การอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ

การอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ

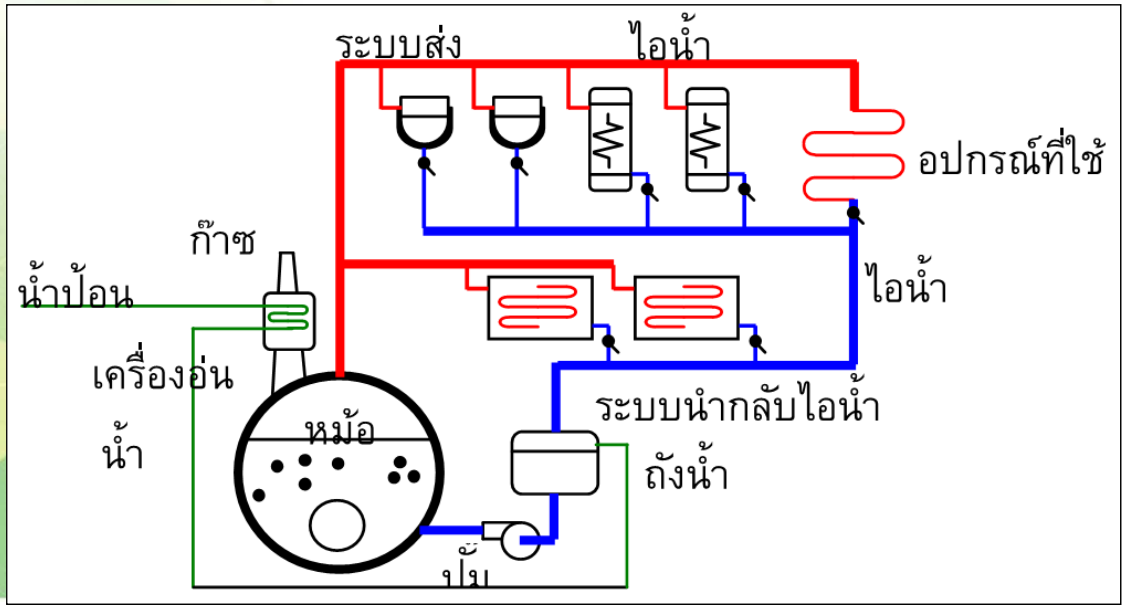
1. **ส่วนประกอบของระบบไอน้ำ**
2. **พื้นฐานของหม้อน้ำ ระบบไอน้ำ และการนำไปใช้ประโยชน์**
   - 2.1 ประเภทหม้อไอน้ำ
   - 2.2 หม้อน้ำในประเทศไทย
   - 2.3 การนำไอน้ำไปใช้ประโยชน์
   - 2.4 เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา
3. **การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ**
   - 3.1 การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ
   - 3.2 การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ
4. **กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำและหม้อน้ำที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน**
   - 4.1 น้ำป้อนและน้ำในหม้อน้ำ
   - 4.2 ถังพักน้ำป้อน
   - 4.3 เครื่องสูบน้ำป้อน
   - 4.4 หม้อน้ำ
   - 4.5 ระบบเชื้อเพลิง
   - 4.6 ปล่องไอเสีย
   - 4.7 ระบบคอนเดนเสท
   - 4.8 ระบบส่งจ่ายไอน้ำ
   - 4.9 การใช้งานหม้อน้ำ
   - 4.10 กรณีศึกษา
5. **เทคโนโลยีหม้อน้ำ (15 ตัวอย่าง)**
6. **เสริม-ทบทวน**
7. **ภาคความร้อน - เตาอุตสาหกรรม**

ส่วนประกอบของระบบไอน้ำ

- **การผลิตไอน้ำ**
  - หม้อน้ำ
  - อุปกรณ์หม้อน้ำ
  - อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำ
  - ดีแอเรเตอร์ (Deaerator)
  - ปั๊มน้ำป้อน (feedwater)
  - ที่เก็บเชื้อเพลิงและอุปกรณ์ขนถ่าย
- **การจ่ายไอน้ำ**
  - ท่อไอน้ำ
  - สถานีลดแรงดัน
- **ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง**
  - กังหันไอน้ำ
  - เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchangers)
  - การฉีดไอน้ำ
  - Stripping columns
  - เครื่องระเหย เป็นต้น
- **การนำกลับมาใช้ใหม่**
  - กับดักไอน้ำ
  - ระบบนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่
  - ปั๊มคอนเดนเสท

พื้นฐานของหม้อน้ำ ระบบไอน้ำและการนำไปใช้ประโยชน์

ระบบไอน้ำ หมายถึง ระบบการผลิตและการนำไอน้ำไปใช้งาน ซึ่งประกอบด้วย หม้อน้ำและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้แก่



พื้นฐานของหม้อน้ำ ระบบไอน้ำและการนำไปใช้ประโยชน์

หม้อน้ำ มีความหมายถึง *"ภาชนะปิดที่มีการให้ความร้อนแก่น้ำ หรือของเหลวอื่น ๆ จนทำให้กลายเป็นไอน้ำ หรือ ไอของเหลวชนิดนั้น ๆ ซึ่งอยู่ในสภาวะร้อนยิ่งยวด (Superheated)"* สำหรับความหมายที่รู้จักกันโดยทั่วไป อาจหมายถึง อุปกรณ์สำหรับผลิตไอน้ำ เพื่อนำไอน้ำไปใช้ประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ โดยสามารถผลิตไอน้ำได้ทั้งปริมาณและความดันที่ต้องการ

คำจำกัดความของหม้อน้ำตามกฎกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549 ระบุว่า หม้อน้ำ *หมายถึง ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำที่มีปริมาณความจุเกิน 2 ลิตรขึ้นไป เมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานความร้อนอื่น น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำภายใต้ความดันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล หรือ ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำซึ่งใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนตั้งแต่ 8 ตารางเมตรขึ้นไป*

พื้นฐานของหม้อน้ำ ระบบไอน้ำและการนำไปใช้ประโยชน์

โครงสร้างหม้อน้ำ

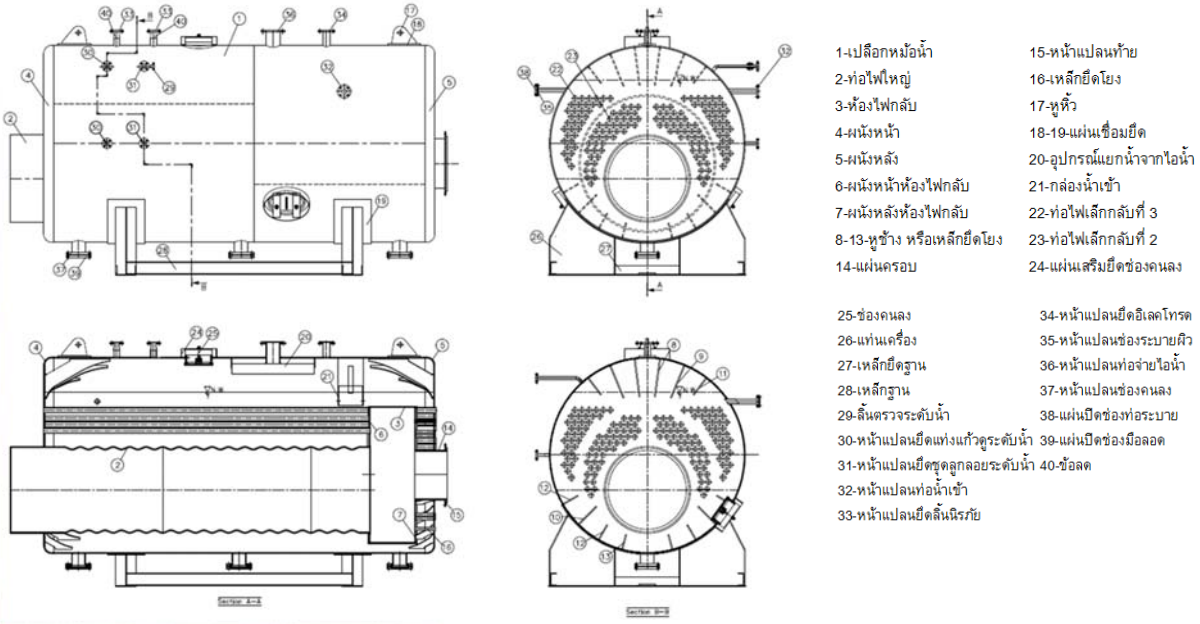
หม้อน้ำ ทุกแบบจะต้องประกอบด้วย

1) เตา (Furnace) หรือห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) คือ ส่วนที่เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้หรือสันดาปกับอากาศ

2) ส่วนที่เก็บน้ำ (Water space) คือ ส่วนที่เก็บน้ำไว้ภายในหม้อน้ำ

3) ส่วนที่เก็บไอน้ำ (Steam space) คือ ส่วนที่สะสมไอน้ำที่เกิดจากกระบวนการส่งถ่ายความร้อนของความร้อนจากเชื้อเพลิงกับน้ำ

พื้นฐานของหม้อน้ำ ระบบไอน้ำและการนำไปใช้ประโยชน์

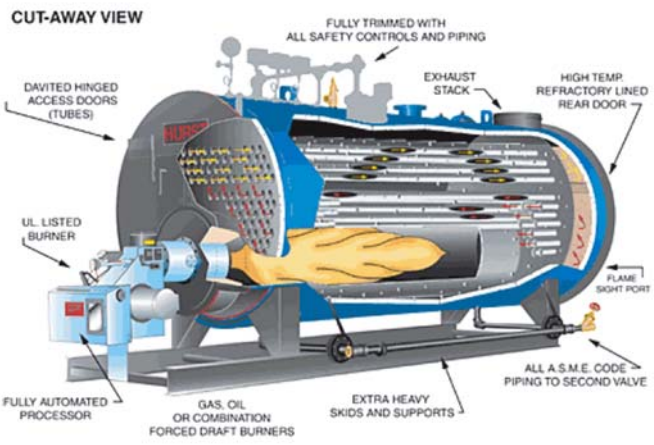


1-เปลือกหม้อน้ำ
2-ท่อไฟใหญ่
3-ห้องไฟกลับ
4-ผนังหน้า
5-ผนังหลัง
6-ผนังหน้าห้องไฟกลับ
7-ผนังหลังห้องไฟกลับ
8-13-หูช้าง หรือเหล็กยึดโยง
14-แผ่นครอบ
15-หน้าแปลนท้าย
16-เหล็กยึดโยง
17-หูหิ้ว
18-19-แผ่นเชื่อมยึด
20-อุปกรณ์แยกน้ำจากไอน้ำ
21-กล่องน้ำเข้า
22-ท่อไฟเล็กกลับที่ 3
23-ท่อไฟเล็กกลับที่ 2
24-แผ่นเสริมยึดช่องคนลง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

ตัวอย่างรายละเอียดโครงสร้างของหม้อน้ำ

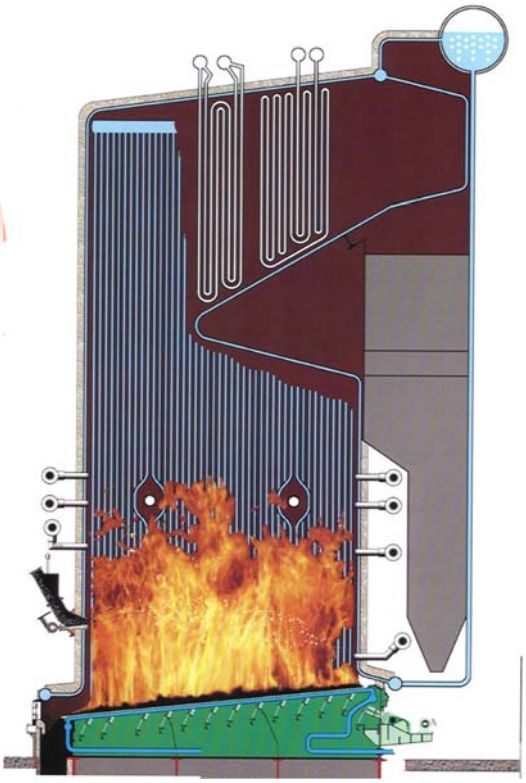
ประเภทหม้อน้ำ

- หม้อน้ำแบบท่อไฟ
- หม้อน้ำแบบท่อน้ำ
- หม้อน้ำแบบผสม



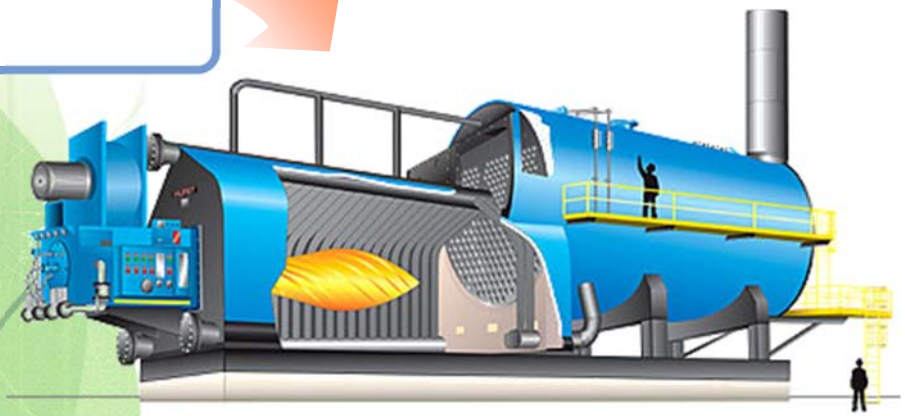
ประเภทหม้อน้ำ

- หม้อน้ำแบบท่อไฟ
- หม้อน้ำแบบท่อน้ำ
- หม้อน้ำแบบผสม



ประเภทหม้อน้ำ

- หม้อน้ำแบบท่อไฟ
- หม้อน้ำแบบท่อน้ำ
- หม้อน้ำแบบผสม



ข้อมูลหม้อน้ำในประเทศไทย

จำนวนของหม้อน้ำและขนาดหม้อน้ำแยกตามประเภทอุตสาหกรรม

ประเภทอุตสาหกรรม	จำนวนหม้อน้ำ		ขนาดหม้อน้ำ	
	จำนวน (ลูก)	สัดส่วน	ขนาด (ตัน/ชม.)	สัดส่วน
อุตสาหกรรมกระดาษ	342	3.88%	4,832	4.40%
อุตสาหกรรมเคมี	1,389	15.76%	10,460	9.53%
อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ	675	7.66%	1,137	1.04%
อุตสาหกรรมไม้	549	6.23%	2,451	2.23%
อุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน	77	0.87%	324	0.30%
อุตสาหกรรมสิ่งทอ หนังสัตว์	1,713	19.43%	6,994	6.37%
อุตสาหกรรมอโลหะ	69	0.78%	350	0.32%
อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม	3,508	39.79%	37,412	34.08%
อุตสาหกรรมอื่นๆ	494	5.60%	45,803	41.73%
รวม	**8,816**	**100.00%**	**109,763**	**100.00%**

ข้อมูลหม้อน้ำในประเทศไทย

จำนวนของหม้อน้ำและขนาดหม้อน้ำจำแนกตามประเภทของหม้อน้ำ

ประเภทอุตสาหกรรม	ประเภทหม้อน้ำ											
	ท่อไฟ		ท่อน้ำ		ผสม		ไฟฟ้า		No data		รวม	
	จำนวน (ลูก)	ขนาด (ตัน/ชม.)	จำนวน (ลูก)	ขนาด (ตัน/ชม.)	จำนวน (ลูก)	ขนาด (ตัน/ชม.)	จำนวน (ลูก)	ขนาด (ตัน/ชม.)	จำนวน (ลูก)	ขนาด (ตัน/ชม.)	จำนวน (ลูก)	ขนาด (ตัน/ชม.)
อุตสาหกรรมกระดาษ	279	2,252.22	63	2,579.76	0	0.00	0	0.00	0	0.00	342	4,831.98
อุตสาหกรรมเคมี	953	4,363.47	407	6,084.31	0	0.00	27	11.48	2	0.37	1,389	10,459.62
อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ	222	632.10	410	489.65	0	0.00	33	4.67	10	10.57	675	1,136.98
อุตสาหกรรมไม้	494	2,138.23	50	251.02	1	1.00	1	0.31	3	60.53	549	2,451.10
อุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน	52	251.88	23	71.39	0	0.00	1	0.49	1	0.00	77	323.75
อุตสาหกรรมสิ่งทอ หนังสัตว์	1271	6,343.62	187	617.90	0	0.00	254	32.24	1	0.15	1,713	6,993.91
อุตสาหกรรมอโลหะ	59	296.52	10	53.10	0	0.00	0	0.00	0	0.00	69	349.62
อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม	2747	13,148.13	738	24,071.26	0	0.00	10	1.02	13	191.83	3,508	37,412.24
อุตสาหกรรมอื่นๆ	228	1,588.28	254	44,213.75	0	0.00	12	0.83	0	0.00	494	45,802.86
รวม	**6,305**	**31,014.45**	**2,142**	**78,432.14**	**1**	**1.00**	**338**	**51.04**	**30**	**263.45**	**8,816**	**109,762.06**

ข้อมูลหม้อน้ำในประเทศไทย

ประสิทธิภาพหม้อน้ำที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศไทย

ประเภทเชื้อเพลิง	ประสิทธิภาพหม้อน้ำ (%)	
	Max.	Min.
เชื้อเพลิงแข็ง	90	75
เชื้อเพลิงเหลว	96	80
เชื้อเพลิงก๊าซ	96	80

ส่วนประกอบของหม้อน้ำ

การผลิตไอน้ำให้มีความดันตามที่ต้องการนำไปใช้งานน้ำ กระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่ง คือ ระบบกำเนิดไอน้ำภายในตัวหม้อน้ำ แต่ทั้งนี้ ก่อนที่น้ำหรือของเหลวจะเข้าสู่ระบบกำเนิดไอน้ำได้นั้น ระบบหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของหม้อน้ำนั้น

1) ระบบน้ำป้อน (Feed water system)

(ก) ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ
(ข) ถังน้ำป้อน
(ค) ระบบปั๊มน้ำป้อน
(ง) ระบบปั๊มสารเคมีเข้าหม้อน้ำ

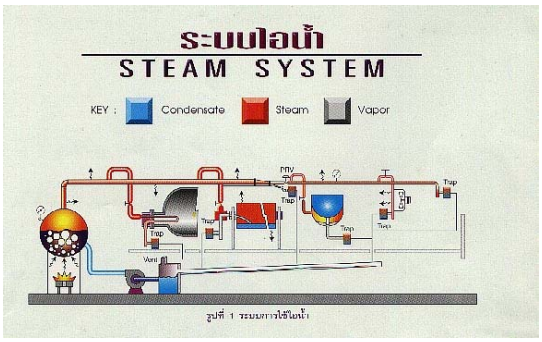
2) ระบบวัดและควบคุมความดันไอน้ำ

(ก) มาตรวัดความดันไอน้ำ
(ข) สวิทช์ควบคุมความดัน
(ค) สวิทช์ควบคุมความดันไอน้ำแบบต่อเนื่อง
(ง) สวิทช์จำกัดความดันไอน้ำสูงสุด

ระบบจ่ายและหมุนเวียนไอน้ำ

ในการใช้งานไอน้ำ ไอน้ำจะถูกลำเลียงผ่านระบบจ่ายไอน้ำไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำที่ติดตั้งอยู่ทั่วทั้งบริเวณของสถานประกอบการ เมื่อไอน้ำถ่ายเทความร้อนให้แก่อุปกรณ์ใช้ไอน้ำดังกล่าวแล้ว จะมีความดันและอุณหภูมิที่ลดลง เกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลวกลั่นตัวหรือคอนเดนเสท (Condensate)

1) อุปกรณ์ในระบบท่อไอน้ำ
2) อุปกรณ์ในระบบระบายน้ำออกจากหม้อน้ำ หรือระบบโบลว์ดาวน์
3) อุปกรณ์ในระบบจัดการคอนเดนเสท



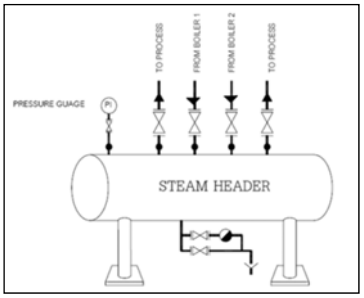
อุปกรณ์ในระบบท่อไอน้ำ

ไอน้ำความดันสูงพร้อมใช้งานที่ผลิตจากหม้อน้ำจะถูกลำเลียงผ่านระบบท่อไอน้ำไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำที่ติดตั้งอยู่ทั่วทั้งบริเวณของสถาน

อุปกรณ์ในระบบท่อไอน้ำมีดังนี้

(ก) ท่อรวมไอน้ำ (Steam header) ทำหน้าที่เป็นที่พักรวมไอน้ำจากหม้อน้ำเครื่องต่าง ๆ และแจกจ่ายไอน้ำไปใช้งานตามอุปกรณ์ต่าง ๆ

(ข) ท่อไอน้ำ (Steam line) ประกอบไปด้วยท่อประธานหรือท่อเมน (Main steam line) และท่อแยก (Branch steam line) ทำหน้าที่ลำเลียงไอน้ำไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำที่ติดตั้งอยู่ในแผนกต่าง ๆ



ท่อรวมไอน้ำ

ระบบการเผาไหม้ของหม้อน้ำ

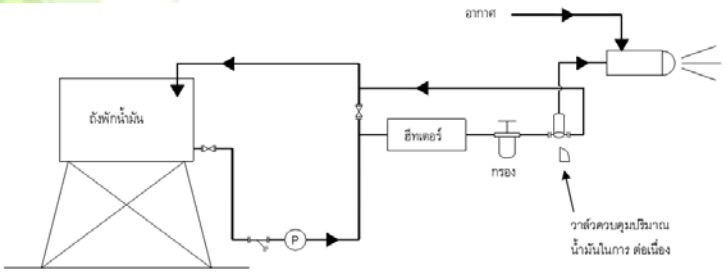
สำหรับระบบการเผาไม้ของหม้อน้ำ จะเกิดขึ้นได้ต้องอาจจะมีระบบย่อยที่มาทำงานร่วมกัน ดังนี้

1) ระบบป้อนเชื้อเพลิง

2) ระบบหัวเผาเชื้อเพลิง

3) ระบบป้อนอากาศ หรือ ลม สำหรับการเผาไหม้

1) ระบบป้อนเชื้อเพลิง ประกอบไปด้วย (ก) ถังเก็บเชื้อเพลิง (Fuel storage tank) (ข) อุปกรณ์ส่งเชื้อเพลิง (Transfer pump) (ค) ถังพัก (กรณี ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง) และ (ง) วงจรเชื้อเพลิงส่งไปป้อนหัวฉีดเพื่อเผาไหม้

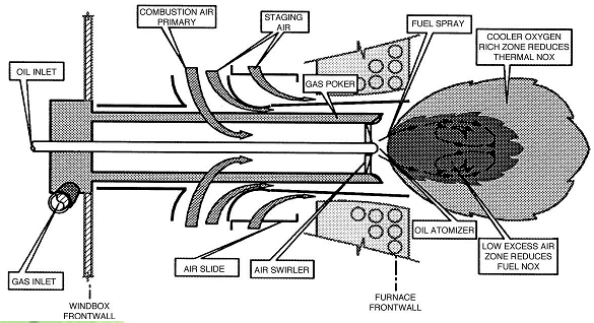


วงจรน้ำมันสำหรับหัวเผาแบบพ่นฝอยน้ำมันด้วยอากาศ

ระบบการเผาไหม้ของหม้อน้ำ (ต่อ)

2) ระบบหัวเผาเชื้อเพลิง

มีหน้าที่พ่นหรือฉีดเชื้อเพลิง เพื่อผสมกับอากาศได้อย่างรวดเร็วและผสมกันอย่างทั่วถึง ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ด้วยการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่น้อยที่สุด โดยไม่เกิดควันที่ปล่องทางออกของก๊าซเสียจากการเผาไหม้



หัวเผาแบบพ่นฝอยด้วยอากาศความดันต่ำ (Low pressure air atomized burner)

ระบบการเผาไหม้ของหม้อน้ำ (ต่อ)

ระบบป้อนอากาศ หรือ ลม สำหรับการเผาไหม้

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก 3 ชนิด ด้วยกัน ดังนี้

(ก) พัดลม (Force draft fan) มีหน้าที่ผลักดันอากาศหรือลม เพื่อป้อนเข้าเผาไหม้กับเชื้อเพลิง ให้เป็นไปตามอัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่เหมาะสม

(ข) ชุดมอเตอร์ควบคุมการเผาไหม้ มีชื่อเรียกกันหลายชื่อ ได้แก่ Servomoter หรือ Damper motor หรือ Modutrol

(ค) ปล่อง (Chimney or Stack) มีหน้าที่นำก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ปล่องออกสู่บรรยากาศ ทั้งนี้ปล่องควรมีขนาดที่ใหญ่และความสูงเหมาะสมพอที่จะไม่ทำให้เกิดความดันต้านกลับการไหลของก๊าซเสียในเตามากเกินไป

การนำไอน้ำไปใช้ประโยชน์

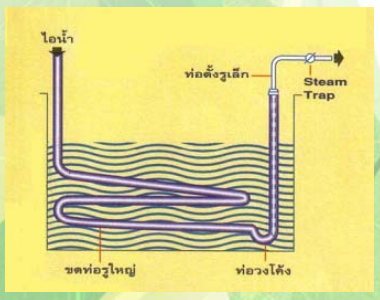
1) การลดความดันไอน้ำก่อนเข้าเครื่องจักร/อุปกรณ์ใช้ไอน้ำ

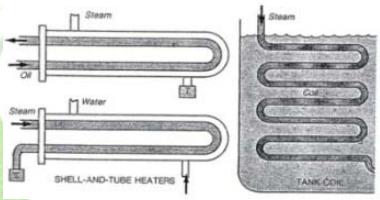
การกำหนดความดันไอน้ำที่ผลิตนั้น ถูกกำหนดตามการนำไอน้ำไปใช้งานและวัตถุประสงค์ของกระบวนการผลิตนั้น ๆ ดังนั้น *ความดันที่หม้อน้ำจะต้องผลิตได้ เท่ากับ ความดันสูงสุดที่ผู้ใช้ไอน้ำต้องการบวกกับความดันที่สูญเสียขณะส่งไอน้ำผ่านระบบท่อและอุปกรณ์ต่าง ๆ*

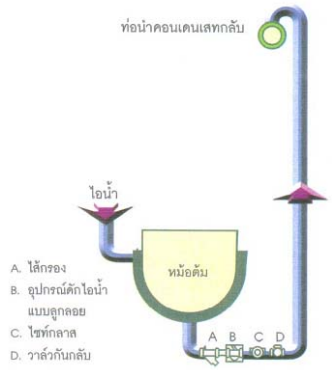
การนำไอน้ำไปใช้ประโยชน์

2) อุปกรณ์ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต (Steam Used Equipment)

เครื่องอุปกรณ์ใช้ไอน้ำโดยทางอ้อม (Indirectly Heated Processes) เพื่อนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ มีหลายวิธีการมีทั้งที่ใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ในโรงพยาบาลและโรงแรม เป็นต้น ตัวอย่างของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำโดยทางอ้อม เช่น ขดท่อไอน้ำไหลในท่อคายความร้อนให้กับของเหลวนอกขดท่อ หม้อต้มที่ใช้ไอน้ำอยู่ในแจ็กเก็ต และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Shell and Tube heater)







ตัวอย่างเครื่องอุปกรณ์ใช้ไอน้ำโดยทางอ้อม

การนำไอน้ำไปใช้ประโยชน์

3) การระบายน้ำคอนเดนเสท

วิธีการระบายน้ำคอนเดนเสทได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ การใช้วาล์วอัตโนมัติ ที่เรียกกันว่า อุปกรณ์ดักไอน้ำ หรือ กับดับไอน้ำ หรือ สตรีมแทรป (Steam Trap) ดังนั้น การเลือกใช้กับดักไอน้ำ ขนาด ชนิด การติดตั้งและการดูแลตรวจสอบบำรุงรักษา จึงเป็นสิ่งสำคัญของเครื่องใช้ไอน้ำในระบบการผลิต

4) การเก็บกลับน้ำคอนเดนเสท (Condensate Return)

การเก็บน้ำระบายมาใช้ (Drain Recovery) หมายถึง การนำกลับไปลงถังน้ำเลี้ยง (Feed Water Tank) โดยผสมกับน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำอ่อน เพื่อป้อนเข้าหม้อไอน้ำต่อไป

วิธีนำคอนเดนเสทกลับไปยังหม้อน้ำ

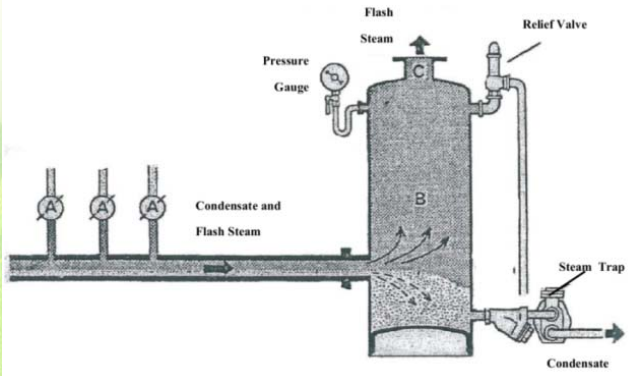
1) ส่งกลับคืนด้วยความดันของตัวเอง

2) ส่งกลับด้วยปั๊มพิเศษเข้าสู่หม้อน้ำโดยตรง

การนำไอน้ำไปใช้ประโยชน์

5) การใช้ประโยชน์จากไอน้ำแฟลช (Use of Flash Steam)

เมื่อน้ำร้อนคอนเดนเสทภายใต้ความดันถูกปล่อยออกจากกับดักไอน้ำ ไม่ว่าจะออกสู่บรรยากาศโดยตรง หรือ ไหลผ่านท่อส่งกลับไปลงถังน้ำเลี้ยงที่เปิดออกสู่บรรยากาศ และการใช้ประโยชน์ไอน้ำแฟลช จะต้องมีถังแฟลช (Flash Tank)



การติดตั้งถังเฟลชและท่อเชื่อมเข้ากับอุปกรณ์

การใช้งานหม้อน้ำ

หม้อน้ำเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในระบบไอน้ำซึ่งเป็นระบบผลิตพลังงานความร้อนที่มีใช้งานอยู่ทั่วไปทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและในอาคารกลุ่มโรงแรม โรงพยาบาล ระบบไอน้ำและหม้อน้ำถือเป็นระบบที่ใช้เชื้อเพลิงในปริมาณสูง และอาจก่อมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

เรื่องการใช้งาน และการควบคุมหม้อน้ำ ตลอดจนอุปกรณ์ในระบบไอน้ำทั้งหมด ยกเว้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย ที่ระบุไว้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549

การใช้งานหม้อน้ำ

ขั้นตอนการปฏิบัติในการใช้งานหม้อน้ำ

1) ก่อนเดินเครื่องหม้อน้ำ

2) ขณะเดินเครื่องหม้อน้ำ

3) การหยุดเดินเครื่องหม้อน้ำ

4) การจดบันทึกข้อมูลการใช้งานหม้อน้ำประจำวัน

5) การปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน

คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

การที่หม้อน้ำสามารถผลิตไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิที่สูงมากขึ้นในระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมานี้ เป็นผลสืบเนื่องมาจากการพัฒนาของเทคนิคการปรุงแต่งคุณภาพน้ำป้อนนั่นเอง หากน้ำที่ป้อนเข้าหม้อน้ำมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมจะเกิดปัญหาการกัดกร่อนผิวถ่ายเทความร้อน หรือเกิดปัญหาการจับเกาะของตะกรันแข็ง ซึ่งทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดลง และอาจเป็นสาเหตุทำให้หม้อน้ำระเบิดได้

ดังนั้น การตรวจสอบการทำงานของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้ว่ายังสามารถทำงานได้ตามปรกติหรือไม่ รายละเอียดทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้นำเสนอไว้ดังต่อไปนี้

คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

1) ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

หม้อน้ำต้องการน้ำที่มีคุณสมบัติเหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการกัดกร่อน หรือปัญหาอื่น อันเนื่องมาจากคุณภาพของน้ำ หม้อน้ำแต่ละเครื่องต้องการระบบปรับสภาพน้ำที่ไม่เหมือนกัน แม้ว่าจะเป็นหม้อน้ำยี่ห้อและรุ่นเดียวกัน

- น้ำที่เหมาะสมที่จะใช้กับหม้อน้ำโดยทั่วไป ๆ ได้แก่ น้ำกลั่น น้ำฝน หรือน้ำที่ได้ผ่านเครื่องกรองน้ำดีมิน (Demineralizer) หรือเครื่องกรองน้ำแบบรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse osmosis, RO)

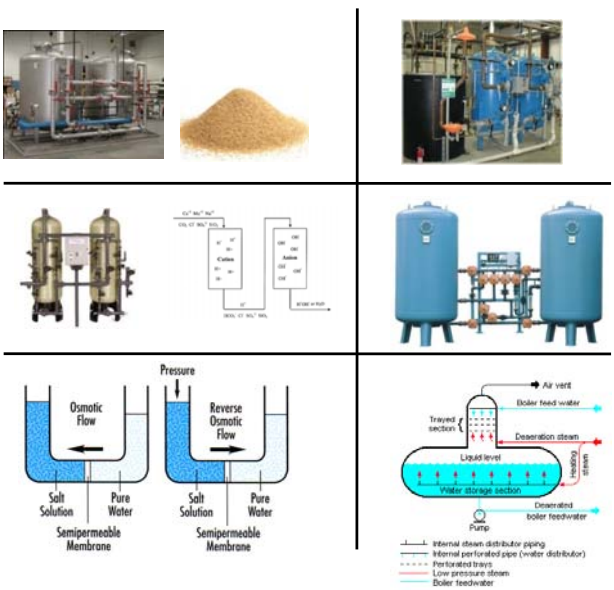
- น้ำที่ผ่านการปรุงแต่งให้ค่าพีเอช (pH) อยู่ระหว่าง 8 ถึง 9 (ค่าพีเอช หมายถึงค่าแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำ ค่าคุณสมบัติเป็นกลางคือ 7 ถ้าค่าพีเอชสูงกว่า 7 แสดงว่าเป็นด่าง และหากค่าพีเอชต่ำกว่า 7 แสดงว่าเป็นกรด)

คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบนอกหม้อน้ำ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบนอกหม้อน้ำ (External boiler water treatment) เป็นการกำจัดหรือลดความเข้มข้นของแร่ธาตุต่าง ๆ ให้กับน้ำป้อนหม้อน้ำ จุดมุ่งหมายของขั้นตอนนี้ คือ ต้องการกำจัดแร่ธาตุต่าง ๆให้หมดสิ้น

- ระบบถังกรองทราย (Sand filter)
- ระบบถังกรองน้ำอ่อน
- ระบบถังกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนไอออน
- ระบบถังกรองน้ำแบบดีอัลคาไลซ์
- ระบบถังกรองน้ำแบบรีเวิร์สออสโมซีส
- ระบบถังไล่อากาศ (Deaerator)



คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบในหม้อน้ำ

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

ระบบเติมเคมี

คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

2) คุณสมบัติของน้ำและการทดสอบคุณภาพน้ำ

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549 ได้กำหนดคุณภาพของน้ำป้อนหม้อน้ำ (Boiler feed water) และคุณภาพน้ำในหม้อน้ำ (Boiler water) ไว้ดังตารางที่ 1-1 และ 1-2

ตารางที่ 1-1 เกณฑ์คุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำ

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

ตารางที่ 1-2 เกณฑ์คุณภาพน้ำในหม้อน้ำ

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

คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

2) คุณสมบัติของน้ำและการทดสอบคุณภาพน้ำ

pH value

ความเป็นกรดเป็นด่าง

Total hardness

ความกระด้างรวม

Total dissolved solid (TDS)

ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ

คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

3) ปัญหาและการควบคุมปัญหาที่เกิดจากน้ำ

ปัญหาที่เกิดจากน้ำ และการควบคุมปัญหาที่เกิดจากน้ำที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำและระบบไอน้ำ สามารถจำแนกได้ดังนี้

1) ปัญหาเรื่องการกัดกร่อนของน้ำ

น้ำที่มีคุณภาพไม่เหมาะสมสามารถกัดกร่อนโลหะนานาชนิดที่เป็นอุปกรณ์ของระบบไอน้ำและท่อน้ำทำให้เกิดความเสียหายหรือทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดังกล่าวลดต่ำลงและในบางครั้งอาจทำให้ต้องสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์อีกด้วย

2) ปัญหาเรื่องตะกรันในหม้อน้ำ

ปัญหาที่เกิดขึ้นเสมอและมักหลีกเลี่ยงได้ยากอีกประการหนึ่งที่เกิดกับระบบหม้อน้ำได้แก่เรื่องตะกรันที่เกิดจากน้ำ ตะกรันที่เกิดขึ้นจะเป็นฉนวนขวางกั้นการถ่ายเทความร้อน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือตะกรันสนิม หมายถึงตะกรันที่เป็นโลหะออกไซด์ และตะกรันหินปูน

คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

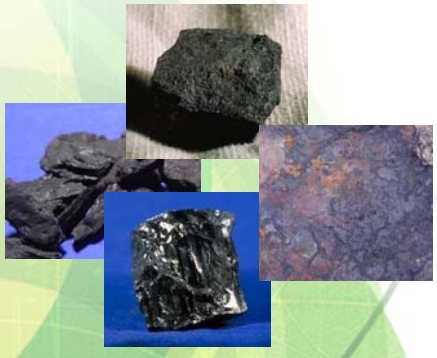
4) การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

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

เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

การปรับแต่งหัวเผาของหม้อน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้และการดูแลควบคุมหม้อน้ำที่ถูกต้องและเหมาะสมนั้น ซึ่งหากทำการควบคุมดูแลการเผาไหม้อย่างถูกต้องแล้วก็จะเป็นประโยชน์ต่อทั้งการประหยัดพลังงาน และการป้องกันมลพิษสภาวะแวดล้อมอีกด้วย



เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

1) เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงเป็นสารที่มีส่วนประกอบของธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจน เป็นส่วนใหญ่ เมื่อเผาไหม้กับออกซิเจนในอากาศจะให้พลังงานความร้อนออกมาเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเชื้อเพลิงประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน จึงเรียกว่า **เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon fuel)** ในเชื้อเพลิงอาจจะมีกำมะถันปนอยู่เล็กน้อย สามารถแบ่งประเภทเชื้อเพลิงตามสถานะได้ 3 ประเภท คือ

1) เชื้อเพลิงแข็ง ได้แก่ ถ่านหิน ไม้ฟืน ถ่าน ชานอ้อย แกลบ ขี้เลื่อย เป็นต้น

2) เชื้อเพลิงเหลว ได้แก่ น้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซิน น้ำมันโซล่า น้ำมันเตา เป็นต้น

3) เชื้อเพลิงก๊าซ ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas, NG) ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied natural gas, LNG) ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed natural gas, CNG) ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas, LPG) หรือก๊าซหุงต้ม เป็นต้น

เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

2) พลังงานไฟฟ้า

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

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

เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

3) คุณสมบัติและค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

จากเชื้อเพลิงทั้งสามประเภทที่กล่าวมาข้างต้น สามารถเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทในการนำมาใช้กับหม้อน้ำอุตสาหกรรมได้

ตาราง การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

หัวข้อ		เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	เชื้อเพลิงก๊าซ
คุณสมบัติทั่วไป	ค่าความร้อนต่อน้ำหนัก	ปานกลาง-ต่ำ	สูง	ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง
	คุณภาพเชื้อเพลิง	ผันแปรมาก โดยเฉพาะความชื้นและสิ่งเจือปน	สม่ำเสมอ	คงที่
	ปริมาณขี้เถ้า	ต่ำ-สูงมาก	น้อยมาก	ไม่มี
การเผาไหม้และการควบคุม	ปริมาณอากาศส่วนเกิน	ปานกลาง-สูง	น้อย-ปานกลาง	ไม่ต้องใช้-ต่ำ
	การควบคุมการเผาไหม้	ควบคุมลำบาก	ควบคุมได้ง่าย	ควบคุมง่ายมาก
	การปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิง	พอกระทำได้ แต่ตอบสนองช้า	กระทำได้ง่ายและการตอบสนองเร็ว	กระทำได้ง่ายและตอบสนองเร็วมาก
	การป้อนเชื้อเพลิงอัตโนมัติ	ยุ่งยาก	สามารถทำได้	สามารถทำได้
	อุปกรณ์เผาไหม้	ขนาดเล็ก ไม่ซับซ้อน	ขนาดเล็ก	ขนาดค่อยข้างใหญ่
	ประสิทธิภาพการเผาไหม้	ต่ำ	สูง	สูงสุด

เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

3) คุณสมบัติและค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

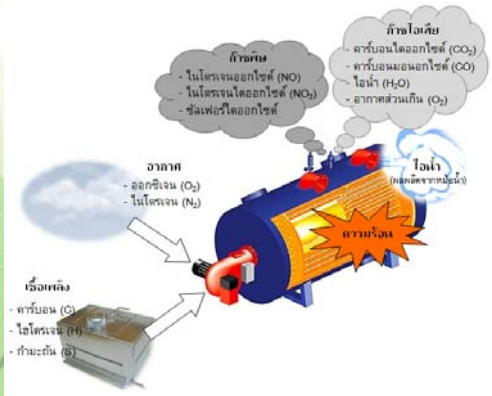
ตาราง การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

หัวข้อ		เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	เชื้อเพลิงก๊าซ
ไอเสียและมลพิษ	ไอเสีย	อาจมีเขม่าควัน และมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ค่อนข้างสะอาด	สะอาด
	อุปกรณ์กำจัดและป้องกันมลพิษ	ต้องใช้	อาจต้องใช้	ไม่ต้องใช้
ขนาดของอุปกรณ์ในระบบเผาไหม้		ขนาดเล็ก-ใหญ่มาก	ขนาดเล็ก-ปานกลาง	ขนาดเล็ก-ปานกลาง
ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน		อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ หรือโรงไฟฟ้า	อุตสาหกรรมทั่วไป	อุตสาหกรรมทั่วไป
การขนส่งและการจัดเก็บ		เปลืองเนื้อที่ในการเก็บและขนส่ง เก็บในที่เปิดได้	ขนส่งง่าย เก็บง่าย และต้องใช้ถัง	ขนส่งยุ่งยาก การเก็บต้องใช้ภาชนะพิเศษ
โอกาสในการเกิดอันตราย		อาจเกิดลุกไหม้ได้เองขณะกองเก็บ	มีไม่มาก	อาจเกิดระเบิดได้
ราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วยความร้อน		ถูกที่สุด	ค่อนข้างแพง	ถูก

เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

การเผาไหม้

การเผาไหม้ คือ ปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยาออกซิไดส์ ระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะให้ความร้อนจำนวนมากออกมา (Exothermic reaction) องค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมี

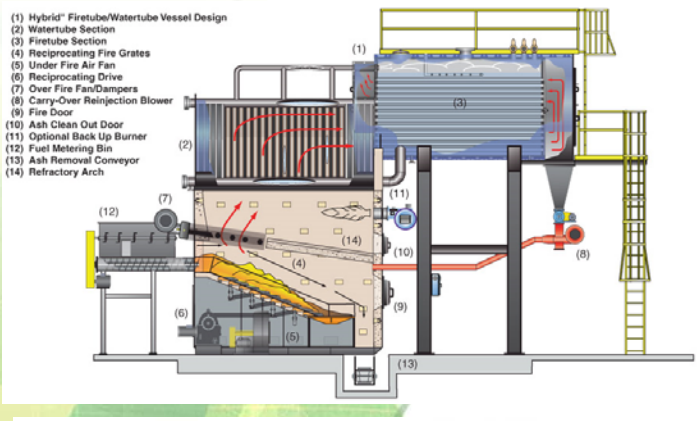


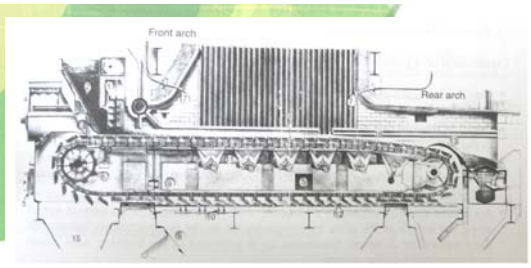
หลักการเบื้องต้นของกระบวนการเผาไหม้

เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

ห้องเผาไหม้

เป็นอุปกรณ์หรือส่วนประกอบสำหรับระบบหม้อน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่แยกจากตัวหม้อน้ำ ใช้กับเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหิน กากอ้อย แกลบ หรือ ชีวมวล





ห้องเผาไหม้

เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

การปรับแต่งหัวเผา

2) วิธีการปรับแต่งหัวเผา

การปรับการเผาเชื้อเพลิงของหม้อน้ำ ก็เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงอย่างคุ้มค่าที่สุด และมีการสูญเสียน้อยที่สุด

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่ต้องการและการทำงานของหัวเผาจึงสามารถใช้เป็นแนวทางหนึ่งในการปรับแต่งหัวเผาได้ ดังแสดงในตาราง

ตาราง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่ต้องการและการทำงานของหัวเผา

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

เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

การปรับแต่งหัวเผา

2) วิธีการปรับแต่งหัวเผา

ตาราง ผลการตรวจวัดไอเสีย และแนวทางการปรับแต่งหัวเผา

ผลการตรวจวัดไอเสีย	การวิเคราะห์สาเหตุ	การปรับแต่งหัวเผา
ค่า $\%O_2$ สูงกว่าเกณฑ์ ค่า $\%CO_2$ ต่ำกว่าเกณฑ์ ค่า CO น้อยมาก (0-10 ppm)	ใช้อากาศส่วนเกินมากเกินไป ทำให้ความร้อนสูญเสียไปกับไอเสียมาก	ปรับลดอากาศป้อนเข้าห้องเผาไหม้
ค่า $\%O_2$ ต่ำกว่าหรืออยู่ในเกณฑ์ ค่า $\%CO_2$ สูงกว่าหรืออยู่ในเกณฑ์ ค่า CO อยู่ในเกณฑ์	การเผาไหม้มีประสิทธิภาพดี	ไม่ต้องปรับแต่ง ควรตรวจสอบเป็นประจำ เพื่อรักษาให้หัวเผาทำงานที่สภาวะนี้ตลอด
อุณหภูมิสูงกว่าเกณฑ์	1. ท่อไฟสกปรก มีเขม่าจับตามผนังท่อมาก 2. มีตะกรันจับท่อทางด้านน้ำมาก 3. ผนังกั้นทางไฟชำรุด 4. ห้องเผาไหม้มีขนาดเล็ก หรือใช้หัวเผาขนาดใหญ่เกินไป	1. ทำความสะอาดท่อไฟโดยการแยงท่อแล้วโกยเขม่าออก 2. ทำความสะอาดผิวท่อด้านน้ำ เอาตะกรันออก และปรับปรุงสภาพน้ำก่อนป้อนเข้าหม้อน้ำ โดยควบคุมให้มีค่า TDS ตรงตามค่ากำหนด 3. ซ่อมผนังกั้นทางไฟ 4. พิจารณาเลือกหัวฉีดในหัวเผาให้เล็กลง หรือพิจารณาเปลี่ยนหัวเผาหรือหม้อน้ำใหม่

เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบหัวเผาและระบบเชื้อเพลิง

2) วิธีการปรับแต่งหัวเผา

ตาราง สาเหตุ และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบเผาไหม้

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
จุดไฟไม่ติด	ไม่มีน้ำมัน	ตรวจสอบดูการจ่ายน้ำมัน
	มีน้ำและตะกอนปนอยู่ในน้ำมันมากเกินไป	ติดตั้งตัวกรองในท่อจ่ายน้ำมัน และทำการถ่ายน้ำมันในถังน้ำมันและปลายสายทิ้งเป็นครั้งคราว
	การอุดตันของหัวเผา	ทำความสะอาดหัวเผาสม่ำเสมอ ตรวจสอบการไหลของน้ำมันขณะที่จุดไฟ
	อุณหภูมิของน้ำมันไม่สูงพอ	ตรวจสอบการทำงานของเครื่องอุ่นน้ำมัน ให้อุ่นน้ำมันได้ตามที่ต้องการ เพิ่มความดันน้ำมันเพื่อช่วยการพ่นฝอยของน้ำมัน
	ในกรณีที่น้ำและ Sludge เข้าไปในท่อ	ติดตั้งตัวกรองน้ำและตรวจสอบอยู่เสมอ เปิดถ่ายถังน้ำมันและสายท่อเป็นประจำอยู่เสมอ
	Flash point สูงเกินไป	จำเป็นต้องมีเปลวไฟสำหรับจุดติดไฟเพียงพอในบางกรณีต้องเตรียมหัวเผา สำหรับจุดติดไฟไว้
	ปล่องควันอุดตัน	ทำความสะอาดปากทางดูดเข้า ปล่องควัน และรูถ่ายเทอากาศเป็นประจำอยู่เสมอ
	ความหนืดสูงเกินไป	เพิ่มอุณหภูมิที่ทำให้ร้อน เพิ่มความดันที่ใช้พ่น
	ขนาดของหัวเผาใหญ่เกินไป	ติดตั้ง Burner tile ที่เหมาะสม เพื่อควบคุมการแผ่รังสีความร้อน
	อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิสูงเกินไป	ปรับปริมาณอากาศตามข้อกำหนดของหัวเผานั้นๆ

การขาดการบำรุงรักษาอุปกรณ์หัวเผา หัวฉีดน้ำมันที่สกปรก สึกกร่อน เสียรูป และการตั้งความดันน้ำมันไม่ถูกต้อง ล้วนมีผลทำให้ความสามารถในการฉีดน้ำมันให้เป็นละอองขนาดเล็กลดลง รวมทั้งการที่หัวเผามีขนาดใหญ่เกินไปทำให้ต้องดับหัวเผาบ่อย ๆ จะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดต่ำลงเช่นกัน

เชื้อเพลิงและการปรับแต่งหัวเผา

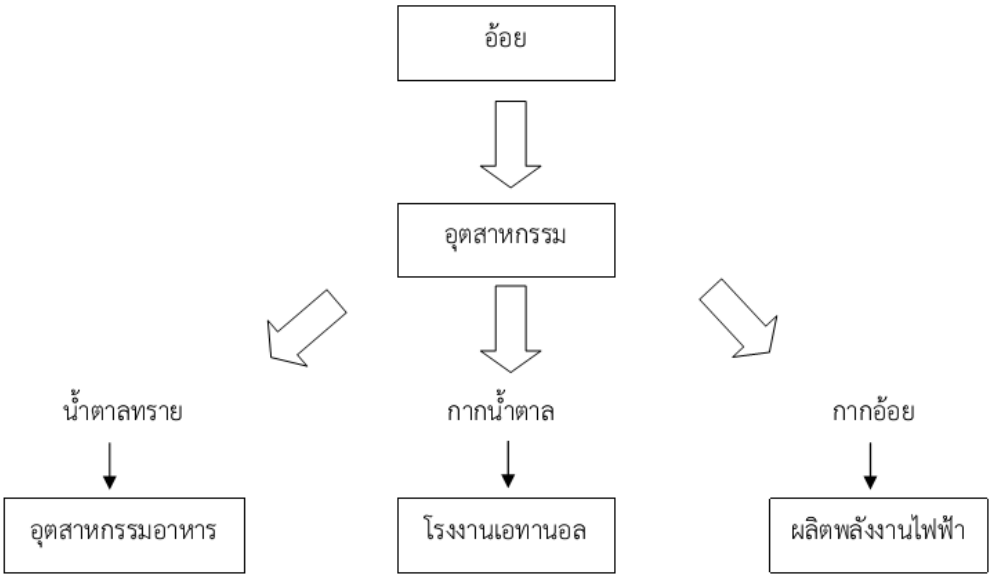
ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบหัวเผาและระบบเชื้อเพลิง

2) วิธีการปรับแต่งหัวเผา

ตาราง สาเหตุ และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบเผาไหม้

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
เปลวไฟไม่สม่ำเสมอ	มีน้ำและตะกอนปนอยู่ในน้ำมันมากเกินไป	ติดตั้งตัวกรองในท่อจ่ายน้ำมัน และทำการถ่ายน้ำมันในถังน้ำมันและปลายสายทิ้งเป็นครั้งคราว
	ความหนืดน้ำมันสูงเกินไป	เพิ่มอุณหภูมิในการอุ่นน้ำมัน และ/หรือ เพิ่มความดันในการฉีดพ่นน้ำมัน
	ความดันของอากาศหรือน้ำมันไม่สม่ำเสมอ	ตรวจสอบหรือติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความดัน และปรับความดันและอัตราการไหลให้เหมาะสม

อุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทย



ภาพรวมอุตสาหกรรมน้ำตาล

อุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทย

โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทยมีทั้งหมด ๔๗ โรง ตั้งอยู่ในภาคต่างๆ ทั่วประเทศ คือ ภาคเหนือ จำนวน ๙ โรงงาน ภาคกลาง จำนวน ๑๗ โรงงาน ภาคตะวันออก จำนวน ๕ โรงงาน และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน ๑๖ โรงงาน รวมมีกำลังการหีบอ้อยประมาณ ๖๐-๘๐ ล้านตันต่อปี ผลิตน้ำตาลประมาณ ๕-๘ ล้านตันน้ำตาลต่อปี ระยะเวลาการหีบอ้อยในแต่ละปีประมาณ ๔–๖ เดือนเท่านั้น ฤดูการหีบอ้อยจะเริ่มประมาณเดือนพฤศจิกายนของแต่ละปีจนถึงประมาณเดือนเมษายน หรือ พฤษภาคม แบ่งเป็นกลุ่มโรงงานน้ำตาลซึ่งเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ของประเทศไทยได้เป็น ๕ กลุ่มใหญ่ ที่เหลือเป็นผู้ผลิตรายย่อย

ภาค/เขตการปกครอง	จำนวนโรงงาน (แห่ง)	ขนาดเล็ก (น้อยกว่า ๑๐,๐๐๐ ตันอ้อยต่อวัน)	ขนาดกลาง (๑๐,๐๐๐-๒๐,๐๐๐ ตันอ้อยต่อวัน)	ขนาดใหญ่ (มากกว่า ๒๐,๐๐๐ ตันอ้อยต่อวัน)
ตะวันออก	๕	๔	๑	-
ตะวันออกเฉียงเหนือ	๑๖	๒	๘	๖
กลาง	๑๗	๗	๗	๓
เหนือ	๙	๔	๒	๓
รวมทั้งหมด	๔๗	๑๗	๑๘	๑๒

อุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทย

กระบวนการผลิตน้ำตาล

การเตรียมอ้อย (Cane preparation)

การสกัดน้ำอ้อย (Juice extraction)

ชุดลูกหีบ

สายพานลำเลียงกากอ้อยเข้าสู่อาคารเก็บกากอ้อย

อุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทย

กระบวนการผลิตน้ำตาล

การทำใส (Clarification)

กรองกากอ้อย

ถังพักน้ำอ้อย

การต้มระเหย (Evaporation)

หม้อต้มระเหยแบบ Falling fim

อุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทย

กระบวนการผลิตน้ำตาล

การเคี่ยวน้ำตาล (Crystallization)

หม้อเคี่ยวน้ำตาล

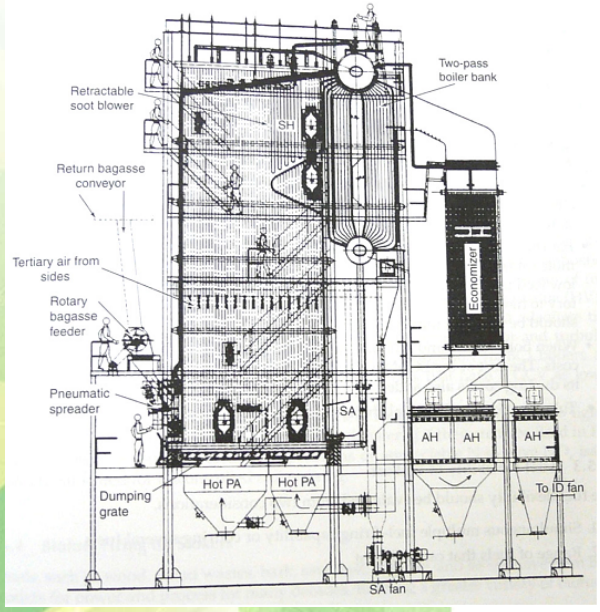
หม้อเคี่ยวแบบแนวนอน

การปั่นแยกผลึกน้ำตาล (Centrifugaling)

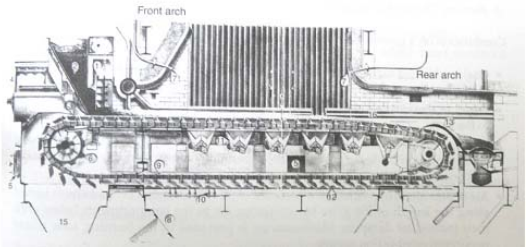
อุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทย

หม้อไอน้ำในโรงงานน้ำตาล

ชนิดของหม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงงานน้ำตาล



หม้อไอน้ำแบบสโตกเกอร์



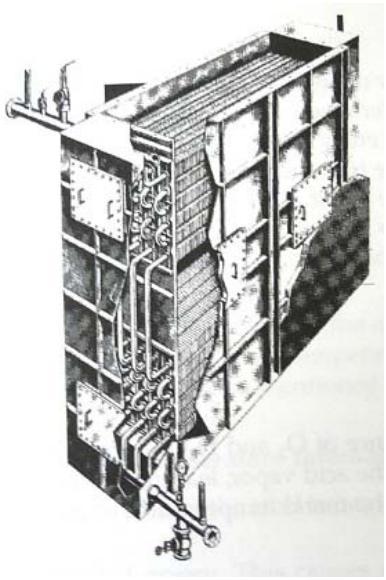
ตะกรับเคลื่อนที่

อุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทย

หม้อไอน้ำในโรงงานน้ำตาล

ชนิดของหม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงงานน้ำตาล

หม้อไอน้ำแบบตะกรับ



รูปโครงสร้างภายใน Economizer

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ คือ การวิเคราะห์หาศักยภาพการใช้งานของหม้อน้ำโดยการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อน้ำ

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ คือ การวิเคราะห์หาศักยภาพการใช้งานของหม้อน้ำโดยการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อน้ำ

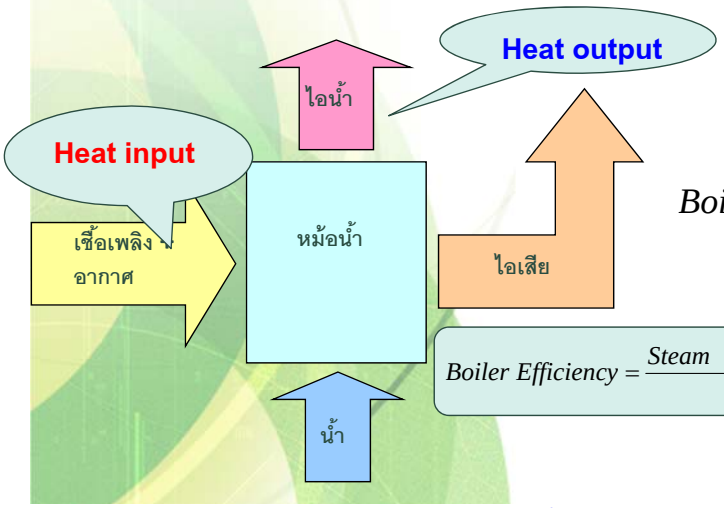
การวิเคราะห์หาศักยภาพการใช้งานของหม้อน้ำโดยการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อน้ำ สามารถคำนวณได้ 2 วิธี ดังนี้

- การคำนวณโดยวิธีตรง (Direct Method)
- การคำนวณโดยวิธีอ้อม (Indirect Method)

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

1. การคำนวณโดยวิธีทางตรง (Direct Method)

วิธีการคำนวณวิธีตรง จะต้องทำการวัดค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและค่าความร้อนเชื้อเพลิง



$$Boiler\ Efficiency = \frac{Heat\ \ Output}{Heat\ \ Input} \times 100$$

$$Boiler\ Efficiency = \frac{Steam\ \ flow\ rate \times (steam\ enthalpy - feed\ \ water\ \ enthalpy)}{Fuel\ \ firing\ rate \times Gross\ calorific\ value} \times 100$$

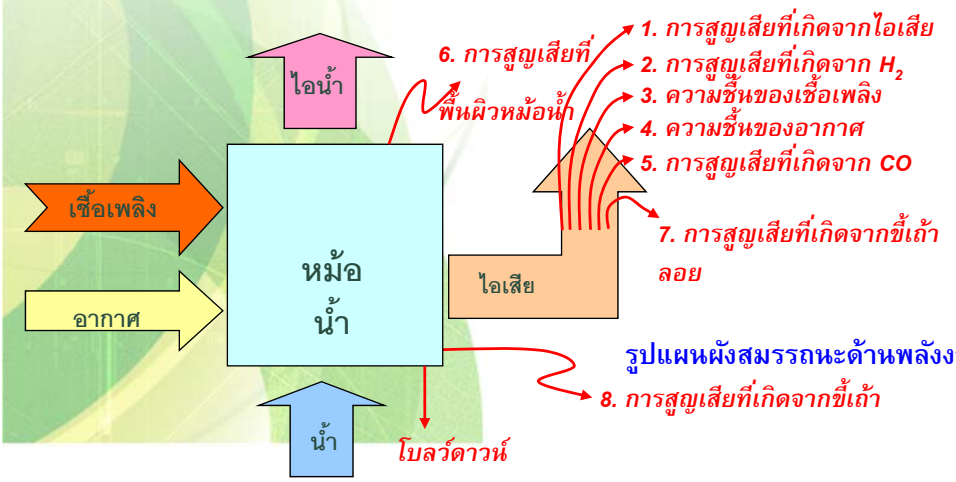
รูปแผนผังสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ วิธีการโดยตรง

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

2. การคำนวณโดยวิธีทางอ้อม (Indirect Method)

คำนวณได้จากการหักลบผลรวมของค่าการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อน้ำ ออกจากการใช้พลังงาน ซึ่งจะหาได้ดังสมการ

ประสิทธิภาพหม้อน้ำ (%) = 100 (%) – การสูญเสียความร้อนในหม้อน้ำ (%)



รูปแผนผังสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ วิธีทางอ้อม

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

การวิเคราะห์ค่าการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อน้ำ

1. การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากไอเสีย (Dry Flue Gas Loss)

เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหม้อน้ำ โดยทั่วไปจะมีการสูญเสียประมาณ 10 - 30% สามารถหาได้จากสมการ

$$L_1 = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a)}{GVC\ of\ \ fuel} \times 100$$

โดยที่ L_1 = % การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากไอเสีย

m = มวลของไอเสีย (kg/kg-fuel)
(มวลของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ [CO_2+SO_2+$N_{2\ fuel}$+$N_{2\ air}$+$O_{2\ ไอเสีย}$])

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของไอเสีย (kCal/kg °C)

T_f = อุณหภูมิไอเสีย (°C)

T_a = อุณหภูมิแวดล้อม (°C)

GVC = Gross Calorific Value

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

2. การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ (Combustion Loss)

มีสาเหตุเนื่องมาจาก

- การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการควบแน่นของน้ำจากก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ในเชื้อเพลิง
- การสูญเสียความร้อนเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง
- การสูญเสียความร้อนเนื่องจากความชื้นในอากาศ
- การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Incomplete combustion)

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

2.1 การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการควบแน่นของน้ำจากก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ในเชื้อเพลิง

$$L_2 = \frac{9 \times H_2 \times \{584 + C_p(T_f - T_a)\}}{GCV\ of\ \ fuel} \times 100$$

โดยที่ L_2 = % การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการควบแน่นของน้ำในกระบวนการเผาไหม้

H_2 = มวลของไฮโดรเจน (kg/kg-fuel)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kCal/kg °C)

T_f = อุณหภูมิไอเสีย (°C)

T_a = อุณหภูมิแวดล้อม (°C)

584 = ค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของน้ำ (kJ หรือ Btu)

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

2.2 การสูญเสียความร้อนเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง

$$L_3 = \frac{M \times \{584 + C_p(T_f - T_a)\}}{GCV\ of\ \ fuel} \times 100$$

โดยที่ L_3 = % การสูญเสียความร้อนเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kCal/kg °C)

T_f = อุณหภูมิไอเสีย (°C)

T_a = อุณหภูมิแวดล้อม (°C)

GVC = Gross Calorific Value

M = มวลของน้ำที่ทำให้เกิดความชื้นในเชื้อเพลิง(kg/kg-fuel)

584 = ค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของน้ำ (kJ หรือ Btu)

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

2.3 การสูญเสียความร้อนเนื่องจากความชื้นในอากาศ

$$L_4 = \frac{AAS \times humidity\ \ factor \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV\ of\ \ fuel} \times 100$$

โดยที่ L_4 = % การสูญเสียความร้อนเนื่องจากความชื้นในอากาศ

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kCal/kg °C)

T_f = อุณหภูมิไอเสีย (°C)

T_a = อุณหภูมิแวดล้อม (°C)

GVC = Gross Calorific Value

AAS = มวลอากาศตามจริงที่ใช้ในขณะนั้น (kg/kg-fuel)

Humidity factor = $kg_{น้ำ}$ / $kg_{อากาศแห้ง}$

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

2.4 การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบรูณ์ ซึ่งจากปริมาณปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้น้อยเกินไป สภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวและก๊าซควรมีออกซิเจนส่วนเกิน 10–30%

$$L_5 = \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{GCV\ of\ \ fuel} \times 100$$

โดยที่ L_5 = % การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบรูณ์

CO = ปริมาณ CO ในไอเสียจากปล่อง (%)

CO_2 = ปริมาณ CO2 ในไอเสียจากปล่อง (%)

C = ค่าคงที่คาร์บอน (kg/kg-fuel)

GVC = Gross Calorific Value

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

3. การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี (Surface loss)

โดยปกติการสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนจะรวมอยู่ในการสูญเสียอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องเกิดขึ้น ปกติค่าการแผ่รังสีและค่าอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจะพิจารณาจากชนิดและขนาดหม้อน้ำเป็นสำคัญ โดยทั่วไปสามารถสรุปดังนี้

- หม้อน้ำชนิดท่อไฟสำหรับอุตสาหกรรม มีค่าการสูญเสียจากการแผ่รังสี = 1.5% – 2.5%
- หม้อน้ำชนิดท่อน้ำสำหรับอุตสาหกรรม มีค่าการสูญเสียจากการแผ่รังสี = 2.0% – 3.0%
- หม้อน้ำสำหรับโรงไฟฟ้า มีค่าการสูญเสียจากการแผ่รังสี = 0.4% – 1.0%

$$L_6 = 0.548 \times \left[\left(\frac{T_s}{55.55} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{55.55} \right)^4 \right] + 1.957 \times (T_s - T_a)^{1.25} \times \sqrt{\left[\frac{(196.85V_m + 68.9)}{68.9} \right]}$$

โดยที่ L_6 = % การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี
V_m = ค่าความเร็วลม (m/s)
T_s = อุณหภูมิผิวหม้อน้ำ (°C)
T_a = อุณหภูมิแวดล้อม (°C)

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

3. การสูญเสียความร้อนจากขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้

สามารถแยกพิจารณาจากขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

4.1) ขี้เถ้าที่มีน้ำหนักเบาหรือขี้เถ้าลอย (Unburned in fly ash)

ขี้เถ้าลอยคือขี้เถ้าที่มีน้ำหนักเบาฟุ้งกระจายอยู่ส่วนบนของห้องเผาไหม้ในหม้อน้ำ

$$L_7 = \frac{Total\ \ ash\ \ collected / kg\ \ of\ \ \ fuel\ \ burnt \times GCV\ \ of\ \ \ fly\ \ ash}{GCV\ of\ \ fuel} \times 100$$

4.2) ขี้เถ้าที่มีน้ำหนักมากหรือขี้เถ้าจม (Unburned in bottom ash)

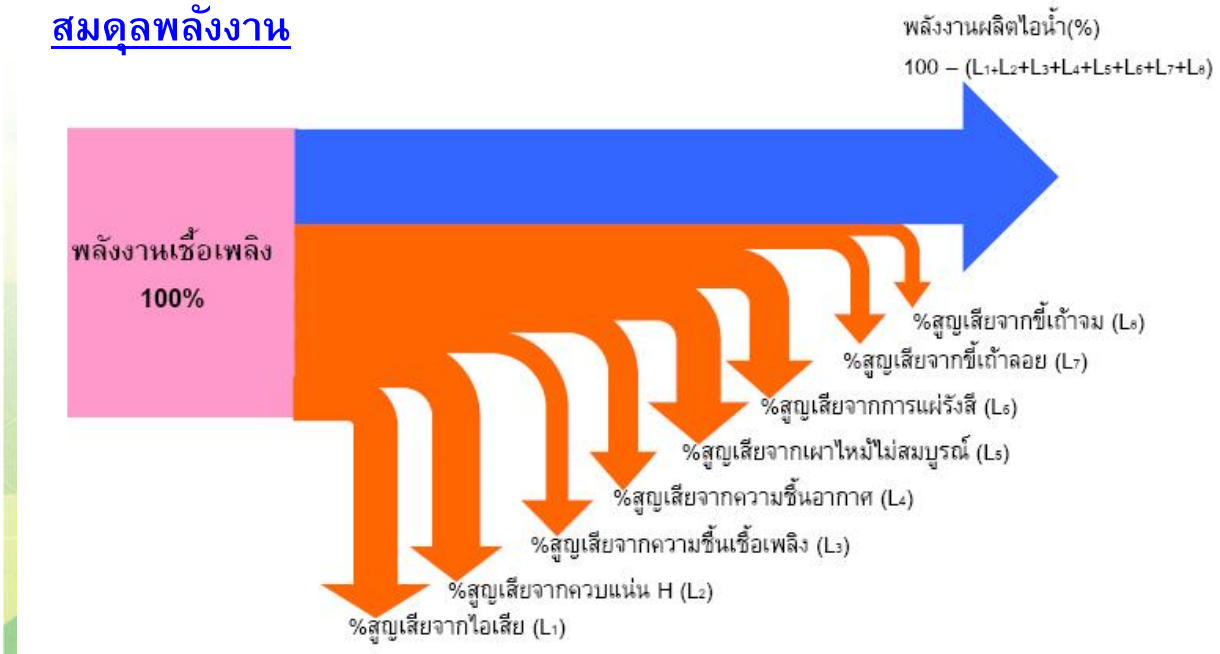
ขี้เถ้าจมคือขี้เถ้าที่มีน้ำหนักมากและตกตะกอนอยู่ด้านล่างของห้องเผาไหม้ในหม้อน้ำ

$$L_8 = \frac{Total\ \ ash\ \ collected\ / kg\ \ of\ \ \ fuel\ \ burnt \times GCV\ \ of\ \ bottom\ \ ash}{GCV\ \ of\ \ \ fuel} \times 100$$

โดยที่ L_7 = % การสูญเสียความร้อนเนื่องจากขี้เถ้าลอย
L_8 = % การสูญเสียความร้อนเนื่องจากขี้เถ้าจม

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำ

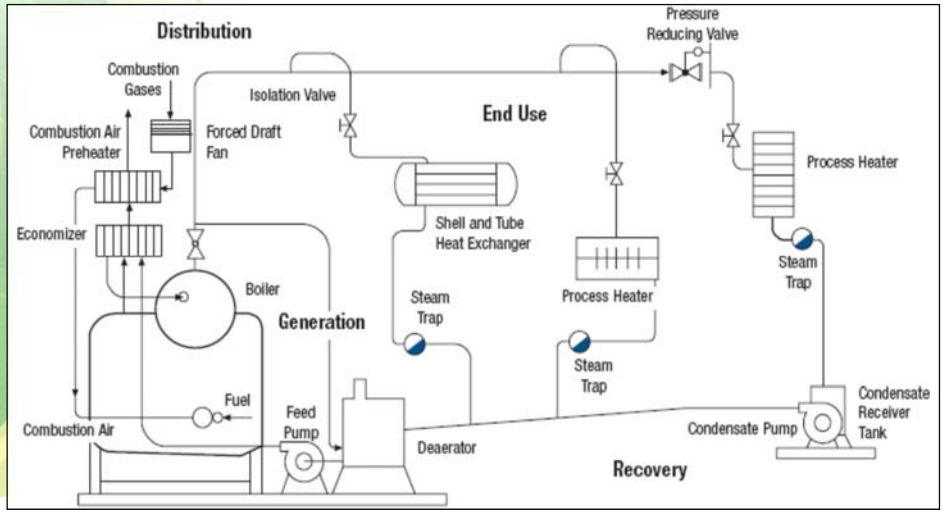
สมดุลพลังงาน



รูปที่ 2.1-4 แผนผังประสิทธิภาพการพลังงานในหม้อน้ำสำหรับผลิตไอน้ำ

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ เป็นการประเมินด้านการใช้พลังงานไอน้ำ หรือหาประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบไอน้ำว่าดีหรือไม่ มีการสูญเสียที่ไหนบ้าง และจะสามารถวางแผนในการปรับปรุงแก้ไขได้ถูกต้อง



การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ

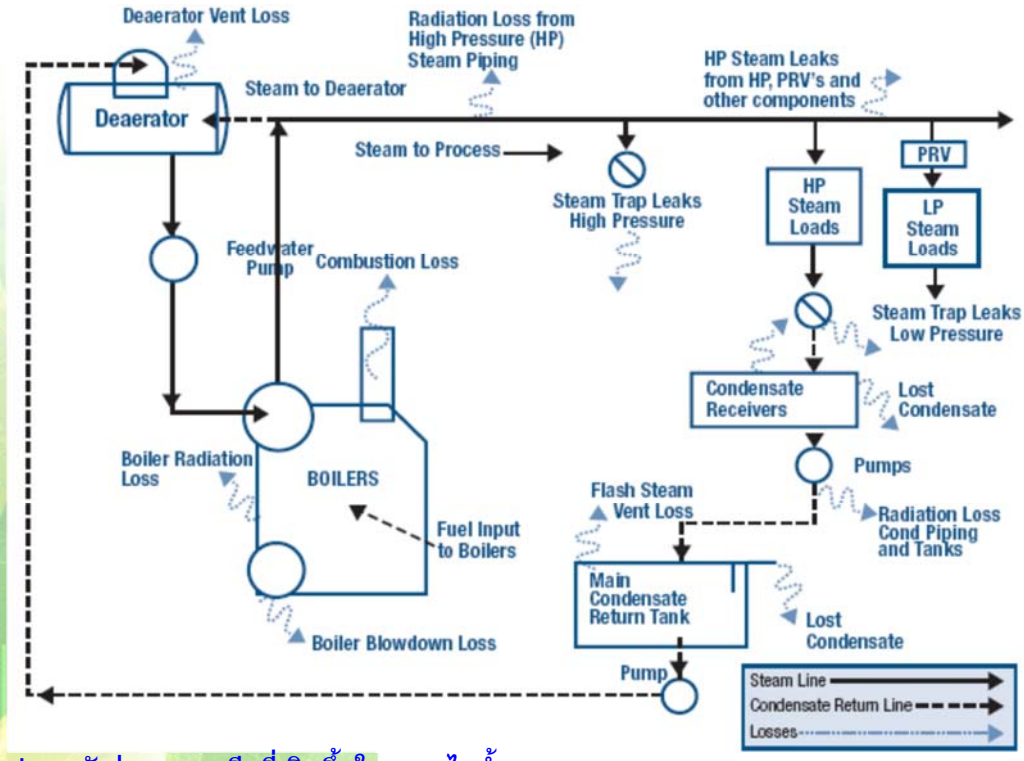
การประเมินสมรรถนะระบบไอน้ำ หรือการคำนวณหาประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำ จะใช้วิธีการคำนวณแบบทางอ้อม ดังสมการ

สมรรถนะของระบบไอน้ำ (%) = 100 (%) – การสูญเสียความร้อนในหม้อน้ำ (%)

โดยการสูญเสียในอุปกรณ์และระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

- การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากกับดักไอน้ำ (Steam Trap Loss)
- การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากรอยรั่วในท่อส่งไอน้ำ (Leak Loss)
- การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากความดันของไอน้ำ (Steam Pressure Loss)
- การสูญเสียความร้อนที่เกิดการไม่หุ้มฉนวนท่อส่งไอน้ำ (Uninsulated Loss)
- การสูญเสียความร้อนที่เกิดในระบบไอน้ำส่วนอื่น ๆ (Other Loss)

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ



รูปแผนผังค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำ (Steam System Loss)

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ

1. การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากกับดักไอน้ำ

เกิดจากการอุดตันบางส่วนหรืออุดตันทั้งหมดของกับดักไอน้ำ การอุดตันอาจเกิดได้อย่างรวดเร็วด้วยตะกรัน สนิมและอื่น ๆ ที่ผสมอยู่ในไอน้ำและคอนเดนเสท ส่งผลให้คอนเดนเสทปล่อยออกจากกับดักไอน้ำได้ช้า ทำให้การจ่ายไอน้ำมีประสิทธิภาพลดลง

$$SL_1 = \frac{\left[Vent\ rate \times \left(h_{vent} - h_{makeup}\right) \times T\right]}{\left[GCV\ (kg/hr) \times \eta_{Boiler}\right]} \times 100$$

โดยที่ SL_1 = % การสูญเสียความร้อนจากการรั่วของกับดักไอน้ำ

CGV = ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของหม้อน้ำ (kJ/kg)

η_B = ประสิทธิภาพหม้อน้ำ

Vent rate = อัตราการรั่วของไอน้ำ (kg/hr)

h_{vent} = เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)

$h_{make\ up}$ = เอนทาลปีของน้ำป้อน (kJ/kg)

T = ชั่วโมงการใช้งานไอน้ำ (hr)

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ

2. การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากรอยรั่วในท่อส่งไอน้ำ

เกิดจากรอยรั่วของท่อส่งไอน้ำ

$$SL_2 = \frac{Fuel_{Loss} \times T}{GCV \times \eta_{Boiler}} \times 100$$

เมื่อ $Fuel_{Loss} = \frac{Steam_{Loss}}{(S/F)}$ และ $Steam_{Loss}\ (kg/hr) = 199 \times A \times \left(\frac{P}{V}\right)^{0.5} \times 3600 \times n$

โดยที่ SL_2 = % การสูญเสียความร้อนจากการรั่วไหลของไอน้ำ

Steam $_{loss}$ = อัตราการรั่วไหลของไอน้ำ

Fuel $_{loss}$ = อัตราการใช้เชื้อเพลิงที่สูญเสียจากการรั่วไหลของไอน้ำ (kg/hr)

S/F = ดัชนีการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิง

A = พื้นที่หน้าตัดของรูรั่ว (m^2)

P = ความดันไอน้ำ (barg)

V = ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (m^3/kg)

n = จำนวนรูรั่ว (จุด)

GCV = ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของหม้อน้ำ (kJ/kg)

T = ชั่วโมงการใช้งานไอน้ำ (hr)

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ

3. การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากความดันของไอน้ำ

การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากความดันของไอน้ำ

$$SL_3 = \frac{Fuel_{Loss} \times T}{GCV \times \eta_{Boiler}} \times 100$$

เมื่อ $Fuel_{Loss} = \frac{Steam_{Loss}}{(S/F)}$ และ $Steam\ rate\ (kg/hr) = 900 \times \pi \times \rho \times D^2 \times V$

โดยที่

SL_3	=	% การสูญเสียความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงความดัน
Steam rate	=	อัตราการไหลของไอน้ำในท่อ (kg/hr)
$Fuel_{loss}$	=	อัตราการใช้เชื้อเพลิงที่สูญเสียจากการรั่วไหลของไอน้ำ (kg/hr)
S/F	=	ดัชนีการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิง
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)
ρ	=	ความหนาแน่นของไอน้ำ (kg/m^3)
V	=	ความเร็วของไอน้ำในท่อ (m/s)
GCV	=	ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของหม้อน้ำ (kJ/kg)
T	=	ชั่วโมงการใช้งานไอน้ำ (hr)

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ

4. การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการไม่หุ้มฉนวนท่อส่งไอน้ำ

การปล่อยท่อไอน้ำให้เปลือยไว้โดยไม่มีการหุ้มฉนวน จะทำให้เกิดความสูญเสียความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณสูง โดยทั่วไปจะประมาณ 5-10% การสูญเสียความร้อนดังกล่าว สามารถคำนวณได้โดยการใช้ค่าคำนวณบางส่วนจากข้อมูลการตรวจวัด ซึ่งข้อมูลตรวจวัดที่ต้องทราบ คือ

ชั่วโมงการใช้งานระบบไอน้ำโรงงาน	=	time	ชั่วโมง/วัน
วัดอุณหภูมิผิวท่อที่ไม่หุ้มฉนวน	=	T1	°C
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	=	D	นิ้ว
ความยาวท่อไอน้ำ	=	L+0.4n+0.2a เมตร	

โดยที่

L = ความยาวท่อไอน้ำ (เมตร)

n = จำนวนหน้าแปลนที่มีอยู่ในช่วงท่อความยาว L เมตร (ตัว)

a = จำนวนวาล์วที่มีอยู่ในช่วงท่อความยาว L เมตร (ตัว)

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ

4.1) การหาค่าการสูญเสียความร้อนของท่อก่อนหุ้มฉนวนความร้อน

$$SL_4 = \frac{Q_{no-insu\ \ total}}{GCV \times \eta_{Boiler}} \times 100$$

เมื่อ $Q_{no-insu\ \ total}\ (kWh/day) = Q_{no-insu}\ (kW/m) \times L\ (m) \times time\ (hr/day)$

โดยที่ SL_4 = % การสูญเสียความร้อนขอท่อก่อนหุ้มฉนวนความร้อน

L = ความยาวท่อไอน้ำ (m)

CGV = ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของหม้อน้ำ (kJ/kg)

η_B = ประสิทธิภาพหม้อน้ำ

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ

4.2) การหาค่าการสูญเสียความร้อนของท่อหลังหุ้มฉนวนความร้อน

$$SL_5 = \frac{Q_{insu\ \ total}}{GCV\ (kJ/kg) \times \eta_{Boiler}} \times 100$$

เมื่อ $Q_{Insu\ \ total}\ (kWh/day) = Q_{Insu}\ (kW/m) \times L\ (m) \times time\ (hr/day)$

โดยที่ SL_5 = % การสูญเสียความร้อนขอท่อหลังหุ้มฉนวนความร้อน

L = ความยาวท่อไอน้ำ (m)

CGV = ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของหม้อน้ำ (kJ/kg)

η_B = ประสิทธิภาพหม้อน้ำ

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ

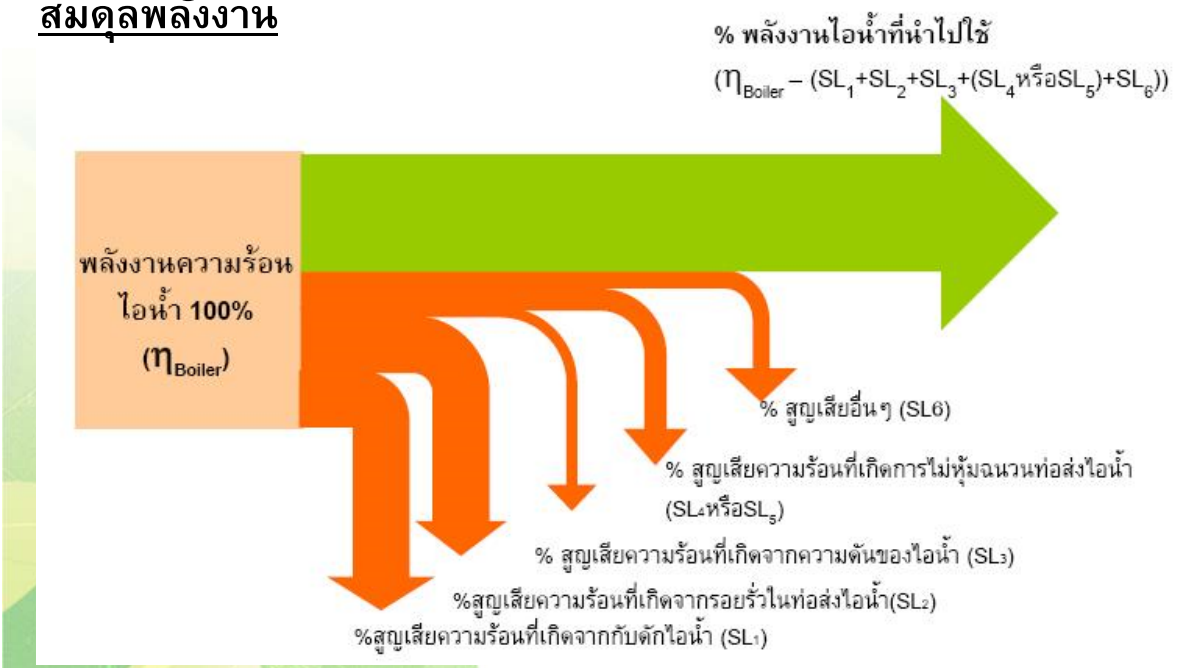
5. การสูญเสียความร้อนที่เกิดในระบบไอน้ำส่วนอื่น ๆ (SL_6)

เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำ แต่เป็นการสูญเสียไม่ใช่ประเด็นใหญ่ การสูญเสียส่วนอื่น ๆ นี้ ได้แก่

- ท่อที่มากเกินความจำเป็น
- จุดระบายน้ำทิ้งและแนวทางการวางท่อ
- ตัวกรอง
- การระบายอากาศ
- การถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำ

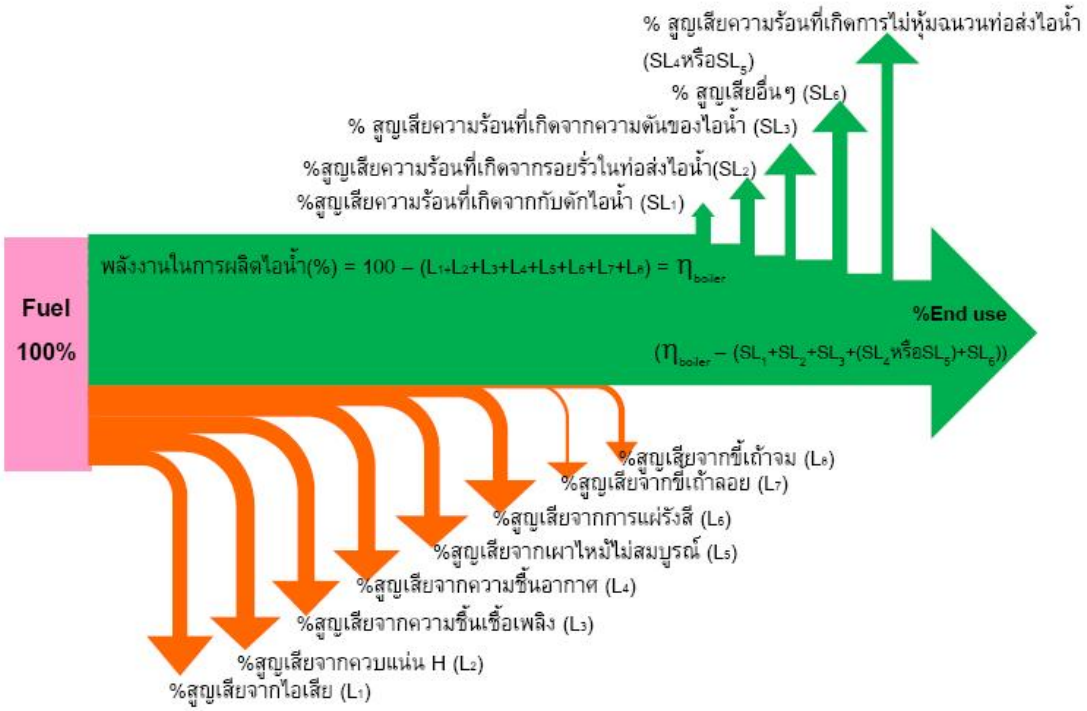
การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบไอน้ำ

สมดุลพลังงาน



รูปแผนผังประสิทธิภาพการพลังงานของระบบส่งจ่ายไอน้ำ

การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อน้ำและระบบไอน้ำ



รูปแผนผังพลังงานในระบบหม้อน้ำ (ก่อนจ่ายไอน้ำไปยังอุปกรณ์การใช้งานในโรงงาน)

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

แนวทางในการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพ

การปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อน้ำและระบบไอน้ำ เกี่ยวข้องกับด้านต่างๆ เช่น การเผาไหม้ การแลกเปลี่ยนความร้อน คุณภาพของน้ำ เป็นต้น ในที่นี้ได้เสนอแนวทางการปรับปรุงไว้ทั้งสิ้น 13 หัวข้อได้แก่

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

1. แนวทางในการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพ

✓**การควบคุมอุณหภูมิปล่องไอเสีย**

- 22 °C ของอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ลดลง ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำเพิ่มขึ้น 1%

✓**การเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนด้วย Economizer**

- 6 °C ของอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อน้ำที่เพิ่มขึ้น จะลดความต้องการเชื้อเพลิงลงได้ 1%

✓**การอุ่นอากาศเข้าเผาไหม้**

- 20 °C ของอุณหภูมิอากาศเข้าเผาไหม้เพิ่มขึ้น จะลดความต้องการเชื้อเพลิงลงได้ 1%

✓**การลดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์**

✓**การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน**

- 5% ของอากาศเข้าเผาไหม้ส่วนเกิน หรือ ทุกๆ 1% ของปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียที่ลดลง ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำเพิ่มขึ้น 1%

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

1. แนวทางในการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพ (ต่อ)

✓**หลีกเลี่ยงการสูญเสียจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน**

✓**ควบคุมการโบลว์ดาวน์ด้วยการใช้ ระบบโบลว์ดาวน์อัตโนมัติ**

- 10% ของการโบลว์ดาวน์ในหม้อน้ำที่ผลิตไอน้ำความดัน 15 kg/cm^2 ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำลดลง 3%

✓**การลดเขม่าและคราบหินปูนบนพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน**

- 3 mm. ของความหนาเขม่าที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อไฟ จะเพิ่มความต้องการเชื้อเพลิงขึ้นอีก 2.5%

✓**การลดความดันผลิตไอน้ำ**

- โดยทั่วไปแล้วความดันผลิตไอน้ำสามารถลดลงได้ แต่ไม่ควรต่ำกว่า 20 % ของความดันที่ใช้เดิม

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

1. แนวทางในการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพ (ต่อ)

✓การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบสำหรับพัดลม และปั๊ม

✓การควบคุมภาระของหม้อน้ำ

- ประสิทธิภาพของหม้อน้ำ โดยมากจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในช่วงภาระ 2/3 ของพิกัด ถ้าภาระของหม้อน้ำลดลงประสิทธิภาพของหม้อน้ำก็มีแนวโน้มที่จะลดลงด้วย

✓การจัดตารางการใช้งานหม้อน้ำที่เหมาะสม

- ควรทำการเดินหม้อน้ำจำนวนน้อยเครื่อง โดยให้แต่ละเครื่องมีภาระสูง

✓การเปลี่ยนหม้อน้ำใหม่

- หม้อน้ำที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 25 ปี การเปลี่ยนหม้อน้ำใหม่จะมีความคุ้มค่าในการลงทุน

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบ (Check List)

เพื่อความสะดวกในการประเมินศักยภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อน้ำและระบบไปน้ำ การใช้แบบตรวจสอบจะช่วยให้ทราบว่า ควรทำการปรับปรุงแก้ไขในส่วนใด

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบ (Check List)

มาตรการที่	ชื่อมาตรการ	ผลการตรวจสอบ	
		ใช่	ไม่ใช่
มาตรการด้านการจัดการ (House Keeping)			
1	ลดช่วงเวลาการทำงานของหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการจัดตารางเวลาการใช้งานหม้อน้ำ		
	• ไม่มีแผนการทำงานที่สัมพันธ์กับแผนการผลิต		
2	การเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์โดยขึ้นอยู่กับช่วงเวลาการทำงานสำหรับหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด		
	• ไม่มีการตรวจสอบแนวโน้มของราคาเชื้อเพลิง		
	• ไม่สามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงได้		
3	การใช้งานอุปกรณ์ข้างเคียงหม้อน้ำให้เหมาะสมกับการทำงานและภาระของหม้อน้ำ		
	• ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ข้างเคียง		
	• หม้อน้ำไม่มีการควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ		
	• ไม่มีการบำรุงรักษาปั๊มและวาล์วตามผู้ผลิตแนะนำ		
4	การกระจายภาระการทำความร้อนในแต่ละหม้อน้ำ ให้ภาพรวมของการใช้เงินลงทุนในการดำเนินการลดลง		
	• ไม่มีการตรวจสอบประสิทธิภาพของหม้อน้ำแต่ละเครื่อง		
	• ไม่มีการวางแผนการเดินหม้อน้ำแต่ละลูก		
	• มีการอุ่นหม้อน้ำสำรองตลอดเวลา		

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบ (Check List)

มาตรการที่	ชื่อมาตรการ	ผลการตรวจสอบ	
		ใช่	ไม่ใช่
มาตรการด้านการจัดการ (House Keeping)			
5	การรักษาความดันของไอน้ำในระบบไอน้ำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์และระบบกระจายไอน้ำ		
	• ไม่มีการสำรวจแรงดันที่ต้องการใช้งานในแต่ละอุปกรณ์		
	• ไม่มีแผนการเดินเครื่องจักรที่ใช้ไอน้ำแต่ละเครื่อง		
6	ตรวจสอบประสิทธิภาพของหม้อน้ำอย่างต่อเนื่อง		
	• ไม่มีการตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการตรวจสอบระบบควบคุมหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการตรวจวัดปริมาณการเชื้อเพลิง		
7	การปรับสัดส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสม		
	• ไม่มีการตรวจวัดและปรับปริมาณอากาศเข้าเผาไหม้		
	• ไม่มีการจดบันทึกผลการตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้		
8	การทำความสะอาดปรับตั้งและซ่อมแซมส่วนประกอบของหัวเผาในช่วงเวลาที่เหมาะสม		
	• ไม่มีการตรวจสอบและบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด		
	• ไม่มีการทำความสะอาดหัวฉีด		
	• ไม่มีการปรับตั้งตำแหน่งหัวฉีด		

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบ (Check List)

มาตรการที่	ชื่อมาตรการ	ผลการตรวจสอบ	
		ใช่	ไม่ใช่
มาตรการด้านการจัดการ (House Keeping)			
9	กำจัดการรั่วไหลของอากาศในผนังอากาศตัวเรือนของพัดลมและท่อส่งต่างๆ		
	• มีการรั่วไหลของอากาศที่ประตูหม้อน้ำ		
	• มีการรั่วไหลระหว่างหม้อน้ำและปล่องไอเสีย		
10	การควบคุม Draft ให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด		
	• ไม่มีการปรับความเร็ว หรือ แดมเปอร์ของพัดลม		
	• พัดลมไม่สามารถเลือกช่วงการทำงานได้		
11	แก้ไขข้อผิดพลาดในระบบก๊าซไอเสียและการหมุนเวียนอากาศภายในหม้อน้ำซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับ Draft		
	• มีการรั่วไหลของอากาศที่ประตูหม้อน้ำ		
	• มีการรั่วไหลของอากาศระหว่างหม้อน้ำและปล่องไอเสีย		
12	การลดการสูญเสียจาก Draft ในขณะเดินตัวเปล่า		
	• ไม่มีระบบควบคุมพัดลมขณะที่หม้อน้ำไม่ทำงาน		
	• ไม่มีการตรวจสอบระบบควบคุมการทำงานของพัดลม		

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบ (Check List)

มาตรการที่	ชื่อมาตรการ	ผลการตรวจสอบ	
		ใช่	ไม่ใช่
มาตรการด้านการจัดการ (House Keeping)			
13	การควบคุมปริมาณน้ำโบลว์ดาวน์		
	• ไม่มีการตรวจสอบค่า TDS ของน้ำโบลว์ดาวน์		
	• น้ำโบลว์ดาวน์มีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO3) อยู่ระหว่าง 50 – 150 ppm ที่ pH 8.3		
	• น้ำโบลว์ดาวน์มีสภาพเป็นด่าง และค่า pH ไม่เกิน 12		
	• น้ำโบลว์ดาวน์มีค่าฟอสเฟตไม่เกิน 25 ppm		
	• น้ำโบลว์ดาวน์มีซิลิก้าไม่เกิน 40 ppm		
14	การปรับความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงให้เหมาะสม		
	• ไม่มีการควบคุมความชื้นของเชื้อเพลิงแข็ง		
	• ไม่มีการควบคุมความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิง		
15	การใช้สารเติมแต่งในเชื้อเพลิงเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง		
	• ไม่มีการตรวจสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง		
	• ไม่มีการปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงก่อนเข้าเผาไหม้		
16	การใช้กับดักไอน้ำที่เหมาะสม		
	• ไม่มีการสำรวจชนิดกับดักไอน้ำที่ใช้งานว่าเหมาะสมหรือไม่		

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบ (Check List)

มาตรการที่	ชื่อมาตรการ	ผลการตรวจสอบ	
		ใช่	ไม่ใช่
มาตรการด้านการจัดการ (House Keeping)			
17	การซ่อมบำรุงกับดักไอน้ำ		
	• ไม่มีการตรวจสอบรอยรั่วของกับดักไอน้ำ		
	• ไม่มีการตรวจสอบการทำงานของกับดักไอน้ำ		
18	การปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการใช้เคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ		
	• ไม่มีการบำรุงรักษา Softener ตามระยะเวลาที่เหมาะสม		
	• ไม่มีการทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านท่อน้ำ		
	• ไม่มีการทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านท่อไฟ		
17	การซ่อมบำรุงกับดักไอน้ำ		
	• ไม่มีการตรวจสอบรอยรั่วของกับดักไอน้ำ		
	• ไม่มีการตรวจสอบการทำงานของกับดักไอน้ำ		
18	การปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำ		

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบ (Check List)

มาตรการที่	ชื่อมาตรการ	ผลการตรวจสอบ	
		ใช่	ไม่ใช่
มาตรการด้านการปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement)			
19	การติดตั้งเครื่องควบคุมเวลาการใช้งานของหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเวลาการทำงานของหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการติดตั้งระบบแจ้งเตือนการหยุดทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ		
20	การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ข้างเคียงของหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ข้างเคียงของหม้อน้ำ		
21	การติดตั้งระบบควบคุมการทำงานของหม้อน้ำแบบอัตโนมัติ เพื่อกระจายภาระของหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการตรวจสอบประสิทธิภาพของหม้อน้ำแต่ละเครื่อง		
	• ไม่มีการวางแผนการเดินหม้อน้ำแต่ละลูก		
	• มีการอุ่นหม้อน้ำสำรองตลอดเวลา		
	• ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหม้อน้ำหลายเครื่อง		
	• อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหม้อน้ำไม่สามารถเปลี่ยนรอบได้		

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบ (Check List)

มาตรการที่	ชื่อมาตรการ	ผลการตรวจสอบ	
		ใช่	ไม่ใช่
มาตรการด้านการปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement)			
23	การติดตั้งตัวอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ ในพัดลม Forced-draft และ Induce-draft ขนาดใหญ่		
	• ไม่มีการปรับความเร็ว หรือ แดมเปอร์ของพัดลม		
	• พัดลมไม่สามารถเลือกช่วงการทำงานได้		
24	การติดตั้งระบบระบายน้ำโบลว์ดาวน์อัตโนมัติ		
	• ไม่มีการควบคุมปริมาณการโบลว์ดาวน์		
	• ไม่มีการตรวจสอบค่า TDS ในน้ำโบลว์ดาวน์		
23	การติดตั้งตัวอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ ในพัดลม Forced-draft และ Induce-draft ขนาดใหญ่		
	• ไม่มีการปรับความเร็ว หรือ แดมเปอร์ของพัดลม		
	• พัดลมไม่สามารถเลือกช่วงการทำงานได้		
24	การติดตั้งระบบระบายน้ำโบลว์ดาวน์อัตโนมัติ		
	• ไม่มีการควบคุมปริมาณการโบลว์ดาวน์		
	• ไม่มีการตรวจสอบค่า TDS ในน้ำโบลว์ดาวน์		

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบ (Check List)

มาตรการที่	ชื่อมาตรการ	ผลการตรวจสอบ	
		ใช่	ไม่ใช่
มาตรการด้านการปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement)			
27	การหุ้มฉนวนท่อส่งไอน้ำ และท่อคอนเดนเสท		
	• ฉนวนหม้อน้ำชำรุดเสียหาย		
	• ฉนวนหม้อน้ำบางเกินไป		
	• ไม่มีการหุ้มฉนวนท่อส่งความร้อนอื่นๆ		
28	การอุ่นน้ำป้อนหม้อน้ำด้วยความร้อนจากคอนเดนเสท		
	• ไม่มีการเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อน้ำก่อนป้อนเข้าหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการนำความร้อนทิ้งจากคอนเดนเสทมาใช้งาน		
27	การหุ้มฉนวนท่อส่งไอน้ำ และท่อคอนเดนเสท		
	• ฉนวนหม้อน้ำชำรุดเสียหาย		
	• ฉนวนหม้อน้ำบางเกินไป		
	• ไม่มีการหุ้มฉนวนท่อส่งความร้อนอื่นๆ		
28	การอุ่นน้ำป้อนหม้อน้ำด้วยความร้อนจากคอนเดนเสท		
	• ไม่มีการเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อน้ำก่อนป้อนเข้าหม้อน้ำ		
	• ไม่มีการนำความร้อนทิ้งจากคอนเดนเสทมาใช้งาน		

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบ (Check List)

มาตรการที่	ชื่อมาตรการ	ผลการตรวจสอบ	
		ใช่	ไม่ใช่
มาตรการด้านการเปลี่ยนเครื่องจักร (Machine Change)			
29	การติดตั้งระบบการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงอัตโนมัติ		
	• ไม่สามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงหลายชนิดได้		
	• ไม่มีระบบการเปลี่ยนเชื้อเพลิงอัตโนมัติ		
30	การติดตั้งระบบหัวเผาที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความสามารถหลากหลาย		
	• ไม่มีการบำรุงรักษาหัวเผาตามความเหมาะสม		
	• หัวเผาไม่สามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงหลายชนิดได้		
31	ติดตั้ง Economizer		
	• ไม่มีการนำความร้อนจากก๊าซไอเสียมาใช้		
	• ไม่มีการเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อน้ำ		
	• ไม่ความร้อนทิ้งจากคอนเดนเสทกลับมายังหม้อน้ำ		
32	การติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศ		
	• ไม่มีการนำความร้อนจากก๊าซไอเสียมาใช้		
	• ไม่มีการอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาไหม้		

การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

การประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบ (Check List)

มาตรการที่	ชื่อมาตรการ	ผลการตรวจสอบ	
		ใช่	ไม่ใช่
มาตรการด้านการเปลี่ยนเครื่องจักร (Machine Change)			
33	การติดตั้งเครื่องเก็บคืนความร้อนชนิดพ่นฝอยน้ำ		
	• ไม่มีการนำความร้อนจากก๊าซไอเสียมาใช้		
34	การติดตั้ง Tabulator ในหม้อน้ำแบบท่อไฟ		
	• อุณหภูมิของก๊าซไอเสียสูงเกินกว่าปกติ ในขณะที่อากาศเผาไหม้ส่วนเกินไม่เกินมาตรฐาน		
	• ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในหม้อน้ำ		
35	การเก็บคืนความร้อนกลับจากการโบลว์ดาวน์		
	• มีการโบลว์ดาวน์อย่างต่อเนื่อง		
	• มีถังรองรับน้ำโบล์ดาวน์		
	• ไม่มีการนำความร้อนจากน้ำโบลว์ดาวน์กลับมาใช้		

กรณีศึกษา

เกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ และหม้อน้ำที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบน้ำป้อนหม้อน้ำ และน้ำในหม้อน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

1. น้ำดิบมีคุณภาพต่ำ (TDS ของน้ำบาดาลเท่ากับ 1300 ppm, Hardness เฉลี่ยประมาณ 860 ppm, Chloride เฉลี่ยประมาณ 160 ppm)

ข้อเสนอแนะ

1. การปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนเข้าหม้อน้ำ

วิธีที่ 1 ใช้น้ำดิบหรือน้ำบาดาลจากแหล่งเดิม แต่ปรับปรุงให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยลด TDS, Hardness และของแข็งละลายน้ำลง ด้วยกระบวนการทำน้ำให้ใส และผ่าน Softener

วิธีที่ 2 ใช้น้ำดิบหรือน้ำบาดาลจากแหล่งเดิม แต่ปรับปรุงให้มีคุณภาพดีขึ้น ด้วยกระบวนการทำน้ำให้ใส และผ่านระบบ Demineralization หรือผ่านระบบ Reverse Osmosis

วิธีที่ 3 จัดหาน้ำดิบจากแหล่งใหม่ที่มีคุณภาพดี แล้วปรับปรุงคุณภาพตามวิธีที่ 1 หรือ 2

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบน้ำป้อนหม้อน้ำ และน้ำในหม้อน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง	ข้อเสนอแนะ
2. น้ำในหม้อน้ำมี TDS สูงเกินไป (ตามข้อกำหนด TDS ในหม้อน้ำไม่ควรเกิน 3500 ppm.) เช่น 18,400 ppm. (ตรวจวิเคราะห์ 23/2/2552)	2. ปรับปรุงและควบคุมคุณภาพน้ำภายในหม้อน้ำ วิธีที่ 1 ติดตั้งระบบ Intermittent Blow down Valve แต่ต้องมีการปรับตั้งระยะเวลาในการ Blow down และระยะเวลาในการเปิดวาล์วให้เหมาะสม วิธีที่ 2 ติดตั้งระบบวาล์วระบายน้ำแบบต่อเนื่อง เพิ่มจากวิธีที่ 1 ระบบนี้จะเน้นการระบายน้ำที่ผิวน้ำ โดยติดตั้ง Electric Conductivity Sensor เพื่อส่งสัญญาณไปควบคุมการเร่งหรี่วาล์วระบายอัตโนมัติ ตามความเข้มข้นของ EC วิธีนี้สามารถนำน้ำร้อนจากการระบายไปเข้า Flash Vessel เพื่อแยกไอน้ำความดันต่ำไปใช้งาน

95

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบน้ำป้อนหม้อน้ำ และน้ำในหม้อน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง	ข้อเสนอแนะ
3. มีการโบลว์ดาวน์ทุก ๆ 24 ชั่วโมง ครั้งละประมาณ 5 นาที โดยมีค่า TDS เท่ากับ 530 ppm. ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 4. มีการล้างเกลือเรซิน 2 เดือน ต่อ 1 ครั้ง ทำให้ค่า Hardness ยังสูง 5. pH น้ำในหม้อน้ำ 12.15 (สูงเกินมาตรฐาน) 6. ค่าคลอไรด์ค่อนข้างสูง ส่งผลให้เรซินในเครื่องกรองเกิดการแตกและเสื่อมสภาพได้	3. ลดปริมาณการโบลว์ดาวน์ลง เพื่อควบคุมระดับค่า TDS ของน้ำโบลว์ดาวน์ให้ใกล้ 3,500 ppm. โดยทำการลดปริมาณโบลว์ดาวน์ลง จาก 5 นาทีต่อวัน เป็น 1 นาทีต่อวัน 4. ควรปรับช่วงเวลาการล้างเกลือให้เหมาะสม โดยควบคุมค่า Hardness $\leq$ 10 ppm. 5. ควรควบคุมค่า pH น้ำในหม้อน้ำ $\leq$ 11.8 โดยการเพิ่มการ Blow Down และ/หรือควบคุมปริมาณสารเคมีเข้าหม้อน้ำ 6. ตรวจสอบค่าคลอไรด์ หากมีค่าสูงจะต้องกำจัดก่อนนำน้ำเข้าเครื่องกรอง พร้อมให้ตรวจค่าเหล็ก และซิลิกาเพิ่มเติม

96

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ถังพักน้ำป้อน

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

1. ถัง Feed Tank อยู่ในระดับพื้น หากอุณหภูมิน้ำสูงอาจเกิดปัญหาเรื่อง Cavitations

2. ถัง Feed Tank ไม่มีฉนวนหุ้มเกิดการสูญเสียความร้อน อีกทั้งมีขนาดใหญ่ ทำให้อุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้นช้าและต้องใช้พลังงานมาก
3. ไม่มีหลอดแก้วบอกระดับน้ำถัง Feed Tank

ข้อเสนอแนะ

1. ควรยกถัง Feed Tank ให้สูงและปรับปรุงท่อทางดูดของปั๊มให้ใหญ่เพื่อป้องกันการเกิด Cavitations
2. ควรหุ้มฉนวนถัง Feed Tank เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน
3. ควรติดตั้งหลอดแก้วพร้อมเครื่องป้องกันที่ถัง Feed Tank เพื่อสามารถตรวจสอบระดับน้ำได้ตลอดเวลา

97

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ถังพักน้ำป้อน

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

4.ถัง Deaerator อุ่นน้ำป้อนโดยใช้คอนเดนเสท และไอน้ำ มีอุณหภูมิน้ำเท่ากับ 85°C และมีขนาดความจุ 2,000 ลิตร ซึ่งมีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับปริมาณใช้น้ำ 15,000 ลิตร/ชม. ทำให้ใช้ Steam ในการอุ่นในปริมาณมาก

ข้อเสนอแนะ

4. ควรเพิ่มอุณหภูมิน้ำอยู่ประมาณ 103-105 °C แต่ต้องระวังเรื่องการเกิด Cavitations โดยต้องคำนึงถึง Spec ของปั๊มน้ำด้วยว่าเหมาะสมหรือไม่ และควรเพิ่มขนาดความจุของ Deaerator Tank ให้เหมาะสมกับอัตราการป้อนน้ำเข้าหม้อน้ำด้วย เพื่อสามารถควบคุมทั้งปริมาณน้ำ และอุณหภูมิน้ำ ได้อย่างเหมาะสม

98

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

เครื่องสูบน้ำป้อน

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

1. ลิ้นกันกลับที่ท่อส่งน้ำเข้าหม้อน้ำใช้ปั๊ม 2 ชุด มีลิ้นกันกลับเพียง 1 จุด เวลาเปลี่ยนการทำงานของปั๊มจะต้องปิด-เปิด วาล์วบังคับทิศทางให้ถูกต้อง ซึ่งหากผู้ควบคุมไม่ชำนาญหรือไม่เข้าใจอาจปิด-เปิด วาล์วผิดได้ซึ่งอาจมีผลให้น้ำไม่เข้าหม้อน้ำ

2. ไม่ได้ติดตั้งเกจวัดความดันที่ท่อส่งน้ำเข้าหม้อน้ำ

ข้อเสนอแนะ

1.ควรติดตั้งลิ้นกันกลับเพิ่มอีก 2 จุด ที่ทางออกของปั๊มแต่ละเครื่อง จะทำให้สามารถเปิดวาล์วทุกตัวทิ้งไว้ได้และขณะเปลี่ยนการทำงานของปั๊มก็ไม่จำเป็นต้องปิด-เปิด วาล์วบังคับทิศทางทุกครั้ง

2. ควรติดตั้งเกจวัดความดันที่ระบบท่อส่งน้ำเข้าหม้อน้ำ เพื่อเป็นจุดสังเกตในการวิเคราะห์สภาพการทำงานของปั๊ม และข้อบกพร่องอื่น ๆ

99

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

หม้อน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

1. เกจวัดความดันไอน้ำและแท่งแก้วบอกระดับน้ำในหม้อน้ำไม่มีเครื่องหมายแสดงระดับใช้งานปกติและระดับอันตราย

2. วาล์วหลอดแก้วชำรุด และปิดขณะใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำเครื่องหมายแสดงระดับใช้งานปกติและระดับอันตรายที่เกจวัดความดันและแท่งแก้วบอกระดับน้ำ เพื่อให้เป็นไปตามกฎหมาย

2. ให้ซ่อมหรือเปลี่ยนวาล์วหลอดแก้ว และหากอุปกรณ์ความปลอดภัยชำรุดห้ามใช้งานหม้อน้ำเครื่องดังกล่าว (ให้เดินอีกเครื่องก่อนจนกว่าจะซ่อมเสร็จ)

100

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

หม้อน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

3. ท่อระบายไอน้ำของลิ้นนิรภัย (Safety Valve) ไม่ได้เจาะรูระบายน้ำใต้ท่อ

4. Safety Valve หลังหม้อน้ำทั้ง 2 เครื่อง ไม่ได้ต่อท่อระบายไอน้ำออกนอกอาคาร

ข้อเสนอแนะ

3. ควรเจาะรูระบายน้ำใต้ท่อระบายไอน้ำของลิ้นนิรภัย (Safety Valve) เพื่อป้องกันน้ำขังซึ่งจะทำให้บ่าวาล์วเป็นสนิมและเกิดการขัดตัวค้างได้
4. ควรติดตั้งท่อระบายไอน้ำที่ Safety Valve เพื่อป้องกันเรื่องความร้อนและเสียงภายในอาคาร

101

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

หม้อน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

5. ถังพักไอไม่มีอุปกรณ์ความปลอดภัย
6. เกจวัดความดันของหม้อน้ำและถังพักไอไม่ตรงกัน (5/7 Bar)
7. ผนังหลังมีอุณหภูมิสูงส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนในปริมาณมาก
8. หม้อน้ำ และคอเตามีความเสี่ยงจากการออกแบบและโครงสร้าง
9. ใต้คอเตามักมีการสะสมของโคลนตะกอนซึ่งทำให้คอเตาเกิดความเสียหาย

ข้อเสนอแนะ

5. ให้ติดตั้งลิ้นนิรภัยที่ถังพักไอ
6. ควรปรับปรุงห้องหม้อน้ำให้เป็นไปตามกฎหมาย
7. ตรวจสอบอิฐทนไฟผนังหลัง หากชำรุดให้ซ่อม
8. ควรตรวจสอบโครงสร้างหม้อน้ำ และคอเตาอย่างต่อเนื่อง
9. ควรต่อวาล์วและท่อระบายใต้คอเตา

102

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

หม้อน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

10. ช่องมองเปลวไฟข้างเตากระจกแตกร้าวชำรุด อาจกระเด็นเข้าตาผู้ควบคุมขณะตรวจสอบ

ข้อเสนอแนะ

10. ควรเปลี่ยนกระจกใหม่ โดยเน้นเป็นกระจกทนความร้อนสูง

103

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

หม้อน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

11. หม้อน้ำบริเวณคอเตาซึ่งเป็นแบบ 2 ชั้น ไม่มีฉนวนหุ้ม และไม่มีท่อ Blow Down

ข้อเสนอแนะ

11. ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่บริเวณคอเตาเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน และติดตั้งวาล์วพร้อมท่อ Blow Down เพื่อป้องกันโคลนตะกอนตกค้างทำให้คอเตาเสียหายได้

104

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

หม้อน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

12. ท่อระบายไอน้ำของเครื่องอบฆ่าเชื้อที่ต่อท่อออกนอกอาคาร มีน้ำร้อนหยดลงบริเวณทางเดิน อาจหยดใส่พนักงานที่เดินผ่านบริเวณดังกล่าว

ข้อเสนอแนะ

12. ควรติดตั้งท่อระบายต่อลงพื้นในที่ปลอดภัย

105

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบเชื้อเพลิง : เชื้อเพลิงเหลว

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

1. น้ำมันหนืดเหนียว ไหลยาก เมื่ออากาศเย็นมีการอุดตันที่ Strainer บ่อย
2. ปั๊มน้ำมันชำรุดสึกหรอเร็ว
3. มีถ่านและตะกอนแข็งเกาะอยู่ภายในเครื่องอุ่นน้ำมัน (Electric Heater) การอุ่นน้ำมันอาจอุ่นได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่ปรับตั้งไว้มาก เครื่องอุ่นน้ำมันมักร้อนจัดจน Heater ไหม้
4. ถ่านและตะกอนแข็งจาก Electric Heater จะค่อย ๆแตกตัวและไหลเข้าสู่หัวฉีด ทำให้หัวฉีดสึกหรอเร็วจากการกัดกร่อน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการล้างถังเก็บน้ำมันเตา และ Daily Tank ทุก ๆ 1-2 ปี/ครั้ง การล้างถังน้ำมันเตาต้องระมัดระวังเรื่อง Confine Space และก๊าซที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานด้วย
2. ควรล้าง Strainer และ Electric Heater อย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง
3. ควรตรวจสภาพและล้างนมหนูอย่างน้อย 1-3 เดือน/ครั้ง
4. ควรมีการระบายน้ำมันใต้ Daily Tank เพื่อตรวจสอบน้ำและโคลนน้ำมันอย่างน้อย 3 เดือน/ครั้ง

106

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบเชื้อเพลิง : เชื้อเพลิงเหลว

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

5. หัวฉีดสกปรกและเกิดการอุดตันง่าย การฉีดน้ำมันเฉียงไปด้านใดด้านหนึ่ง

หัวฉีดมีคราบน้ำมันเปรอะเปื้อน

6. จากการสอบถามผู้ควบคุมพบว่ามีก้อน Carbon ภายในท่อไฟใหญ่ อาจเกิดจากการปรับตั้ง Burner ที่ยังไม่เหมาะสม

ข้อเสนอแนะ

6.ควรปรับตั้ง Burner โดยช่างผู้ชำนาญ โดยคำนึงถึงอุณหภูมิน้ำมัน %O_2 , %CO , และ %CO_2 ฯลฯ ให้เหมาะสม

107

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบเชื้อเพลิง : เชื้อเพลิงเหลว

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

7. การอุ่นน้ำมันเตาใช้ที่อุณหภูมิประมาณ 100 °C

8. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (น้ำมันเตา) มีค่าไม่สอดคล้องกัน

9. เกจวัดอุณหภูมิน้ำมันเตาก่อนเข้าหัวฉีดไม่มีการติดตั้ง จึงไม่สามารถรู้อุณหภูมิน้ำมันเตาได้เลย

ข้อเสนอแนะ

7.หัวฉีด Rotary Cup ใช้น้ำมันเตาเกรด A ปกติจะอุ่นที่ประมาณ 60-75 °C

8. ควรสอบเทียบอุปกรณ์วัดให้สามารถอ่านได้ถูกต้อง

9. ควรติดตั้งเกจวัดอุณหภูมิน้ำมันเตาก่อนเข้าหัวฉีด เพื่อจะได้ปรับตั้งอุณหภูมิน้ำมันให้ถูกต้องเหมาะสมตามประเภทหัวฉีดและชนิดของน้ำมันเตา (หัวฉีดแบบ Pressure Atomized ใช้น้ำมันเตาเกรด A ต้องอุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิ 85-105 °C)

108

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบเชื้อเพลิง : เชื้อเพลิงแข็ง

ปัญหา/ข้อบกพร่อง	ข้อเสนอแนะ
1. การใช้เชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่และมีความชื้นสูงมีผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ 2. มีการใช้เศษขี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิงอาจเกิดปัญหาอัคคีภัย และการระเบิดของฝุ่น	1. ควรย่อย และทำให้เชื้อเพลิงมีความชื้นลดลง 2. ควรตรวจสอบเรื่องการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ และมีอุปกรณ์ป้องกันอัคคีภัย

109

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ปล่องไอเสีย

ปัญหา/ข้อบกพร่อง	ข้อเสนอแนะ
1. อุณหภูมิปล่องสูงประมาณ 350 °C อาจเกิดความเสียหายของหม้อน้ำ 2. ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปล่องอัตโนมัติ (Flue Gas Thermostat)	1. ตรวจสอบลมป้อน และลมดูดที่อาจทำให้ก๊าซร้อนออกสู่ปล่องมากเกินไป และตรวจสอบความเสียหายโครงสร้างส่วนที่สัมผัสอุณหภูมิสูง ตรวจสอบและทำความสะอาดท่อไฟ ตรวจสอบการลัดทางของเปลวไฟ และตรวจสอบตะกรันภายในหม้อน้ำ 2. ควรติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปล่องอัตโนมัติ (Flue Gas Thermostat) ที่หม้อน้ำแต่ละเครื่องพร้อมต่อวงจรส่งสัญญาณเตือนด้วยแสงและเสียง เพื่อให้เป็นไปตามกฎหมาย

110

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบคอนเดนเสท

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

1. ระบบคอนเดนเสทใน Line ผลิตที่ระบายน้ำออกจากเครื่องจักรหลายเครื่องแล้วรวมกันมาที่ Steam Trap เพียงชุดเดียว ไม่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม
2. อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสทลดลงเรื่อย ๆ จากต้นทาง 88 °C เหลือ 50°C เนื่องจากถังและอุปกรณ์ไม่ได้หุ้มฉนวน จึงเกิดความสูญเสียความร้อน
3. การรอสะสมปริมาณคอนเดนเสทให้ได้ 300 ลิตร จึงปั๊มส่ง ทำให้คอนเดนเสทมีช่วงเวลาสูญเสียความร้อนมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับเปลี่ยนวิธีการติดตั้ง Steam Trap ให้ถูกต้อง โดยเครื่องจักรหนึ่งเครื่องต่อ Steam Trap หนึ่งชุด ซึ่งจะสามารถลดขนาด Steam Trap ลงแต่จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น
2. ควรหุ้มฉนวนถังคอนเดนเสท 1 , 2 และระบบท่อทางเดิน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน
3. ควรปรับลดปริมาณการสะสมน้ำคอนเดนเสทเพื่อส่งต่อให้น้อยลง อาจปรับให้เหลือ 50-100 ลิตร แล้วส่งครั้งหนึ่ง (ส่งน้อยแต่ถี่) เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

111

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบคอนเดนเสท

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

4. Header Tank บางชุดไม่ได้ติดตั้ง Steam Trap ระบายน้ำคอนเดนเสทใต้ถัง (ใช้คนเปิด-ปิดวาล์วระบายด้วยมือ ซึ่งไม่แน่นอนอาจเป็นเหตุให้เกิด Carry Over)

5. มีการเดินท่อคอนเดนเสทบางส่วนใต้ดิน ซึ่งมีผลต่อการซ่อมบำรุง และการสูญเสียความร้อนของน้ำคอนเดนเสท

ข้อเสนอแนะ

4. ควรติดตั้ง Steam Trap ระบายน้ำคอนเดนเสทใต้ถัง Header Tank
5. ปรับปรุงท่อคอนเดนเสท และควรหุ้มฉนวนท่อ

112

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบคอนเดนเสท

ปัญหา/ข้อบกพร่อง	ข้อเสนอแนะ
6. มีเครื่องใช้ไอน้ำหรือเครื่องจักรในการผลิตประเภท Indirect Steam ประมาณ 16 เครื่อง ไม่มีการนำคอนเดนเสทใน Line ผลิตกลับมาใช้เลยเนื่องจากโรงงานกลัวเรื่องกลิ่นที่อาจติดมากับน้ำคอนเดนเสท	6. ควรจัดทำระบบนำคอนเดนเสทใน Line ผลิตกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์สูงสุด เช่น อุ่นน้ำป้อนเข้าหม้อน้ำ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำ ทำให้ประหยัดการใช้พลังงานและลดการใช้ไอน้ำในการอุ่นอีกทางหนึ่งด้วย

113

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง	ข้อเสนอแนะ
1. มีการต่อท่อไอน้ำไปใช้แต่วาล์วชำรุดมีการรั่วตลอดเวลา 2. ระบบท่อจ่ายไอน้ำที่ต่อแยกเข้าถังต้มแต่ละถังพบว่าฉนวนหุ้มมีสภาพเก่าและชำรุด โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นอุปกรณ์ Valve และข้อต่อต่าง ๆ ไม่มีการหุ้มฉนวน 3. การเดินท่อไอน้ำค่อนข้างยาว และมีข้องอมาก โดยไม่มีเครื่องดักไออาจมีคอนเดนเสทในท่อทางได้ ส่งผลให้เกิด Water Hammer 4. การเดินท่อไม่มีอุปกรณ์ป้องกันการขยายตัว (Expansion Joint)	1. ซ่อมวาล์วและท่อที่ชำรุด 2.ควรทำการหุ้มฉนวน ท่อจ่ายไอน้ำ Valve และข้อต่อต่าง ๆ เพื่อลดการสูญเสียความร้อน 3. ควรติดตั้งเครื่องดักไอเพิ่มเติมในระบบท่อที่อาจมีน้ำตกค้าง 4. ให้ตรวจสอบการขยายตัวของท่อ (โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้ความดันสูง) เนื่องจากอาจทำให้ระบบท่อ หรืออุปกรณ์ใช้ไอน้ำ เกิดการชำรุด

114

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

ระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง	ข้อเสนอแนะ
5. การเดินท่อนำไอน้ำไปใช้งานต่อจากด้านล่างของท่อเมน ซึ่งทำให้น้ำเข้าไปในอุปกรณ์ใช้ไอน้ำส่งผลให้เครื่องเสียหาย ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่ำ	5. ปรับปรุงการเดินท่อนำไอน้ำไปใช้งานให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม
6. ท่อจ่ายไอของหม้อน้ำ ไม่ได้ติดตั้ง Check Valve	6. ควรติดตั้ง Check Valve ที่จ่ายไอน้ำ กรณีมีหม้อน้ำมากกว่า 1 เครื่อง และต่อท่อจ่ายไอร่วมกัน เพื่อให้เป็นไปตามกฎหมาย
7. เครื่องดักไอส่วนใหญ่เป็นแบบจาน	7. ตรวจสอบอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ หากอุปกรณ์ใดเกิดการกลั่นตัวสูงควรเปลี่ยนเป็นแบบเชิงกล เพื่อให้สามารถระบายน้ำได้ดีขึ้น

115

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำ

การใช้งานหม้อน้ำ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง	ข้อเสนอแนะ
1. บันทึกประจำวันในการควบคุมหม้อน้ำรายละเอียดการตรวจสอบไม่ครบถ้วน	1. ควรจัดทำบันทึกประจำวันแยกหม้อน้ำแต่ละเครื่อง โดยให้มีรายละเอียดการตรวจสอบอุปกรณ์ความปลอดภัยให้ครบถ้วน เช่น ระดับน้ำในหลอดแก้ว การตรวจสอบการทำงานของระบบสัญญาณเตือนภัย ช่วงเวลาการ Blow Down เป็นต้น โดยเน้นการทำงานจริงของผู้ควบคุมฯ
2. ไม่มีการจดบันทึกประวัติการซ่อมบำรุงหม้อน้ำ	2. ควรจัดทำบันทึกประวัติการซ่อมบำรุงหม้อน้ำเพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความเสียหายของหม้อน้ำอย่างเป็นระบบ

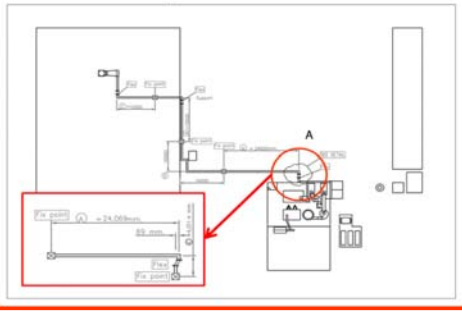
116

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

กรณีศึกษาที่ 1 : โรงงานอาหาร

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

โรงงานในอุตสาหกรรมอาหาร มีการใช้หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยในปี พ.ศ. 2549 ได้เกิดอุบัติเหตุข้อต่ออ่อนในระบบท่อส่งของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนแตก ทำให้เกิดไฟลุกไหม้



สาเหตุ

1. มีการอุดตันของไส้กรองของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนก่อนเข้าเครื่องอบแป้ง
2. อัตราการไหลของของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนไม่เพียงพอ ทำให้ของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนในหม้อต้มและท่อส่งร้อนจัด
3. ท่อส่งของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนร้อนจัด จึงขยายตัวเกินความยาวที่ข้อต่ออ่อนจะรองรับได้ ทำให้ข้อต่ออ่อนแตกและขาด
4. ของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนบางส่วนเกิดการเดือดเป็นไอไหลปนไปกับของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนในท่อส่งของเหลวทำให้เกิด Liquid hammer ในข้อต่ออ่อนและท่อส่งของเหลว ส่งผลให้ข้อต่ออ่อนแตกและขาด

117

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

กรณีศึกษาที่ 2 : โรงงานอาหารสัตว์

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

โรงงานในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ มีการใช้หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยในปี พ.ศ. 2550 ได้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนที่บริเวณวาล์วภายในตู้ บริเวณเครื่องนึ่งย่างผลิตภัณฑ์อาหาร

สาเหตุ

1. เกิดจากการรั่วของของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนที่บริเวณข้อต่อวาล์วและท่อของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนของเครื่องนึ่งย่างผลิตภัณฑ์อาหาร
2. มีควันเกิดขึ้นที่ตู้ติดตั้งวาล์วปิด-เปิด ของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนก่อนเข้าเครื่องจักร เมื่อเปิดตู้เพื่อตรวจสอบ ได้เกิดการลุกติดไฟขึ้นที่บริเวณวาล์วภายในตู้
3. ข้อต่อเกลียวท่อติดตั้งเกจวัดความดันในตู้มีการรั่วของของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน
4. มีของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนที่รั่วจากข้อต่อสะสมในฉนวนกันความร้อน (ใยแก้ว)

118

กรณีศึกษาที่ 3 : โรงงานสิ่งทอ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

โรงงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ มีการใช้หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน อายุการใช้งาน 1 ปี โดยในปี พ.ศ. 2551 ได้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้โรงงานบริเวณใต้ถังรับการขยายตัว ใกล้หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

สาเหตุ

1. มีการขยายเครื่องจักร และเติมน้ำมันประมาณ 7,000 ลิตร เข้าสู่ระบบขณะใช้งานหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่อุณหภูมิ 250 °C
2. ของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนล้นถังรับการขยายตัว มีควันกระจายตัวจากของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนที่รั่ว และเกิดไฟไหม้

119

กรณีศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของหม้อน้ำต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

กรณีศึกษาที่ 4 : โรงงานเส้นใย

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

โรงงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอประเภทเส้นใยสังเคราะห์ มีการใช้หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมัน อายุการใช้งาน 15 ปี โดยในปี พ.ศ. 2551 ได้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ที่ตัวหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

สาเหตุ

1. เกจวัดความดันส่วนใหญ่ชำรุด ขาดการบำรุงรักษา
2. ของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนเสื่อมสภาพ สกปรก เกิดตะกอนและการเสียดสีภายในท่อ มีความเป็นกรด เกิดการกัดกร่อน และเกิด Thermal cracking เป็นต้น

120

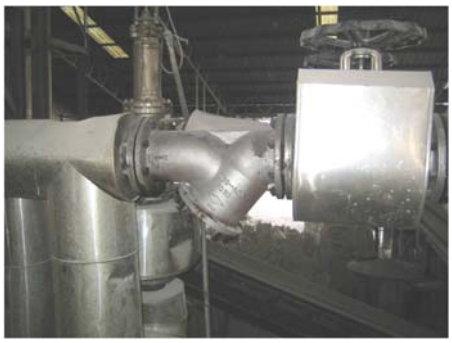
กรณีศึกษาที่ 5 : โรงงานสิ่งทอ

ปัญหา/ข้อบกพร่อง

โรงงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ มีการใช้หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมัน อายุการใช้งาน 1 ปี โดยในปี พ.ศ. 2549 ได้เกิดอุบัติเหตุวาล์วส่งของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนแตก

สาเหตุ

1. เกิดจากการติดตั้งและการยึดระบบท่อไม่ถูกต้อง ชุดวาล์วและหน้าแปลนมีระยะเยื้องศูนย์ ทำให้เกิดแรงดัดโค้งที่ตัววาล์ว จนเกิดการล้าของวัสดุ



121

เทคโนโลยีหม้อน้ำ

เทคโนโลยีด้านพลังงาน ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมของหม้อน้ำและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ

เทคโนโลยีของหม้อน้ำและอุปกรณ์หม้อน้ำ เป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้เกิดการประหยัดด้านพลังงานได้ ถ้ามีการเลือกใช้ให้เหมาะสม อีกทั้งเทคโนโลยีของหม้อน้ำในปัจจุบันยังให้ความสำคัญด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ในที่นี้จึงเป็นการยกตัวอย่างเทคโนโลยีของหม้อน้ำและอุปกรณ์ไอน้ำที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก เพื่อให้เป็นประโยชน์แก่ผู้ปฏิบัติงานหม้อน้ำ ดังมีรายการของเทคโนโลยี ดังนี้

เทคโนโลยีด้านพลังงาน ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมของหม้อน้ำและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ

- เทคโนโลยีหม้อน้ำ (Boiler Technology)
- เทคโนโลยีเกี่ยวกับหัวเผาและอุปกรณ์เผาไหม้
- เทคโนโลยีเกี่ยวกับไอเสีย
- เทคโนโลยีเกี่ยวกับเชื้อเพลิง
- เทคโนโลยีเกี่ยวกับน้ำป้อนหม้อน้ำ
- เทคโนโลยีเกี่ยวกับคอนเดนเสท
- เทคโนโลยีเกี่ยวกับการโบลว์ดาวน์
- เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบควบคุม
- เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบไอน้ำ

4.1 เทคโนโลยีด้านพลังงาน ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมของหม้อน้ำและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ

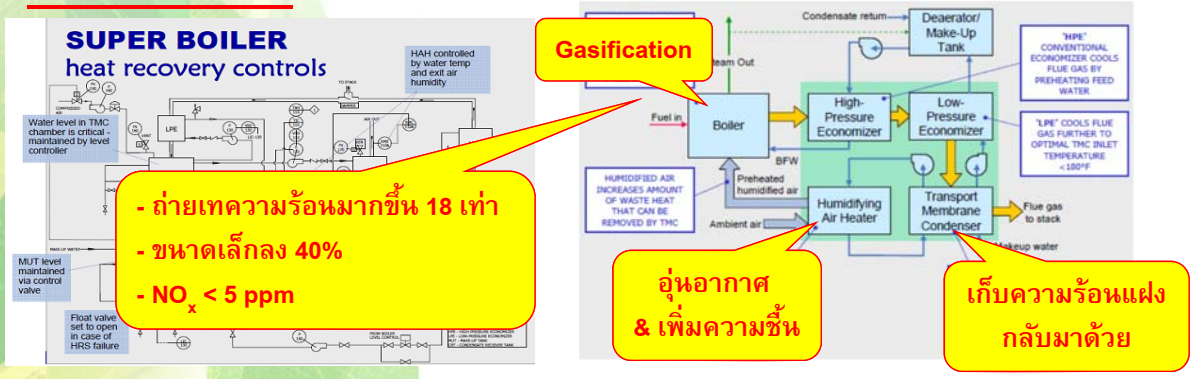
- 1st Generation Super Boiler Technology
- 2nd Generation Super Boiler Technology
- หม้อน้ำแบบ Once-Through
- หม้อน้ำแบบเหนือยิ่งยวด (Supercritical Boiler)
- หม้อน้ำแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustion, FBC)
- หม้อน้ำลูกผสม (Hybrid Boiler)

เทคโนโลยีหม้อน้ำ (Boiler Technology)

1st Generation Super Boiler Technology

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

Super Boiler รุ่นแรกนี้จะใช้ในการพัฒนาประสิทธิภาพของหม้อน้ำแบบ Fire-tube Boiler โดยมีจุดมุ่งหมายคือ ให้ได้ประสิทธิภาพออกมามากกว่า 94% HHV และมีการปล่อยมลภาวะน้อยที่สุด โดยการออกแบบ Super Boiler จะใช้หลักการนำพลังงานกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด และได้พัฒนาอุปกรณ์นำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ คือ Transport Membrane Condenser (TCM) และ Humidifying Air Heater (HAH) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพรวมของหม้อน้ำ การแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิของไอเสียลดลง และการปล่อยมลพิษก็ลดลงตามไปด้วย

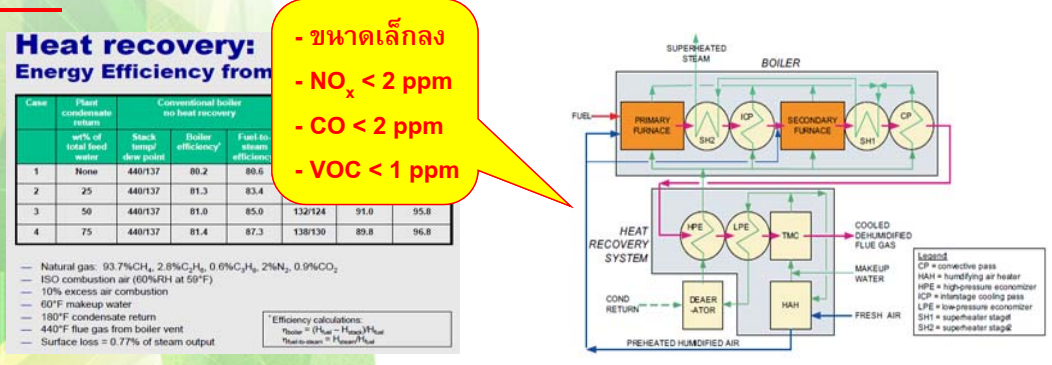


เทคโนโลยีหม้อน้ำ (Boiler Technology)

2nd Generation Super Boiler Technology

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

Super Boiler ในรุ่นที่สอง ได้นำเอาหม้อน้ำแบบ Water-tube มาทำการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการนำพลังงานจากเชื้อเพลิงมาใช้ให้ได้มากกว่า 94% และลดมลพิษที่ปล่อยออกไป โดยนำเอาอุปกรณ์จากรุ่นแรกมาใช้ คือ TMC และ HAH และได้พัฒนาอุปกรณ์ขึ้นมาใหม่คือ Flash Evaporation Cooler (FEC) และ Direct-fired Super Heater (DFSH) โดยที่อุปกรณ์เหล่านี้สามารถที่จะทำงานได้ ณ ที่สภาวะที่มีแรงดันสูง (> 1500 psig, 1500°F) การทำงานของ Super Boiler รุ่นที่สองนี้จะใช้ห้องเผาไหม้แบบ Two–stage Intercooled



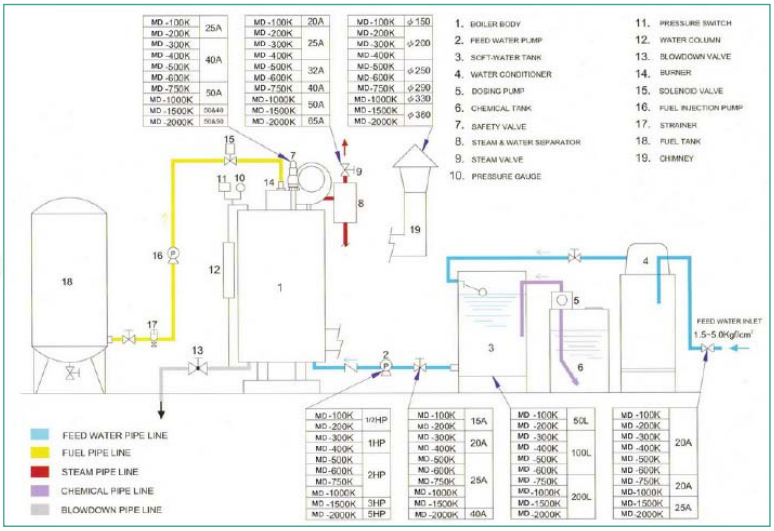
เทคโนโลยีหม้อน้ำ (Boiler Technology)

หม้อไอน้ำแบบ Once-Through

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

หม้อน้ำแบบ **Once-Through** มักจะมีโครงสร้างง่าย ๆ มีน้ำอยู่ในท่อโดยมีท่อขดเป็นคอยล์หรืออาจจะเป็นท่อตรง มีปริมาณน้ำน้อย ทำให้การระเหยกลายเป็นไอน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว ราวกับว่าน้ำที่ป้อนเข้ามาแล้วระเหยไปทันที

ขนาดเล็ก 40-2000 kg/h

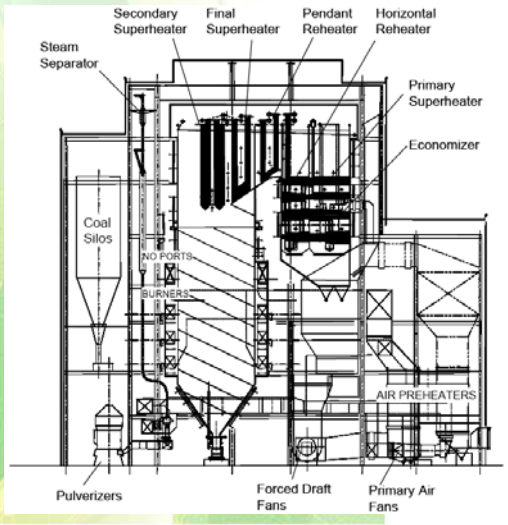


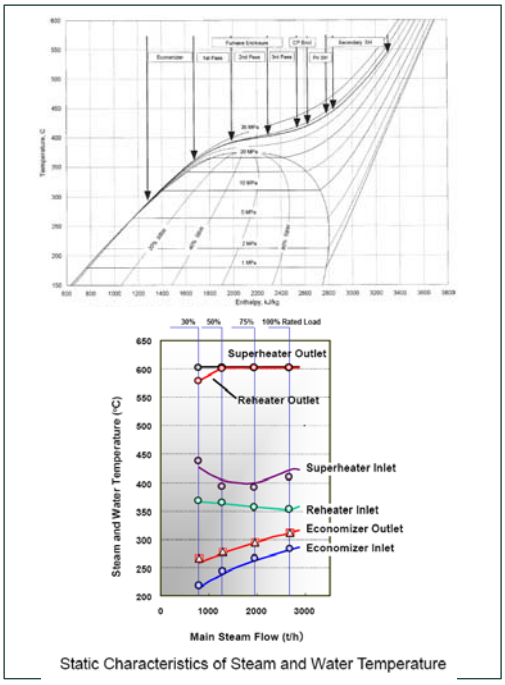
เทคโนโลยีหม้อน้ำ (Boiler Technology)

หม้อไอน้ำแบบเหนือยิ่งยวด (Supercritical Boiler)

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

คล้ายจะเป็น **Once-Through Boiler** ขนาดใหญ่ ได้ไอน้ำล้วน ๆ ไม่ต้องมีถังแยกไอน้ำ





Static Characteristics of Steam and Water Temperature

เทคโนโลยีหม้อน้ำ (Boiler Technology)

หม้อไอน้ำแบบฟลูอิดไดซ์เบด

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

หม้อไอน้ำแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustion, FBC) ใช้ทรายเป็นตัวช่วยในการเผาไหม้ เหมาะกับเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงและสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้หลากหลายชนิดพร้อมกัน แม้เชื้อเพลิงนั้นจะมีคุณภาพต่ำ แต่ยังให้ประสิทธิภาพการเผาที่สูงอยู่ นอกจากนี้อุณหภูมิของการเผาไหม้ไม่สูงมากนักจึงลดการเกิด NO_x ได้โดยตรง

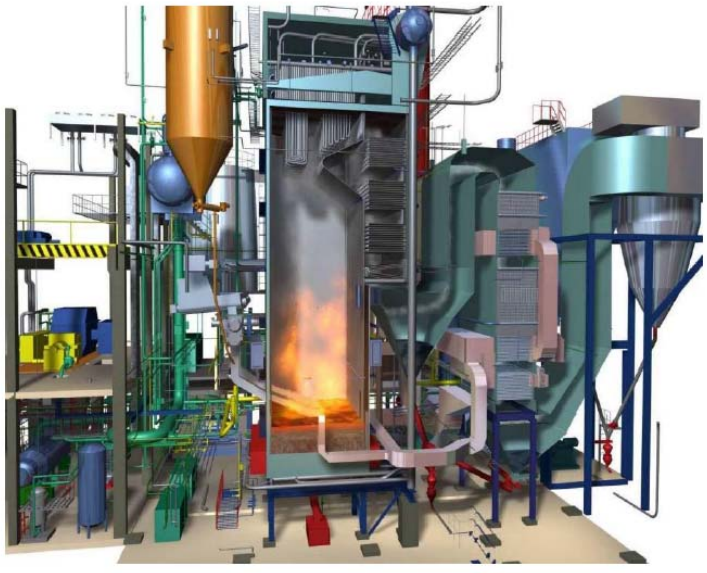
หลักการสำหรับการเผาไหม้วิธีนี้ คือ ถ่านหินที่บดจนมีขนาดเล็กมากผสมถูกพ่นเข้าไปในหม้อน้ำ พร้อมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านทรายหรือมีหินปูนด้วยซึ่งใช้เป็นตัวช่วยในการเผาไหม้ ถ่านหินที่พ่นเข้าไปจะแขวนลอยอยู่ในคลื่นอากาศร้อน โดยมีลักษณะคล้ายของเหลวเดือด ใช้ทรายเป็นตัวช่วยในการเผาไหม้ ขณะที่หินปูนจะทำหน้าที่คล้ายฟองน้ำดักจับกำมะถันที่เกิดขึ้น

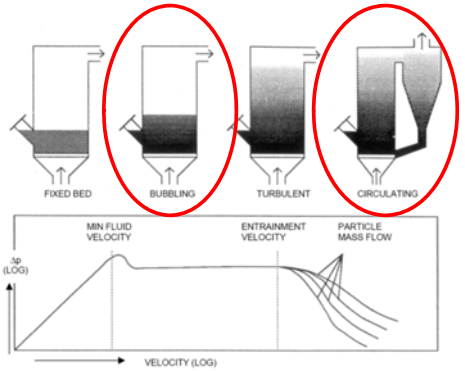
กำมะถันน้อย
→ ใช้ไอเสียขับกังหันแก๊สได้

เทคโนโลยีหม้อน้ำ (Boiler Technology)

หม้อไอน้ำแบบฟลูอิดไดซ์เบด

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :





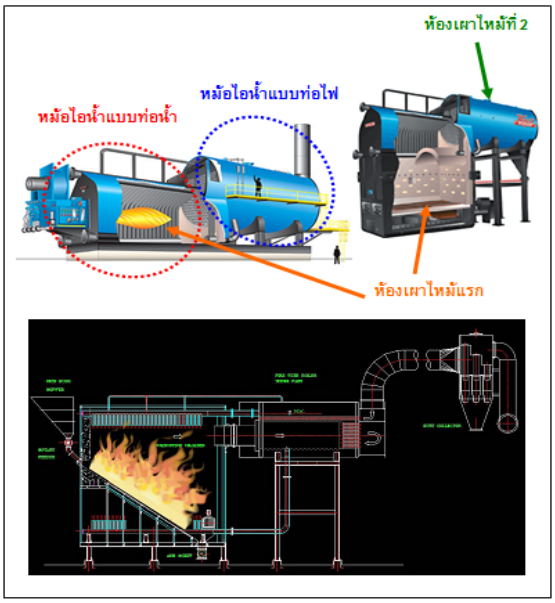
การเกิดฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่าง ๆ

เทคโนโลยีหม้อน้ำ (Boiler Technology)

หม้อไอน้ำลูกผสม (Hybrid Boiler)

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

สามารถเผาเชื้อเพลิงสองชนิดที่แตกต่างกันได้ ปกติจะใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงหรือความร้อนที่จะต้องทิ้ง (Waste Heat) และเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนที่เป็นปิโตรเลียม ของเสียจากการผลิตหรือเชื้อเพลิงแข็ง จะเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แรกและความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ผ่านไปยังห้องเผาไหม้ที่สอง ซึ่งเชื้อเพลิงปกติจะเผาต่อ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบเช่นเดียวกัน เพราะแก๊สร้อนจากห้องเผาไหม้แรกสามารถผ่านไปได้บางส่วนของพื้นผิวถ่ายเทความร้อนก่อนเข้าไปห้องเผาไหม้ที่สอง หรืออีกทางหนึ่งแก๊สร้อนอาจผ่านเข้าหม้อไอน้ำโดยตรงหลังจากเผาไหม้สมบูรณ์แล้ว



เทคโนโลยีเกี่ยวกับหัวเผาและอุปกรณ์เผาไหม้

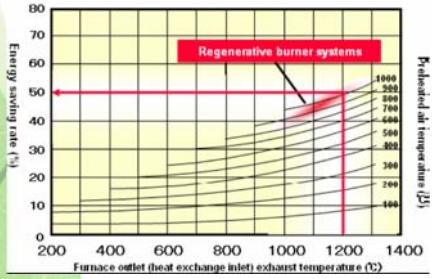
- Regenerative Burner
- Self Recuperative Burner
- หัวเผาเม็ดพลาสติก
- แก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification)

เทคโนโลยีเกี่ยวกับหัวเผาและอุปกรณ์เผาไหม้

Regenerative Burner

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

หัวเผาที่ออกแบบมาเพื่อให้มีการนำเอาความร้อนทิ้งกลับมาใช้ให้ได้มากที่สุด ซึ่งแก๊สไอเสียจะนำมาเก็บสะสมความร้อนที่ห้องสะสมความร้อน การสะสมความร้อนสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากห้องกักเก็บแก๊สไอเสียถูกออกแบบให้ใช้วัสดุที่สะสมความร้อนได้สูงมาก อากาศเย็นที่จะใช้ในการเผาไหม้จะแลกเปลี่ยนความร้อนจากห้องกักเก็บไอเสีย ทำให้อากาศที่จะใช้เผาไหม้มีอุณหภูมิสูงได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิใช้งาน



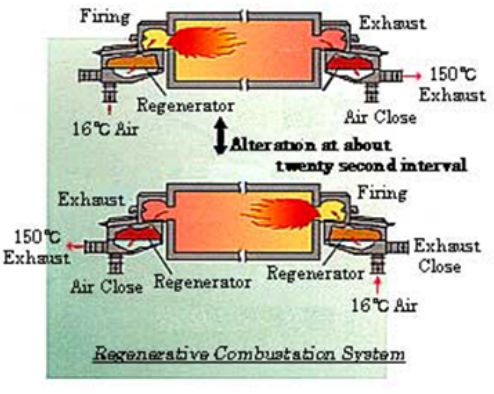
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิง

เทคโนโลยีเกี่ยวกับหัวเผาและอุปกรณ์เผาไหม้

Regenerative Burner

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

ใช้ในอุตสาหกรรมอุณหภูมิสูง
→ โลหะ แก้ว เซรามิก

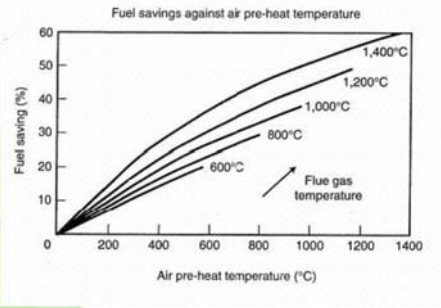


เทคโนโลยีเกี่ยวกับหัวเผาและอุปกรณ์เผาไหม้

Self Recuperative Burner

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

หัวเผาที่มีลักษณะเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อแผ่รังสี โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกสร้างขึ้นมาติดกับหัวเผาเป็นชุดเดียวกัน เพื่ออุ่นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยการนำแก๊สไอเสียทิ้งมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศเย็นที่จะใช้เผาไหม้ ซึ่งการแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้นภายในตัวหัวเผาที่ออกแบบให้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในตัวเอง



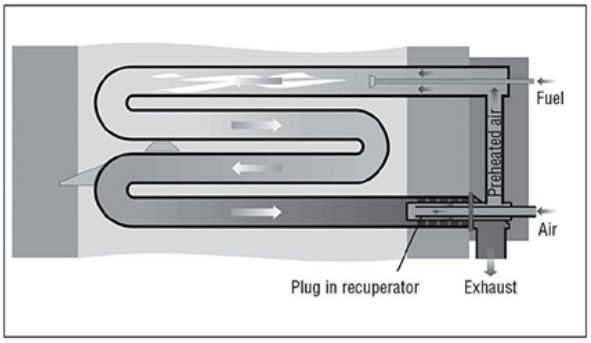
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิง

เทคโนโลยีเกี่ยวกับหัวเผาและอุปกรณ์เผาไหม้

Self Recuperative Burner

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

ใช้ในอุตสาหกรรมอุณหภูมิสูง
→ โลหะ แก้ว เซรามิก



เทคโนโลยีเกี่ยวกับหัวเผาและอุปกรณ์เผาไหม้

หัวเผาเม็ดพลาสติก

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

หัวเผาที่ออกแบบมาให้สามารถใช้เชื้อเพลิงของแข็งประเภทเม็ดพลาสติกได้ ซึ่งเม็ดพลาสติกเป็นแหล่งเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนที่ได้จากขยะพลาสติก

ประเภทเชื้อเพลิง	น้ำมันเตา	น้ำมันดีเซล	เม็ดเชื้อเพลิงพลาสติก (kg)	แก๊ส LPG	RDF(kg)	RPF(kg) มีพลาสติกอยู่ 60%
ค่าความร้อน (cal/kg)	9,900	8,600	11,000-11,500	10,500-12,000	4,000-5,000	มากกว่า 6,000
ราคาต่อหน่วย (ขายส่ง)	15.9	24.37	9.5	12.45		
ราคาต่อหน่วย (ขายปลีก)	19.05	27.34	9.5	16.81		

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทและราคา

เทคโนโลยีเกี่ยวกับหัวเผาและอุปกรณ์เผาไหม้

หัวเผาเม็ดพลาสติก

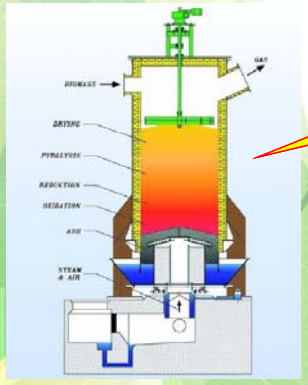
หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

เทคโนโลยีเกี่ยวกับหัวเผาและอุปกรณ์เผาไหม้

แก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification)

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

เป็นระบบการเผาไหม้ในเตาแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier) โดยควบคุมอากาศไหลเข้าในปริมาณจำกัด ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จะได้แก๊สที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจน (H_2) เป็นหลัก และเกิด มีเทน (CH_4) แก๊สที่เกิดขึ้นสามารถนำไปให้ความร้อนโดยตรง หรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อผลิตไฟฟ้า



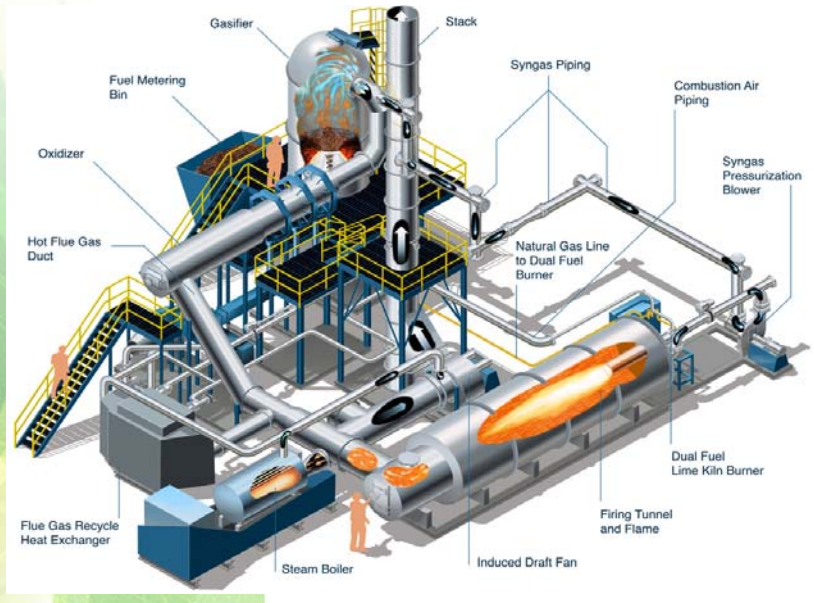
ระวังปัญหาเรื่องน้ำมันดิน (Tar)

บริเวณตำแหน่งต่าง ๆ ของการเกิดปฏิกิริยาความร้อนของเครื่องแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier)

เทคโนโลยีเกี่ยวกับหัวเผาและอุปกรณ์เผาไหม้

แก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification)

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :



เทคโนโลยีเกี่ยวกับไอเสีย

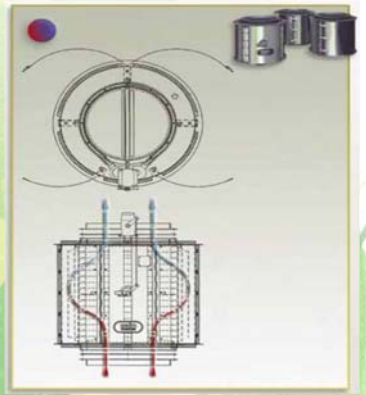
- Economizer แบบ Fin & Tube
- Economizer แบบสัมผัสตรง
- Economizer แบบท่อความร้อน (Heat Pipe)
- Recuperative Air Preheater
- Rotary Air Preheater
- Steam Air Preheater
- Xthermal Air Preheater

เทคโนโลยีเกี่ยวกับไอเสีย

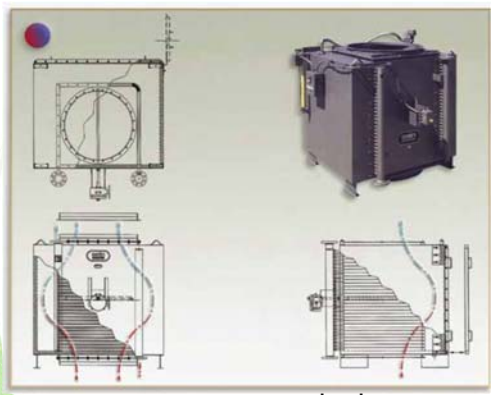
Economizer แบบ Tube & Fin

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

ประกอบด้วยท่อดัดและเพิ่มครีบเพื่อเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนจากปล่องไอเสียสู่น้ำป้อนที่จะวิ่งผ่าน Economizer เพื่อรับความร้อนจากไอเสียก่อนเข้าหม้อไอน้ำ ไอเสียเมื่อวิ่งผ่านครีบท่อจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำป้อน โดยที่น้ำป้อนวิ่งอยู่ภายในท่อ



Economizer แบบท่อกลม
(Cylindrical Economizer)

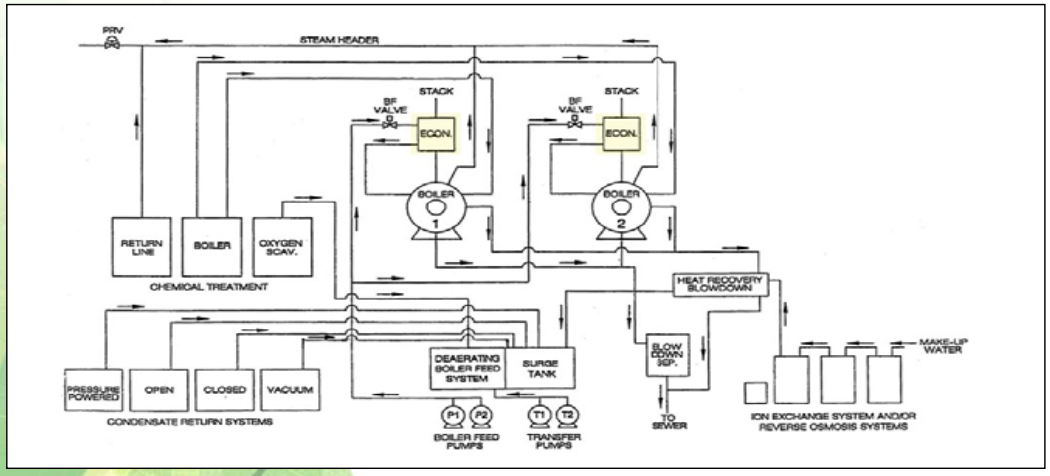


Economizer แบบท่อสี่เหลี่ยม
(Rectangular Economizer)

เทคโนโลยีเกี่ยวกับไอเสีย

Economizer แบบ Tube & Fin

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

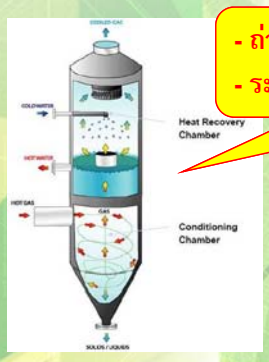


เทคโนโลยีเกี่ยวกับไอเสีย

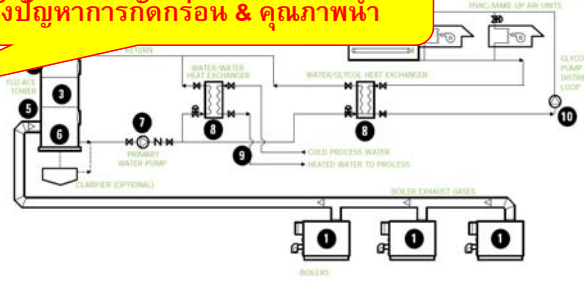
Economizer แบบสัมผัสตรง

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

เป็นการนำเอาแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้เข้าไปผ่านกระบวนการแยกของแข็ง (Cyclone) ให้ออกจากแก๊สภายในถังแรงดัน หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้วจะเหลือแต่แก๊ส และจะนำแก๊สนี้ไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำโดยตรง หลังจากสิ้นสุดกระบวนการจะได้อากาศที่เย็นและน้ำร้อน ซึ่งอากาศที่เย็นจะถูกปล่อยทิ้งออกไป ส่วนน้ำที่ร้อนถูกส่งไปยังหม้อต้มน้ำ การใช้เทคโนโลยี Economizer แบบสัมผัสตรงสามารถทำให้ประหยัดพลังงานไปได้ 15-35%



- ถ่ายเทความร้อนโดยตรงดีกว่าโดยอ้อม
- ระวังปัญหาการกัดกร่อน & คุณภาพน้ำ

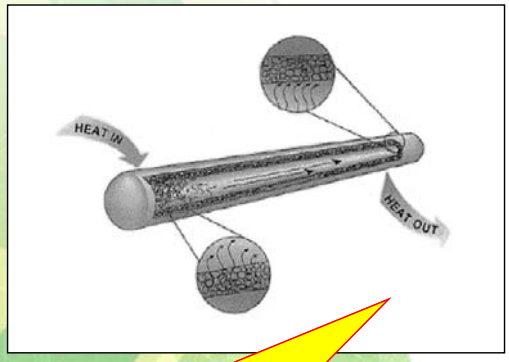


เทคโนโลยีเกี่ยวกับไอเสีย

Economizer แบบ Heat Pipe

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

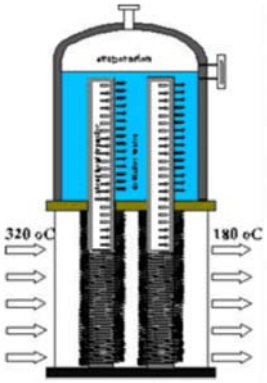
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่ร้อนกับน้ำเย็น ก่อนเข้าหม้อไอน้ำ โดยอาศัยท่อความร้อนซึ่งมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้สูง



ไม่มีเครื่องจักรหรือส่วนเคลื่อนที่
(No Moving Parts)

Heat Pipe

Thermal Vacuum Tube Boiler

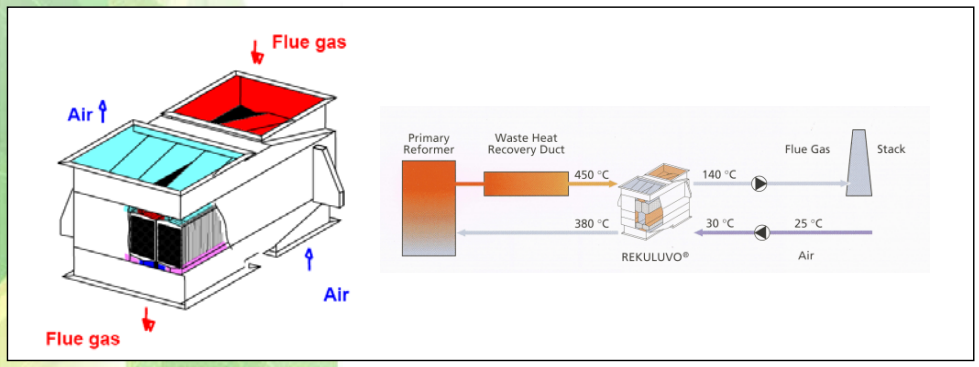


เทคโนโลยีเกี่ยวกับไอเสีย

Recuperative Air Preheater

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

ไอเสียจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศแบบไหลสวนทางกันผ่านวัสดุ เช่น แผ่นเพลท ท่อเหล็ก หรืออาจเป็นท่อแก้วเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ตามลักษณะการใช้งาน การทำงานของ **Recuperative Air Preheater** เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สไอเสียกับอากาศป้อน ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น **(Plate Heat Exchanger)** ซึ่งมีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนสูง (ประสิทธิภาพการทำงานทำได้ถึง 97%)

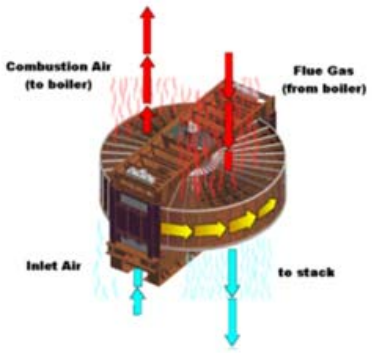


เทคโนโลยีเกี่ยวกับไอเสีย

Rotary Air Preheater

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

เป็น Air Preheater ชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ใน Regenerative Air Preheater ใช้หลักการของ Ljungstrom Air Preheater คือ แบ่งอากาศและไอเสียให้อยู่คนละฝั่งของใบพัด ความร้อนจะถูกส่งผ่านจากไอเสียไปยังอากาศโดยผ่านใบพัดที่หมุนอยู่ระหว่างทั้งสองฝั่ง (ความเร็วประมาณ 1-3 rpm)

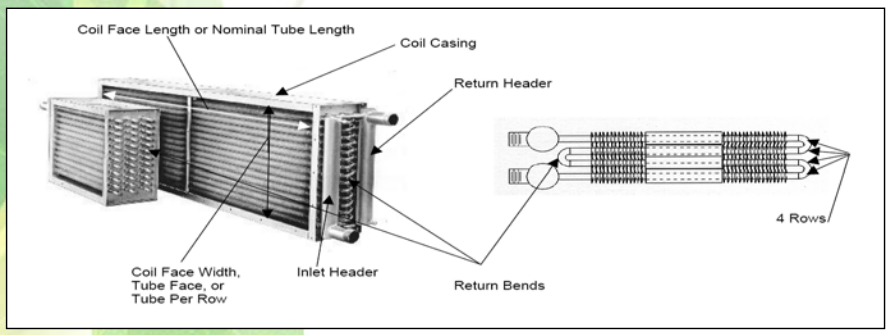


เทคโนโลยีเกี่ยวกับไอเสีย

Steam Air Preheater

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

หลักการทำงานของ Steam Air Preheater ก็คือ ใช้คอยล์ไอน้ำ (Steam Coil) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศก่อนป้อนเข้าสู่หัวเผาของหม้อน้ำ โดยมีการทำงาน คือ จะเอาไอน้ำร้อนมาไหลผ่านในท่อที่ขดเป็นวงของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแล้วให้อากาศไหลผ่านอุปกรณ์ เมื่ออากาศไหลผ่านอุปกรณ์จะมีการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำร้อนมาสู่อากาศ ทำให้อากาศที่ไหลออกไปมีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วจะนำเอาอากาศร้อนไปใช้งานต่อไป (ส่วนมากจะเอาอากาศร้อนเข้าไปทำการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำ)



เทคโนโลยีเกี่ยวกับไอเสีย

Xthermal Air Preheater

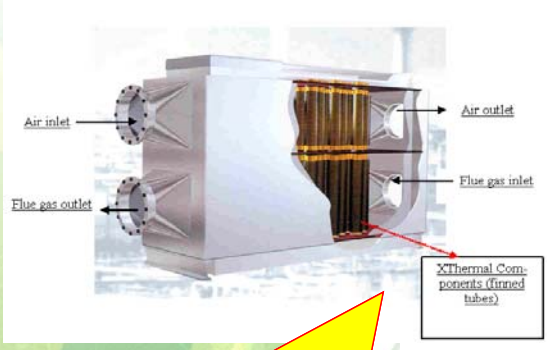
หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

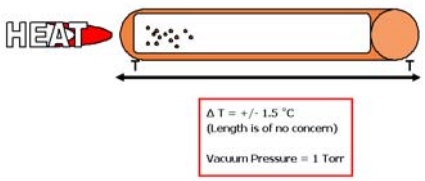
ทำงานโดยการใช้ตัวกลางที่เป็นของแข็งซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะปิดสุญญากาศมีรูปทรงตามที่ออกแบบ เมื่อมีการให้ความร้อนที่ปลายด้านหนึ่งความร้อนก็จะถูกส่งไปอีกด้านหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่อุณหภูมิที่ผิวจะมีความแตกต่างกันอยู่ที่ประมาณ 1.5°C การใช้งานจะนำเอา Xthermal ไปบรรจุอยู่ในกล่องที่มีการแบ่งห้องออกเป็นสองชั้น โดยที่ปลายข้างหนึ่งจะถูกให้สัมผัสกับแก๊สร้อนที่ไหลเข้ามาในกล่อง ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะให้สัมผัสกับอากาศเย็นที่ไหลเข้ามาในกล่อง โดยที่อากาศเย็นกับแก๊สร้อนจะไหลสวนทางกัน พอสิ้นสุดกระบวนการก็จะได้แก๊สที่เย็นลงและได้อากาศที่ร้อนขึ้น และก็จะนำอากาศที่ร้อนขึ้นนี้ไปใช้งานต่อไป โดยส่วนมากจะนำอากาศร้อนนี้ไปใช้ในการเผาไหม้กับเชื้อเพลิง

เทคโนโลยีเกี่ยวกับไอเสีย

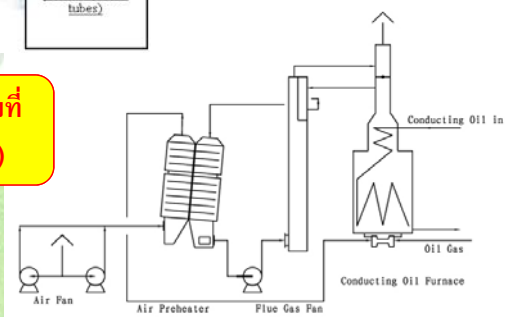
Xthermal Air Preheater

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :





คล้าย Heat Pipe แต่ใช้ตัวกลางอยู่กับที่
→ การนำความร้อน (Conduction)



เทคโนโลยีเกี่ยวกับเชื้อเพลิง

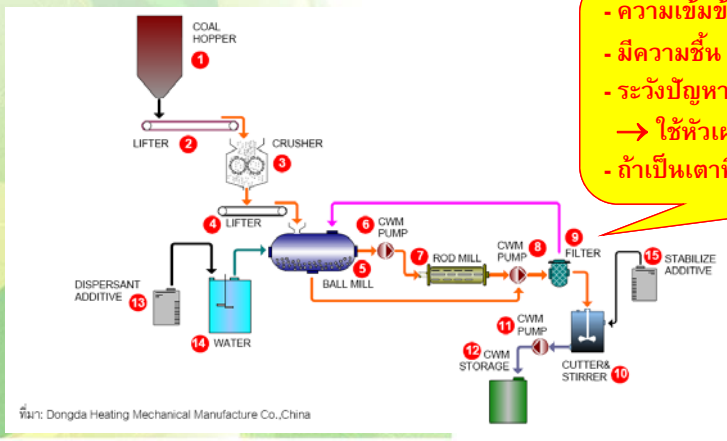
- Coal Water Mixture (CWM)
- การใช้อุปกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Contact Catalyst
- การเติมแมกนีเซียมเข้ากับน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อลดการเกิด Slag
- การเติมสารลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลในน้ำมันเชื้อเพลิง
- เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด

เทคโนโลยีเกี่ยวกับเชื้อเพลิง

Coal Water Mixture (CWM)

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

Coal Water Mixture (CWM) คือ เชื้อเพลิงเหลวชนิดหนึ่งซึ่งได้จากการผสมน้ำกับถ่านหินที่บดจนได้ขนาดและเติมสารเติมแต่ง (Additives) ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดคือ สารตัวกระจาย (Dispersant) และสารคงสภาพ (Stabilizer) เพื่อให้อนุภาคถ่านหินสามารถแขวนลอยอยู่ในของเหลวได้โดยไม่ตกตะกอน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาสำหรับหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า



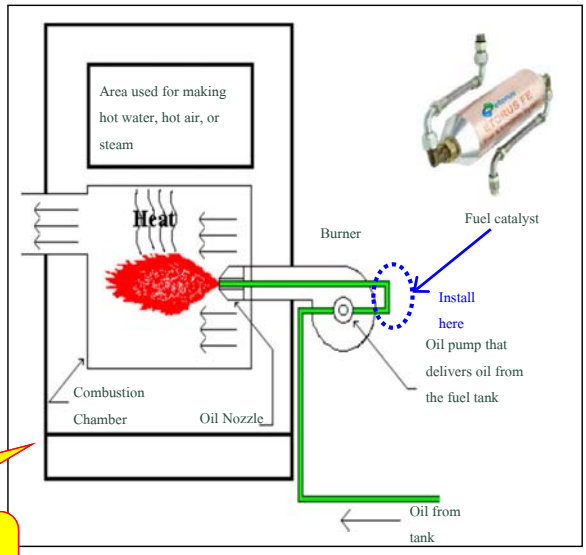
- ความเข้มข้น 70%
- มีความชื้น → อุณหภูมิเผาไหม้ไม่สูง → NO_x น้อย
- ระวังปัญหาการสึกกร่อนจากการเสียดสี
  → ใช้หัวเผาเซรามิก ซิลิกอนคาร์ไบด์ ทังสเตนคาร์ไบด์
- ถ้าเป็นเตาที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งอยู่แล้ว ปัญหาจะน้อย

เทคโนโลยีเกี่ยวกับเชื้อเพลิง

การใช้อุปกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Contact Catalyst

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

เป็นอุปกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ **Contact Catalyst** ที่มีหลักการทำงานพื้นฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นฐานของโลหะ **Catalyst** โดยกระบวนการไฮโดรแครกกิ้ง หมายถึง กระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกย่อยของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงให้มีโครงสร้างที่เล็กลงมีผลทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการแครกกิงของสารไฮโดรคาร์บอนโดยทั่วไปผลิตจากสารซีโอไลท์



- ซีโอไลท์ = อลูมิเนียมออกไซด์ + ซิลิกาออกไซด์
- ประหยัดเชื้อเพลิง 5-15%

เทคโนโลยีเกี่ยวกับเชื้อเพลิง

การเติมแมกนีเซียมเข้ากับน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อลดการเกิด Slag

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

เนื่องจากเชื้อเพลิงเหลวที่ใช้สันดาปในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำมักจะมีสารปนเปื้อน เช่น **Vanadium Sodium** และ **Sulfur** ปนอยู่ เมื่อนำไปสันดาปในห้องเผาไหม้แล้วจะทำให้เกิด **Slag** และเกิดการกัดกร่อนบนพื้นผิวภายในห้องเผาไหม้ เพื่อเป็นการป้องกันการกัดกร่อนและเกิด **Slag** จึงต้องมีการเติม **Magnesium** เข้าไปในน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อเกิดการสันดาปขึ้นจะได้ **Magnesium Orthovanadate** ซึ่งมีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวสูงมากกว่าอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ทำให้ไม่เกิดการหลอมเหลว จึงไม่เกิด **Slag** ขึ้น

ผลพลอยได้ → ลดมลพิษจาก **Na, K** และ **Pb** ได้ด้วย

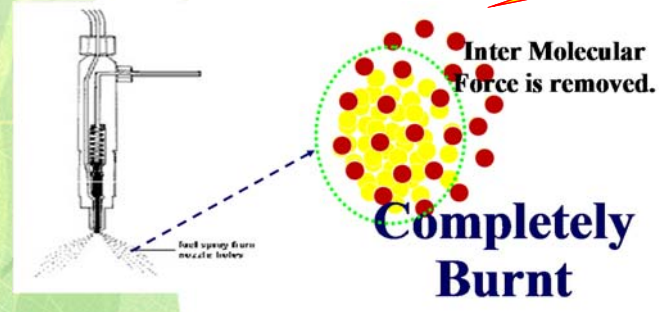
เทคโนโลยีเกี่ยวกับเชื้อเพลิง

การเติมสารลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลในน้ำมันเชื้อเพลิง

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

เป็นการเติมสารลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเข้าไปในน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อช่วยให้การเผาไหม้ของน้ำมันให้ได้มากขึ้น ทำให้การสันดาปได้พลังงานเต็มที่ เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ (Fuel Cluster) ดังนั้นเมื่อเติมสารเพื่อลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล จะทำให้เกิดการแยกตัวเป็นโมเลกุลเดี่ยว ๆ มากขึ้น มีโอกาสเกิดการสันดาปสูงขึ้น การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น

ประหยัดเชื้อเพลิง 10-30%



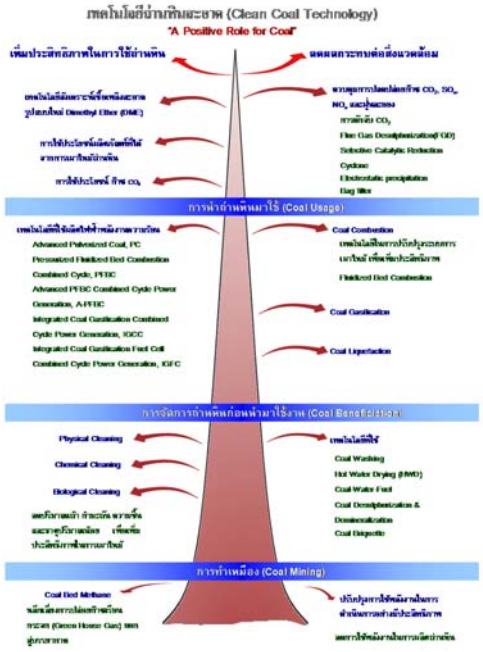
เทคโนโลยีเกี่ยวกับเชื้อเพลิง

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด (Clean Coal Technology)

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด คือ เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำเหมือง การจัดการถ่านหินก่อนนำมาใช้ และการใช้ประโยชน์ถ่านหิน โดยมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยทั่วไปเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดสามารถนำมาใช้ได้ในหลายลักษณะ ได้แก่

- ❑ เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดก่อนการเผาไหม้ (Pre-combustion)
- ❑ เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดขณะเผาไหม้ (Combustion) หรือเมื่อนำมาใช้ประโยชน์
- ❑ เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดหลังการเผาไหม้ (Post-combustion)



ถ่านหินมีปริมาณสำรอง 200 กว่าปี อย่างไรก็ต้องใช้

เทคโนโลยีเกี่ยวกับเชื้อเพลิง

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด (Clean Coal Technology)

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

- เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดก่อนการเผาไหม้ (Pre-combustion) → ลดขี้เถ้าและกำมะถัน
  - กายภาพ – บดแล้วล้างน้ำ แยกของหนักออก โดยเหล็กที่จับกำมะถันอยู่จะจมลง
  - เคมี – ใช้สารกลุ่ม Caustic มาฟอกขี้เถ้าและกำมะถัน
  - ชีวภาพ – แบคทีเรียและเชื้อราบางชนิดมีเอ็นไซม์ย่อยกำมะถัน

- เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดขณะเผาไหม้ (Combustion) → เพิ่มประสิทธิภาพ และลดมลพิษ
  - ระบบเผาไหม้
    - Pulverized Coal – บดจนเป็นผงเล็ก ๆ
    - Fluidized Bed – มีหินปูนดักจับกำมะถัน และเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำทำให้ NO_x ลดลง
    - Pressurized Fluidized Bed – นำไอเสียความดันสูงไปขับกังหันแก๊สต่อ
  - การแปรรูปถ่านหิน
    - Underground Gasification – อัดไอน้ำและออกซิเจนลงไปใต้ดิน เปลี่ยนถ่านหินให้เป็นแก๊ส
    - Liquefaction – เติมไฮโดรเจนผสมถ่านหิน ได้เชื้อเพลิงเหลวที่นำไปกลั่นน้ำมันต่อได้
    - Dimethyl Ether – ใช้ CH_4, O_2, ไอน้ำ, CO_2 และโพรเพน แปรรูปให้เป็น DME ที่เทียบเท่ากับ LPG

เทคโนโลยีเกี่ยวกับเชื้อเพลิง

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด (Clean Coal Technology)

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

- เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดหลังการเผาไหม้ (Post-combustion) → ลดมลพิษ
  - ดักจับฝุ่น
    - Electrostatic Precipitator – ให้ฝุ่นมีขั้วทางไฟฟ้าขั้วหนึ่ง และลวดดักจับมีขั้วตรงข้าม
    - Cyclone – เหวี่ยงเถ้าฝุ่นให้ตกลงข้างล่าง
    - Bag Filter – ใช้ถุงกรอง
  - กำจัด SO_2
    - Limestone-Gypsum – กำมะถัน + หินปูน → ยิปซัม
  - ลด NO_x
    - Selective Catalytic Reduction – $NH_3 + NO_x \rightarrow N_2 + H_2O$

เทคโนโลยีเกี่ยวกับน้ำป้อนหม้อน้ำ

- การบำบัดน้ำป้อนหม้อน้ำโดยวิธีการ Reverse Osmosis (RO)
- การบำบัดน้ำป้อนหม้อน้ำโดยวิธีการเติมสารเคมีลงไปในระบบ
- การบำบัดน้ำป้อนหม้อน้ำโดยวิธีการ Electro Magnetic

เทคโนโลยีเกี่ยวกับน้ำป้อนหม้อน้ำ

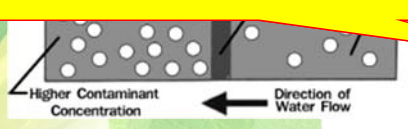
การบำบัดน้ำป้อนหม้อไอน้ำโดยวิธีการ Reverse Osmosis (RO)

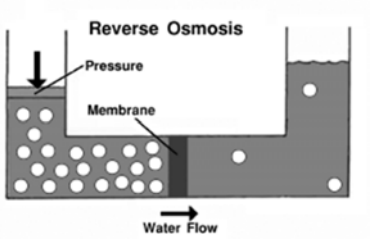
หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

รีเวอร์ส ออสโมซิส (Reverse Osmosis) เป็นการบังคับให้เกิดการย้อนกลับของปรากฏการณ์ออสโมซิส โดยการให้ความดันไฮโดรลิก (Hydraulic Pressure) แก่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อให้เกิดการออสโมซิสจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งความดันไฮโดรลิกที่ใส่เข้าไปต้องมีค่ามากกว่าความดันออสโมติกจึงจะเกิดการ RO ได้

ระบบ RO ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำป้อน เนื่องมาจากสาเหตุหลัก คือ หลังจากผ่านเครื่องกรองความกระด้าง (Softener) แม้ว่าความกระด้างจะหมดไปกลายเป็นน้ำอ่อน แต่ค่าสารละลายในน้ำ (Total Dissolved Solid, TDS) ยังคงมีค่าสูงอยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาตามมา คือ เกิดการ Foaming และ Carry Over ของไอน้ำที่ผลิตหากไม่มีการโบลว์ดาวน์อย่างเพียงพอ

- ลดสารเคมี ลดโบลว์ดาวน์ ลดการกัดกร่อน
- บ่อยครั้งที่มาตรการด้านคุณภาพน้ำ ประหยัดกว่ามาตรการด้านเชื้อเพลิง!





เทคโนโลยีเกี่ยวกับน้ำป้อนหม้อน้ำ

การบำบัดน้ำป้อนหม้อไอน้ำโดยการเติมสารเคมีลงไปในระบบ

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

น้ำในระบบหม้อไอน้ำที่มีการระเหยตลอดเวลา จะเกิดการสะสมของแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ ทำให้ความเข้มข้นของน้ำในระบบสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดการกัดกร่อนหรือสนิม และเกิดตะกรันขึ้นในระบบ ส่งผลให้อายุการใช้งานของระบบนั้น ๆ ลดลง ทำให้ต้องของบประมาณในการปรับปรุงซ่อมแซมเร็วกว่ากำหนดที่ควรจะเป็น และที่สำคัญอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อบุคคล และทรัพย์สินได้โดยเฉพาะหม้อไอน้ำ โดยการใช้เคมีเป็นอีกวิธีหนึ่งของการปรับปรุงคุณภาพน้ำภายในที่ลงทุนต่ำที่สุด ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายมากที่สุดในขณะนี้

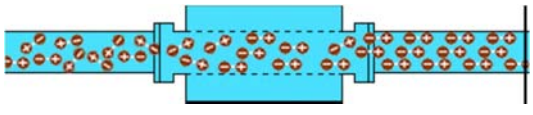
- ฟอสเฟต
- ไฮดราซีน
- โพลิเมอร์

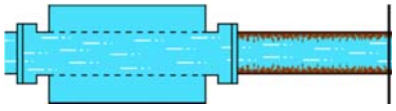
เทคโนโลยีเกี่ยวกับน้ำป้อนหม้อน้ำ

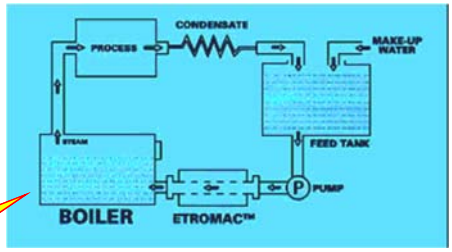
การบำบัดน้ำป้อนหม้อไอน้ำโดยวิธีการ Electro Magnetic

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

อุปกรณ์ ETROMAC Electro Magnetic Water Treatment Unit คือ อุปกรณ์ป้องกันและขจัดตะกรัน (หินปูน) ซึ่งเกิดขึ้นในระบบหม้อกำเนิดไอน้ำ และระบบหล่อเย็น ในน้ำดิบ อุปกรณ์นี้สามารถจัดเรียงอนุภาคของสารละลายที่ปะปนอยู่ในน้ำที่ไหลหมุนเวียน อยู่ในระบบหม้อกำเนิดไอน้ำ หรือระบบหล่อเย็น โดยอาศัยกำลังของสนามแม่เหล็ก ซึ่งอนุภาคที่ถูกทำการจัดเรียงจะเปลี่ยนสภาพเป็นสารแขวนลอย มีโครงสร้างใหม่และแข็งแรงกว่าโครงสร้างเดิมของอนุภาคที่เป็นสารละลาย ทำให้ไม่เกิดการแตกตัวของอนุภาคออกไปเป็นธาตุแข็งยึดเกาะตามผิวผนังของหม้อกำเนิดไอน้ำ ท่อน้ำ หรืออุปกรณ์หล่อเย็นอื่น ๆ ดังนั้นตะกรัน (หินปูน) จึงไม่สามารถก่อตัวขึ้นได้







ไม่ต้องใช้สารเคมี

เทคโนโลยีเกี่ยวกับคอนเดนเสท

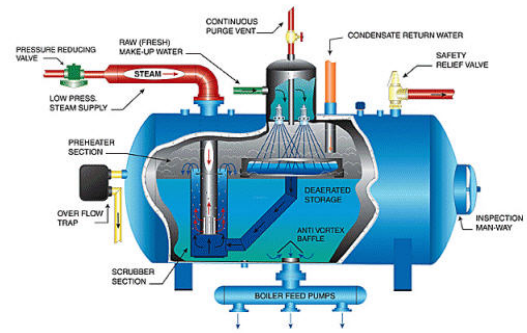
- Deaerator
- Steam Trap
- Mechanical Pump

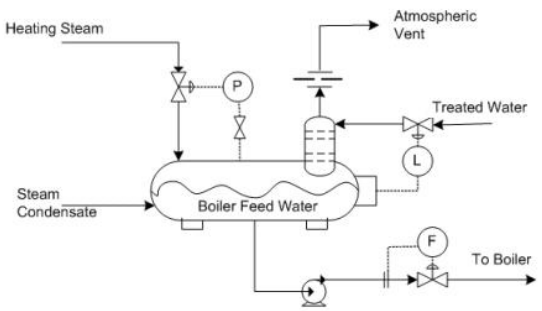
เทคโนโลยีเกี่ยวกับคอนเดนเสท

Deaerator

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

Deaerator เป็นอุปกรณ์ทางกลที่ใช้กำจัดแก๊สที่ไม่ละลายออกจากระบบน้ำที่ป้อนเข้าสู่หม้อน้ำ ซึ่ง **Deaerator** จะปกป้องระบบไอน้ำจากการกัดกร่อนจากแก๊ส ซึ่งจะทำโดยการลด O_2 และ CO_2 ให้อยู่ในระดับที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนน้อยที่สุด หลักการการทำงานของ **Deaerator** คือ เมื่อไอน้ำไหลผ่านน้ำ น้ำก็จะถูกทำให้ร้อน เกิดการปั่นป่วน และเดือด หลังจากนั้นก็จะทำให้เย็นลงแล้วจะเกิดการควบแน่นที่ส่วนระบาย **(Vent)** ส่วนแก๊สที่ไม่ควบแน่นก็จะถูกปล่อยออกไปผ่านช่องระบาย





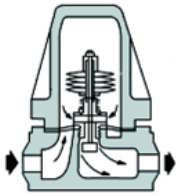
เทคโนโลยีเกี่ยวกับคอนเดนเสท

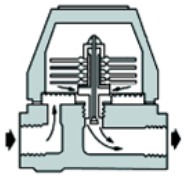
Steam Trap

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

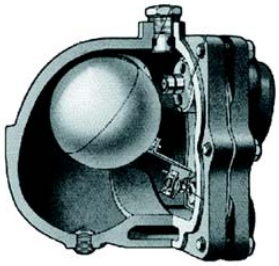
กับดักไอน้ำ (Steam Trap) เป็นวาล์วชนิดพิเศษที่ใช้ในระบบไอน้ำเพื่อช่วยให้กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด และยังช่วยลดต้นทุนการผลิตของระบบไอน้ำ ซึ่งกับดักไอน้ำทุกชนิดจะมีหน้าที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่

1. เปิดเพื่อระบายคอนเดนเสท (Condensate)
2. ปิดเพื่อป้องกันไอน้ำรั่วไหล
3. เปิดเพื่อระบายอากาศและแก๊สที่ไม่ควบแน่นออก





- ติดตั้งบริเวณอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ & ท่อส่งจ่ายที่ไกลหรือมีข้อต่อมาก
- ลด Water Hammer
- ลดการกัดกร่อนจากความชื้น



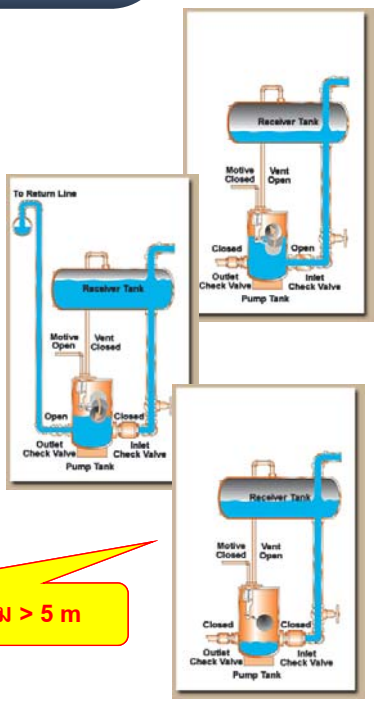
เทคโนโลยีเกี่ยวกับคอนเดนเสท

Mechanical Pump

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

ปั๊มคอนเดนเสทมีหลักการง่าย ๆ คือ การปั๊มเอาน้ำคอนเดนเสทกลับเข้าสู่ระบบอีกครั้ง ซึ่งปั๊มคอนเดนเสทนี้มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ไฟฟ้า กับแบบที่ใช้แรงดันจากไอน้ำมาขับ ซึ่งที่นิยมใช้กัน คือ แบบที่ใช้แรงดันไอน้ำมาขับ เพราะประหยัดพลังงานมากกว่า โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- ขั้นที่1 ปั๊มจะรับน้ำคอนเดนเสทจากถังเก็บมาโดยไหลผ่านวาล์วทางเข้า โดยที่วาล์วทางออกกับวาล์วไอน้ำเข้ายังปิดอยู่
- ขั้นที่2 เมื่อน้ำที่ปั๊มเต็มได้ระดับแล้ว วาล์วที่ปิดไอน้ำอยู่ก็จะถูกเปิดออก และวาล์วที่ทางเข้าก็จะถูกปิดลง น้ำก็จะถูกขับออกจากปั๊มเข้าไปที่ระบบน้ำเข้าหม้อน้ำ
- ขั้นที่3 เมื่อระดับน้ำในถังลดต่ำลงถึงระดับหนึ่ง วาล์วน้ำที่ทางออกและวาล์วไอน้ำก็จะถูกปิด ส่วนวาล์วน้ำที่ทางเข้าก็จะถูกเปิดออก น้ำก็จะไหลเข้ามาที่ปั๊มใหม่



ที่อุณหภูมิ 100°C ถังต้องสูงกว่าปั๊ม > 5 m

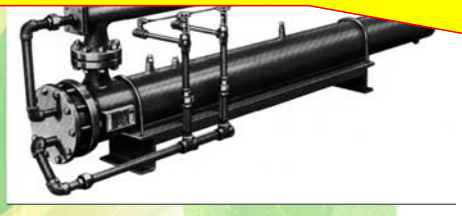
เทคโนโลยีเกี่ยวกับการโบลว์ดาวน์

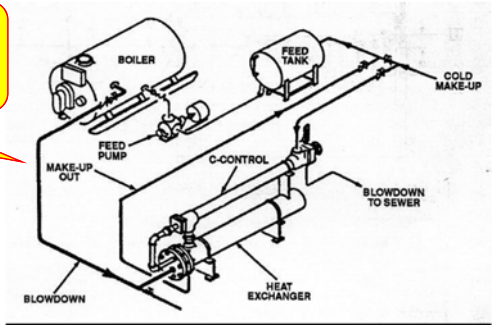
Automatic Blowdown Control System

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

- เทคโนโลยี **Automatic Blowdown Control System** เป็นระบบที่หาความเหมาะสมของการโบลว์ดาวน์ โดยการปล่อยน้ำทิ้งที่เที่ยงตรง มีความสัมพันธ์กับค่าการนำความร้อน TDS Silica ฯลฯ โดยที่ระบบควบคุมจะเป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วโบลว์ดาวน์ให้น้อยที่สุด
- หม้อน้ำที่มีการติดตั้งเทคโนโลยี **Automatic Blowdown Control System** แล้วจะมีการลดลงของอัตราการโบลว์ดาวน์ เช่น ทุก ๆ 100,000 lb/hr หม้อน้ำจะมีการลดอัตราการโบลว์ดาวน์จาก 8% เหลือ 6% และอัตราการป้อนน้ำให้หม้อน้ำจะลดลงประมาณ 2300 lb/hr

โบลว์ดาวน์ที่ผิวน้ำ (Surface Blowdown)
เก็บน้ำกลับมาใช้ได้มากกว่า เพราะตะกอนน้อยกว่า





เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบควบคุม

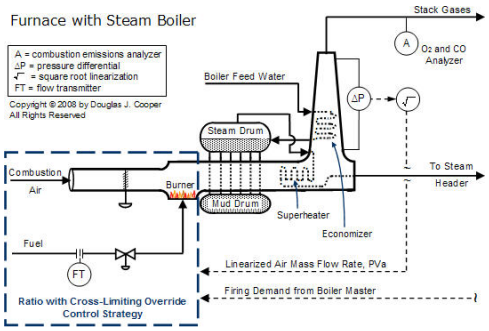
- การใช้ระบบควบคุมแรงดันไอน้ำ
- การใช้ระบบควบคุมการเผาไหม้
- การใช้ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ดูดอากาศ
- การปรับสมดุลการใช้หม้อน้ำ
- กับดักไอน้ำแจ้งเตือนอัตโนมัติ

เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบควบคุม

การใช้ระบบควบคุมแรงดันไอน้ำ

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

เทคโนโลยีการควบคุมแรงดันไอน้ำนั้น จะอาศัยการวัดแรงดันไอน้ำจากดรัมทางด้านบน โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันเอาไว้ พร้อมทั้งติดตั้งระบบควบคุมแรงดันไอภายในดรัม เมื่อมีแรงดันไอใกล้เคียงกับที่ต้องการ หรือค่าที่ตั้งเอาไว้แล้ว ระบบควบคุมก็จะเข้าไปสั่งให้มีการจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศให้ลดลงเพื่อลดปริมาณการเผาไหม้ ทำให้ระบบค่อย ๆ ลดความเร็วในการผลิตไอลงตามไปด้วย โอกาสที่ไอน้ำที่ผลิตมากเกินความต้องการและจำเป็นต้องปล่อยทิ้งไปกับวาล์วระบายจึงลดลง เมื่อมีความต้องการใช้ไอน้ำมาก แรงดันไอที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกับค่าที่กำหนด ระบบควบคุมก็สามารถสั่งให้หม้อไอน้ำทำงานเต็มกำลัง หม้อไอน้ำก็จะผลิตไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว จนกระทั่งใกล้ถึงค่าที่กำหนดเอาไว้ก็จะมีการปรับลดความเร็วในการผลิตลง



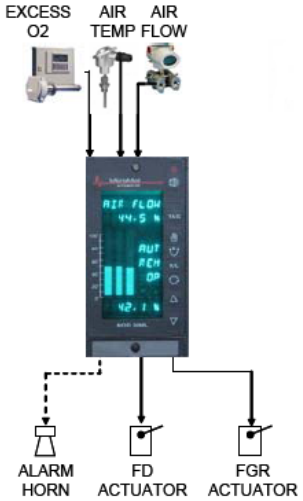
อาศัยวาล์วนิรภัย (Safety Valve) อย่างเดียว จะมีการระบายไอน้ำความดันสูงทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์

เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบควบคุม

การควบคุมการเผาไหม้

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

- แนวคิดในการปรับสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสมนั้น เป็นแนวคิดพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับระบบที่มีการเผาไหม้อยู่แล้ว เพราะถ้าหากสามารถควบคุมให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์พอดี ก็จะส่งผลให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงได้ พร้อมทั้งสามารถนำพลังงานจากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด
- ระบบจะมีเซ็นเซอร์สำหรับอ่านปริมาณออกซิเจนส่วนเกินที่ออกมากับไอเสีย จากนั้นนำมาวิเคราะห์ แล้วชุดควบคุมจะสั่งงานให้มีการจ่ายอากาศและเชื้อเพลิงที่เข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ ให้เข้าไปในสัดส่วนที่เหมาะสมตลอดเวลา ถ้าอากาศมากเกินไประบบจะปรับลดอากาศเข้าจนได้ระดับที่ต้องการ แต่ถ้าน้อยเกินไป ก็จะเพิ่มอากาศหรือลดเชื้อเพลิงลงจนอยู่ในระดับที่เหมาะสมเช่นเดียวกัน



สั่งแดมเปอร์ปรับปริมาณอากาศป้อน

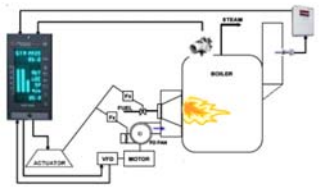
เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบควบคุม

ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ดูดอากาศ

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

- การปรับสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสมนั้น เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบที่มีการเผาไหม้อยู่แล้ว เพราะถ้าหากสามารถควบคุมให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์พอดี ก็จะส่งผลให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงได้ พร้อมทั้งสามารถนำพลังงานจากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด
- โดยปกติแล้วระบบจะอ่านค่าออกซิเจนจากไอเสีย แล้วส่งสัญญาณผ่านชุดควบคุม จากนั้นชุดควบคุมจะประมวลผล และสั่งให้มีการปรับความเร็วรอบของพัดลมดูดอากาศให้เหมาะสม ซึ่งจะให้ผลที่ดีกว่าการปรับแดมเปอร์เพียงอย่างเดียว เพราะเมื่อลดความเร็วรอบของพัดลมลง ปริมาณอากาศที่ไหลเข้าสู่ระบบก็จะลดลงตามไปด้วย ในขณะเดียวกันก็ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลมลงไปด้วยเช่นกัน ต่างจากการปรับแดมเปอร์ที่จะลดปริมาณอากาศเข้าแต่ไม่ได้ลดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับพัดลม แต่ถึงอย่างไรการควบคุมนี้จำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนในไอเสียเช่นเดียวกัน

ใช้ VSD ปรับรอบพัดลม
เพื่อปรับปริมาณอากาศป้อน

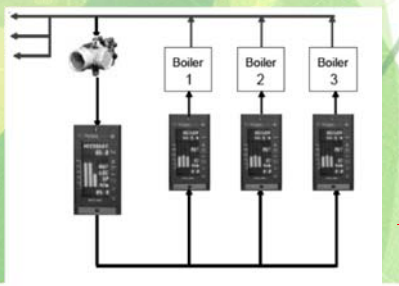


เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบควบคุม

การปรับสมดุลการใช้หม้อน้ำ

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

ระบบการปรับสมดุลการใช้หม้อน้ำนั้นจะเข้าไปควบคุมการเริ่มต้นทำงาน และการหยุดการทำงานของหม้อน้ำ โดยเมื่อมีความต้องการใช้ไอน้ำน้อย ระบบจะสั่งให้หม้อน้ำทำงานเฉพาะเท่าที่จำเป็น จากนั้นเมื่อมีความต้องการมากขึ้นก็จะสั่งให้หม้อน้ำตัวถัดมาเริ่มทำงาน และปรับกำลังให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จนกระทั่งเมื่อระบบในโรงงานต้องการไอน้ำมากขึ้น ก็จะสั่งให้หม้อน้ำถัดมาทำงาน เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ และเมื่อมีความต้องการใช้ไอน้ำลดลงจนถึงจุดที่ต่ำเพียงพอ ระบบจะหยุดการทำงานของหม้อน้ำบางตัวลงเพื่อลดการใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง รวมทั้งสามารถปรับชั่วโมงการทำงานของหม้อน้ำที่มีในโรงงานให้เหมาะสมกันเพื่อยืดอายุการใช้งานของหม้อน้ำ และหน่วงเวลาการเริ่มทำงานระหว่างหม้อน้ำแต่ละตัวเพื่อช่วยลดเชื้อเพลิงและไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นจากการเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์หลาย ๆ ตัวพร้อมกันได้อีกด้วย



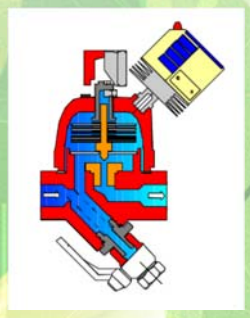
- เดินจำนวนหม้อน้ำให้น้อยที่สุด
- เดินให้ใกล้เคียงภาระเต็มพิกัด (Full Load) มากที่สุด
- จัดจังหวะการเดินให้เหมาะสม

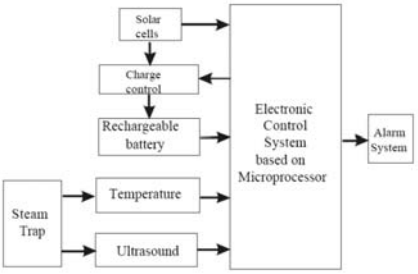
เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบควบคุม

กับดักไอน้ำแจ้งเตือนอัตโนมัติ

หลักการและรายละเอียดเทคโนโลยี :

เทคโนโลยี Intelligent Autonomous Steam Trap นั้นจะช่วยให้กับดักไอน้ำสามารถตรวจสอบตัวเองได้โดยอัตโนมัติ และสามารถแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ทราบได้ทันทีที่เกิดปัญหา โดยปัญหามักจะเกิดขึ้นได้สองกรณี คือ ปิดสนิทไม่สามารถเปิดทิ้งน้ำที่ควบแน่นได้ และรั่วทำให้ไอน้ำไหลผ่านออกมาได้ ซึ่งในกรณีแรกจะทำให้มีน้ำควบแน่นที่กับดักไอน้ำเป็นจำนวนมาก และไอน้ำไม่สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ได้ ส่วนกรณีที่สองนั้นไอน้ำจะถูกปล่อยทิ้งออกไป โดย IAST นั้นจะติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และเซ็นเซอร์วัดเสียงความถี่สูง และใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งสะสมเอาไว้ด้วยแบตเตอรี่ภายในตัว หากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าปกติ เช่น ต่ำกว่า 60°C แสดงว่ามีน้ำขังอยู่ภายใน และหากสามารถจับเสียงความถี่สูงได้ แสดงว่ามีไอน้ำรั่วไหล





เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบไอน้ำ

- ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Cogeneration)
- ระบบ Combined Cycle
- การทำ Repowering

เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบไอน้ำ

ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Cogeneration)

ไฟฟ้า & ความร้อน

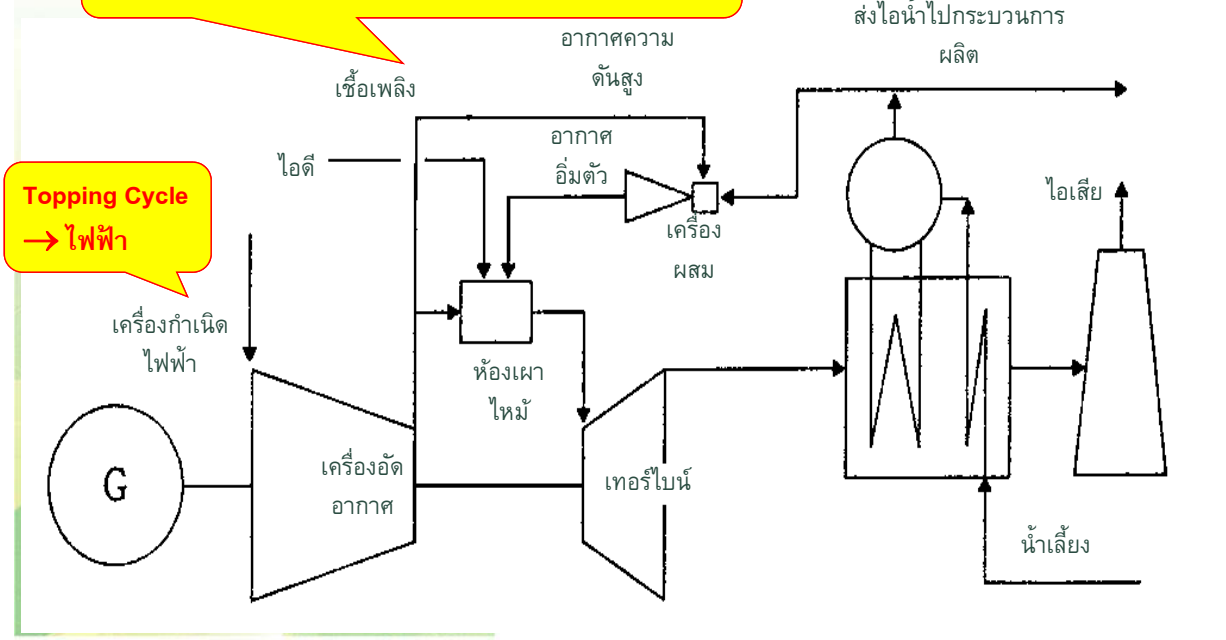
- เป็น Hybrid System ที่สามารถผลิตและจ่ายพลังงานทุติยภูมิตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปจากแหล่งพลังงานปฐมภูมิชนิดเดียว
- เครื่องต้นกำลังจะใช้เครื่องยนต์แก๊ส ดีเซล กังหันแก๊ส กังหันไอน้ำ ฯลฯ
- โครงสร้างหลักของระบบโคเจเนอเรชั่น ประกอบด้วย
  - เครื่องต้นกำลัง (รวมทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ฯลฯ)
  - เครื่องนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้
  - เครื่องส่งความร้อน (ปั๊ม ท่อ ฯลฯ)
  - เครื่องสะสมความร้อน (ถังน้ำเย็น ถังน้ำร้อน ฯลฯ)
- ประสิทธิภาพความร้อนรวมแม้แต่ในระบบขนาดเล็กก็อาจสูงถึง 80%

เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบไอน้ำ

ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Cogeneration)

สิ่งสำคัญ
→ ต้องจัดความต้องการไฟฟ้าและความร้อนให้ลงตัว

Bottoming Cycle
→ ความร้อน



เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบไอน้ำ

ระบบ Combined Cycle

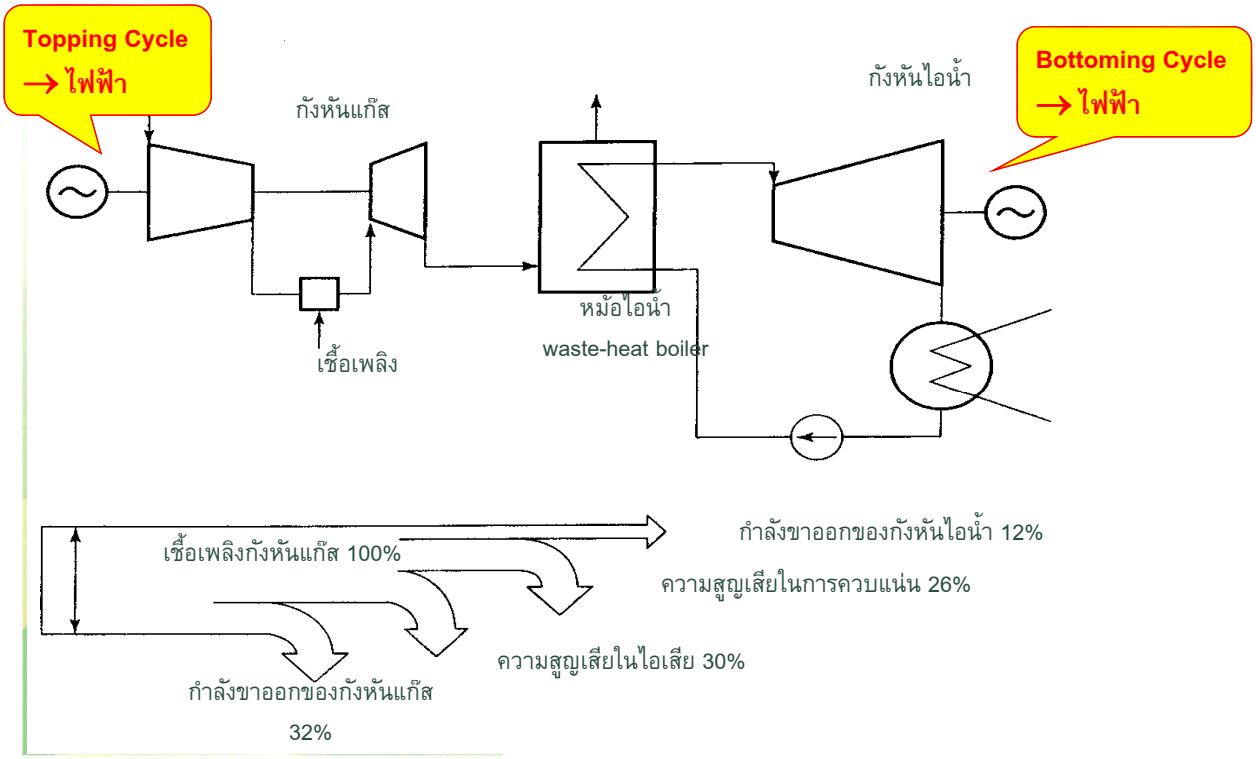
- นำความร้อนกลับมาใช้โดยนำไปคายความร้อนให้หม้อน้ำแบบ Waste Heat Boiler
- ใช้เป็นอากาศสำหรับเผาไหม้ในหม้อน้ำโดยเป่าพ่นเชื้อเพลิงเข้าไปเผาไหม้ในแก๊สไอเสีย จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพรวมสูงขึ้นมาก

Combined Cycle = Cogeneration ที่ใช้ไอน้ำขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า ไม่ใช่ใช้ไอน้ำในรูปความร้อน

- ในปัจจุบัน แบ่งเป็น 2 แบบ
  - แบบเพลาเดี่ยวซึ่งกังหันแก๊สจะต่อกับกังหันไอน้ำโดยตรงบนเพลาเดียวกัน
  - แบบหลายเพลาซึ่งประกอบด้วยกังหันแก๊สหลายตัวกับกังหันไอน้ำ 1 ตัว สามารถตรวจซ่อมแต่ละเพลาได้โดยไม่ต้องหยุดโรงไฟฟ้า

เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบไอน้ำ

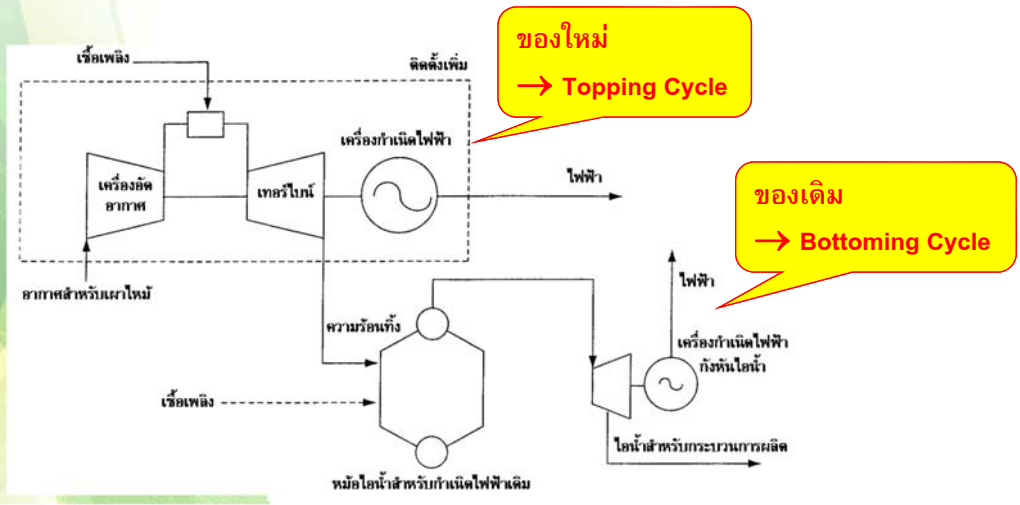
ระบบ Combined Cycle



เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบไอน้ำ

การทำ Repowering

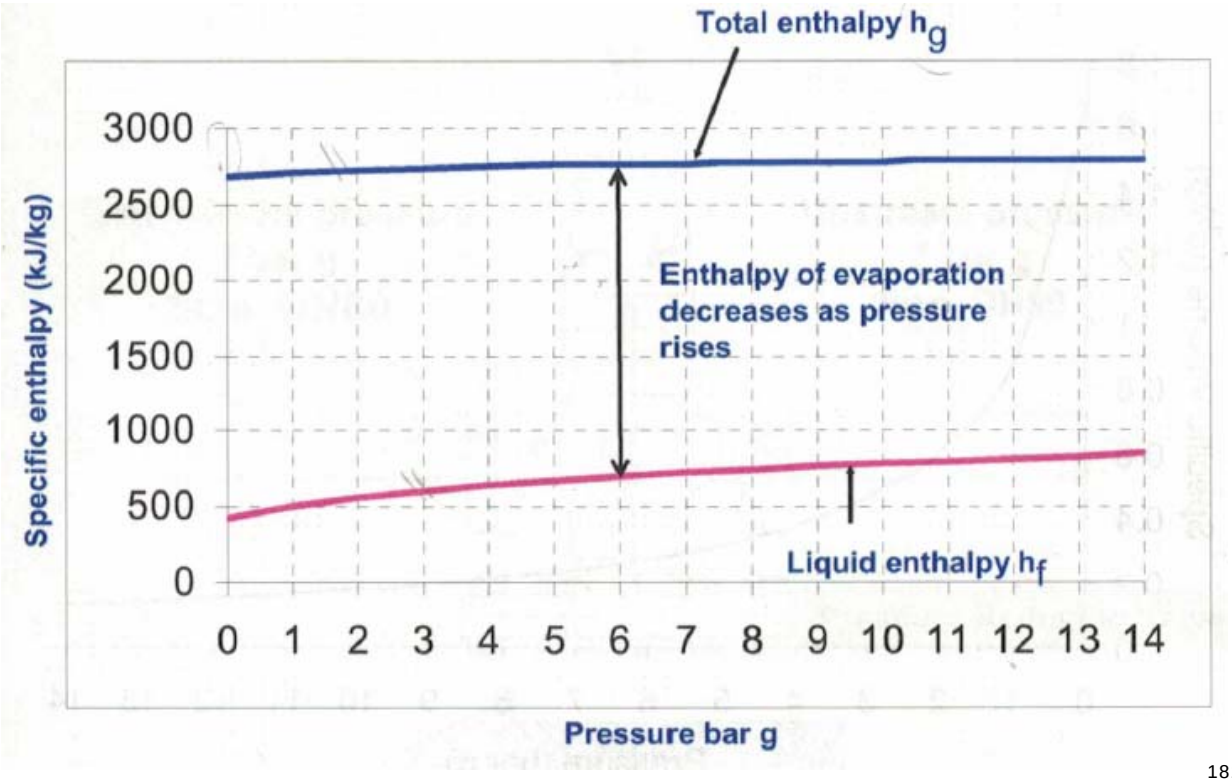
Repowering หมายถึง นำเครื่องจักรใหม่ไปติดตั้งเพิ่มเติมให้โรงไฟฟ้าเดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ รวมถึงการเพิ่มกำลังของโรงไฟฟ้าพลังน้ำโดยพิจารณาปรับระบบน้ำใหม่ด้วย แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงการติดตั้งกังหันแก๊สเพิ่มเติมให้โรงไฟฟ้าพลังความร้อนเดิม เพื่อทำ Combined Cycle กับหม้อน้ำและกังหันไอน้ำที่มีอยู่แล้ว



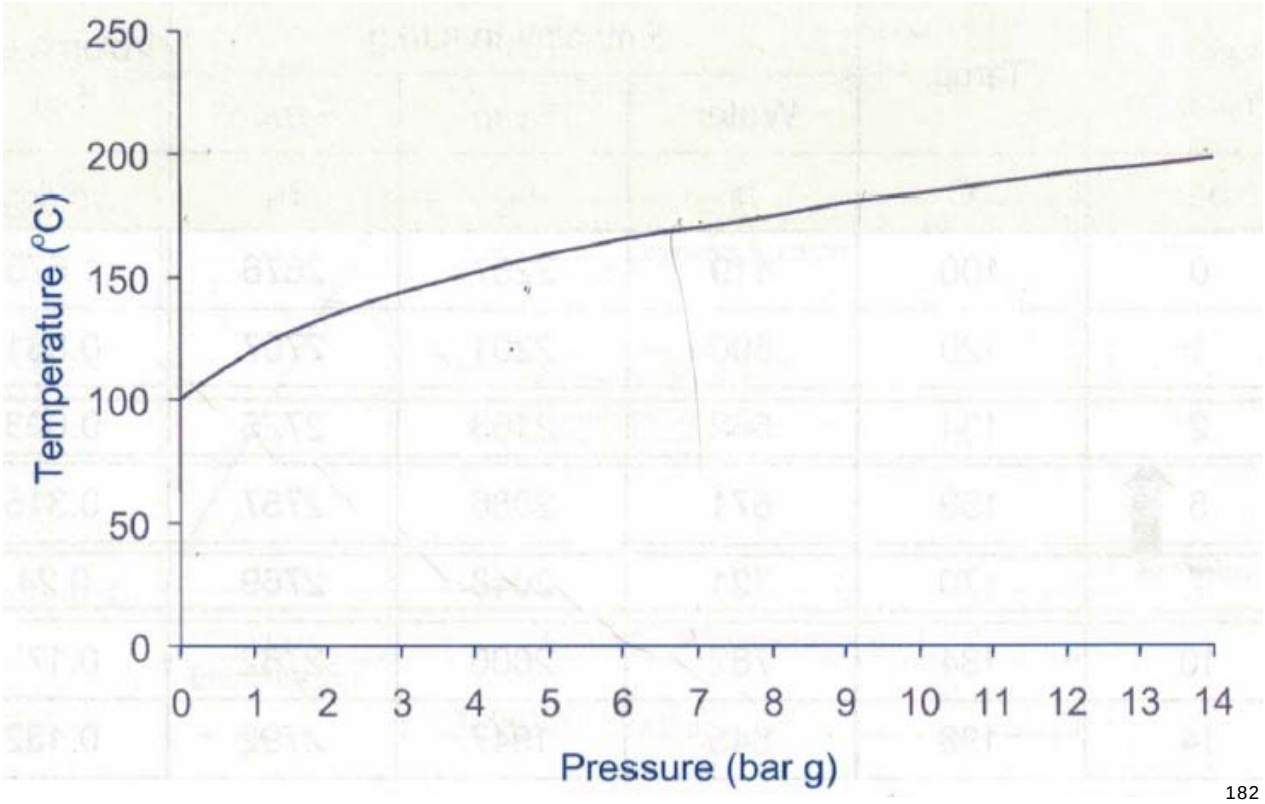
What is Steam?

- Liquid enthalpy (h_f)
- Enthalpy of evaporation (h_{fg})
- Total Energy (h_g)

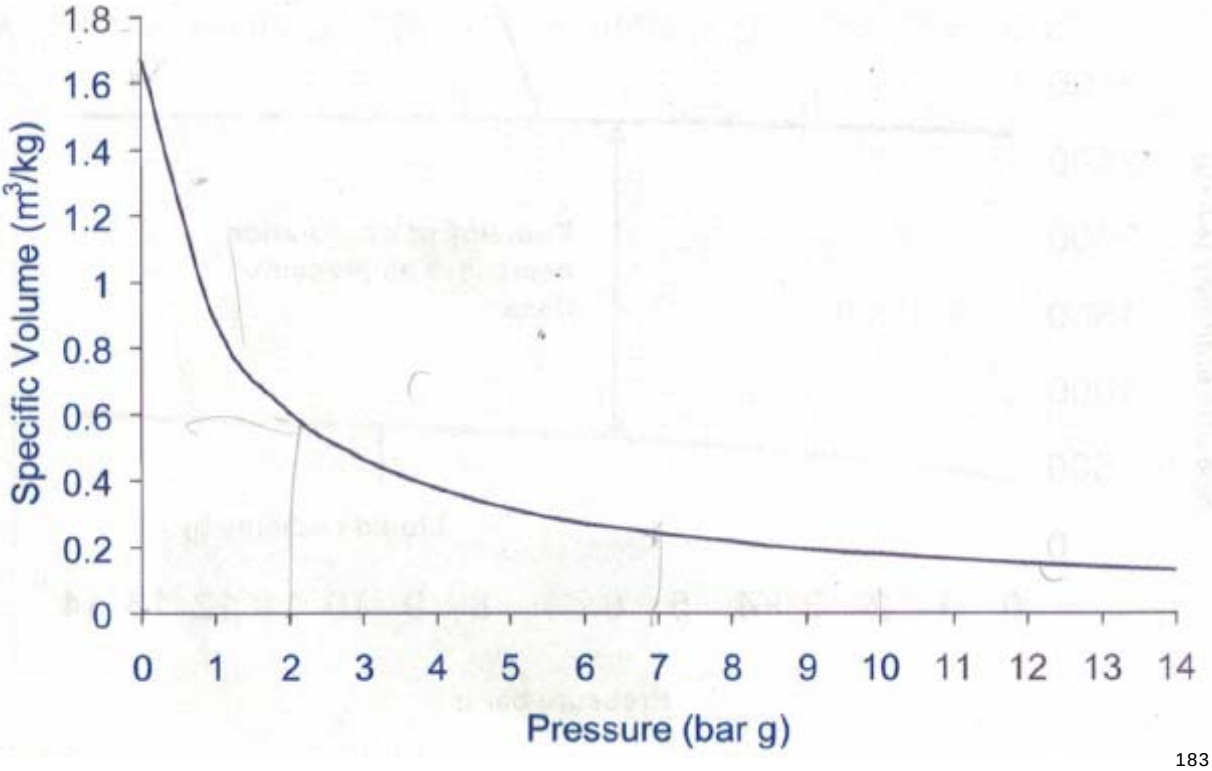
Pressure and Specific Enthalpy Relationship of Dry Saturated Steam



Temperature- Pressure Diagram



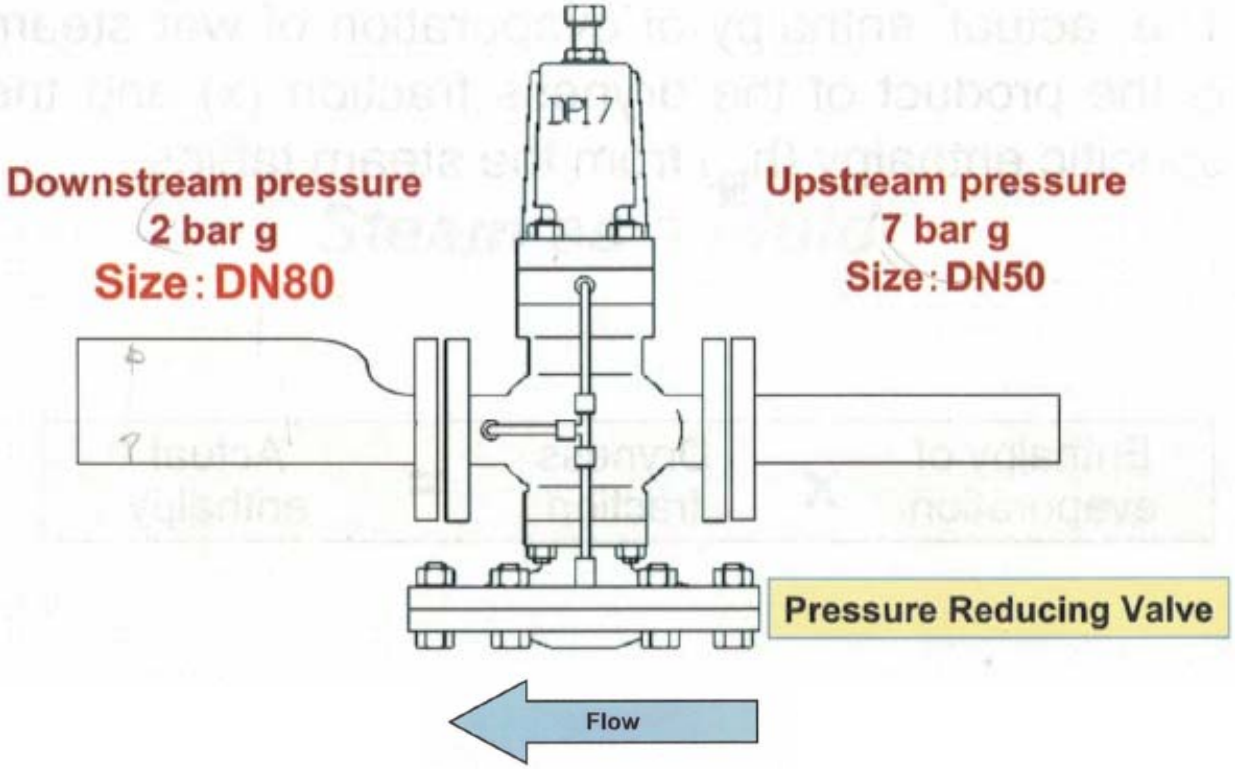
Volume- Pressure Diagram



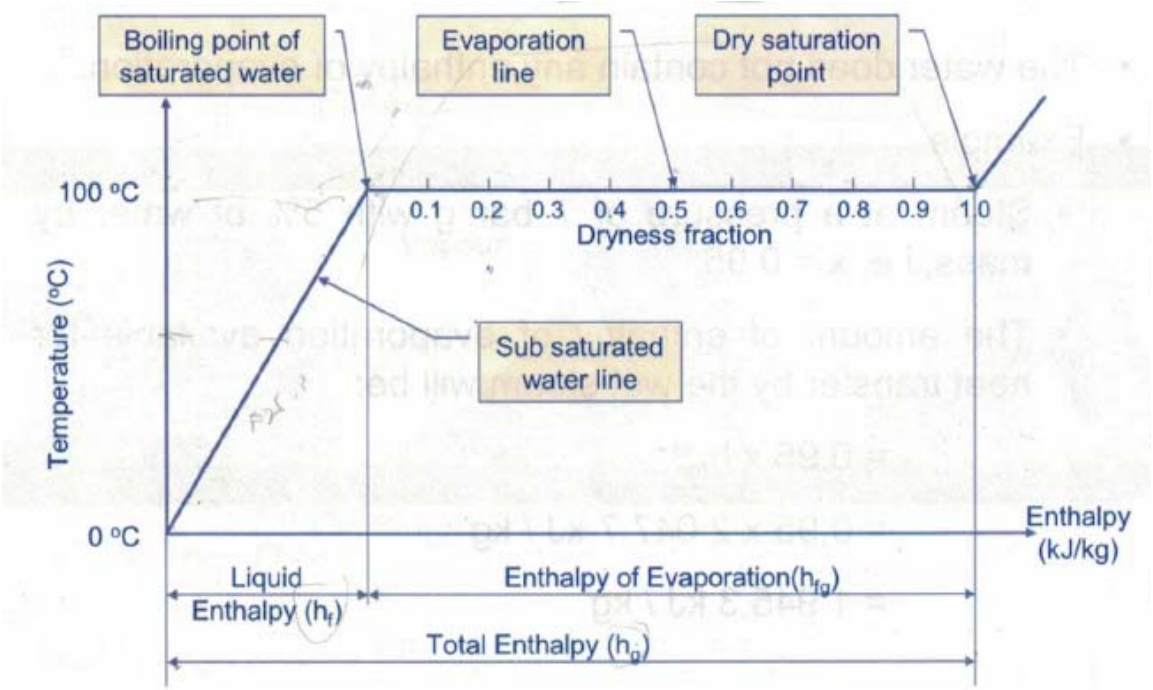
Steam Tables

Gauge Pressure	Temp.	Enthalpy in kJ/kg			Volume Dry Sat.
		Water	Evap	Steam	
bar	°C	h_f	h_{fg}	h_g	m^3/kg
0	100	419	2257	2676	1.673
1	120	506	2201	2707	0.881
2	134	562	2163	2725	0.603
5	159	671	2086	2757	0.315
7	170	721	2048	2769	0.24
10	184	782	2000	2782	0.177
14	198	845	1947	2792	0.132

Pipe size of Downstream?



Adding heat to water to produce steam in an atmospheric system



Dryness Fraction

- The 'actual' enthalpy of evaporation of wet steam is the product of the dryness fraction (x) and the specific enthalpy (h_{fg}) from the steam tables

Enthalpy of evaporation	x	Dryness fraction	=	Actual enthalpy

Wet Steam and Its Effect on the Heat Content of Steam

- The water does not contain any enthalpy of evaporation.
- Example
  - Steam at a pressure of 7 bar g with 5% of water by mass, i.e. x = 0.95.
  - The amount of enthalpy of evaporation available for heat transfer by the wet steam will be:

$= 0.95 \times h_{fg}$.

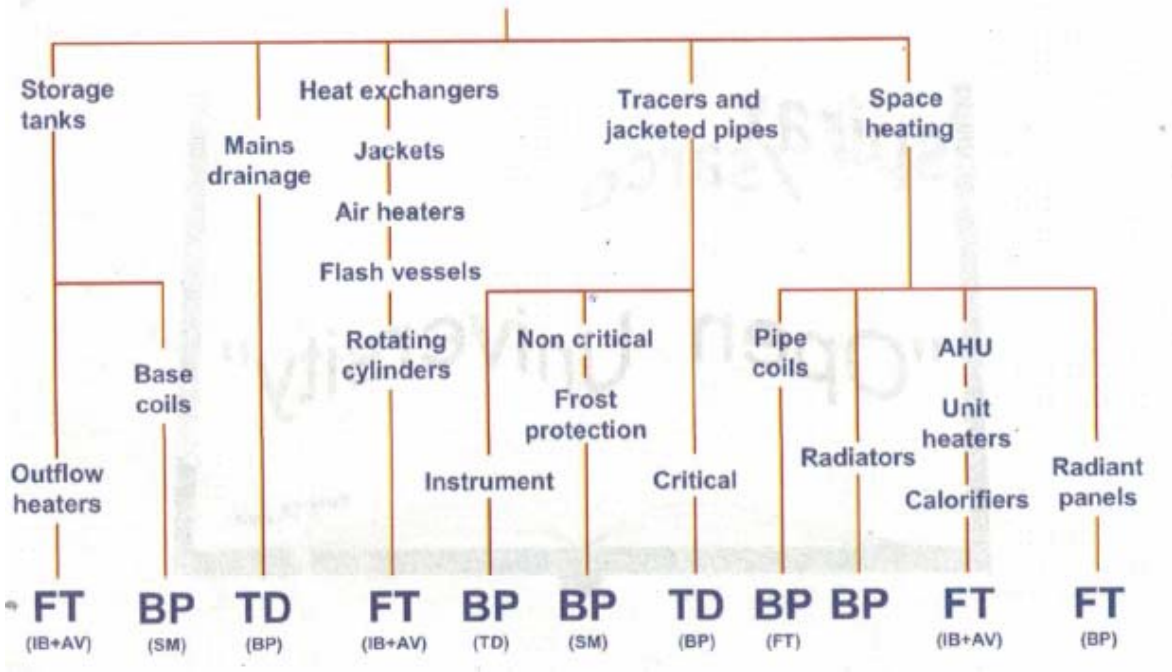
$= 0.95 \times 2\,047.7$ kJ / kg

$= 1\,945.3$ kJ / kg

The need For Steam Traps?

- Condensate Removal
- Air Venting
- Thermal Efficiency
- Reliability

Steam Traps Selection Chart: Dry Saturated Steam



Thermal Energy Efficiency

Advance Utilization Method For Thermal Energy

Thermal Energy Efficiency

1.Utilization of Thermal Energy

1) Energy Sources 2) Utilization Method
3) Characteristics for each method

2. Application Examples to Industrial Field

1) Boiler 2) Industrial Furnace (Electric/Combustion)
3) Petro-Chemical plant

3. Effective Methods for energy Saving

1) Saving for heat losses 2) Waste Heat Recovery
3) Advanced Combustion Technology
4) Improvement of Heating Method
5) Fuel Switching

1.Utilization of Thermal Energy

1) Energy Sources

- Chemical Reaction

  Combustion (Oxidation) of Fuels,

  Other Exothermic Reaction, ect.

- Electricity

  Thermal Energy explained by Joule's Law,

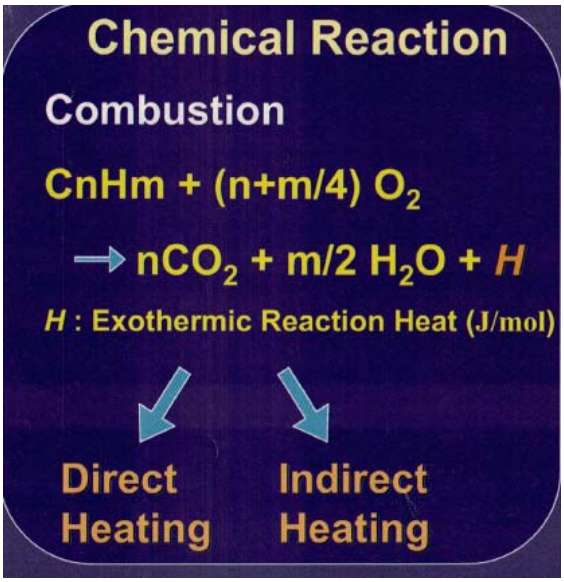
  Discharging (Arc, Plasma ect.)
  Microwave, ect.

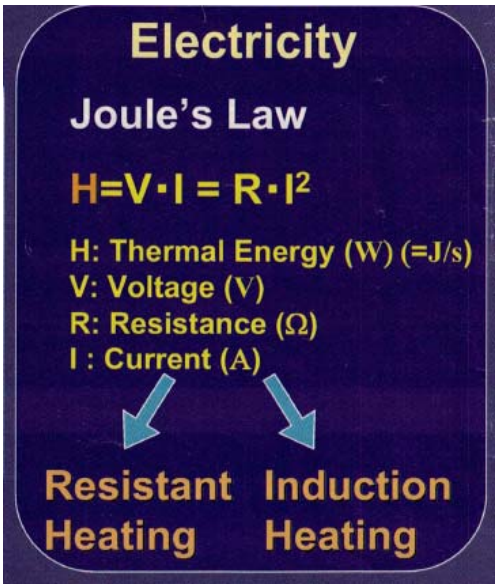
- Natural Energy

  Solar, Geothermal ect…

1.Utilization of Thermal Energy

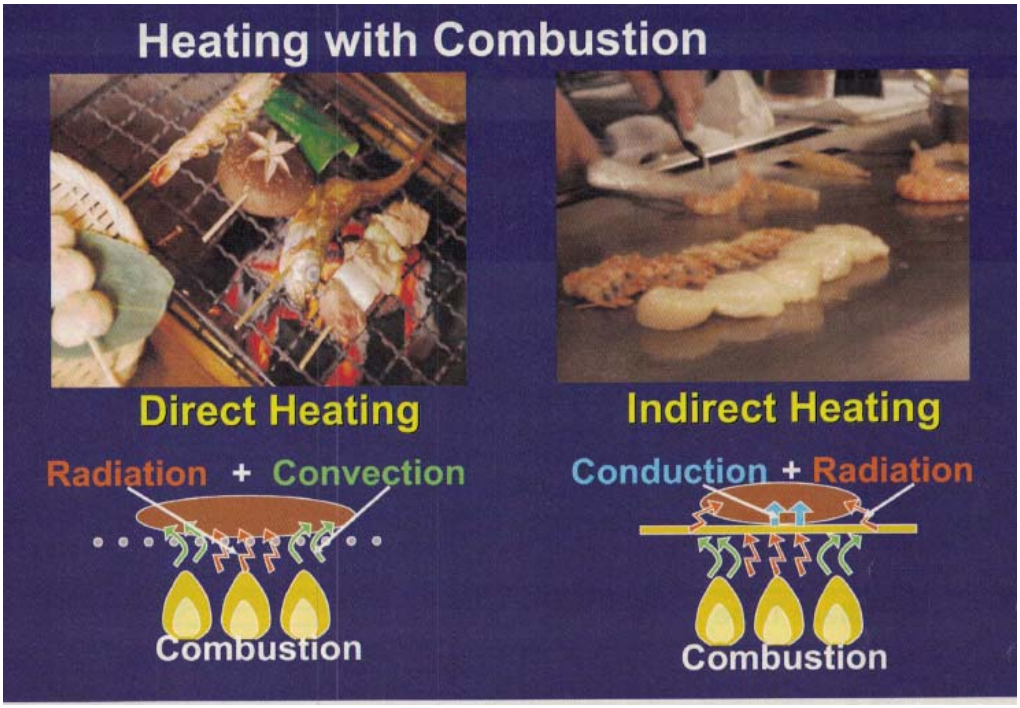
2) Utilization Method





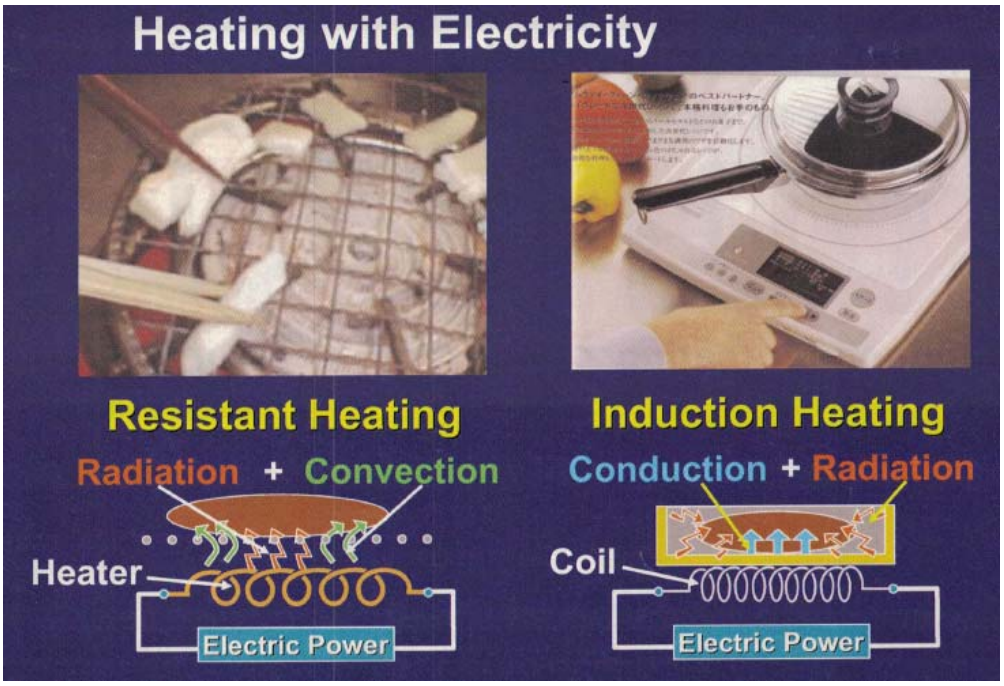
1.Utilization of Thermal Energy

2) Utilization Method (Example 1)



1.Utilization of Thermal Energy

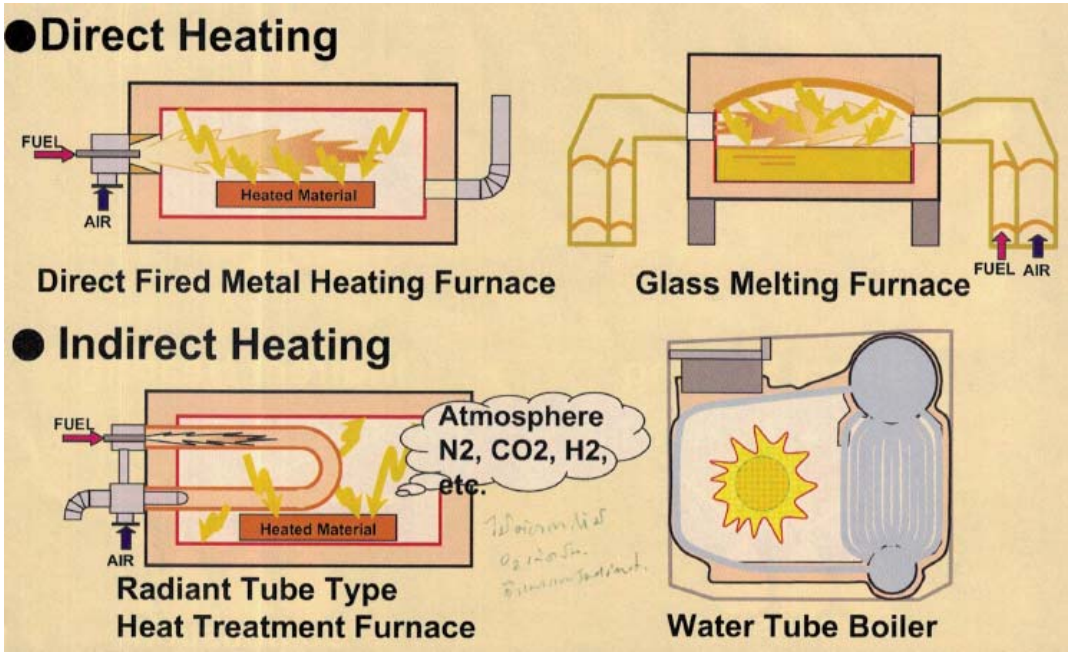
2) Utilization Method (Example 2)



1.Utilization of Thermal Energy

2) Utilization Method (Example in Industry)

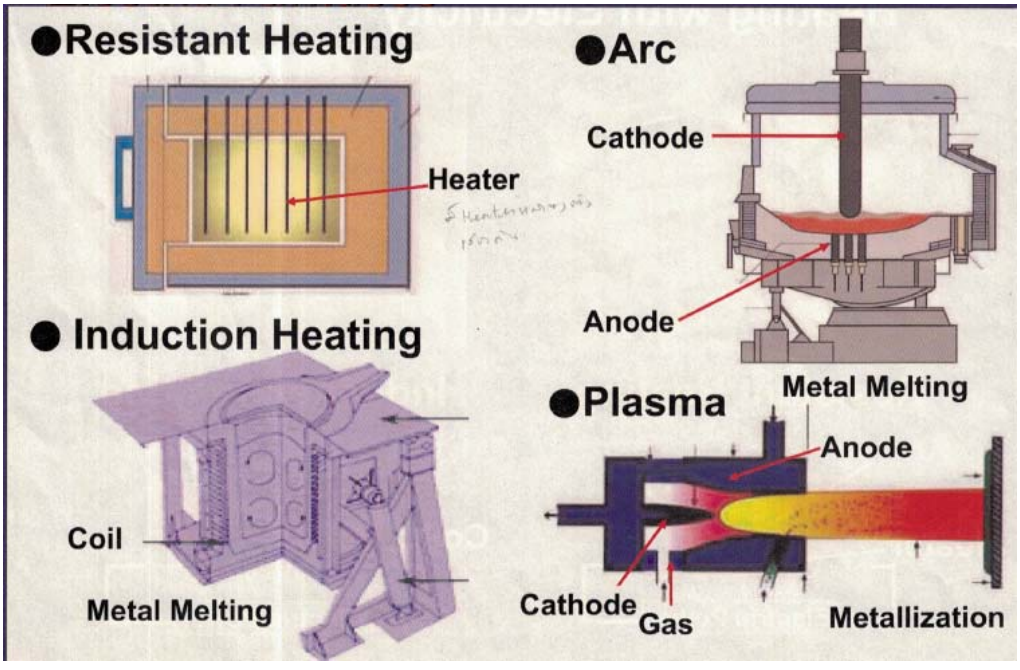
Combustion Furnaces



1.Utilization of Thermal Energy

2) Utilization Method (Example in Industry)

Electric Furnaces



1.Utilization of Thermal Energy

3) Characteristics for each method

	Combustion		Electricity		
	Direct	Indirect	Resistant	Induction	Discharging
Advantage	Direct Energy (Combustion Eff. h = 1.0) High Temp., High Heat Flux Heating Low Running Cost Large Scale Heating Free Location (Even in Developing Area) Various Kind of Fuel can be used		Uniform Heating Simple Control Just Connecting with wires No Exhaust Gases No Detonation Compact Facility		High Temperature High density of Energy
	Large Scale Heating	Atmospheric Heating	Low Cost Hardware	High Thermal Eff. Uniform Heating	
Disadvantage	Distribution of Heat Flux Complicated Control Fuel Feeding System (piping, pump, valve.) Generation of Exhaust Gases Risk for Detonation Large facility due to a necessity of burners		Necessity of Energy Conversion Low Heat Flux High Running Cost Small Scale Heating Power Source is required Take account of Eff. at Generator		High Consumption of Electricity Difficulty of Large Scale
	Existence of Flue Gases	Large Number of Burners	Low Eff. of Heat Transfer	High Cost Hardware	

2. Application Examples to Industrial Field

2) Industrial Furnace

Categorized by Kind of Heated Material

Metal (Iron&Steel, Nonferrous)

- Melting (溶解炉) (Blast furnace, Converter, Mixer, Aluminum melting)
- Heating (加熱炉) (Reheating, Forge, Brazing, etc.)
- Soaking (均熱炉)
- Sintering (焼結炉)
- Heat Treatment (熱処理炉) (Normalizing, Quenching, Tempering, Annealing, Carburizing, Nitriding, Galvanizing, etc.)

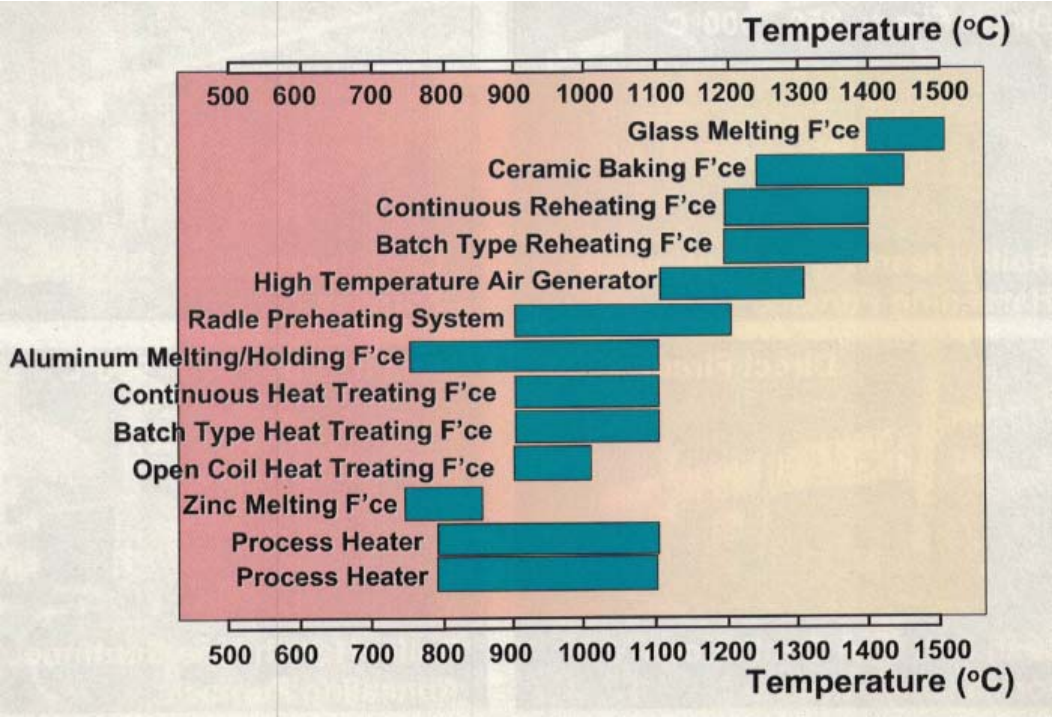
Non-Metal (Ceramics, Cement, etc.)

- Melting (溶解炉)
- Heating (加熱炉)
- Baking (焼成炉)
- Calcination (仮焼炉)

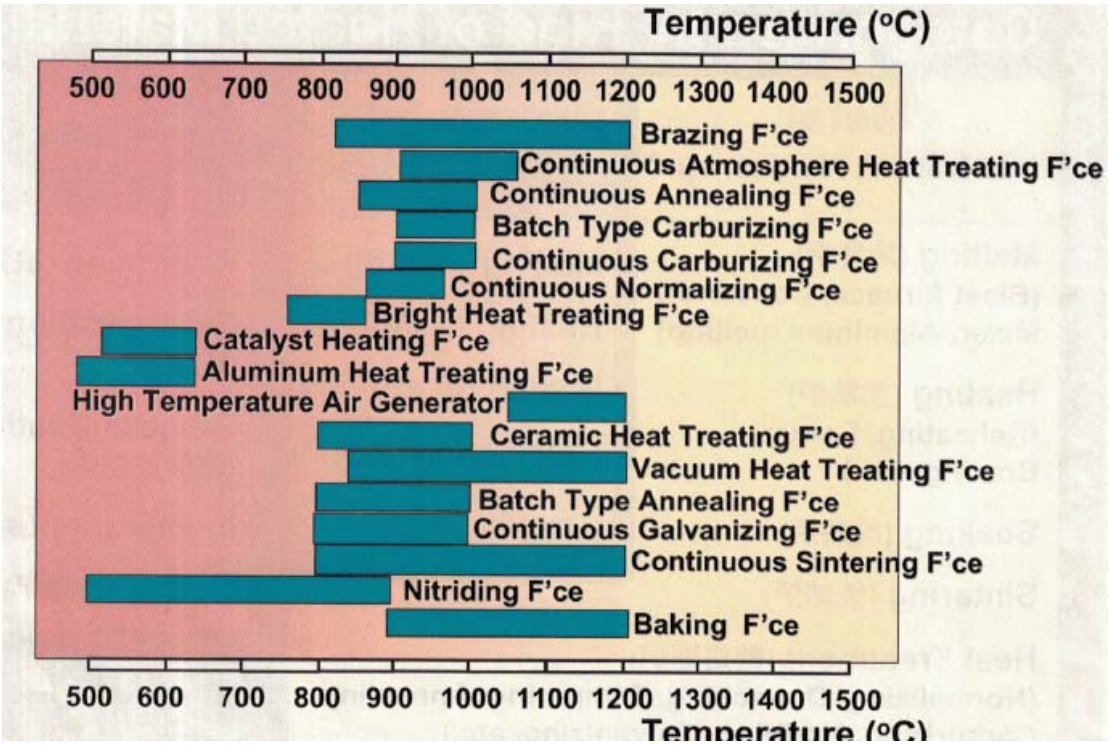
Others (Chemical industry, etc.)

- Reforming (改質炉)
- Carbonization (乾留炉)
- Process Heating (流体加熱炉)
- Incineration(焼却炉)
- Drying (乾燥炉)

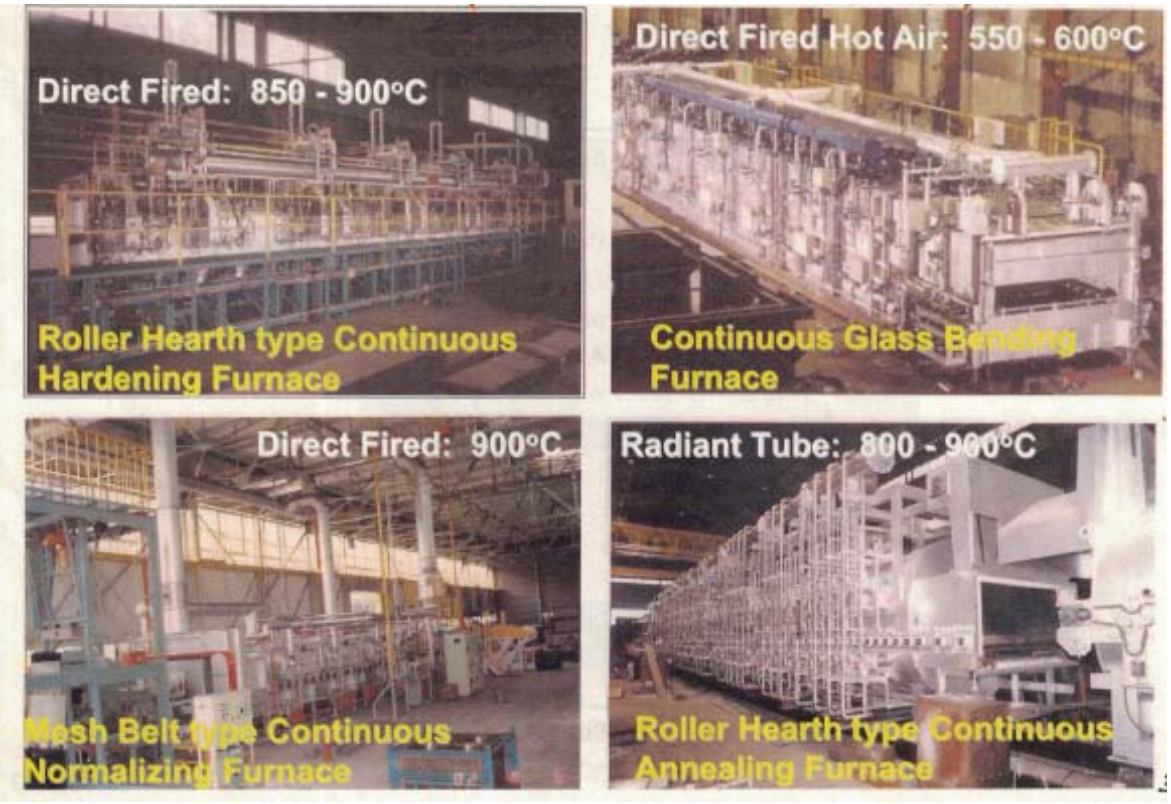
Temperature Range for Direct Firing Furnaces



Temperature Range for Radiant Tube or Electric Furnaces

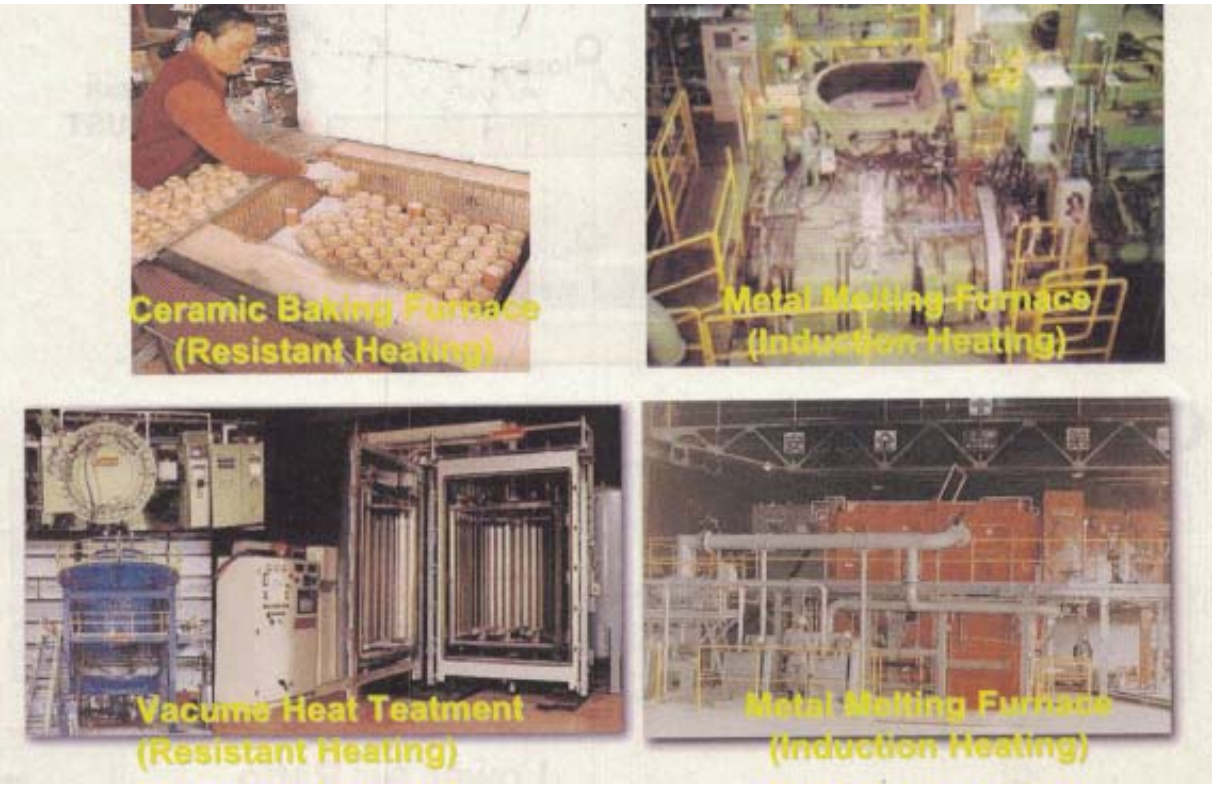


Continuous Heat Treatment Furnaces with Burners (Direct Fired/Radiant Tube)



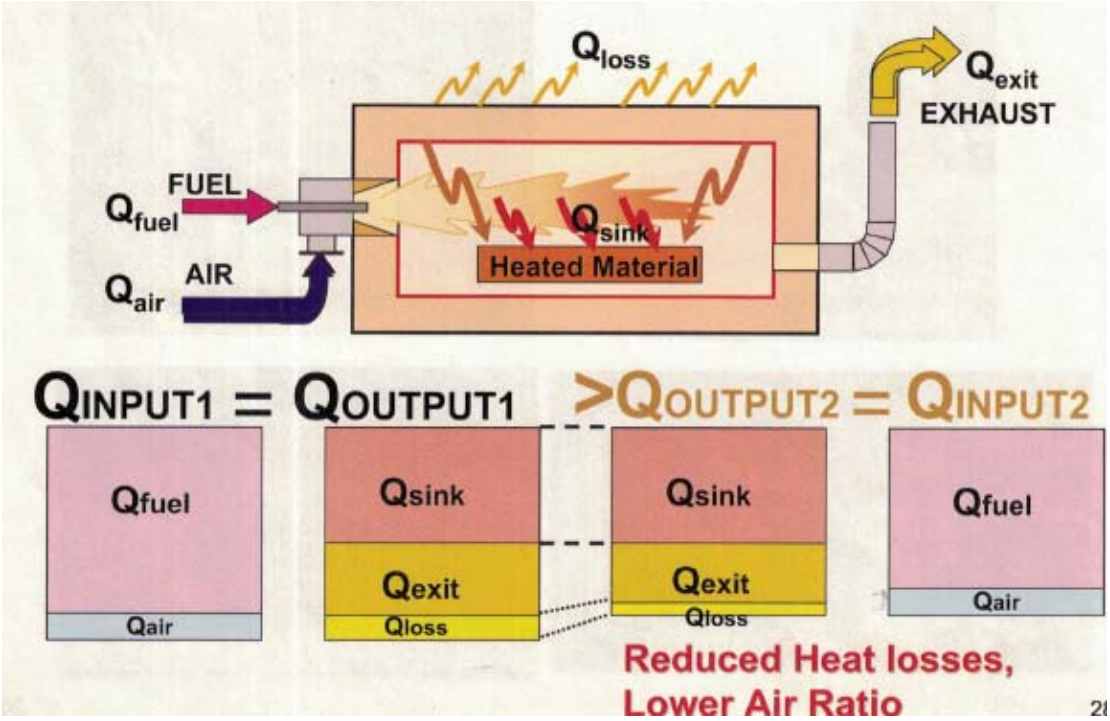
Batch type Heat Treatment Furnaces with Burners (Direct Fired/Radiant Tube)

Batch type Heat Treatment Furnaces with Electric Heating (Resistant/Induction)



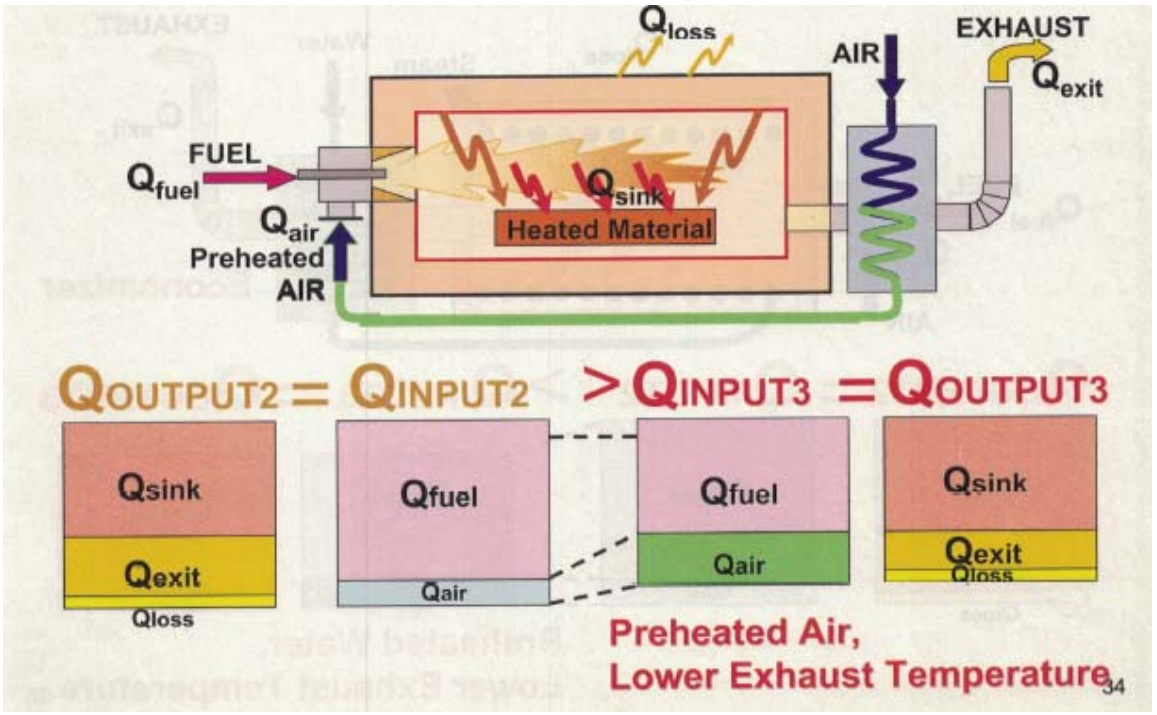
3. Effective Methods for energy Saving

1) Saving for Heat Losses



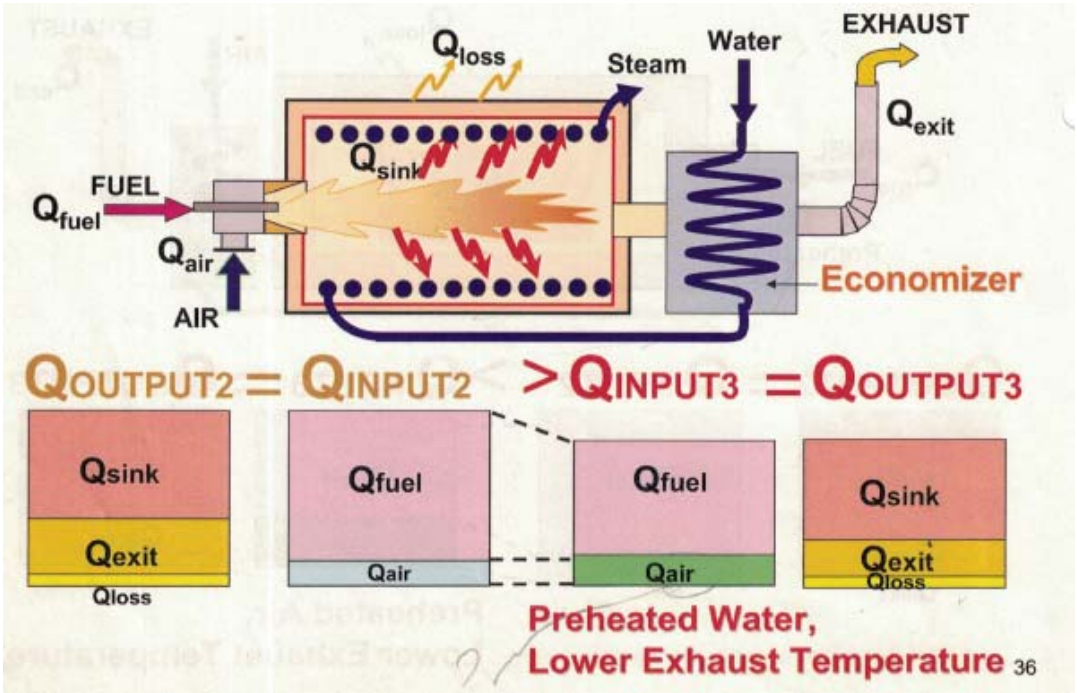
3. Effective Methods for energy Saving

2) Waste Heat Recovery

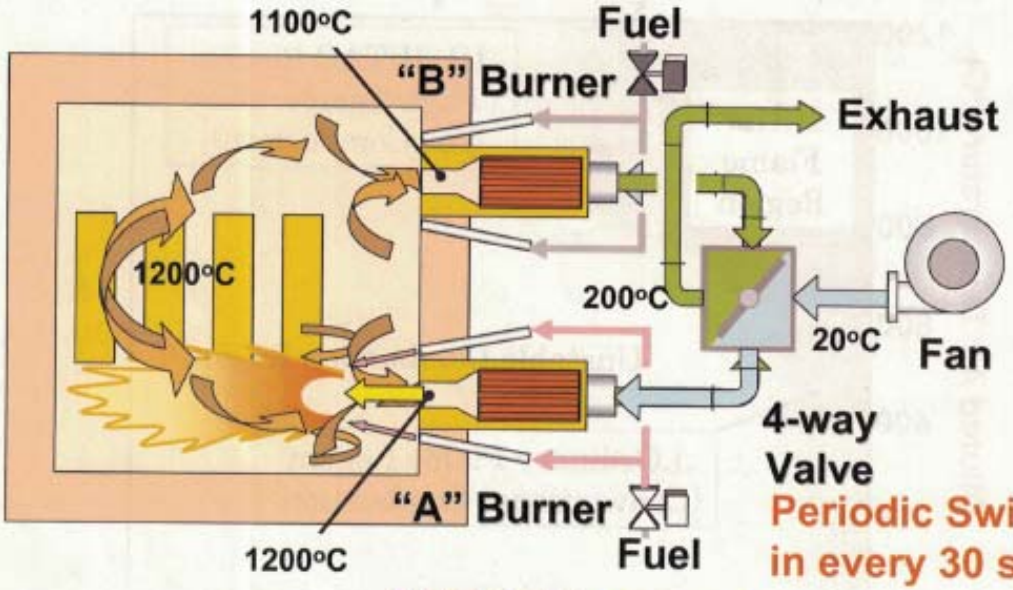


3. Effective Methods for energy Saving

2) Waste Heat Recovery/Boiler



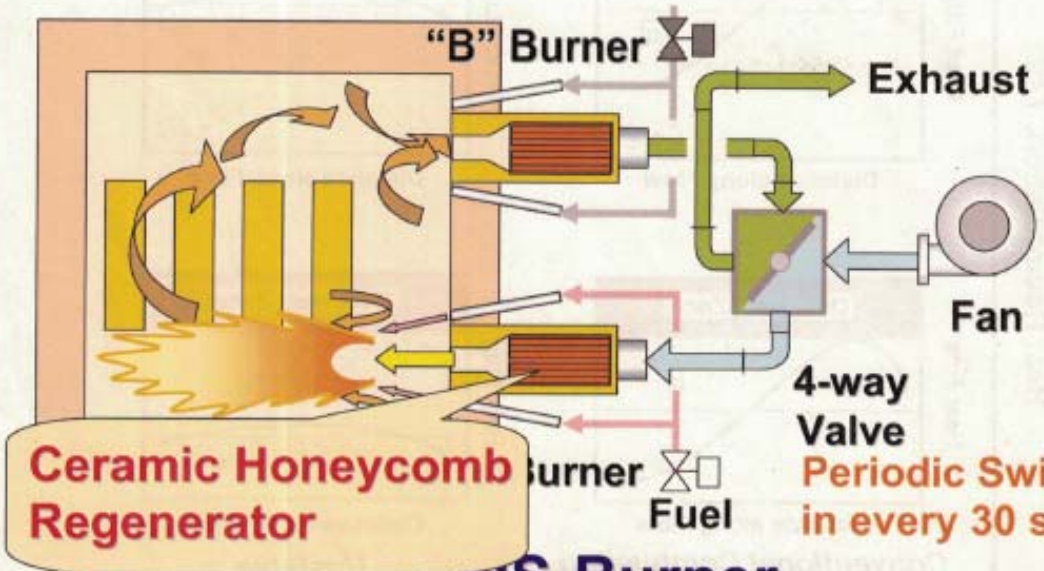
Regenerative Combustion System for HiTAC



HRS-Burner

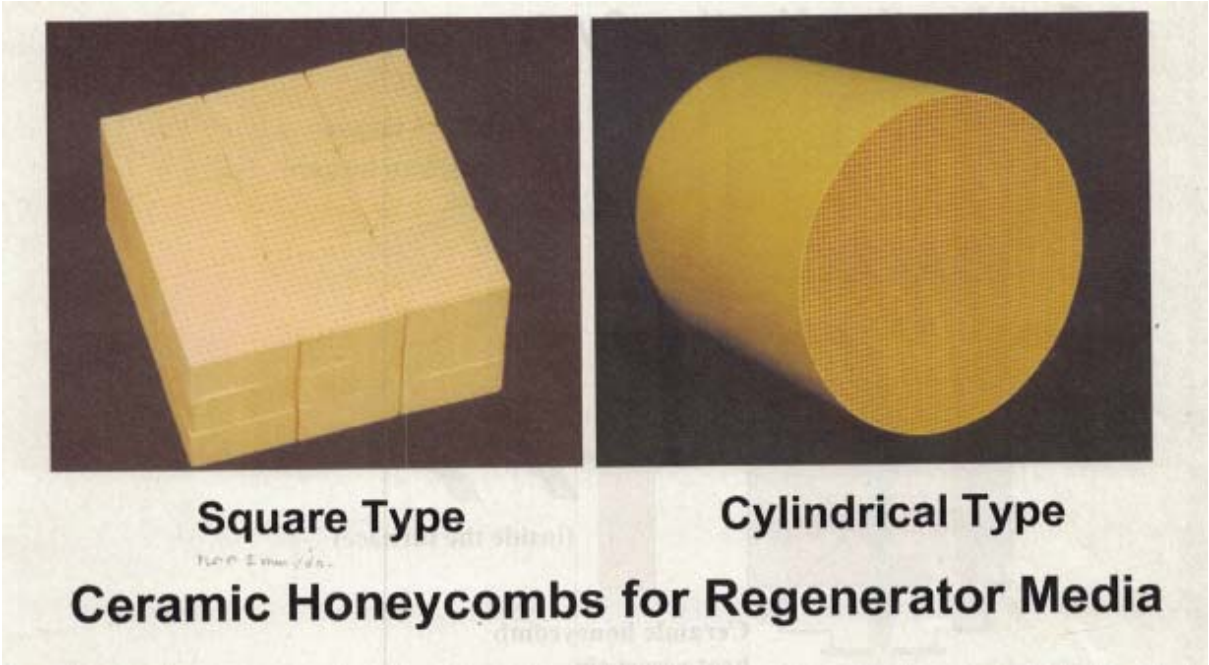
(High-cycle Regenerative combustion System) 47

Regenerative Combustion System for HiTAC



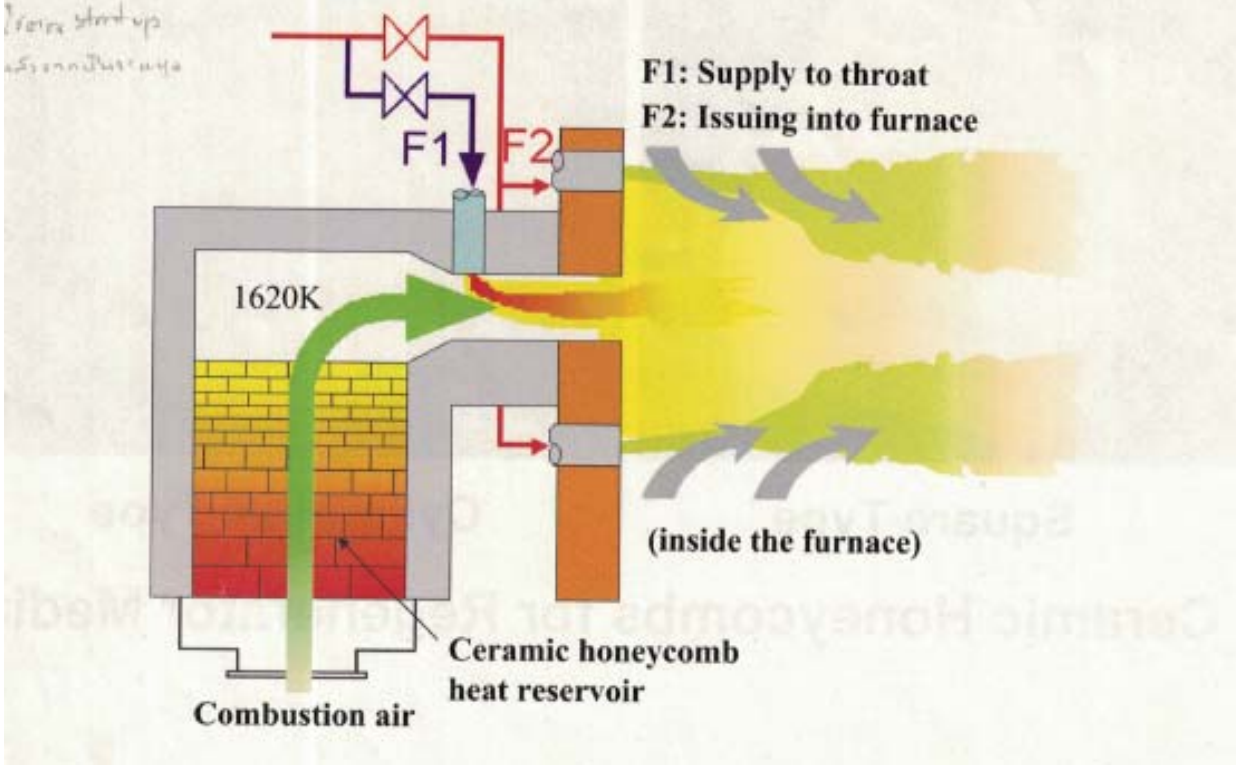
HRS-Burner

(High-cycle Regenerative combustion System) 48



Ceramic Honeycombs for Regenerator Media

Basic Configuration of HiTAC Regenerative Combustion Heating System

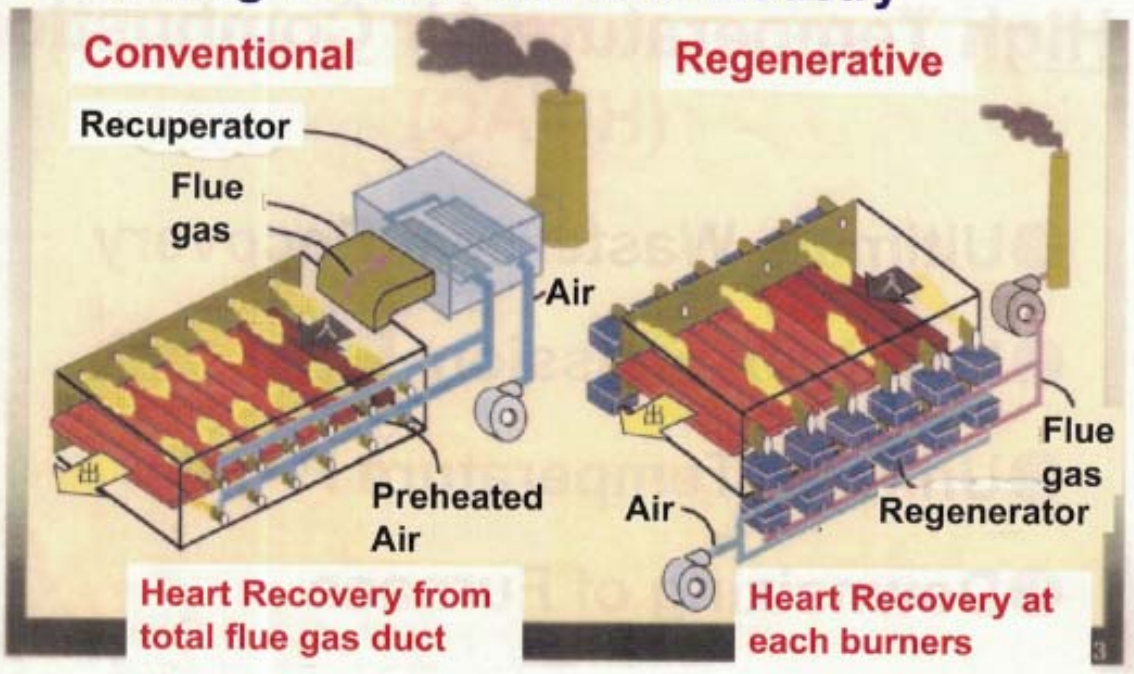


Flame comparison between conventional and HiTAC(Side View)

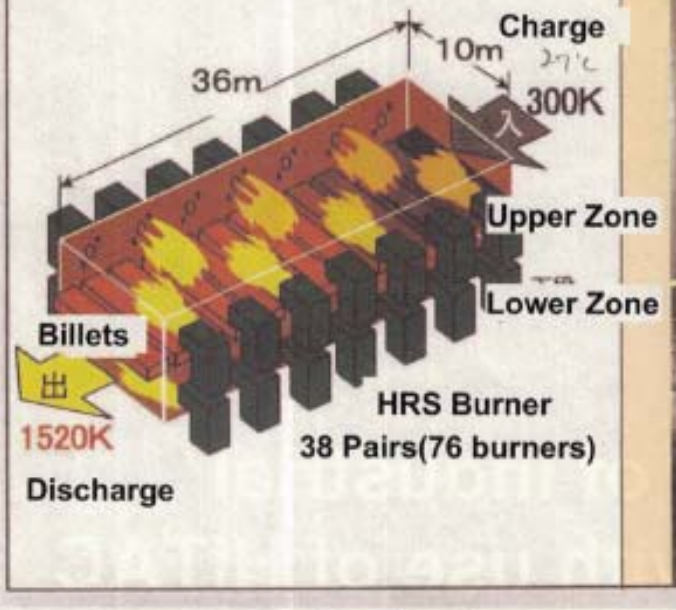
Ordinary Combustion

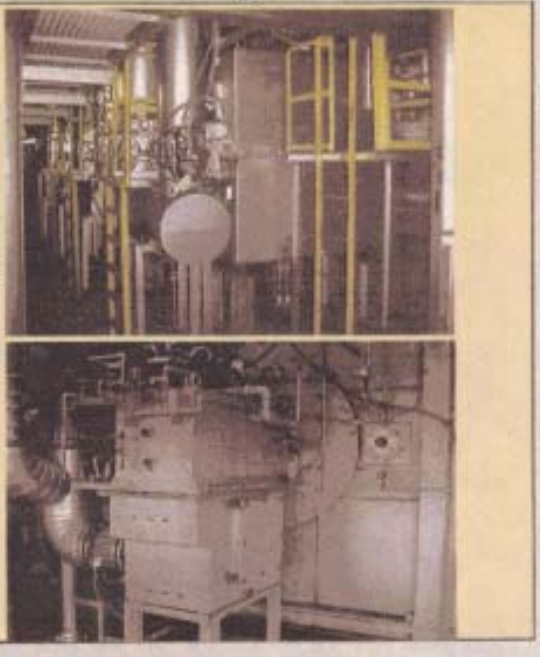
High Temperature Air Combustion

Comparison of Conventional and Regenerative Reheating Furnace for Steel Industry



Regenerative burners Layout





230 t/h W.B.Type Slab Reheating Furnace

Thank You !

ไม่ว่าปริมาณเอ็นธาลปีจะสูญเสียออกไปจากท่อประธานมากหรือน้อยเพียงใด มันก็จะได้รับเอ็นธาลปีต่อเนื่องอีกจากการที่ไอน้ำควบแน่นเป็นน้ำเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ส่วนที่กลายเป็นน้ำก็จะไหลลงสู่เบื้องล่างของท่อ และยังถูกผลักดันให้เคลื่อนไปตามการไหลของไอน้ำ และลงไปตามจุดต่ำ ๆ ทั้งหลายในท่อประธาน

เมื่อมีการเปิดวาวล์เครื่องจักรที่ต้องใช้ไอน้ำ ไอน้ำจากระบบจ่ายก็จะเข้าไปในเครื่องแล้วก็อีกเช่นเคย มันต้องไปกระทบเข้ากับพื้นผิวที่เย็นกว่าตัวมันเอง พอถึงตอนนี้ไอน้ำก็จะคายเอ็นธาลปีของการกลายเป็นไอน้ำของมันแล้วก็ควบแน่นเป็นน้ำ เช่นที่เราได้เห็นมาแล้วในตัวอย่างข้างต้นที่ว่าด้วยภาชนะรับความร้อนจากขดท่อไอน้ำ

ตอนนี้ไอน้ำก็จะพุ่งออกจากหม้อน้ำต่อเนื่องกันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อไม่ให้มีการหยุดชะงักก็จำเป็นจะต้องผลิตไอน้ำเพิ่มเติมไปเรื่อย ๆ ต้องมีการเติมเชื้อเพลิงเข้าไปในเตาสูบน้ำเพิ่มเข้าไปในหม้อน้ำเพื่อทดแทนปริมาณน้ำที่กลายเป็นไอน้ำ

เราทราบอยู่แล้วว่าเอ็นธาลปีจำเพาะของน้ำอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 4.186 kJ/kg ต่อทุก ๆ 1 °C ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ถ้าเราเอาน้ำที่ร้อนอยู่แล้วเติมเข้าไปในหม้อน้ำแทนที่จะเอาน้ำเย็นเติมเข้าไป เอ็นธาลปีของน้ำอิ่มตัวจำนวนหนึ่งก็จะเข้าไปเพิ่มเติมเอ็นธาลปีให้แก่น้ำและช่วยให้มันถึงจุดเดือดได้เร็วขึ้น เป็นที่เห็นได้ชัดเจนว่าสิ่งนี้จะช่วยให้เราสามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำลงได้เป็นจำนวนมาก

คอนเด็นเสทที่ก่อตัวขึ้นในท่อทางที่จ่ายไอน้ำและในเครื่องจักรที่ใช้ไอน้ำย่อมสามารถนำมาย้อนกลับเข้าไปในหม้อน้ำได้ ในฐานะน้ำร้อน ๆ ที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง แม้ว่าจะเป็นเรื่องสำคัญมากที่เราจะต้องระบายคอนเด็นเสทออกจากเนื้อที่ของไอน้ำ แต่มันก็กลายมาเป็นของที่มีคุณค่าอย่างยิ่งจนเราไม่อาจละเลยหรือทิ้งมันไปโดยปราศจากประโยชน์เสียเฉย ๆ เพราะฉะนั้นวงจรไอน้ำจึงน่าจะเป็นไปในแบบครบรอบของมัน ดังเช่นในรูปที่ 9 โดยการนำเอาคอนเด็นเสทกลับเข้ามาสู่ถังน้ำเลี้ยงหม้อน้ำ เราจะพิจารณาถึงวิธีปฏิบัติที่ดีที่สุดในการระบายคอนเด็นเสทและนำมันกลับมาใช้ในอีกสามตอนต่อไปโดยละเอียด

ตารางไอน้ำ (Steam Tables)

เราได้เห็นมาแล้วว่าแรงดันไอน้ำกับอุณหภูมิของการกลายเป็นไอน้ำมีความเกี่ยวข้องซึ่งกันและกันอยู่มาก นั่นคือเอ็นธาลปีของทั้งสามสิ่ง คือ น้ำอิ่มตัว การกลายเป็นไอน้ำ และไอน้ำอิ่มตัวแตกต่างกัน และมีอิทธิพลต่อกันเนื่องจากความดัน และปริมาตรของมันก็เปลี่ยนไปด้วยถ้าความดันเปลี่ยนไปจากเดิม

เป็นเรื่องที่ค่อนข้างโชคดีที่เรามีตารางซึ่งเราสามารถอ้างอิงได้ทันที ซึ่งประกอบด้วยคุณสมบัติของไอน้ำในความดันต่าง ๆ กัน ตารางอ้างอิงนี้เราเรียกว่า "ตารางไอน้ำ" ซึ่งเป็นผลมาจากการทดสอบที่ทำกับไอน้ำมาจริง ๆ

เนื่องจากตัวเลขของเอ็นธาลปีทั้งหมดเกี่ยวข้องกับน้ำซึ่งมีน้ำหนัก 1 กก. (มวล) เราจึงเรียกเอ็นธาลปีเหล่านี้ว่า "เอ็นธาลปีจำเพาะของน้ำอิ่มตัว" "เอ็นธาลปีจำเพาะของการกลายเป็นไอน้ำ" และ "เอ็นธาลปีจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว"

สิ่งที่ปรากฏอยู่ในตารางทั้ง 7 แถว มีดังต่อไปนี้ :

แถวที่ 1 คือความดันไอน้ำเท่าที่ปรากฏอยู่บนเกจ์วัดแบบธรรมดาเป็นหน่วยบาร์ ตัวเลขเริ่มต้นที่ความดันบรรยากาศซึ่งหมายถึง "0" บนเกจ์

แถวที่ 2 คือแรงดันไอน้ำที่บาร์สมบูรณ์ นี่หมายความว่าจุดที่เริ่มต้นคือ 1.013 บาร์ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (หมายเหตุ : ความดันอาจวัดด้วยหน่วยกิโลปาสคาลส์ หรือสัญญลักษณ์ kPa ก็ได้ 1 บาร์ = 100 kPa)

แถวที่ 3 แสดงอุณหภูมิของไอน้ำเป็น °C ในขณะที่ความดันตามที่ปรากฏอยู่ในแถวที่ 1 และ 2 นี่คืออุณหภูมิของน้ำอิ่มตัว (เดือด) ที่มีความดันเท่ากัน

แถวที่ 4 คือเอ็นธาลปีจำเพาะของน้ำอิ่มตัว (h_f) ขณะที่มีความดันตามที่ปรากฏตัวเลขเหล่านี้คือจำนวน kJ ของเอ็นธาลปีของน้ำอิ่มตัวในทุก ๆ 1 กก.ของไอน้ำและยังเป็นจำนวน kJ ของทุก ๆ 1 กก. ของน้ำอิ่มตัวในความดันเท่ากันอีกด้วย

แถวที่ 5 แสดงเอ็นธาลปีจำเพาะของการกลายเป็นไอน้ำ (h_{f_g}) ในความดันต่าง ๆ กัน ตัวเลขเหล่านี้คือจำนวน kJ ของเอ็นธาลปีของการกลายเป็นไอน้ำในทุก ๆ 1 กก.ของไอน้ำ

แถวที่ 6 แสดงเอ็นธาลปีจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว (h_g) ตรงความดันตามที่ปรากฏ ตัวเลขเหล่านี้ คือจำนวนรวมของ kJ ของเอ็นธาลปีของไอน้ำในทุก ๆ 1 กก. ของไอน้ำ ตัวเลขแต่ละหน่วยก็คือจำนวนรวมของตัวเลขของแถวที่ 4 และ 5 (ในความดันแต่ละระดับ) เพราะว่า $h_f + h_{f_g} = h_g$

แถวที่ 7 คือปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (v_g) ในความดันต่าง ๆ กัน นี่คือเนื้อที่ของไอน้ำ 1 กก. เป็นหน่วยลูกบาศก์เมตร (m^3)

ความดันเกจ์ bar	ความดันสมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอ็นธาลปีจำเพาะ			ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (V_g) m^3/kg
			น้ำ (h_f) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h_{f_g}) kJ/kg	ไอน้ำ (h_g) kJ/kg	

ความดันเกจ์ bar	ความดันสมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ 9C	เอ็นธาลปีจำเพาะ น้ำ (h_f) kJ/kg	เอ็นธาลปีจำเพาะ การกลายเป็นไอน้ำ (h_{fg}) kJ/kg	เอ็นธาลปีจำเพาะ ไอน้ำ (h_g) kJ/kg	ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (V_g) m^3/kg
	0.05	32.88	137.82	2423.7	2561.5	28.192
	0.10	45.81	191.83	2392.8	2584.7	14.674
	0.15	53.97	225.94	2373.1	2599.1	10.022
	0.20	60.06	251.40	2358.3	2609.7	7.649
	0.25	64.97	271.93	2346.3	2618.2	6.204
	0.30	69.10	289.23	2336.1	2625.3	5.229
	0.35	72.70	304.30	2327.2	2631.5	4.530
	0.40	75.87	317.58	2319.2	2636.8	3.993
	0.45	78.70	329.67	2312.0	2641.7	3.580
	0.50	81.33	340.49	2305.4	2645.9	3.240
	0.55	83.72	350.54	2299.3	2649.8	2.964
	0.60	85.94	359.86	2293.6	2653.5	2.732
	0.65	88.01	368.54	2288.3	2656.9	2.535
	0.70	89.95	376.70	2283.3	2660.0	2.365
	0.75	91.78	384.39	2278.6	2663.0	2.217
	0.80	93.50	391.66	2274.1	2665.8	2.087
	0.85	95.14	398.57	2269.8	2668.4	1.972
	0.90	96.71	405.15	2265.7	2670.9	1.869
	0.95	98.20	411.43	2261.8	2673.2	1.777
	1.00	99.63	417.46	2258.0	2675.5	1.694
0	1.013	100.00	419.04	2257.0	2676.0	1.673
0.05	1.063	101.40	424.9	2253.3	2678.2	1.601
0.10	1.113	102.66	430.2	2250.2	2680.4	1.533
0.15	1.163	103.87	435.6	2246.7	2682.3	1.471
0.20	1.213	105.10	440.8	2243.4	2684.2	1.414
0.25	1.263	106.26	445.7	2240.3	2686.0	1.361
0.30	1.313	107.39	450.4	2237.2	2687.6	1.312
0.35	1.363	108.50	455.2	2234.1	2689.3	1.268
0.40	1.413	109.55	459.7	2231.3	2691.0	1.225
0.45	1.463	110.58	464.1	2228.4	2692.5	1.186
0.50	1.513	111.61	468.3	2225.6	2693.9	1.149
0.55	1.563	112.60	472.4	2223.1	2695.5	1.115
0.60	1.613	113.56	476.4	2220.4	2696.8	1.083
0.65	1.663	114.51	480.2	2217.9	2698.1	1.051
0.70	1.713	115.40	484.1	2215.4	2699.5	1.024
0.75	1.763	116.28	487.9	2213.0	2700.9	0.997
0.80	1.813	117.14	491.6	2210.5	2702.1	0.971
0.85	1.863	117.96	495.1	2208.3	2703.4	0.946
0.90	1.913	118.80	498.9	2205.6	2704.5	0.923
0.95	1.963	119.63	502.2	2203.5	2705.7	0.901
1.00	2.013	120.42	505.6	2201.1	2706.7	0.881
1.05	2.063	121.21	508.9	2199.1	2708.0	0.860
1.10	2.113	121.96	512.2	2197.0	2709.2	0.841
1.15	2.163	122.73	515.4	2195.0	2710.4	0.823
1.20	2.213	123.46	518.7	2192.8	2711.5	0.806
1.25	2.263	124.18	521.6	2190.7	2712.3	0.788
1.30	2.313	124.90	524.6	2188.7	2713.3	0.773
1.35	2.363	125.59	527.6	2186.7	2714.3	0.757
1.40	2.413	126.28	530.5	2184.8	2715.3	0.743
1.45	2.463	126.96	533.3	2182.9	2716.2	0.728
1.50	2.513	127.62	536.1	2181.0	2717.1	0.714
1.55	2.563	128.26	538.9	2179.1	2718.0	0.701
1.60	2.613	128.89	541.6	2177.3	2718.9	0.689

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

ความดันเกจ์ bar	ความดันสมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอ็นธาลปีจำเพาะ			ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (V_g) m^3/kg
			น้ำ (h_f) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h_{fg}) kJ/kg	ไอน้ำ (h_g) kJ/kg	
5.60	6.613	162.68	687.2	2073.8	2761.0	0.288
5.70	6.713	163.27	689.8	2071.8	2761.6	0.284
5.80	6.813	163.86	692.4	2069.9	2762.3	0.280
5.90	6.913	164.46	695.0	2067.9	2762.9	0.276
6.00	7.013	165.04	697.5	2066.0	2763.5	0.272
6.10	7.113	165.60	700.0	2064.1	2764.1	0.269
6.20	7.213	166.16	702.5	2062.3	2764.8	0.265
6.30	7.313	166.73	705.0	2060.4	2765.4	0.261
6.40	7.413	167.29	707.4	2058.6	2766.0	0.258
6.50	7.513	167.83	709.7	2056.8	2766.5	0.255
6.60	7.613	168.38	712.1	2055.0	2767.1	0.252
6.70	7.713	168.89	714.5	2053.1	2767.6	0.249
6.80	7.813	169.43	716.8	2051.3	2768.1	0.246
6.90	7.913	169.95	719.1	2049.5	2768.6	0.243
7.00	8.013	170.50	721.4	2047.7	2769.1	0.240
7.10	8.113	171.02	723.6	2046.1	2769.7	0.237
7.20	8.213	171.53	725.9	2044.3	2770.2	0.235
7.30	8.313	172.03	728.1	2042.6	2770.7	0.232
7.40	8.413	172.53	730.4	2040.8	2771.2	0.229
7.50	8.513	173.02	732.5	2039.2	2771.7	0.227
7.60	8.613	173.50	734.7	2037.5	2772.2	0.224
7.70	8.713	174.00	736.8	2035.9	2772.7	0.222
7.80	8.813	174.46	738.9	2034.2	2773.1	0.219
7.90	8.913	174.93	741.0	2032.6	2773.6	0.217
8.00	9.013	175.43	743.1	2030.9	2774.0	0.215
8.10	9.113	175.88	745.2	2029.3	2774.5	0.212
8.20	9.213	176.37	747.2	2027.6	2774.8	0.210
8.30	9.313	176.83	749.3	2026.1	2775.4	0.208
8.40	9.413	177.27	751.3	2024.5	2775.8	0.206
8.50	9.513	177.75	753.3	2022.9	2776.2	0.204
8.60	9.613	178.20	755.3	2021.3	2776.6	0.202
8.70	9.713	178.64	757.2	2019.7	2776.9	0.200
8.80	9.813	179.08	759.2	2018.2	2777.4	0.198
8.90	9.913	179.53	761.1	2016.6	2777.7	0.196
9.00	10.013	179.97	763.0	2015.1	2778.1	0.194
9.10	10.113	180.41	765.0	2013.5	2778.5	0.192
9.20	10.213	180.83	766.9	2012.0	2778.9	0.191
9.30	10.313	181.26	768.7	2010.5	2779.2	0.189
9.40	10.413	181.68	770.6	2009.0	2779.6	0.187
9.50	10.513	182.10	772.5	2007.5	2780.0	0.185
9.60	10.613	182.51	774.4	2006.0	2780.4	0.184
9.70	10.713	182.91	776.2	2004.5	2780.7	0.182
9.80	10.813	183.31	778.0	2003.1	2781.1	0.181
9.90	10.913	183.72	779.8	2001.6	2781.4	0.179
10.00	11.013	184.13	781.6	2000.1	2781.7	0.177
10.20	11.213	184.92	785.1	1997.3	2782.4	0.174
10.40	11.413	185.68	788.6	1994.4	2783.0	0.172
10.60	11.613	186.49	792.1	1991.6	2783.7	0.169
10.80	11.813	187.25	795.5	1988.8	2784.3	0.166
11.00	12.013	188.02	798.8	1986.0	2784.8	0.163
11.20	12.213	188.78	802.3	1983.2	2785.5	0.161
11.40	12.413	189.52	805.5	1980.5	2786.0	0.158
11.60	12.613	190.24	808.8	1977.8	2786.6	0.156

ความดันเกจ์ bar	ความดันสมบูรณ์ bar	อุณหภูมิ °C	เอ็นธาลปีจำเพาะ			ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (V_g) m^3/kg
			น้ำ (h_f) kJ/kg	การกลายเป็นไอน้ำ (h_{fg}) kJ/kg	ไอน้ำ (h_g) kJ/kg	
11.80	12.813	190.97	812.0	1975.1	2787.1	0.153
12.00	13.013	191.68	815.1	1972.5	2787.6	0.151
12.20	13.213	192.38	818.3	1969.9	2788.2	0.149
12.40	13.413	193.08	821.4	1967.2	2788.6	0.147
12.60	13.613	193.77	824.5	1964.6	2789.1	0.145
12.80	13.813	194.43	827.5	1962.1	2789.6	0.143
13.00	14.013	195.10	830.4	1959.6	2790.0	0.141
13.20	14.213	195.77	833.4	1957.1	2790.5	0.139
13.40	14.413	196.43	836.4	1954.5	2790.9	0.137
13.60	14.613	197.08	839.3	1952.0	2791.3	0.135
13.80	14.813	197.72	842.2	1949.6	2791.8	0.133
14.00	15.013	198.35	845.1	1947.1	2792.2	0.132
14.20	15.213	198.98	848.0	1944.6	2792.6	0.130
14.40	15.413	199.61	850.7	1942.3	2793.0	0.128
14.60	15.613	200.23	853.5	1939.8	2793.3	0.127
14.80	15.813	200.84	856.3	1937.4	2793.7	0.125
15.00	16.013	201.45	859.0	1935.0	2794.0	0.124
15.20	16.213	202.04	861.7	1932.7	2794.4	0.122
15.40	16.413	202.62	864.4	1930.4	2794.8	0.121
15.60	16.613	203.21	867.1	1928.0	2795.1	0.119
15.80	16.813	203.79	869.7	1925.7	2795.4	0.118
16.00	17.013	204.38	872.3	1923.4	2795.7	0.117
16.20	17.213	204.94	874.9	1921.2	2796.1	0.115
16.40	17.413	205.49	877.5	1918.9	2796.4	0.114
16.60	17.613	206.05	880.0	1916.7	2796.7	0.113
16.80	17.813	206.61	882.5	1914.4	2796.9	0.111
17.00	18.013	207.17	885.0	1912.1	2797.1	0.110
17.20	18.213	207.75	887.5	1909.9	2797.4	0.109
17.40	18.413	208.30	889.9	1907.7	2797.6	0.108
17.60	18.613	208.84	892.4	1905.5	2797.9	0.107
17.80	18.813	209.37	894.8	1903.4	2798.2	0.106
18.00	19.013	209.90	897.2	1901.3	2708.5	0.105
18.20	19.213	210.43	899.6	1899.1	2798.7	0.104
18.40	19.413	210.96	902.0	1896.9	2798.9	0.103
18.60	19.613	211.47	904.3	1894.8	2799.1	0.102
18.80	19.813	211.98	906.7	1892.6	2799.3	0.101
19.00	20.013	212.47	909.0	1890.5	2799.5	0.100
19.20	20.213	212.98	911.3	1888.4	2799.7	0.0986
19.40	20.413	213.49	913.6	1886.3	2799.9	0.0976
19.60	20.613	213.99	915.8	1884.3	2800.1	0.0967
19.80	20.813	214.48	918.1	1882.2	2800.3	0.0958
20.00	21.013	214.96	920.3	1880.2	2800.5	0.0949
20.50	21.513	216.15	925.8	1875.1	2800.9	0.0927
21.00	22.013	217.35	931.3	1870.1	2801.4	0.0906
21.50	22.513	218.53	936.6	1865.1	2801.7	0.0887
22.00	23.013	219.65	941.9	1860.1	2802.0	0 0868
22.50	23.513	220.76	947.1	1855.3	2802.4	0.0849
23.00	24.013	221.85	952.2	1850.4	2802.6	0.0832
23.50	24.513	222.94	957.3	1845.6	2802.9	0.0815
24.00	25.013	224.02	962.2	1840.9	2803.1	0.0797
24.50	25.513	225.08	967.2	1836.1	2803.3	0.0783
25.00	26.013	226.12	972.1	1831.4	2803.5	0.0768
26.00	27.013	228.15	981.6	1822.2	2803.8	0.0740

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