บทที่ 2
ระบบไอน้ำอุตสาหกรรม
(Industrial Steam System)

ความสำคัญ

ระบบไอน้ำเป็นระบบผลิตพลังงานความร้อน (ในรูปของไอน้ำ) ที่มีใช้งานอยู่ทั่วไปทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและในอาคารกลุ่มโรงแรม โรงพยาบาล ระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้เชื้อเพลิงในปริมาณสูง และอาจก่อมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การจัดการและการบำรุงรักษาเพื่อให้ระบบไอน้ำสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ตลอดเวลาจะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน มลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีให้แก่เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการหม้อไอน้ำได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของบทที่ 2 ระบบไอน้ำอุตสาหกรรม คือ ต้องการให้ผู้เข้ารับการอบรมมีความรู้เบื้องต้นและทราบแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ โดยวัตถุประสงค์ย่อยของบทนี้มีดังต่อไปนี้

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

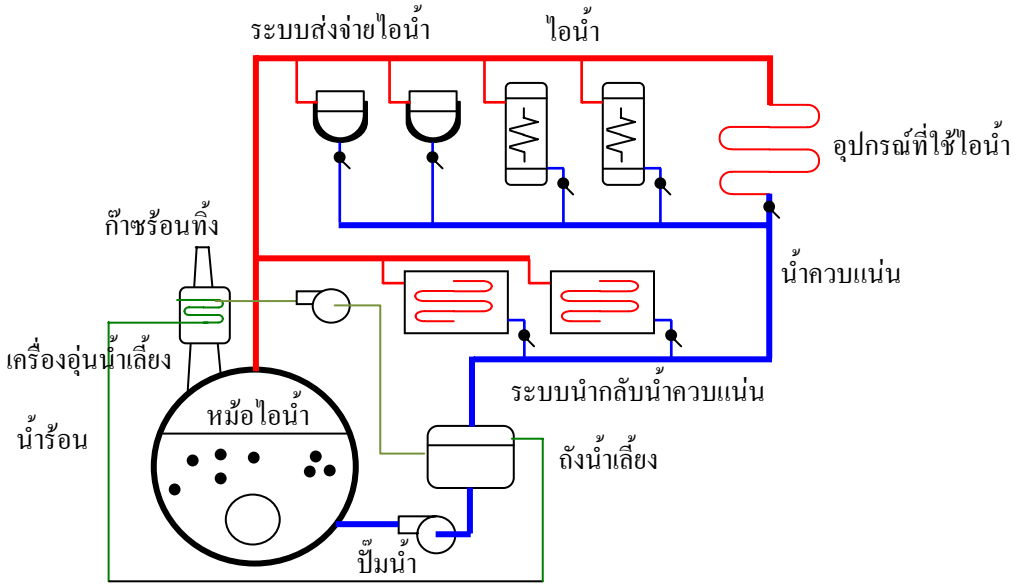
2.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เริ่มจากการบรรยายอุปกรณ์หลักๆ และการทำงานของระบบไอน้ำ การตรวจวิเคราะห์และการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ เนื้อหายังครอบคลุมถึงมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ ของระบบไอน้ำ อาทิเช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ การหุ้มฉนวนกันความร้อน การใช้กับดักไอน้ำ การนำน้ำควบแน่นและความร้อนทิ้งจากก๊าซไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์ ฯลฯ

ในบทนี้ได้แสดงให้เห็นวิธีการหนึ่งในการคำนวณการใช้พลังงานและประเมินประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ผู้เข้าอบรมที่มีความสนใจเป็นพิเศษในเรื่องนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากตำราด้านหม้อไอน้ำที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก

2.2 ระบบไอน้ำอุตสาหกรรม

ระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้พลังงานพื้นฐานที่มีการใช้งานและสามารถพบเห็นได้ในหลายอุตสาหกรรม (โรงงานและอาคาร) รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ จากรูป ระบบไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์และระบบย่อยต่างๆ ได้แก่ (1) หม้อไอน้ำ (2) ระบบส่งจ่ายไอน้ำ (3) ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น (คอนเดนเสท) และ (4) อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ (ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง)



รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ

จากรูปที่ 2.1 น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกผ่านเข้าไปยังหม้อไอน้ำเพื่อรับความร้อนจากก๊าซเผาไหม้และกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะถูกส่งไปยังผู้ใช้ในโรงงานซึ่งได้แก่อุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต ผ่านระบบส่งจ่ายไอน้ำ ไอน้ำหรือน้ำร้อนควบแน่นที่เหลือจากกระบวนการผลิตจะถูกนำกลับมายังหม้อไอน้ำอีกครั้งเพื่อรวมกับน้ำเติม ก่อนที่จะส่งไปยังหม้อไอน้ำและผลิตเป็นไอน้ำต่อไป

ก๊าซร้อนจากกระบวนการเผาไหม้ เมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำแล้ว จะถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ความร้อนที่ปล่อยออกไปพร้อมกับก๊าซไอเสียนี้เป็นการสูญเสียพลังงานมากที่สุดของหม้อไอน้ำ ในรูปที่ 2.1 แสดง

การติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทหนึ่ง ความร้อนจากก๊าซไอเสียจะถูกถ่ายเทให้แก่น้ำป้อนเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนจ่ายเข้าหม้อไอน้ำ วิธีการดังกล่าวเป็นหนึ่งในหลายมาตรการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำอุตสาหกรรม ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทนี้

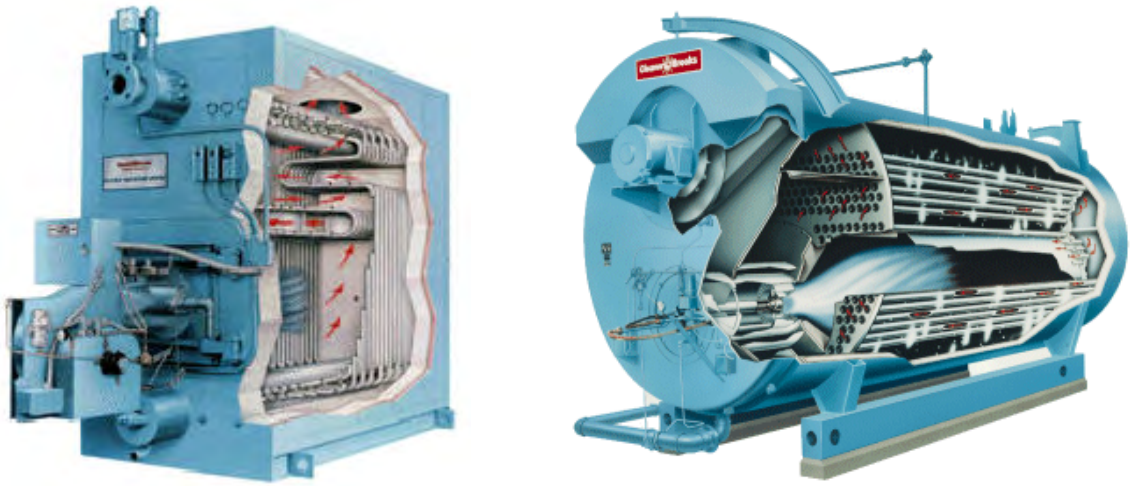
2.3 หม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์สำคัญหลักในระบบไอน้ำ ซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตไอน้ำเพื่อจ่ายไปยังกระบวนการผลิตภายในโรงงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร

2.3.1 ประเภทของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดและหลายลักษณะ อย่างไรก็ตามอาจจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- **หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water-tube Boiler)** หม้อไอน้ำชนิดนี้น้ำจะถูกบรรจุและไหลอยู่ในท่อโดยเปลวไฟหรือก๊าซร้อนจะเคลื่อนที่อยู่โดยรอบท่อ
- **หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire-tube or Shell Boiler)** หม้อไอน้ำชนิดนี้ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ในท่อซึ่งจมอยู่ในน้ำ โดยที่น้ำจะอยู่นอกท่อ (ระหว่างเปลือกหม้อไอน้ำและท่อ) ของหม้อไอน้ำ



(ก) หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (ข) หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ

รูปที่ 2.2 ประเภทของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟสามารถผลิตไอน้ำให้ได้ความดันตามต้องการช้ากว่าหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ ในกรณีที่ภาระของไอน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เราควรใช้หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ เพราะจะสามารถผลิตไอน้ำได้ทันต่อความต้องการได้อย่างรวดเร็วกว่าหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

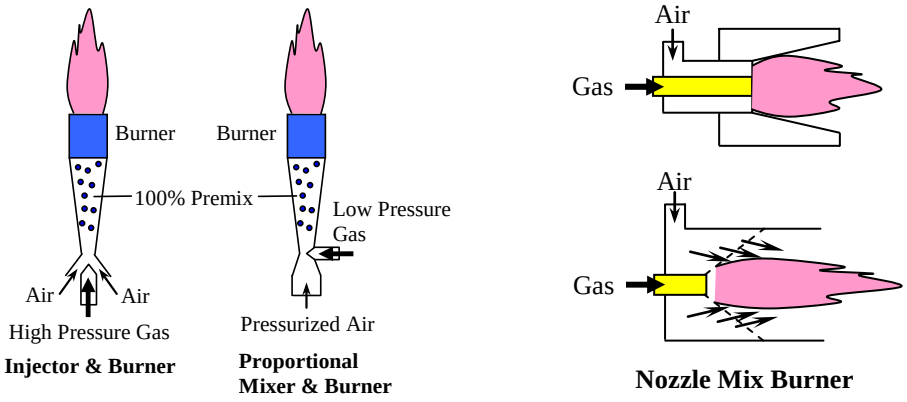
สำหรับหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ จำนวนกลับของท่อไฟยิ่งมากประสิทธิภาพหม้อไอน้ำก็ยิ่งสูงขึ้น เนื่องจากก๊าซร้อนใช้เวลาไหลอยู่ในหม้อไอน้ำนานกว่า สำหรับหม้อไอน้ำขนาดเล็กมักจะมีจำนวนกลับเพียง 2 กลับ ขณะที่ส่วนหม้อไอน้ำขนาดใหญ่จะมี 3 หรือ 4 กลับ

2.3.2 หัวเผาหม้อไอน้ำ

หัวเผาเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ป้อนเชื้อเพลิง (ก๊าซหรือน้ำมัน) และอากาศเข้าเผาไหม้ในอัตราที่เหมาะสม สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

ก) แบบผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนป้อนเข้าเผาไหม้ (Pre-mix Burner)

ข) แบบผสมกันภายในหัวเผา (Nozzle-mix Burner)



(ก) Pre-mix Burner (ข) Nozzle-mix Burner

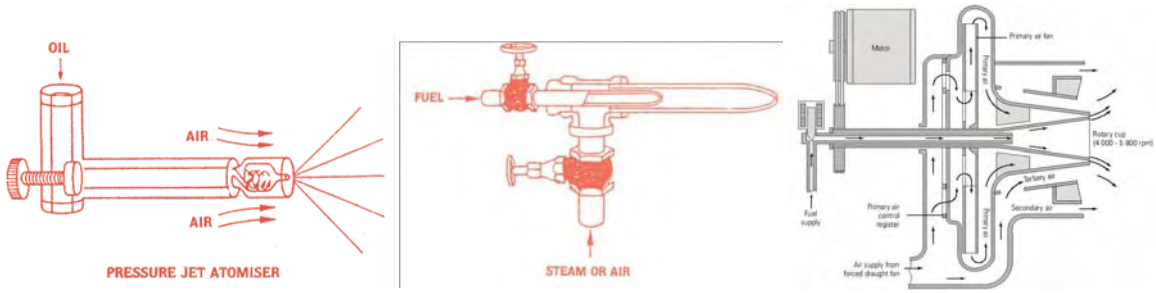
รูปที่ 2.3 ประเภทของหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ

สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงน้ำมันสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

ก) แบบใช้ความดันน้ำมัน (Pressure Atomized)

ข) แบบใช้ไอน้ำหรืออากาศ (Steam or Air Atomized)

ค) แบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน (Rotary Cup)



(ก) Pressure Atomized (ข) Steam or Air Atomized (ค) Rotary Cup

รูปที่ 2.4 ประเภทของหัวเผาเชื้อเพลิงเหลว

นอกจากหัวเผาจะมีอยู่ด้วยกันหลายประเภทแล้ว เรายังต้องเลือกใช้หัวเผาให้เหมาะกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนที่เหมาะสม เราสามารถจัดแบ่งหัวเผาตามลักษณะการใช้งานเพื่อเกิดประสิทธิภาพดีที่สุดได้ดังนี้

ก) **หัวเผาแบบเผาต่อเนื่อง (Modulating Burners)** หัวเผาประเภทนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ปริมาณเชื้อเพลิงที่หัวเผาป้อนเพื่อผลิตไอน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการใช้ไอน้ำ เพื่อรักษาความดันไอน้ำตามที่กำหนดไว้ กล่าวคือ เมื่อค่าความดันไอน้ำในหม้อไอน้ำสูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ หัวเผาก็จะลดปริมาณเชื้อเพลิงลง และเมื่อความดันไอน้ำต่ำกว่าที่กำหนดไว้ หัวเผาก็จะเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงมากขึ้น

ข) **หัวเผาแบบไฟสูง-ต่ำ (High/Low-Fire Burners)** หัวเผานี้สามารถป้อนเชื้อเพลิงด้วยอัตราคงที่ 2 ระดับ คือ ไฟสูง (High Fire) และไฟต่ำ (Low Fire) ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับสภาพการใช้ไอน้ำและช่วงของการควบคุมความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ทั้ง 2 ระดับ หัวเผาลักษณะนี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

ค) **หัวเผาแบบไฟตัด-ต่อ (Constant-Fire or ON-OFF Burners)** หัวเผานี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำคงที่ เชื้อเพลิงที่ถูกป้อนเข้าหัวเผาอัตราเดียวขึ้นกับความดันไอน้ำในหม้อไอน้ำที่ตั้งไว้ คือ เมื่อความดันไอน้ำเกินกว่าที่ตั้งไว้หัวเผาก็จะตัด (OFF) การป้อนเชื้อเพลิง และหากความดันต่ำกว่าที่ตั้งไว้หัวเผาก็จะต่อ (ON) การป้อนเชื้อเพลิง

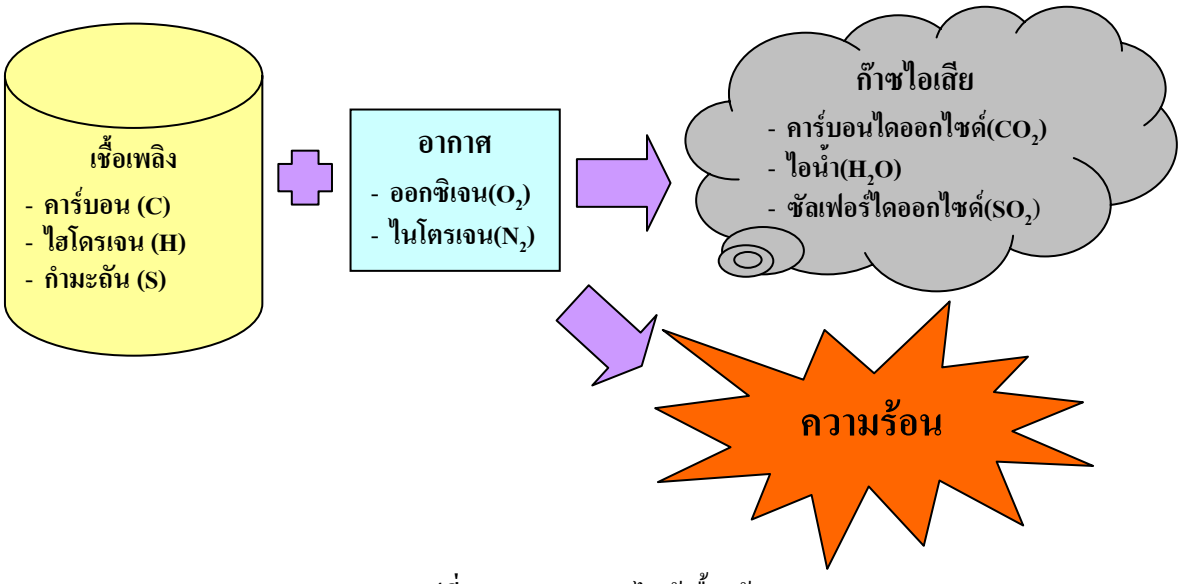
การเลือกใช้หัวเผากับหม้อไอน้ำจำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับภาระของไอน้ำ หากภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงมาก ควรเลือกหัวเผาที่มีค่าเทิร์นดาวน์เรโช (Turn Down Ratio) สูง ซึ่งจะช่วยให้การผลิตไอน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น หัวเผาแบบ High-fire/Low-fire มีค่าเทิร์นดาวน์เรโช 3:1 ขณะที่หัวเผาแบบเผาต่อเนื่องซึ่งมีราคาและประสิทธิภาพสูงจะมีค่าเทิร์นดาวน์เรโช 10:1

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

2.3.3 การเผาไหม้เบื้องต้น

การเผาไหม้ คือ กระบวนการปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนซึ่งจะให้ความร้อนออกมา องค์ประกอบซึ่งจำเป็นสำหรับการเผาไหม้ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมี องค์ประกอบทั้งหมดนี้ต้องเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ โดยทั่วไปแล้ว ออกซิเจนได้มาจากอากาศที่อยู่ในบริเวณของการเผาไหม้ รูปที่ 2.5 แสดงหลักการเบื้องต้นของกระบวนการเผาไหม้

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



รูปที่ 2.5 หลักการเผาไหม้เบื้องต้น

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

ก) ปฏิกิริยาเคมีการเผาไหม้ทฤษฎี

สมการพื้นฐานซึ่งอธิบายปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและปล่อยพลังงานความร้อน สามารถแสดงได้ดังนี้

$$C + O_2 = CO_2 + 393{,}520 \ kJ/kmol$$

(ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของคาร์บอน)

$$C + \tfrac{1}{2}O_2 = CO + 110{,}530 \ kJ/kmol$$

(ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของคาร์บอน)

$$CO + \tfrac{1}{2}O_2 = CO_2 + 282{,}990 \ kJ/kmol$$

(ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของคาร์บอนมอนนอกไซด์)

$$H_2 + \tfrac{1}{2}O_2 = H_2O(g) + 241{,}820 \ kJ/kmol$$

$$H_2 + \tfrac{1}{2}O_2 = H_2O(l) + 285{,}830 \ kJ/kmol$$

(การเกิดไอน้ำหรือน้ำจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของไฮโดรเจน)

$$S + O_2 = SO_2 + 334{,}960 \ kJ/kmol$$

ข) อากาศตามทฤษฎี (Theoretical air)

สำหรับอากาศ เราประมาณได้ว่ามีส่วนประกอบของ O_2 เป็นส่วนผสม 23.2% โดยมวล ในกรณีที่การเผาไหม้ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จากสมการจะได้เห็นว่าน้ำมันดีเซล 1 kg ต้องใช้ปริมาณ O_2 ในการเผาไหม้ 3.334 kg ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณอากาศ 3.334/0.232=14.37 kg ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎีเท่ากับ 14.37 ต่อ 1

$C + O_2 = CO_2$ $H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O$ $S + O_2 = SO_2$

$12kg + 32kg = 44kg$ $2kg + 16kg = 18kg$ $32kg + 32kg = 64kg$

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

การหาปริมาณอากาศเชิงทฤษฎีในการเผาไหม้

$H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O$

$2kg + 16kg = 18kg$

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

$0.128kg + 1.024kg = 1.152kg$

$C + O_2 = CO_2$

$12kg + 32kg = 44kg$

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

$0.863kg + 2.301kg = 3.164kg$

$S + O_2 = SO_2$

$32kg + 32kg = 64kg$

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

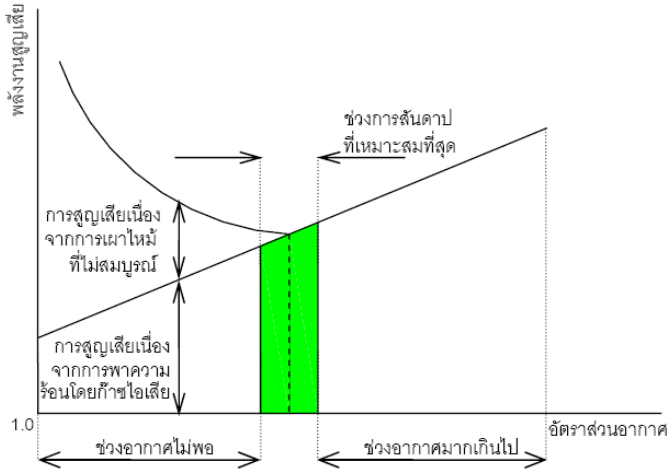
$0.009kg + 0.009kg = 0.018kg$

ค) อากาศส่วนเกิน (Excess Air)

ในการเผาไหม้จริงๆ หากป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ในปริมาณที่พอดีกับค่าทางทฤษฎีแล้ว เป็นการยากที่จะทำให้ออกซิเจนทุกตัวพบกับธาตุต่างๆ ในเชื้อเพลิงได้หมดและทั่วถึงกัน จึงเป็นผลให้เกิดการเผาไหม้ในลักษณะอากาศไม่เพียงพอ

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

ปริมาณอากาศเข้าเผาไหม้ที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงแต่ละประเภทสังเกตได้จากปริมาณ O_2 หรือ CO_2 ในไอเสีย โดยค่าที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1 สำหรับเชื้อเพลิงทุกประเภทปริมาณ CO ในก๊าซไอเสียไม่ควรสูงกว่า 200 ส่วนในล้านส่วน (ppm)



รูปที่ 2.6 ปริมาณอากาศป้อนและการสูญเสียพลังงาน

ตารางที่ 2.1 ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสม

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

2.3.4 การระบายน้ำจากหม้อไอน้ำ (โบลว์ดาวน์)

นอกจากการควบคุมการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ คุณภาพของน้ำในหม้อไอน้ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ปกติแล้ว น้ำจะมีของแข็งแขวนลอยและแร่ธาตุต่างๆ เจือปนอยู่ เมื่อน้ำถูกผลิตเป็นไอน้ำแล้ว ความเข้มข้นของสารเจือปนเหล่านี้จะสูงขึ้นและเกิดการตกตะกอน/ตกผลึก ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อการลดลงของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ รวมถึงความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และเพื่อป้องกันปัญหาเหล่านี้ เราจำเป็นต้องระบายน้ำร้อนในหม้อไอน้ำทิ้งผ่านระบบโบลว์ดาวน์

ระบบโบลว์ดาวน์ที่ทำงานไม่เหมาะสม เช่น ระบายน้ำโบลว์ดาวน์มากเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อไอน้ำลดลง และหากระบายน้อยเกินไปจะทำให้เกิดตะกรันในท่อน้ำของหม้อไอน้ำและอาจนำมาซึ่งความเสียหายของระบบท่อน้ำและประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ลดลง

การระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

ก) **การระบายน้ำจากด้านล่างหม้อไอน้ำ (Bottom Blowdown)** เพื่อระบายตะกอนโคลนที่สะสมบริเวณก้นหม้อไอน้ำทิ้ง

ข) **การระบายน้ำจากด้านบนหม้อไอน้ำ (Surface Blowdown)** เพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายและสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ

และสำหรับการควบคุมการระบายน้ำแบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

ก) **แบบเป็นครั้งคราว** โดยผู้ใช้หม้อไอน้ำจะเปิดวาล์วระบายหลายๆ ครั้ง ครั้งละสั้นๆ

ข) **แบบต่อเนื่อง** ซึ่งวาล์วระบายน้ำของหม้อไอน้ำจะเปิดหรือปิดเมื่อได้รับสัญญาณเวลาที่ตั้งไว้ (Timer Control) หรือสัญญาณที่ได้จากการวัดสมบัติของน้ำในหม้อไอน้ำ เช่น สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity)

การพิจารณาว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายเหมาะสมหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากค่า TDS (Total Dissolved Solid) ซึ่งวัดปริมาณสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำของหม้อไอน้ำโดยตรงว่าใน 1 ล้านส่วนมีสารแขวนลอยกี่ส่วน (ppm) หรือวัดโดยอ้อมจากค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity) ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (μS/cm) ผู้ใช้หม้อไอน้ำควรควบคุมคุณภาพน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำให้ได้มาตรฐานในตารางที่ 2.2 เพื่อความปลอดภัยและคุณภาพของไอน้ำที่ดี

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำป้อนและน้ำหม้อไอน้ำ (แบบท่อน้ำ ความดันไม่เกิน 20 barg)

รายการ	น้ำป้อน	น้ำในหม้อไอน้ำ
ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (μS/cm)	<400	<3,500
ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	8.5-9.5	10.5-12.0
ฟอสเฟต (mg/kg)	-	30-60
ซิลิกา (mg/kg)	-	>150
ความกระด้าง (ไม่มีหน่วย)	>2	-

2.3.5 ข้อควรปฏิบัติในการใช้หม้อไอน้ำ

1. ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบเราควรเลือกขนาดของหม้อไอน้ำ (กำลังการผลิตไอน้ำต่อชั่วโมง) ที่พอเหมาะกับภาระไอน้ำ และควรเดินใช้งานที่ภาระเต็มที่ตลอดเวลาเท่าที่จะเป็นไปได้ หม้อไอน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงสุด ต้องใช้งานที่ภาระเต็มที่หรือใกล้เต็มที่ หม้อไอน้ำที่เดินภาระต่ำๆ ตลอดเวลา เรียกว่า “หม้อไอน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป” (Oversized) ควรเปลี่ยนไปใช้หม้อไอน้ำที่มีขนาดเล็กลง (ถ้าสามารถทำได้)

2. หลีกเลี่ยงการสตาร์ทบ่อยๆ เนื่องจากจะทำให้เกิดการ

- สูญเสียพลังงานไปในการที่ต้องทำให้หม้อไอน้ำร้อนขึ้นมาใหม่
- สูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการเดินพัดลมเป่าไล่อากาศและก๊าซต่างๆ ออกไปจากห้องเผาไหม้ก่อนการจุดสตาร์ททุกครั้ง
- สูญเสียความร้อนออกไปจากหม้อไอน้ำ ในขณะที่พัดลมเป่าไล่ลมร้อนออกไปจากหม้อไอน้ำ (Purging)

3. ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงควรใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งแสดงให้ทราบได้โดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง (หรือปริมาณออกซิเจนต่ำ) ควันดำ คือ คาร์บอนที่มีขนาดเล็กมากเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อันเนื่องมาจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินต่ำมากเกินไป หรือการปรับแต่งการเผาไหม้ไม่ดี หรือ หัวเผาทำงานผิดปกติ

4. อุณหภูมิของก๊าซร้อนทิ้งออกปล่องควรต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่ต้องสูงกว่าจุดกลั่นตัวของน้ำและกรดเล็กน้อย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการผุกร่อน หม้อไอน้ำทั่วๆ ไป ขณะเดินที่ไฟต่ำ (Low Fire) จะมีอุณหภูมิปล่องต่ำกว่าขณะเดินที่ไฟสูง (High Fire) หรือเดินที่ไฟปานกลาง (Medium Fire)

5. เราควรทำความสะอาดท่อในหม้อไอน้ำเป็นระยะๆ เพื่อลดการขัดข้องอันเนื่องมาจากตะกรัน (หม้อไอน้ำท่อน้ำ) และเขม่า (หม้อไอน้ำท่อไฟ) ซึ่งจะลดความสามารถผลิตไอน้ำให้ได้สูงสุดตามพิกัดของหม้อไอน้ำ การทำความสะอาดสามารถเพิ่มความสามารถของหม้อไอน้ำให้กลับคืนดังเดิมได้

6. เราควรมีการตรวจวัดปริมาณการผลิตไอน้ำ (หรือปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ) เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไปในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อติดตามดูว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจะลดลงหรือไม่ วิธีที่นิยมใช้กันกับหม้อไอน้ำน้ำมันเตา คือ

- ติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณ และเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ
- ติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

2.4 กับดักไอน้ำ

กับดักไอน้ำ (Steam Trap) คือ วาล์วอัตโนมัติที่ทำหน้าที่แยกน้ำที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำหรือเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำออกไปจากระบบ เพื่อป้องกันการอั้นตัวของน้ำ (Water Locked) อันอาจนำไปสู่การเกิดแรงกระแทกอย่างรุนแรง หรือปรากฏการณ์ “ค้อนน้ำ” (Water Hammer) ซึ่งมีผลให้ท่อ ข้อต่อ และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำต่างๆ ในกระบวนการผลิตเกิดความเสียหาย กับดักไอน้ำยังมีหน้าที่ในการระบายก๊าซและอากาศออกจากระบบโดยไม่เกิดการสูญเสียไอน้ำ ก๊าซและอากาศเหล่านั้นสามารถแทนที่ไอน้ำ ซึ่งทำให้ความสามารถในการพาความร้อนลดลงและยังกั้นไม่ให้ไอน้ำไปถึงพื้นผิวถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตด้วย และในกรณีที่เลวร้ายที่สุดก็คือ ท่อหรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์เกิดอากาศอัด (Air Locked) ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไม่ได้ ซึ่งแม้แต่ไอน้ำควบแน่นก็ไม่สามารถออกไปได้

เราจะเห็นได้ชัดว่า กับดักไอน้ำที่มีประสิทธิภาพเป็นส่วนสำคัญที่สร้างความเชื่อมั่นว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไอน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม กับดักไอน้ำที่เสื่อมสภาพลงจากการใช้งานก็สามารถสร้างปัญหาให้กับระบบไอน้ำได้อย่างมากเช่นกัน

2.4.1 ประเภทของกับดักไอน้ำ

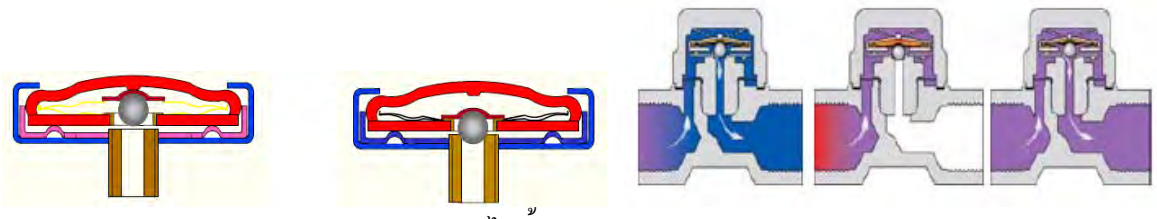
กับดักไอน้ำสามารถแบ่งตามหลักการทำงานหรือตามโครงสร้างทางกลไกของอุปกรณ์ภายในออกเป็น 4 กลุ่ม ได้ดังนี้

ก) กับดักไอน้ำทำงานโดยความร้อน (Thermostatic Trap)

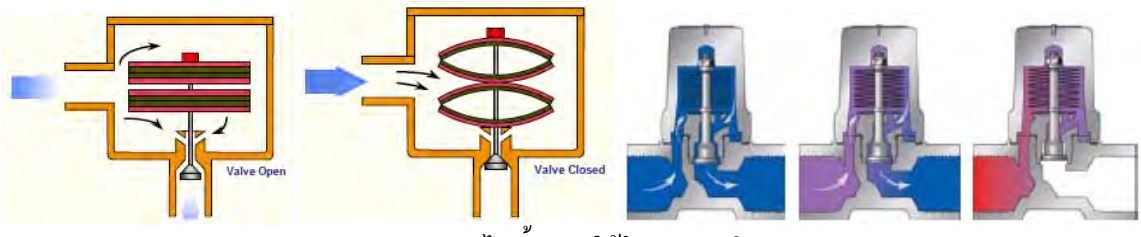
กับดักไอน้ำกลุ่มนี้ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิของไอน้ำและของคอนเดนเสทเป็นตัวทำให้วาล์วเปิดและปิด คอนเดนเสทจะต้องเย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิไอน้ำก่อนที่จะถูกปล่อยออกจากกับดักไอน้ำ กับดักไอน้ำกลุ่มนี้ยังแบ่งออกเป็น

- แบบสมดุลความดัน (Balanced Pressure Type)

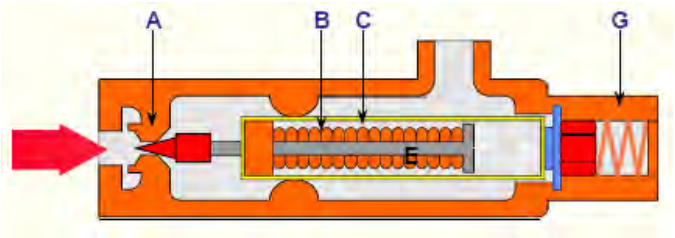
- แบบใช้โลหะ 2 ชนิด (Bimetallic Type)
- แบบใช้การขยายตัวของเหลว (Liquid Expansion Type)



กับดักไอน้ำแบบสมดุลความดัน



กับดักไอน้ำแบบใช้โลหะ 2 ชนิด



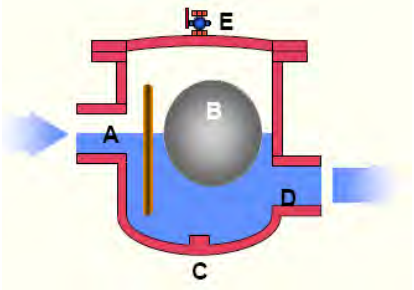
กับดักไอน้ำแบบใช้การขยายตัวของเหลว

รูปที่ 2.7 กับดักไอน้ำทำงานโดยความร้อน

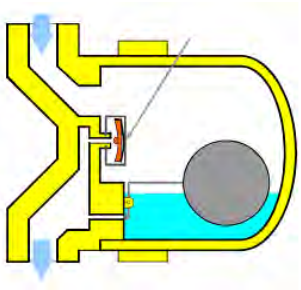
ข) กับดักไอน้ำทำงานโดยกลไก (Mechanical Group)

กับดักไอน้ำกลุ่มนี้ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างไอน้ำและคอนเดนเสททำให้ลูกลอย (Float) หรือถ้วย (Bucket) ส่งอาการไปเปิด-ปิดวาล์ว กับดักไอน้ำในกลุ่มนี้ มีชื่อเรียกต่างๆ ดังนี้

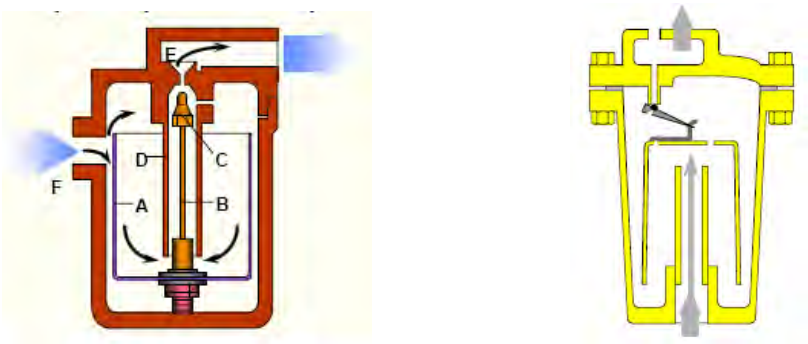
- แบบลูกลอย (Loose Float Type)
- แบบลูกลอยมีก้าน (Float and Lever Type)
- แบบถ้วยหงาย (Open Top Bucket Type)
- แบบถ้วยคว่ำ (Inverted Bucket Type)



แบบลูกลอย



แบบลูกลอยมีก้าน

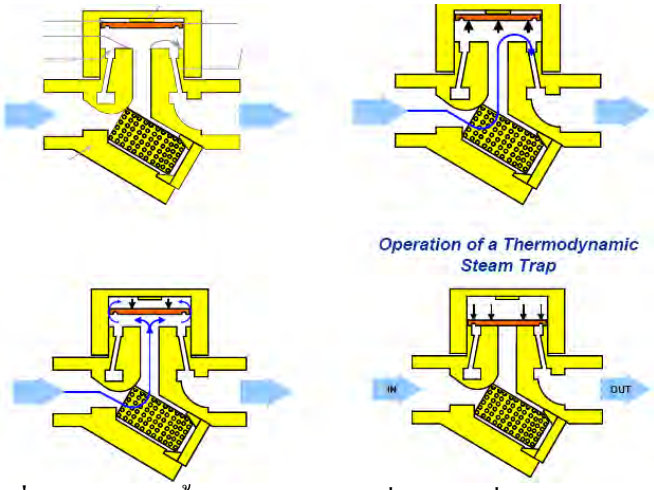


แบบถ้วยหงาย แบบถ้วยคว่ำ

รูปที่ 2.8 กับดักไอน้ำทำงานโดยกลไก

ค) กับดักไอน้ำกลุ่มที่ทำงานด้วยการเคลื่อนไหวเนื่องจากความร้อน (Thermodynamic Groups)

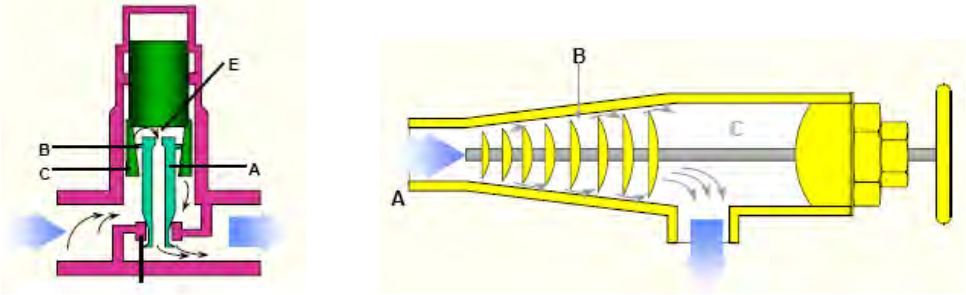
กับดักไอน้ำกลุ่มนี้ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างในความเร็วระหว่างไอน้ำและคอนเดนเสทที่ไหลผ่านตัววาล์วที่เป็นจานกลม ซึ่งมันจะปิดเมื่อมีไอน้ำไหลเข้ามาด้วยความเร็วสูง และจะเปิดเมื่อมีคอนเดนเสทไหลเข้ามาด้วยความเร็วที่ต่ำกว่า กับดักไอน้ำในกลุ่มนี้เรียกว่า กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์



รูปที่ 2.9 กับไอดักน้ำทำงานด้วยการเคลื่อนไหวเนื่องจากความร้อน

ง) กับดักไอน้ำชนิดอื่นๆ (Miscellaneous Group)

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



Impulse Type Labyrinth Type

รูปที่ 2.10 กับดักไอน้ำทำงานด้วยระบบอื่นๆ

สำหรับกับดักไอน้ำแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของกับดักไอน้ำแต่ละประเภท

	แบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
กับดักไอน้ำแบบเมคานิกส์	*แบบถ้วยหงาย*	• การทำงานแม่นยำ • ไอน้ำไม่รั่วไหลเนื่องจากมี Water Seal	• รูปร่างและขนาดใหญ่ • การระบายอากาศทิ้งไม่ดี
	แบบถ้วยคว่ำ	• การระบายอากาศทิ้งดี	• การติดตั้งไม่สะดวก • ประสิทธิภาพการระบายน้ำคอนเดนเสทไม่ดี
	แบบลูกลอยติดคาน	• เหมาะสมกับความดันต่ำและภาระต่ำ • โครงสร้างง่าย • ปล่อยทิ้งอย่างต่อเนื่องและการทำงานเงียบ • เปลี่ยนลูกลอยและบำลิ้นได้ง่าย	• ไม่ทนต่อ Water Hammer • จำเป็นต้องติดตั้งในแนวระนาบจึงมีข้อจำกัดด้านสถานที่ติดตั้ง
กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมสเตติกส์	*แบบเบลโลส์*	• สามารถปรับตั้งและควบคุมอุณหภูมิน้ำระบายได้ • การระบายอากาศทิ้งดี	• ไม่ทนต่อ Water Hammer • ไม่เหมาะสมกับความดันสูง
	แบบไบเมทัล	• ไม่มีปัญหาลิ้นปิดตาย • การระบายอากาศทิ้งดี	• ผลต่างอุณหภูมิสำหรับเปิดปิดลิ้นสูง • คุณสมบัติของไบเมทัลเปลี่ยนแปลงไปในขณะใช้งาน
กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์	*แบบออริฟิส*	• ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา • เหมาะกับความดันสูง อุณหภูมิสูง	• ไอน้ำรั่วไหลมาก • มีปัญหาการขัดข้องของชิ้นส่วนที่มีความเที่ยงสูงบ่อย • มีขีดจำกัดความดันย้อนกลับ (30%)
	แบบจาน	• ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา • โครงสร้างง่าย • สามารถใช้กับไอดงได้ • ทนต่อ Water Hammer ได้	• ต้องมีผลต่างความดันทำงานอย่างต่ำสุด 0.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร • มีขีดจำกัดของความดันย้อนกลับ (30%)

2.4.2 การเลือกใช้กับดักไอน้ำ

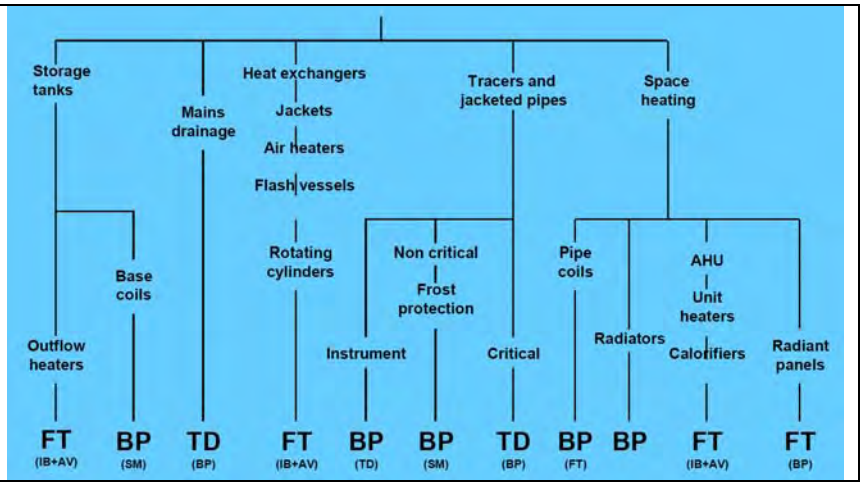
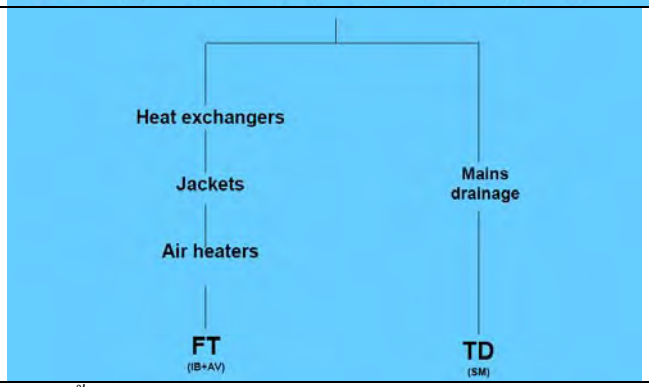
เนื่องจากกับดักไอน้ำมีหลายประเภท ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และลักษณะงานต่างๆ การเลือกใช้กับดักไอน้ำ ต้องพิจารณาความเหมาะสมกับเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

- ความดันไอน้ำ
- อุณหภูมิไอน้ำ
- ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น
- เงื่อนไขในการติดตั้ง

โดยปกติแล้ว หลักเกณฑ์ง่ายๆ ในการเลือกใช้กับดักไอน้ำมีดังนี้

- ใช้กับดักไอน้ำแบบจานกับท่อไอน้ำหลัก ท่อย่อย ถังรองรับ และเฮดเดอร์ หรือบริเวณที่อาจจะเกิดการกระแทกของน้ำ (Water Hammer)
- ใช้กับดักไอน้ำแบบลูกลอยอิสระ ถ้วยกลมอิสระ ถ้วยกลมติดคานและแบบถ้วยคว่ำกับเครื่องให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เครื่องระเหย เครื่องกลั่น เครื่องอบแห้ง
- ในกรณีที่ปริมาณการใช้ไอน้ำสูงควรใช้กับดักไอน้ำแบบถ้วยกลมอิสระและแบบถ้วยคว่ำติดคาน หากเป็นกรณีที่ปริมาณน้อยควรใช้แบบลูกลอยอิสระ ลูกลอยติดคานและแบบถ้วยคว่ำอิสระ
- ถ้าการใช้ไอน้ำอาจจะเกิดการกระแทกของน้ำ ไม่ควรใช้กับดักไอน้ำแบบถ้วยคว่ำติดคานแบบลูกลอยติดคานและแบบลูกลอยอิสระ เพราะการกระแทกของน้ำจะทำให้คานและลูกลอยเสียรูปทรงได้ ซึ่งจะทำให้วาล์วปิดไม่สนิท
- โดยทั่วไปแล้ว กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ไม่เหมาะกับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ โดยเฉพาะถ้ามีการนำคอนเดนเสทกลับ กับดักไอน้ำนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียของไอน้ำอย่างมาก

ตารางที่ 2.4 การเลือกใช้กับดักไอน้ำ

การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำอิ่มตัว(Saturated Steam)	
การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำไอดง (Superheated Steam)	

การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำอิ่มตัว(Saturated Steam) สามารถแบ่งออกได้ 5 ประเภท

ก) ถังบรรจุ (Storage Tanks) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

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

- ถังบรรจุที่มี Coil อยู่ด้านล่างถัง กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Bimetallic (SM)

ข) ท่อประธานของไอน้ำ (Steam Mains Drainage) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD)

ค) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat Exchanger), หม้อต้ม (Jackets), ลมร้อน (Air Heaters), ถังเก็บไอน้ำแฟลช (Flash vessels), ลูกกลิ้ง (Rotating Cylinders) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB) และควรต่อ Air vent ครอ่มด้วย

ง) ระบบอุ่นอุณหภูมิในท่อ (Tracers and Jacketed pipe) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

- เครื่องมือวัด (Instrument) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD)
- ระบบป้องกันน้ำแข็งตัว(Frost Protection) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Bimetallic (SM)
- ระบบฉุกเฉิน (Critical) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP)

จ) ระบบให้ความร้อนสัมผัส แบ่งออกเป็น 4 ประเภท

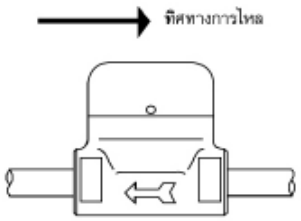
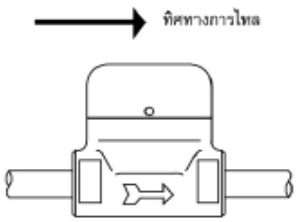
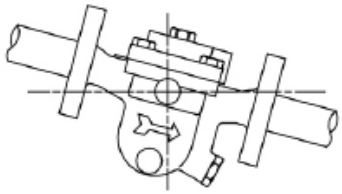
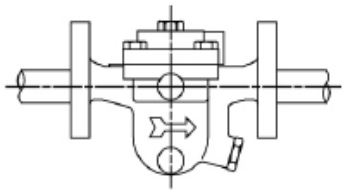
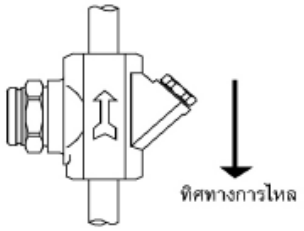
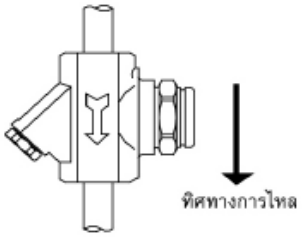
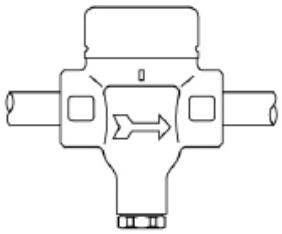
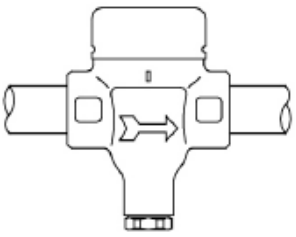
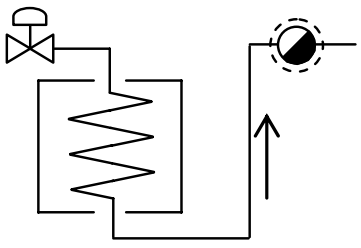
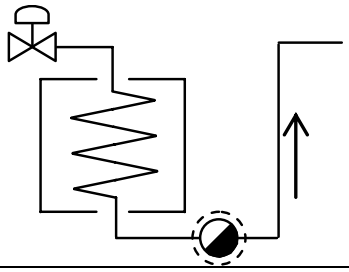
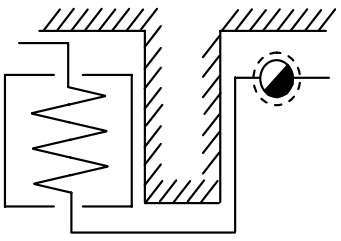
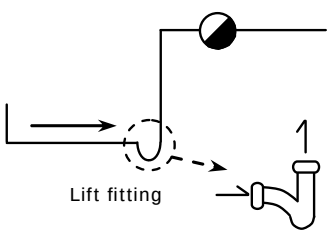
- ชุด Coil ที่เป็นท่อ กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิดกับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT)
- เครื่องกระจายความร้อน(Radiators)กับดักไอน้ำที่เหมาะสมคือกับดักไอน้ำชนิดกับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP)
- เครื่องปรับอากาศ (AHU), ชุดให้ความร้อน (Unit Heaters) ,ชุดวัดความร้อน (Calorifiers) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิดกับดักไอน้ำชนิด กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB)และควรต่อ Air vent ครอ่มด้วย
- ชุดเปล่งรังสี (Radiant Panels) กับดักไอน้ำชนิดกับดักไอน้ำชนิด กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP)

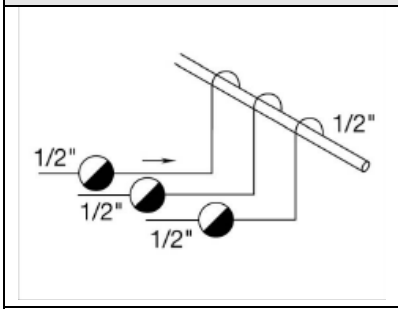
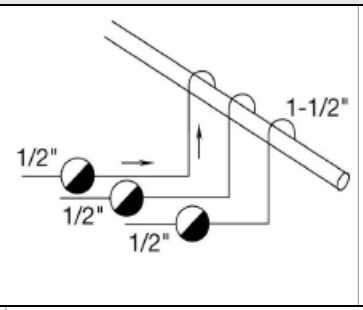
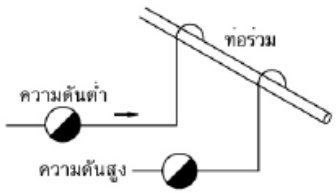
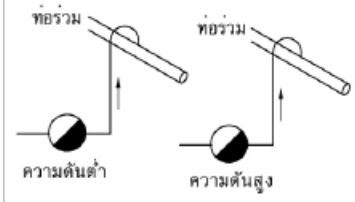
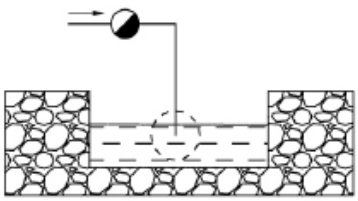
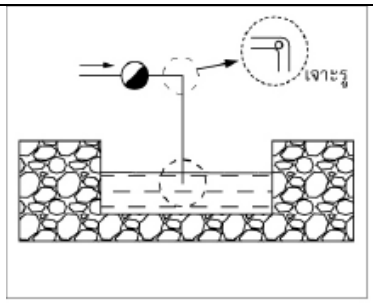
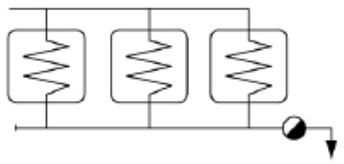
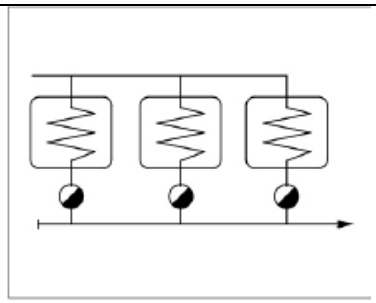
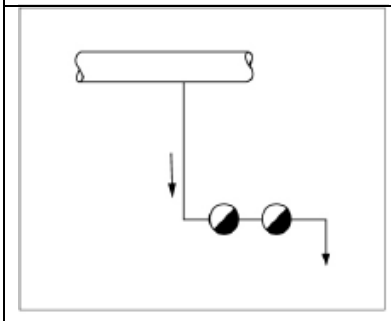
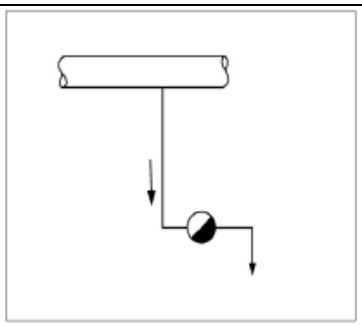
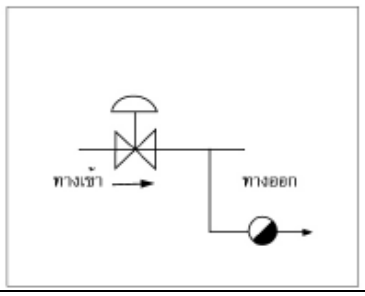
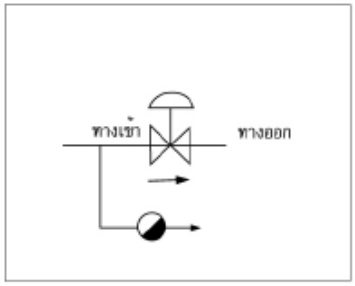
การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำไอดง (Superheated Steam) สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท

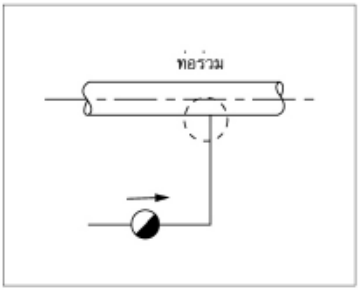
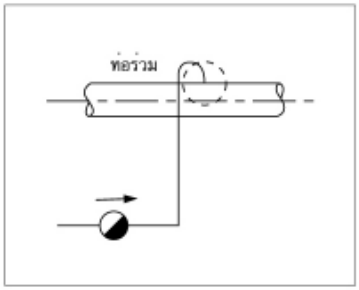
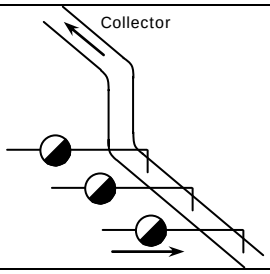
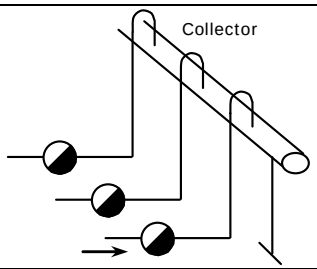
ก) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat Exchanger), หม้อต้ม (Jackets), ลมร้อน (Air Heaters), ถังเก็บไอน้ำแฟลช (Flash vessels) , ลูกกลิ้ง (Rotating Cylinders) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB) และควรต่อ Air vent ครอ่มด้วย

ข) ท่อประธานของไอน้ำ (Steam Mains Drainage) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Bimetallic (SM)

2.4.3 ข้อแนะนำในการติดตั้งกับดักไอน้ำ

ผิด	ถูก	คำแนะนำ
		ติดตั้งกับดักไอน้ำให้ถูกต้องตามทิศทางการไหล
		กับดักไอน้ำแบบลูกลอยอิสระต้องติดตั้งในแนวนอน
		กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ไม่มีข้อจำกัดในการติดตั้ง
		ไม่ควรใช้ท่อเล็กกว่าขนาดของกับดักไอน้ำ
		ไม่ควรติดตั้งกับดักไอน้ำสูงกว่าจุดที่ระบายน้ำออก ทางเข้าของกับดักไอน้ำควรอยู่ในระดับที่คอนเดนเสทสามารถไหลเข้ามาได้ด้วยแรงโน้มถ่วง
		ถ้ากับดักไอน้ำต้องติดตั้งในระดับที่สูงกว่าจุดระบายน้ำออก ควรใช้ Lift Fitting

ผิด	ถูก	คำแนะนำ
		ขนาดของท่อร่วมที่จะนำน้ำกลับควรมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของกับดักไอน้ำ และพื้นที่หน้าตัดต้องมากกว่าพื้นที่หน้าตัดของกับดักไอน้ำทั้งหมดรวมกัน
		คอนเดนเสทที่มีความดันแตกต่างกัน ไม่ควรนำไปรวมในท่อร่วมเดียวกัน
		ท่อทางออกไม่ควรจุ่มอยู่ในน้ำ และควรมีรูเล็กๆ เพื่อไม่ให้เกิดการดูดกลับ
		อุปกรณ์แต่ละอย่างควรมีกับดักไอน้ำแยกกันไม่ควรติดตั้งกับดักไอน้ำตัวเดียวกับอุปกรณ์หลายๆ อย่าง เพราะจะทำงานได้ไม่ดี
		การใช้กับดักไอน้ำซ้อนกัน 2 ตัว จะทำงานได้ไม่ดี ใช้ตัวเดียวก็พอ
		กับดักไอน้ำต้องติดตั้งไว้ด้านทางเข้าเพื่อเอาน้ำคอนเดนเสทออกก่อนที่จะเข้าวาล์วควบคุม (Regulating Valve)

ผิด	ถูก	คำแนะนำ
		ทางออกของกับดักไอน้ำไม่ควรต่อที่ด้านล่างของท่อร่วม
		ท่อร่วมไม่ควรมีส่วนที่ยกขึ้น เพราะจะทำให้มีความดันเกิดขึ้นเนื่องจากความสูงของน้ำคอนเดนเสทซึ่งจะทำให้เกิดความดันย้อนกลับ (Back Pressure)

2.5 การตรวจวิเคราะห์หม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำแต่ละลูกจะระบุข้อมูลจำเพาะของหม้อไอน้ำ เช่น กำลังการผลิตไอน้ำพิกัด ชนิดและปริมาณความต้องการใช้เชื้อเพลิง และอื่นๆ ข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ประเมินเพื่อให้ทราบค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลูกนั้นๆ โดยเบื้องต้น อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ เรายังจำเป็นต้องตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อไอน้ำเป็นประจำเพื่อให้ทราบถึงสภาพการทำงานและประสิทธิภาพพลังงานที่แท้จริงของหม้อไอน้ำที่เราใช้งานอยู่

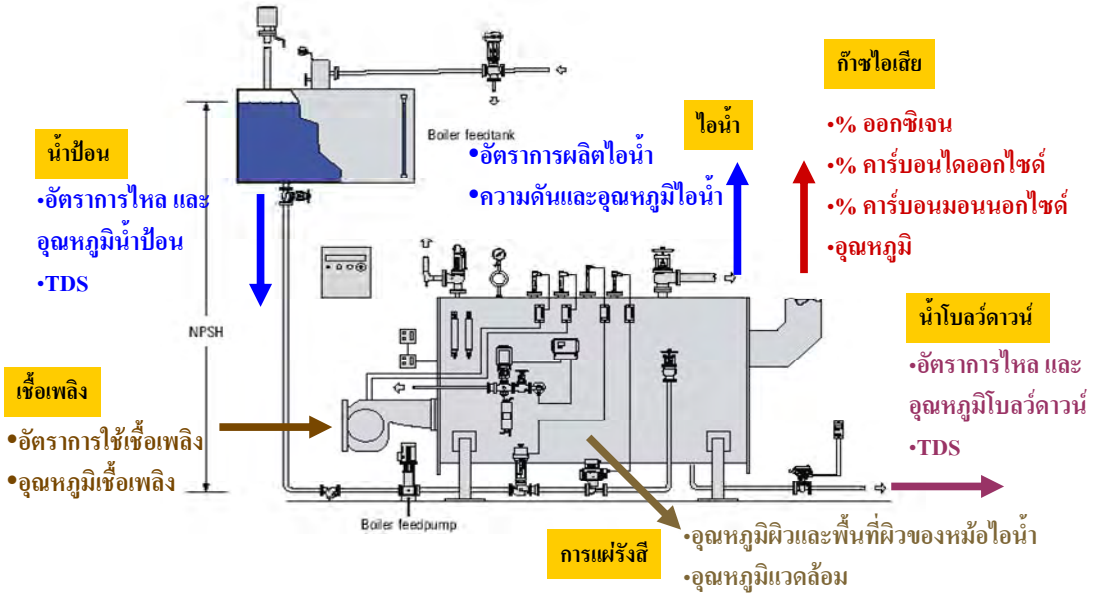
2.5.1 การตรวจวัดการทำงานของหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 2.5 แสดงข้อมูลการวัดที่จำเป็นต้องทราบสำหรับการประเมินสมรรถนะการทำงานและประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลตรวจวัดระบบไอน้ำอุตสาหกรรม

ข้อมูล	ค่าตรวจวัด	การวิเคราะห์
เชื้อเพลิง	- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง - อัตราการใช้เชื้อเพลิง - อุณหภูมิเชื้อเพลิง	- อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ
ไอน้ำ	- ความดันและอุณหภูมิไอน้ำ - อัตราการผลิตไอน้ำ	- อัตราการผลิตพลังงานความร้อน (ไอน้ำ) ของหม้อไอน้ำ
น้ำป้อนและน้ำโบลว์ดาวน์	- อัตราการไหลของน้ำป้อนและโบลว์ดาวน์ - อุณหภูมิของน้ำป้อนและโบลว์ดาวน์ - ค่า TDS (Total Dissolved Solid)	- การสูญเสียพลังงานจากการโบลว์ดาวน์
ก๊าซไอเสีย	- เปอร์เซ็นต์ของ O_2	- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของ

ข้อมูล	ค่าตรวจวัด	การวิเคราะห์
	- เปอร์เซ็นต์ของCO_2 - เปอร์เซ็นต์ของ CO และอื่นๆ - อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย	หม้อไอน้ำ
การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี	- อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของหม้อไอน้ำ - อุณหภูมิแวดล้อม - ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)	- การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีของหม้อไอน้ำ



รูปที่ 2.11 การตรวจวัดข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ

สำหรับความร้อนสูญเสียของระบบส่งจ่ายไอน้ำ ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของท่อส่งจ่าย วาล์ว และหน้าแปลนอุณหภูมิแวดล้อม และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ของพื้นผิว ตลอดจนสภาพของฉนวน

เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการตรวจวัดข้อมูลข้างต้น ประกอบด้วย เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ เครื่องวิเคราะห์สภาพน้ำ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส รายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือวัดได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 1

2.5.2 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

จากข้อมูลการวัดที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.5.1 เราสามารถคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของหม้อไอน้ำได้ โดยปกติแล้ว การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ

ก) การคำนวณโดยวิธีตรง

ข) การคำนวณโดยวิธีอ้อม

ก) การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง

การคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง เป็นการคำนวณประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลของปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำที่ผลิตขึ้นโดยหม้อไอน้ำและข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง การคำนวณโดยวิธีนี้ง่ายและไม่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่ได้แสดงให้เราทราบว่าการสูญเสียพลังงานหรือการลดลงของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเกิดจากสาเหตุใด สมการที่ (2.1) แสดงการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง

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

เมื่อ η_B = ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

m_S = อัตราการไหลของไอน้ำ, kg/s

m_F = อัตราการใช้เชื้อเพลิง, kg/s

h_S = เอนทาลปีของไอน้ำ, kJ/kg

h_W = เอนทาลปีของน้ำป้อน, kJ/kg

HV = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, kJ/kg

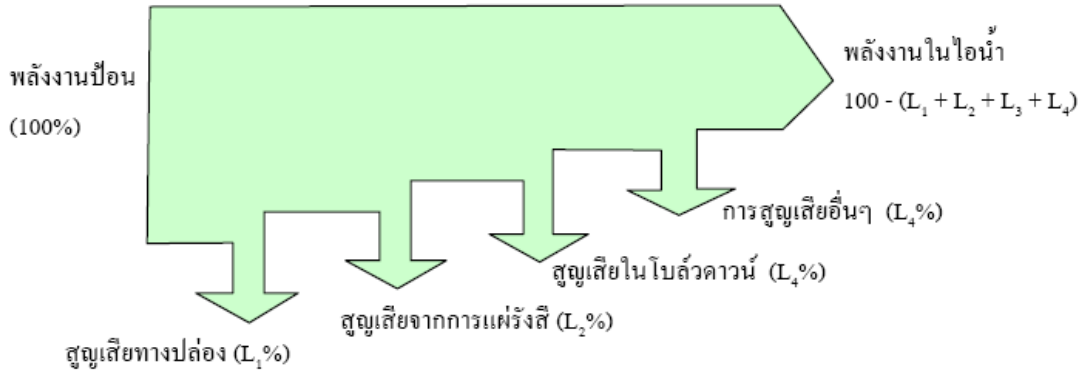
ข) การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อม

การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อมจะใช้วิธีวัดการสูญเสียพลังงานจากแหล่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ แล้วหักออกจาก 100 ซึ่งก็คือค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ การคำนวณประสิทธิภาพโดยวิธีอ้อมเราจะต้องตรวจวัดหรือคำนวณเพื่อให้ทราบการสูญเสียพลังงานต่างๆ ที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย

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

ทันทีที่ทราบการสูญเสียเหล่านี้ เราสามารถคำนวณประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ (2.2)

$$\eta_B = 100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) \tag{2.2}$$



ตัวอย่างที่ 1

สมมุติให้หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำลูกหนึ่งซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ผลิตไอน้ำที่ความดัน 10 bar อุณหภูมิ 180°C ข้อมูลข้างล่างได้จากการตรวจวัดหม้อไอน้ำ

ข้อมูลตรวจวัด

ปริมาณการใช้น้ำมันเตา	800	L/h (สมมุติ น้ำมันเตามีค่าความร้อน ≈40 MJ/L)
ปริมาณน้ำป้อน	10,600	kg/h
ปริมาณโบลว์ดาวน์	600	kg/h
อุณหภูมิน้ำป้อน	25	°C
หม้อไอน้ำทำงาน	6,000	h/y
ไม่มีการนำกลับคอนเดนเสท		
ราคาน้ำมันเตาสมมติให้เท่ากับ	14	฿/L

จงคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (โดยใช้วิธีตรง)

วิธีคำนวณ

ค่าความร้อนของน้ำ 25°C	= 105		kJ/kg
ค่าความร้อนของน้ำ 180°C	= 763		kJ/kg
ค่าความร้อนของไอน้ำ 180°C	= 2778		kJ/kg
ปริมาณการผลิตไอน้ำ	= 10,600 - 600	= 10,000	kg/h
ความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ	= ค่าความร้อนของน้ำจาก 25°C เป็น 180°C + ค่าความร้อนของน้ำ 180°C เป็นไอน้ำ 180°C		
	= 10,600 x (763 – 105) + 10,000 x (2,778 – 763)		
	= 27,124,800 kJ/h		
พลังงานจากการใช้เชื้อเพลิง	= 800 x 40,000	= 32,000,000	kJ/h
ดังนั้น ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	= 27,124,800 / 32,000,000	= 0.847 (84.7%)	
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

ตารางแสดงค่าเอนทาลปีของน้ำที่ค่าความดันต่างๆ

		Enthalpy in kJ/kg		
		Water	Evaporation	Steam
Pressure (gauge) bar	Temp °C	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

ตัวอย่างที่ 2

จากตัวอย่างที่ 1 และจากการตรวจวัดการสูญเสียความร้อนจากแหล่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ พบได้ว่า

การสูญเสียความร้อนจากปล่อง = 12.4 % (ผลจากการตรวจวัดไอเสีย)

การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี = 1.7 %

จงคำนวณหาการสูญเสียจากโบลว์ดาวน์และประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำ

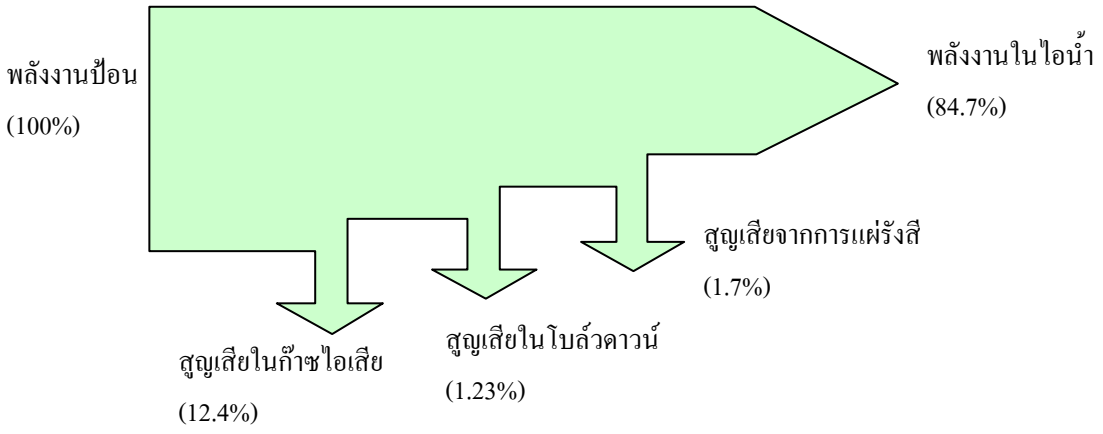
วิธีคำนวณ

การสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์ = 600 x (763 - 105) = 394,800 kJ/h

= 394,800 / 32,000,000 = 1.23 %

จากสมการที่ (2.2) ประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำ

= 100 – 12.4 – 1.7 – 1.23 = 84.7 %



2.6 การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

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

2.6.1 การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศป้อนต่อเชื้อเพลิง

การควบคุมประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำให้อยู่ในระดับสูงตลอดเวลามีผลอย่างยิ่งต่อการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบไอน้ำ การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ให้สูงขึ้นสามารถทำได้โดยการปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม ซึ่งผู้ดูแลหม้อไอน้ำสามารถดำเนินได้แม้ว่าบางครั้งจะไม่มีเครื่องมือตรวจวัดและวิเคราะห์ก๊าซไอเสียก็ตาม อย่างไรก็ตามหากเป็นไปได้ การตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซเผาไหม้เป็นประจำ จะช่วยให้ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด การติดตั้งเครื่องควบคุมและปรับปริมาณ O_2 (Continuous Oxygen Trimming) จะช่วยให้หม้อไอน้ำทำงานด้วยการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดเวลา สำหรับหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำขนาดใหญ่มักจะติดตั้งเครื่องมือดังกล่าวไว้

การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศจำเป็นต้องปรับตั้งที่ทุกๆ ภาระการทำงาน เช่น หัวเผาทำงานแบบเป็นขั้นให้ปรับตั้งค่าสำหรับแต่ละขั้น หัวเผาทำงานแบบต่อเนื่องให้ปรับตั้งอย่างน้อยที่ภาระต่ำ ปานกลางและสูง ในการปรับตั้งเริ่มจากการบังคับหัวเผาให้ทำงานที่ภาระใดภาระหนึ่ง จากนั้นตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย แล้วปรับแดมเปอร์อากาศ เพื่อให้ร้อยละของ O_2 ในก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานหรือปริมาณ CO_2 มีค่าสูงสุด ทั้งนี้ก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งต้องไม่เกิดเขม่าดำและปริมาณ CO ไม่เกิน 200 ppm ให้ล็อกตำแหน่งนั้นไว้แล้วปรับตั้งสำหรับที่ภาระอื่นๆ ต่อไป

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency)

ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3)

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

ผู้ผลิตหม้อไอน้ำบางรายใช้ประสิทธิภาพการเผาไหม้นี้เป็นประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ขณะที่ผู้ผลิตหม้อไอน้ำบางรายใช้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำซึ่งรวมการสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสีไว้ด้วยเป็นประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

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

สำหรับค่าการสูญเสียความร้อนทางปล่องไฟ เราสามารถคำนวณตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เลือกตารางของเชื้อเพลิง โดยน้ำมันดีเซลใช้ตารางที่ 2.6 NO.2 OIL, น้ำมันเตาใช้ตารางที่ 2.7 NO.6 OIL และก๊าซธรรมชาติใช้ตารางที่ 2.8 NATURAL GAS
2. วัด $\%CO_2$ จากก๊าซไอเสียที่ปล่องไฟ ณ. ตำแหน่งที่ใกล้หม้อไอน้ำมากที่สุด
3. ถ้าเครื่องมือวัดที่ใช้ เป็นเครื่องวัด $\%O_2$ ของก๊าซไอเสีย ให้ใช้กราฟในรูปที่ 2.12 ในการเทียบค่า (Convert) $\%O_2$ ไปเป็น $\%CO_2$
4. วัดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่องไฟ แล้วลบด้วยอุณหภูมิห้อง (ค่าอุณหภูมิในตารางที่ 2.6, 2.7 และ 2.8 เป็นผลต่างของอุณหภูมิปล่องกับอุณหภูมิห้อง, หน่วยเป็น ^{o}F)
5. หา % ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟจากตาราง

<u>หมายเหตุ</u>

ก) ตารางที่ 2.6, 2.7 และ 2.8 เป็นตารางที่คิดจากค่าความร้อนสูงของน้ำมันเตา ถ้าคิดด้วยค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเตาจะต้องลบค่า % ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟประมาณ 4-5 %

ข) ดังนั้นก่อนการใช้งานตารางหรือกราฟใดๆ ที่เกี่ยวกับ%ของความร้อนต่างๆ จะต้องตรวจสอบก่อนว่าตารางหรือกราฟนั้น ใช้กับค่าความร้อนสูงหรือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง ไม่เช่นนั้นเมื่อนำค่าที่หาได้ไปใช้งานต่อ เช่น คำนวณต้นทุนของการผลิตไอน้ำจะผิดพลาดไป ถ้าไม่สามารถหาข้อมูลได้ว่าตารางหรือกราฟนั้นใช้กับค่าความร้อนสูงหรือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง อาจสังเกตจากเครื่องมือวัด เช่น ถ้าผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกาจะใช้ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง ถ้าผลิตจากประเทศญี่ปุ่นหรือยุโรปจะใช้ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง

ค) ข้อสังเกตจากตาราง %ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟ

- ถ้าอุณหภูมิของไอเสียสูง จะมีความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องมาก
- ถ้า $\%CO_2$ สูง หรือ $\%O_2$ ต่ำ จะมีความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องน้อย

ตารางที่ 2.6 ร้อยละการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสีย สำหรับน้ำมันดีเซล

STACK LOSS -%- NO.2 OIL																															
%	DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																														
$CO_{2\backslash}$	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	36.3	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

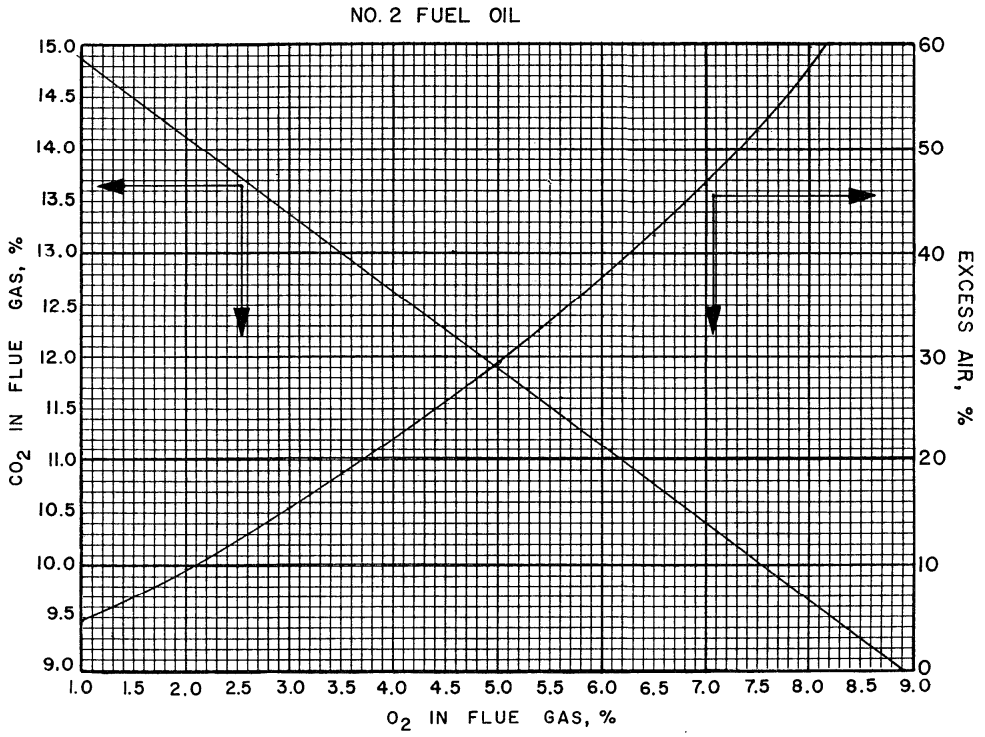
ตารางที่ 2.7 ร้อยละการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสีย สำหรับน้ำมันเตาซี

STACK LOSS -%- NO.6 OIL																																
%	DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																															
CO_2	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000
3.0	24.5	26.5	28.5	30.2	32.2	34.5	36.5	38.2	40.4	42.2	44.4	46.4	48.2	50.0	52.3	54.3	56.3	58.2	60.3	62.0	64.1	66.2	68.1	70.1								
3.5	21.8	23.4	25.2	26.8	28.6	30.4	32.1	33.8	35.5	37.4	39.0	4.6	42.2	44.0	45.6	47.5	49.2	51.0	52.8	54.0	56.0	57.8	59.9	61.1	63.0	64.9	69.0					
4.0	19.8	21.2	22.8	24.2	25.7	27.3	28.8	30.2	31.6	32.5	34.8	36.3	37.8	39.4	40.8	42.2	43.8	45.1	46.9	48.2	49.8	51.2	52.9	54.2	56.0	57.8	61.1	65.0	68.9			
4.5	18.2	19.4	20.8	22.2	23.5	24.8	26.2	27.4	28.8	30.4	31.5	33.0	34.2	35.4	37.0	38.1	39.4	41.0	42.2	43.5	45.0	46.3	47.9	49.0	50.1	51.9	55.0	58.2	61.8	65.1	68.5	
5.0	16.8	18.0	19.3	20.4	21.7	22.8	23.2	25.3	26.6	27.8	29.0	30.3	31.4	32.6	33.8	35.3	36.2	37.5	38.3	39.8	41.0	42.3	43.8	44.9	46.1	47.5	50.1	53.6	56.3	59.8	62.3	65.8
5.5	15.8	16.8	18.0	19.2	20.3	21.3	22.5	23.5	24.6	25.8	26.9	28.0	29.2	30.2	31.4	32.5	33.5	34.7	35.8	37.0	37.9	39.2	40.1	41.3	42.3	43.8	46.1	49.1	52.0	54.7	57.8	60.1
6.0	14.8	15.8	16.9	18.0	19.0	20.0	21.1	22.0	23.1	24.2	25.2	26.3	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.5	34.3	35.3	36.5	37.5	38.3	39.7	40.5	43.0	45.8	48.2	50.9	53.5	56.0
6.5	14.3	15.2	16.1	17.1	18.0	18.9	19.9	20.8	21.8	22.8	23.7	24.6	25.5	26.5	27.5	28.5	29.4	30.4	31.4	32.3	33.4	34.3	35.1	36.1	37.1	38.0	40.2	42.8	45.1	47.6	49.9	52.1
7.0	13.5	14.4	15.3	16.2	17.1	17.9	18.8	19.7	20.7	21.5	22.4	23.3	24.2	25.0	25.8	26.8	27.7	28.6	29.0	30.2	31.2	32.2	33.0	33.9	34.9	35.8	37.9	40.1	42.1	44.4	46.8	49.0
7.5	13.0	13.8	14.6	15.5	16.3	17.3	18.0	18.8	19.7	20.5	21.4	22.2	22.9	23.7	24.6	25.4	26.3	27.2	27.9	28.8	29.6	30.5	31.2	32.1	33.0	34.9	35.9	37.9	40.0	42.0	44.1	46.1
8.0	12.5	13.3	14.1	14.8	15.7	16.4	17.3	18.0	18.8	19.6	20.4	21.2	21.9	22.7	23.5	24.2	25.0	25.8	26.6	27.4	28.2	29.0	29.9	30.6	31.5	32.1	34.1	36.0	38.0	40.0	41.9	43.9
8.5	12.2	12.8	13.6	14.4	15.1	15.7	16.6	17.3	18.0	18.7	19.6	20.3	21.0	21.6	22.5	23.3	23.9	24.7	25.5	26.2	26.8	27.6	28.2	29.1	29.9	30.8	32.6	34.2	36.2	38.0	39.9	41.8
9.0	11.7	12.4	13.2	13.8	14.6	15.3	15.9	16.6	17.4	18.1	18.8	19.5	20.2	20.8	21.6	22.3	22.9	23.7	24.4	25.0	25.7	26.5	27.1	27.9	28.7	29.4	31.1	32.9	34.6	36.3	38.0	39.9
9.5	11.4	12.1	12.7	13.4	14.0	14.7	15.4	16.0	16.7	17.5	18.1	18.7	19.4	20.0	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24.0	24.7	25.4	26.1	26.8	27.5	28.1	29.8	31.2	33.2	34.9	36.4	38.1
10	11.2	11.7	12.3	13.0	13.7	14.4	14.8	15.5	16.2	16.8	17.5	18.2	18.7	19.4	20.0	20.6	21.3	21.9	22.6	23.2	23.8	24.5	25.1	25.8	26.4	27.0	28.7	30.1	31.8	33.5	35.0	36.7
11	10.6	11.3	11.8	12.4	12.9	13.5	14.2	14.7	15.3	15.8	16.5	17.0	17.6	18.2	18.8	19.4	20.0	20.6	21.2	21.7	22.3	22.9	23.5	24.1	24.8	25.2	26.8	28.1	29.8	31.2	32.5	34.1
12	10.2	10.7	11.3	11.7	12.3	12.8	13.4	13.8	14.5	15.1	15.6	16.2	16.7	17.2	17.8	18.3	18.8	19.4	19.9	20.4	21.0	21.6	22.1	22.7	23.1	23.8	25.0	26.4	27.9	29.1	30.5	31.9
13		10.3	10.8	11.3	11.8	12.3	12.8	13.3	13.8	14.4	14.8	15.4	15.8	16.3	16.8	17.3	17.9	18.4	18.9	19.3	19.8	20.4	20.9	21.4	21.9	22.4	23.8	24.9	26.2	27.5	28.9	30.0
14		9.8	10.4	10.8	11.4	11.8	12.3	12.8	13.3	13.7	14.3	14.7	15.2	15.6	16.2	16.6	17.1	17.5	18.0	18.5	18.8	19.4	19.9	20.4	20.9	21.2	22.5	23.7	24.9	26.1	27.2	28.5
15			10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.4	12.7	13.3	13.7	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.4	16.8	17.3	17.7	18.2	18.6	19.0	19.5	19.9	20.3	21.5	22.6	23.8	24.9	25.9	27.1
16				10.3	10.7	11.1	11.5	11.8	12.3	12.8	13.3	13.7	14.0	14.4	14.8	15.3	15.7	16.2	16.6	16.9	17.4	17.9	18.2	18.8	19.1	19.5	20.6	21.6	22.7	23.8	24.8	25.9

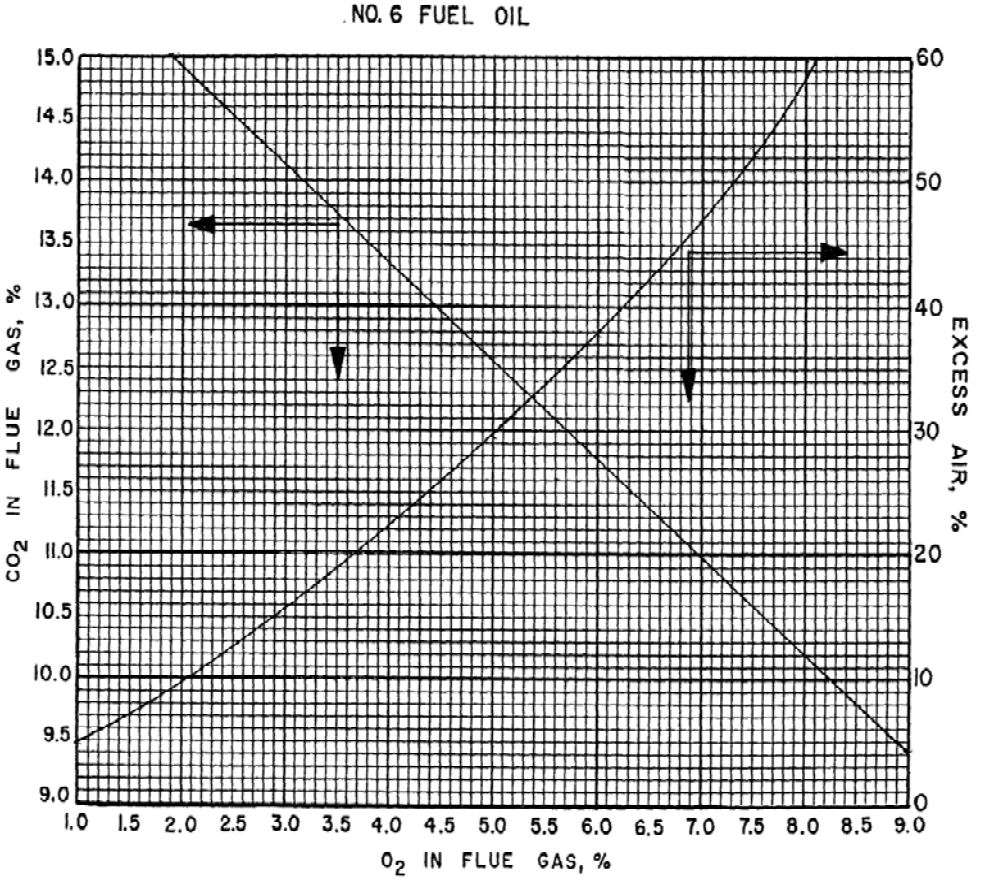
ตารางที่ 2.8 ร้อยละการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสีย สำหรับน้ำมันก๊าซธรรมชาติ

STACK LOSS -%- NATURAL GAS																															
%	DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																														
CO_2	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000
3.0	23.1	24.4	25.9	27.2	28.6	30.0	31.3	32.8	34.1	35.8	36.9	38.2	39.8	41.0	42.2	43.8	45.0	46.3	47.8	49.0	50.0											
3.5	21.2	22.5	23.8	24.9	26.1	27.2	28.4	29.6	30.9	32.0	33.2	34.4	35.8	36.8	38.0	39.2	40.3	41.6	42.8	43.8	45.0	46.2	47.7	48.3	49.8							
4.0	19.9	20.9	22.0	23.1	24.1	25.1	26.2	27.2	28.3	29.4	30.4	31.8	32.5	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.9	40.9	42.1	43.0	44.1	45.2	46.2	48.8					
4.5	18.9	19.9	20.9	21.8	22.7	23.6	24.5	25.5	26.4	27.3	28.3	29.2	30.2	31.2	32.2	33.0	34.0	34.9	35.9	36.8	37.8	38.6	39.8	40.4	41.5	42.6	44.8	47.2	49.8			
5.0	18.0	18.9	19.8	20.6	21.4	22.2	23.1	24.0	24.9	25.8	26.8	27.5	28.3	29.1	30.1	30.9	31.8	32.5	33.6	34.3	35.7	36.2	36.9	37.8	38.8	39.7	41.8	43.8	46.0	48.2		
5.5	17.4	18.1	18.9	19.8	20.5	21.2	22.1	22.9	23.8	24.5	25.2	26.2	26.9	27.8	28.5	29.2	30.0	30.8	31.8	32.3	33.2	34.1	34.9	35.8	36.3	37.3	39.2	41.0	43.0	45.3	47.2	49.0
6.0	16.8	17.4	18.2	18.9	19.6	20.4	21.1	21.8	22.7	23.3	24.1	24.9	25.5	26.2	27.0	27.8	28.4	29.2	30.0	30.8	31.5	32.2	32.9	33.8	34.3	35.2	36.8	38.8	40.4	42.5	44.3	46.2
6.5	16.3	16.9	17.6	18.4	19.0	19.8	20.4	21.1	21.8	22.4	23.2	23.8	24.5	25.2	25.9	26.5	27.2	27.9	28.7	29.2	30.0	30.9	31.4	32.1	32.8	33.5	34.6	36.8	38.4	40.3	42.0	43.8
7.0	15.8	16.5	17.1	17.8	18.4	19.1	19.8	20.4	21.0	21.8	22.3	22.9	23.6	24.2	24.9	25.5	26.2	26.8	27.4	28.0	28.8	29.4	30.0	30.8	31.2	32.0	33.8	35.3	36.8	38.3	40.0	41.8
7.5	15.5	16.1	16.7	17.2	17.9	18.5	19.1	19.8	20.3	20.9	21.5	22.2	22.8	23.3	24.0	24.6	25.2	25.8	26.4	26.9	27.7	28.2	28.8	29.4	30.1	30.8	32.2	33.8	35.2	36.8	38.3	39.9
8.0	15.2	15.7	16.3	16.9	17.4	18.0	18.6	19.2	19.8	20.3	20.9	21.5	22.1	22.8	23.2	23.8	24.4	25.0	25.5	26.0	26.7	27.2	27.8	28.4	29.0	29.5	31.0	32.4	33.8	35.4	36.8	38.2
8.5	14.9	15.4	15.9	16.5	17.1	17.6	18.2	18.7	19.3	19.8	20.4	20.9	21.4	22.0	22.5	23.1	23.7	24.2	24.8	25.3	25.8	26.4	26.9	27.4	28.1	28.6	29.9	31.3	32.8	34.2	35.4	36.8
9.0	14.6	15.2	15.7	16.2	16.6	17.2	17.8	18.3	18.8	19.3	19.9	20.4	20.9	21.4	21.9	22.5	23.0	23.5	24.1	24.5	25.2	25.8	26.2	26.7	27.2	27.8	29.0	30.3	31.8	33.0	34.3	35.7
9.5	14.4	14.9	15.4	15.9	16.4	16.9	17.4	17.9	18.4	18.9	19.5	19.9	20.6	20.9	21.4	21.9	22.4	22.9	23.4	23.8	24.4	24.9	25.4	25.9	26.4	26.9	28.2	29.4	30.8	32.0	33.3	34.5
10	14.2	14.6	15.2	15.6	16.1	16.6	17.1	17.5	18.1	18.5	19.0	19.5	20.0	20.4	20.8	21.4	21.8	22.4	22.8	23.3	23.8	24.2	24.8	25.2	25.8	26.2	27.4	28.6	29.8	31.2	32.2	33.4
11		14.4	14.7	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.4	17.8	18.4	18.8	19.3	19.6	20.2	20.5	20.9	21.4	21.9	22.3	22.8	23.2	23.7	24.2	24.6	25.0	26.2	27.2	28.3	29.5	30.8	31.8
12			14.4	14.8	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.3	17.8	18.2	18.6	19.0	19.4	19.8	20.2	20.6	21.1	21.4	21.9	22.3	22.8	23.2	23.6	24.0	25.1	26.1	27.2	28.3	29.2	30.3

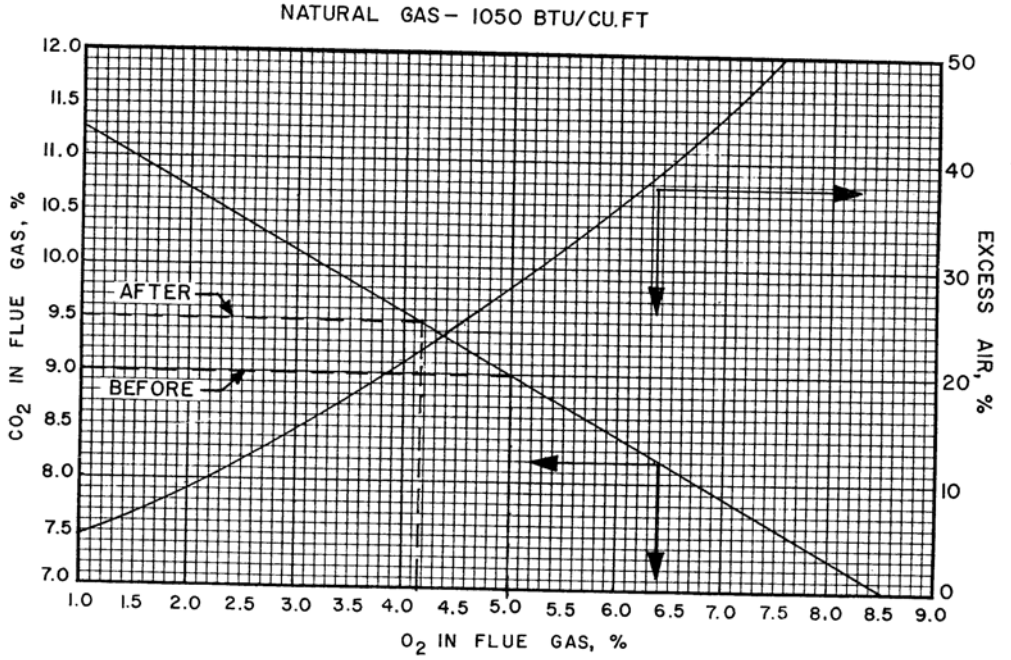
รูปที่ 2.12 ใช้สำหรับการหาอากาศเกิน (Excess air) จาก $\%O_2$ หรือ $\%CO_2$ ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ



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



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



ค) ความสัมพันธ์ของ Excess air, $\%O_2$ และ $\%CO_2$ ของก๊าซธรรมชาติ

รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของ Excess air, $\%O_2$ และ $\%CO_2$ ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

ตัวอย่างที่ 3

จากการตรวจวัดหม้อไอน้ำลูกหนึ่งพบว่าปริมาณ O_2 ในก๊าซไอเสียมีค่าเท่ากับ 8% และอุณหภูมิไอเสียเท่ากับ 246°C ขณะที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 35°C จงประเมินการสูญเสียความร้อนของไอเสียและประสิทธิภาพของการเผาไหม้หม้อไอน้ำ

วิธีคำนวณ

จากรูปที่ 2.12 ข) เมื่อ O_2 เท่ากับ 8% และเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นน้ำมันเตา ดังนั้น ปริมาณอากาศส่วนเกินจะเท่ากับ 58% และ CO_2 เท่ากับ 10.2% จากตารางที่ 2.7 เมื่ออุณหภูมิไอเสียหักด้วยอุณหภูมิห้อง ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 211°C (380°F)

ฉะนั้น	การสูญเสียในก๊าซไอเสีย	≈ 16.8		% (พิจารณาที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูง HHV)
	การสูญเสียในก๊าซไอเสีย	≈ 16.8 – 4.5	= 12.3	% (พิจารณาที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ LHV)
	ประสิทธิภาพการเผาไหม้	= 100 – 12.3	= 87.7	% (พิจารณาที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ LHV)

2.6.2 การควบคุมน้ำระบาย (โบลว์ดาวน์)

การระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำ หรือ โบลว์ดาวน์ เป็นการสูญเสียพลังงานที่สำคัญอย่างหนึ่ง รองจากการสูญเสียไปกับก๊าซไอเสีย โดยทั่วไปควรมีปริมาณน้ำที่ระบายออกไม่เกิน 5% ของปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ระหว่างการใช้งานหม้อไอน้ำ ความเข้มข้นและความเป็นด่างของน้ำที่อยู่ในหม้อไอน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นและก่อให้เกิดอันตรายเนื่องจากการเปลี่ยนสภาพและการสึกกร่อนของโลหะที่เป็นเปลือกหม้อไอน้ำ ดังนั้น จึง

ต้องมีการระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำ เพื่อควบคุมความเข้มข้นของน้ำในหม้อไอน้ำไม่ให้มีค่าสูงเกินไป อย่างไรก็ดีการปล่อยน้ำระบายมากเกินไปจะทำให้มีความร้อนสูญเสียออกไปมากเช่นกัน การเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจึงอาจทำได้โดยการควบคุมการปล่อยน้ำระบายให้อยู่ในระดับให้ต่ำที่สุด

การควบคุมการโบลว์ดาวน์ ทำได้โดยการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำในหม้อไอน้ำ โดยนำน้ำจากหม้อไอน้ำมาวัดด้วยเครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า โดยต้องปล่อยน้ำระบายทิ้ง เพื่อไล่สิ่งสกปรกในท่อ แล้วจึงนำมาเข้าเครื่องวัด หากค่าที่วัดได้ต่ำกว่ามาตรฐานก็ควรลดความถี่หรือปริมาณการระบายลง

การคำนวณการสูญเสียความร้อนจากน้ำระบาย

เราสามารถคำนวณการสูญเสียความร้อนจากโบล์วดาน์ Q_B (kW) ได้จากสมการที่ (2.4)

$$Q_B = m_B\,(h_B - h_W) \tag{2.4}$$

เมื่อ m_B = อัตราการโบลว์ดาวน์, kg/s

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.18 kJ/kg.K)

H_B = เอนทาลปีของน้ำโบลว์ดาวน์, kJ/kg

H_W = เอนทาลปีของน้ำป้อน, kJ/kg

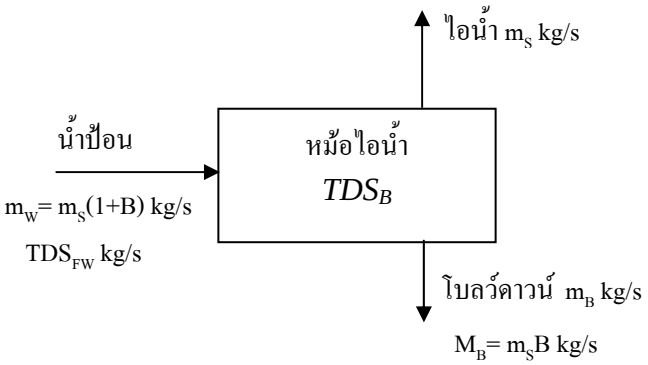
T_B = อุณหภูมิของน้ำโบลว์ดาวน์, kJ/kg

T_W = อุณหภูมิของน้ำป้อน, kJ/kg

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

ในกรณีที่มีการตรวจวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าของทั้งน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำ เราสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการประเมินร้อยละของการโบลว์ดาวน์ (*B*) โดยใช้ตารางที่ 2.9

1. ตรวจวัดค่าสภาพการทำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำโดยใช้เครื่องมือวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ ซึ่งน้ำป้อนจะวัดในตำแหน่งก่อนเข้าหม้อไอน้ำ และน้ำในหม้อไอน้ำวัดจากน้ำที่ระบายทิ้ง
2. นำค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำไปเปิดตารางที่ 2.9 จะได้ร้อยละของน้ำโบลว์ดาวน์ (เทียบกับปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้)



ตารางที่ 2.9 ร้อยละของปริมาณน้ำโบลว์ดาวน์ (เทียบกับปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้)

ค่าการนำไฟฟ้าน้ำป้อน (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%

2.6.3 การปรับสภาพน้ำป้อน

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

เหตุผลของการปรุงแต่งน้ำโดยอาศัยสารเคมี

- เพื่อป้องกันการเกาะตัวของตะกรันในหม้อไอน้ำ ซึ่งจะทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดี และอุณหภูมิของก๊าซที่ปล่องสูงมาก และเป็นการเสียค่าเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น
- เพื่อควบคุมปริมาณตะกอน (Sludge) และตะกรันในหม้อไอน้ำ
- เพื่อลดการสึกหรอของหม้อไอน้ำ และท่อไอน้ำ (Steam Main) ซึ่งเกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำละลายตัวเป็นกรด
- เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงฟองลอยตัวไปกับไอน้ำ
- เพื่อลดการสึกกร่อนเนื่องจากออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

การเติมสารปรุงแต่งน้ำจะต้องให้ในปริมาณที่เหมาะสมควรจะปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้โดยเฉพาะ การเติมสารมากเกินไปมีผลเสียเช่นกัน ควรปิดปั๊มเติมสารเมื่อหม้อไอน้ำไม่ทำงานเพื่อให้ปริมาณสารที่เหมาะสม ควรควบคุมปั๊มเติมสารให้พร้อมกับปั๊มน้ำเข้าหม้อไอน้ำ (Feed Water Pump)

ตัวอย่างที่ 4

จากการตรวจวัดสภาพนำไฟฟ้าของหม้อไอน้ำตามตัวอย่างที่ 1 พบว่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำเท่ากับ 200 และ 3,500 μs/cm เมื่อเจ้าหน้าที่ได้ทำการปรับคุณภาพของน้ำป้อนเพื่อให้มีคุณภาพดีขึ้นและวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าได้เท่ากับ 100 μs/cm สถานประกอบการจะสามารถลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงได้เท่าไร

วิธีคำนวณ

จากตารางที่ 2.9 เราสามารถประเมินร้อยละของการปล่อยน้ำโบลว์ดาวน์ได้เท่ากับ 6.06 (สภาพนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำเท่ากับ 200 และ 3,500 μs/cm) เมื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อนให้ดีน้ำโดยมีค่าสภาพนำไฟฟ้าได้เท่ากับ 100 μs/cm ประเมินได้ว่าการปล่อยน้ำโบลว์ดาวน์จะลดลงเหลือร้อยละ 2.94

ดังนั้น ปริมาณน้ำป้อนสามารถลดลงเหลือ	= (100 + (6.06 – 2.94)) x 10,000	
	= 103.12 x 10,000	
	= 10,312	kg/h

เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำป้อนเดิม 10,600 ปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ 10,600 – 10,312 = 288 kg/h (หรือ 1,728,000 kg/y เมื่อจำนวนชั่วโมงทำงานของหม้อไอน้ำเท่ากับ 6,000 h/y)

ความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ	= 10,312 x (763 – 105) + 10,000 x (2,766 – 763)	
	= 26,815,296	kJ/h
ความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำลดลง	= 27,004,800 - 26,815,296	kJ/h
	= 189,504	kJ/h
จากตัวอย่างที่ 1 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเท่ากับ 84.4%		
พลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงลดลง	= 189,504 / 0.844	
	= 224,530.8	kJ/h
หรือ	= 224,530.8 x 6,000 / 1,000	MJ/y
	= 1,347,184.8	MJ/y
คิดเป็นปริมาณน้ำมันที่ลดลงต่อปี	= 1,347,184.8 / 40	L/y
	= 33,679.6	L/y
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

2.6.4 การลดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย

พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะถูกนำไปใช้ในการต้มน้ำเพื่อผลิตไอน้ำ โดยผ่านพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนของหม้อไอน้ำแต่ละลูกจะไม่เท่ากัน

ดังนั้น จึงเกิดการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการสูญเสียประมาณ 10-30% ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย

- **ปริมาณอากาศที่ใช้เผาไหม้ไม่เหมาะสม** ถ้าปริมาณอากาศมากเกินไป อากาศส่วนที่ไม่ได้ช่วยในการเผาไหม้ จะพาความร้อนจากห้องเผาไหม้ ทิ้งทางปล่องไอเสียมากขึ้น โดยสังเกตได้จากอุณหภูมิไอเสียที่สูงขึ้น ดังนั้น ควรทำการปรับอัตราส่วนอากาศ (Air Ratio) ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงแต่ละชนิด
- **เขม่า (Soot)** เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงแข็งจะเกิดเขม่ามากกว่าเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ โดยเขม่าจะมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าควัน (Smoke) ดังนั้นจึงเกาะและสะสมอยู่บนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเขม่ามากขึ้นอุณหภูมิไอเสียที่ออกปล่องจะสูงขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียความร้อนออกทางปล่องมากขึ้น โดยทั่วไปเขม่าที่หนาขึ้น 1 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 15-20%
- **ตะกรัน (Scale)** เกิดจากการรวมตัวของสารละลายที่อยู่ในน้ำเกิดเป็นของแข็งเกาะบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดต่ำลง ซึ่งจะทำให้การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียมากขึ้น โดยสังเกตจากอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ซึ่งตะกรันที่หนาขึ้นทุกๆ 1 mm. จะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 2%

ปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาจะทำให้อุณหภูมิไอเสียสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียเพิ่มขึ้น ดังนั้น ผู้ใช้หม้อไอน้ำควรตรวจสอบอุณหภูมิไอเสียเป็นประจำโดยทำการบันทึกอุณหภูมิไอเสียหลังจากปรับตั้งปริมาณอากาศที่เหมาะสมและทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว อุณหภูมิไอเสียที่ได้ไม่ควรเกินค่าในตารางที่ 2.10 บวกกับอุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อมลบด้วย 20 นอกจากนั้น หลังจากใช้งานไประยะหนึ่งจะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิไอเสียสูงกว่าเดิม 20°C ควรทำความสะอาดโดยการขูดเขม่า เพื่อลดการสูญเสียความร้อนดังกล่าว

ตารางที่ 2.10 มาตรฐานอุณหภูมิไอเสียของหม้อไอน้ำ (°C)

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

หมายเหตุ ใช้ที่อุณหภูมิบรรยากาศ 20°C และภาระ 100% และพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสะอาด

การคำนวณการสูญเสียความร้อนจากไอเสีย

การสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสียของหม้อไอน้ำแต่ละชุดไม่เท่ากัน เราสามารถคำนวณการสูญเสียความร้อนจากไอเสีย จากตารางที่ 2.6 ถึง 2.8 และรูปที่ 2.12 ในหัวข้อที่ 2.6.1

ตัวอย่างที่ 5

จากตัวอย่างที่ 1 และ 3 การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียพบว่าเท่ากับ 8% และอุณหภูมิไอเสียเท่ากับ 246°C โดยที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 35°C หากต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยการปรับลดปริมาณ O_2 ในก๊าซไอเสียลงเหลือ 5% ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีค่าเท่าใด (พิจารณาเฉพาะมาตรการปรับลดปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียเท่านั้น)

วิธีคำนวณ

จากรูปที่ 2.12 ข) และตารางที่ 2.7 ที่ปริมาณ O_2 เท่ากับ 5% การสูญเสียในก๊าซไอเสียจะเท่ากับ 10.3%

ดังนั้น ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	= 100 – 10.3 – 1.7 – 1.23 = 86.8	%
หรือเพิ่มขึ้น	= 86.8 – 84.7 = 2.1	%

จากตัวอย่างที่ 1 เพื่อผลิตไอน้ำในอัตรา 10 ตันต่อชั่วโมงต้องป้อนพลังงานความร้อนให้น้ำ

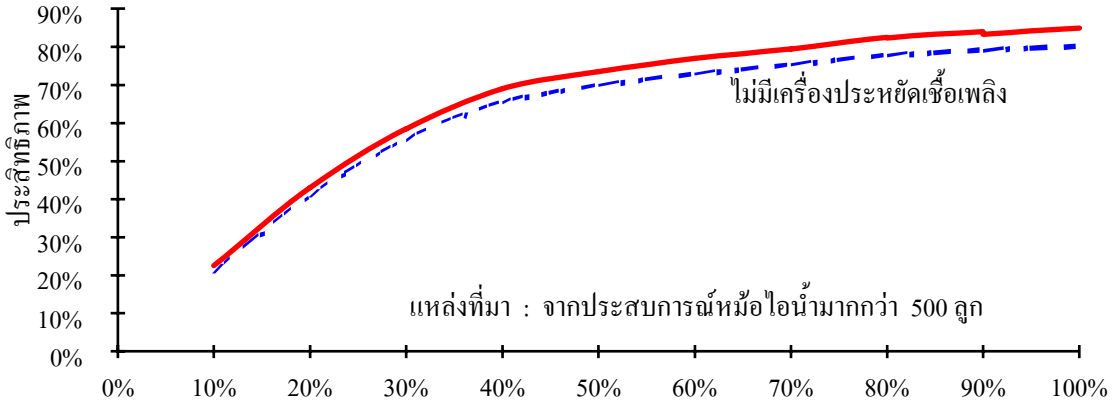
	= 27,124,800	kJ/h
ดังนั้น พลังงานเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	= 27,124,800 / 0.868	kJ/h
	= 31,249,769.6	kJ/h
ปริมาณการใช้น้ำมันเตา	= 31,249,769.6 / 40,000 (ค่าความร้อน≈ 40 MJ/L)	
	= 781.2	L/h (4,687,200 L/y)
ค่าน้ำมันเตาต่อปี	= 4,687,200 x 14	B/y
	= 65,620,800.0	B/y
ราคาไอน้ำต่อตัน	= 65,620,800.0 / (10 x 6,000)	
	= 1,093.7	B/t

2.6.5 เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงหรือเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง

นอกจากการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากปล่องแล้ว เราสามารถนำก๊าซร้อนทิ้งซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 200-250°C มาใช้ประโยชน์ โดยการติดตั้งเครื่องประหยัดเชื้อเพลิง (หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) ที่รอบนอกปล่อง บางส่วนของความร้อนในก๊าซร้อนทิ้งจะถูกนำกลับคืนมาเพื่ออุ่นน้ำเลี้ยงหรือผลิตน้ำร้อนได้ ในทางปฏิบัติจริงต้องคำนวณการประหยัดออกมาเป็นรายกรณี การประหยัดจะได้มากที่สุดก็ต่อเมื่ออุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งสูงและไม่มีการเก็บคืนคอนเดนเสทกลับเข้าไปในหม้อไอน้ำหรือมีก็น้อยมาก

การติดตั้งเครื่องประหยัดเชื้อเพลิงจะคุ้มกับการลงทุนก็ต่อเมื่อ หม้อไอน้ำมีขนาดใหญ่ประมาณ 3 MW (ผลิตไอน้ำประมาณ 3.6 ตัน/ชั่วโมง) หรือใหญ่กว่าในกรณีที่หม้อไอน้ำต้องเดินที่ภาระต่ำๆ เป็นเวลานานๆ ก็จำเป็นต้องติดตั้งทางผ่าน (Bypass) เพื่อบังคับให้ก๊าซร้อนทิ้งออกปล่องไปโดยตรงโดยไม่ผ่านเครื่องประหยัด

เชื้อเพลิง เพื่อหลีกเลี่ยงการกลั่นตัวของกรดที่จะทำให้เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงผุกร่อน อันเนื่องมาจากอุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งต่ำ



รูปที่ 2.13 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำขนาดใหญ่

2.6.6 มาตรการบำรุงรักษา

- ทำความสะอาดหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวทุกสัปดาห์ และเชื้อเพลิงก๊าซทุกเดือน เขม่าหรือสิ่งสกปรกจะทำให้อากาศและเชื้อเพลิงไหลไม่สะดวก ไม่สามารถฉีดเป็นละอองได้
- ตรวจสอบสภาพการเผาไหม้และปรับตั้งอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐานทุกเดือน
- ควรทำเครื่องหมายไว้ที่เกจวัดความดันน้ำมันเชื้อเพลิง หมั่นตรวจสอบว่าความดันยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิม
- ควบคุมอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าเผาไหม้ให้เหมาะสม เชื้อเพลิงที่หนืดเกินไปจะกระจายเป็นละอองได้ไม่ดีส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดต่ำลง ขณะเดียวกันถ้าอุ่นร้อนเกินไป จะสิ้นเปลืองพลังงาน และเกิดคราบเขม่าที่หัวเผา

น้ำมันเตาเอ	อุณหภูมิอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะสม	90–100°C
น้ำมันเตาซี	อุณหภูมิอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะสม	110–120°C

- อุ่นน้ำมันเตาด้วยไอน้ำแทนการใช้ไฟฟ้า เนื่องจากต้นทุนไฟฟ้าสูงกว่าเชื้อเพลิงประมาณ 30 %
- ล้างกรองน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นประจำและปล่อยน้ำก้นถังน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างน้อยปีละครั้ง
- ลดขนาดหัวเผาให้เหมาะกับการผลิตไอน้ำ หากพบว่าหัวเผาทำงานที่ภาระต่ำตลอดเวลาหรือเดินหยุดบ่อย
- อุปกรณ์อุ่นน้ำมันควรมีฉนวนหุ้ม
- ในกรณีของเชื้อเพลิงแข็ง ควรลดความชื้นและลดขนาดของเชื้อเพลิงก่อนเข้าเผาไหม้

2.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ระบบส่งจ่ายไอน้ำทำหน้าที่ส่งไอน้ำที่ผลิตได้ไปยังผู้ใช้ปลายทาง ภายในท่อของระบบส่งจ่ายจะมีการควบแน่นของไอน้ำซึ่งเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จากการเย็นตัวลงของไอน้ำในท่อ เราจำเป็นต้องดึงไอน้ำที่

ควบแน่นเหล่านี้ออกจากระบบท่อ ณ. ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง เพื่อที่จะดึงไอน้ำควบแน่นเหล่านี้ออกมา เราจะติดตั้งอุปกรณ์ดักไอน้ำ (Steam trap) ทั้งในส่วนของระบบส่งจ่ายไอน้ำและส่วนของผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง ข้อมูลชนิดและลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ดักไอน้ำสามารถค้นหาได้จากเอกสารผู้ผลิตอุปกรณ์ได้โดยตรง

2.7.1 การติดตั้งฉนวนกันความร้อน

การปล่อยท่อไอน้ำให้เปลือยไว้โดยไม่มีการหุ้มฉนวน จะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณสูง ความร้อนที่สูญเสียไปเทียบได้กับไอน้ำที่จะเกิดการควบแน่นภายในท่อ ความร้อนที่ใช้งานได้จริงจึงลดลงเท่ากับปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปนั้นด้วยเช่นกัน ปริมาณการสูญเสียความร้อนจากผิวท่อเปลือยจะมากกว่าท่อที่หุ้มฉนวนมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวนอกของท่อหรือฉนวนกับอากาศภายนอก โดยทั่วไปจะประมาณ 5-10%

ฉนวนมีค่าการนำความร้อนต่ำ ฉนวนทำหน้าที่ในการป้องกันหรือหน่วงการถ่ายเทความร้อน ฉนวนที่ใช้หุ้มในระบบไอน้ำ เช่น ที่ท่อไอน้ำ อุปกรณ์ต่างๆ หน้าแปลน วาล์ว ควรเลือกชนิดให้เหมาะสม โดยเป็นฉนวนที่ทนต่ออุณหภูมิของไอน้ำได้ เช่น ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยหิน ปัจจุบันฉนวนความร้อนมีหลายแบบให้เลือกใช้งาน ตามความเหมาะสมของการใช้งาน เช่น แบบแผ่นแข็ง แบบแผ่นม้วน แบบสำเร็จรูปหุ้มท่อ แบบผืนผ้า และแบบฝุ่นผง โดยควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับอุณหภูมิใช้งาน และเลือกวัสดุที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำ ดังตารางที่ 2.11 และ 2.12

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

ท่อไอน้ำทั้งหมดควรหุ้มฉนวนด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและเพื่อลดการสูญเสียความร้อน การสูญเสียความร้อนมากเกินไปไม่เพียงแต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงเท่านั้น ยังทำให้อากาศในห้องร้อนขึ้น และเกิดความไม่สบายในการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน

ตารางที่ 2.11 สมบัติบางประการของฉนวนความร้อน

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

ตารางที่ 2.12 ประเภทของฉนวนและการเลือกใช้

วัสดุฉนวน	ประเภท	อุณหภูมิใช้งานที่ปลอดภัย (°C)	สภาพการนำความร้อน (W/m.K)	จุดเด่น
แอสเบสตอส (Asbestos)	ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 1 ฉนวนแผ่น หมายเลข 2	550 350	ไม่เกิน 0.046-0.048 ไม่เกิน 0.041-0.046	การติดตั้งสะดวก เหมาะสมกับบริเวณสั่นสะเทือน
	ผ้าห่มทนความร้อน เชือกฉนวน	400	ไม่เกิน 0.047 - 0.056	การติดตั้งสะดวก สามารถถอดได้ เหมาะสมกับวาล์วหน้าแปลน
ใยหิน (Rock Wool)	ฉนวนแผ่น ฉนวนทรงกระบอก ฉนวนแถบ	400 – 600	ไม่เกิน 0.034 - 0.041	เหมาะสมกับอุณหภูมิสูง ใช้เป็นฉนวนของหม้อไอน้ำ ถัง ท่อ และทางไฟ เป็นต้น
ใยแก้ว Glass Wool)	ฉนวนแผ่น หมายเลข 1 8K–24K หมายเลข 2 10K–96K หมายเลข 3 96K ฉนวนทรงกระบอกหมายเลข 1 ฉนวนแถบ	300 – 350	ไม่เกิน 0.046-0.034 ไม่เกิน 0.049-0.031 ไม่เกิน 0.034 ไม่เกิน 0.032 ไม่เกิน 0.039	เป็นวัสดุฉนวนที่นิยมใช้กันมากที่สุด สภาพการนำความร้อนต่ำ ความสามารถในการรักษาอุณหภูมิได้ดี
แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate)	ฉนวนแผ่น หมายเลข 1 1,000°C ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 2 650°C	650	ไม่เกิน 0.050 ไม่เกิน 0.046	มีความแข็งแรงมากถ้าทำเป็นแบบสำเร็จรูป การติดตั้งและมีความทนทานได้ดี

ตารางที่ 2.13 ความหนาของฉนวนความร้อนที่เหมาะสมสำหรับหุ้มท่อทางเศรษฐศาสตร์

ระบบท่อ	ช่วงอุณหภูมิของไหล		ขนาดท่อ					
	°C	°F	<1" (33 mm)	1 1"/2 - 2" (42-60mm)	2 1"/2 - 4" (73-14mm)	5" - 6" (140-168mm)	8" - 12" (219-324mm)	14" - 20" (350-500mm)
			ความหนาฉนวน					
ไอน้ำ, ไอร้อนยิ่งยวด	239-320	462-608	2.0"(50 mm)	2.0"(50 mm)	2.5"(63 mm)	3"(63 mm)	3.5"(88 mm)	3.5"(88 mm)
ไอน้ำ,น้ำร้อน	238-152	450-306	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	2.0"(50 mm)	2.5"(63 mm)	3.0"(75 mm)	3.5"(88 mm)
ความดันสูง	151-122	305-251	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	2.0"(50 mm)	2.0"(50 mm)	2.5"(63 mm)	3.0"(75 mm)

ความดันปานกลาง	121-94	250-201	1.0"(25 mm)	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	2.0"(50 mm)	2.0"(50 mm)	2.5"(63 mm)
ความดันต่ำ	93-49	200-120	1.0"(25 mm)	1.0"(25 mm)	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	2.0"(50 mm)
คอนเดนเสท	50-30	148-110	1.0"(25 mm)	1.0"(25 mm)	1.0"(25 mm)	1.5"(38 mm)	1.5"(38 mm)	2.0"(50 mm)

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

การคำนวณการสูญเสียความร้อนของท่อ

ตารางที่ 2.14 ถึง 2.21 แสดงค่าการสูญเสียความร้อนผ่านพื้นผิวท่อและผนังที่หุ้มและไม่หุ้มฉนวนความร้อน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.14 แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน

ตารางที่ 2.15 แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังที่ไม่ได้หุ้มฉนวน

ตารางที่ 2.16 ถึง 2.18 แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อหลังจากหุ้มฉนวนใยแก้ว ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต และฉนวนใยหิน ที่ความหนาที่เหมาะสมตามลำดับ

ตารางที่ 2.19 ถึง 2.21 แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังหลังจากหุ้มฉนวนใยแก้ว ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต และฉนวนใยหิน ที่ความหนาที่เหมาะสมตามลำดับ

ตารางที่ 2.14 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (kW/m)

ขนาดท่อ	ขนาดท่อ (mm)		อุณหภูมิผิวท่อหรือผนังร้อน (°C)													
in.	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 2.15 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 2.16 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 2.17 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 2.18 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	1168	14.34	17.22	20.11	23.01	25.92	25.95	28.55	31.15	33.75	36.36
3/8"	5.65	7.44	9.29	9.86	13.14	16.08	19.33	22.58	25.85	29.13	28.93	31.83	34.74	37.65	40.56
1/2"	6.19	8.17	10.20	10.78	14.37	17.56	21.11	24.68	28.26	31.85	31.44	34.60	37.76	40.92	44.09
3/4"	6.96	9.20	11.51	12.08	16.13	19.66	23.65	27.66	31.69	35.73	34.98	38.50	42.03	45.56	49.09
1"	7.90	10.47	13.11	13.65	18.25	22.20	26.72	31.28	35.85	40.43	39.25	43.21	47.18	51.15	55.12
1.1/4"	9.10	12.07	15.13	15.62	20.91	25.40	30.60	35.83	41.08	46.35	44.59	49.10	53.62	58.14	62.66
1.1/2"	9.91	13.16	16.52	14.37	19.09	27.57	33.23	38.92	44.64	50.38	48.21	53.09	57.98	62.88	67.77
2"	11.50	15.30	19.22	16.39	21.79	31.79	38.34	44.94	51.56	58.22	55.20	60.81	66.42	72.03	77.66
2 1/2"	10.94	14.38	17.90	18.46	24.56	30.91	37.16	43.44	49.74	56.06	54.38	59.86	65.34	70.82	76.31
3"	12.51	16.47	20.52	20.98	27.94	35.23	42.37	49.55	56.76	63.99	61.64	67.86	74.08	80.31	86.54
3 1/2"	13.76	18.12	22.59	22.96	30.59	38.64	46.49	54.38	62.31	70.26	67.37	74.17	80.98	87.80	94.61
4"	15.00	19.76	24.64	24.91	33.21	42.03	50.58	59.18	67.82	76.48	73.04	80.42	87.81	95.21	102.61
5"	17.61	23.23	28.98	25.08	33.30	49.17	50.73	59.25	67.81	76.38	75.51	83.10	90.70	98.30	105.91
6"	20.20	26.66	33.29	28.42	37.76	56.24	57.73	67.44	77.19	86.96	85.59	94.21	102.83	111.46	120.09
8"	25.06	33.10	41.36	34.58	45.98	58.90	62.47	72.91	83.38	93.87	92.97	102.29	111.62	120.95	130.29
10"	30.19	39.91	49.90	40.99	54.54	70.32	71.25	86.67	99.14	111.63	110.04	121.08	132.13	143.19	154.26
12"	35.01	46.31	57.92	46.92	62.47	81.03	85.27	99.56	113.89	128.26	125.99	138.65	151.32	163.99	176.67

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

ตารางที่ 2.19 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
1"	1.5"	2"	2.3	110.08	144.46	179.55	148.87	197.64	246.93	296.55	346.41	396.45	446.61	381.9	420.26	458.66	497.09	535.55

หมายเหตุ : ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 kg/m^3 ค่าการนำความร้อน = 0.042 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2.20 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
1"	1.5"	2"	2.30	114.31	150.13	186.72	155.22	206.22	257.77	309.69	361.87	414.24	466.76	399.40	439.58	479.80	520.04	560.32

หมายเหตุ : ฉนวนใยหิน ความหนาแน่น 40-200 kg/m^3 ค่าการนำความร้อน = 0.044 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2.21 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
1"	1.5"	2"	2.30	124.56	163.92	204.20	170.85	227.35	284.53	342.17	400.13	458.33	516.71	442.91	487.61	532.36	577.15	621.97

หมายเหตุ : ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต ความหนาแน่น 135 kg/m^3 ค่าการนำความร้อน = 0.049 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตัวอย่างที่ 6

จากการตรวจสอบระบบท่อของหม้อไอน้ำตามตัวอย่างที่ 1 พบว่าท่อไอน้ำขนาด 2” ความยาว 50 m. ไม่มีการหุ้มฉนวน จงคำนวณพลังงานที่ประหยัดได้หากท่อความยาวดังกล่าวถูกหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 kg/m^3

วิธีคำนวณ

การหาค่าการสูญเสียความร้อนของท่อก่อนหุ้มฉนวนความร้อน

รายการ	ข้อมูลวัดและคำนวณ
อุณหภูมิผิวท่อที่ไม่หุ้มฉนวน	วัดได้ 180°C (อุณหภูมิไอน้ำ)
ความยาวท่อและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทั้งหมด	ท่อขนาด 2” ความยาว 50 m
จำนวนวาล์วและหน้าแปลนทั้งหมด โดยหน้าแปลนคิดเป็นความยาวเทียบเท่า 0.4 ม./ตัว 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 2.14 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^3
อ่านค่าการสูญเสียความร้อนของฉนวนใยแก้วที่อุณหภูมิผิวท่อ 180°C ของท่อขนาด 2 นิ้ว จากตารางที่ 2.16-2.18	ค่าการสูญเสีย 43.06 W/ m อุณหภูมิพื้นผิวหลังหุ้มฉนวนเฉลี่ย 45.36°C
นำค่าอุณหภูมิผิวท่อก่อนหุ้มฉนวนไปเลือกขนาดความหนาฉนวนที่เหมาะสมจากตารางที่ 2.13	ได้ความหนาฉนวน 1.5” (38 mm.)
ชั่วโมงการใช้งานระบบความร้อนของโรงงาน	= 3,000 h/y
คิดเป็นค่าการสูญเสียความร้อนรวม	= 43(W/m) x (50+6)(m) x 6,000(h/y) x 10^{-3} = 14,448 kWh/y
ความร้อนสูญเสียที่ลดลงจากการหุ้มฉนวน	= 191,520.0 – 14,448.0 = 177,072.0 kWh/y

หมายเหตุ: การหาค่าการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนัง ใช้วิธีเดียวกันกับการหาความร้อนสูญเสียของท่อ โดยใช้ตารางที่ 2.15, ตารางที่ 2.19-2.21 ซึ่งสามารถหาค่าการสูญเสียความร้อนได้

2.7.2 การตรวจสอบกับดักไอน้ำ

เราควรดำเนินการตรวจสอบกับดักไอน้ำเป็นประจำและอย่างเป็นระบบ วิธีการตรวจสอบกับดักไอน้ำมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การตรวจสอบอุณหภูมิสูงที่ท่อทางเข้า การติดตั้งกระจกมองเห็นที่ท่อทางออก หรือการใช้เครื่องมือตรวจสอบอุลตร้าโซนิค (Ultrasonic Detector) ปัจจุบันกับดักไอน้ำสามารถใช้ร่วมกับเครื่องมือตรวจสอบทำให้สามารถทำการตรวจสอบได้ง่าย ตามคู่มือที่แนบมาหรือระบบการตรวจติดตามโดยฐานข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ รายการตรวจสอบกับดักไอน้ำมีดังนี้

- มีช่วงที่กับดักไอน้ำเย็นตัวหรือไม่
- กับดักไอน้ำพ่นไอน้ำทิ้งอยู่ตลอดเวลาหรือไม่
- กับดักไอน้ำอุดตันหรือไม่
- วาล์ว by-pass ของกับดักไอน้ำเปิดทิ้งอยู่หรือไม่
- การติดตั้งกับดักไอน้ำถูกต้องหรือไม่ (ตำแหน่ง ทิศทาง มุม)
- เลือกใช้ชนิดของกับดักไอน้ำเหมาะสมกับอุปกรณ์หรือไม่
- อุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยไอน้ำมีปัญหาอุณหภูมิผิดปกติหรืออุณหภูมิไม่สม่ำเสมอหรือไม่
- กับดักไอน้ำมีน้ำท่วมอยู่หรือไม่
- กับดักไอน้ำที่ติดตั้งอยู่เหมาะสมกับความดันหรือไม่
- ติด Sight Glasses Check เพื่อดูว่ามีการรั่วหรือไม่
- ใช้ Ultrasonic ต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์สูง

กับดักไอน้ำมีรูเล็กๆ และมีส่วนเคลื่อนไหวหลายชิ้น ถ้าไม่มีการดูแลบำรุงรักษาเป็นประจำจะเกิดการอุดตันบางส่วนหรืออุดตันทั้งหมดได้อย่างรวดเร็วด้วยตะกรัน สนิมและอื่นๆ เป็นผลให้การปล่อยคอนเดนเสทออกได้ช้า ออกน้อยหรือไม่ออกเลย เกิดอาการที่เรียกว่า “น้ำขัง” ในเครื่องอุปกรณ์การผลิตทำให้ผลิตช้าลง ผลผลิตไม่ได้คุณภาพตามต้องการ แต่ถ้าตะกรันสนิมไปขัดส่วนเคลื่อนไหวทำให้เปิดค้างตลอดเวลา จะเกิดไอน้ำรั่ว สิ้นเปลืองไอน้ำมาก กระบวนการผลิตไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้น กับดักไอน้ำทุกตัวในโรงงานจึงควรได้รับการตรวจสอบและบำรุงรักษาแก้ไขให้ทำงานเป็นปกติอย่างน้อย 3 เดือนครั้ง

สาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำทำงานไม่ดี

1. คุณภาพไอน้ำไม่ดี (ไอเปียก, ความดันไอน้ำต่ำกว่าพิกัด, ใช้สารเคมีปรุงแต่งน้ำเลี้ยงเข้าหม้อไอน้ำไม่ถูกต้อง)
2. ระบบไอน้ำทำงานไม่ดี (น้ำขังในเครื่องอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ, มีการกัดกร่อน, รั่ว, สั่นสะเทือน)
3. ใช้กับดักไอน้ำไม่ถูกต้องกับงาน
4. ติดตั้งกับดักไอน้ำไม่ถูกต้อง (คอนเดนเสทไม่สามารถหาทางไหลออกไปยังกับดักไอน้ำได้, ไม่อยู่ที่จุดต่ำสุดในระบบ, มีขนาดไม่ถูกต้องกับอัตราการไหลของไอน้ำ/คอนเดนเสท)

- ขนาดเล็กไป (Under Size) ปล่อยคอนเดนเสทได้น้อยกว่าคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น เกิดอาการ “น้ำขัง”
- ขนาดใหญ่ไป (Oversize) ปล่อยคอนเดนเสทได้มากกว่าที่เกิดทำให้มีการเปิด-ปิดถี่มาก วาล์วและบ่าวาล์วสึกหรอเร็ว และเกิดการรั่วของไอน้ำขึ้นได้

5. สิ่งสกปรก และหรือค้อนน้ำ จะทำให้กับดักไอน้ำไม่ทำงาน/ชำรุด
6. มีอากาศในไอน้ำ

2.7.3 การตรวจสอบระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ

ไม่ว่าจะเป็นไอน้ำหรือน้ำหรืออากาศ ต่างก็ต้องส่งด้วยระบบท่อ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากระบบท่อส่งนับเป็นการสูญเสียที่มาก ดังนั้น การตรวจสอบระบบท่ออย่างเคร่งครัดจึงนับเป็นจุดเริ่มต้นของการประหยัดพลังงานที่ดี

- ระบบท่อชำรุดหรือไม่
- มีรอยรั่วจากข้อต่อต่างๆ (หน้าแปลน วาล์ว เป็นต้น) หรือไม่
- มีรอยรั่วจากบริเวณรอยเชื่อมหรือเกลียวต่อหรือไม่
- มีระบบท่อซึ่งไม่ใช้อยู่หรือไม่
- มีท่อไอน้ำบางส่วนแช่อยู่ในน้ำบ้างหรือไม่
- มีการรั่วจากลิ้นนิรภัยหรือไม่
- มีระบบท่อไอน้ำซึ่งเปลือยอยู่หรือไม่

2.7.4 การใช้วาล์วอย่างถูกต้อง

ตรวจดูว่าวาล์วของเชื้อเพลิงไอน้ำและอากาศ เป็นต้น ทำงานได้อย่างสมบูรณ์หรือไม่ นอกจากนี้จะต้องตระหนักไว้ด้วยว่าวาล์วเป็นสิ่งที่รั่วได้ การลืมปิดวาล์วหรือปิดไม่สนิทหลังการปฏิบัติงานมีส่วนให้สูญเสียพลังงานได้อย่างมากมายทีเดียว ดังนั้นจึงขอให้ประหยัดพลังงานโดยการเปิดปิดวาล์วให้ถูกต้อง

- มีการรั่วจากวาล์วหรือไม่
- ตรวจดูอีกครั้งหนึ่งว่าลืมปิดวาล์วขณะเลิกงานหรือขณะหยุดพักหรือไม่
- มีการกำหนดและติดประกาศชื่อผู้รับผิดชอบในการเปิดปิดวาล์วหรือไม่
- เปิดวาล์วเกินจำเป็นหรือไม่
- มีป้ายแสดงการเปิดปิดของวาล์วหรือไม่
- วาล์วที่ติดตั้งเหมาะสมกับความดันหรือไม่
- ตำแหน่งติดตั้งวาล์วเหมาะสมหรือไม่
- ใช้วาล์วทั้ง ๆ ที่ชำรุดหรือไม่

2.8 การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบคอนเดนเสท

ไอน้ำเป็นพลังงานที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม ปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในไอน้ำที่อุปกรณ์ไอน้ำทั่วไปนำมาใช้งานจะมีเพียงความร้อนแฝงของการควบแน่นเท่านั้น ส่วนความร้อนสัมผัส คือ ความร้อนที่มีอยู่ในน้ำควบแน่นมักจะถูกปล่อยทิ้งไปในบรรยากาศ

หากเราสามารถนำความร้อนในน้ำควบแน่นกลับมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมดแล้ว อัตราส่วนของความร้อนที่นำกลับมาใช้ต่อความร้อนทั้งหมดในไอน้ำอาจจะมีค่าสูงถึง 20-30% นอกจากนั้น ยิ่งความดันสูงขึ้นเท่าใด อัตราส่วนนี้ยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น ดังนั้น จึงต้องพยายามเท่าที่จะทำได้ที่จะไม่ปล่อยน้ำควบแน่นทิ้งไปในบรรยากาศ แต่ควรนำกลับมาใช้ในสภาวะความดันสูง

2.8.1 การใช้คอนเดนเสท

การนำน้ำควบแน่นกลับมาใช้เป็นสิ่งสำคัญ วิธีการนำน้ำควบแน่นกลับมาใช้ที่นิยมกันมากที่สุดและมีประโยชน์มาก ได้แก่ การนำกลับมาเป็นน้ำจ่ายให้หม้อไอน้ำ คุณภาพของน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำจะขึ้นอยู่กับประเภทและความดันของหม้อไอน้ำ การควบคุมคุณภาพน้ำเลี้ยงเป็นต้นทุนส่วนหนึ่งของการผลิตไอน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การผลิตน้ำบริสุทธิ์จะมีต้นทุนสูง ดังนั้น การนำน้ำควบแน่นกลับมาใช้เพื่อลดปริมาณน้ำบริสุทธิ์ที่ต้องผลิตจึงมีประสิทธิผลทางเศรษฐศาสตร์อย่างมาก อย่างไรก็ตาม เราต้องระมัดระวังไม่ให้มีสิ่งปลอมปน เช่น อากาศ ละลายในน้ำ น้ำมันและสนิมเหล็กต่างๆ หรือของเหลวในกระบวนการผลิตเข้ามาปะปน เป็นต้น กรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงสิ่งปลอมปนได้ ให้นำกลับมาใช้แต่ความร้อนอย่างเดียว โดยยอมที่จะไม่นำน้ำกลับมาใช้

วิธีนำ Drain กลับมาใช้แบ่งเป็นวิธีส่งกลับด้วยความดันของตัวเองกับวิธีสูบด้วยปั๊ม

- วิธีแรกจะใช้ Back Pressure ของ Drain ส่งกลับด้วยท่อ Recovery ไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ วิธีนี้มีประสิทธิผลดีในกรณีที่ความดันใช้งานของอุปกรณ์ไอน้ำต่างๆ มีค่าค่อนข้างสูง และระยะทางไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำมีระยะทางไม่ไกลมาก
- วิธีหลังยังแบ่งเป็นแบบเปิดกับแบบปิด แบบเปิดจะรวบรวม Drain ใส่ถังเปิด (Recovery Tank) ก่อน แล้วใช้ปั๊มสูบไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก Drain มีอุณหภูมิสูง จึงต้องระมัดระวังในการเลือกประเภทและกำหนดตำแหน่งของปั๊ม ในกรณีของปั๊มทั่วไป จะรองรับ Drain ที่มีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 70-80°C เพื่อป้องกัน Cavitations ส่วนแบบปิดจะใช้ปั๊มซึ่งออกแบบมาสำหรับ Drain Recovery โดยเฉพาะ ปั๊มนี้จะสามารถติดตั้งไว้กลางทางท่อ Drain Recovery ได้ และสูบอัดส่งไปยังถังน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ หรือส่งไปยังหม้อไอน้ำโดยตรงก็ได้

การนำน้ำควบแน่นกลับมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องออกแบบท่อนำกลับน้ำควบแน่นอย่างเหมาะสม กล่าวคือ สมบัติของของเหลวภายในท่อระบายเป็นกระแสของไหลสองสถานะ ได้แก่ ไอน้ำแฟลชกับน้ำระบาย ดังนั้น ในการออกแบบท่อระบายหากกำหนดขนาดของท่อโดยถือว่าเป็นท่อน้ำอุ่นที่มีแต่น้ำระบาย ซึ่งเกิดจากไอน้ำควบแน่นเพียงอย่างเดียว ในทางปฏิบัติแล้วท่อจะมีขนาดเล็กไป ทำให้ความเร็วของของไหลภายในท่อสูงเกินไปมาก ความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น ทำให้ Back Pressure ของกับดักไอน้ำเพิ่มสูงขึ้น ผลลัพธ์คือ เป็นสาเหตุทำให้กับดักไอน้ำมีความจุ (Capacity) ไม่เพียงพอได้ จึงต้องใช้ความระมัดระวัง ช่วงความเร็วของของไหลภายในท่อที่เหมาะสมจะเท่ากับ 5-15 m/s นอกจากนี้ ไอน้ำแฟลชที่เกิดขึ้นในท่อไม่เพียงแต่จะขัดขวางการ

ไหลตามปกติของน้ำระบายเท่านั้น แต่ยังทำให้กับดักไอน้ำมีความสามารถในการระบายลดลงอีกด้วย จึงต้องพยายามเท่าที่จะทำได้ในการออกแบบท่อไม่ให้เกิดของไหลสองสถานะขึ้น

ตารางที่ 2.22 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

การคำนวณอุณหภูมิน้ำหลังจากผสมกับคอนเดนเสท

- วัดอุณหภูมิของน้ำที่จะนำไปผสมกับคอนเดนเสท และอุณหภูมิคอนเดนเสท โดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำ ในตำแหน่งที่น้ำและคอนเดนเสทก่อนเข้าผสม
- ประเมินหรือตรวจวัดสัดส่วนระหว่างคอนเดนเสทต่อน้ำที่เข้าผสม
- นำค่าอุณหภูมิน้ำที่เข้าผสมและคอนเดนเสท รวมทั้งสัดส่วนระหว่างคอนเดนเสทต่อน้ำไปเปิดตารางที่ 2.23 โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำที่เข้าผสมกับคอนเดนเสทจะได้อุณหภูมิน้ำหลังจากผสมกับคอนเดนเสท

การหาอุณหภูมิน้ำป้อนหลังผสมกับคอนเดนเสทและปริมาณพลังงานเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้จากการใช้คอนเดนเสทสามารถคำนวณได้จากการสมดุลมวลและพลังงาน

สมดุลมวล $m_W = m_{CD} + m_M$

สมดุลความร้อน $m_W c_p t_3 = m_{CD} c_p t_1 + m_M c_p t_2$

อุณหภูมิหลังจากผสม $t_3 = \dfrac{m_{CD} c_p t_1 + m_M c_p t_2}{m_W c_p}$

ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัด $Fuel\ saving = \dfrac{m_W c_p (t_3 - t_2)}{LHV \cdot \eta_B}$

เมื่อ m_{CD} = อัตราการไหลของน้ำคอนเดนเสท, kg/s

m_M = อัตราการไหลของน้ำเข้าผสม, kg/s

m_W = อัตราการไหลของน้ำหลังผสม (น้ำป้อนหม้อไอน้ำ), kg/s

t_1 = อุณหภูมิคอนเดนเสทที่เข้าผสม, °C

t_2 = อุณหภูมิน้ำเข้าผสม, °C

t_3 = อุณหภูมิน้ำหลังจากการผสมหรืออุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ, °C

LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง, kJ/kg

η_B = ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

C_p = ค่าความจุความร้อนของน้ำ, 4 .187 kJ/kg °C

ตารางที่ 2.23 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

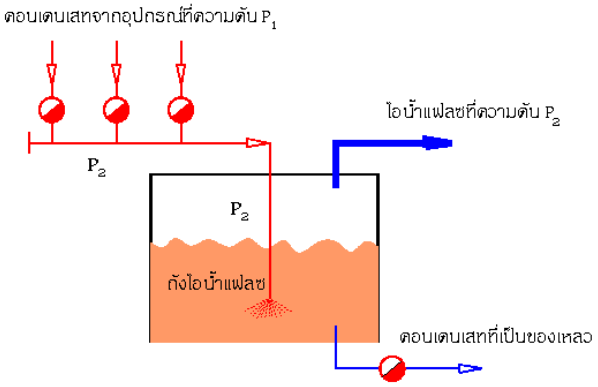
2.8.2 การนำไอน้ำแฟลชกลับมาใช้

ไอน้ำแฟลชเป็นไอน้ำที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้กับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันต่ำ ปริมาณไอน้ำแฟลชจะมากขึ้นเมื่อความแตกต่างระหว่างความดันคอนเดนเสทกับความดันของไอน้ำแฟลชมาก ไอน้ำแฟลชเกิดขึ้นได้โดยการนำคอนเดนเสทที่ออกจากกับดักไอน้ำ (Steam trap) มารวมกันแล้วต่อเข้ากับถังแฟลช ซึ่งมีความดันต่ำกว่าความดันคอนเดนเสท จะทำให้คอนเดนเสทเกิดการระเหยกลายเป็นไอ (รูปที่ 2.14) ซึ่งไอน้ำ

แฟลชที่ได้จากถังแฟลชนี้สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันต่ำ สำหรับขนาดของถังไอน้ำแฟลชที่เหมาะสมสามารถดูได้จาก ตารางที่ 2.24

การคำนวณร้อยละของปริมาณไอน้ำแฟลช

- ตรวจวัดความดันของน้ำร้อนก่อนเข้าถังแฟลชหรือก่อนลดความดัน (ด้านความดันสูง) โดยใช้เครื่องมือวัดความดัน
- ตรวจวัดความดันของไอน้ำหลังจากเข้าถังแฟลชหรือหลังจากลดความดัน (ด้านความดันต่ำ) โดยใช้เครื่องมือวัดความดัน
- นำความดันทั้งสองไปเปิดตารางที่ 2.25 จะได้ร้อยละของไอน้ำแฟลชที่เกิด



รูปที่ 2.14 การเกิดไอน้ำแฟลช

ตารางที่ 2.24 ขนาดของถังไอแฟลชที่เหมาะสม

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

ตารางที่ 2.25 ร้อยละของปริมาณการเกิดไอน้ำแฟลช

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

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

ปริมาณความร้อนสูญเสียจากไอน้ำแฟลช $$Q_{FS} = m_{CD} h_{fg} \frac{R_{FS}}{100}$$

ปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสียจากไอน้ำแฟลช $$Loss_{fuel} = \frac{Q_{FS} \times 10^{-3}}{LHV \times \eta_B}$$

เมื่อ m_{FS} = ปริมาณไอน้ำแฟลช (kg/s)

m_{CD} = ปริมาณน้ำคอนเดนเสท (kg/s)

$h(P_1)$ = เอนทาลปีของน้ำคอนเดนเสทที่ความดัน P_1 (kJ/kg) (ก่อนการแฟลช)

$h(P_2)$ = เอนทาลปีของน้ำคอนเดนเสทที่ความดัน P_2 (kJ/kg) (หลังการแฟลช)

$h_{fg}(P_2)$ = เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดัน P_2 (kJ/kg)

LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง MJ/kg

η_B = ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

ตัวอย่างที่ 7

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

ระบบผลิตไอน้ำได้	= 10,000	kg/h
ปริมาณน้ำป้อน	= 10,600	kg/h (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 2.23 คำนวณอุณหภูมิน้ำป้อนได้ดังนี้

ค่าอัตราส่วนของ คอนเดนเสท : น้ำเติม = (6,000 / 10,600) : (4,600 / 10,600)

= 56.6 : 43.4

ที่อุณหภูมิน้ำเติม 25°C และคอนเดนเสท 100°C จะได้อุณหภูมิน้ำป้อน = 66.8°C

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

จากตารางไอน้ำ น้ำป้อนที่อุณหภูมิ 97.5°C มีพลังงานความร้อน	= 408.5	kJ/kg
ความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ	= 10,600 x (763 – 408.5) + 10,000 x (2,778 – 763)	
	= 23,907,700	kJ/h
ความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำลดลง	= 27,124,800 - 23,907,700	kJ/h
	= 3,217,100	kJ/h
จากตัวอย่างที่ 1 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเท่ากับ 84.7%		
พลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงลดลง	= 3,217,100 / 0.847	
	= 3,798,229	kJ/h
หรือ	= 3,798,229 x 6,000 / 1,000	MJ/y
	= 22,789,374	MJ/y
คิดเป็นปริมาณน้ำมันที่ลดลงต่อปี	= 22,789,374 / 40	L/y
	= 569,734.4	L/y
ค่าน้ำมันต่อปี	= (4,800,000 – 569,734.4) x 14	
	= 59,223,718.4	B/y

ราคาไอน้ำต่อตัน (เมื่อมีการนำคอนเดนเสทกลับมา)

= 59,223,718.4 / (10 x 6,000)

= 987.1 B/t

ราคาไอน้ำต่อตัน (เดิมเมื่อไม่มีการนำกลับคอนเดนเสท) = 1,120 B/t

จากตัวอย่างนี้ จะเห็นได้ว่า ประโยชน์จากการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ นอกเหนือจากการลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงแล้ว ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายของน้ำประปาที่จะต้องป้อนให้กับหม้อไอน้ำในปริมาณเท่าๆ กับคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ รวมถึงยังสามารถลดค่าการปรับปรุงสภาพน้ำให้เหมาะสมอีกด้วย

2.9 เครื่องผลิตไอน้ำ (Steam Generators or Once Through Boiler)

ในกรณีที่มีภาระไอน้ำน้อยควรเลือกเครื่องผลิตไอน้ำ (Steam Generator or Once through Boiler) มาใช้แทนหม้อไอน้ำ เครื่องผลิตไอน้ำเป็นชนิดหนึ่งของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ โดยไม่มีหม้อพักไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำจนได้ความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ได้รวดเร็วกว่า

เครื่องผลิตไอน้ำจะทำงานก็ต่อเมื่อต้องการไอน้ำเท่านั้นการที่เครื่องผลิตไอน้ำไม่มีหม้อพักไอน้ำทำให้สามารถลดการสูญเสียพลังงานลงได้มากในช่วงเวลาที่หยุด (Idle Periods)

ข้อดี

- ราคาถูก (ประมาณครึ่งหนึ่งของหม้อไอน้ำ)
- ตอบสนองต่อความต้องการไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว
- สามารถติดตั้งใกล้ๆ กับจุดที่ต้องการใช้ไอน้ำ ซึ่งจะลดการสูญเสียความร้อนในด้านการแจกจ่ายไอน้ำไปใช้ประโยชน์
- ขดไส้ไก่ไอน้ำ (Steam Coil) ในเครื่องผลิตไอน้ำจะมีความแข็งแรง แต่ผนังของขดจะบางกว่า (เปรียบเทียบกับท่อของหม้อไอน้ำ)

ข้อเสีย

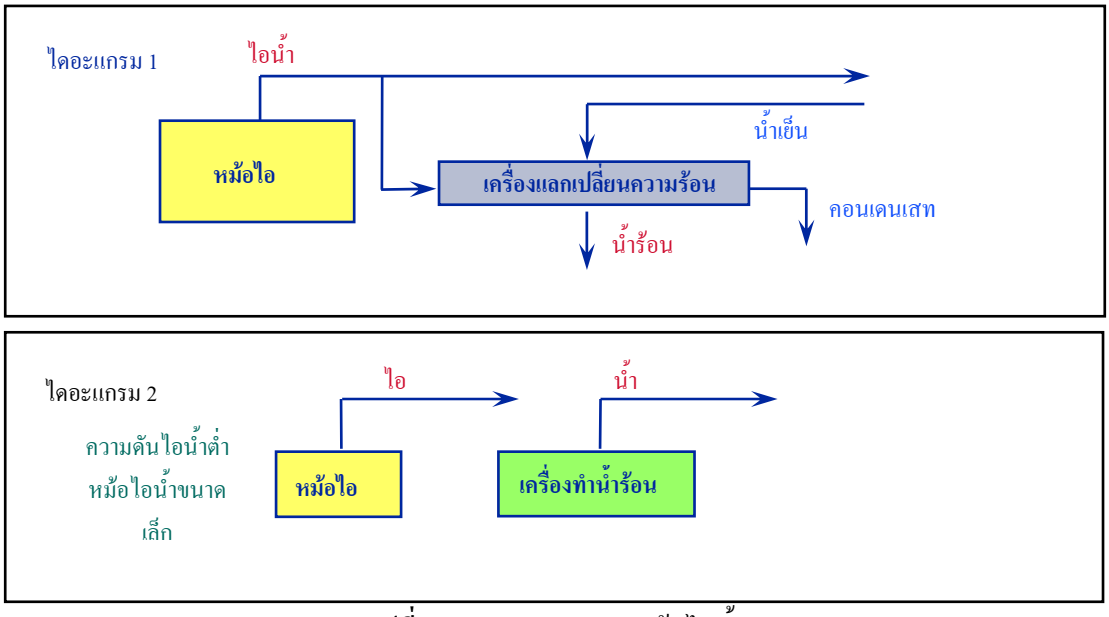
- ประสิทธิภาพต่ำ : จำนวนกลับของท่อมีน้อยกว่า ทำให้ลดเวลาที่น้ำไหลอยู่ในหม้อไอน้ำ หมายถึงเวลาที่น้ำจะกลายเป็นไอน้ำมีเวลาน้อยเป็นผลให้ต้องใช้เชื้อเพลิงมากขึ้น
- อุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งออกปล่องสูงกว่าเป็นผลให้การสูญเสียความร้อนไปทางปล่องและการสูญเสียจากการแผ่รังสีสูงกว่า

2.10 การใช้น้ำร้อน

ในสถานประกอบการที่มีความต้องการใช้ทั้งไอน้ำและน้ำร้อน มักจะมีหม้อไอน้ำหนึ่งลูกเพื่อผลิตไอน้ำความดันปานกลาง และนำไอน้ำส่วนหนึ่งไปใช้เพื่อผลิตน้ำร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) (ไดอะแกรม 1) แทนที่จะใช้หม้อไอน้ำขนาดใหญ่ 1 ลูก เป็นการดีที่จะใช้หม้อไอน้ำเล็กๆ หนึ่งลูกผลิตไอน้ำความดันต่ำและเครื่องทำน้ำร้อน 1 ลูกแทน (ไดอะแกรม 2) ด้วยเหตุผลดังนี้

- หม้อไอน้ำจะมีประสิทธิภาพมากกว่า เมื่อใช้งานที่ความดันไอน้ำต่ำ ๆ

- หม้อไอน้ำขนาดใหญ่จะมีการสูญเสียโดยการแผ่รังสีมากกว่าหม้อไอน้ำขนาดเล็ก
- หม้อไอน้ำจะมีการสูญเสียทางปล่อง (Stack Losses) สูงกว่าเครื่องทำน้ำร้อน



รูปที่ 2.15 การทำงานของหม้อไอน้ำ

ในงานที่ต้องการอุณหภูมิสูงมาก (เช่น 260°C) หม้อต้มน้ำมันร้อน (Thermal Oil Boiler) สามารถทำความร้อนได้ถึง 350°C ที่ความดันบรรยากาศ จึงควรเลือกใช้แทน หม้อไอน้ำความดันสูง

ในระบบนี้ ปั๊มจะทำหน้าที่ส่งน้ำมันร้อน 350°C ด้วยความดันต่ำ (2-3 bar) ไปยังกระบวนการผลิตที่อยู่ไกลๆ หลังจากน้ำมันร้อนถ่ายเทความร้อนให้กับงานแล้ว อุณหภูมิจะลดลง 10-20°C ก็จะไหลกลับเข้าไปรับความร้อนในหม้อต้มจนมี อุณหภูมิ 350°C

จากคุณสมบัติไอน้ำ ถ้าต้องการอุณหภูมิ 260°C ไอน้ำจะต้องมีความดันสูงถึง 47 bar หม้อไอน้ำความดันสูงจะมีราคาแพงมาก ระบบท่อไอน้ำ และเครื่องอุปกรณ์ใช้ไอน้ำจะต้องออกแบบให้ทนความดันสูงได้ การใช้งานต้องการการควบคุมดูแล และบำรุงรักษาอย่างละเอียดรอบคอบ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยตลอดเวลาเป็นผลให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องและการบำรุงรักษาสูง ดังนั้นการใช้หม้อต้มน้ำมันร้อนทำงานที่ความดันต่ำและการใช้ระบบท่อความดันต่ำจึงมีความปลอดภัยกว่า

2.11 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่ 1 การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้

โรงแรมแห่งหนึ่งซึ่งมีจำนวนห้องพัก 460 ห้อง อาคารมีความสูง 38 ชั้น หม้อไอน้ำที่ใช้เป็นชนิดท่อไฟ ขนาดพิกัดกำลังผลิตไอน้ำติดตั้ง 1 ตันไอน้ำ จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จากการสังเกตปล่องหม้อไอน้ำทั้งสองลูกพบว่ามีควันน้อย เมื่อได้ทำการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย พบว่าหม้อไอน้ำทั้งสองลูกมีปริมาณออกซิเจนในไอเสียเฉลี่ย 8.2%	ทำการปรับลดปริมาณอากาศที่ใช้เผาไหม้ โดยการปรับแดมเปอร์ ทำให้สามารถลดปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียเหลือ 5.2%

การตรวจและวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำ

ข้อมูล	สัญลักษณ์	หน่วย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ข้อมูลทั่วไป				
ชนิดหม้อไอน้ำ			ท่อไฟ	ท่อไฟ
เส้นผ่านศูนย์กลาง	D	m.	1.7	1.7
ความยาว	L	m.	3.2	3.2
ขนาดพิกัดกำลังผลิตไอน้ำ	Cap	Ton/hr	10	10
ความดันไอน้ำใช้งาน	P	kg/cm^2	6.5	6.5
เวลาทำงาน	H	hr/y	5,293	5,293
อุณหภูมิแวดล้อมหม้อไอน้ำ	T_r	°C	35	35
เชื้อเพลิง				
ชนิดเชื้อเพลิง			ดีเซล	ดีเซล
อุณหภูมิน้ำมัน	T_F	°C	36.3	36.3
ความหนาแน่นน้ำมัน	ρ_F	kg/L	0.88	0.88
ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง	HHV	MJ/kg	43.1	43.1
ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง	LHV	MJ/kg	39.8	39.8
ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง	C_p	kJ/kg. °C	1.88	1.88
ปริมาณน้ำมันที่ใช้	V_F	Liter/hr	36	33
ราคาเชื้อเพลิง		Baht/Liter	20	20
อุณหภูมิอากาศที่ใช้เผาไหม้	T_a	°C	35	35
น้ำป้อน				
อัตราการป้อนน้ำ	m_W	kg/hr	470	470
อุณหภูมิน้ำป้อน	T_W	°C	68.5	68.5
ก๊าซไอเสีย				
ปริมาณ CO	CO	ppm	48	51
ปริมาณ O_2	O_2	%	8.0	5.0
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย	T_{FLUE}	°C	210.6	209.6
โบลว์ดาวน์				
อัตราการโบลว์ดาวน์	m_B	kg/hr	9.4 (2%)	9.4 (2%)
อุณหภูมิน้ำโบลว์ดาวน์	T_B	°C	161	161
การแผ่รังสีความร้อน				
ส.ป.ส การแผ่รังสี	e	-	0.8	0.8

ข้อมูล	สัญลักษณ์	หน่วย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
พื้นที่ผิว	A	m^2	21.6	21.6
อุณหภูมิผิว	T_{surf}	°C	48	48
การวิเคราะห์หม้อไอน้ำ				
ความร้อนเข้า				
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
ผลรวมความร้อนที่ป้อนเข้า $Q_{in} = Q_C + Q_S + Q_W$	Q_{in}	MJ/hr	1,273.1	1,220.9
ความร้อนออก				
การสูญเสียความร้อนในก๊าซไอเสีย				
ผลต่างอุณหภูมิไอเสียกับสิ่งแวดล้อม $DT = (T_{FLUE} - T_r)$	DT	°C (°F)	175 (347)	175 (347)
ปริมาณ CO_2 ในไอเสีย (รูปที่ 2.12 ก)	CO_2	%	9.6	11.9
ปริมาณอากาศส่วนเกิน (รูปที่ 2.12 ก)		%	58	29
ร้อยละการสูญเสียความร้อนทางปล่อง (ค่าจากการเปิดตารางที่ 2.6 และหักด้วย 5 สำหรับกรณีค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง)		% (LHV)	13.9	10.1
ความร้อนสูญเสียของก๊าซไอเสีย	Q_E	MJ/hr	167.8	115.5
การสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์				
เอนทาลปีของน้ำโบลว์ดาวน์	h_B	kJ/kg	684.2	684.2
ความร้อนสูญเสียจากโบลว์ดาวน์ $Q_B = (M_B \times h_B) - (M_B \times C_p \times T_r)$	Q_B	MJ/hr	5.1	5.1
การสูญเสียความร้อนจากผนังหม้อไอน้ำ				
ความร้อนสูญเสียจากผนังหม้อไอน้ำ $Q_R = Q_{conv} + Q_{rad}$	Q_R	MJ/hr	5.6	5.6
ความร้อนของไอน้ำ	Q_S	MJ/hr	1,094.6	1,094.6

ข้อมูล		สัญลักษณ์	หน่วย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
	$Q_S = Q_{in} - Q_E - Q_B - Q_R$				
	รวมความร้อนออก	Q_{out}	MJ/hr	1,273.1	1,220.9
สมรรถนะหม้อไอน้ำ					
	ปริมาณไอน้ำที่ผลิต $m_S = m_W - m_B$	m_S	kg/hr	460.6	460.6
	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (ค่าความร้อนต่ำ) $Eff = Q_S / Q_{in}$	Eff	%	85.6	89.6
	ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ		Baht/kg	1.56	1.43

กรณีศึกษาที่ 2 การลดแรงดันของไอน้ำที่ผลิต

โรงแรมแห่งหนึ่งซึ่งมีจำนวนห้องพัก 400 ห้อง หม้อไอน้ำที่ใช้กับโรงแรมแห่งนี้เป็นชนิดท่อไฟ ขนาดพิกัดกำลังผลิตไอน้ำติดตั้ง 2 ตันไอน้ำ จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
หม้อไอน้ำปรับตั้งความดันไอน้ำที่ 105 psig มีอุณหภูมิ 172°C ซึ่งสูงเกินกว่าความต้องการของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในโรงแรม ทำให้หม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงเกินกว่าที่จำเป็น	ทำการปรับลดความดันไอน้ำลงเป็น 90 psig มีอุณหภูมิ 166°C ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

การตรวจและวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำ

ชนิดไอน้ำที่ใช้	=	ไอน้ำอิ่มตัว	
ขนาดหม้อไอน้ำ	=	2	ตัน/ชั่วโมง
จำนวนหม้อไอน้ำ	=	2	ชุด
เปอร์เซ็นต์การทำงาน	=	17	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	365	วัน/ปี

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ (Psig)	105	90
อุณหภูมิไอน้ำ (°C)	172	166
เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)	2770.31	2,764.72

พลังงานจากไอน้ำที่ลดลง	= (2,770 kJ/kg – 2,764.72 kJ/kg) x (2,000 kg/h) x (17 h/d) x 0.7 x (365 d/y)	
	= 48,555,117.80	kJ/y
	= 48,555.12	MJ/y
ค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเตา	= 39.77	MJ/L
คิดเป็นปริมาณน้ำมันเตา	= 48,555.12 / 39.77	
	= 1,220.90	L/y
ราคาน้ำมันเตาเฉลี่ย	= 16	฿/L
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 1,220.90 x 16	
	= 19,534.4	฿/y

ข้อควรระวัง :

1. การปรับลดความดันไอน้ำ จะส่งผลให้อุณหภูมิไอน้ำลดลง (กรณีไอน้ำอิ่มตัว) ดังนั้นอาจทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำต้องการปริมาณไอน้ำเพิ่มขึ้น
2. หากภาระของหม้อไอน้ำใกล้เคียงพิกัด การลดความดันไอน้ำที่หม้อไอน้ำอาจส่งผลให้เกิด Carry over

กรณีศึกษาที่ 3 การลดการโบลว์ดาวน์

โรงแรมแห่งหนึ่ง ติดตั้งหม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ ขนาดพิกัดกำลังผลิตไอน้ำ 4 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด โดยทำงาน 20 ชั่วโมงต่อวัน และใช้น้ำมันเตาเกรดเอเป็นเชื้อเพลิง

จากการสำรวจพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำของหม้อไอน้ำอยู่ที่ 685 ppm ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานพิกัดของหม้อไอน้ำที่มีแรงดันต่ำกว่า 150 psig ที่ยอมให้ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำอยู่ที่ 3,500 ppm โรงแรมจะทำการโบลว์ดาวน์วันละ 2 ครั้ง จากค่าความเข้มข้นของสารละลายของน้ำ โรงแรมไม่มีความจำเป็นต้องโบลว์ดาวน์ เนื่องจากน้ำยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ข้อมูลจากการตรวจวัดพบว่า โรงแรมสูญเสียน้ำโบลว์ดาวน์ที่อุณหภูมิ 95°C ในอัตรา 6 ลิตร/นาที หรือ 3,153.6 ลบ.ม./ปี และยังสูญเสียน้ำประปา 28 ลิตร/นาที หรือเท่ากับ 14,716.80 ลบ.ม./ปี หากโรงแรมสามารถลดการโบลว์ดาวน์ลงได้จะทำให้โรงแรมลดการใช้ไอน้ำและเชื้อเพลิง

การตรวจและวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำ

โรงแรมจะต้องทำการตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายในน้ำและความถี่ในการโบลว์ดาวน์ หากพบว่าความเข้มข้นของสารละลายในน้ำของหม้อไอน้ำมีค่าต่ำกว่า 3,500 ppm โรงแรมจะต้องหยุดการโบลว์ดาวน์และปรับความถี่ของการโบลว์ดาวน์ เพื่อมิให้โรงแรมต้องสูญเสียน้ำในหม้อไอน้ำ ในกรณีของโรงแรมนี้สามารถลดการโบลว์ดาวน์ได้เป็น 1 ครั้ง/วัน ครั้งละไม่เกิน 5 นาที

ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเฉลี่ย	= 84.52	%

การใช้งาน	= 7,300	h/y
อุณหภูมิน้ำป้อน	= 95.0	°C
อัตราการโบลว์ดาวน์	= 360	L/h
อัตราการไหลของน้ำประปาที่รั่วจากวาล์ว	= 1,680	L/h
ค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเตาเกรดเอ	= 39.77	MJ/L
ค่าน้ำเฉลี่ย	= 17.11	฿/L
ค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ย	= 14.31	฿/L

ผลประหยัด

น้ำร้อน = อัตราการไหลของน้ำรั่ว (L/h) x ชั่วโมงใช้งาน (h/y)

= (360 x 7,300) / 1,000

= 2,628 m^3/y

น้ำประปา = อัตราการไหลของน้ำรั่ว (L/h) x ชั่วโมงใช้งาน (h/y)

= (1,680 x 7,300) / 1,000

= 12,264 m^3/y

ค่าน้ำประปาสูญเสีย = (2,628 m^3/y + 12,264 m^3/y) x 17.11 ฿/L

= 254,802.12 ฿/y

ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำที่รั่ว (น้ำร้อน)

Q_w = F_w x D_w x C_p x (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 x D_w x C_p x (T_w – T_{wo})

= (360 L/h x 1 x 4.187 kJ/kg.°C) x (95°C - 25°C) / 1,000

= 105.51 MJ/h

คิดเทียบเป็นน้ำมันเตาเกรดเอ	= $(Q_w / LHV) / \eta$	
	= (105.51 / 39.77) / 0.8452	
	= 3.29	L/h
	= 3.29 x 7,300	L/y
	= 24,017	L/y
ค่าเชื้อเพลิง	= 24,017 (L/y) x 14.31 (฿/L)	
	= 343,683.27	฿/y
ผลประหยัดรวมที่เกิดขึ้น	= ค่าน้ำ + ค่าเชื้อเพลิง	
	= 254,802.12 + 343,683.27	
	= 598,485.39	฿/y

การลงทุน

ค่าวาล์วควบคุมขนาด 1.5 นิ้ว จำนวน 4 ชุด = 91,440 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 91,440 / 598,485.39

= 0.15 ปี

2.12 เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน

การใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน (Heat Pump for Process Heating)

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

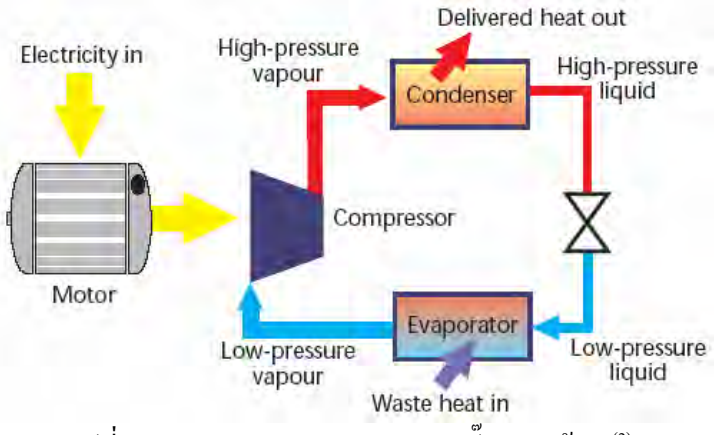
ปั๊มความร้อน คืออะไร

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

ส่วนประกอบการทำงานหลักของปั๊มความร้อน ประกอบด้วย

- อีวาพอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากภายนอกเข้าสู่วงจรปั๊มความร้อน. โดยสารทำความเย็นที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกจะดึงความร้อนจากภายนอกและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ

- คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่เพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในสถานะไอที่อุณหภูมิต่ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าภายนอกและส่งต่อไปที่คอนเดนเซอร์
- คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำความเย็นที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่ความดันสูงไหลต่อไปยังเอ็กซ์แพนชั่นวาล์ว
- เอ็กซ์แพนชั่นวาล์ว ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นเพื่อป้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์



รูปที่ 1.1: แสดงวัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน [2]

จึงเห็นได้ว่าปั๊มความร้อนจะทำงานโดยใช้การหมุนเวียนของสารทำความเย็นเพื่อพาความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำมาให้แก่ด้านที่ต้องการอุณหภูมิสูงได้ โดยใช้พลังงานจากคอมเพรสเซอร์ ความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อนจึงมีค่าเท่ากับ ความร้อนจากภายนอกผ่านอีวาพอเรเตอร์รวมกับพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์

การประยุกต์ใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อนในกระบวนการผลิต

จากหลักการทำงานของปั๊มความร้อนจะเห็นได้ว่าปั๊มความร้อนสามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ความร้อนในอากาศหรือแหล่งความร้อนสูญเสียซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนตามปกติ มาทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ได้

ในระบบปั๊มความร้อนทั่วไปซึ่งมีค่า COP (Heating) เท่ากับ 3 พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปที่คอมเพรสเซอร์เพียง 1 ส่วนสามารถสร้างความร้อนได้ถึง 3 ส่วน โดยพลังงานความร้อนอีก 2 ส่วนจะดึงมาจากอากาศภายนอกหรือความร้อนสูญเสียจากกระบวนการอื่นได้ ดังนั้นปั๊มความร้อนจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงสำหรับการทำความร้อน ได้แก่ การผลิตน้ำร้อนสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในอาคาร รวมทั้งการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

เทคโนโลยีปั๊มความร้อนสามารถนำมาเปลี่ยนใช้แทนหม้อต้มน้ำหรือหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงหรือไฟฟ้า เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 50 – 60 ^{o}C สำหรับกระบวนการผลิตหรือการใช้งานต่างๆในอาคาร และใช้ทดแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ไอน้ำ หรือไฟฟ้า ในกระบวนการทำความร้อนหรือการอบแห้งผลิตภัณฑ์ เช่น พืชผลทางการเกษตร อาหาร ไม้ ที่มีอุณหภูมิไม่สูงนักประมาณไม่เกิน 60 ^{o}C ซึ่งเมื่อพิจารณาในแง่ประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การทำงาน (COP) แล้ว ปั๊มความร้อนโดยทั่วไปซึ่งมีค่า COP มากกว่า 3 จึงมีประสิทธิภาพมากกว่าการผลิตความร้อนโดยใช้ก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันที่มีค่า COP ประมาณ 0.75 – 0.95 มาก

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของการใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตความร้อน เปรียบเทียบกับการใช้หม้อต้มน้ำด้วยน้ำมันเตา LPG และไฟฟ้า [5] ปั๊มความร้อนมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้มากกว่า 60% โดยสามารถประเมินเปรียบเทียบในกรณีการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 55 ^{o}C จากน้ำดิบอุณหภูมิ 27 ^{o}C ปริมาณ 16,000 ลิตรต่อวัน (เทียบเท่าปริมาณการใช้น้ำร้อนสำหรับโรงแรมขนาด 100 ห้อง) ดังนี้

พลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการผลิตน้ำร้อน 448,000 กิโลแคลอรี่

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

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

ตารางที่ 3.1: แสดงศักยภาพการประหยัดพลังงานของปั๊มความร้อน [5]

นอกจากนี้จากข้อมูลการติดตั้งใช้งานปั๊มความร้อนในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยังแสดงถึงปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้ซึ่งมากกว่า 30% ในหลายๆกระบวนการ [2]

4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยีปั๊มความร้อนเหมาะสำหรับการใช้ผลิตความร้อน ได้แก่ น้ำร้อน หรืออากาศร้อน สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคาร ในช่วงอุณหภูมิของการทำความร้อนไม่เกิน 60 ^{o}C ซึ่งเป็นช่วงที่ปั๊มความร้อนทำงานที่ประสิทธิภาพสูง โดยการผลิตความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้ปั๊มความร้อนมีประสิทธิภาพลดลงมาก รวมทั้งข้อจำกัดของคอมเพรสเซอร์ที่ไม่สามารถทำงานได้อุณหภูมิสูงกว่าช่วง 80 – 90 ^{o}C

5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ ได้แก่

- โรงงานผลิตอาหารและเครื่องดื่ม
- โรงงานเคมี
- โรงงานสิ่งทอ
- โรงงานผลิตชิ้นส่วนโลหะ
- โรงงานอบแห้งไม้แปรรูป
- อาคารโรงแรม
- อาคารโรงพยาบาล
- ฯลฯ

6. ราคาของเทคโนโลยี

ราคาของระบบปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน จะขึ้นอยู่กับขนาดติดตั้งของระบบและประเภทการติดตั้งใช้งาน โดยจากข้อมูลผู้จำหน่ายระบบ [6] และกรณีศึกษาการติดตั้งในประเทศไทย [4] [5] ค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแบบวงจรปิดจะอยู่ระหว่าง 12,000 – 28,000 บาทต่อกิโลวัตต์ความร้อนหรือ 3,500,000 – 8,200,000 บาทต่อ MMBtu

7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

จากข้อมูลจากกรณีศึกษาการติดตั้งในประเทศไทย [4] [5] [6] เทคโนโลยีการใช้ปั๊มความร้อนในการทำความร้อนสามารถให้ผลประหยัดซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 – 5 ปี ซึ่งในบางกรณีปั๊มความร้อนอาจให้ระยะเวลาคืนทุนไม่ถึง 1 ปี

8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีปั๊มความร้อนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำอยู่ในระดับเดียวกับระบบเครื่องปรับอากาศทั่วไป

9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย

จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. ประมาณการว่ามีการนำเทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวไปประยุกต์ใช้แล้วกับสถานประกอบการประมาณไม่เกิน 4% ของจำนวนสถานประกอบการที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้ (ประมาณ 100 แห่งจาก 2,741 แห่ง)

โดยเมื่อพิจารณากลุ่มเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ ในกลุ่มอุตสาหกรรมและอาคารที่มีศักยภาพแล้วพบว่าเทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 9,797 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศในปี 2549 [7] และจากการประมาณการในกรณีที่ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 19,594 ล้านบาท

10. ตัวอย่างกรณีศึกษา

กรณีศึกษา:	โรงแรม The Royal City
ประเภทอาคาร:	โรงแรมขนาดห้องพัก 400 ห้อง
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนแทนการใช้หม้อไอน้ำเดิมซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง
เงินลงทุน:	1,120,000 บาท (ระบบปั๊มความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 5.25 kW ซึ่งมีอัตราการทำน้ำร้อนได้ 861 ลิตรต่อชั่วโมง รองรับภาระการใช้น้ำร้อนได้ 20,000 ลิตรต่อวัน ทำงานร่วมกับถังเก็บน้ำร้อนขนาด 13,000 ลิตร จำนวน 2 ถัง)
ผลประหยัดพลังงาน:	น้ำมันเตา 70,273 ลิตร/ปี (2,795 GJ/ปี) ใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 37,405 kWh/ปี (135 GJ/ปี)
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	517,412 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-
ระยะเวลาคืนทุน:	2.16 ปี

กรณีศึกษา:	โรงแรม Mike
ประเภทอาคาร:	โรงแรมขนาดห้องพัก 110 ห้อง
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนแทนการใช้หม้อทำน้ำร้อนเดิมซึ่งใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง
เงินลงทุน:	557,000 บาท (ระบบปั๊มความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 11 kW ซึ่งมีอัตราการทำน้ำร้อนได้ 1,200 ลิตรต่อชั่วโมง พร้อมถังเก็บน้ำร้อนขนาด 3,000 ลิตร)
ผลประหยัดพลังงาน:	LPG 17,520 kg/ปี (880 GJ/ปี) ใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 54,073 kWh/ปี (195 GJ/ปี)
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	131,351 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-

ระยะเวลาคืนทุน: 4.24 ปี

กรณีศึกษา: จากกรายงาน Energy Audit โรงงานประกอบรถยนต์
ประเภทอาคาร: โรงงานประกอบรถยนต์
การใช้เทคโนโลยี: ติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนแทนการใช้หม้อไอน้ำเดิมซึ่งใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง
เงินลงทุน: 420,000 บาท (ระบบปั๊มความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 7.8 kW ซึ่งมีอัตราการทำน้ำร้อนได้ 700 ลิตรต่อชั่วโมง)
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้: 180,181 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้: -
ระยะเวลาคืนทุน: 2.32 ปี

บทสรุป

เนื้อหาในบทนี้ได้บรรยายให้เห็นว่าระบบไอน้ำเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานสูงและมีศักยภาพที่จะดำเนินการเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน

ระบบไอน้ำประกอบด้วยระบบย่อยๆ ได้แก่ (1) หม้อไอน้ำ (2) ระบบส่งจ่ายไอน้ำ (3) ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น (คอนเดนเสท) และ (4) อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ (ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง)

ในระบบไอน้ำ หม้อไอน้ำที่ใช้งานอยู่สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำและชนิดท่อไฟ การทำงานของหม้อไอน้ำไม่ว่าประเภทใดจำเป็นต้องดูแลโดยเจ้าหน้าที่หรือบุคลากรที่มีความรู้ความเข้าใจหลักการทำงานของหม้อไอน้ำอย่างพอเพียง ต้องมีความเข้าใจในเรื่อง

- ประเภทและการใช้งานหัวเผาให้เหมาะสมลักษณะของภาระไอน้ำ
- การเผาไหม้เบื้องต้น ได้แก่ อัตราส่วนอากาศตามทฤษฎี อากาศส่วนเกิน ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำกับอากาศส่วนเกิน
- การระบายน้ำ (โบลว์ดาวน์) เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำ และผลที่เกิดขึ้นต่อการใช้พลังงานของหม้อไอน้ำ
- ข้อควรปฏิบัติในการใช้หม้อไอน้ำเพื่อให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และอนุรักษ์พลังงาน

ในระบบส่งจ่ายไอน้ำ บทนี้ได้บรรยายเกี่ยวกับกับดักไอน้ำซึ่งมีอยู่มากมายหลายประเภท การใช้กับดักไอน้ำที่ถูกต้อง แม้ผู้เข้าอบรมไม่ต้องจดจำทั้งหมด แต่อย่างน้อยต้องทราบว่ากับดักไอน้ำเป็นองค์ประกอบหนึ่งในระบบที่มีส่วนในการทำให้ระบบไอน้ำโดยรวมทำงานได้ปกติ รวมถึงการอนุรักษ์พลังงาน

ระบบนำกลับคอนเดนเสทเป็นอีกส่วนหนึ่งของระบบไอน้ำ ซึ่งต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากมีส่วนช่วยให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานขึ้นในระบบไอน้ำ

การดำเนินการอนุรักษ์พลังงานของหม้อไอน้ำ ผู้เข้าอบรมต้องทราบว่าการประเมินหรือการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำต้องมีข้อมูลต่อไปนี้

ข้อมูล	ค่าตรวจวัด	การวิเคราะห์
เชื้อเพลิง	- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง - อัตราการใช้เชื้อเพลิง - อุณหภูมิเชื้อเพลิง	- อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ
ไอน้ำ	- ความดันและอุณหภูมิไอน้ำ - อัตราการผลิตไอน้ำ	- อัตราการผลิตพลังงานความร้อน (ไอน้ำ) ของหม้อไอน้ำ
น้ำป้อนและน้ำโบลว์ดาวน์	- อัตราการไหลของน้ำป้อนและโบลว์ดาวน์ - อุณหภูมิของน้ำป้อนและโบลว์ดาวน์ - ค่า TDS (Total Dissolved Solid)	- การสูญเสียพลังงานจากการโบลว์ดาวน์
ก๊าซไอเสีย	- เปอร์เซ็นต์ของ O_2 - เปอร์เซ็นต์ของCO_2 - เปอร์เซ็นต์ของ CO และอื่นๆ - อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย	- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ
การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี	- อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของหม้อไอน้ำ - อุณหภูมิแวดล้อม - ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)	- การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีของหม้อไอน้ำ

การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมี 2 วิธี คือ วิธีตรง และวิธีอ้อม ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ว เราจะประเมินโดยวิธีอ้อม เนื่องจากว่า เราจะทราบการสูญเสียพลังงานจากส่วนต่างๆ ของระบบไอน้ำว่ามีมากน้อยเพียงใด และจะดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานอย่างไรได้บ้าง การสูญเสียความร้อนจากหม้อไอน้ำประกอบด้วย

- การสูญเสียความร้อนในก๊าซไอเสีย
- การสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์
- การสูญเสียความร้อนจากผิวหม้อไอน้ำโดยการแผ่รังสี

มาตรการหนึ่งที่สำคัญและใช้กันมากในการปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ คือ มาตรการปรับอัตราส่วนอากาศที่ใช้เผาไหม้ ซึ่งผู้เข้าอบรมต้องทราบวิธีคำนวณประสิทธิภาพของการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำเมื่อทราบข้อมูลวัดปริมาณ CO_2 หรือ O_2 กับอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย

ในบทนี้ได้แสดงมาตรการหลายมาตรการซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์ในแต่ละโรงงาน วิธีคำนวณผลประหยัดได้แสดงในหนังสือเล่มนี้เช่นกัน ซึ่งก็เป็นหนึ่งในหลายๆ วิธีที่ที่ปรึกษาด้านพลังงานใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำ

ด้วยระยะเวลาการอบรมที่จำกัด ผู้เข้าอบรมไม่จำเป็นต้องสามารถคำนวณผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการในแต่ละมาตรการ ซึ่งสามารถศึกษาได้ในภายหลังหากมีความสนใจ แต่อย่างน้อยผู้เข้ารับการอบรมต้องทราบว่ามีมาตรการใช้บางที่สามารถอนุรักษ์พลังงานให้กับระบบไอน้ำได้ ดังสรุปในตารางข้างล่างนี้

ระบบไอน้ำ	มาตรการอนุรักษ์พลังงาน
หม้อไอน้ำ	- การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศป้อนต่อเชื้อเพลิง - การควบคุมน้ำระบาย - การปรับสภาพน้ำป้อน - การลดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย - เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงหรือเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง - มาตรการบำรุงรักษา
ระบบส่งจ่ายไอน้ำ	- การติดตั้งฉนวนกันความร้อน - การตรวจสอบกับดักไอน้ำ - การตรวจสอบระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ - การใช้วาล์วอย่างถูกต้อง
ระบบนำกลับคอนเดนเสท	- การใช้คอนเดนเสท - การผลิตไอน้ำแฟลช

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) อาวุโส ด้านความร้อน

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2550), คู่มือประกอบการฝึกอบรม หลักสูตร “พัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในอุปกรณ์เครื่องจักรกลางที่ใช้ในโรงงานและอาคารธุรกิจ (ด้านหม้อไอน้ำ)”

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2550), คู่มือการอนุรักษ์พลังงาน อุปกรณ์เครื่องจักรกลางในโรงงานและอาคารธุรกิจ (กับดักไอน้ำ)

[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2551), มาตรการการอนุรักษ์พลังงานจากเทคโนโลยีที่ประสบความสำเร็จสำหรับอาคารธุรกิจ

[6] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), (2543), เทคนิคการประหยัดพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรม

[7] ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2551)
http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/index.html

[8] http://www.energo-spaw.pl/en/kotlownie.php

[9] http://proficienttechnologies.com/serv_utilizationsurvey.html

[10] http://www.power-technology.com/contractors/boilers/loos-international/loos-international3.html

[11] http://www.cesare-bonetti.it/Products/Valves/blowdown.htm