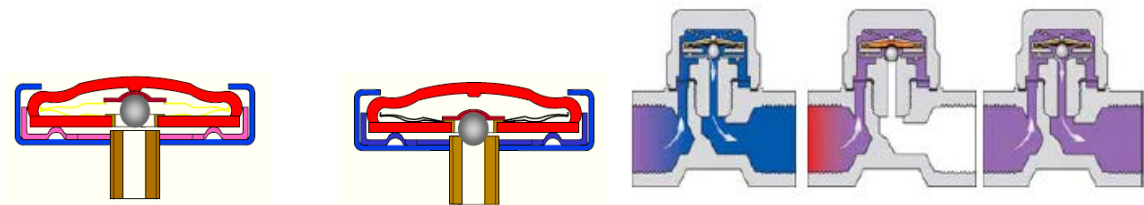
## 2.4.1 ประเภทของกักน้ำ

กักน้ำสามารถแบ่งตามหลักการทำงานหรือตามโครงสร้างทางกลไกของอุปกรณ์ภายในออกเป็น 4 กลุ่ม ได้ดังนี้

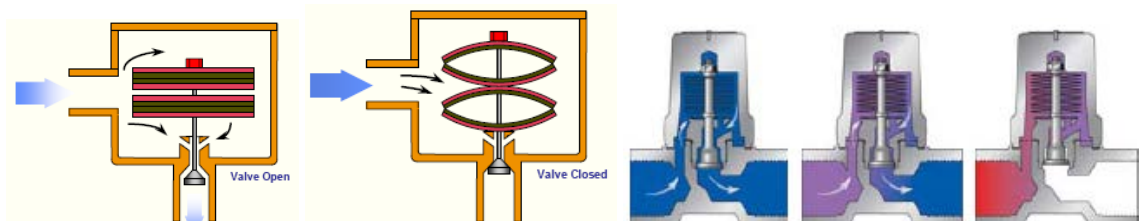
### 2.4.1.1 กักน้ำทำงานโดยความร้อน (Thermostatic Trap)

กักน้ำกลุ่มนี้ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำและของคอนเดนเสทเป็นตัวทำให้วาล์วเปิดและปิด คอนเดนเสทจะต้องเย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิไอน้ำก่อนที่จะถูกปล่อยออกจากกักน้ำ ซึ่งกักน้ำกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น

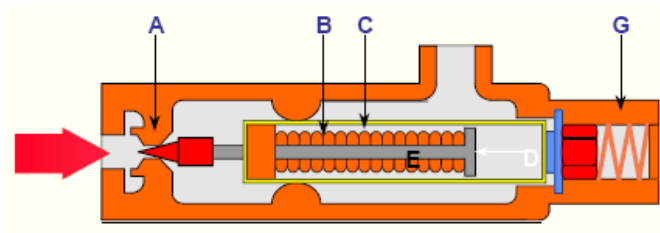
- แบบสมดุลความดัน (Balanced Pressure Type)
- แบบใช้โลหะ 2 ชนิด (Bimetallic Type)
- แบบใช้การขยายตัวของเหลว (Liquid Expansion Type)



กักน้ำแบบสมดุลความดัน



กักน้ำแบบใช้โลหะ 2 ชนิด



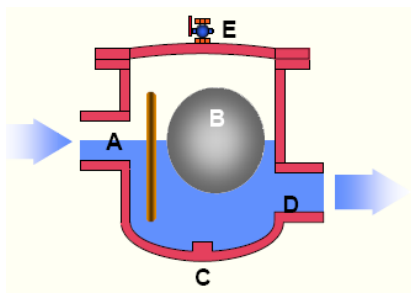
กักน้ำแบบใช้การขยายตัวของเหลว

รูปที่ 2.4-1 กักน้ำทำงาน โดยความร้อน

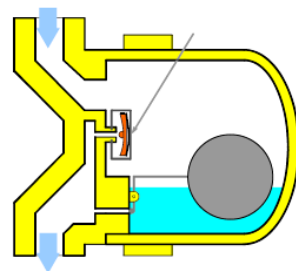
### 2.4.1.2 กักตักไอน้ำทำงานโดยกลไก (Mechanical Group)

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

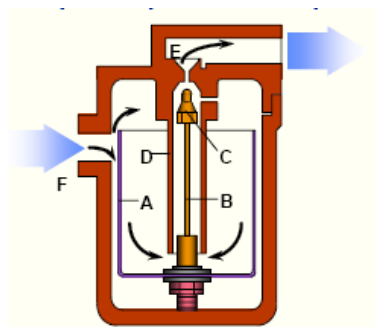
- แบบลูกลอย (Loose Float Type)
- แบบลูกลอยมีก้าน (Float and Lever Type)
- แบบถ้วยหงาย (Open Top Bucket Type)
- แบบถ้วยคว่ำ (Inverted Bucket Type)



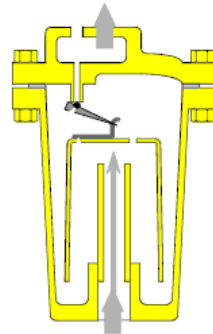
แบบลูกลอย



แบบลูกลอยมีก้าน



แบบถ้วยหงาย

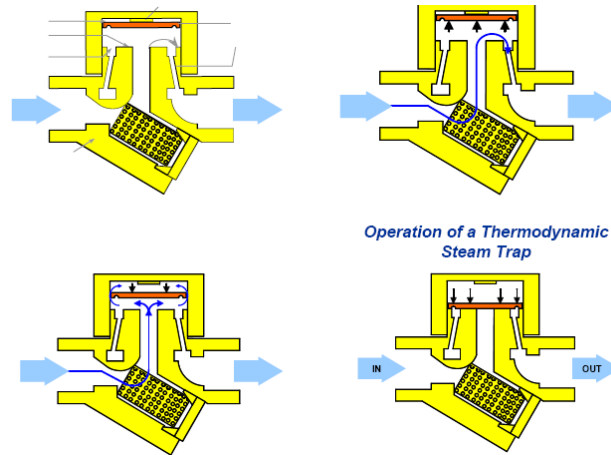


แบบถ้วยคว่ำ

รูปที่ 2.4-2 กักตักไอน้ำทำงานโดยกลไก

### 2.4.1.3 กักตักไอน้ำกลุ่มที่ทำงานด้วยการเคลื่อนไหวเนื่องจากความร้อน (Thermodynamic Groups)

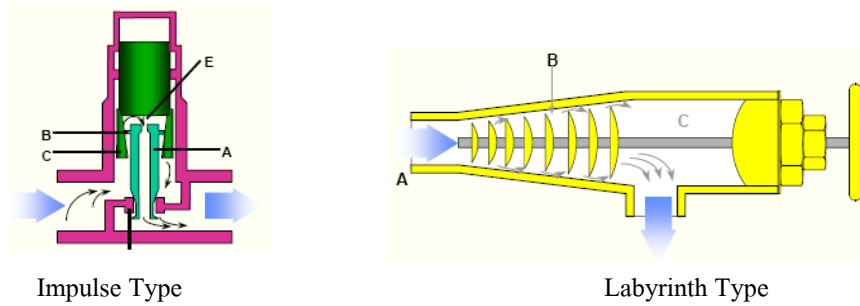
กักตักไอน้ำกลุ่มนี้ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของความเร็วระหว่างไอน้ำและคอนเดนเสทที่ไหลผ่านตัววาล์วที่เป็นจานกลม ซึ่งจะปิดเมื่อมีไอน้ำไหลเข้ามาด้วยความเร็วสูง และจะเปิดเมื่อมีคอนเดนเสทไหลเข้ามาด้วยความเร็วที่ต่ำกว่า ซึ่งกักตักไอน้ำในกลุ่มนี้เรียกว่า กักตักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์



รูปที่ 2.4-3 ก๊ับไอดักน้ำทำงานด้วยการเคลื่อนไหวเนื่องจากความร้อน

#### 2.4.1.4 ก๊ับดักไอน้ำชนิดอื่นๆ (Miscellaneous Group)

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



รูปที่ 2.4-4 ก๊ับดักไอน้ำทำงานด้วยระบบอื่นๆ

สำหรับก๊ับดักไอน้ำแต่ละประเภทมีข้อดี และข้อเสียสรุปได้ดังตารางที่ 2.4-1

ตารางที่ 2.4-1 ข้อดี และข้อเสียของก๊ับดักไอน้ำแต่ละประเภท

	แบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
ก๊ับดักไอน้ำแบบเมคานิกส์	แบบถ้วยหงาย	<ul style="list-style-type: none"> <li>•การทำงานแม่นยำ</li> <li>•ไอน้ำไม่รั่วไหลเนื่องจากมี Water Seal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•รูปร่างและขนาดใหญ่</li> <li>•การระบายอากาศที่งไม่ดี</li> </ul>
	แบบถ้วยคว่ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>•การระบายอากาศที่ดี</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•การติดตั้งไม่สะดวก</li> <li>•ประสิทธิภาพการระบายน้ำคอนเดนเสทไม่ดี</li> </ul>
	แบบลูกกลอยติดคาน	<ul style="list-style-type: none"> <li>•เหมาะสมกับความดันต่ำและการระค้ำ</li> <li>•โครงสร้างง่าย</li> <li>•ปล่อยทิ้งอย่างต่อเนื่องและการทำงานเงียบ</li> <li>•เปลี่ยนลูกกลอยและβάλันได้ง่าย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ไม่ทนต่อ Water Hammer</li> <li>•จำเป็นต้องติดตั้งในแนวระนาบจึงมีข้อจำกัดด้านสถานที่ติดตั้ง</li> </ul>
ก๊ับดักไอน้ำแบบเทอร์โมสแตติกส์	แบบเบลโลส	<ul style="list-style-type: none"> <li>•สามารถปรับตั้งและควบคุมอุณหภูมิที่ระบายได้</li> <li>•การระบายอากาศที่ดี</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ไม่ทนต่อ Water Hammer</li> <li>•ไม่เหมาะสมกับความดันสูง</li> </ul>
	แบบไบเมทัล	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ไม่มีปัญหาลินปิดตาย</li> <li>•การระบายอากาศที่ดี</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ผลต่างอุณหภูมิสำหรับเปิดปิดลินสูง</li> <li>•คุณสมบัติของไบเมทัลเปลี่ยนแปลงไปในขณะใช้งาน</li> </ul>
ก๊ับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์	แบบออริฟิส	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา</li> <li>•เหมาะกับความดันสูง อุณหภูมิสูง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ไอน้ำรั่วไหลมาก</li> <li>•มีขีดจำกัดความดันย้อนกลับ (30%)</li> </ul>
	แบบจาน	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา</li> <li>•โครงสร้างง่าย</li> <li>•สามารถใช้กับไอคองได้</li> <li>•ทนต่อ Water Hammer ได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ต้องมีผลต่างความดันทำงานอย่างต่ำสุด 0.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร</li> <li>•มีขีดจำกัดของความดันย้อนกลับ (30%)</li> </ul>

### 2.4.2 การเลือกใช้ก๊ับดักไอน้ำ

ก๊ับดักไอน้ำมีหลายประเภท ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และลักษณะงานต่างๆ โดยทั่วไป

ข้อพิจารณาและหลักเกณฑ์ในการเลือกก๊ับดักไอน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน
2.4.2.1 ข้อพิจารณาในการเลือกก๊ับดักไอน้ำให้เหมาะสม
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) ความดันไอน้ำ</li> <li>2) อุณหภูมิไอน้ำ</li> <li>3) ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น</li> <li>4) เงื่อนไขในการติดตั้ง</li> </ol>

**2.4.2.2 หลักเกณฑ์ง่าย ๆ ในการเลือกใช้กับดักไอน้ำ**

- 1) ใช้กับดักไอน้ำแบบจานกับท่อไอน้ำหลัก ท่อย่อย ถังรองรับ และเสตเตอร์ หรือบริเวณที่อาจจะเกิดการกระแทกของน้ำ (Water Hammer)
- 2) ใช้กับดักไอน้ำแบบลูกลอยอิสระ ด้วยกลมอิสระ ด้วยกลมติดคานและแบบถ้วยคว่ำกับเครื่องให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เครื่องระเหย เครื่องกลั่น เครื่องอบแห้ง
- 3) ในกรณีที่มีปริมาณการใช้ไอน้ำสูงควรใช้กับดักไอน้ำแบบถ้วยคว่ำติดคานและแบบถ้วยคว่ำติดคานหากเป็นกรณีที่มีปริมาณน้อยควรใช้แบบลูกลอยอิสระ ลูกลอยติดคานและแบบถ้วยคว่ำอิสระ
- 4) ถ้าการใช้ไอน้ำอาจจะเกิดการกระแทกของน้ำ ไม่ควรใช้กับดักไอน้ำแบบถ้วยคว่ำติดคานแบบลูกลอยติดคานและแบบลูกลอยอิสระ เพราะการกระแทกของน้ำจะทำให้คานและลูกลอยเสียรูปทรงได้ ซึ่งจะทำให้วาล์วปิดไม่สนิท
- 5) โดยทั่วไปแล้ว กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ไม่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ โดยเฉพาะถ้ามีการนำคอนเดนเสทกลับ กับดักไอน้ำนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียของไอน้ำอย่างมาก

ตารางที่ 2.4-2 การเลือกใช้กับดักไอน้ำ

<p>การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam)</p>	
<p>การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำไอคง (Superheated Steam)</p>	

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

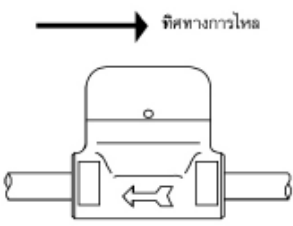
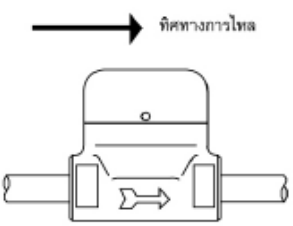
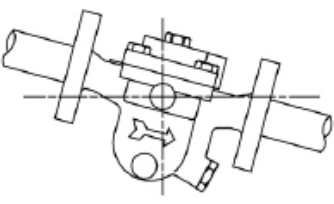
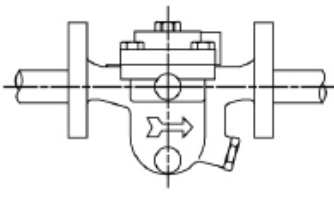
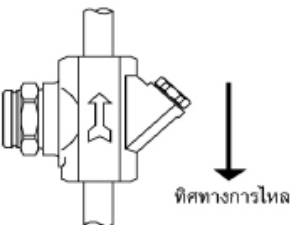
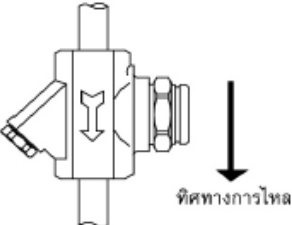


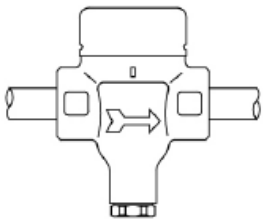
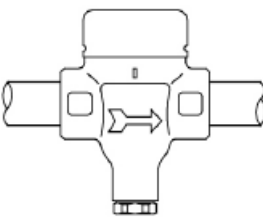
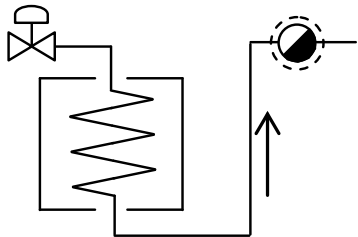
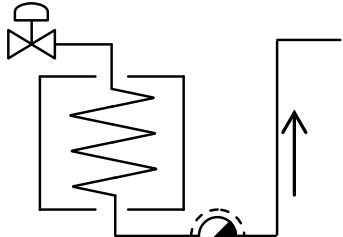
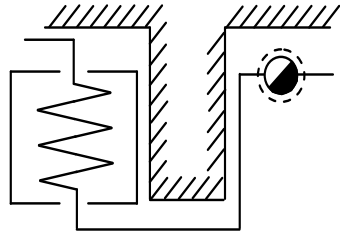
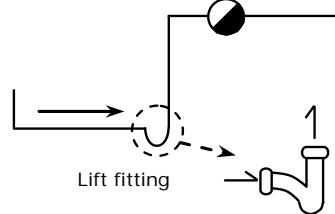
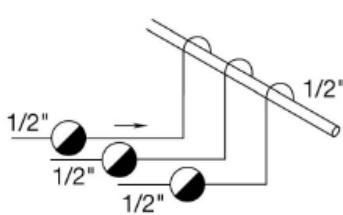
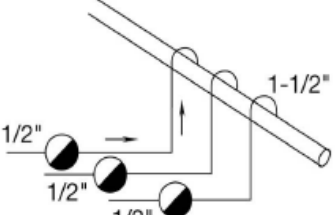
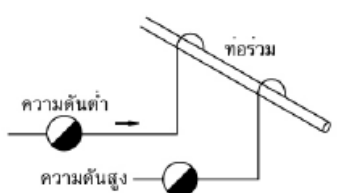
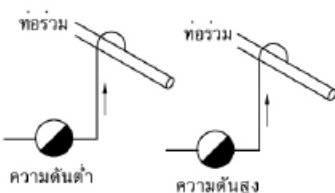
<b>2.4.2.4 การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำไอคง (Superheated Steam) สามารถแบ่งตามลักษณะตำแหน่งติดตั้งได้ 2 ประเภท</b>
1) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger), หม้อต้ม (Jackets), ลมร้อน (Air Heaters), ถังเก็บไอน้ำแฟลช (Flash vessels), ลูกกลิ้ง (Rotating Cylinders)
กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB) และควรรต่อ Air vent คร่อมด้วย
2) ท่อประธานของไอน้ำ (Steam Mains Drainage)
กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Bimetallic (SM)

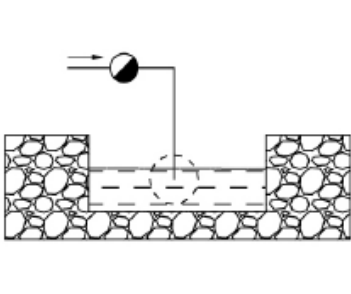
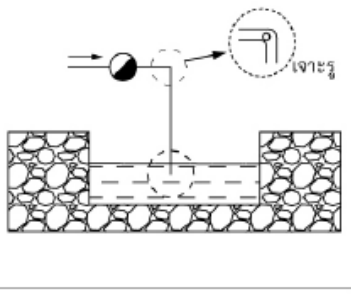
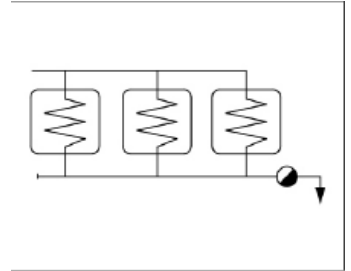
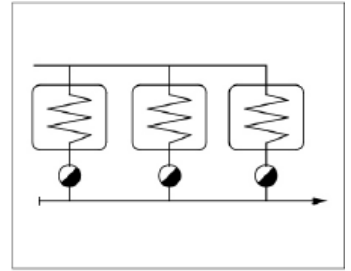
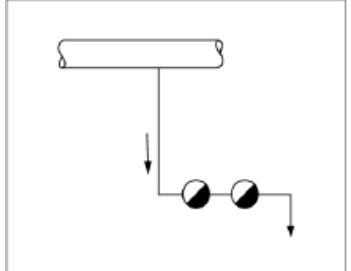
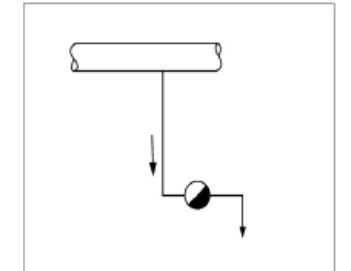
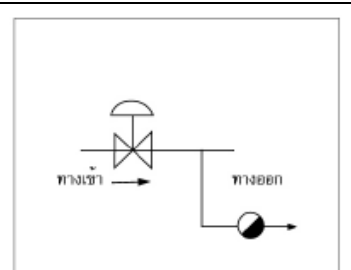
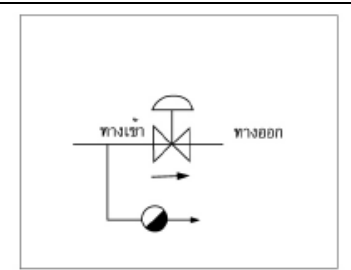
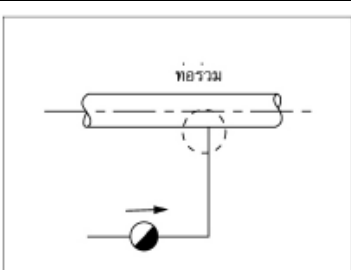
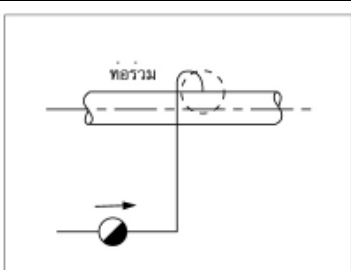
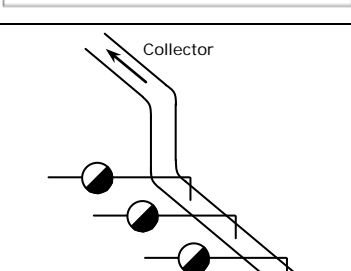
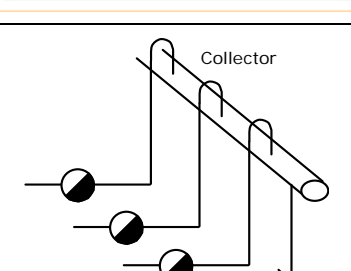
### 2.4.3 ข้อแนะนำในการติดตั้งกับดักไอน้ำ

การเลือกกับดักไอน้ำในชนิดและขนาดที่เหมาะสมแล้ว แต่การติดตั้งไม่ถูกต้องก็จะทำให้เกิดปัญหาในระบบไอน้ำหรือเกิดการสูญเสียพลังงานเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นควรตรวจสอบและแก้ไขให้ถูกต้องดังตารางที่ 2.4-3

ตารางที่ 2.4-3 ข้อแนะนำในการติดตั้งกับดักไอน้ำ

ผิด	ถูก	คำแนะนำ
 <p>ทิศทางการไหล</p>	 <p>ทิศทางการไหล</p>	ติดตั้งกับดักไอน้ำให้ถูกต้องตามทิศทางการไหล
		กับดักไอน้ำแบบลูกลอยอิสระต้องติดตั้งในแนวนอน
 <p>ทิศทางการไหล</p>	 <p>ทิศทางการไหล</p>	กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ไม่มีข้อจำกัดในการติดตั้ง

ผิด	ถูก	คำแนะนำ
		<p>ไม่ควรใช้ท่อเล็กกว่าขนาดของกับดักไอน้ำ</p>
		<p>ไม่ควรติดตั้งกับดักไอน้ำสูงกว่าจุดที่ระบายน้ำออก ทางเข้าของกับดักไอน้ำควรอยู่ในระดับที่คอนเดนเสทสามารถไหลเข้ามาได้ด้วยแรงโน้มถ่วง</p>
	 <p>Lift fitting</p>	<p>ถ้ากับดักไอน้ำต้องติดตั้งในระดับที่สูงกว่าจุดระบายน้ำออก ควรใช้ Lift Fitting</p>
		<p>ขนาดของท่อร่วมที่จะนำน้ำกลับควรมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของกับดักไอน้ำ และพื้นที่หน้าตัดต้องมากกว่าพื้นที่หน้าตัดของกับดักไอน้ำทั้งหมดรวมกัน</p>
		<p>คอนเดนเสทที่มีความดันแตกต่างกัน ไม่ควรนำไปรวมในท่อร่วมเดียวกัน</p>

ฝิต	ถูก	คำแนะนำ
		<p>ท่อทางออกไม่ควรจุ่มอยู่ในน้ำ และควรมีรูเล็กๆ เพื่อไม่ให้เกิดการดูดกลับ</p>
		<p>อุปกรณ์แต่ละอย่างควรมีกับดักไอน้ำแยกกันไม่ควรติดตั้งกับดักไอน้ำตัวเดียวกับอุปกรณ์หลายๆอย่าง เพราะจะทำงานได้ไม่ดี</p>
		<p>การใช้กับดักไอน้ำซ้อนกัน 2 ตัว จะทำงานได้ไม่ดี ใช้ตัวเดียวก็พอ</p>
		<p>กับดักไอน้ำต้องติดตั้งไว้ด้านทางเข้าเพื่อเอาน้ำคอนเดนเสทออกก่อนที่จะเข้าวาล์วควบคุม (Regulating Valve)</p>
		<p>ทางออกของกับดักไอน้ำไม่ควรต่อที่ด้านล่างของท่อร่วม</p>
		<p>ท่อร่วมไม่ควรมีส่วนที่ยกขึ้น เพราะจะทำให้มีความดันเกิดขึ้นเนื่องจากความสูงของน้ำคอนเดนเสทซึ่งจะทำให้เกิดความดันย้อนกลับ (Back Pressure)</p>

## 2.5 การตรวจวิเคราะห์หม้อไอน้ำ

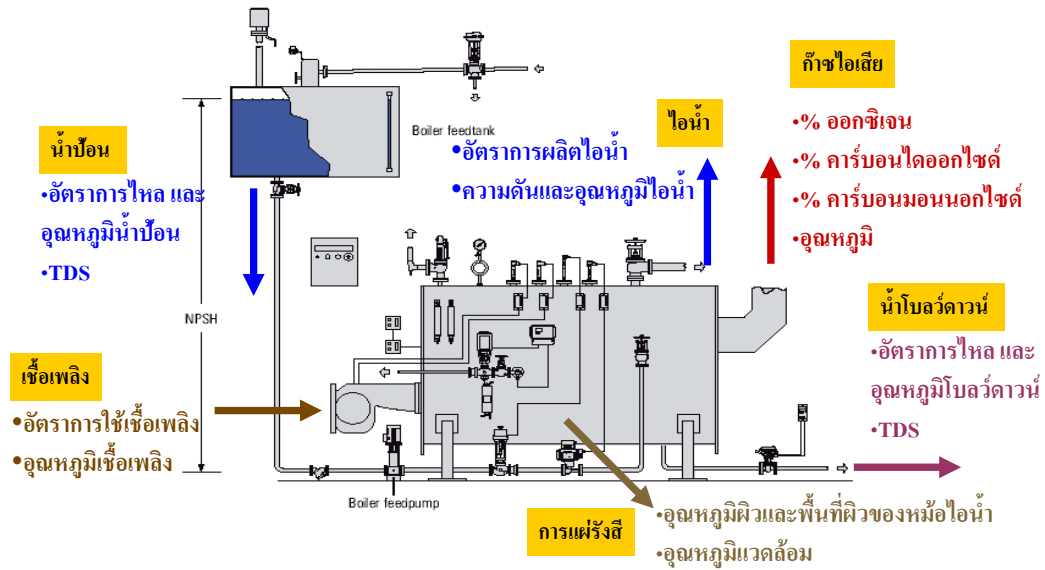
หม้อไอน้ำแต่ละลูกจะระบุข้อมูลจำเพาะของหม้อไอน้ำ เช่น กำลังการผลิตไอน้ำพิกัด ชนิดและปริมาณความต้องการใช้เชื้อเพลิง และอื่นๆ ข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ประเมินเพื่อให้ทราบค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลูกนั้นๆ โดยเบื้องต้น อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ เรายังจำเป็นต้องตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อไอน้ำเป็นประจำเพื่อให้ทราบถึงสภาพการทำงานและประสิทธิภาพพลังงานที่แท้จริงของหม้อไอน้ำที่เราใช้งานอยู่

### 2.5.1 การตรวจวัดการทำงานของหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 2.5-1 แสดงข้อมูลการวัดที่จำเป็นต้องทราบสำหรับการประเมินสมรรถนะการทำงานและประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 2.5-1 ข้อมูลตรวจวัดระบบไอน้ำอุตสาหกรรม

ข้อมูล	ค่าตรวจวัด	การวิเคราะห์
เชื้อเพลิง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง</li> <li>- อัตราการใช้เชื้อเพลิง</li> <li>- อุณหภูมิเชื้อเพลิง</li> </ul>	- อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ
ไอน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความดันและอุณหภูมิไอน้ำ</li> <li>- อัตราการผลิตไอน้ำ</li> </ul>	- อัตราการผลิตพลังงานความร้อน (ไอน้ำ) ของหม้อไอน้ำ
น้ำป้อนและน้ำโบล์วคาวน์	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราการไหลของน้ำป้อนและโบล์วคาวน์</li> <li>- อุณหภูมิของน้ำป้อนและโบล์วคาวน์</li> <li>- ค่า TDS (Total Dissolved Solid)</li> </ul>	- การสูญเสียพลังงานจากการโบล์วคาวน์
ก๊าซไอเสีย	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เปอร์เซ็นต์ของ O<sub>2</sub></li> <li>- เปอร์เซ็นต์ของ CO<sub>2</sub></li> <li>- เปอร์เซ็นต์ของ CO และอื่นๆ</li> <li>- อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย</li> </ul>	- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ
การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของหม้อไอน้ำ</li> <li>- อุณหภูมิแวดล้อม</li> <li>- ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)</li> </ul>	- 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

$$\eta_B = \frac{m_S (h_S - h_W)}{m_F \cdot HV} \quad (2.1)$$

ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

เมื่อ	$\eta_B$	=	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

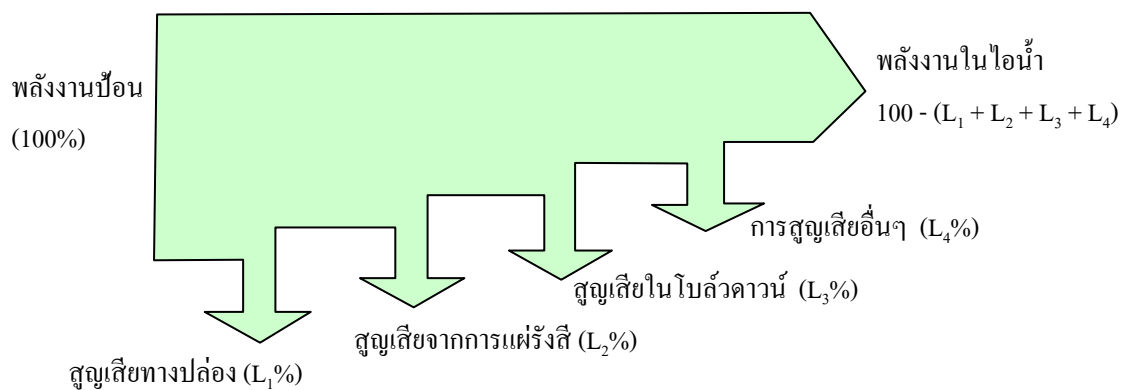
2.5.2.2 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อม

การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อมจะใช้วิธีการสูญเสียพลังงานจากแหล่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ แล้วหักออกจาก 100 ซึ่งก็คือค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ การคำนวณประสิทธิภาพโดยวิธีอ้อม เราจะต้องตรวจวัดหรือคำนวณเพื่อให้ทราบการสูญเสียพลังงานต่างๆ ที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย

- การสูญเสียพลังงานทางปล่อง ( $L_1$ )
- การสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อนที่ผิว ( $L_2$ )
- การสูญเสียพลังงานจากโบล์ควาน์ ( $L_3$ )
- การสูญเสียพลังงานอื่นๆ ( $L_4$ )

ทันทีที่ทราบการสูญเสียเหล่านี้ เราสามารถคำนวณประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำได้จากการคำนวณ โดยใช้สมการที่ (2.2)

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



**ตัวอย่างที่ 1**

สมมติให้หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำลูกหนึ่งซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ผลิตไอน้ำที่ความดัน 10 barg อุณหภูมิ 184°C ข้อมูลข้างล่างได้จากการตรวจวัดหม้อไอน้ำ

**ข้อมูลตรวจวัด**

ปริมาณการใช้น้ำมันเตา	800	L/h (สมมุติน้ำมันเตามีค่าความร้อน $\approx 40$ MJ/L)
ปริมาณน้ำป้อน	10,600	kg/h
ปริมาณโบลว์ดาวน์	600	kg/h
อุณหภูมิน้ำป้อน	25	°C
หม้อไอน้ำทำงาน	6,000	h/y
ไม่มีการนำกลับคอนเดนเสท		
ราคาน้ำมันเตาสมมติให้เท่ากับ	14.0	฿/L

จงคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (โดยใช้วิธีตรง)

**วิธีคำนวณ**

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



ตารางที่ 2.5-2 ตารางแสดงค่าเอนทาลปีของน้ำที่ค่าความดันต่างๆ

Pressure (absolute) bar	Temp °C	Enthalpy in kJ/kg		
		Water	Evaporation	Steam
		$h_f$ kJ/kg	$h_{fg}$ kJ/kg	$h_g$ 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

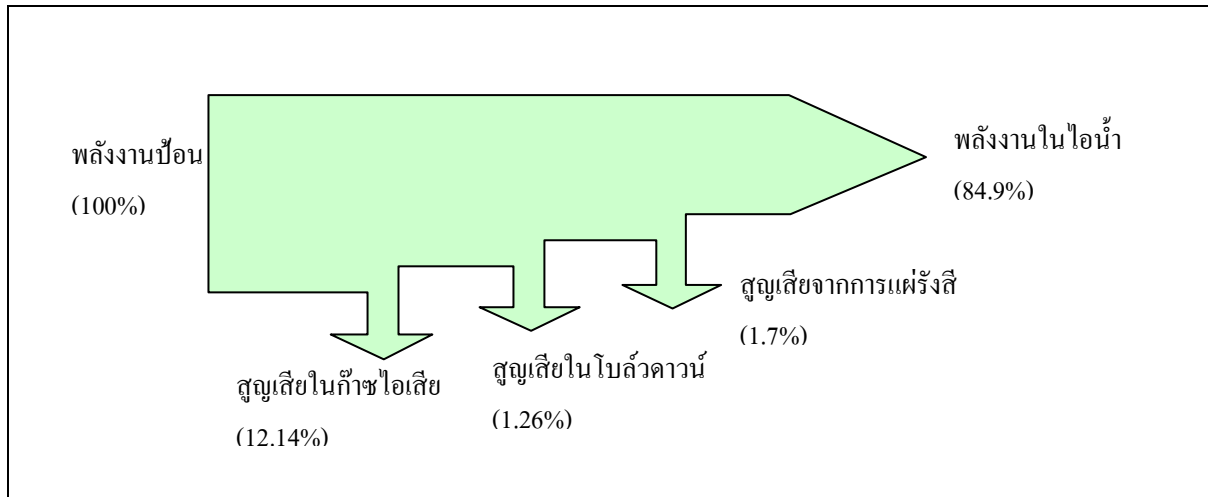
**ตัวอย่างที่ 2**

จากตัวอย่างที่ 1 และจากการตรวจวัดการสูญเสียความร้อนจากแหล่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ พบได้ว่า การสูญเสียความร้อนจากปล่อง = 12.4 % (ผลจากการตรวจวัดไอเสีย) การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี = 1.7%  
จงคำนวณหาการสูญเสียจากโบลว์ดาวน์และประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำ

**วิธีคำนวณ**

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

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการที่ (2.2) ประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำ} \\
 &= 100 - 12.14 - 1.7 - 1.26 \\
 &= 84.9 \quad \%
 \end{aligned}$$



## 2.6 การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

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

### 2.6.1 การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศป้อนต่อเชื้อเพลิง

การควบคุมประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำให้อยู่ในระดับสูงตลอดเวลา มีผลอย่างยิ่งต่อการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบไอน้ำ ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับตั้งอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม ซึ่งผู้ดูแลหม้อไอน้ำสามารถดำเนินการได้โดยดูจากเปลวไฟ ความสว่างในห้องเผาไหม้และสีของควันไฟ อย่างไรก็ตามหากเป็นไปได้ควรทำการตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซเผาไหม้เป็นประจำ จะช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด นอกจากนี้ควรทำการติดตั้งเครื่องควบคุมและปรับปริมาณ  $O_2$  (Continuous Oxygen Trimming) จะช่วยให้หม้อไอน้ำทำงานด้วยการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดเวลา สำหรับหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำขนาดใหญ่ มักจะติดตั้งเครื่องมือดังกล่าวไว้

การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศจำเป็นต้องปรับตั้งที่ทุกๆ ภาระการทำงาน เช่น หัวเผาทำงานแบบเป็นขั้น ให้ปรับตั้งค่าสำหรับแต่ละขั้น และหัวเผาทำงานแบบต่อเนื่อง ให้ปรับตั้งอย่างน้อยที่ภาระต่ำ ปานกลางและสูง ในการปรับตั้งเริ่มจากการบังคับหัวเผาให้ทำงานที่ภาระใดภาระหนึ่ง จากนั้นตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย แล้วปรับแคมเปอร์อากาศ เพื่อให้ร้อยละของ  $O_2$  ในก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานหรือปริมาณ  $CO_2$  มีค่าสูงสุด ทั้งนี้ก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งต้องไม่เกิดเขม่าดำและปริมาณ  $CO$  ไม่เกิน 200 ppm ให้ลือกตำแหน่งนั้นไว้แล้วปรับตั้งสำหรับที่ภาระอื่นๆ 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 ขั้นตอนการหาค่าการสูญเสียความร้อนทางปล่องไฟ

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<sub>2</sub> จากก๊าซไอเสียที่ปล่องไฟ ณ ตำแหน่งที่ใกล้หม้อไอน้ำมากที่สุด
3. ถ้าเครื่องมือวัดที่ใช้ เป็นเครื่องวัด %O<sub>2</sub> ของก๊าซไอเสีย ให้ใช้กราฟในรูปที่ 2.6-1 ในการเทียบค่า (Convert) %O<sub>2</sub> ไปเป็น %CO<sub>2</sub>
4. วัดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่องไฟ แล้วลบด้วยอุณหภูมิห้อง (ค่าอุณหภูมิในตารางที่ 2.6-1, 2.6-2 และ 2.6-3 เป็นผลต่างของอุณหภูมิลบกับอุณหภูมิแวดล้อม , หน่วยเป็น °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 ไม่เช่นนั้นเมื่อนำค่าที่ได้ไปใช้งานต่อ เช่น คำนวณต้นทุนของการผลิตไอน้ำจะผิดพลาดไป ถ้าไม่สามารถหาข้อมูลได้ว่าตารางหรือกราฟนั้น ใช้กับค่าความร้อนสูงหรือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง อาจสังเกตจากเครื่องมือวัด เช่น ถ้าผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกาจะใช้ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง ถ้าผลิตจากประเทศญี่ปุ่นหรือยุโรปจะใช้ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง
- ค) ข้อสังเกตจากตาราง % ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟ
  - ถ้าอุณหภูมิของไอเสียสูง จะมีความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องมาก
  - ถ้า % CO<sub>2</sub> สูง หรือ % O<sub>2</sub> ต่ำ จะมีความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องน้อย

ตารางที่ 2.6-1 ร้อยละการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสีย สำหรับน้ำมันดีเซล

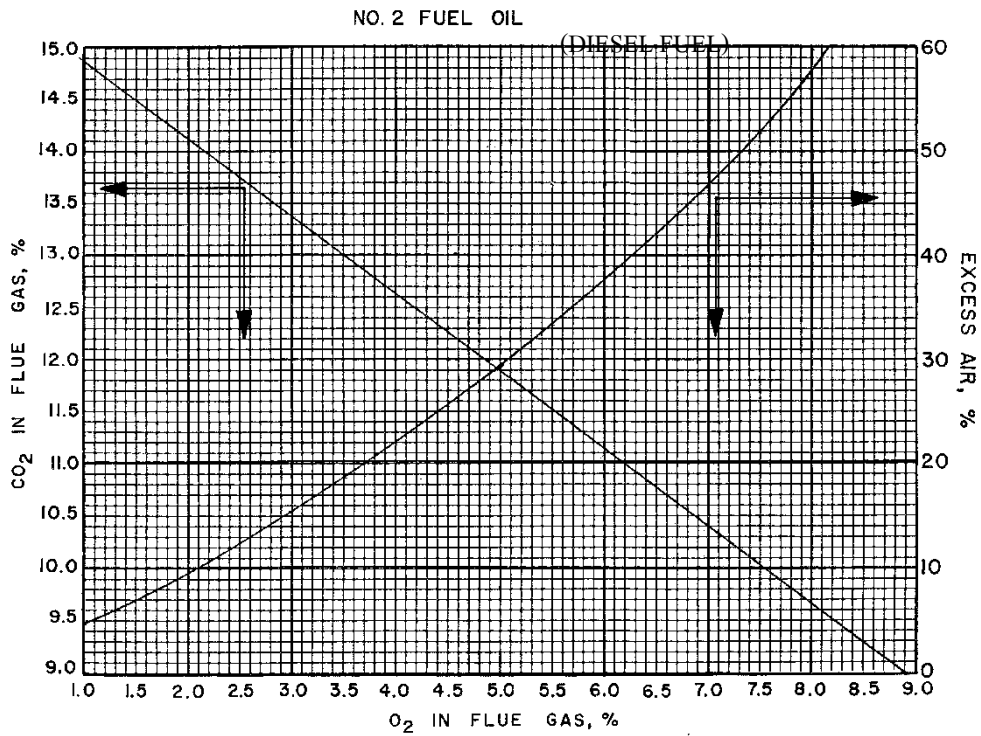
STACK LOSS -%- NO.2 OIL																																	
%	DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																																
CO <sub>2</sub>	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	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	17.2	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	16.4	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	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	15.3	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	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

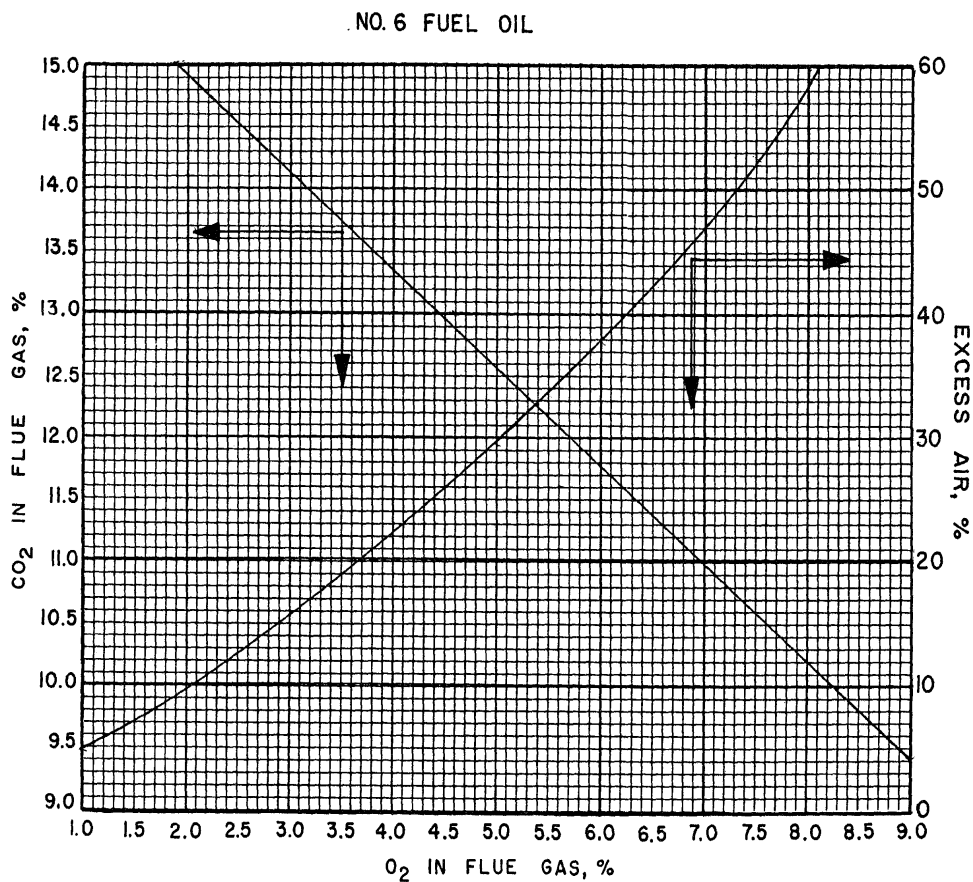
STACK LOSS -%- NO.6 OIL																																
%	DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																															
CO <sub>2</sub>	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	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 <sub>2</sub>	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				

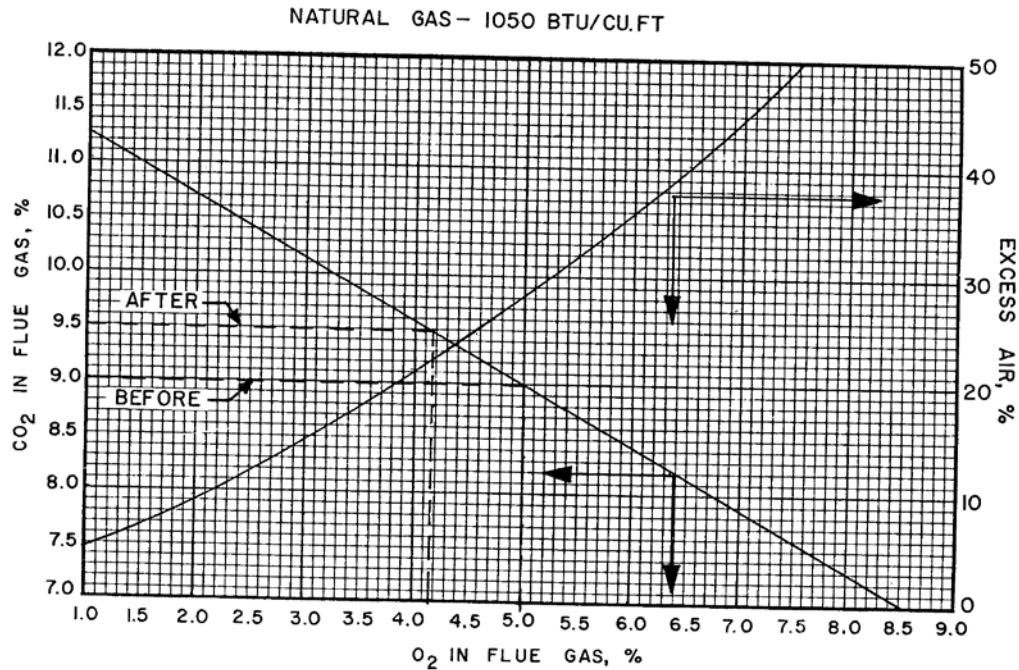


ก) ความสัมพันธ์ของ Excess air, %O<sub>2</sub> และ %CO<sub>2</sub> ของน้ำมันดีเซล



ข) ความสัมพันธ์ของ Excess air, %O<sub>2</sub> และ %CO<sub>2</sub> ของน้ำมันเตา C





ก) ความสัมพันธ์ของ Excess air, %O<sub>2</sub> และ %CO<sub>2</sub> ของก๊าซธรรมชาติ

รูปที่ 2.6-1 ความสัมพันธ์ของ Excess air, %O<sub>2</sub> และ %CO<sub>2</sub> ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

### ตัวอย่างที่ 3

จากการตรวจวัดหม้อไอน้ำลูกหนึ่งพบว่าปริมาณ O<sub>2</sub> ในก๊าซไอเสียมีค่าเท่ากับ 8% และอุณหภูมิไอเสียเท่ากับ 246°C ขณะที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 35°C จงประเมินการสูญเสียความร้อนของไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ

#### วิธีคำนวณ

จากรูปที่ 2.6-1 ข) เมื่อ O<sub>2</sub> เท่ากับ 8% และเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นน้ำมันเตา ดังนั้น ปริมาณอากาศส่วนเกินจะเท่ากับ 58% และ CO<sub>2</sub> เท่ากับ 10.2% จากตารางที่ 2.7 เมื่ออุณหภูมิไอเสียหักด้วยอุณหภูมิห้อง ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 211°C (380°F)

ฉะนั้น การสูญเสียในก๊าซไอเสีย  $\approx 16.8$  % (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) ดังนั้นจึงเกาะและสะสมอยู่บนพื้นผิว แลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเขม่ามากขึ้นอุณหภูมิไอเสียที่ออกปล่องจะสูงขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียความร้อนออกทางปล่องมากขึ้น โดยทั่วไปเขม่าที่หนาขึ้น 1 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 15-20%
- 1) ตะกรัน (Scale) เกิดจากการรวมตัวของสารละลายที่อยู่ในน้ำเกิดเป็นของแข็งเกาะบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดต่ำลง ซึ่งจะทำให้การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียมากขึ้น โดยสังเกตจากอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ซึ่งตะกรันที่หนาขึ้นทุกๆ 1 mm. จะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 2%

ปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาจะทำให้อุณหภูมิไอเสียสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียเพิ่มขึ้น ดังนั้น ผู้ใช้หม้อไอน้ำควรตรวจสอบอุณหภูมิไอเสียเป็นประจำ โดยทำการบันทึกอุณหภูมิไอเสียหลังจากปรับตั้งปริมาณอากาศที่เหมาะสมและทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว อุณหภูมิไอเสียที่ได้ไม่ควรเกินค่าในตารางที่ 2.6-4 บวกกับอุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อมด้วย 20 นอกจากนี้ หลังจากใช้งานไประยะหนึ่งจะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิไอเสียสูงกว่าเดิม 20°C ควรทำความสะอาดโดยการขูดเขม่า เพื่อลดการสูญเสียความร้อนดังกล่าว

ตารางที่ 2.6-4 มาตรฐานอุณหภูมิไอเสียของหม้อไอน้ำ (°C)

ขนาดพิกัดหม้อไอน้ำ	เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	เชื้อเพลิงก๊าซ	ก๊าซทิ้งกระบวนการผลิต
หม้อไอน้ำขนาดใหญ่เพื่อผลิตไฟฟ้า	-	145	110	200
หม้อไอน้ำอื่นๆ 30 ต้นต่อชั่วโมง หรือมากกว่า	200	200	170	200
10 ถึง 30 ต้นต่อชั่วโมง	200	200	170	-
5 ถึง 10 ต้นต่อชั่วโมง	-	220	200	-
น้อยกว่า 5 ต้นต่อชั่วโมง	-	250	220	-

หมายเหตุ ใช้ที่อุณหภูมิบรรยากาศ 20°C และภาวะ 100% และพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสะอาด

### 2.6.2.2 การคำนวณการสูญเสียความร้อนจากไอเสีย

การสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสียของหม้อไอน้ำแต่ละชุดไม่เท่ากัน เราสามารถคำนวณการสูญเสียความร้อนจาก ไอเสีย 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 O <sub>2</sub> ในก๊าซไอเสียลงเหลือ 5% ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีค่าเท่าใด (พิจารณาเฉพาะมาตรการปรับลดปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียเท่านั้น)		
วิธีคำนวณ		
จากรูปที่ 2.6-1 ข) และตารางที่ 2.6-2 ที่ปริมาณ O <sub>2</sub> 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 ตันต่อชั่วโมงต้องป้อนพลังงานความร้อนให้		
	= 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 x 14	B/y
	= 65,620,800.0	B/y
ราคาไอน้ำต่อตัน	= 65,620,800.0 / (10 x 6,000)	
	= 1,093.7	B/t

### 2.6.2.3 มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้และการบำรุงรักษา ระบบ/อุปกรณ์ในการเผาไหม้

- 1) ทำความสะอาดหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวทุกสัปดาห์ และเชื้อเพลิงก๊าซทุกเดือน เขม่าหรือสิ่งสกปรกจะทำให้ อากาศและเชื้อเพลิงไหลไม่สะดวก ไม่สามารถฉีดเป็นละอองได้
- 2) ตรวจสอบสภาพการเผาไหม้และปรับตั้งอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐานทุกเดือน
- 3) ควรทำเครื่องหมายไว้ที่เกจวัดความดันน้ำมันเชื้อเพลิง หมั่นตรวจสอบว่าความดันยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิม
- 4) ควบคุมอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าเผาไหม้ให้เหมาะสม เชื้อเพลิงที่หนืดเกินไปจะกระจายเป็นละอองได้ไม่ดีส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดต่ำลง ขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิร้อนเกินไป จะสิ้นเปลืองพลังงาน และ เกิดคราบเขม่าที่หัวเผา

น้ำมันเตาอ อุณหภูมิอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะสม 90–100°C

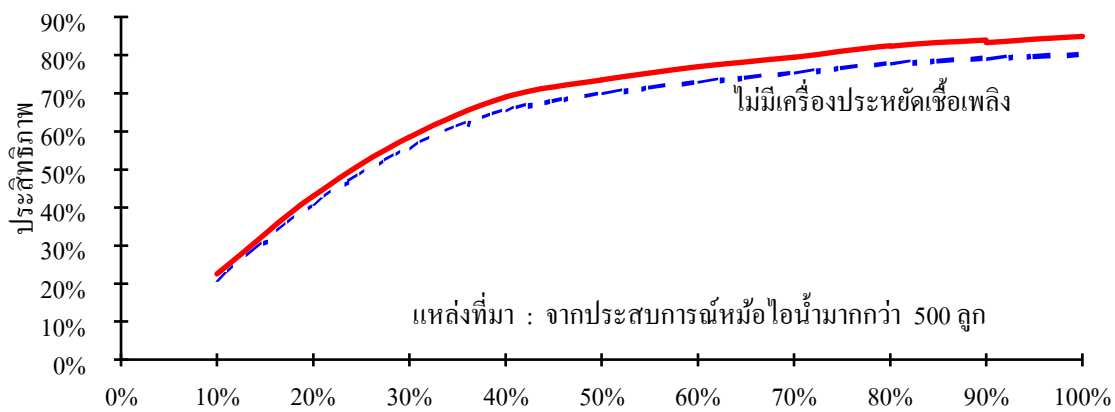
น้ำมันเตาซี อุณหภูมิอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะสม 110–120°C

- 5) อุณหภูมิที่ลดลงด้วยไอน้ำแทนการใช้ไฟฟ้า เนื่องจากต้นทุนไฟฟ้าสูงกว่าเชื้อเพลิงประมาณ 30 %
- 6) ล้างกรองน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นประจำและปล่อยน้ำกลับถึงน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างน้อยปีละครั้ง
- 7) ลดขนาดหัวเผาให้เหมาะกับการผลิตไอน้ำ หากพบว่าหัวเผาทำงานที่ภาระต่ำตลอดเวลาหรือเดินหยุดบ่อย
- 8) อุปกรณ์อุ่นน้ำมันควรมีฉนวนหุ้ม
- 9) ในกรณีของเชื้อเพลิงแข็ง ควรลดความชื้นและลดขนาดของเชื้อเพลิงก่อนเข้าเผาไหม้

### 2.6.3 เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงหรือเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง

นอกจากการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากปล่องแล้ว เราสามารถนำก๊าซร้อนทิ้งซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 200-250°C มาใช้ประโยชน์ โดยการติดตั้งเครื่องประหยัดเชื้อเพลิง (หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) ที่ปล่องไอเสีย โดยบางส่วนของความร้อนในก๊าซร้อนทิ้งจะถูกนำกลับคืนมาเพื่ออุ่นน้ำเลี้ยงหรือผลิตน้ำร้อนได้ ในทางปฏิบัติจริงต้องคำนวณการประหยัดออกมาเป็นรายกรณี การประหยัดจะได้มากที่สุดก็ต่อเมื่อ อุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งสูงและ ไม่มีการเก็บคืนคอนเดนเสทกลับเข้าไปในหม้อไอน้ำหรือมีก็น้อยมาก

การติดตั้งเครื่องประหยัดเชื้อเพลิงจะคุ้มกับการลงทุนก็ต่อเมื่อ หม้อไอน้ำมีขนาดใหญ่ประมาณ 3 MW (ผลิตไอน้ำประมาณ 3.6 ตัน/ชั่วโมง) หรือใหญ่กว่า ในกรณีที่หม้อไอน้ำต้องเดินที่ภาระต่ำๆ เป็นเวลานานๆ ก็จำเป็นต้องติดตั้งทางผ่าน (Bypass) เพื่อบังคับให้ก๊าซร้อนทิ้งออกปล่องไปโดยตรงโดยไม่ผ่านเครื่องประหยัดเชื้อเพลิง เพื่อหลีกเลี่ยงการกลั่นตัวของกรดที่จะทำให้เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงผุกร่อน อันเนื่องมาจากอุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งต่ำ



รูปที่ 2.6-2 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำขนาดใหญ่

### 2.6.4 การควบคุมน้ำระบาย (โบลว์ดาวน์)

การระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำ หรือ โบลว์ดาวน์ เป็นการสูญเสียพลังงานที่สำคัญอย่างหนึ่ง รองจากการสูญเสียไปกับก๊าซไอเสีย โดยทั่วไปควรมีปริมาณน้ำที่ระบายออกไม่เกิน 5% ของปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ โดยระหว่างการใช้งานหม้อไอน้ำ ความเข้มข้นและความเป็นด่างของน้ำที่อยู่ในหม้อไอน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น และก่อให้เกิดอันตรายเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพและการสึกกร่อนของโลหะที่เป็นเปลือกหม้อไอน้ำ และที่สำคัญจะเกิดไอน้ำเปียกเนื่องจากการเดือดอย่างรุนแรง ดังนั้นจึงต้องมีการระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำ เพื่อควบคุมความ

เข้มข้นของน้ำในหม้อไอน้ำไม่ให้มีค่าสูงเกินไป อย่างไรก็ตามการปล่อยน้ำระบายมากเกินไปจะทำให้มีความร้อนสูญเสียออกไปมากเกินไป ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำสามารถทำได้โดยการควบคุมการปล่อยน้ำระบายให้อยู่ในระดับให้ต่ำที่สุด

การควบคุมการโบลว์ดาวน์ ทำได้โดยการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำในหม้อไอน้ำ โดยนำน้ำจากหม้อไอน้ำมาวัดด้วยเครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า โดยต้องปล่อยน้ำระบายทิ้ง เพื่อไล่สิ่งสกปรกในท่อออกก่อน แล้วจึงนำมาเข้าเครื่องวัด หากค่าที่วัดได้ต่ำกว่ามาตรฐานก็ควรลดความถี่หรือปริมาณการระบายลง

#### 2.6.4.1 การคำนวณการสูญเสียความร้อนจากน้ำระบาย

เราสามารถคำนวณการสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์  $Q_B$  (kW) ได้จากสมการที่ (2.4)

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

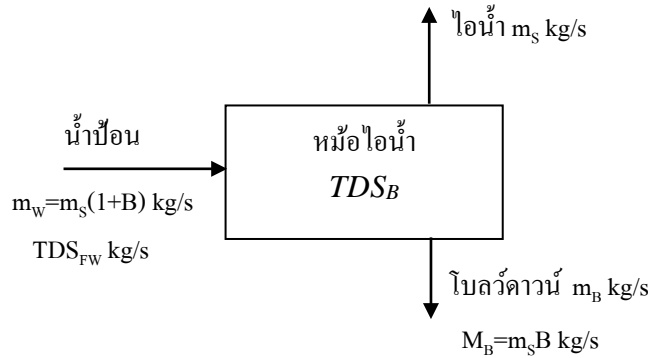
เมื่อ	$m_B$	= อัตราการโบลว์ดาวน์, kg/s
	$C_p$	= ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.18 kJ/kg.K)
	$h_B$	= เอนทาลปีของน้ำโบลว์ดาวน์, kJ/kg
	$h_W$	= เอนทาลปีของน้ำป้อน, kJ/kg
	$T_B$	= อุณหภูมิของน้ำโบลว์ดาวน์, kJ/kg
	$T_W$	= อุณหภูมิของน้ำป้อน, kJ/kg

ค่าการสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์  $Q_B$  (kW) ที่ได้จากสมการที่ (2.4) เมื่อหารด้วยปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเราจะทราบค่าเป็นร้อยละของสูญเสียความร้อนจากการโบลว์ดาวน์ (B)

ในกรณีที่มีการตรวจวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของทั้งน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำ เราสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการประเมินร้อยละของการโบลว์ดาวน์ (B) โดยใช้ตารางที่ 2.6-5

#### 2.6.4.2 ขั้นตอนการหาข้อมูลของน้ำโบลว์ดาวน์

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



ตารางที่ 2.6-5 ร้อยละของปริมาณน้ำโบลด์วอน (เทียบกับปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้)

ค่าการนำไฟฟ้า น้ำป้อน (μs/cm)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในหม้อไอน้ำ (μs/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 ส่งผลให้ผู้ใช้หม้อไอน้ำจะต้องระบายน้ำในหม้อไอน้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองน้ำและความร้อนที่อยู่ในน้ำ ดังนั้น น้ำที่ใช้กับหม้อไอน้ำ ควรมีการปรับสภาพให้ได้มาตรฐาน นอกจากนั้นผู้ใช้ต้องควบคุมคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำให้ได้ตามมาตรฐาน บ่อยครั้งพบว่ามีการระบายถี่เกินไป หรือนานเกินไป ส่งผลให้คุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำต่ำกว่ามาตรฐานมาก จึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำและปรับตั้งการควบคุมอยู่เสมออย่างน้อยทุกเดือน

#### 2.6.5.1 เหตุผลของการปรุงแต่งน้ำโดยอาศัยสารเคมี

- 1) เพื่อป้องกันการเกาะตัวของตะกรันในหม้อไอน้ำ ซึ่งจะทำการถ่ายเทความร้อนไม่ดี และอุณหภูมิของก๊าซที่ปล่องสูงมาก ทำให้เสียค่าเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น
- 2) เพื่อควบคุมปริมาณตะกอน (Sludge) และตะกรันในหม้อไอน้ำ

- 3) เพื่อลดการสึกหรอของหม้อไอน้ำ และท่อไอน้ำ (Steam Main) ซึ่งเกิดจากการรับอนไดออกไซด์ในน้ำละลายตัวเป็นกรด
- 4) เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงฟองลอยตัวไปกับไอน้ำ
- 5) เพื่อลดการสึกกร่อนเนื่องจากออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

การเติมสารปรุงแต่งน้ำจะต้องให้ในปริมาณที่เหมาะสมโดยปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้โดยเฉพาะ เนื่องจากการเติมสารมากเกินไปมีผลเสียเช่นกัน และควรควบคุมปริมาณเติมสารให้ทำงานพร้อมกับปั้มน้ำเข้าหม้อไอน้ำ (Feed Water Pump)

#### ตัวอย่างที่ 5

จากการตรวจวัดสภาพการนำไฟฟ้าของหม้อไอน้ำตามตัวอย่างที่ 1 พบว่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำเท่ากับ 200 และ 3,500  $\mu\text{s/cm}$  เมื่อเจ้าหน้าที่ได้ทำการปรับคุณภาพของน้ำป้อนเพื่อให้มีคุณภาพดีขึ้น และวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าได้เท่ากับ 100  $\mu\text{s/cm}$  สถานประกอบการจะสามารถลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงได้เท่าไร

#### วิธีคำนวณ

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

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

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

จากตัวอย่างที่ 1 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเท่ากับ 84.4%

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

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

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

ค่าน้ำมันเตาต่อปี	= (4,800,000 – 33,679.6) x 14	B/y
	= 66,728,485.6	B/y
ราคาไอน้ำต่อตัน	= 66,728,485.6 / (10 x 6,000)	
	= 1,112	B/t

## 2.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ระบบส่งจ่ายไอน้ำทำหน้าที่ส่งไอน้ำที่ผลิตได้ไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่างๆ โดยทั่วไปภายในท่อของระบบส่งจ่าย จะมีการควบแน่นของไอน้ำซึ่งเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จากการเย็นตัวของไอน้ำในท่อทั้งขณะใช้งานและหลังจากใช้งาน (ตกค้าง) เราจำเป็นต้องดึงไอน้ำที่ควบแน่นเหล่านี้่ออกจากระบบท่อ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง โดยการติดตั้งอุปกรณ์ดักไอน้ำ (Steam trap) ทั้งในส่วนของระบบส่งจ่ายไอน้ำและส่วนของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่างๆ ซึ่งข้อมูลชนิดและลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ดักไอน้ำสามารถค้นหาได้จากเอกสารผู้ผลิตอุปกรณ์ได้โดยตรง

### 2.7.1 การติดตั้งฉนวนกันความร้อน

การปล่อยท่อไอน้ำให้เปลือยไว้โดยไม่มีการหุ้มฉนวน จะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณสูง ความร้อนที่สูญเสียไปเทียบได้กับปริมาณไอน้ำที่เกิดการควบแน่นภายในท่อ ส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่ใช้งานได้จริงลดลงเท่ากับปริมาณความร้อนที่สูญเสียไป ปริมาณการสูญเสียความร้อนจากผิวท่อเปลือยจะมากกว่าท่อที่หุ้มฉนวนมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวนอกของท่อหรือฉนวนกับอากาศภายนอก โดยทั่วไปจะประมาณ 5-10%

ฉนวนมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ ดังนั้นจึงสามารถป้องกันหรือหน่วงการถ่ายเทความร้อน จากไอน้ำสู่บรรยากาศฉนวนที่ใช้หุ้มในระบบไอน้ำ เช่น ที่ท่อไอน้ำ อุปกรณ์ต่างๆ หน้าแปลน 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 <sup>3</sup> )
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	อุณหภูมิใช้งาน ที่ปลอดภัย (°C)	สภาพการนำความร้อน (W/m.K)	จุดเด่น
แอสเบสตอส (Asbestos)	ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 1	550	ไม่เกิน 0.046 - 0.048	การติดตั้งสะดวก เหมาะสม กับบริเวณสันสะท้อน
	ฉนวนแผ่น หมายเลข 2	350	ไม่เกิน 0.041 - 0.046	
	ผ้าห่มทนความร้อน เชือกฉนวน	400	ไม่เกิน 0.047 - 0.056	การติดตั้งสะดวก สามารถ ถอดได้ เหมาะสมกับวาล์ว หน้าแปลน
ใยหิน (Rock Wool)	ฉนวนแผ่น ฉนวนทรงกระบอก ฉนวนแถบ	400 – 600	ไม่เกิน 0.034 - 0.041	เหมาะสมกับอุณหภูมิสูง ใช้ เป็นฉนวนของหม้อไอน้ำ ถัง ท่อ และทางไฟ เป็นต้น
ใยแก้ว Glass Wool)	ฉนวนแผ่น	300 – 350	ไม่เกิน 0.046 - 0.034	เป็นวัสดุฉนวนที่นิยมใช้กัน มากที่สุด สภาพการนำความ ร้อนต่ำ ความสามารถในการ รักษาอุณหภูมิได้ดี
	หมายเลข 1 8K-24K		ไม่เกิน 0.049 - 0.031	
	หมายเลข 2 10K-96K		ไม่เกิน 0.034	
	หมายเลข 3 96K		ไม่เกิน 0.032	
แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate)	ฉนวนทรงกระบอกหมายเลข 1	650	ไม่เกิน 0.050	มีความแข็งแรงมากถ้าทำ เป็นแบบสำเร็จรูป การติดตั้ง และมีความทนทานได้ดี
	ฉนวนแผ่น หมายเลข 1 1,000°C		ไม่เกิน 0.046	
	ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 2 650°C			

ตารางที่ 2.7-3 ความหนาของฉนวนความร้อนที่เหมาะสมสำหรับหุ้มท่อทางเศรษฐศาสตร์

ระบบท่อ	ช่วงอุณหภูมิของไหล		ขนาดท่อ					
	°C	°F	<1"	1 1/2" - 2"	2 1/2" - 4"	5" - 6"	8" - 12"	14" - 20"
			(33 mm)	(42-60mm)	(73-14mm)	(140-168mm)	(219-324mm)	(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)

ขนาดท่อ in.	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/m<sup>3</sup> ค่าการนำความร้อน=0.044W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2.7-9 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังหุ้มฉนวนใยแก้ว ตามความหนาฉนวนที่เหมาะสม (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)	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/m<sup>3</sup> ค่าการนำความร้อน = 0.042 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C



ตารางที่ 2.7-10 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังหุ้มฉนวนแคลเซียมซิลิเกต 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 : ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต ความหนาแน่น 135 kg/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> ค่าการนำความร้อน = 0.044 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

**ตัวอย่างที่ 6**

จากการตรวจสอบระบบท่อของหม้อไอน้ำตามตัวอย่างที่ 1 พบว่าท่อไอน้ำขนาด 2" ความยาว 50 m. ไม่มีการหุ้มฉนวน จึงคำนวณพลังงานที่ประหยัดได้หากท่อความยาวดังกล่าวถูกหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 kg/m<sup>3</sup>

**วิธีคำนวณ**

การหาค่าการสูญเสียความร้อนของท่อก่อนหุ้มฉนวนความร้อน

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

การหาค่าการสูญเสียความร้อนของท่อหลังหุ้มฉนวนความร้อน

รายการ	ข้อมูลวัดและคำนวณ
ประเภทฉนวน	ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 kg/m <sup>3</sup>
อ่านค่าการสูญเสียความร้อนของฉนวนใยแก้วที่อุณหภูมิผิวท่อ 180°C ของท่อขนาด 2 นิ้ว จากตารางที่ 2.7-6 ถึง 2.7-8	ค่าการสูญเสีย 43.06 W/ m อุณหภูมิพื้นผิวหลังหุ้มฉนวนเฉลี่ย 45.36°C
นำค่าอุณหภูมิผิวท่อก่อนหุ้มฉนวน ไปเลือกขนาดความหนาแน่นที่เหมาะสมจากตารางที่ 2.7-3	ได้ความหนาแน่น 1.5" (38 mm.)
ชั่วโมงการใช้งานระบบความร้อนของโรงงาน	= 3,000 h/y
คิดเป็นค่าการสูญเสียความร้อนรวม	= 43(W/m) x (50+6)(m) x 6,000(h/y) x 10 <sup>-3</sup> = 14,448 kWh/y
ความร้อนสูญเสียที่ลดลงจากการหุ้มฉนวน	= 191,520.0 – 14,448.0 = 177,072.0 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 การติดตั้งกระจกมองเห็นที่ท่อทางออก หรือการใช้เครื่องมือตรวจสอบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Detector) ปัจจุบันกับดักไอน้ำสามารถใช้ร่วมกับเครื่องมือตรวจสอบทำให้สามารถทำการตรวจสอบได้ง่าย ตามคู่มือที่แนบมาหรือระบบการตรวจติดตามโดยฐานข้อมูลจากคอมพิวเตอร์

การตรวจสอบกับดักไอน้ำ
2.7.2.1 รายการตรวจสอบกับดักไอน้ำ
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) มีช่วงที่กับดักไอน้ำเย็นตัวหรือไม่</li> <li>2) กับดักไอน้ำพ่นไอน้ำทิ้งอยู่ตลอดเวลาหรือไม่</li> <li>3) กับดักไอน้ำอุดตันหรือไม่</li> <li>4) วาล์ว by-pass ของกับดักไอน้ำเปิดทิ้งอยู่หรือไม่</li> <li>5) การติดตั้งกับดักไอน้ำถูกต้องหรือไม่ (ตำแหน่ง ทิศทาง มุม)</li> <li>6) เลือกใช้ชนิดของกับดักไอน้ำเหมาะสมกับอุปกรณ์หรือไม่</li> <li>7) อุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยไอน้ำมีปัญหาอุณหภูมิผิดปกติหรืออุณหภูมิไม่สม่ำเสมอหรือไม่</li> <li>8) กับดักไอน้ำมีน้ำท่วมอยู่หรือไม่</li> <li>9) กับดักไอน้ำที่ติดตั้งอยู่เหมาะสมกับความดันหรือไม่</li> <li>10) ติด Sight Glasses Check เพื่อดูว่ามีการรั่วหรือไม่</li> <li>11) ใช้ Ultrasonic ต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์สูง</li> </ol> <p>กับดักไอน้ำมีรูเล็กๆ และมีส่วนเคลื่อนไหวหลายชิ้น ถ้าไม่มีการดูแลบำรุงรักษาเป็นประจำจะเกิดการอุดตันบางส่วนหรืออุดตันทั้งหมดได้อย่างรวดเร็วด้วยตะกรัน สนิมและอื่นๆ เป็นผลให้การปล่อยคอนเดนเสทออกได้ช้า ออกน้อยหรือไม่ออกเลย เกิดอาการที่เรียกว่า “น้ำขัง” ในเครื่องอุปกรณ์การผลิตทำให้ผลิตช้าลง ผลผลิตไม่ได้คุณภาพตามต้องการ แต่ถ้าตะกรันสนิมไปขัดส่วนเคลื่อนไหวทำให้เปิดค้างตลอดเวลา จะเกิดไอน้ำรั่ว สิ้นเปลืองไอน้ำมาก กระบวนการผลิตไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้น กับดักไอน้ำทุกตัวในโรงงานจึงควรได้รับการตรวจสอบและบำรุงรักษาแก้ไขให้ทำงานเป็นปกติอย่างน้อย 3 เดือนครั้ง</p>
2.7.2.2 สาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำทำงานไม่ดี
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. คุณภาพไอน้ำไม่ดี (ไอน้ำเปียก, ความดันไอน้ำต่ำกว่าปกติ, ใช้สารเคมีปรุงแต่งน้ำเลี้ยงเข้าหม้อไอน้ำไม่ถูกต้อง)</li> <li>2. ระบบไอน้ำทำงานไม่ดี (น้ำขังในเครื่องอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ, มีการกัดกร่อน, รั่ว, สิ้นสะเทือน)</li> <li>3. ใช้กับดักไอน้ำไม่ถูกต้องกับงาน</li> <li>4. ติดตั้งกับดักไอน้ำไม่ถูกต้อง (คอนเดนเสทไม่สามารถหาทางไหลออกไปยังกับดักไอน้ำได้, ไม่อยู่ที่จุดต่ำสุดในระบบ, มีขนาดไม่ถูกต้องกับอัตราการไหลของไอน้ำ/คอนเดนเสท)</li> </ol>

ก) ขนาดเล็กไป (Under Size) ปล่อกอนเดนเสทได้น้อยกว่าคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น เกิดอาการ “น้ำขัง”
ข) ขนาดใหญ่ไป (Oversize) ปล่อกอนเดนเสทได้มากกว่าที่เกิดทำให้มีการเปิด-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) มีระบบท่อซึ่งไม่ใช่อยู่หรือไม่
5) มีท่อไอน้ำบางส่วนแช่อยู่ในน้ำขังหรือไม่
6) มีการรั่วจากฉนวนกันความร้อนหรือไม่
7) มีระบบท่อไอน้ำซึ่งเปลือยอยู่หรือไม่

### 2.7.4 การใช้วาล์วอย่างถูกต้อง

ตรวจดูว่าวาล์วของเชื้อเพลิงไอน้ำและอากาศ เป็นต้น ทำงานได้อย่างสมบูรณ์หรือไม่ นอกจากนี้จะต้องตระหนักไว้ด้วยว่าวาล์วเป็นสิ่งที่รั่วได้ การลืมปิดวาล์วหรือปิดไม่สนิทหลังการปฏิบัติงานมีส่วนให้สูญเสียพลังงานได้อย่างมากมายทีเดียว ดังนั้นควรประหยัดพลังงานโดยการเปิดปิดวาล์วให้ถูกต้อง

การใช้วาล์วอย่างถูกต้อง
1) มีการรั่วจากวาล์วหรือไม่
2) ตรวจสอบอีกทีหนึ่งว่าลืมปิดวาล์วขณะเลิกงานหรือขณะหยุดพักหรือไม่
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 ดังนั้นจะส่งผลให้สามารถลดการสูญเสียไอน้ำและความร้อนจากการไหลรั่วได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามเท่าที่จะทำได้ที่จะไม่ปล่อยน้ำควบแน่นทิ้งไปในบรรยากาศ

### 2.8.1 การใช้คอนเดนเสท

น้ำควบแน่น (คอนเดนเสท) ถือเป็นน้ำที่สะอาดมาก ถ้าไม่มีสิ่งปลอมปนเกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายน้ำ และยังมีพลังงานความร้อนที่มาก ดังนั้นควรนำกลับมาใช้เป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ จะสามารถลดต้นทุนน้ำป้อน ลดอัตราการไหลรั่วและเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ อย่างไรก็ตามต้องระมัดระวังไม่ให้มีสิ่งปลอมปน เช่น อากาศ ละลายในน้ำ น้ำมันและสนิมเหล็กต่างๆ หรือของเหลวในกระบวนการผลิตเข้ามาปะปน เป็นต้น กรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงสิ่งปลอมปนได้ให้นำกลับมาใช้แต่ความร้อนอย่างเดียว โดยยอมที่จะไม่นำน้ำกลับมาใช้

#### 2.8.1.1 วิธีนำ คอนเดนเสทกลับมาใช้แบ่งเป็นวิธีส่งกลับด้วยความดันของตัวเองและวิธีสูบล้างด้วยปั๊ม

- 1) **วิธีส่งกลับด้วยความดันของตัวเอง** จะใช้ Back Pressure ของคอนเดนเสทส่งกลับด้วยท่อ Recovery ไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ วิธีนี้มีประสิทธิภาพดีในกรณีที่ความดันใช้งานของอุปกรณ์ไอน้ำต่างๆ มีค่าค่อนข้างสูง และระยะทางไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำมีระยะทางไม่ไกลมาก
- 2) **วิธีส่งกลับด้วยปั๊ม** ยังแบ่งเป็นแบบเปิดกับแบบปิด โดยแบบเปิดจะรวบรวมคอนเดนเสทใส่ถังเปิด (Recovery Tank) ก่อน แล้วใช้ปั๊มน้ำไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากคอนเดนเสทมีอุณหภูมิสูง จึงต้องระมัดระวังในการเลือกประเภทและกำหนดตำแหน่งของปั๊ม ในกรณีของปั๊มทั่วไป จะรองรับคอนเดนเสทที่มีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 70-80°C เพื่อป้องกัน Cavitations ส่วนแบบปิดจะใช้ปั๊มซึ่งออกแบบมาสำหรับ Drain Recovery โดยเฉพาะ ปั๊มนี้อาจสามารถติดตั้งไว้กลางทางท่อ Drain Recovery ได้ และสูบล้างไปยังถังน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ หรือส่งไปยังหม้อไอน้ำโดยตรงก็ได้

การนำน้ำควบแน่นกลับมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องออกแบบท่อนำกลับน้ำควบแน่นอย่างเหมาะสม กล่าวคือ สมบัติของของเหลวภายในท่อคอนเดนเสทเป็นกระแสของไหลสองสถานะ ได้แก่ ไอน้ำผสมกับน้ำคอนเดนเสท ดังนั้นในการออกแบบท่อคอนเดนเสท โดยถือว่าเป็นท่อน้ำอุ่นที่มีแต่น้ำคอนเดนเสท ซึ่งเกิดจากไอน้ำควบแน่นเพียงอย่างเดียว ในทางปฏิบัติแล้วท่อจะมีขนาดเล็กไป ทำให้ความเร็วของของไหลภายในท่อสูงเกินไปมาก ความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น ทำให้ Back Pressure ของกักตักไอน้ำเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้กักตักไอน้ำมีความจุ (Capacity) ไม่เพียงพอได้ ช่วงความเร็วของของไหลภายในท่อที่เหมาะสมจะเท่ากับ 5-15 m/s นอกจากนี้

ไอน้ำแฟลชที่เกิดขึ้นในท่อไม่เพียงแต่จะขัดขวางการไหลตามปกติของน้ำคอนเดนเสทเท่านั้น แต่ยังทำให้กับดักไอน้ำมีความสามารถในการระบายลดลงอีกด้วย 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 โดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำในตำแหน่งที่น้ำและคอนเดนเสทก่อนเข้าผสม
- 2) ประเมินหรือตรวจวัดสัดส่วนระหว่างคอนเดนเสทต่อน้ำที่เข้าผสม
- 3) นำค่าอุณหภูมิที่เข้าผสมและคอนเดนเสท รวมทั้งสัดส่วนระหว่างคอนเดนเสทต่อน้ำไปเปิดตารางที่ 2.8-2 โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เข้าผสมกับคอนเดนเสทจะได้อุณหภูมิหลังจากผสมกับคอนเดนเสท

การหาอุณหภูมิที่ป้อนหลังผสมกับคอนเดนเสทและปริมาณพลังงานเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้จากการใช้คอนเดนเสทสามารถคำนวณได้จากการสมดุลมวลและพลังงาน

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

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

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

(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

ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

- $m_w$  = อัตราการไหลของน้ำหลังผสม (น้ำป้อนหม้อไอน้ำ), kg/s  
 $t_1$  = อุณหภูมิคอนเดนเสทที่เข้าผสม, °C  
 $t_2$  = อุณหภูมิน้ำเข้าผสม, °C  
 $t_3$  = อุณหภูมิน้ำหลังจากการผสมหรืออุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ, °C  
 $LHV$  = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง, kJ/kg  
 $\eta_B$  = ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ  
 $C_p$  = ค่าความจุความร้อนของน้ำ, 4.187 kJ/kg °C

ตารางที่ 2.8-2 อุณหภูมิของน้ำหลังจากผสมกับคอนเดนเสท ( $t_3$ ; °C)

อุณหภูมิน้ำที่เข้าผสม (°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
	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

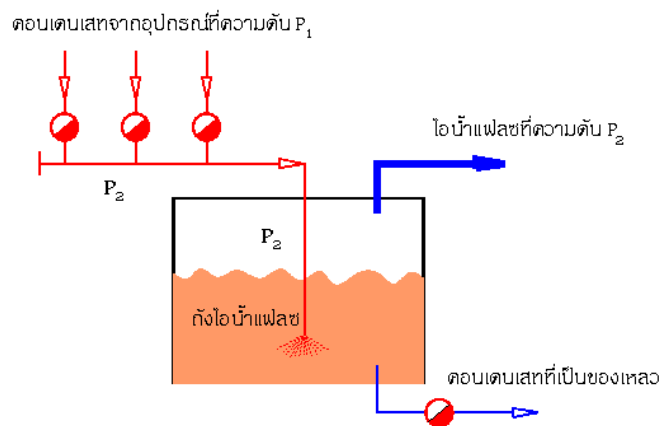


## 2.8.2 การนำไอน้ำแฟลชกลับมาใช้

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 จะได้อัตราของไอน้ำแฟลชที่เกิด



รูปที่ 2.8-1 การเกิดไอน้ำแฟลช

ตารางที่ 2.8-3 ขนาดของถังไอแฟลชที่เหมาะสม

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

ด้านความดัน สูง (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	5.3	3.8	2.5	1.2

$$\text{ร้อยละของไอน้ำแฟลชที่เกิดขึ้น} \quad R_{FS} = \frac{m_{FS}}{m_{CD}} = \frac{h_{P_1} - h_{P_2}}{h_{fg}(P_2)} \quad (2.9)$$

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

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

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
	$\eta_B$	=	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 (รวมโบลว์ดาวน์ 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 x 100) + (4,600 x 25)] / 10,600 = 67.5 °C	

ในกรณีที่ใช้ตาราง 2.8-2 จำนวนอุณหภูมิน้ำป้อนได้ดังนี้

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

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

เมื่อน้ำป้อนผ่านเครื่องอุ่นน้ำป้อน (Economizer) อุณหภูมิน้ำเพิ่มได้อีก 30°C ดังนั้น อุณหภูมิน้ำป้อนเท่ากับ  $67.5 + 30 = 97.5^\circ\text{C}$

$$\text{จากตารางไอน้ำ น้ำป้อนที่อุณหภูมิ 97.5°C มีพลังงานความร้อน} = 408.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{ความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ} = 10,600 \times (781 - 408.5) + 10,000 \times (2,782 - 781)$$

	=	23,958,500	kJ/h
ความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำลดลง	=	27,124,800 - 23,958,500	kJ/h
	=	3,166,300	kJ/h
จากตัวอย่างที่ 1 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเท่ากับ 84.7%			
พลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงลดลง	=	3,166,300 / 0.849	
	=	3,729,446	kJ/h
หรือ	=	3,729,446 x 6,000 / 1,000	MJ/y
	=	22,376,676	MJ/y
คิดเป็นปริมาณน้ำมันที่ลดลงต่อปี	=	22,376,676 / 40	L/y
	=	559,417	L/y
ก่าน้ำมันต่อปี	=	(4,800,000 – 559,417) x 14	
	=	59,368,162	B/y
ราคาไอน้ำต่อตัน (เมื่อมีการนำคอนเดนเสทกลับมา)			
	=	59,368,162 / (10 x 6,000)	
	=	989.5	B/t
ราคาไอน้ำต่อตัน (เดิมเมื่อไม่มีการนำกลับคอนเดนเสท)	=	1,120	B/t

จากตัวอย่างนี้ จะเห็นได้ว่า ประโยชน์จากการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ นอกเหนือจากการลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงแล้ว ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายของน้ำประปาที่จะต้องป้อนให้กับหม้อไอน้ำในปริมาณต่างๆ กับคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ รวมถึงยังสามารถลดค่าการปรับปรุงสภาพน้ำให้เหมาะสมอีกด้วย

## 2.9 การตรวจวินิจฉัยเพื่อหาแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในหม้อไอน้ำและระบบส่งจ่ายไอน้ำนั้น เหตุของการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นควรทำการตรวจวินิจฉัยเพื่อหาสิ่งผิดปกติ เพื่อทำการแก้ไขอย่างสม่ำเสมอ ดังตาราง

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
1. ตรวจสอบสีของเปลวไฟในแต่ละภาวะ	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดี สามารถตรวจสอบเบื้องต้นจากเปลวไฟ - เชื้อเพลิงเหลวเปลวไฟควรมีสีส้ม - เชื้อเพลิงก๊าซเปลวไฟควรมีสีฟ้าปลายสีส้ม - เปลวไฟควรมีสภาพคงตัว	<ul style="list-style-type: none"> <li>• จัดทำแผนการตรวจสอบทุกวัน</li> <li>• ปรับตั้งหัวเผาให้อยู่ในจุดที่ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด</li> <li>• เปลี่ยนแปลง ปรับปรุงหัวเผาเมื่อสึกหรอ</li> <li>• ความดันและอุณหภูมิเชื้อเพลิงต้องเหมาะสม</li> </ul>

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
2. ตรวจสอบสีควันไฟที่ออกจากปล่อง	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดี สามารถตรวจสอบเบื้องต้นจากสีของควันไฟที่ออกจากปล่องโดยควันไฟควรมีสีเทาอ่อน	<ul style="list-style-type: none"> <li>ลดปริมาณอากาศเมื่อควันไฟสีขาวหรือไม่มีสี</li> <li>ลดปริมาณเชื้อเพลิงเมื่อควันไฟสีดำ</li> </ul>
3. ตรวจสอบความสว่างภายในห้องเผาไหม้	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดี สามารถตรวจสอบเบื้องต้นจากความสว่างภายในห้องเผาไหม้โดยภายในห้องเผาไหม้ไม่สว่างจ้าหรือคล้ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ลดปริมาณอากาศเมื่อห้องเผาไหม้สว่างจ้า</li> <li>ลดปริมาณเชื้อเพลิงเมื่อห้องเผาไหม้คล้ำ</li> </ul>
4. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง	น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดสูง การพ่นเป็นฝอยจะไม่ดีส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นควรอุ่นเชื้อเพลิงให้มีอุณหภูมิเหมาะสม น้ำมันเตาเกรด เอ ที่ 90-100 °C น้ำมันเตาเกรด ซี ที่ 110-120 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>ปรับตั้งอุณหภูมิในการอุ่นให้เหมาะสม</li> <li>ควรใช้ไฟฟ้าในการอุ่นช่วงแรกและอุ่นด้วยไอน้ำเมื่อมีไอน้ำ</li> <li>ลดจำนวน Heater ในการอุ่นให้เหมาะสมกับการใช้งาน</li> <li>หุ้มฉนวนถังป้อนน้ำมันและระบบท่อ</li> </ul>
5. ตรวจสอบความดันน้ำมันเชื้อเพลิง	ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่ามาตรฐานของหัวเผาจะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง	<ul style="list-style-type: none"> <li>ตรวจสอบและปรับตั้งความดันให้ได้ตามมาตรฐานของหัวเผาแต่ละชนิด</li> </ul>
6. ตรวจสอบวัดปริมาณ O <sub>2</sub> ส่วนเกินที่ออกจากห้องเผาไหม้	ปริมาณ O <sub>2</sub> ส่วนเกินควรจะน้อยที่สุดที่ทำให้เกิด CO ไม่เกิน 200 ppm - เชื้อเพลิงก๊าซไม่เกิน 2 % - เชื้อเพลิงเหลวไม่เกิน 4 % - เชื้อเพลิงแข็งขึ้นอยู่กับสภาพเชื้อเพลิง	<ul style="list-style-type: none"> <li>ตรวจวัดและปรับตั้งหัวเผาทุกครั้งเมื่อทำการบำรุงรักษาหัวเผา</li> <li>ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเผาไหม้อัตโนมัติ</li> </ul>
7. ตรวจสอบอุณหภูมิไอเสียขณะใช้งานกับหลังจากจุดเขม่าและปรับตั้งหัวเผา ณ สภาวะการทำงานระดับและความดันไอน้ำเท่ากัน	อุณหภูมิไอเสียขณะใช้งานไม่ควรสูงขึ้นจากเดิมเกิน 20 °C เพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกทางปล่อง	<ul style="list-style-type: none"> <li>ทำการจุดเขม่าบนพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน</li> <li>ปรับส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงให้เหมาะสม</li> </ul>
8. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำป้อน	อุณหภูมิน้ำป้อนควรสูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อไล่ O <sub>2</sub> และ	<ul style="list-style-type: none"> <li>นำคอนเดนเสทกลับมาอุ่นน้ำป้อน</li> </ul>

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
	CO <sub>2</sub> ในน้ำ และผลิตไอน้ำได้เร็วขึ้น โดยทั่วไปควรสูงกว่า 90 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>นำไอเสียมาอุ่นน้ำป้อน</li> <li>นำไอน้ำมาอุ่นน้ำป้อน</li> <li>เพิ่มอุณหภูมิ น้ำป้อนจะต้องยกระดับถึงน้ำป้อนให้สูงขึ้น</li> </ul>
9. ตรวจสอบคุณภาพน้ำป้อน	น้ำป้อนควรผ่านการปรับสภาพอย่างดีเพื่อลดสารแขวนลอยและสารละลายต่างๆ ซึ่งเป็นต้นเหตุของตะกรัน โคลน และการเคียดผิดปกติ โดยทั่วไปค่าสภาพการนำไฟฟ้าควรต่ำกว่า 800 µs/cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>ทำแผนการตรวจสอบคุณภาพน้ำป้อนเป็นประจำ</li> <li>ติดตั้งระบบน้ำ RO</li> </ul>
10. ตรวจสอบคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำ	น้ำในหม้อไอน้ำควรมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 6,000 – 7,000 µs/cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>ลดอัตราหรือระยะเวลาการ โบลว์ดาวน์เมื่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 6,000 µs/cm</li> <li>ตรวจสอบคุณภาพน้ำป้อนและคอนเดนเสทที่นำกลับ เมื่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่า 7,000 µs/cm</li> <li>ถ่ายน้ำในหม้อไอน้ำทิ้งทุกสัปดาห์เพื่อลดความเข้มข้น</li> </ul>
11. ตรวจสอบอุณหภูมิเฉลี่ยบนผิวผนังหม้อไอน้ำ	อุณหภูมิเฉลี่ยไม่ควรเกิน 60 °C เพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกทางพื้นผิว	<ul style="list-style-type: none"> <li>ซ่อมฉนวนเมื่อเกิดการสึกหรอ</li> <li>เปลี่ยนฉนวนเมื่อหมดสภาพ</li> </ul>
12. ตรวจสอบระยะเวลาในการกำจัดตะกรันในหม้อไอน้ำ	ควรกำจัดตะกรันในหม้อไอน้ำอย่างน้อยทุกปี	<ul style="list-style-type: none"> <li>จัดทำแผนการทำความสะอาดทุกปี</li> </ul>
13. ตรวจสอบแผนการทำความสะอาดหัวเผา	เชื้อเพลิงเหลวควรทำความสะอาดหัวเผาอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง	<ul style="list-style-type: none"> <li>จัดทำแผนการทำความสะอาดทุกสัปดาห์</li> </ul>
14. ตรวจสอบความดันไอน้ำที่ผลิต และความดันสูงสุดที่อุปกรณ์ใช้ไอน้ำต้องการ	ความดันไอน้ำที่ผลิตควรสูงกว่าความดันสูงสุดที่อุปกรณ์ใช้ไอน้ำต้องการประมาณ 0.5-1.0 barg	<ul style="list-style-type: none"> <li>ลดความดันในการผลิตไอน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน</li> </ul>

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
	ซึ่งขึ้นอยู่กับความดันตกในระบบ ถ้าสามารถลดความดันไอน้ำที่ผลิตลงจะส่งผลให้สัดส่วนระหว่างไอน้ำที่ผลิตได้ต่อเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น และการสูญเสียความร้อนต่าง ๆ ของหม้อไอน้ำและระบบส่งจ่ายไอน้ำจะลดลง	
15. ตรวจสอบปริมาณไอน้ำที่ใช้กับอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่างๆ	อุปกรณ์ใช้ไอน้ำส่วนน้อยที่ต้องการความดันสูงให้ทำการแยกระบบเป็นระบบความดันสูงและความดันต่ำ เพื่อลดความดันไอน้ำของระบบรวมลง	<ul style="list-style-type: none"> <li>• จัดหาหม้อไอน้ำขนาดเล็กและเดินท่อไอน้ำไปใช้กับอุปกรณ์ส่วนน้อยแต่ใช้ความดันไอน้ำสูง</li> </ul>
16. ตรวจสอบหม้อไอน้ำขนาดใหญ่กว่าการใช้งานหรือไม่	ควรใช้หม้อไอน้ำที่ภาระ 80-90% ตลอดเวลาเพราะเป็นจุดที่หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูง	<ul style="list-style-type: none"> <li>• บริหารจัดการใช้ไอน้ำให้เหมาะสม</li> <li>• จัดหาหม้อไอน้ำขนาดเล็กมาใช้แทน</li> </ul>
17. ตรวจสอบหัวเผาเดิน-หยุดบ่อยหรือไม่	ก่อนจุดไฟของหัวเผาทุกครั้งจะมีการไล่เชื้อเพลิง (Purge) ประมาณ 2 นาที ซึ่งทำให้ห้องเผาไหม้สูญเสียความร้อน	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ลดเวลาในการไล่เชื้อเพลิง</li> <li>• ลดขนาดหัวเผาหรือลดขนาดน้ำมัน</li> </ul>
18. ตรวจสอบอัตราการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำแต่ละชุดที่ความดันไอน้ำเท่ากัน	หม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีสัดส่วนระหว่างไอน้ำที่ผลิตได้ต่อเชื้อเพลิงสูง เช่น เชื้อเพลิงเหลว ควรมีสัดส่วนประมาณ 13 – 14 : 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• หาสาเหตุและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น</li> <li>• เลือกใช้งานหม้อไอน้ำชุดที่มีสัดส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงสูงเป็นหลัก</li> <li>• เปลี่ยนหม้อไอน้ำให้</li> </ul>
19. ตรวจสอบบางช่วงเวลาความดันในการผลิตไอน้ำตกจึงต้องเดินหม้อไอน้ำสำรองเสริมตลอดเวลา	ไม่ควรเดินหม้อไอน้ำเพื่อรอเสริมในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ของวัน เพราะหม้อไอน้ำมีการสูญเสียตลอดเวลาในขณะที่ไม่มีการจ่ายไอน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• บริหารจัดการการใช้ไอน้ำใหม่</li> <li>• อุ้มน้ำป้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น</li> <li>• ติดตั้งถังเก็บไอน้ำ (Steam Accumulator)</li> <li>• แก้ไขความดันตกในระบบส่งจ่ายไอน้ำ เช่น ขนาดท่อ ความยาวท่อ จำนวนข้อต่อข้ออ</li> </ul>

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
20. ตรวจสอบว่ามีอุปกรณ์ ใอน้ำบางส่วนร้อนซ้ำ แล้วจึงเปิดวาล์ว Bypass หรือไม่	ไม่ควรเปิดวาล์ว Bypass ถ้าความดันไอน้ำที่เข้าอุปกรณ์ได้ตามมาตรฐานอุปกรณ์ใช้ไอน้ำแต่ อุปกรณ์ร้อนซ้ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ไอน้ำที่เข้าอุปกรณ์ต้องแห้ง</li> <li>● กักดักไอน้ำขนาดเล็กปล่อยคอนเดนเสทไม่ทัน</li> <li>● ไม่มีอุปกรณ์ไล่อากาศ (Air Vent)</li> <li>● วาล์วควบคุม (Control Valve) ทำงานผิดปกติ</li> <li>● พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์สกปรก</li> <li>● ปริมาณไอน้ำเข้าอุปกรณ์น้อยไป</li> </ul>
21. ตรวจสอบกักดักไอน้ำ	กักดักไอน้ำต้องไม่รั่วภายใน ไม่ตัน ไม่เล็กเกินไป และติดตั้งไม่ถูกต้อง	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ซ่อมหรือเปลี่ยนกักดักไอน้ำ</li> <li>● เลือกชนิดและขนาดให้เหมาะสม</li> <li>● ติดตั้งในตำแหน่งที่ถูกต้อง</li> </ul>
22. ตรวจสอบคุณภาพไอน้ำก่อนเข้าอุปกรณ์	ไอน้ำก่อนเข้าอุปกรณ์ต้องแห้ง	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ไอน้ำออกจากหม้อไอน้ำต้องแห้ง</li> <li>● ฉนวนท่อส่งจ่ายไอน้ำมีสภาพดี</li> <li>● ระบบท่อไอน้ำต้องมีกักดักไอน้ำเป็นระยะ</li> <li>● ก่อนเข้าอุปกรณ์ไอน้ำต้องมีอุปกรณ์กำจัดน้ำ (Steam Separator)</li> </ul>
23. ตรวจสอบสภาพฉนวน ท่อ วาล์ว และหน้าแปลน	ระบบส่งจ่ายไอน้ำทั้งหมดจะต้องมีฉนวนที่อยู่ในสภาพดี โดยทั่วไปอุณหภูมิฉนวนไม่ควรเกิน 60 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ติดตั้งฉนวนเพิ่มเติม</li> <li>● ซ่อมฉนวนที่ชำรุด</li> <li>● เปลี่ยนฉนวนที่เสื่อมสภาพ</li> </ul>
24. ตรวจสอบการรั่วไหลของไอน้ำทั้งหมด	ระบบไอน้ำทั้งหมดจะต้องไม่มีการรั่วไหลของไอน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ตรวจสอบและซ่อมทันทีที่พบ</li> </ul>
25. ตรวจสอบปริมาณและคุณภาพคอนเดนเสท	ควรรนำคอนเดนเสททั้งหมดกลับมาใช้	<ul style="list-style-type: none"> <li>● คอนเดนเสทคุณภาพสูงและมีปริมาณมากนำกลับมาอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ</li> <li>● คอนเดนเสทคุณภาพสูงและมีปริมาณน้อยนำไปใช้กับกระบวนการผลิตที่อยู่ใกล้</li> <li>● คอนเดนเสทคุณภาพต่ำ และมีปริมาณ</li> </ul>



รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
		มากนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนปล่อยทิ้ง
26. ตรวจสอบอุณหภูมิใช้งานของอุปกรณ์ใช้น้ำ	อุณหภูมิใช้งานสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด	<ul style="list-style-type: none"> <li>ปรับลดอุณหภูมิให้ได้มาตรฐาน</li> <li>เปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิใหม่</li> </ul>
27. ตรวจสอบอุณหภูมิผิวของอุปกรณ์ใช้น้ำ	อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์ใช้น้ำไม่ควรสูงเกิน 60 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>เปลี่ยนฉนวนที่ชำรุด</li> <li>หุ้มฉนวนใหม่</li> </ul>
28. ตรวจสอบการนำไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์	อุณหภูมิไอเสียสูงกว่า 200 °C ควรนำกลับมาใช้ถ้าในเชื้อเพลิงไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ใช้อุ่นน้ำป้อน (Economizer)</li> <li>ใช้อุ่นอากาศ (Air Preheated)</li> </ul>
29. ตรวจสอบการนำน้ำระบาย (Blow down) กลับมาใช้ประโยชน์	กรณีมีการ Blow down จำนวนมากควรหาทางนำกลับมาใช้	<ul style="list-style-type: none"> <li>ติดตั้งระบบการระบายแบบต่อเนื่อง (Continuous Blow down) แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำป้อน</li> </ul>
30. ตรวจสอบการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิง	เลือกใช้เชื้อเพลิงต้นทุนต่ำและสะอาด	<ul style="list-style-type: none"> <li>เปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิง</li> <li>น้ำมันดีเซลเป็น LPG</li> <li>น้ำมันเกรดเอเป็นเกรดซี</li> <li>น้ำมันเตาเป็น LPG</li> <li>น้ำมันเตาเป็นถ่านหินหรือเชื้อเพลิงแข็ง</li> </ul>
31. ตรวจสอบความชื้นของเชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงมีความชื้นสูง ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>นำไอเสียไปไล่ความชื้นจากเชื้อเพลิง</li> <li>ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปไล่ความชื้น</li> </ul>

### 2.10 แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน



แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานนี้มีประโยชน์ในการค้นหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานก่อนที่จะดำเนินการตรวจวิเคราะห์เชิงลึก เพื่อหาผลการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

รายการศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการตรวจสอบศักยภาพ		
	ดำเนินการแล้ว	พร้อมดำเนินการ	ไม่พร้อมดำเนินการ
1. การลดปริมาณอากาศส่วนเกิน(Excess Air) ที่ใช้ในการเผาไหม้			เพราะ...
2. การทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน			เพราะ...
3. การปรับลดความดันไอน้ำที่ผลิตให้เหมาะสม			เพราะ...
4. การลดอัตราการไหลของน้ำ			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. การนำความร้อนจากน้ำโบล์ควาน์กลับมาใช้			เพราะ...
19. การนำความร้อนจากไอเสียกลับมาใช้			เพราะ...
20. การเลือกซื้อเชื้อเพลิงจากหลายผู้ผลิต			เพราะ...
21. การหุ้มฉนวนท่อวาล์วและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ			เพราะ...
22. การเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิง			เพราะ...
23. การใช้ไอน้ำอุ่นน้ำมันร่วมกับการใช้ไฟฟ้า			เพราะ...
24. การลดความดันใช้งานของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำให้เหมาะสม			เพราะ...

รายการศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการตรวจสอบศักยภาพ		
	ดำเนินการแล้ว	พร้อมดำเนินการ	ไม่พร้อมดำเนินการ
25. การตรวจซ่อมหรือเปลี่ยนกับดักไอน้ำ			เพราะ...
26. การลดความดันตกในระบบท่อ			เพราะ...
27. การแยกระบบการใช้ไอน้ำเป็นหลายระดับความดัน			เพราะ...
28. การลดไอน้ำแพรชจากอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ			เพราะ...
29. การติดตั้งอุปกรณ์ไล่อากาศที่อุปกรณ์ใช้ไอน้ำ			เพราะ...
30. การเปลี่ยนการใช้ไอน้ำจากผสมโดยตรงเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อน			เพราะ...
31. การปรับปรุงคุณภาพไอน้ำก่อนเข้าอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ			เพราะ...
32. การเลือกชนิดและขนาดกับดักไอน้ำให้เหมาะสม			เพราะ...
33. การใช้ระบบควบคุมการเผาไหม้อัตโนมัติ			เพราะ...
34. การผลิตน้ำร้อนด้วย Heat Pump แทนการใช้ไอน้ำ			เพราะ...
35. อุ้มน้ำป้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์			เพราะ...

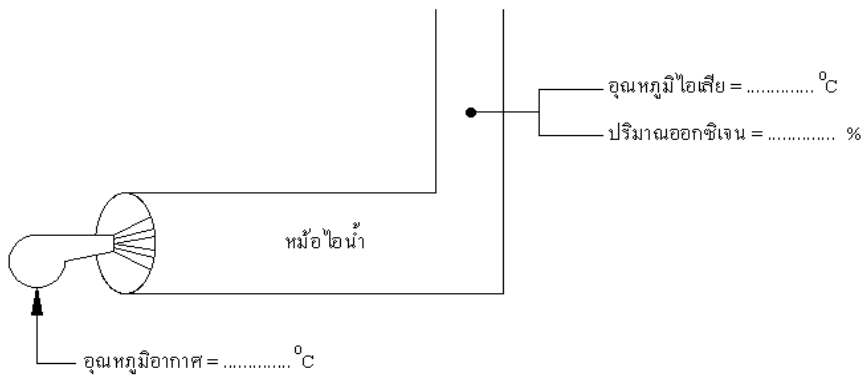
## 2.11 โปรแกรมวิเคราะห์ผลการอนุรักษ์พลังงาน

เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการวิเคราะห์ผลการอนุรักษ์พลังงาน จึงทำเป็นโปรแกรม Microsoft Excel โดยผู้ใช้งานข้อมูลเบื้องต้น และข้อมูลตรวจวัดกรอกลงในช่องว่าง โปรแกรมจะคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงานที่ถูกต้องได้ทันที

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

<p>- เชื้อเพลิงก๊าซ</p> $Q_{EG} = \text{อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซเฉลี่ย (m}^3/\text{h)} \times \text{ปริมาณก๊าซไอเสียจริง (Nm}^3/\text{m}^3) \times \text{ค่าความจุความร้อนของก๊าซไอเสีย (kcal/Nm}^3 \text{ } ^\circ\text{C)} \times (\text{อุณหภูมิไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ (}^\circ\text{C)} - \text{อุณหภูมิอากาศเข้าห้องเผาไหม้ (}^\circ\text{C)}) \times \text{ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี (h/y)} \times \text{ตัวประกอบการใช้งาน} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ}$ <p>2.1.2 ปริมาณความร้อนสูญเสียลดลง (kcal/y)</p> $Q_s = \text{พลังงานความร้อนที่สูญเสียก่อนปรับ (kcal/y)} - \text{พลังงานความร้อนที่สูญเสียหลังปรับ (kcal/y)}$ <p>2.1.3 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้</p> <p>- เชื้อเพลิงแข็ง (kg/y)</p> $F_{SS} = \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียลดลง (kcal/y)} / (\text{ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิงแข็ง (kcal/kg)} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (\%)} / 100)$ <p>- เชื้อเพลิงเหลว (L/y)</p> $F_{LS} = \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียลดลง (kcal/y)} / (\text{ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิงเหลว (kcal/L)} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (\%)} / 100)$ <p>- เชื้อเพลิงก๊าซ (m<sup>3</sup>/y)</p> $F_{GS} = \text{ปริมาณความร้อนสูญเสียลดลง (kcal/y)} / (\text{ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิงก๊าซ (kcal/m}^3) \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (\%)} / 100)$ <p>2.1.4 ค่าเชื้อเพลิงลดลง</p> $C_s = \text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้} \times \text{ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อหน่วย}$
<p><b>2.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การลงทุน</b></p>
<p>2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)</p> $PB = \text{เงินลงทุน (บาท)} / \text{ค่าเชื้อเพลิงลดลง (บาท)}$
<p><b>3. การวิเคราะห์ข้อมูล</b></p> <p>ใช้โปรแกรม excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า</p>

ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ



รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>1. ข้อมูลเบื้องต้น</b>				
1.1 ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี	h	h/y	3,500	ข้อมูลโรงงาน
1.2 ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง				
- เชื้อเพลิงแข็ง	LHV <sub>S</sub>	kcal/kg	0	น้ำมันดีเซล
- เชื้อเพลิงเหลว	LHV <sub>L</sub>	kcal/L	8,698.77	
- เชื้อเพลิงก๊าซ	LHV <sub>G</sub>	kcal/m <sup>3</sup>	0	
1.3 ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อหน่วย				
- เชื้อเพลิงแข็ง	C <sub>S</sub>	฿/kg	0	น้ำมันดีเซล
- เชื้อเพลิงเหลว	C <sub>L</sub>	฿/L	25.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซ	C <sub>G</sub>	฿/m <sup>3</sup>	0	
1.4 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง				
- เชื้อเพลิงเหลว	D <sub>L</sub>	kg/L	0.85	ผู้ผลิต
- เชื้อเพลิงก๊าซ	D <sub>G</sub>	kg/m <sup>3</sup>	0	
1.5 ตัวประกอบการใช้งาน	OF		0.80	ข้อมูลโรงงาน
1.6 ค่าความจุความร้อนของก๊าซไอเสีย (ที่ 200 °C = 0.33 , ที่ 400 °C = 0.34)	C <sub>Pg</sub>	kcal/Nm <sup>3</sup> °C	0.33	
1.7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้	η <sub>C</sub>	%	83	การคำนวณ
1.8 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	η <sub>F</sub>	%	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	
<b>2. ข้อมูลตรวจวัด</b>				
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	
<b>3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค</b>				
<b>การสูญเสียความร้อนก่อนปรับส่วนผสม</b>				
3.1 อัตราส่วนอากาศเคม $M = 21/(21 - O_{2O})$	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	แหล่งที่มาของข้อมูล
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	
$Q_{ES} = m_{PS} \times O_S \times C_{pg} \times (T_{go} - T_{ao}) \times h \times OF \times \eta_c / 100$				
- เชื้อเพลิงเหลว	$Q_{EL}$	kcal/y	55,453,538	
$Q_{EL} = m_{PL} \times O_L \times C_{pg} \times (T_{go} - T_{ao}) \times h \times OF \times \eta_c / 100$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	$Q_{EG}$	kcal/y	0.00	
$Q_{EG} = m_{PG} \times O_G \times C_{pg} \times (T_{go} - T_{ao}) \times h \times OF \times \eta_c / 100$				

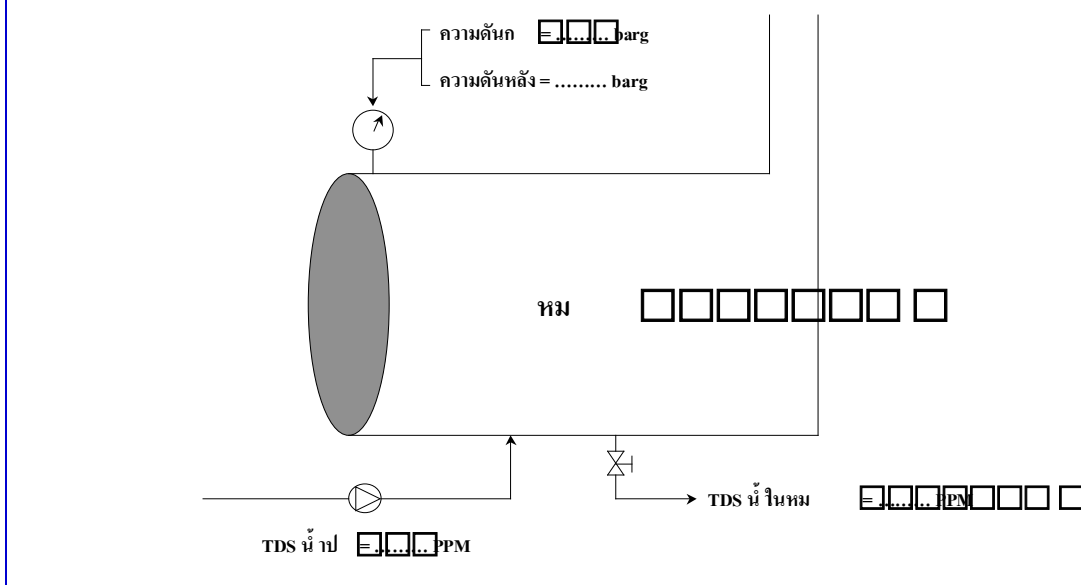


รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>การสูญเสียความร้อนหลังปรับส่วนผสม</b>				
3.7 อัตราส่วนอากาศหลังปรับส่วนผสม	$M_N$	-	1.27	
$M_N = 21/(21-O_{2N})$				
3.8 ปริมาณอากาศทางทฤษฎีหลังปรับส่วนผสม				
- เชื้อเพลิงแข็ง	$A_{OSN}$	$Nm^3/kg$	0.00	
$A_{OSN} = (1.01 \times LHV_S/1,000)+0.5$			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

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
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	
$Q_{ESN} = m_{ES} \times O_{SN} \times C_{Pg} \times (T_{gN} - T_{aN}) \times h \times OF \times \eta_C / 100$				
- เชื้อเพลิงเหลว	$Q_{ELN}$	kcal/y	40,924,216	
$Q_{ELN} = m_{EL} \times O_{LN} \times C_{Pg} \times (T_{gN} - T_{aN}) \times h \times OF \times \eta_C / 100$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	$Q_{EGN}$	kcal/y	0.00	
$Q_{EGN} = m_{EG} \times O_{GN} \times C_{Pg} \times (T_{gN} - T_{aN}) \times h \times OF \times \eta_C / 100$				
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	
$Q_{GS} = Q_{EG} - Q_{EGN}$				
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 $C_{SS} = F_{SS} \times C_S$ - เชื้อเพลิงเหลว $C_{LS} = F_{LS} \times C_L$ - เชื้อเพลิงก๊าซ $C_{GS} = F_{GS} \times C_G$	$C_{SS}$ $C_{LS}$ $C_{GS}$	฿/y ฿/y ฿/y	0.00 52,196.00 0.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน 4.1 ระยะเวลาคืนทุน - เชื้อเพลิงแข็ง $PB_S = C_C / C_{SS}$ - เชื้อเพลิงเหลว $PB_L = C_C / C_{LS}$ - เชื้อเพลิงก๊าซ $PB_G = C_C / C_{GS}$	$PB_S$ $PB_L$ $PB_G$	y y y	0.00 0.96 0.00	
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ 5.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง 5.2 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดลง 5.3 ระยะเวลาคืนทุน	$F_S$ $C_F$ PB	L/y ฿ / y y	2,087.84 52,196.00 0.96	

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



รายการ	ตัวย่อ	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>1. ข้อมูลเบื้องต้น</b>				
1.1 ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี	h	h/y	4,800	ข้อมูลโรงงาน
1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง				บิลเชื้อเพลิง
- เชื้อเพลิงแข็งที่ใช้ตลอดทั้งปี	m <sub>S</sub>	k/y	0	
- เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ตลอดทั้งปี	m <sub>L</sub>	l/y	480,000.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซที่ใช้ตลอดทั้งปี	m <sub>G</sub>	m <sup>3</sup> /y	0	ผู้จำหน่าย
1.3 ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย				
- ราคาเชื้อเพลิงแข็งเฉลี่ย	C <sub>S</sub>	฿/kg	0	
- ราคาเชื้อเพลิงเหลวเฉลี่ย	C <sub>L</sub>	฿/l	14.00	
- ราคาเชื้อเพลิงก๊าซเฉลี่ย	C <sub>G</sub>	฿/m <sup>3</sup>	0	
1.4 เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดันก่อนปรับลด	h <sub>g</sub>	kJ/kg	2,778.1	ตารางไอน้ำ
1.5 เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดันหลังปรับลด	h <sub>N</sub>	kJ/kg	2,774	ตารางไอน้ำ
1.6 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	C	฿	500.00	ผู้ให้บริการ
1.7 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	η <sub>B</sub>	%	80.00	ตรวจวัด

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.8 ค่าความร้อนทางค่าของเชื้อเพลิง				
- เชื้อเพลิงแข็ง	LHV <sub>S</sub>	kJ/kg	0	น้ำมันเตา C
- เชื้อเพลิงเหลว	LHV <sub>L</sub>	kJ/l	41,280.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซ	LHV <sub>G</sub>	kJ/m <sup>3</sup>	0	
1.9 ตัวประกอบการใช้งาน	OF	-	0.80	
<b>2. ข้อมูลตรวจวัด</b>				
2.1 ความดันสูงสุดก่อนปรับลด (Gage Pressure)	P <sub>g</sub>	barg	9.00	
2.2 ความดันสูงสุดหลังปรับลด (Gage Pressure)	P <sub>N</sub>	barg	8.00	
2.3 ค่า TDS น้ำป้อน	TDS <sub>F</sub>	PPM	400.00	
2.4 ค่า TDS น้ำในหม้อไอน้ำ	TDS <sub>B</sub>	PPM	3,000.00	
2.5 ปริมาณน้ำป้อนที่ใช้ใน 1 ชั่วโมงเฉลี่ย	W <sub>F</sub>	kg/h	1,200.00	
<b>3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค</b>				
3.1 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้เมื่อไม่ ต้องต้มน้ำที่ความดันสูง				
- เปอร์เซ็นต์ของความร้อนที่สูญเสียลดลง	%Q <sub>p</sub>	%	0.17	
$\%Q_p = [(h_g - h_N) / h_g]$				
- เชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง				
เชื้อเพลิงแข็ง	Q <sub>PS</sub>	kg/y	0.00	
$Q_{PS} = [(\%Q_p / 100) \times m_S \times OF] / \eta_B$				
เชื้อเพลิงเหลว	Q <sub>PL</sub>	L/y	816.00	
$Q_{PL} = [(\%Q_p / 100) \times mL \times OF] / \eta_B$				
เชื้อเพลิงก๊าซ	Q <sub>PG</sub>	m <sup>3</sup> /y	0.00	
$Q_{PL} = [(\%Q_p / 100) \times mG \times OF] / \eta_B$				

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
- 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				
โบลต์ควานที่ความดันต่ำลง				
- ปริมาณการโบลต์ควาน	$m_B$	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 <sup>3</sup> /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	แหล่งที่มาของข้อมูล
เชื้อเพลิงก๊าซ $C_{BG} = F_{BG} \times C_G$	$C_{BG}$	B/y	0.00	
3.3 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้จากการสูญเสียความร้อนออกจากผิวหม้อไอน้ำ และระบบส่งจ่ายไอน้ำประมาณ 20% ของความร้อนสูญเสียจากการต้มไอน้ำที่ความดันต่ำลง และจากการโบลว์ดาวน์ - ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้				
เชื้อเพลิงแข็ง $F_{RS} = (Q_{PS} + F_{BS}) \times 0.2$	$F_{RS}$	kg/y	0.00	
เชื้อเพลิงเหลว $F_{RL} = (Q_{PL} + F_{BL}) \times 0.2$	$F_{RL}$	l/y	183.81	
เชื้อเพลิงก๊าซ $F_{RG} = (Q_{PG} + F_{BG}) \times 0.2$	$F_{RG}$	m <sup>3</sup> /y	0.00	
- ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้				
เชื้อเพลิงแข็ง $C_{RS} = (C_{PS} + C_{BS}) \times 0.2$	$C_{RS}$	B/y	0.00	
เชื้อเพลิงเหลว $C_{RL} = (C_{PL} + C_{BL}) \times 0.2$	$C_{RL}$	B/y	2,573.31	
เชื้อเพลิงก๊าซ $C_{RG} = (C_{PG} + C_{BG}) \times 0.2$	$C_{RG}$	B/y	0.00	
3.4 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดทั้งสิ้น				
- เชื้อเพลิงแข็ง $F_{TS} = Q_{PS} + F_{BS} + F_{RS}$	$F_{TS}$	kg/y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $F_{TL} = Q_{PL} + F_{BL} + F_{RL}$	$F_{TL}$	l/y	1,102.85	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $F_{TG} = Q_{PG} + F_{BG} + F_{RG}$	$F_{TG}$	m <sup>3</sup> /y	0.00	

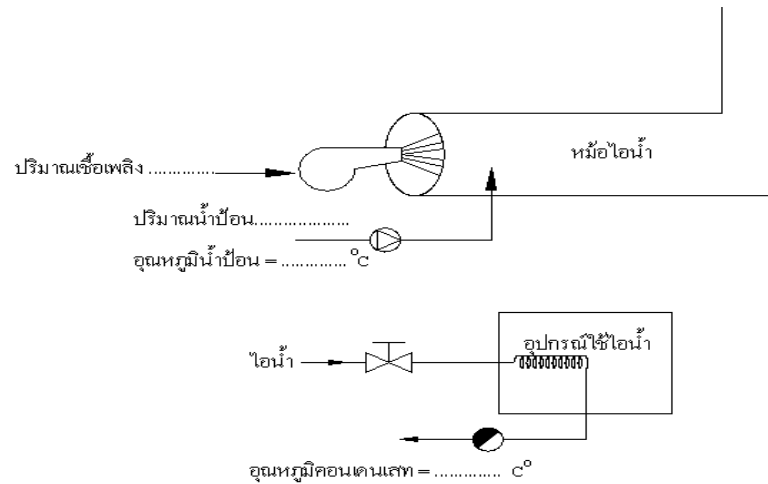


รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
3.5 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดไปทั้งสิ้น				
- เชื้อเพลิงแข็ง $C_{TS} = C_{PS} + C_{BS} + C_{RS}$	$C_{TS}$	B/y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $C_{TL} = C_{PL} + C_{BL} + C_{RL}$	$C_{TL}$	B/y	15,439.87	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $C_{TG} = C_{PG} + C_{BG} + C_{RG}$	$C_{TG}$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

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

## 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดได้ในช่องสี่ฟ้า





รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>1. ข้อมูลเบื้องต้น</b>				
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 ราคาน้ำรวมค่าปรับสภาพน้ำ	$W_C$	฿/ $m^3$	20.00	
1.5 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	$\eta_B$	%	80.00	

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

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 <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $W_{LL} = (C_{RL} / 1,000)$	$W_{LL}$	m <sup>3</sup> /y	208.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $W_{LG} = (C_{RG} / 1,000)$	$W_{LG}$	m <sup>3</sup> /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 $W_{SL} = W_{LL} \times W_C$	$W_{SL}$	฿/y	4,160.00	
- เชื้อเพลิงก๊าซ $W_{SG} = W_{LG} \times W_C$	$W_{SG}$	฿/y	0.00	
<b>3.7 รวมค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ทั้งสิ้น</b>				
- เชื้อเพลิงแข็ง $M_S = C_{LS} + W_{SS}$	$M_S$	฿/y	0.00	
- เชื้อเพลิงเหลว $M_L = C_{LL} + W_{SL}$	$M_L$	฿/y	26,304.22	
เชื้อเพลิงก๊าซ $M_G = C_{LG} + W_{SG}$	$M_G$	฿/y	0.00	
<b>4. การวิเคราะห์การลงทุน</b>				
<b>4.1 ท่อคอนเดนเสทรวมฉนวนใยแก้ว</b>				
- หนา 1 นิ้ว และหุ้ม Jacket ขนาดท่อ 1 นิ้ว ยาว 0 ม.	$P_1$	฿	0	
- หนา 1 นิ้ว และหุ้ม Jacket ขนาดท่อ 1 1/2 นิ้ว ยาว 0 ม.	$P_2$	฿	0	
- หนา 1 นิ้ว และหุ้ม Jacket ขนาดท่อ 2 นิ้ว ยาว 10 ม.	$P_3$	฿	20,000.00	
- หนา 1 นิ้ว และหุ้ม Jacket ขนาดท่อ 2 1/2 นิ้ว ยาว 0 ม.	$P_4$	฿	0	
- หนา 1 นิ้ว และหุ้ม Jacket ขนาดท่อ 3 นิ้ว ยาว 0 ม.	$P_5$	฿	0	
- ความยาวท่อรวม	$L_{EN}$	m	10.00	
- ค่าแรงในการติดตั้ง	$L_R$	฿/m	500.00	
<b>4.2 ค่าแรงในการติดตั้ง</b>				
$L_C = L_{EN} \times L_R$	$L_C$	฿	5,000.00	
<b>4.3 รวมราคาวัสดุและค่าติดตั้ง</b>				
$T_C = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + L_C$	$L_C$	฿	25,000.00	
<b>4.4 ระยะเวลาการคืนทุน</b>				
$PB = T_C/M_L$	PB	Y	0.95	

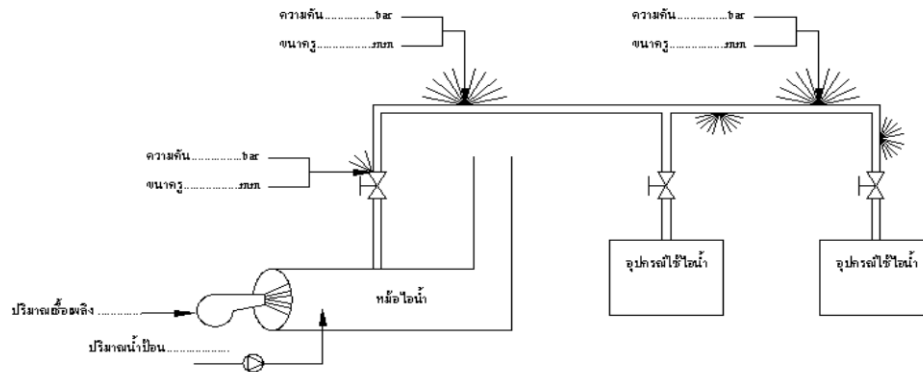
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
<b>5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์</b>				
5.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	F	L/y	1,581.73	
5.2 ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	C	฿/y	22,144.22	
5.3 ปริมาณน้ำที่ประหยัดได้	$W_C$	$m^3/y$	208.00	
5.4 ค่าน้ำที่ประหยัดได้	$W_S$	฿/y	4,160.00	
5.5 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้รวม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

มาตรการที่ 4 การซ่อมแซมรอยรั่วในระบบส่งจ่ายไอน้ำ	
1. หลักการและเหตุผล	
<p>โรงงานติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ใช้น้ำมันเตาเกรด C เป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 5 ตัน จำนวน 1 ชุด จากการสำรวจพบว่ามีไอน้ำรั่วไหลตามข้อต่อ ข้องอ จำนวน 4 จุด การรั่วไหลของไอน้ำส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงาน ความร้อน และปริมาณน้ำ รวมทั้งยังทำให้สภาวะแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะลดการสูญเสียดังกล่าว โดยการซ่อมรั่วของไอน้ำทั้งหมด ซึ่งจะทำให้โรงงานสามารถประหยัดการใช้เชื้อเพลิงลงได้</p>	
	
การรั่วของไอน้ำบริเวณต่างๆ	การรั่วของไอน้ำบริเวณต่างๆ
2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์	
2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค	
<p>2.1.1 อัตราการสูญเสียไอน้ำผ่านรูรั่ว (kg/y)</p> $m_s = [0.2827 (\text{ขนาดรูรั่ว (mm)})^2 \times (\text{ความดันไอน้ำ (kg/cm}^2\text{)} + 1.013)] \times \text{จำนวนรูรั่ว} \times \text{ชั่วโมงการทำงานตลอดปี (h/y)}$	
<p>2.1.2 ปริมาณความร้อนสูญเสีย (kJ/y)</p> $Q = \text{อัตราการการสูญเสียไอน้ำผ่านรูรั่ว (kg/y)} \times (\text{เอนทาลปีของไอน้ำในท่อ (kJ/kg)} - \text{เอนทาลปีของน้ำป้อน (kJ/kg)})$	
<p>2.1.3 ปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสีย</p> $M_f = \text{ปริมาณความร้อนที่สูญเสีย (kJ/y)} / (\text{ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง} \times \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (\%)} / 100)$	
2.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การลงทุน	
<p>2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)</p> $PB = \text{ค่าใช้จ่ายในการซ่อมรูรั่วทั้งหมด (฿)} / \text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (฿/y)}$	



## 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดได้ในช่องสี่ฟ้า



รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>1. ข้อมูลเบื้องต้น</b>				
1.1 ชั่วโมงการไจงานตลอดปี	h	h/y	2,400	ข้อมูลโรงงาน
1.2 ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย				ผู้จำหน่าย
- ราคาเชื้อเพลิงแข็งเฉลี่ย	$C_S$	฿/kg	0	น้ำมันเตา C
- ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย	$C_L$	฿/L	14.00	
- ราคาเชื้อเพลิงก๊าซเฉลี่ย	$C_G$	฿/m <sup>3</sup>	0	
1.3 ค่าปรับและค่าปรับสภาพน้ำ	$C_W$	฿/m <sup>3</sup>	20.00	บิลน้ำ
1.4 เอนทาลปีของไอน้ำในท่อที่ความดันจุด $d_1$	$h_{g1}$	MJ/kg	2.7691	ตารางไอน้ำ
1.5 เอนทาลปีของไอน้ำในท่อที่ความดันจุด $d_2$	$h_{g2}$	MJ/kg	2.7691	ตารางไอน้ำ
1.6 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	$h_B$	%	80.00	ตรวจวัด
1.7 ค่าความร้อนทางค่าของเชื้อเพลิง				คุณสมบัติเชื้อเพลิง
- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง	$LHV_S$	MJ/kg	0	
- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหลว	$LHV_L$	MJ/L	41.28	
- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซ	$LHV_G$	MJ/m <sup>3</sup>	0	
1.8 เอนทาลปีของน้ำป้อนที่อุณหภูมิน้ำป้อน	$h_f$	MJ/kg	0.1258	ตารางน้ำอีมตัว
1.9 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมรื้อทั้งหมด	C	฿	500	ผู้ให้บริการ

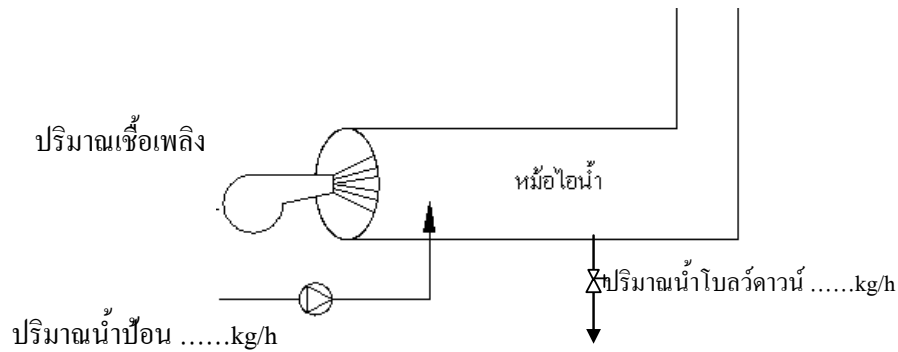
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>2. ข้อมูลตรวจวัด</b>				
2.1 ขนาดรูรั่วที่จุด $d_1$	$d_1$	mm	1.00	
2.2 จำนวนรูรั่วที่จุด $d_1$	$n_1$	จุด	1	
2.3 ความดันไอน้ำที่จุด $d_1$	$P_1$	kg/cm <sup>2</sup>	7.00	
2.4 ขนาดรูรั่วที่จุด $d_2$	$d_2$	mm	0.50	
2.5 จำนวนรูรั่วที่จุด $d_2$	$n_2$	จุด	3	
2.6 ความดันไอน้ำที่จุด $d_2$	$P_2$	kg/cm <sup>2</sup>	7.00	
2.7 อุณหภูมิของน้ำป้อน	$T_F$	°C	30.00	
<b>3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค</b>				
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 $Q_T = m_{S1} \times (h_{g1} - h_p) + m_{S2} \times (h_{g2} - h_p)$	$Q_T$	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 <sup>3</sup> /y	0.00	

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

<p><b>มาตรการที่ 5 การเปลี่ยนหม้อไอน้ำใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม</b></p>	
<p><b>1. หลักการและเหตุผล</b></p>	
<p>โรงงานติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ใช้น้ำมันเตาเกรด C เป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 5 ตัน จำนวน 1 ชุด ปัจจุบันหม้อไอน้ำมีอายุการใช้งานมากและมีประสิทธิภาพต่ำ จึงมีแนวคิดที่จะเปลี่ยนหม้อไอน้ำใหม่ โดยใช้หม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าหม้อไอน้ำเดิม มีอัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงที่สูงกว่าเดิม ทำให้โรงงานสามารถประหยัดเชื้อเพลิงลงได้</p>	
	
<p>หม้อไอน้ำชุดที่ต้องการเปลี่ยน</p>	
<p><b>2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์</b></p>	
<p><b>2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค</b></p>	
<p>2.1.1 ร้อยละอัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น</p> $\%R = \left[ \frac{\text{อัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดใหม่} - \text{อัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดเดิม}}{\text{อัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดเดิม}} \right] \times 100$	
<p>2.1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลง</p> $F_s = \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเดิมตลอดทั้งปี} \times \left( \frac{\text{อัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดเดิม}}{\text{อัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดใหม่}} \right)$	
<p><b>2.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การลงทุน</b></p>	
<p>2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)</p> $PB = \frac{\text{เงินลงทุนในการเปลี่ยนหม้อไอน้ำ (฿)}}{\text{ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ลดลง (฿/y)}}$	

## 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดได้ในช่องสีฟ้า



อัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิง = (ปริมาณน้ำป้อน - ปริมาณน้ำโบล์ว์คาวน์) / ปริมาณเชื้อเพลิง

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>1. ข้อมูลเบื้องต้น</b>				
1.1 ขนาดพิกัดหม้อไอน้ำเดิม	TON <sub>Q</sub>	T/h	5	
1.2 ขนาดพิกัดหม้อไอน้ำใหม่	TON <sub>N</sub>	T/h	5	
1.3 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงตลอดปี				
- เชื้อเพลิงแข็ง	m <sub>FS</sub>	kg/y	0	
- เชื้อเพลิงเหลว	m <sub>FL</sub>	L/y	500,000.00	น้ำมันเตา C
- เชื้อเพลิงก๊าซ	m <sub>FG</sub>	m <sup>3</sup> /y	0	
1.4 อัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำชุดใหม่				
- เชื้อเพลิงแข็ง	R <sub>NS</sub>	kg / kg fuel	0	
- เชื้อเพลิงเหลว		kg / L fuel	14.00	น้ำมันเตา C
- เชื้อเพลิงก๊าซ	R <sub>NG</sub>	kg / Nm <sup>3</sup> fuel	0	
1.5 ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย				
เชื้อเพลิงแข็ง	C <sub>S</sub>	฿ / kg	0	
เชื้อเพลิงเหลว	C <sub>L</sub>	฿ / L	14.00	น้ำมันเตา C
เชื้อเพลิงก๊าซ	C <sub>G</sub>	฿ / m <sup>3</sup>	0	
1.6 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเปลี่ยนหม้อไอน้ำ	C <sub>C</sub>	฿	6,000,000	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>2. ข้อมูลตรวจวัด</b>				
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 <sup>3</sup> fuel	0	
<b>3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค</b>				
3.1 ร้อยละอัตราส่วนการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น				
- เชื้อเพลิงแข็ง	% $R_S$	%	0.00	
$\%R_S = [(R_{NS} - R_{OS}) / R_{OS}] \times 100$				
- เชื้อเพลิงเหลว	% $R_L$	%	40.00	
$\%R_L = [(R_{NL} - R_{OL}) / R_{OL}] \times 100$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	% $R_G$	%	0.00	
$\%R_G = [(R_{NG} - R_{OG}) / R_{OG}] \times 100$				
3.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลง				
- เชื้อเพลิงแข็ง	$F_{SS}$	kg/y	0.00	
$F_{SS} = m_{FS} \times (\%R_S / 100)$				
- เชื้อเพลิงเหลว	$F_{SL}$	L/y	200,000.00	
$F_{SL} = m_{FL} \times (\%R_L / 100)$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	$F_{SG}$	m <sup>3</sup> /y	0.00	
$F_{SG} = m_{FG} \times (\%R_G / 100)$				

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
3.3 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดลง				
- เชื้อเพลิงแข็ง	$C_{FS}$	฿/y	0.00	
$C_{FS} = F_{SS} \times C_S$				
- เชื้อเพลิงเหลว	$C_{FL}$	฿/y	2,800,000.00	
$C_{FL} = F_{SL} \times C_L$				
- เชื้อเพลิงก๊าซ	$C_{FG}$	฿/y	0.00	
$C_{FG} = F_{SG} \times C_G$				
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ระยะเวลาคืนทุน				
- เชื้อเพลิงแข็ง	$PB_S$	y	0.00	
$PB_S = C_C / C_{FS}$				
- เชื้อเพลิงเหลว	$PB_L$	y	2.14	
$PB_L = C_C / C_{FL}$				
- เชื้อเพลิงเหลว	$PB_G$	y	0.00	
$PB_G = C_C / C_{FG}$				
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	
<b>1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน</b>	สถานประกอบการติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 1 ตันไอน้ำ จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด ผลิตไอน้ำที่ความดัน 6.5 บาร์ เพื่อใช้ในการ ชัก รีด และทำน้ำร้อนจ่ายให้กับห้องพัก จำนวน 460 ห้อง โดยมีการเปิดใช้งาน 5,293 ชั่วโมง/ปี
<b>2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง</b>	โดยทั่วไปการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียของหม้อไอน้ำจะมีปริมาณมากที่สุดประมาณร้อยละ 10-30 ซึ่งขึ้นอยู่กับ การปรับตั้งอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่เข้าเผาไหม้และประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้กับน้ำที่ต้องการต้มให้กลายเป็นไอ ปกติสถานประกอบการทำการปรับอัตราส่วนผสมโดยสังเกตจากเปลวไฟและสีของควันไฟที่ออกจากปล่อง ส่งผลให้ต้องใช้อากาศในการเผาไหม้มากเกินความจำเป็น
<b>3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</b>	ทำการปรับตั้งส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศใหม่ โดยการใช้เครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนส่วนเกินของก๊าซไอเสียที่ออกจากห้องเผาไหม้ ซึ่งเชื้อเพลิงเหลวควรมีค่าไม่เกิน 4% แล้วทำการปรับลดปริมาณอากาศที่เข้าเผาไหม้ เพื่อให้ได้ปริมาณออกซิเจนส่วนเกินไม่เกินเกณฑ์ แล้วนำค่าที่ได้ก่อนและหลังการปรับตั้งไปวิเคราะห์หาปริมาณการสูญเสียความร้อน
<b>4. สภาพก่อนปรับปรุง</b>	หม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 36 ลิตร/ชั่วโมง ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง 38.9 MJ/kg จากการตรวจวัดไอเสียพบว่าปริมาณ ออกซิเจน 8.0 % คาร์บอนมอนนอกไซด์ 48 ppm และอุณหภูมิไอเสีย 210.6 °C
<b>5. สภาพหลังปรับปรุง</b>	ทำการปรับแอมเปอร์เพื่อลดปริมาณอากาศเข้าใหม่ 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
<b>ข้อมูลทั่วไป</b>				
ชนิดหม้อไอน้ำ			ท่อไฟ	ท่อไฟ
เส้นผ่านศูนย์กลาง	D	m.	1.7	1.7
ความยาว	L	m.	3.2	3.2
ขนาดพิกัดกำลังผลิตไอน้ำ	Cap	Ton/hr	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
ความดันไอน้ำใช้งาน	P	kg/cm <sup>2</sup>	<b>6.5</b>	<b>6.5</b>
เวลาทำงาน	H	hr/y	<b>5,293</b>	<b>5,293</b>
อุณหภูมิแวดล้อมหม้อไอน้ำ	T <sub>r</sub>	°C	35	35
<b>เชื้อเพลิง</b>				
ชนิดเชื้อเพลิง			ดีเซล	ดีเซล
อุณหภูมิน้ำมัน	T <sub>F</sub>	°C	36.3	36.3
ความหนาแน่นน้ำมัน	ρ <sub>F</sub>	kg/L	<b>0.88</b>	<b>0.88</b>
ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง	HHV	MJ/kg	43.1	43.1
ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง	LHV	MJ/kg	<b>39.8</b>	<b>39.8</b>
ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง	C <sub>p</sub>	kJ/kg. °C	<b>1.88</b>	<b>1.88</b>
ปริมาณน้ำมันที่ใช้	V <sub>F</sub>	Liter/hr	<b>36</b>	<b>33</b>
ราคาเชื้อเพลิง		Baht/Liter	<b>20</b>	<b>20</b>
อุณหภูมิอากาศที่ใช้เผาไหม้	T <sub>a</sub>	°C	35	35
<b>น้ำป้อน</b>				
อัตราการป้อนน้ำ	m <sub>w</sub>	kg/hr	470	470
อุณหภูมิน้ำป้อน	T <sub>w</sub>	°C	68.5	68.5
<b>ก๊าซไอเสีย</b>				
ปริมาณ CO	CO	ppm	<b>48</b>	<b>51</b>
ปริมาณ O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	%	<b>8.0</b>	<b>5.0</b>
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย	T <sub>FLUE</sub>	°C	<b>210.6</b>	<b>209.6</b>
<b>โบล์ควาน์</b>				
อัตราการโบล์ควาน์	m <sub>B</sub>	kg/hr	9.4 (2%)	9.4 (2%)
อุณหภูมิน้ำโบล์ควาน์	T <sub>B</sub>	°C	161	161
<b>การแผ่รังสีความร้อน</b>				
ส.ป.ส การแผ่รังสี	e	-	0.8	0.8
พื้นที่ผิว	A	m <sup>2</sup>	21.6	21.6

อุณหภูมิผิว	$T_{surf}$	°C	48	48
<b>การวิเคราะห์หม้อไอน้ำ</b>				
<b>ความร้อนเข้า</b>				
ความร้อนจากเชื้อเพลิง $Q_C = V_F \times \rho_F \times LHV$	$Q_C$	MJ/hr	1,206.9	1,154.6
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
<b>ผลรวมความร้อนที่ป้อนเข้า</b> $Q_{in} = Q_C + Q_S + Q_W$	$Q_{in}$	MJ/hr	1,273.1	1,220.9
<b>ความร้อนออก</b>				
<b>การสูญเสียความร้อนในก๊าซไอเสีย</b>				
ผลต่างอุณหภูมิไอเสียกับสิ่งแวดล้อม $DT = (T_{FLUE} - T_r)$	DT	°C (°F)	175 (347)	175 (347)
ปริมาณ CO <sub>2</sub> ในไอเสีย (รูปที่ 2.6-1 ก)	CO <sub>2</sub>	%	<b>9.6</b>	<b>11.9</b>
ปริมาณอากาศส่วนเกิน (รูปที่ 2.6-2 ก)		%	<b>58</b>	<b>29</b>
ร้อยละการสูญเสียความร้อนทางปล่อง (ค่าจากการเปิดตารางที่ 2.6 และหักด้วย 5 สำหรับกรณีค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง)		% (LHV)	<b>13.9</b>	<b>10.1</b>
ความร้อนสูญเสียของก๊าซไอเสีย	$Q_E$	MJ/hr	<b>167.8</b>	<b>115.5</b>
<b>การสูญเสียความร้อนจากโบล์ดาวน์</b>				
เอนทาลปีของน้ำโบล์ดาวน์	$h_B$	kJ/kg	684.2	684.2
ความร้อนสูญเสียจากโบล์ดาวน์ $Q_B = (M_B \times h_B) - (M_B \times C_p \times T_r)$	$Q_B$	MJ/hr	5.1	5.1
<b>การสูญเสียความร้อนจากผนังหม้อไอน้ำ</b>				
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
<b>รวมความร้อนออก</b>	$Q_{out}$	MJ/hr	<b>1,273.1</b>	<b>1,220.9</b>

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
<p>ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง = (ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ก่อน-ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้หลัง) x ชั่วโมง ใช้งานต่อปี</p> <p>= (36 - 33) x 5,293</p> <p>= 15,879 ลิตร/ปี</p> <p>ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ = 15,879 x 20</p> <p>= 317,580 บาท</p>				
<b>7. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน</b>				
เงินลงทุน	=	ดำเนินการเอง	บาท	
ประหยัดค่าเชื้อเพลิง	=	317,580	บาท/ปี	




กรณีศึกษาที่ 2: การลดแรงดันของไอน้ำที่ผลิต	
<b>1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน</b>	
สถานประกอบการติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟที่ใช้น้ำเค็มเป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 2 ตันไอน้ำ จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด ผลิตไอน้ำที่ความดัน 105 psig เพื่อใช้ในการ ชัก ริด และทำน้ำร้อนจ่ายให้กับห้องพัก จำนวน 400 ห้อง โดยมีการเปิดใช้งาน 17 ชั่วโมง/วัน 365 วัน/ปี ใช้งานประมาณ 70 %	
<b>2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง</b>	
อุปกรณ์ใช้ไอน้ำต้องการความดันสูงสุดประมาณ 75 psig ดังนั้นการผลิตไอน้ำที่ความดันสูงกว่าความต้องการมากจะส่งผลให้การสูญเสียความร้อนในด้านต่างๆของหม้อไอน้ำและระบบส่งจ่ายไอน้ำเพิ่มขึ้น และความร้อนแฝงที่ได้จากไอน้ำจะลดต่ำลง	
<b>3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</b>	
ทำการปรับลดความดันในการผลิตไอน้ำจาก 105 psig 172°C เป็น 90 psig 166°C โดยค่อยๆปรับลดลงครั้งละ 5 psig แล้วสังเกตการณ์ทำงานของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่าง ในกรณีที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับลดความดันไอน้ำก่อนเข้าอุปกรณ์ให้ทำการปรับตั้งค่าใหม่ด้วย	
<b>4. สภาพก่อนปรับปรุง</b>	
หม้อไอน้ำปรับตั้งความดันไอน้ำที่ 105 psig มีอุณหภูมิ 172°C ซึ่งสูงเกินกว่าความต้องการของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ ทำให้หม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงเกินความจำเป็น	

5. สภาพหลังปรับปรุง		
<p>ทำการปรับลดความดันในการผลิตไอน้ำจาก 105 psig อุณหภูมิ 172°C เป็น 90 psig อุณหภูมิ 166°C ส่งผลให้ลดการใช้เชื้อเพลิงในส่วนของความร้อนแฝงที่แตกต่างกันประมาณ 1,221.03 ลิตร/ปี</p>		
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	=	ดำเนินการเอง บาท
ประหยัดค่าเชื้อเพลิง	=	19,536.48 บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 3: การลดการโบลว์ดาวน์	
1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน	
<p>สถานประกอบการติดตั้งหม้อไอน้ำแบบท่อไฟที่ใช้ น้ำมันเตาเกรดเอเป็นเชื้อเพลิง ขนาดพิกัด 4 ตันไอน้ำ จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด โดยมีการเปิดใช้งาน 20 ชั่วโมง/วัน 365 วัน/ปี มีการโบลว์ดาวน์วันละ 2 ครั้ง</p>	
2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง	
<p>การโบลว์ดาวน์มากเกินไปส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานความร้อนและน้ำรวมทั้งสารเคมีที่เติมในหม้อไอน้ำ โดยทั่วไปหม้อไอน้ำที่มีแรงดันต่ำกว่า 150 psig ค่าความเข้มข้นของสารละลายในหม้อไอน้ำควรอยู่ประมาณ 3,000-3500 ppm ดังนั้นควรปรับลดอัตราการโบลว์ดาวน์ให้เหมาะสมโดยดูจากคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำเป็นหลัก</p>	

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน			
จากการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายในหม้อไอน้ำพบว่ามีความเข้มข้นค่าประมาณ 685 ppm จึงทำการปรับลดอัตราการไหลของน้ำจากวันละ 2 ครั้งเป็นวันละ 1 ครั้ง ครั้งละ 5 วินาที โดยควบคุมความเข้มข้นของสารละลายในหม้อไอน้ำไม่เกิน 3,500 ppm และทำการตรวจวัดปริมาณน้ำไหลที่ลดลง เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน			
4. สภาพก่อนปรับปรุง			
ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายในน้ำของหม้อไอน้ำอยู่ที่ 685 ppm ขณะที่มีการไหลของน้ำวันละ 2 ครั้ง อุณหภูมิอยู่ที่ 95°C น้ำประปาที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำมีการรั่วไหลประมาณ 1,680 ลิตร/ชั่วโมง หรือ 14,716.80 ลบ.ม./ปี			
5. สภาพหลังปรับปรุง			
ทำการลดอัตราการไหลของน้ำเป็น 1 ครั้ง/วัน ครั้งละไม่เกิน 5 นาที พบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายในหม้อไอน้ำไม่เกิน 3,500 ppm ส่งผลให้ลดการสูญเสียน้ำได้ประมาณ 360 ลิตร/ชั่วโมง หรือ 3,153.6 ลบ.ม./ปี และทำการเปลี่ยนวาล์วควบคุมน้ำประปาที่ชำรุดขนาด 1.5 นิ้ว จำนวน 4 ชุด ทำให้ลดการสูญเสียน้ำประปาประมาณ 1,680 ลิตร/ชั่วโมง หรือ 14,716.80 ลบ.ม./ปี			
6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค			
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเฉลี่ย	=	84.52	%
ชั่วโมงการใช้งาน	=	7,300	ชั่วโมง/ปี
อุณหภูมิน้ำป้อน	=	95.0	°C
อัตราการไหลของน้ำ	=	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 x ชั่วโมงใช้งาน	
	=	(360 x 7,300) / 1,000	
	=	2,628	m <sup>3</sup> /y
น้ำประปา	=	อัตราการไหลของน้ำรั่ว x ชั่วโมงใช้งาน	
	=	(1,680 x 7,300) / 1,000	
	=	12,264	m <sup>3</sup> /y
ค่าน้ำประปาสูญเสีย	=	(2,628 + 12,264) x 17.11	
	=	254,802.12	บาท/ปี

ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำที่รั่ว (น้ำร้อน)			
	$Q_w$	=	$F_w \times D_w \times C_p \times (T_w - T_{wo})$
เมื่อ	$F_w$	=	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
<b>7. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน</b>			
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	
<b>1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน</b>	
สถานประกอบการมีการใช้ไอน้ำกระบวนการ Paint Shop โดยไม่การนำคอนเดนเสทซึ่งเป็นน้ำร้อนที่สะอาดมากกลับมาใช้ประโยชน์	
<b>2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง</b>	
น้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ และคุณภาพไม่ดีส่งผลให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำลดลง อีกทั้งหม้อไอน้ำผลิตไอน้ำได้ช้าและต้องปล่อยน้ำกันหม้อไอน้ำทิ้งมาก	
<b>3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</b>	
ทำการตรวจวัดปริมาณและอุณหภูมิคอนเดนเสทที่ปล่อยทิ้งและน้ำป้อนก่อนและหลังทำการปรับปรุงเพื่อนำมาวิเคราะห์หาผลการประหยัดพลังงาน รวมทั้งติดตั้งท่อนำคอนเดนเสทกลับและดึงรวมคอนเดนเสทก่อนส่งเข้ายังถึงน้ำป้อน	
<b>4. สภาพก่อนปรับปรุง</b>	
ปริมาณน้ำคอนเดนเสทเฉลี่ย 21,883 กิโลกรัม/วัน อุณหภูมิ 90 °C คิดเป็นปริมาณความร้อน 5,488 MJ/วัน	
	
<b>รูปที่ 2.12-1 แสดงการวัดปริมาณน้ำคอนเดนเสท</b>	
<b>5. สภาพหลังปรับปรุง</b>	
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	
	
<b>ตำแหน่งเชื่อมต่อท่อน้ำคอนเดนเสทเดิม</b>	<b>ท่อน้ำคอนเดนเสทเข้าถังน้ำป้อน</b>
<b>รูปที่ 2.12-2 แสดงต่อท่อน้ำคอนเดนเสทเข้าถังน้ำป้อน หลังปรับปรุง</b>	

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
ผลประหยัดที่ได้	=	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 ในการป้อนเชื้อเพลิงเมื่อคิดจากค่าความร้อน แกลบเท่ากับ 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 ตะกรันที่จับที่ท่อไอน้ำก่อนทำความสะอาด



รูปที่ 2.12-6 รอยร้าวของหม้อไอน้ำก่อนปรับปรุง

### 3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการปรับปรุงโดยการทำความสะอาดหม้อไอน้ำเพื่อกำจัดตะกรัน และทำการซ่อมรอยร้าวของหม้อไอน้ำ 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) x 62,206,404 MJ/ปี

= 35,457,650.28 MJ/ปี

เทียบเท่าต้นน้ำมันดิบ = 35,457,650.28/39.77 x 941.24 x 10<sup>-9</sup>

= 0.8391 ktoe/year

คิดเป็นจำนวนแกลบที่ประหยัดได้ = 35,457,650.28x0.8/13.918 kg/ปี

= 2,038,088.822 kg/ปี

ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

คิดเป็นมูลค่าแลกเปลี่ยนที่สามารถประหยัดได้	=	2,038,088.822x1.03867	บาท/ปี
	=	2,116,901.717	บาท/ปี
คิดเป็นจำนวนเปลือกยูคาลิปตัสที่ประหยัดได้	=	35,457,650.28x0.2/6.845	kg/ปี
	=	1,036,016.078	kg/ปี
คิดเป็นมูลค่าเปลือกยูคาลิปตัสที่สามารถประหยัดได้	=	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
<b>6. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน</b>			
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<sub>2</sub>) เกินกว่าค่ามาตรฐานอยู่ที่ 6.09% (ค่ามาตรฐานปริมาณออกซิเจน (O<sub>2</sub>) ของเชื้อเพลิงเหลวไม่เกิน 4%) ส่งผลให้เกิดความร้อนสูญเสียออกจกปล่องสูง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก



FT	260
O <sub>2</sub>	6.09
CO <sub>2</sub>	11.22
CO	15
Effn	88.0

รูปที่ 2.12-10 การตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ก่อนการปรับปรุง

**2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง**

การนำอากาศเข้าเผาไหม้มากเกินไปจนทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงและการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียสูงขึ้น

**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

ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

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

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค</b>				
<b>การสูญเสียความร้อนก่อนปรับส่วนผสม</b>				
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	
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
<b>การสูญเสียความร้อนหลังปรับส่วนผสม</b>				
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	

ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา ของข้อมูล
3.9 ปริมาณอากาศที่ใช้จริงหลังปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $A_{LN} = A_{OLN} \times M$	$A_{LN}$	Nm <sup>3</sup> /kg	10.18	
3.10 ปริมาณก๊าซเสียทางทฤษฎีหลังปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $O_{OLN} = (1.11 \times LHV_L / 1,000)$	$O_{OLN}$	Nm <sup>3</sup> /kg	10.55	
3.11 ปริมาณก๊าซเสียจริงหลังปรับส่วนผสม - เชื้อเพลิงเหลว $O_{LN} = O_{OLN} + (M-1) \times A_{OLN}$	$O_{LN}$	Nm <sup>3</sup> /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 โดยติดตั้งหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเกรด 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 ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่นำมาใช้งานเป็นหลัก

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
การใช้น้ำเฉลี่ย 9 เดือน (ลิตร)	859,795.56	888,331.11
ลำดับประสิทธิภาพ	2	1

<b>2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง</b>	
หม้อไอน้ำ No.2 ขนาด 5,000 kg มีประสิทธิภาพสูงกว่าหม้อไอน้ำ No.1 ดังนั้นจึงเปลี่ยนวิธีการใช้งานจากการเดินสลับกันไปมาเป็นการใช้งาน No.2 เป็นหลัก	
<b>3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</b>	
เปลี่ยนวิธีการใช้งานจากการใช้งานสลับกันไปมา เป็นการใช้งาน No.2 เป็นหลัก เดือนละ 3 สัปดาห์ วันละ 24 ชั่วโมง ซึ่งอัตราการการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นจาก 14.22 เป็น 15.86	
<b>4. สภาพหลังปรับปรุง</b>	
ใช้งาน No.2 เป็นหลักเดือนละ 3 สัปดาห์ ส่งผลให้การใช้เชื้อเพลิงลดลงปีละประมาณ 87,505.92 ลิตร/ปี	
	
รูปที่ 2.12.13 หม้อไอน้ำขนาด 4.5 ตัน	รูปที่ 12.2-14 หม้อไอน้ำขนาด 4.5 ตัน
<b>5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค</b>	
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 x 83,244.13
	= 607.68 ลิตรเชื้อเพลิงต่อวัน
คิดเป็นต่อเชื้อเพลิงที่ลดลงต่อปี	= 607.68 x 15 x 12 x 0.8
	= 87,505.92 ลิตรต่อปี
ค่าเชื้อเพลิงที่ลดลงต่อปี	= 87,505.92 x 18.71
	= 1,637,235.76 บาทต่อปี

## กรณีศึกษาที่ 8: การใช้ความร้อนและน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

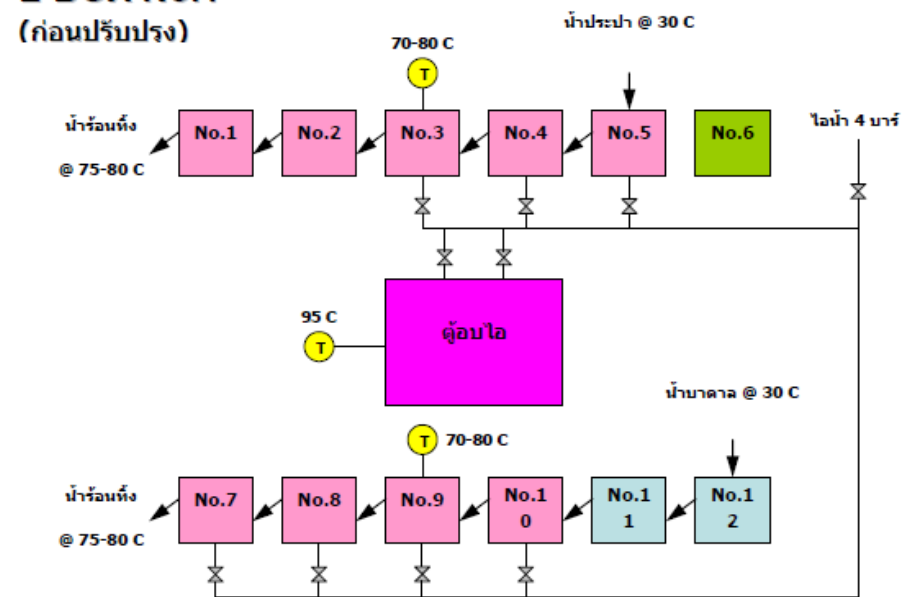
### 1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

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

- 1) บ่อที่ 3-5 เป็นบ่อน้ำร้อน (อุณหภูมิที่ต้องการประมาณ  $70^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ ) ที่ได้จากการนำน้ำประปาที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  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) ตู้อบไอ เป็นส่วนที่ใช้ไอน้ำพ่นลงบนเนื้อผ้าโดยตรง ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ไว้ไม่เกิน  $95^{\circ}\text{C}$  โดยใช้ Ball Valve ที่เปิด-ปิดการจ่ายไอน้ำตามอุณหภูมิที่แสดงไว้ที่หน้าตู้แบบ Manual Control

### L-BOX No.1

(ก่อนปรับปรุง)



รูปที่ 12.2-15 เครื่อง L-Box (กระบวนการซักผ้าขาว)

## 2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

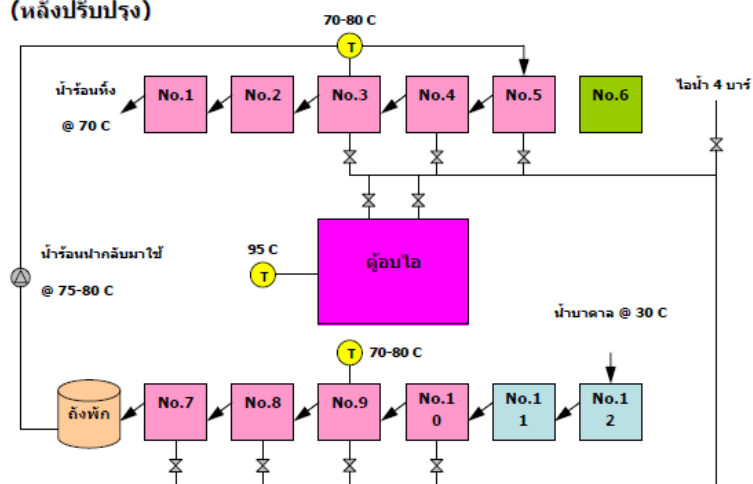
จากข้อ 1) – 4) ในข้างต้นจะเห็นได้ว่าการสูญเสียพลังงานความร้อนและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในส่วนของน้ำร้อนที่ล้นทิ้งตลอดเวลา (บ่อที่ 1 และ 7) เนื่องจากมีปริมาณที่มากในแต่ละวันและต้องใช้ความร้อนจากไอน้ำโดยตรงในการรักษาอุณหภูมิขณะใช้งาน ประกอบกับเรื่องของค่าใช้จ่ายทางด้านเคมีที่ใช้ควบคุมคุณภาพของน้ำด้วย

## 3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

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

### L-BOX No.1

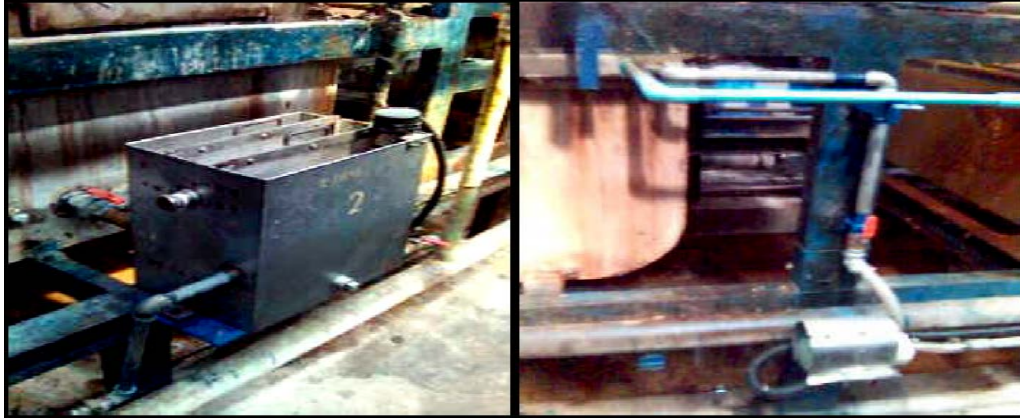
(หลังปรับปรุง)



รูปที่ 12.2-16 เครื่อง L-Box (หลังปรับปรุง)

## 4. สภาพหลังปรับปรุง

ทางโรงงานสามารถลดการใช้น้ำประปา (ส่วนที่เดิมลงในบ่อที่ 5), การใช้อิอน้ำ (บ่อที่ 1-5) และสารเคมีสำหรับบำบัดน้ำลงได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพการผลิตแต่อย่างใด



รูปที่ 12.2-17 ถังพักน้ำร้อนและเครื่องสูบน้ำกลับจากบ่อที่ 7 ไปยังบ่อที่ 5

### 5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

#### - ส่วนของสารเคมีในการบำบัดน้ำ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสารเคมีที่ใช้ลดลง} &= 300 \text{ kg/เดือน} \times 12 \text{ เดือน/ปี} \\ &= 3,600 \text{ kg/ปี} \end{aligned}$$

$$\text{อัตราค่าสารเคมี} = 26 \text{ บาท/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} &= 3,600 \text{ kg/ปี} \times 26 \text{ บาท/kg} \\ &= 93,600 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

#### - ส่วนของน้ำร้อนทิ้ง

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำร้อนทิ้งที่ลดลง} &= \text{ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ลดลงในบ่อที่ 5} \\ &= 5,616,000 \text{ ลิตร/ปี} \end{aligned}$$

$$\text{อุณหภูมิน้ำร้อนทิ้งเฉลี่ย} = 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิน้ำประปาที่ป้อนเข้า} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{พลังงานความร้อนสูญเสียที่ลดลง} &= 5,616,000 \text{ ลิตร/ปี} \times 1 \text{ kg/ลิตร} \times 0.004187 \text{ MJ/kg-}^{\circ}\text{C} \\ &\quad \times (75 - 30)^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$= 1,058,139 \text{ MJ/ปี}$$

$$\text{คิดเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้} = 1,058,139 \text{ MJ/ปี} / 17,930 \text{ MJ/ตัน}$$

$$= 59.01 \text{ ตัน/ปี}$$

### 6. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

$$\text{คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้} = 59.01 \text{ ตัน/ปี} \times 2,500 \text{ บาท/ตัน}$$

$$= 147,525 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมทั้งสิ้นคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} = 336,128 \text{ บาท/ปี}$$

กรณีศึกษาที่ 9 : การปรับปรุงฉนวนหุ้มท่อส่งไอน้ำ	
<b>1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน</b>	
โรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปส่งออกจำหน่ายต่างประเทศทำงานวันละ 20 ชั่วโมง จำนวน 312 วัน/ปี ในบางขั้นตอนของกระบวนการผลิตจะมีการใช้ไอน้ำในการย้อมสีผลิตภัณฑ์ ใช้หม้อไอน้ำ ขนาด 4 ตัน/ชม. ชนิดท่อไฟ ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันเตาเกรด C ผลิตไอน้ำส่งไปตามท่อส่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ไปยังสายการผลิต	
<b>2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง</b>	
โรงงานเปิดกิจการมาเป็นระยะเวลานานทำให้ฉนวนที่ใช้หุ้มท่อเกิดการชำรุดคิดเป็นความยาว 170 เมตร	
<b>3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</b>	
ทำการหุ้มฉนวนท่อไอน้ำที่ชำรุดทั้งหมด	
<b>4. สภาพหลังปรับปรุง</b>	
โรงงานสามารถประหยัดพลังงานได้ 330,936 MJ/ปี หรือเชื้อเพลิง 9,717 ลิตร/ปี หรือเป็นเงิน 115,181 บาท/ปี และมีระยะ เวลาคืนทุน 1.70 ปี	
<b>5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค</b>	
ข้อมูลสำหรับการคำนวณ	
(1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2 นิ้ว	
(2) ขนาดความยาวท่อ 170 เมตร	
(3) พื้นที่ผิวการระบายความร้อน (A) 27.12 m <sup>2</sup>	
(4) อุณหภูมิที่ผิวเตาก่อนหุ้มฉนวน (T <sub>a</sub> ) 140.0 °C	
(5) อุณหภูมิภายนอก (T <sub>s</sub> ) 27 °C	
(6) สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (hr) 0.9 W/m <sup>2</sup> K	
(7) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (hc) 5.110 W/m <sup>2</sup> K	
(8) ค่าเชื้อเพลิง (น้ำมันเตา C) 11.85 บาท/ลิตร	
(9) ประสิทธิภาพการเผาไหม้หม้อไอน้ำเฉลี่ย 82.5 %	
(10) เงินลงทุนในการปรับปรุง 196,227 บาท	
กำลังความร้อนสูญเสียก่อนปรับปรุงฉนวน	$= (hr + hc) \times A \times (T_s - T_a)$
	$= 18,415 \quad \text{W}$
การหุ้มฉนวนลดการสูญเสียพลังงานลงได้ (ข้อมูลจาก พพ.) 80%	
คิดเป็นค่ากำลังงานที่ลดลง	$= 18,415 \text{ kW} \times 80\%$
	$= 14,732 \quad \text{kW}$
คิดเป็นค่าพลังงานที่ประหยัดได้	$= 18,415 \text{ kW} \times 20 \text{ ชม.} \times 312 \text{ วัน}$
	$= 91,927 \quad \text{kWh/ปี}$
	หรือ $= 330,936 \quad \text{MJ/ปี}$
หรือเทียบเท่าน้ำมันเตา C	$= 330,936 \quad \text{MJ/ปี}$

	= 41.28 MJ/ลิตร x 82.5% = 9,717 ลิตร/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 9,717 ลิตร/ปี x 11.85 บาท/ลิตร
	= 115,181 บาท/ปี
<b>6.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน</b>	
คิดระยะเวลาคืนทุน	= 196,227 บาท /115,181 บาท/ปี
	= 1.70 ปี

<b>กรณีศึกษาที่ 10 : การนำความร้อนจากไอเสียไปอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ</b>	
<b>1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน</b>	
โรงงานผลิตเครื่องสำอางจำหน่ายภายในประเทศ 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 <sub>2</sub> ในก๊าซไอเสีย 4% ประสิทธิภาพการเผาไหม้ 80.5% อุณหภูมิน้ำป้อน 30°C	
<b>2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง</b>	
อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงถึง 300°C ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียมาก	
<b>3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</b>	
นำความร้อนทั้งจากก๊าซไอเสียมาอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำจะส่งผลให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำสูงขึ้น	
<b>4. สภาพหลังปรับปรุง</b>	
ประหยัดพลังงานได้ 6,816,202 MJ/ปี หรือเชื้อเพลิง 205,120 ลิตร/ปี หรือเป็นเงิน 2,564,000 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 0.59 ปี	
<b>5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค</b>	
สมการสำหรับการคำนวณ $M = 21/(21 - O_2)$	
$A = M/A_0$	
$G = G_0 + (M-1) A_0$	
โดย A คือ ปริมาณอากาศที่ใช้จริง (m <sup>3</sup> /kgfuel)	
A <sub>0</sub> คือ ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (m <sup>3</sup> /kgfuel)	
G คือ ปริมาณไอเสียจริง (m <sup>3</sup> /kgfuel)	
G <sub>0</sub> คือ ปริมาณไอเสียทางทฤษฎี (m <sup>3</sup> /kgfuel)	
M คือ อัตราส่วนอากาศ	
O <sub>2</sub> คือ เปอร์เซ็นต์ของ O <sub>2</sub> ในก๊าซเสีย	



แทนค่าลงในสมการ	
	$M = 21/(21 - 4)$ $= 1.24$ $A_0 = 10.8 \text{ m}^3/\text{kgfuel}$ $G_0 = 11.4 \text{ m}^3/\text{kgfuel}$ $G = 11.4 \text{ m}^3/\text{kgfuel} + [(1.24-1) \times 10.8] = 14 \text{ m}^3/\text{kgfuel}$
	<p>ค่าความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ 300°C = 1.29 x (273/(273+300))</p> $= 0.61 \text{ kg/ m}^3$
	<p>ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศที่อุณหภูมิ 300°C มีค่าประมาณ 1.045 kJ/kg.K</p>
	<p>ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง = 0.96 kg/ m<sup>3</sup></p>
	<p>ดังนั้น พลังงานที่สามารถนำกลับมาได้สูงสุด = <math>mc\Delta T</math></p> $= (14 \times 0.61 \times 1,000 \times 0.96) (1.045) (300-170)$ $= 1,456,446 \text{ kJ/hr}$
	<p>ถ้า Economizer มีประสิทธิภาพ 75% พลังงานที่นำกลับมาใช้จริง</p> $= 1,456,446 \text{ kJ/hr} \times 75\%$ $= 1,092,335 \text{ kJ/hr}$
	<p>คิดเป็นค่าพลังงานที่ประหยัดได้</p> $= 1,092.34 \text{ MJ/ชม.} \times 20 \text{ ชม.} \times 312 \text{ วัน}$ $= 6,816,202 \text{ MJ/ปี}$
	<p>หรือเทียบเท่าน้ำมันเตา C</p> $= 6,816,202 \text{ MJ/ปี} / (41.28 \text{ MJ/ลิตร} \times 80.5\%)$ $= 205,120 \text{ ลิตร/ปี}$
	<p>คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้</p> $= 205,120 \text{ ลิตร/ปี} \times 12.50 \text{ บาท/ลิตร}$ $= 2,564,000 \text{ บาท/ปี}$
<b>6.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน</b>	
กิตระยะเวลาคืนทุน	$= 1,500,000 \text{ บาท} / 2,564,000 \text{ บาท/ปี}$ $= 0.59 \text{ ปี}$

### กรณีศึกษาที่ 11 : เตินเครื่องแบบ Low Fire เป็นหลักแทนเตนเครื่องแบบ Medium Fire

#### 1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการมีการใช้หม้อไอน้ำขนาด 3.2 ตันต่อชั่วโมง เตินครั้งละ 1 ชุด ขณะตรวจวัดการทำงานของหัวเผาพบว่ามีการทำงานของหัวเผาแบบไฟปานกลาง Medium fire (เชื้อเพลิงป้อนเข้าหัวเผา ปานกลาง) ทำให้หม้อไอน้ำเดิน-หยุดบ่อย เนื่องจากทำความดันไอน้ำได้เร็วและภาระการใช้ไอน้ำที่น้อยมาก ส่งผลต่อการสูญเสียความร้อน เนื่องจากการเดินที่ medium fire ตลอด



<b>2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง</b>			
ก่อนจุดหัวเผาแต่ละครั้งจะต้องมีการไล่เชื้อเพลิงที่ตกค้างออกก่อนโดยใช้เวลาประมาณ 2 นาที ช่วงเวลาดังกล่าวอากาศที่ส่งเข้าห้องเผาไหม้จะพาความร้อนออกจากห้องเผาไหม้ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนมาก			
<b>3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</b>			
ตั้งหัวเผาให้มีการเดินแบบ เปลวไฟต่ำ Low fire ( เชื้อเพลิงป้อนเข้าหัวเผาน้อย ) ซึ่งจะช่วยยืดเวลาการเดินของหัวเผาให้มากขึ้นและลดเวลาการตัดการทำงานของหัวเผาให้น้อยลง เพื่อลดความถี่การ เดิน-หยุด ของหม้อไอน้ำ จะส่งผลให้ลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้			
			
<b>รูปที่ 12.2-18 การปรับตั้งหัวเผา</b>			
<b>4. สภาพหลังปรับปรุง</b>			
หลังจากการปรับตั้งเป็นตำแหน่งให้หัวเผาเดินที่ Low fire แล้ว การทำไอน้ำที่ความดันเดิมก็จะช้าลงแต่ก็สามารถรองรับภาระจากการใช้งานได้พอเพียงไม่เกิดปัญหาที่จะผลิตไอน้ำได้ไม่ทันและจากการตรวจวัดอัตราส่วนไอน้ำต่อเชื้อเพลิง ระหว่างตอนเดิน medium fire กับ หลังปรับตั้งเป็น Low fire พบว่าช่วง low fire มีสัดส่วนที่ดีขึ้น คือผลิตไอน้ำได้มากขึ้นแต่ใช้เชื้อเพลิงเท่าเดิม อุณหภูมิปล่องลดลงจากช่วง medium fire ประมาณ 20 °C ส่งผลต่อการลดการสูญเสียความร้อนน้อยลง			
<b>จำนวนเท่าของการระเหย = อัตราการผลิตไอน้ำต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง</b>			
		Low Fire	Medium Fire
มวลไอน้ำจริง (m <sub>g</sub> )	kg/hr	1,004.00	1,000.30
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อชั่วโมง	L/hr	83.00	88.40
จำนวนเท่าการระเหยจริง ที่ภาระ 40 %	kg/L	12.10	11.32
<b>5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค</b>			
<b>จำนวนเท่าของการระเหยช่วงเดิน Medium Fire</b>			
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
<b>จำนวนเท่าของการระเหยช่วงเดิน Low Fire</b>			
ปริมาณน้ำป้อนต่อ 1 ชั่วโมง (kg steam)	=	1,004.00	L/hr

ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

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 ชำรุดอยู่)	=	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 ใช้ น้ำมันเตาเกรด 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 12.2-19 หม้อไอน้ำชุดเดิม

### 3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

หม้อไอน้ำอยู่ในสภาพเก่าต้องใช้ค่าบำรุงรักษาสูง อีกทั้งมีต้นทุนไอน้ำสูง จึงทำการเปลี่ยนใหม่

### 4. สภาพหลังปรับปรุง

หม้อไอน้ำใหม่ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า 85% และมีจำนวนเท่าของการระเหยมากกว่า 14.0 kg steam/ลิตร



รูปที่ 12.2-20 หม้อไอน้ำที่ติดตั้งใหม่

### 5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

#### การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง

หม้อไอน้ำเปิดใช้งาน 16 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี วันละ 1 ชุด สลับไป-มา อัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 3.44 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง มีจำนวนเท่าของการระเหย 12.6 kg steam/ลิตร ใช้น้ำเตาเกรด A

$$\begin{aligned} \text{เชื้อเพลิงที่ใช้} &= [\text{ปริมาณไอน้ำที่ผลิต (kg steam)} / \text{สมรรถนะ (kg steam/ลิตร)}] \times \text{ชั่วโมง/วัน(h/d)} \times \text{วัน/ปี(d/y)} \times \text{O.F.} \\ &= [3,440 \text{ kg steam} / 12.6\text{kg steam/ลิตร}] \times 16\text{h/d} \times 365\text{d/y} \times 0.4 \\ &= 637,765 \quad \text{ลิตร/y} \end{aligned}$$

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

<b>การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง</b>		
หม้อไอน้ำใหม่ มีจำนวนเท่าของการระเหยประมาณ 14.0 kg steam/ลิตร ใช้เดินเป็นหลักทุกวัน 16 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี		
เชื้อเพลิงที่ใช้	= [ ปริมาณไอน้ำที่ผลิต(kg steam) / สมรรถนะ (kg steam/ลิตร) ] x ชั่วโมง/วัน(h/d) x วัน/ปี(d/y) x O.F.	
	= [3,440 kg steam / 14.0kg steam/ลิตร ] x 16h/d x 365d/y x 0.4	
	= 573,989 ลิตร/y	
<b>สรุปหลังการปรับปรุง</b> 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
<b>สรุปผลประหยัด</b>		
ค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเตา	39.77 MJ/ลิตร (ค่ามาตรฐาน)	
เชื้อเพลิงที่ไ้ลดลง	= 63,776	ลิตร/ปี
<b>6.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน</b>		
ค่าเชื้อเพลิงที่ลดลง	= 1,549,119.04	บาท/ปี
เงินลงทุน	= 9,603,250.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	= 6.2	ปี

<b>กรณีศึกษาที่ 13 : ปรับลดความดันไอน้ำที่ผลิตให้เหมาะสม</b>
<b>1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน</b>
สถานประกอบการมีการตั้งความดันไอน้ำตัดต่อที่ 6.5 – 8 บาร์ แต่อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำต้องการแรงดันไอน้ำเพียงแค่ 5 บาร์เท่านั้น
<b>2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง</b>
การเดินหม้อไอน้ำที่ความดันสูงมากเกินไปทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเกินความจำเป็นและส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนที่ผิวท่อไอน้ำที่ไม่ได้หุ้มฉนวนกับที่ตัวหม้อไอน้ำ และน้ำระบาย (Blow down) อีกด้วย
<b>3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</b>
ทำการปรับลดแรงดันตัดต่อให้อยู่ในช่วงการใช้งานหรือให้สูงกว่าแรงดันที่อุปกรณ์ใช้งานประมาณ 1 บาร์ จะทำให้ลดการใช้พลังงานลงได้เพราะหม้อไอน้ำไม่ต้องผลิตไอน้ำที่ความดันสูงเกินความจำเป็น



รูปที่ 12.2-21 ความดันไอน้ำก่อนลดลง

#### 4. สภาพหลังปรับปรุง

การลดความดันของหม้อไอน้ำ ไม่พบว่าส่งผลเสียต่ออุปกรณ์และกระบวนการ เป็นผลให้การใช้ปริมาณเชื้อเพลิงลดลง เนื่องจากไม่ต้องผลิตไอน้ำที่ความดัน 100 psig ซึ่งสามารถลดการสูญเสียความร้อนในส่วนต่างๆของหม้อไอน้ำ และระบบส่งจ่ายด้วย



รูปที่ 12.2-22 ความดันไอน้ำหลังลดลง 1 Barg

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
รายการ	ตัวย่อ	หน่วย	ข้อมูล เตาเบอร์ 1	แหล่งที่มา ของข้อมูล
<b>1. ข้อมูลเบื้องต้น</b>				
1.1 ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี	h	h/y	5,200	ข้อมูลโรงงาน
1.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง				บิลเชื้อเพลิง
- เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ตลอดทั้งปี	$m_L$	V/y	459,680	ข้อมูลโรงงาน
- ราคาเชื้อเพลิงเหลวเฉลี่ย	$C_L$	B/l	12.84	ผู้จำหน่าย
1.4 เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดันก่อนปรับลด	$h_g$	kJ/kg	2,773.10	ตารางไอน้ำ
1.5 เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดันหลังปรับลด	$h_N$	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
<b>2. ข้อมูลตรวจวัด</b>				
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	
<b>3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค</b>				
3.1 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้เมื่อไม่ต้องต้มน้ำ ที่ความดันสูง				
- เปอร์เซ็นต์ของความร้อนที่สูญเสียน้อยลง	$\%Q_p$	%	0.11	
$\%Q_p = [(h_g - h_N) / h_g] \times h_B$				
- เชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง				
เชื้อเพลิงเหลว	$Q_{pL}$	L/y	419.69	
$Q_{pL} = \%Q_p \times m_L / 100 \times OF$				



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

รายการ	ตัวย่อ	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
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				เมกะจูล/ปี
5.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	$F_T$	l/y	14,322.70	569,613.78
5.2 ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลดลง	$C_T$	B / y	185,042.58	
5.3 ระยะเวลาคืนทุน	PB	y	0.00	

**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 12.2-23 หม้อไอน้ำที่ลดเวลาการใช้งาน

**4. สภาพหลังปรับปรุง**



สามารถลดเวลาการเดินและการใช้พลังงานของหม้อไอน้ำลงได้โดยไม่มีผลเสียต่อการผลิต



5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค			
<b>ข้อมูล</b>	<b>Boiler 1</b>	<b>Boiler 2</b>	<b>หน่วย</b>
Temp feed water	95.6	84.0	°C
$h_f$ feed water	401	352	kJ/kg <sub>s</sub>
$h_g$ steam at 6 bar <sub>g</sub>	2,763	2,763	kJ/kg <sub>s</sub>
LHV of LPG	46,700	46,700	kJ/kg <sub>F</sub>
$\eta_{Boiler}$	79.5	81.6	%
$\eta_{CB}$	86	86.2	%
Water flow rate	1,007	978	kg <sub>s</sub> /hr
Working Day	182	183	d/y
ราคาเชื้อเพลิง	22.69	22.69	บาท/kg
Time reduced	0.5	0.5	hr/d
<b>ข้อมูล</b>	<b>ตัวย่อ</b>	<b>ความหมาย</b>	<b>หน่วย</b>
Temp feed water	$T_f$	อุณหภูมิน้ำป้อน	°C
$h_f$ feed water	$h_f$	เอนทัลปีที่อุณหภูมิน้ำป้อน	kJ/kg <sub>s</sub>
$h_g$ steam at 6 bar <sub>g</sub>	$h_g$	เอนทัลปีไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันที่ผลิต	kJ/kg <sub>s</sub>
LHV of LPG	LHV	ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง	kJ/kg <sub>F</sub>
$\eta_{Boiler}$	$\eta_B$	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	%
$\eta_{CB}$	$\eta_{CB}$	ประสิทธิภาพการเผาไหม้	%
Water flow rate	$\dot{m}$	อัตราการไหลของน้ำป้อน	kg <sub>s</sub> /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
<b>สมการที่ใช้ในการคำนวณ</b>			
$Q_{Save}$	=	$\frac{[\dot{m}(h_g - h_f)(T_r)(W_D)(100)](OF)}{\eta_B}$	kJ/y
$F_{Save}$	=	$\frac{(Q_{save})(100)}{(\eta_{CB})(LHV)}$	kg/y
$M_{Save}$	=	$(F_{save})(F_{cost})$	บาท/y
<b>หม้อไอน้ำเบอร์ 1</b>			
ก่อนปรับปรุง	=	$[(1,007 \text{ kg/hr}) \times (2,763 \text{ kJ/kg}_s - 401 \text{ kJ/kg}_s) \times 2,366 \text{ hr/y} \times 100] / 79.5 \times 0.5$	
	=	3,539,378,267	kJ/y
หลังปรับปรุง	=	$[(1,007 \text{ kg/hr}) \times (2,763 \text{ kJ/kg}_s - 401 \text{ kJ/kg}_s) \times 2,275 \text{ hr/y} \times 100] / 79.5 \times 0.5$	
	=	3,403,248,333	kJ/y
	=	3,539,378,267 - 3,403,248,333	

ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

	=	136,129,934	kJ/y
	=	$(136,129,934 \text{ kJ/y} \times 100) / (86)(46,700 \text{ kJ/kg})$	
	=	3,389.52	kg/y
	=	$3,389.52 \text{ kg/y} \times 22.69 \text{ บาท/kg}$	
	=	76,908.23	บาท/ปี
<b>หม้อไอน้ำชุดที่ 2</b>			
<b>ก่อนปรับปรุง</b>			
	=	$[(978 \text{ kg}_s/\text{hr}) \times (2,763 \text{ kJ/kg}_S - 352 \text{ kJ/kg}_s) \times 2,379 \text{ hr/y} \times 100] / 81.5] \times 0.5$	
	=	3,441,461,400	kJ/y
<b>หลังปรับปรุง</b>			
	=	$[(978 \text{ kg}_s/\text{hr}) \times (2,763 \text{ kJ/kg}_S - 352 \text{ kJ/kg}_s) \times 2,287 \text{ hr/y} \times 100] / 81.5] \times 0.5$	
	=	3,308,374,200	kJ/y
	=	$3,441,461,400 - 3,308,374,200$	
	=	133,087,200	kJ/y
	=	$(133,087,200 \text{ kJ/y} \times 100) / (86.2)(46,700 \text{ kJ/kg})$	
	=	3,313.76	kg/y
	=	$3,313.76 \text{ kg/y} \times 22.69 \text{ บาท/kg}$	
	=	75,189.20	บาท/ปี
<b>ผลประหยัดรวมทั้ง 2 เครื่อง</b>			
<b>พลังงานที่ประหยัดรวม</b>			
	=	$136,129,934 + 133,087,200$	
	=	269,217,134	kJ/y
	=	$269,217,134 / 1000$	
	=	269,217.13	MJ/y
<b>คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้</b>			
	=	$76,908.23 + 75,189.20$	
	=	152,097.42	บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 15 : การปรับปรุงประสิทธิภาพกับดักไอน้ำ
<p><b>1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน</b></p>
<p>สถานประกอบการติดตั้งหม้อไอน้ำขนาด 3.0 ตันต่อชั่วโมง ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG ผลิตไอน้ำที่ความดัน 6.5 บาร์ เพื่อใช้ในกระบวนการผลิต</p>
<p><b>2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง</b></p>
<p>จากการสำรวจพบว่ามีกับดักไอน้ำขนาด 0.25 นิ้ว รั่วภายใน โดยมีขนาดรู 0.16 นิ้ว ส่งผลให้สิ้นเปลืองไอน้ำมาก</p>  <p style="text-align: center;">รูปกับดักไอน้ำชุดที่รั่ว</p>
<p><b>3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน</b></p>
<p>หม้อไอน้ำอยู่ในสภาพเก่าต้องใช้ค่าบำรุงรักษาสูง อีกทั้งมีต้นทุนไอน้ำสูง จึงทำการเปลี่ยนใหม่</p>
<p><b>4. สภาพหลังปรับปรุง</b></p>
<p>หม้อไอน้ำใหม่ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า 85% และมีจำนวนเท่าของการระเหยมากกว่า 14.0 kg steam/ลิตร</p>  <p style="text-align: center;">รูปกับดักไอน้ำชุดที่ปรับปรุง</p>

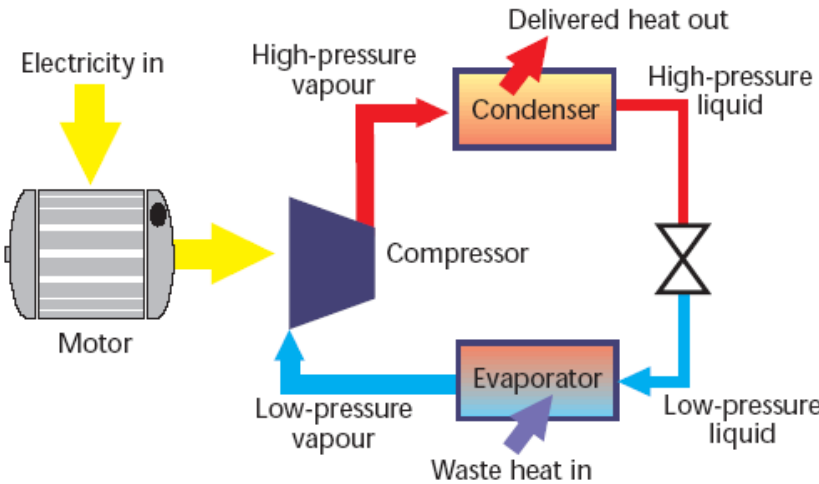
5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค		
ขนาดที่เกิดหม้อไอน้ำ	3	ตันต่อชั่วโมง
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	85 %	
ความดันไอน้ำที่ผลิต	6.5	bar
ชั่วโมงการทำงาน	12	ชั่วโมงต่อวัน
วันทำงาน	300	วันต่อปี
ราคา LPG เฉลี่ย	16.50	บาทต่อกิโลกรัม
ค่าความร้อน LPG	50.23	kJ/ kg
<u>การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง</u>		
กับดักไอน้ำขนาด 0.25 นิ้วที่มีขนาด Orifice	= 1.6	m m
ความดันไอน้ำที่จุดควบไอลประมาณ	= 5.5	bar
ค่าเอนทัลปีไอน้ำ @5.5 bar	= 2,760.50	kJ/ kg
อุณหภูมิคอนเดนเสท	= 80 <sup>0</sup> C	
ค่าเอนทัลปี	= 334.9	kJ/ kg
อัตราการสูญเสียไอน้ำ	= 0.4 D <sup>2</sup> (P + 1.013)	
	= 0.4 x (1.6) <sup>2</sup> 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

**พลังงานที่ใช้ลดลง**

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

### 2.13 เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน

เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานถือเป็นการเทคนิคการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานให้สูงขึ้นและทันสมัย

<p><b>2.13.1 การใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน (Heat Pump for Process Heating)</b></p>
<p><b>1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี</b></p>
<p><b>ปั๊มความร้อน คืออะไร</b></p> <p>ปั๊มความร้อน เป็นระบบที่มีวัฏจักรการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่รู้จักกันว่า Carnot Cycle ซึ่งดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อน หรือกล่าวอย่างง่ายก็คือการปั๊มความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งนั่นเอง วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (Mechanical Vapour Compression System) ต่างกันเพียงแต่ปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากด้านความร้อนเป็นหลักและควบคุมอุณหภูมิด้านความร้อนแทนด้านความเย็น</p> <p>ส่วนประกอบการทำงานหลักของปั๊มความร้อน ประกอบด้วย</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• อีวาพอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากภายนอกเข้าสู่วัฏจักรปั๊มความร้อน โดยสารทำความเย็นที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกจะดึงความร้อนจากภายนอกและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ</li> <li>• คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่เพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในสถานะไอที่อุณหภูมิต่ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าภายนอกและส่งต่อไปที่คอนเดนเซอร์</li> <li>• คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำความเย็นที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่ความดันสูงไหลต่อไปยังเอ็กซ์แพนชันวาล์ว</li> <li>• เอ็กซ์แพนชันวาล์ว ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นเพื่อป้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์</li> </ul>  <p>The diagram illustrates the heat pump cycle. It starts with a Motor on the left that provides Electricity in (indicated by a yellow arrow) to a Compressor. The Compressor pumps High-pressure vapour into a Condenser at the top right. The Condenser releases Delivered heat out (indicated by a red arrow) and the refrigerant becomes High-pressure liquid. This liquid passes through an expansion valve (represented by a valve symbol) and becomes Low-pressure liquid. The Low-pressure liquid enters an Evaporator at the bottom right, which absorbs Waste heat in (indicated by a purple arrow) and becomes Low-pressure vapour. This vapour then returns to the Compressor to complete the cycle.</p> <p><b>รูปที่ 2.13-1 แสดงวัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน <sup>(2)</sup></b></p>

จึงเห็นได้ว่าปั๊มความร้อนจะทำงาน โดยใช้การหมุนเวียนของสารทำความเย็นเพื่อพาความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำมาให้แก่ด้านที่ต้องการอุณหภูมิสูงได้ โดยใช้พลังงานจากคอมเพรสเซอร์ ความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อนจึงมีค่าเท่ากับ ความร้อนจากภายนอกผ่านอิววาพอเรเตอร์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์

### การประยุกต์ใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อนในกระบวนการผลิต

จากหลักการทำงานของปั๊มความร้อนจะเห็นได้ว่าปั๊มความร้อนสามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ความร้อนในอากาศหรือแหล่งความร้อนสูญเสียซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ด้วยการบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนตามปกติ 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 สำหรับกระบวนการผลิตหรือการใช้งานต่างๆ ในอาคาร และใช้ทดแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ใช้น้ำ หรือไฟฟ้า ในกระบวนการทำความร้อนหรือการอบแห้งผลิตภัณฑ์ 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<sup>(5)</sup> ปั๊มความร้อนมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้มากกว่า 60% โดยสามารถประเมินเปรียบเทียบในกรณีการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C จากน้ำดิบอุณหภูมิ 27 °C ปริมาณ 16,000 ลิตรต่อวัน (เทียบเท่าปริมาณการใช้น้ำร้อนสำหรับโรงแรมขนาด 100 ห้อง) ดังนี้

พลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการผลิตน้ำร้อน 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<sup>(5)</sup>

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<sup>(2)</sup>

#### 4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยีปั๊มความร้อนเหมาะสำหรับการใช้ผลิตความร้อน ได้แก่ น้ำร้อน หรืออากาศร้อน สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคาร ในช่วงอุณหภูมิของการทำความร้อนไม่เกิน 60 °C ซึ่งเป็นช่วงที่ปั๊มความร้อนทำงานที่มีประสิทธิภาพสูง โดยการผลิตความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้ปั๊มความร้อนมีประสิทธิภาพลดลงมาก รวมทั้งข้อจำกัดของคอมเพรสเซอร์ที่ไม่สามารถทำงานได้อุณหภูมิสูงกว่าช่วง 80 – 90 °C

#### 5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้แก่

- โรงงานผลิตอาหารและเครื่องดื่ม
- โรงงานเคมี
- โรงงานสิ่งทอ
- โรงงานผลิตชิ้นส่วนโลหะ
- โรงงานอบแห้งไม้แปรรูป
- อาคาร โรงแรม
- อาคาร โรงพยาบาล
- ฯลฯ

#### 6. ราคาของเทคโนโลยี

ราคาของระบบปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน จะขึ้นอยู่กับขนาดติดตั้งของระบบและประเภทการติดตั้งใช้งาน โดยจากข้อมูลผู้จำหน่ายระบบ<sup>(6)</sup> และกรณีศึกษาการติดตั้งในประเทศไทย<sup>(4)(5)</sup> ค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแบบวงจรปิดจะอยู่ระหว่าง 12,000 – 28,000 บาทต่อกิโลวัตต์ความร้อนหรือ 3,500,000 – 8,200,000 บาทต่อ MMBtu

#### 7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

จากข้อมูลจากกรณีศึกษาการติดตั้งในประเทศไทย<sup>(4)(5)(6)</sup> เทคโนโลยีการใช้น้ำปั๊มความร้อนในการทำความร้อนสามารถให้ผลประหยัดซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 – 5 ปี ซึ่งในบางกรณีปั๊มความร้อนอาจให้ระยะเวลาคืนทุนไม่ถึง 1 ปี



<b>8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม</b>	
เทคโนโลยีปั๊มความร้อนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำอยู่ในระดับเดียวกับระบบเครื่องปรับอากาศทั่วไป	
<b>9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย</b>	
<p>จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. ประมาณการว่ามีการนำเทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวไปประยุกต์ใช้แล้วกับสถานประกอบการประมาณ ไม่เกิน 4% ของจำนวนสถานประกอบการที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้ (ประมาณ 100 แห่งจาก 2,741 แห่ง)</p> <p>โดยเมื่อพิจารณากลุ่มเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ ในกลุ่มอุตสาหกรรมและอาคารที่มีศักยภาพแล้วพบว่าเทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 9,797 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศในปี 2549<sup>(7)</sup> และจากการประมาณการในกรณีที่ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 19,594 ล้านบาท</p>	
<b>10. ตัวอย่างกรณีศึกษา<sup>(3)</sup></b>	
<b>กรณีศึกษา:</b>	<b>โรงแรม The Royal City</b>
<b>ประเภทอาคาร:</b>	โรงแรมขนาดห้องพัก 400 ห้อง
<b>การใช้เทคโนโลยี:</b>	ติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนแทนการใช้หม้อไอน้ำเดิมซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง
<b>เงินลงทุน:</b>	1,120,000 บาท (ระบบปั๊มความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 5.25 kW ซึ่งมีอัตราการทำน้ำร้อนได้ 861 ลิตรต่อชั่วโมง รองรับภาระการใช้ทำน้ำร้อนได้ 20,000 ลิตรต่อวัน ทำงานร่วมกับถังเก็บน้ำร้อนขนาด 13,000 ลิตร จำนวน 2 ถัง)
<b>ผลประหยัดพลังงาน:</b>	น้ำมันเตา 70,273 ลิตร/ปี (2,795 GJ/ปี) ใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 37,405 kWh/ปี (135 GJ/ปี)
<b>ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:</b>	517,412 บาท/ปี
<b>ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:</b>	-
<b>ระยะเวลาคืนทุน:</b>	2.16 ปี
<b>กรณีศึกษา:</b>	<b>โรงแรม Mike</b>
<b>ประเภทอาคาร:</b>	โรงแรมขนาดห้องพัก 110 ห้อง
<b>การใช้เทคโนโลยี:</b>	ติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนแทนการใช้หม้อทำน้ำร้อนเดิมซึ่งใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง
<b>เงินลงทุน:</b>	557,000 บาท (ระบบปั๊มความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 11 kW ซึ่งมีอัตราการทำน้ำร้อนได้ 1,200 ลิตรต่อชั่วโมง พร้อมถังเก็บน้ำร้อนขนาด 3,000 ลิตร)
<b>ผลประหยัดพลังงาน:</b>	LPG 17,520 kg/ปี (880 GJ/ปี) ใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 54,073 kWh/ปี (195 GJ/ปี)
<b>ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:</b>	131,351 บาท/ปี
<b>ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:</b>	-
<b>ระยะเวลาคืนทุน:</b>	4.24 ปี

กรณีศึกษา:	จากรายงาน 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
<b>11. แหล่งข้อมูลอ้างอิง</b>	
<p>(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.</p> <p>(2) Industrial Heat Pump, A Means to Mitigate Global Industrial Emissions, Heat Pump Programme, IEA, OECD, 1995.</p> <p>(3) Industrial Heat Pumps for Steam and Fuel Savings, Industrial Technologies Program, U.S. Department of Energy, 2003.</p> <p>(4) กรณีศึกษา 017 การใช้ปั๊มความร้อน (Heat Pump), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547</p> <p>(5) รายงานโครงการส่งเสริมการใช้ Heat Pump ในสถานประกอบการโรงแรม, มูลนิธิสถาบันประสิทธิภาพพลังงาน (ประเทศไทย)</p> <p>(6) การใช้ปั๊มความร้อนในขบวนการทางอุตสาหกรรม, นายปรเมธ ประเสริฐยิ่ง วก.485</p> <p>(7) รายงานพลังงานของประเทศไทยปี 2549, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน</p>	

## สรุปเนื้อหาวิชา

<b>1. หน้าที่ของหม้อไอน้ำ</b>
มีหน้าที่ในการผลิตไอน้ำให้ได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการเพื่อจ่ายไปยังกระบวนการผลิตภายในโรงงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร
<b>2. ระบบไอน้ำประกอบด้วยระบบย่อยๆ ได้แก่</b>
(1) หม้อไอน้ำ (2) ระบบส่งจ่ายไอน้ำ (3) ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น (คอนเดนเสท) และ (4) อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ (ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง)
<b>3. หม้อไอน้ำที่ใช้งานอยู่สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ</b>
<p><b>3.1 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water-tube Boiler)</b> หม้อไอน้ำชนิดนี้น้ำจะถูกบรรจุและไหลอยู่ในท่อโดยเปลวไฟหรือก๊าซร้อนจะเคลื่อนที่อยู่ที่โดยรอบท่อ</p> <p><b>3.2 หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire-tube or Shell Boiler)</b> หม้อไอน้ำชนิดนี้ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ในท่อซึ่งจมอยู่ในน้ำ โดยที่น้ำจะอยู่นอกท่อ (ระหว่างเปลือกหม้อไอน้ำและท่อ) ของหม้อไอน้ำ</p> <p><b>3.3 หม้อไอน้ำชนิดไหลผ่าน (Once Through Boiler)</b> ในกรณีที่มีภาระไอน้ำน้อยไม่ต่อเนื่องและต้องการไอน้ำเร็วควรเลือกใช้หม้อไอน้ำชนิดไหลผ่าน (Steam Generator or Once through Boiler) ซึ่งเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ</p>
<b>4. หน้าที่และชนิดหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ</b>
หัวเผาเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้อากาศทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงได้ดีที่สุดเพื่อให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด โดยหัวเผาแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิงได้ดังนี้
<b>4.1 การเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ</b>
สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) แบบผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนป้อนเข้าเผาไหม้ (Pre-mix Burner)</li> <li>2) แบบผสมกันในหัวเผา (Nozzle-mix Burner)</li> </ol>
<b>4.2 การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว</b>
สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) แบบใช้ความดันน้ำมัน (Pressure Atomized)</li> <li>2) แบบใช้ไอน้ำหรืออากาศ (Steam or Air Atomized)</li> <li>3) แบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน (Rotary Cup)</li> </ol>
<b>5. จัดแบ่งหัวเผาตามลักษณะการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีที่สุดได้ดังนี้</b>
<b>5.1 หัวเผาแบบเผาต่อเนื่อง (Modulating Burners)</b> หัวเผาแบบนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา
<b>5.2 หัวเผาแบบไฟสูง-ต่ำ (High/Low-Fire Burners)</b> หัวเผาแบบนี้สามารถป้อนเชื้อเพลิงด้วยอัตราคงที่ 2 ระดับ คือ ไฟสูง (High Fire) และไฟต่ำ (Low Fire) ซึ่งหัวเผาลักษณะนี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก
<b>5.3 หัวเผาแบบไฟตัด-ต่อ (Constant-Fire or ON-OFF Burners)</b> หัวเผาแบบนี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำคงที่ เมื่อความดันไอน้ำเกินกว่าที่ตั้งไว้หัวเผาก็จะตัด (OFF) การป้อนเชื้อเพลิง และหากความดันต่ำกว่าที่ตั้งไว้หัวเผาก็จะต่อ (ON) การป้อนเชื้อเพลิง

<p><b>6. ค่าเทิร์นดาวน์เรโซ</b></p>
<p>ค่าเทิร์นดาวน์เรโซ เป็นค่าที่แสดงถึง อัตราส่วนระหว่างอัตราการเผาไหม้สูงสุด (Maximum Firing Rate) และอัตราการเผาไหม้ต่ำสุด (Minimum Firing Rate) โดยที่ประสิทธิภาพการเผาไหม้ยังดีเช่นเดิม ดังนั้น หัวเผาที่มีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ 10:1 จะสามารถลดการผลิตไอน้ำลงเหลือ 10% ของกำลังผลิตไอน้ำสูงสุด โดยที่หม้อไอน้ำไม่มีการตัดการเผาไหม้</p>
<p><b>7. การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง</b></p>
<p>เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงที่ติดไฟยากและมีปัญหาในการจัดการค่อนข้างมาก เช่น ปัญหาในการขนย้าย ปัญหาพื้นที่ในการเก็บ และปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เตาเผาที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งานกับเชื้อเพลิงในแต่ละประเภท ซึ่งระบบการเผาไหม้ของเตาเผาที่ใช้อยู่ทั่วไปมี 5 ระบบ ได้แก่</p>
<p><b>7.1 ระบบการป้อนเชื้อเพลิงด้วยคน (Manual Feed)</b></p>
<p>ต้องอาศัยคนงานที่มีความชำนาญในการกระจายเชื้อเพลิงให้ทั่วสม่ำเสมอบนตะแกรงเตาไฟ อากาศที่ใช้สำหรับเผาไหม้จะถูกส่งจากใต้เตาเหนือตะแกรงเตาไฟ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของระบบนี้ค่อนข้างต่ำ</p>
<p><b>7.2 ระบบสโตกเกอร์ (Stoker Feed)</b></p>
<p>เป็นระบบที่ป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาโดยอาศัยเครื่องกล ข้อดีของระบบนี้คือ มีราคาถูกและสามารถออกแบบให้ใช้ได้กับเชื้อเพลิงแข็งหลายชนิด โดยระบบนี้สามารถแบ่งตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงได้เป็น 2 ชนิด คือ</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>(ก) ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน (Overfeed Stoker)</li> <li>(ข) ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง (Underfeed Stoker)</li> </ul>
<p><b>7.3 ระบบพัลเวอร์ไรซ์ (Pulverised)</b></p>
<p>การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเตาระบบพัลเวอร์ไรซ์จะเกิดขึ้นขณะที่เชื้อเพลิงลอยอยู่ ดังนั้นเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาแบบนี้จะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะลอยอยู่ในอากาศภายในเตา อากาศส่วนแรกจะถูกอุ่นก่อนส่งเข้าเตา เพื่อใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงในขณะที่อากาศส่วนที่สองถูกส่งเข้าเตาโดยตรง</p>
<p><b>7.4 ระบบไซโคลน (Cyclone)</b></p>
<p>เตาเผาแบบนี้เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าเตาเผาโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงเช่นเดียวกับระบบพัลเวอร์ไรซ์ แต่ไม่จำเป็นต้องบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการบดเชื้อเพลิงลงได้ การเผาไหม้ในระบบไซโคลนจะใช้หัวเผาแบบ Horizontal water-cooled ขนาดเล็ก ทำให้เตาเผาแบบนี้มีขนาดเล็กกว่าเตาเผาแบบพัลเวอร์ไรซ์</p>
<p><b>7.5 ระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed)</b></p>
<p>อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิง และเมื่อเพิ่มค่าความเร็วของอากาศถึงค่าหนึ่งเชื้อเพลิงจะลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายของไหล การเผาไหม้จะเกิดขึ้นทั่ว ๆ บริเวณเตา โดยปกติจะใส่สารเฉื่อย (Inert Material) เช่น ทราย หรือ สารที่ทำปฏิกิริยา (Reaction Material) เช่น หินปูน (Limestone) หรือตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะช่วยในด้านการถ่ายเทความร้อนและช่วยทำความสะอาดภายในเตาระบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้</p>

<b>8. การเผาไหม้ คือ</b>				
กระบวนการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนทำให้ได้ความร้อนออกมา องค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมี โดยองค์ประกอบทั้งหมดนี้ต้องเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจึงจะทำให้เกิดการเผาไหม้				
<b>9. ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด</b>				
เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน โดย เชื้อเพลิงแข็งมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ 75-85% เชื้อเพลิงเหลว 80-85% และเชื้อเพลิงก๊าซ 80-90 % ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงเหลวต่ำกว่าเชื้อเพลิงก๊าซ				
<b>10. อากาศส่วนเกิน (Excess Air)</b>				
การเผาไหม้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดต้องการปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มากกว่าทางทฤษฎีไม่เท่ากันเพื่อให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุด				
	<b>เชื้อเพลิง</b>	<b>อากาศส่วนเกิน (%)</b>	<b>O<sub>2</sub> ในก๊าซไอเสีย (%)</b>	<b>CO<sub>2</sub> ในก๊าซไอเสีย (%)</b>
	ก๊าซ	5-15	1-2	9-10
	เหลว	15-20	3-4	12-14
	แข็ง	15-60	7-10	12-13
<b>11. การระบายน้ำจากหม้อไอน้ำ (โบลว์ดาวน์)</b>				
เมื่อน้ำถูกผลิตเป็นไอน้ำแล้ว ความเข้มข้นของสารเจือปนเหล่านี้จะสูงขึ้นและเกิดการตกตะกอน/ตกผลึก ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อการลดลงของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและคุณภาพของไอน้ำ รวมถึงความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จึงต้องปล่อยน้ำทิ้งบางส่วนเพื่อควบคุมความเข้มข้นของน้ำในหม้อไอน้ำการโบลว์ดาวน์มากเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลงและสิ้นเปลืองน้ำ และหากระบายน้อยเกินไปจะทำให้เกิดตะกรันเกาะผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงและอาจเกิดการเคี้ยวอย่างรุนแรงของน้ำ ทำให้ไอน้ำเป็ยกและอาจนำมาซึ่งความเสียหายของระบบท่อน้ำ				
<b>11.1 การระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ</b>				
1) การระบายน้ำจากด้านล่างหม้อไอน้ำ (Bottom Blowdown) เพื่อระบายตะกอนโคลนที่สะสมบริเวณก้นหม้อไอน้ำทิ้ง				
2) การระบายน้ำจากด้านบนหม้อไอน้ำ (Surface Blowdown) เพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายและสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ				
<b>11.2 การควบคุมการระบายน้ำแบ่งได้ 2 แบบ</b>				
1) แบบเป็นครั้งคราว โดยผู้ใช้หม้อไอน้ำจะเปิดวาล์วระบายหลายๆ ครั้ง ครั้งละสั้นๆ				
2) แบบต่อเนื่อง โดยวาล์วระบายน้ำของหม้อไอน้ำจะเปิดหรือปิดเมื่อได้รับสัญญาณเวลาที่ตั้งไว้ (Timer Control) หรือสัญญาณที่ได้จากการวัดสมบัติของน้ำในหม้อไอน้ำ เช่น สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity)				

การพิจารณาว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายเหมาะสมหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากค่า TDS (Total Dissolved Solid) ซึ่งวัดปริมาณสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำของหม้อไอน้ำโดยตรงว่าใน 1 ลิ้นมีส่วนมีสารแขวนลอยกี่ส่วน (ppm) หรือวัดโดยอ้อมจากค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity) ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ผู้ใช้หม้อไอน้ำควรควบคุมคุณภาพน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำให้ได้มาตรฐานตามตาราง

(ความดันไม่เกิน 20 barg : British Standard and JIS)

รายการ	น้ำป้อน	น้ำในหม้อไอน้ำ
ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	<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. กักน้ำ (Steam Trap) คือ

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

## 13. ประเภทของกักน้ำ

กักน้ำสามารถแบ่งตามหลักการทำงานหรือตาม โครงสร้างทางกลไกของอุปกรณ์ภายในออกเป็น 4 กลุ่ม

### 13.1 กักน้ำทำงานโดยความร้อน (Thermostatic Trap)

กักน้ำกลุ่มนี้ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิของไอน้ำและของคอนเดนเสทเป็นตัวทำให้วาล์วเปิดและปิด คอนเดนเสทจะต้องเย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิไอน้ำก่อนที่จะถูกปล่อยออกจากกักน้ำ ซึ่งกักน้ำกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น

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

### 13.2 กักน้ำทำงานโดยกลไก (Mechanical Group)

กักน้ำกลุ่มนี้ทำงาน โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างไอน้ำและคอนเดนเสททำให้ลูกลอย (Float) หรือถ้วย (Bucket) ส่งอาการไปเปิด-ปิดวาล์ว ซึ่งกักน้ำในกลุ่มนี้ แบ่งออกเป็น

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

**13.3 ก๊ับดักไอน้ำกลุ่มที่ทำงานด้วยการเคลื่อนไหวเนื่องจากความร้อน (Thermodynamic Groups)**

ก๊ับดักไอน้ำกลุ่มนี้ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของความเร็วระหว่างไอน้ำและคอนเดนเสทที่ไหลผ่านตัววาล์วที่เป็นจานกลม ซึ่งจะปิดเมื่อมีไอน้ำไหลเข้ามาด้วยความเร็วสูง และจะเปิดเมื่อมีคอนเดนเสทไหลเข้ามาด้วยความเร็วที่ต่ำกว่า ซึ่งก๊ับดักไอน้ำในกลุ่มนี้เรียกว่า ก๊ับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์

**13.4 ก๊ับดักไอน้ำชนิดอื่นๆ (Miscellaneous Group)**

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

**14. การเลือกใช้ก๊ับดักไอน้ำ****14.1 ข้อพิจารณาในการเลือกก๊ับดักไอน้ำให้เหมาะสม**

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

**14.2 หลักเกณฑ์ง่าย ๆ ในการเลือกใช้ก๊ับดักไอน้ำ**

- 1) ใช้ก๊ับดักไอน้ำแบบจานกับท่อไอน้ำหลัก ท่อย่อย ถังรองรับ และเสดเดอร์ หรือบริเวณที่อาจจะเกิดการกระแทกของน้ำ (Water Hammer)
- 2) ใช้ก๊ับดักไอน้ำแบบลูกลอยอิสระ ถ้วยกลมอิสระ ถ้วยกลมติดคานและแบบถ้วยคว่ำกับเครื่องให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เครื่องระเหย เครื่องกลั่น เครื่องอบแห้ง
- 3) ในกรณีที่ปริมาณการใช้ไอน้ำสูงควรใช้ก๊ับดักไอน้ำแบบถ้วยกลมอิสระและแบบถ้วยคว่ำติดคานหากเป็นกรณีที่ปริมาณน้อยควรใช้แบบลูกลอยอิสระ ลูกลอยติดคานและแบบถ้วยคว่ำอิสระ
- 4) ถ้าการใช้ไอน้ำอาจจะเกิดการกระแทกของน้ำ ไม่ควรใช้ก๊ับดักไอน้ำแบบถ้วยคว่ำติดคานแบบลูกลอยติดคานและแบบลูกลอยอิสระ เพราะการกระแทกของน้ำจะทำให้คานและลูกลอยเสียรูปทรงได้ ซึ่งจะทำให้วาล์วปิดไม่สนิท
- 5) โดยทั่วไปแล้ว ก๊ับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ไม่เหมาะกับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ โดยเฉพาะถ้ามีการนำคอนเดนเสทกลับ ก๊ับดักไอน้ำนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียของไอน้ำอย่างมาก

**15. การประเมินหรือการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำต้องมีข้อมูลต่อไปนี้**

ข้อมูล	ค่าตรวจวัด	การวิเคราะห์
เชื้อเพลิง	- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง - อัตราการใช้เชื้อเพลิง - อุณหภูมิเชื้อเพลิง	- อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ
ไอน้ำ	- ความดันและอุณหภูมิไอน้ำ - อัตราการผลิตไอน้ำ	- อัตราการผลิตพลังงานความร้อน (ไอน้ำ) ของหม้อไอน้ำ

น้ำป้อนและน้ำโบล์ควาน์	- อัตราการไหลของน้ำป้อนและโบล์ควาน์ - อุณหภูมิของน้ำป้อนและโบล์ควาน์ - ค่า TDS (Total Dissolved Solid)	- การสูญเสียพลังงานจากการโบล์ควาน์
ก๊าซไอเสีย	- เปอร์เซ็นต์ของ O <sub>2</sub> - เปอร์เซ็นต์ของ CO <sub>2</sub> - 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	$\eta_B$	=	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 ( $L_2$ )
- การสูญเสียพลังงานจากโบล์ควาน์ ( $L_3$ )
- 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	
<b>ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย</b>	
1) ปริมาณอากาศที่ใช้เผาไหม้ไม่เหมาะสม ถ้าปริมาณอากาศมากเกินไป อากาศส่วนที่ไม่ได้ช่วยในการเผาไหม้ จะพาความร้อนจากห้องเผาไหม้ ทิ้งทางปล่องไอเสียมากขึ้น โดยสังเกตได้จากอุณหภูมิไอเสียที่สูงขึ้น ดังนั้น ควรทำการปรับอัตราส่วนอากาศ (Air Ratio) ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	
2) เเขม่า (Soot) เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงแข็งจะเกิดเขม่ามากกว่าเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ โดยเขม่าจะมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าควัน (Smoke) ดังนั้นจึงเกาะและสะสมอยู่บนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเขม่ามากขึ้น อุณหภูมิไอเสียที่ออกปล่องจะสูงขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียความร้อนออกทางปล่องมากขึ้น โดยทั่วไปเขม่าที่หนาขึ้น 1 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 15-20%	
2) ตะกรัน (Scale) เกิดจากการรวมตัวของสารละลายที่อยู่ในน้ำเกิดเป็นของแข็งเกาะบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดต่ำลง ซึ่งจะทำให้การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียมากขึ้น โดยสังเกตจากอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ซึ่งตะกรันที่หนาขึ้นทุกๆ 1 mm. จะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 2%	
ในทางปฏิบัติ หลังจากใช้งานไประยะหนึ่งจะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิไอเสียสูงกว่าเดิม 20°C ควรทำความสะอาดโดยการขูดเขม่า เพื่อลดการสูญเสียความร้อนดังกล่าว	
19. มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ	
ระบบไอน้ำ	มาตรการอนุรักษ์พลังงาน
หม้อไอน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศป้อนต่อเชื้อเพลิง</li> <li>- การควบคุมน้ำระเหย</li> <li>- การปรับสภาพน้ำป้อน</li> <li>- การลดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย</li> <li>- เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงหรือเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง</li> <li>- มาตรการบำรุงรักษา</li> </ul>
ระบบส่งจ่ายไอน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การติดตั้งฉนวนกันความร้อน</li> <li>- การตรวจสอบกับดักไอน้ำ</li> <li>- การตรวจสอบระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ</li> <li>- การใช้วาล์วอย่างถูกต้อง</li> </ul>
ระบบนำกลับคอนเดนเสท	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การใช้คอนเดนเสท</li> <li>- การผลิตไอน้ำแฟลช</li> </ul>

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

ความดันเกจ bar	ความดัน สมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอนทัลปีจำเพาะ			ปริมาตร จำเพาะ ของไอน้ำ (V <sub>g</sub> ) m <sup>3</sup> /kg
			น้ำ (h <sub>f</sub> ) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h <sub>fg</sub> ) kJ/kg	ไอน้ำ (h <sub>g</sub> ) 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



ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

ความดันเกจ bar	ความดัน สัมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอนทัลปีจำเพาะ			ปริมาตร จำเพาะ ของไอน้ำ (V <sub>g</sub> ) m <sup>3</sup> /kg
			น้ำ (h <sub>f</sub> ) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h <sub>fg</sub> ) kJ/kg	ไอน้ำ (h <sub>g</sub> ) 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 <sub>g</sub> ) m <sup>3</sup> /kg
			น้ำ (h <sub>f</sub> ) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h <sub>fg</sub> ) kJ/kg	ไอน้ำ (h <sub>g</sub> ) 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



ตอนที่ 3 บทที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไอน้ำ

ความดันเกจ bar	ความดัน สมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอนทัลปีจำเพาะ			ปริมาตร จำเพาะ ของไอน้ำ (V <sub>g</sub> ) m <sup>3</sup> /kg
			น้ำ (h <sub>f</sub> ) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h <sub>fg</sub> ) kJ/kg	ไอน้ำ (h <sub>g</sub> ) 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 <sub>g</sub> ) m <sup>3</sup> /kg
			น้ำ (h <sub>f</sub> ) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h <sub>fg</sub> ) kJ/kg	ไอน้ำ (h <sub>g</sub> ) 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