

การพัฒนาแนวทางการตรวจประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำในระดับอุตสาหกรรม

Development on the boiler efficiency evaluation

โดย

นาย ธิติวัฒน์ชัย

ช่วงเมืองปัก

นาย พีรวิชญ์

สุทธาพัฒน์ธานนท์

นาย อติชาติ

ศิริกันไชย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตน์กุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การพัฒนาแนวทางการตรวจประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำในระดับอุตสาหกรรม



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DEVELOPMENT ON THE BOILER EFFICIENCY EVALUATION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN RAIL TRANSPORTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

สาขาวิชาขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาแนวทางการตรวจประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำในระดับอุตสาหกรรม

Development on the boiler efficiency evaluation

ผู้จัดทำ

1. นาย ธิติวัฒน์ชัย ช่างเมืองปัก รหัสประจำตัว 60010470
2. นาย พีรวิชญ์ สุทธาพัฒน์ธานนท์ รหัสประจำตัว 60010736
3. นาย อติชาติ ศิริกันไชย รหัสประจำตัว 60011131

กนกนภ บุ ลภีรัตนากุล.

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนากุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การพัฒนาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

นาย ธิติวัฒน์ชัย	ช่วงเมืองปัก	60010470
นาย พีรวิชัย	สุทธาพัฒน์ธานนท์	60010736
นาย อติชาติ	ศิริกันไชย	60011131
ผศ.ดร. ภรณ์เพ็ญ	ลภีรัตน์ากุล	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำมีเหตุอันเนื่องมาจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งมีการใช้หม้อไอน้ำเป็นส่วนหนึ่งในการผลิต แต่ไม่ได้มีการตรวจวัดประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำอย่างเหมาะสม จึงเป็นเหตุให้ทำการวิจัยนี้ขึ้นมา ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำนั้นคำนวณจากเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไปและพลังงานไอน้ำที่ได้ออกมา วิธีนี้เป็นการหาประสิทธิภาพทางตรง (Direct method) แต่เนื่องมาจากการหาประสิทธิภาพทางตรงนั้นไม่สามารถระบุได้ว่าการสูญเสียที่จุดใดทำให้หาสาเหตุของการสูญเสียไม่ได้ จึงต้องใช้การคำนวณหาประสิทธิภาพทางอ้อม (Indirect method) ซึ่งสามารถระบุได้ว่าการสูญเสียพลังงานนั้นเกิดที่จุดใดนำไปสู่การระบุสาเหตุและหาวิธีการแก้ไขได้ โดยการคำนวณหาประสิทธิภาพทางอ้อม ในการวิจัยนี้นั้นอ้างอิงจากมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (JIS) เป็นมาตรฐานที่ได้รับความยอมรับในสากล การวิจัยในครั้งนี้ได้มีการสร้างโปรแกรมเพื่อเป็นตัววัดประสิทธิภาพโดยนำวารสารวิชาการของนักวิจัยประเทศอินเดียมาเป็นตัวอ้างอิงและตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมในเบื้องต้น อีกทั้งยังได้นำโปรแกรมนี้ไปทำการตรวจวัดประสิทธิภาพที่โรงงานอุตสาหกรรมด้วย เมื่อตรวจวัดประสิทธิภาพเสร็จแล้วจะมีการให้คำแนะนำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำให้กับผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมนั้น

คำหลัก: หม้อไอน้ำ , มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (JIS) , การคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ , การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Development of boiler efficiency

Mr. Titiwatchai Choungmuangpak 60010470

Mr. Peerawich Suttapattanon 60010736

Mr. Atichart Sirikunchai 60011131

Asst.Prof.Dr. Ponepen Laphirattanakul Advisor

Year 2020

ABSTRACT

This research aims to study the evaluation on industrial boiler efficiency. It is because of a lot of using boiler in factory production lines having in appropriated measurement and evaluation about this issue. The direct method is defined by calculate input fuel and steam energy output. The direct method cannot specify the cause of losses. However, the indirect method can specify a point of losses so that leads to find a solution for loss reduction. The indirect method applied in this research is Japanese Industrial Standards (JIS). Which is accepted by international institutes. This research we created program for using boiler efficiency calculation and this program was confirmed by international publication journal. This program will be later use for measuring boiler efficiency in factory. After that, related suggestions will be provided to increase the boiler efficiency.

Key words: Boiler, Japanese Industrial Standard (JIS), Boiler efficiency calculation, Development of boiler efficiency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเนื่องด้วยความมุ่งมั่นของสมาชิกในคณะผู้วิจัยที่ช่วยกันพากเพียรอย่างหนักหน่วงและความเสียสละสามัคคีเพื่อทำให้เกิดความสำเร็จในครั้งนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนากุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสและสละเวลาเพื่อถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ แนวคิด และคำปรึกษา แก่คณะผู้วิจัย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณทางครอบครัวที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้คณะผู้วิจัยอยู่เสมอ จนคณะผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้



นาย ธิติวัฒน์ชัย

ช่วงเมืองปัก

นาย พีรวิษณุ

สุทธาพัฒน์ธานนท์

นาย อติชาติ

ศิริกันไชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2.1 ทฤษฎีการเกิดไอน้ำ	4
2.2.2 ระบบไอน้ำ	7
2.2.3 หม้อไอน้ำ	8
2.2.3.1 ประเภทของหม้อไอน้ำ	8
2.2.3.2 หัวเผาหม้อไอน้ำ	9
2.2.4 ระบบน้ำป้อน	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.4.1	น้ำป้อน	10
2.2.4.2	อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำ	11
2.2.5	ระบบส่งจ่ายไอน้ำ	15
2.2.6	ระบบนำความร้อนกลับ	17
2.2.6.1	คอนเดนเสท	17
2.2.6.2	ไอน้ำแฟรช	18
2.2.7	ระบบประหยัดพลังงาน	18
2.2.8	อุปกรณ์ใช้ไอน้ำ	19
2.2.9	กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	20
2.2.9.1	หม้อไอน้ำ	20
2.2.9.2	ภาชนะรับแรงดัน	21
2.2.10	เชื้อเพลิง	21
2.2.10.1	ค่าความร้อน	22
2.2.10.2	ถ่านหิน	22
2.2.11	ทฤษฎีการประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	23
2.2.11.1	วิธีที่ใช้ในการคำนวณ	23
2.2.11.2	เกณฑ์มาตรฐานในการตรวจประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	23
2.2.11.3	มาตรฐาน Japanese Industrial Standards, JIS B8222:1993	25
2.2.11.4	ข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน	26
2.2.11.5	การประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำด้วยวิธีความสูญเสีย	27
2.2.12	ทฤษฎีการเผาไหม้	31
2.2.12.1	สมการการเผาไหม้ทางทฤษฎี	31

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.2.13 ก๊าซไอเสีย การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 32 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.14	เขม่าและตะกรัน	33
2.2.15	ซีเถ้า	34
2.2.16	การระบายไอน้ำจากหม้อไอน้ำ	35
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการตรวจวัด	39
3.1	อุปกรณ์ตรวจวัด	39
3.2	เกณฑ์การกำหนดความคลาดเคลื่อน	43
3.3	ขั้นตอนการตรวจวัดและแผนการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	45
บทที่ 4	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	46
4.1	อุปกรณ์ในโรงงาน	46
4.2	การตรวจวัด	53
บทที่ 5	ผลการตรวจวัดและผลการคำนวณ	62
5.1	ผลการคำนวณประสิทธิภาพเพื่อยืนยันความถูกต้องของ Microsoft Excel Program	62
5.2	ผลการตรวจวัดโรงงาน	63
5.3	ผลการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำของโรงงาน	75
5.4	แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพ	76
บทที่ 6	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	78
6.1	สรุปผลการทดลอง	78
6.2	ข้อเสนอแนะ	79
บรรณานุกรม		80
ภาคผนวก		81
ภาคผนวก ก		82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนสถานะของน้ำ	5
รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ T-v	5
รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ P-v	6
รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ P-T	7
รูปที่ 2.5 แผนภาพระบบไอน้ำ	7
รูปที่ 2.6 (1) หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ	8
รูปที่ 2.6 (2) หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ	8
รูปที่ 2.6 (3) หม้อไอน้ำชนิดผสม	9
รูปที่ 2.7 (ก) ลักษณะหัวเผา Pre-mix burner	9
รูปที่ 2.7 (ข) ลักษณะหัวเผา Nozzle-mix burner	9
รูปที่ 2.8 (ก) ลักษณะของหัวเผาน้ำมัน Pressure atomized	10
รูปที่ 2.8 (ข) ลักษณะของหัวเผาน้ำมัน Air & Steam atomized	10
รูปที่ 2.8 (ค) ลักษณะของหัวเผาน้ำมัน Rotary cup atomized	10
รูปที่ 2.9 ถังทราย	11
รูปที่ 2.10 ถังกรองน้ำอ่อน	12
รูปที่ 2.11 ถังกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนไอออน	12
รูปที่ 2.12 ถังกรองน้ำแบบดีอัลคาไลน์	12
รูปที่ 2.13 ถังกรองน้ำแบบรีเวิร์สออสโมซิสต์	13
รูปที่ 2.14 (ก) ถังไล่อากาศแบบถาด	13
รูปที่ 2.14 (ข) ถังไล่อากาศแบบพ่น	13
รูปที่ 2.15 ระบบเติมสารเคมี	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 รูปที่ 2.16 ถังพักน้ำ 14
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.17	มาตรวัดปริมาณน้ำ	14
รูปที่ 2.18	เครื่องสูบน้ำ	15
รูปที่ 2.19	เกจวัดความดันน้ำ	15
รูปที่ 2.20	วาล์วจ่ายไอน้ำ	16
รูปที่ 2.21	ท่อจ่ายไอน้ำ	16
รูปที่ 2.22	ท่อพักไอน้ำ	17
รูปที่ 2.23	กักตักไอน้ำ	17
รูปที่ 2.24	ปั๊มน้ำ	18
รูปที่ 2.25	ถังแพนช์	18
รูปที่ 2.26	เครื่องอุ่นลม	19
รูปที่ 2.27	เครื่องอุ่นไอน้ำ	19
รูปที่ 2.28	ถ่านหินประเภทซบิพูมินัส	22
รูปที่ 2.29	แสดงขอบเขตการทำสมดุลพลังงานความร้อนในหม้อไอน้ำกรอบสี่เหลี่ยม	26
รูปที่ 2.30	หลักการเบื้องต้นของกระบวนการเผาไหม้	31
รูปที่ 2.31	เขม่าในหม้อไอน้ำ	33
รูปที่ 2.32	ตะกรันในหม้อไอน้ำ	33
รูปที่ 2.33 (ก)	ซี้ไถ่้าหนัก	34
รูปที่ 2.33 (ข)	ซี้ไถ่้าลอย	34
รูปที่ 2.34	Fault Tree Analysis (FTA)	36
รูปที่ 2.35	แสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพ	37
รูปที่ 3.1	Flue gas analyzer Testo 330-2LL	39
รูปที่ 3.2	Hygrometer Testo 625	40
รูปที่ 3.3	Infrared imaging thermal camera Testo 882	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.4 Ultrasonic tester Micronics portaflo 216	41
รูปที่ 3.5 Conductivity (EC) meter EC22 Laquatwin	42
รูปที่ 3.6 pH meter	43
รูปที่ 4.1 รูปโครงสร้างระบบหม้อไอน้ำ	46
รูปที่ 4.2 หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ	47
รูปที่ 4.3 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ	47
รูปที่ 4.4 โครงสร้างระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ	48
รูปที่ 4.5 ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ(ถังทราย,ถังเรซิน,ถังน้ำเกลือ จากซ้ายไปขวา)	48
รูปที่ 4.6 ถังเก็บน้ำป้อน	49
รูปที่ 4.7 ระบบเก็บขี้เถ้าหนัก	49
รูปที่ 4.8 wet scrubber	50
รูปที่ 4.9 ระบบน้ำป้อน	50
รูปที่ 4.10 Blowdown	51
รูปที่ 4.11 แหล่งเก็บถ่านหิน	51
รูปที่ 4.12 สายพาน	52
รูปที่ 4.13 มอเตอร์ขับเคลื่อนเข้าสู่หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ	52
รูปที่ 4.14 ห้องเก็บเชื้อเพลิงและรางลำเลียง	53
รูปที่ 4.15 Log Sheet บันทึกการเดินเครื่องของหม้อไอน้ำ	53
รูปที่ 4.16 ใบผลการตรวจวัดองค์ประกอบเชื้อเพลิงแบบ Proximate Analysis	54
รูปที่ 4.17 จุดวัดความดันไอน้ำ เกจความดัน(Pressure Gauge)	54
รูปที่ 4.18 จุดวัดอัตราการไหลน้ำป้อน มิเตอร์วัดน้ำ(Water meter)	55
รูปที่ 4.19 เครื่องวัดความนำไฟฟ้า (Compact Conductivity Meter)	56
รูปที่ 4.20 เครื่องวัดระดับความเป็นกรดและด่างในน้ำ (pH meter)	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.21 ตัวอย่างการตรวจวัดสำหรับเครื่องวัดความนำไฟฟ้า	56
รูปที่ 4.22 ตัวอย่างการตรวจวัดสำหรับเครื่องวัดระดับความเป็นกรดและด่างในน้ำ	57
รูปที่ 4.23 ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซไอเสีย	58
รูปที่ 4.24 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Testo 330-2LL) พร้อมกับสายโพรบ (Probe)	58
รูปที่ 4.25 โปรแกรมอ่านค่าตรวจวัด Testo easyheat Software	58
รูปที่ 4.26 ซี้ฝ้าตากแห้งในถุงซิปล็อค	59
รูปที่ 4.27 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบพกพา (Thermohygrometer)	59
รูปที่ 4.28 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)	60
รูปที่ 4.29 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imager)	60
รูปที่ 4.30 ตัวอย่างภาพความร้อนของผนังหม้อน้ำ	61
รูปที่ 4.31 โปรแกรม IRSoft thermography analysis software	61
รูปที่ 4.32 โปรแกรม 3E plus	61
รูปที่ 5.1 รายการบันทึก (Log sheet)	64
รูปที่ 5.2 แสดงการวิเคราะห์ผลการตรวจวัดก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำ	66
รูปที่ 5.3 แสดงการวัดค่า pH, Conductivity, TDS ของน้ำดิบ	67
รูปที่ 5.4 แสดงการวัดค่า pH, Conductivity, TDS ของน้ำอ่อน	67
รูปที่ 5.5 แสดงการวัดค่า pH, Conductivity, TDS ของน้ำโบลว์ดาวน์	67
รูปที่ 5.6 อุณหภูมิผนังด้านหน้าของหม้อไอน้ำส่วนท่อน้ำ	69
รูปที่ 5.7 อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำส่วนท่อน้ำ	69
รูปที่ 5.8 อุณหภูมิผนังด้านขวาของหม้อไอน้ำส่วนท่อน้ำ	69
รูปที่ 5.9 อุณหภูมิผนังด้านซ้ายของหม้อไอน้ำส่วนท่อน้ำ	70
รูปที่ 5.10 อุณหภูมิผนังด้านหลังของหม้อไอน้ำส่วนท่อน้ำ	70
รูปที่ 5.11 อุณหภูมิผนังด้านขวาของหม้อไอน้ำส่วนท่อไฟ	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5.12 อุณหภูมิผนังประตูของหม้อไอน้ำส่วนท่อไฟ	71
รูปที่ 5.13 อุณหภูมิผนังด้านหลังของหม้อไอน้ำส่วนท่อไฟ	71
รูปที่ 5.14 อุณหภูมิผนังด้านซ้ายของหม้อไอน้ำส่วนท่อไฟ	71
รูปที่ 5.15 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังห้องเผาไหม้ด้วยโปรแกรม 3E-Plus	72
รูปที่ 5.16 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านหน้าส่วนท่อน้ำด้วยโปรแกรม 3E-Plus	72
รูปที่ 5.17 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านข้างส่วนท่อน้ำด้วยโปรแกรม 3E-Plus	72
รูปที่ 5.18 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านหลังส่วนท่อน้ำด้วยโปรแกรม 3E-Plus	73
รูปที่ 5.19 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านหน้าส่วนท่อไฟด้วยโปรแกรม 3E-Plus	73
รูปที่ 5.20 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านข้างส่วนท่อไฟด้วยโปรแกรม 3E-Plus	73
รูปที่ 5.21 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านหลังส่วนท่อไฟด้วยโปรแกรม 3E-Plus	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของน้ำป้อนสำหรับหม้อไอน้ำ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2549	11
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของถ่านหินประเภทซบิบูมินัส	22
ตารางที่ 2.3 เกณฑ์มาตรฐานและเงื่อนไขในการตรวจประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	24
ตารางที่ 2.4 ผลการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	38
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำจากงานวิจัยของ IJSRD	62
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการคำนวณโดยใช้ Microsoft Excel Program ที่ได้จัดทำขึ้น	62
ตารางที่ 5.3 แสดงผลความคลาดเคลื่อน	63
ตารางที่ 5.4 แสดงองค์ประกอบเชื้อเพลิง	64
ตารางที่ 5.5 แสดงความดันของอุปกรณ์ใช้น้ำ	64
ตารางที่ 5.6 แสดงผลตรวจวัดก๊าซไอเสีย	65
ตารางที่ 5.7 แสดงผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ	68
ตารางที่ 5.8 แสดงค่าวิเคราะห์น้ำบอว์ตาว์	68
ตารางที่ 5.9 แสดงผลการตรวจวัดอุณหภูมิผนังหม้อไอน้ำ	72
ตารางที่ 5.10 แสดงค่าการตรวจวัดและวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนทางผิวหม้อไอน้ำ	74
ตารางที่ 5.11 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ค่าความร้อนทางสูง	75
ตารางที่ 5.12 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ค่าความร้อนทางต่ำ	75
ตารางที่ 5.13 แสดงค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีทางอ้อม	76
ตารางที่ 5.14 แสดงการคำนวณในกรณีปรับปรุงเพื่อเพิ่มศักยภาพหม้อไอน้ำ	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สถานการณ์พลังงานในประเทศไทยอ้างอิงจากผลสรุปการใช้พลังงานช่วงเดือนมกราคม-กรกฎาคมของปี พุทธศักราช 2563 มีแนวโน้มที่ลดลงเป็นร้อยละ 10.6 เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันในปีที่ผ่านมา โดยมีการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมเป็นร้อยละ 38.4 ของสัดส่วนการใช้พลังงานทั้งหมดในแต่ละภาคเศรษฐกิจ โดยจำแนกได้เป็น มีการใช้ไฟฟ้า น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ พลังงานหมุนเวียน มีแนวโน้มที่ลดลง ในทางกลับกัน มีการใช้ ถ่านหินและลิกไนต์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น นั้นหมายความว่า ถ่านหินและลิกไนต์มีความจำเป็นมากขึ้นในภาคเศรษฐกิจ ในความต้องการที่มากขึ้น อาจทำให้พลังงานจำพวกเชื้อเพลิงฟอสซิลมีแนวโน้มราคาต่อหน่วยพลังงานเพิ่มสูงขึ้นตามกลไกตลาด จึงจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรพลังงานนี้อย่างคุ้มค่า การจะดึงประโยชน์จากพลังงานออกมาให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ประกอบด้วยหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็น การจัดการบริหาร ประสิทธิภาพเครื่องจักร การหมุนเวียนพลังงานกลับมาใช้ใหม่ ด้วยทั้งหมดที่กล่าวมานี้ เป็นตัวช่วยในการลดต้นทุนการผลิต

ณ ที่นี้จะกล่าวถึง การใช้งานหม้อไอน้ำ (Boiler) ซึ่งเป็นเครื่องจักรสำคัญในโรงงานอุตสาหกรรมในการผลิตความร้อนเพื่อส่งไปใช้ในกระบวนการผลิตในรูปแบบของไอน้ำ เช่นการใช้ ไอน้ำจากหม้อไอน้ำ ในการเดินเครื่องจักรในโรงไฟฟ้า การปรุงสุกในอุตสาหกรรมอาหาร และอื่นๆ ซึ่งถ้าหากการจัดการที่ไม่ดี จะสูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็นในจำนวนมาก เช่นการสูญเสียความร้อนจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง การสูญเสียความร้อนจากแก๊สไอเสีย ในการรับมือกับปัญหานี้ จำเป็นต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ ซึ่งทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น การบริหารจัดการการใช้ไอน้ำ การเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสม การติดตั้งอุปกรณ์เสริมให้เหมาะสมกับการทำงาน การตรวจสอบอย่างต่อเนื่องเพื่อดูแนวโน้มการทำงาน และการบำรุงรักษาซ่อมแซมอยู่เสมอ ซึ่งสามารถชีวิตโดยการคำนวณค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

โดยการตรวจวัดเก็บข้อมูลจากโรงงาน นำข้อมูลที่ได้มาเข้าซอฟต์แวร์ที่เขียนขึ้นโดยอ้างอิงมาตรฐานการตรวจประเมินสากล และวิเคราะห์ข้อมูลออกมาเป็นเชิงตัวเลข ซึ่งคาดว่า การคำนวณประสิทธิภาพนี้ สามารถบ่งชี้ปัญหาที่มีอยู่ได้ชัดเจน ทำให้แก้ปัญหาได้ถูกจุด และสามารถวางแผนแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต โดยงานวิจัยนี้กล่าวถึงการเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งใช้องค์ความรู้ที่ค้นคว้าเข้าประกอบกับการตัดสินใจ และแก้ปัญหา ใช้ซอฟต์แวร์ที่เขียนขึ้นเพื่อคำนวณประสิทธิภาพและหาวิธีพร้อมกับการหาวางแผนในการพัฒนาประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนโดยใช้มาตรฐาน JIS B8222
- 1.2.2 เพื่อสร้างโปรแกรมการคำนวณประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel
- 1.2.3 เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพทางความร้อน และเสนอแนวทางการแก้ไข

1.3 สมมติฐาน

1.3.1 การใช้มาตรฐาน JIS B8222 มีความเหมาะสมต่อการประเมินประสิทธิภาพหม้อน้ำในประเทศไทย เนื่องจากมีขั้นตอนการตรวจวัดที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไป

1.3.2 การตรวจวัดประสิทธิภาพทางอ้อมช่วยให้ทราบถึงสาเหตุการสูญเสียพลังงานในหม้อไอน้ำ

1.3.3 การปรับใช้มาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำจะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้มากขึ้น

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ใช้งานวิจัยกับหม้อต้มไอน้ำของโรงงานในประเทศไทย

1.4.2 รวบรวมข้อมูลในการคำนวณจากงานวิจัยของอินเดียที่เก็บข้อมูลจาก Vindhyachal Super Thermal Power Station

1.4.3 ใช้เชื้อเพลิงชนิดแข็งจำพวกถ่านหิน, ชีวมวล

1.4.4 ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

1.4.5 ทำการศึกษาด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางการสูญเสียจากความร้อนและประสิทธิภาพการทำงานของหม้อต้มไอน้ำด้วยมาตรฐาน JIS B8222 : 1993

1.4.6 คำนวณประสิทธิภาพและค่าความสูญเสียด้วยวิธีทางอ้อม (Indirect method)

1.4.7 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพและค่าความสูญเสียทางทฤษฎีระหว่างมาตรฐาน JIS กับ IBR

1.4.8 การคำนวณประสิทธิภาพจะไม่มีอุปกรณ์เสริมจำพวก Economizer, Reheater มาเกี่ยวข้อง

1.4.9 การคำนวณหาค่าความสูญเสียจากการแผ่รังสีทางทฤษฎีจะใช้สมการของมาตรฐาน EN

1.4.10 ใช้โปรแกรม 3E plus ในการคำนวณหาค่าความสูญเสียจากการแผ่รังสีเมื่อตรวจวัดจริง

1.4.11 ตรวจสอบมาตรฐานของน้ำป้อนกับน้ำในหม้อไอน้ำตามเกณฑ์ของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องคุณสมบัติของน้ำในหม้อไอน้ำ พ.ศ 2549

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบหม้อต้มไอน้ำ

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ

1.5.3 คำนวณหาประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำด้วยมาตรฐาน JIS โดยอ้างอิงจากงานวิจัยการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำด้วยมาตรฐานอื่น

1.5.4 สร้างโปรแกรมการคำนวณหาประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 1.5.5 นำผลจากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ใช้อ้างอิงและทำการปรับแก้โปรแกรม
- 1.5.6 วางแผนการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำเพื่อนำไปใช้ตรวจวัดที่โรงงาน
- 1.5.7 เดินทางไปโรงงานแล้วตรวจวัดโดยใช้แผนการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ
- 1.5.8 ปรับแก้แผนการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ
- 1.5.9 นำแผนที่ปรับแก้แล้วไปใช้ตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ
- 1.5.10 ใช้โปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ
- 1.5.11 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมคำนวณ
- 1.5.12 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.6 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

- 1.6.1 ได้เรียนรู้เกี่ยวกับส่วนประกอบและกระบวนการทำงานของหม้อน้ำ
- 1.6.2 ได้เรียนรู้เกี่ยวกับการคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของหม้อน้ำด้วยมาตรฐานแต่ละประเภทและการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหม้อน้ำ
- 1.6.3 ได้ฝึกการใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข
- 1.6.4 ได้เรียนรู้ถึงอิทธิพลของค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของหม้อน้ำ
- 1.6.5 ได้พัฒนาและออกแบบวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหม้อน้ำและสามารถนำมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์
- 1.6.6 เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบและพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของหม้อน้ำต่อไป
- 1.6.7 เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหม้อน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ในประเทศไทยมีการใช้หม้อต้มไอน้ำเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการผลิต จึงทำให้การดูแลระบบหม้อต้มไอน้ำไม่ดีเท่าที่ควรส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนเป็นอย่างมาก ความร้อนที่สูญเสียนี้เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุอย่างเช่น การปล่อยไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงออกไป ปริมาณอากาศที่ใส่ในระบบมากเกินไป การปล่อยให้ซีลเกาะกับท่อไฟถ่ายเทความร้อน การปล่อยให้มีซิลเฟอร์อยู่ในไอเสีย เป็นต้น การจัดการพลังงานความร้อนที่สูญเสียก็คือการนำพลังงานไปใช้ให้ถูกหลักอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปนั้นก็หมายถึงต้นทุนการผลิต การลดปริมาณความที่สูญเสียนั้นมีค่าเท่ากับการลดต้นทุนการผลิต ดังนั้นการหาประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำจึงต้องมีการวางแผนและวิธีการตรวจวัดที่ถูกต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่สากลให้การยอมรับ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการ ทฤษฎี สมการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดหาประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ โดยการศึกษาตามมาตรฐานของญี่ปุ่น (JIS) และนำไปใช้สร้างโปรแกรมเพื่อทำการคำนวณหาประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ นำไปสู่การให้คำแนะนำวิธีการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ทฤษฎีการเกิดไอน้ำ

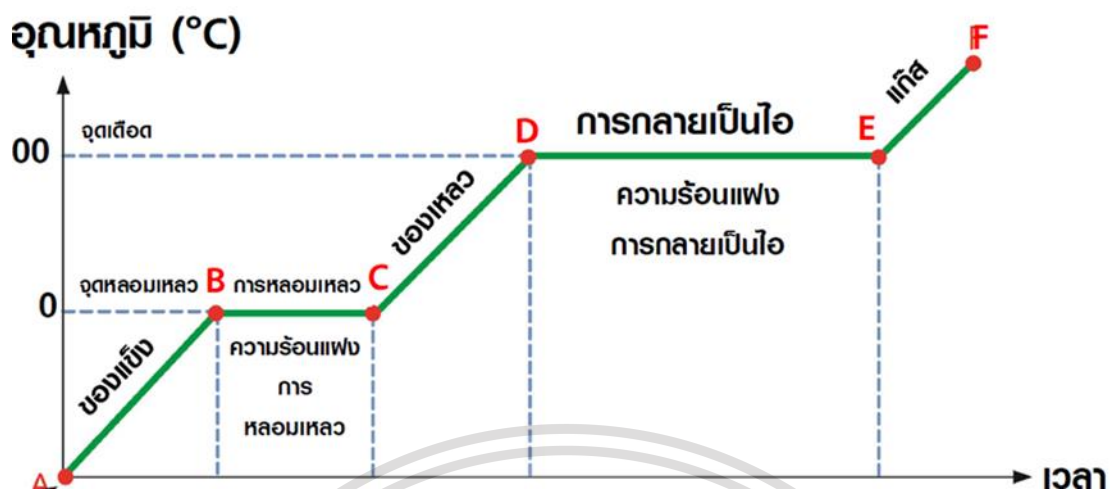
ไอน้ำเป็นน้ำที่อยู่ในสถานะก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นซึ่งเป็นสารบริสุทธิ์ เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งไอน้ำเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และส่งผ่านพลังงานความร้อนให้กับน้ำในหม้อไอน้ำ ทำให้เกิดพลังงานไอน้ำ โดยน้ำเมื่อได้รับพลังงานความร้อนแล้วจึงกลายเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซหรือไอน้ำ ซึ่งเรียกว่า การระเหย (Evaporation) ไอน้ำมีค่าความร้อนอยู่ 2 ชนิดคือ

- 1) ความร้อนสัมผัส คือ ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- 2) ความร้อนแฝง คือ ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปโดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

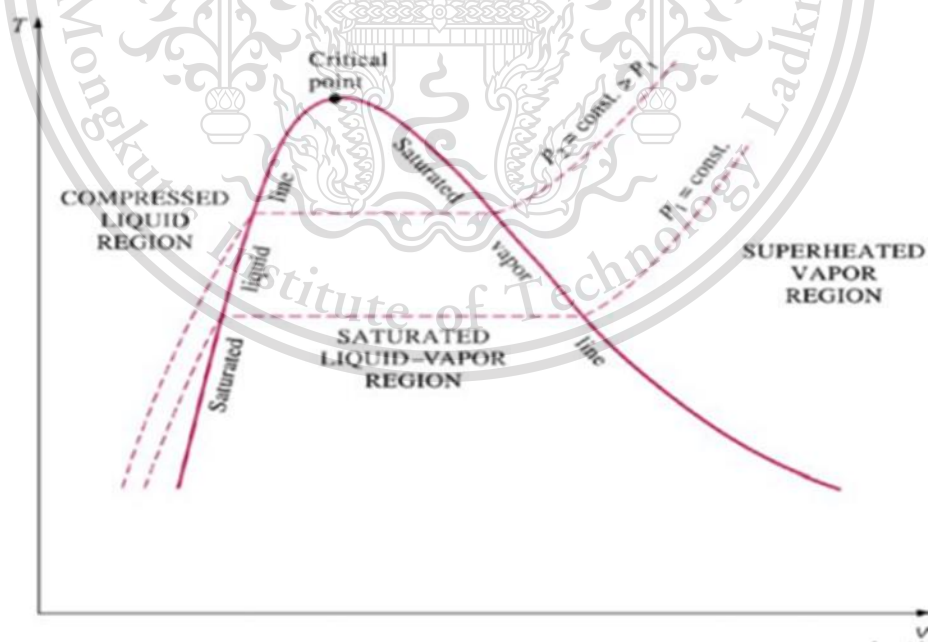
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนสถานะของน้ำ

ในทางเทอร์โมไดนามิกส์กระบวนการเปลี่ยนสถานะ(Phase) จะให้ความสนใจในคุณสมบัติ 3 ตัวพื้นฐาน ได้แก่อุณหภูมิ(T),ความดัน(P)และปริมาตรจำเพาะ(v) ซึ่งสามารถแบ่งกระบวนการเปลี่ยนสถานะออกได้เป็น 2 แบบคือ

1. การเปลี่ยนแปลงสถานะเมื่อความดันคงที่ (ความสัมพันธ์ของ T-v) รูป 2.2
2. การเปลี่ยนแปลงสถานะเมื่ออุณหภูมิกคงที่ (ความสัมพันธ์ของ P-v) รูป 2.3

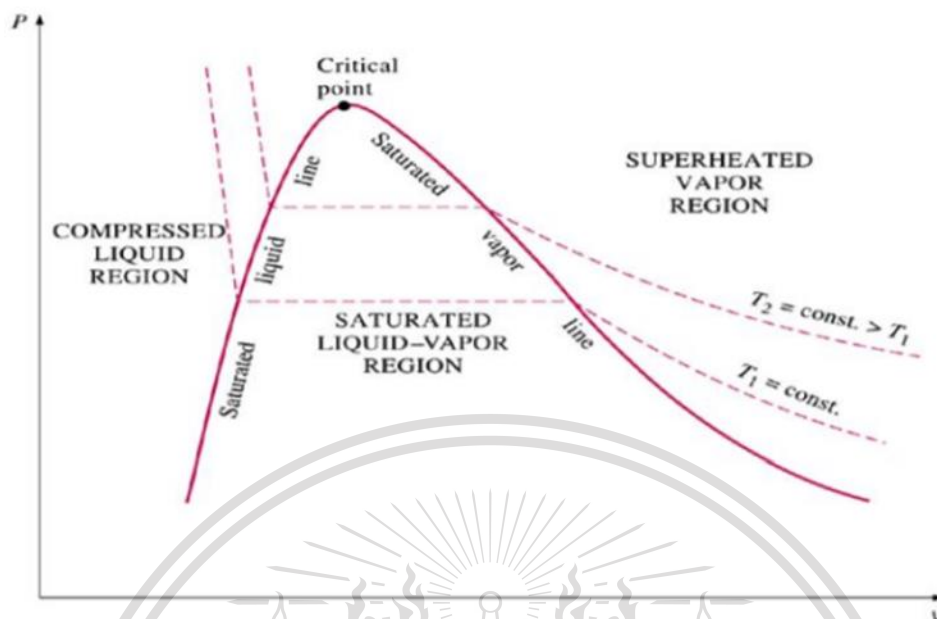


รูป 2.2 กราฟความสัมพันธ์ T-v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



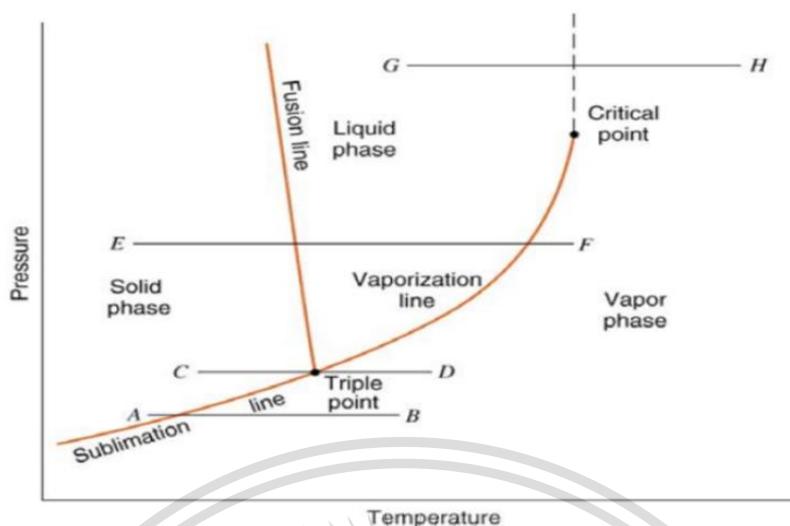
รูป 2.3 กราฟความสัมพันธ์ P-v

กราฟจะประกอบด้วยเส้นรูปประฆังคว่ำที่ถูกแบ่งออกเป็นสองข้างด้วยจุดวิกฤติซึ่งแบ่งออกเป็น เส้นด้านซ้าย เรียกว่า เส้นของเหลวอิ่มตัว (Saturated Liquid Line) เมื่อน้ำได้ใช้ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) จนมาถึงเส้นนี้ไปแล้วน้ำจะเริ่มเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำด้วยการใช้ความร้อนแฝง (Latent heat) จนเมื่อไปถึงเส้นด้านขวา เรียกว่า เส้นไออิ่มตัว (Saturated Vapor Line) น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำอย่างสมบูรณ์ ในกรณีของกราฟ T-v รูป 2.2 เมื่อเพิ่มความดันคงที่ให้สูงขึ้นจุดเดือดของน้ำหรือจุดที่เส้นประสัมผัสกับเส้นของเหลวอิ่มตัวจะสูงขึ้นด้วย ส่วนในกรณีของกราฟ P-v รูป 2.3 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิคงที่ให้สูงขึ้นความดันที่ใช้เพื่อเข้าสู่เส้นของเหลวอิ่มตัวจะมากขึ้นด้วย ทำให้ได้ข้อสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิและความดันเป็นปัจจัยสำคัญของการเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอน้ำสามารถเขียนออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ P-T ดังรูป 2.4 ที่มีเส้น Fusion line กับ vaporization line เป็นตัวแบ่งสถานะของแข็ง ของเหลว ก๊าซ ของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

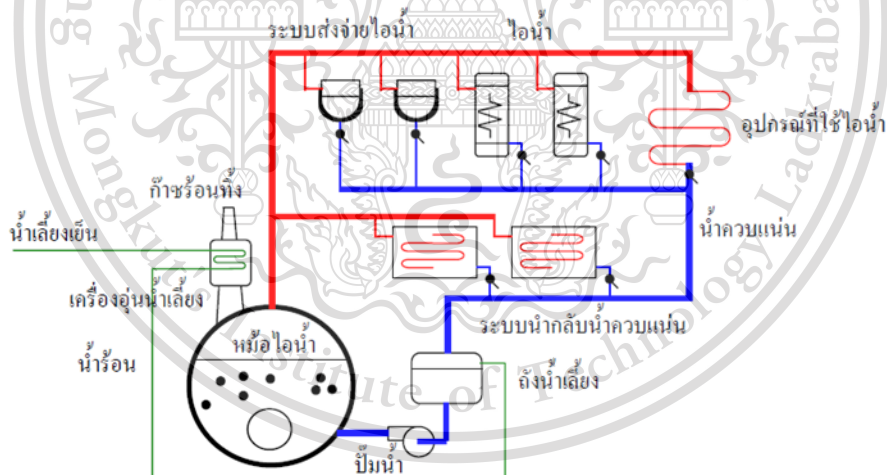
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.4 กราฟความสัมพันธ์ P-T

2.2.2 ระบบไอน้ำ

ระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้พลังงานพื้นฐานที่มีการใช้งานและสามารถพบเห็นได้ในหลายอุตสาหกรรมทั้งโรงงานและอาคาร โดยระบบไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์และระบบย่อยต่างๆ ได้แก่ 1. หม้อไอน้ำ 2. ระบบส่งจ่ายไอน้ำ 3. ระบบนำกลับความร้อน และ 4. อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ ตามรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพแผนระบบไอน้ำ

จากรูปที่ 2.5 น้ำป้อนจะผ่านเข้าไปยังหม้อไอน้ำเพื่อรับความร้อนจากการเผาไหม้และกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะส่งไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่างๆ ในกระบวนการผลิต ด้วยระบบส่งจ่ายไอน้ำ ไอน้ำหรือน้ำที่เหลือจากกระบวนการผลิตจะถูกนำกลับมายังหม้อไอน้ำอีกครั้ง เพื่อรวมกับน้ำเติม ก่อนที่จะส่งไปยังหม้อไอน้ำและผลิตเป็นไอน้ำต่อไป ส่วนไอเสียจากกระบวนการเผาไหม้เมื่อจะถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมหรือจะนำความร้อนจากไอเสียไปถ่ายเทให้แก่ น้ำป้อนเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนจ่ายเข้าหม้อไอน้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.3 หม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์สำคัญหลักในระบบไอน้ำ ซึ่งมีหน้าที่ในการให้ความร้อนกับน้ำเพื่อผลิตไอน้ำจ่ายไปยังกระบวนการผลิตภายในโรงงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร มีลักษณะเป็นภาชนะปิด ผิวหนา โครงสร้างของหม้อไอน้ำมีส่วนประกอบหลักคือ

1. เตา (Furnace)
2. ส่วนที่เก็บน้ำ (water space)
3. ส่วนที่เก็บไอน้ำ (steam space)

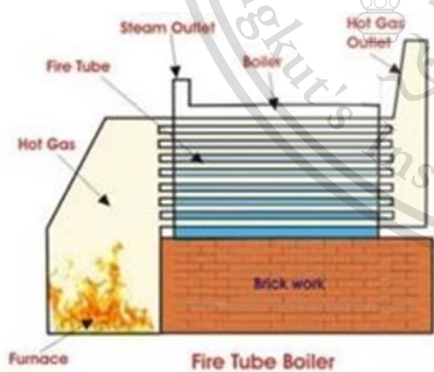
2.2.3.1 ประเภทของหม้อไอน้ำ

ประเภทของหม้อไอน้ำจะสามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

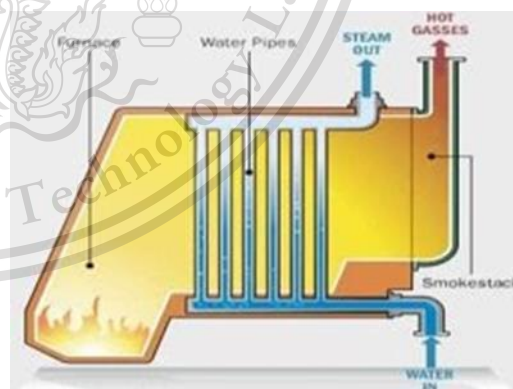
1. หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water-tube Boiler) หม้อไอน้ำชนิดนี้ น้ำจะถูกบรรจุและไหลอยู่ในท่อโดยเปลวไฟหรือก๊าซร้อนจะเคลื่อนที่อยู่โดยรอบท่อ ส่วนมากเป็นหม้อไอน้ำขนาดใหญ่ ผลิตไอน้ำแบบร้อนจัด (Superheated Stream)

2. หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire-tube or Shell Boiler) หม้อไอน้ำชนิดนี้ ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ในท่อซึ่งจมอยู่ในน้ำ โดยที่น้ำจะอยู่นอกท่อระหว่างผิวหม้อไอน้ำและท่อ สามารถแบ่งชนิดของหม้อไอน้ำนี้ตามการไหลของความร้อน เป็นแบบไหลทางเดียว, ไหลสองกลับ, ไหลสามกลับและแบบไหลสี่กลับ ส่วนมากเป็นหม้อไอน้ำขนาดเล็กถึงกลาง

3. หม้อไอน้ำชนิดผสม (Hybrid-tube boiler) หม้อไอน้ำชนิดนี้เป็นการรวมหม้อไอน้ำสองชนิดแรกเข้าด้วยกันโดยสร้างหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำให้อยู่ด้านล่างส่วนหม้อไอน้ำแบบท่อไฟให้อยู่ด้านบน และต่อระบบไหลของแก๊สร้อนกับไอน้ำอนุกรมกันหรือจะเป็นแบบมีระบบท่อน้ำอยู่ในเปลือกของหม้อแบบท่อไฟ



(1)

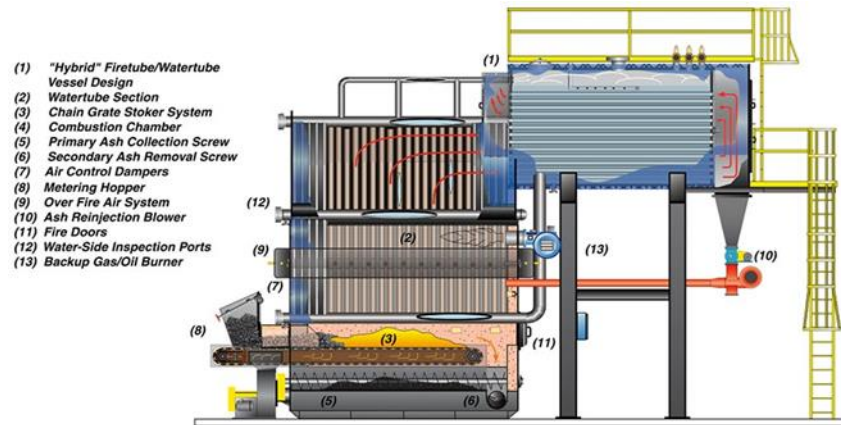


(2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(3)

รูปที่ 2.6 ประเภทของหม้อไอน้ำ (1) หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water-tube Boiler) (2) หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire-tube or Shell Boiler) (3) หม้อไอน้ำชนิดผสม (Hybrid-tube boiler)

2.2.3.2 หัวเผาหม้อไอน้ำ

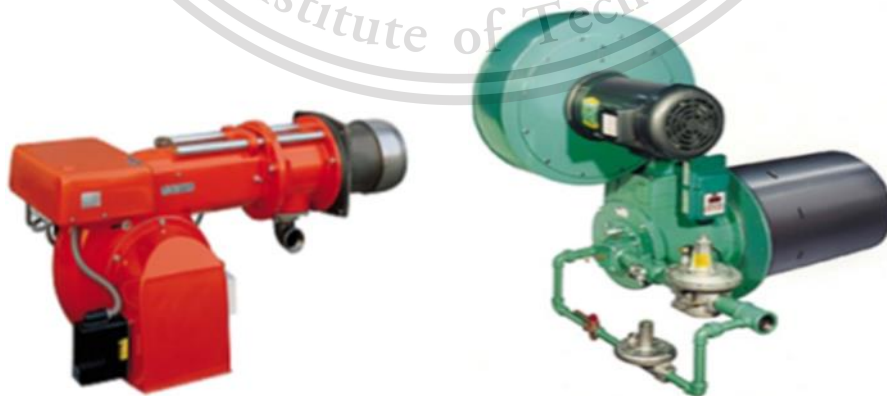
หัวเผาเป็นอุปกรณ์กำเนิดความร้อนให้กับหม้อไอน้ำที่ใช้ป้อนเชื้อเพลิงและอากาศเข้าไปเผาไหม้ในปริมาณที่เหมาะสมแบ่งออกเป็นหัวเผาน้ำมันหัวเผาก๊าซกับหัวเผาน้ำมัน หัวเผาที่มีหน้าที่สำคัญคือ

1. ฉีดพ่นเชื้อเพลิงเข้าผสมอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์
2. ควบคุมการเผาไหม้ทั้งในส่วนของอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง การเร่งหรือการเผาไหม้และสตาร์ท

จุดติดเตา

หัวเผาก๊าซสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ

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



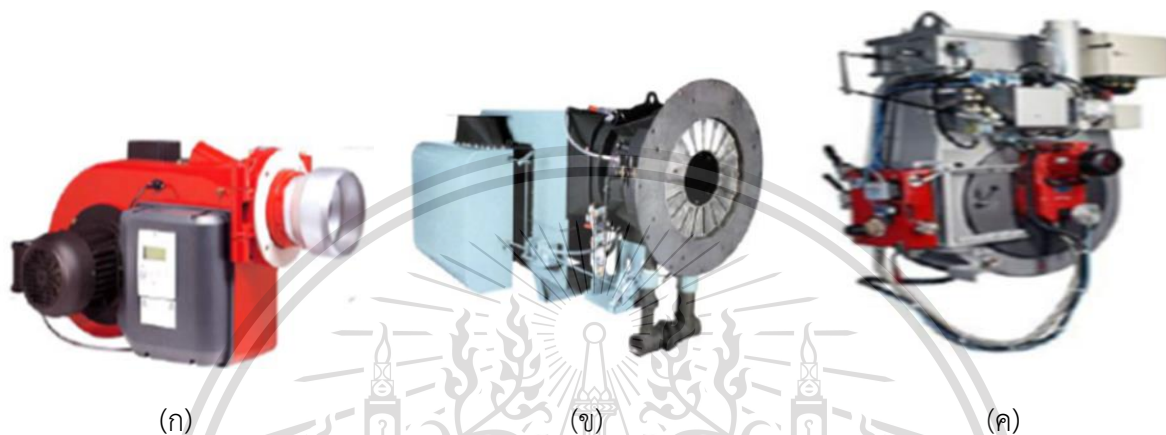
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.7 ลักษณะของหัวเผาก๊าซ (ก) Pre-mix Burner (ข) Nozzle-mix Burner
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวพ่นน้ำมันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ

1. ชนิดพ่นฝอยด้วยความดันน้ำมัน (pressure Atomized)
2. ชนิดพ่นฝอยด้วยอากาศหรือ ไอน้ำ (Air & Steam Atomized)
3. ชนิดถ้วยสลัดน้ำมัน (Rotary Cup Atomized)



รูปที่ 2.8 ลักษณะของหัวพ่นน้ำมัน (ก) pressure Atomized (ข) Air & Steam Atomized (ค) Rotary Cup Atomized

2.2.4 ระบบน้ำป้อน

มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

2.2.4.1 น้ำป้อน คือน้ำที่มาจากแหล่งน้ำเช่น แม่น้ำ ถึงเก็บน้ำหรือไอน้ำที่กลั่นตัวกลับมาจากระบบคอนเดนเสท ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมกับหม้อน้ำมาแล้ว การตรวจสอบคุณภาพน้ำจะตรวจสอบจากตัวอย่างน้ำที่เก็บมาโดยวัดค่า ความเป็นกรด (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (TDS Conductivity) และความกระด้าง (Hardness) เป็นหลักเพื่อควบคุมให้ไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับตะกอนและการกัดกร่อนคุณภาพน้ำควรอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของน้ำป้อนสำหรับหม้อไอน้ำ

1. คุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำ (Boiler feed water) ให้เป็นไปตามเกณฑ์ ดังนี้

รายการ	ค่าเกณฑ์ควบคุม	หน่วย
pH value	5.8 - 9.5	-
Total Hardness	ไม่เกิน 10	ppm as CaCO ₃

2. คุณภาพน้ำในหม้อน้ำ (Boiler water) ให้เป็นไปตามเกณฑ์ดังนี้

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

2.2.4.2 อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำ ใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมที่จะใช้กับหม้อไอน้ำมีอุปกรณ์ดังนี้

ถังทราย (Sand tank)

ทำหน้าที่กรองสารแขวนลอย (Suspended solid) ที่ทำให้เกิดตะกอนดินที่ล้างไม่ออก สารแขวนลอย คือ สิ่งต่างๆ ที่อยู่ในน้ำที่ไม่มีการละลาย ซึ่งมีทั้งสิ่งสกปรก โคลนเลน ฟิซ และสัตว์เล็กๆ ซึ่งสารแขวนลอยในน้ำจะทำให้น้ำขุ่นหรือมีสี



รูปที่ 2.9 ถังทราย

ถังกรองน้ำอ่อน (Water softener tank)

ทำหน้าที่กำจัดความกระด้างอันเป็นต้นเหตุของการเกิดตะกอน ถังกรองน้ำอ่อนสำหรับน้ำป้อนหม้อน้ำมักเป็นแบบที่ใช้การแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน (Ion exchange resin) เรซินที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนสามารถดูดซับแคลเซียมและแมกนีเซียมออกจากน้ำที่ไหลผ่านชั้นเรซิน และในขณะเดียวกันเรซินก็คายโซเดียมออกจากตัวเองให้กับน้ำ ดังนั้นเรซินกำจัดความกระด้างของน้ำโดยใช้โซเดียมในตัวแลกเปลี่ยนเอาแคลเซียมและแมกนีเซียม ส่งผลให้โอกาสเกิดตะกอนจึงลดน้อยลงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

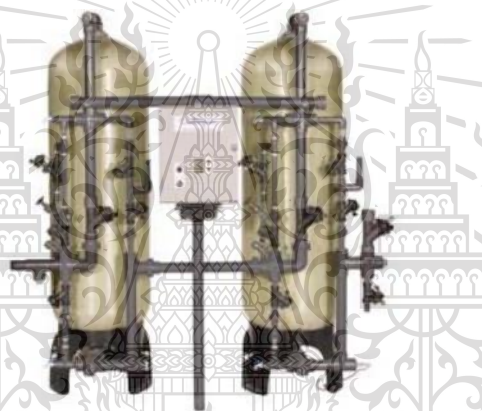
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.10 ถังกรองน้ำอ่อน

ถังกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนไอออน (Deionizer or demineralizer)

อาศัยการแลกเปลี่ยนไอออนของน้ำและสารกรอง โดยการใช้ถังซึ่งบรรจุเรซินที่เป็นสารกรองไว้แลกเปลี่ยนไอออนที่ไม่ต้องการในน้ำ เพื่อปรับปรุงน้ำให้มีแต่ไอออนที่ต้องการ



รูปที่ 2.11 ถังกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนไอออน

ถังกรองน้ำแบบดีอัลคาไลน์ (Dealkalizer tank)

ทำการลดความเป็นด่างของน้ำ โดยการใช้ถังซึ่งบรรจุเรซินประจุไฟฟ้าบวกไว้ ทำหน้าที่จับสารละลายต่างที่มีประจุไฟฟ้าลบในน้ำเอาไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษานำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 ถังกรองน้ำแบบดีอัลคาไลน์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ถังกรองน้ำแบบรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse osmosis tank)

ทำการกรองน้ำโดยให้น้ำผ่านเยื่อเมมเบรน (Semi permeable membrane) โดยการให้แรงดันที่มีขนาดมากกว่าแรงดันออสโมซิสเพื่อให้น้ำเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนและแยกสารละลายออกจากน้ำ

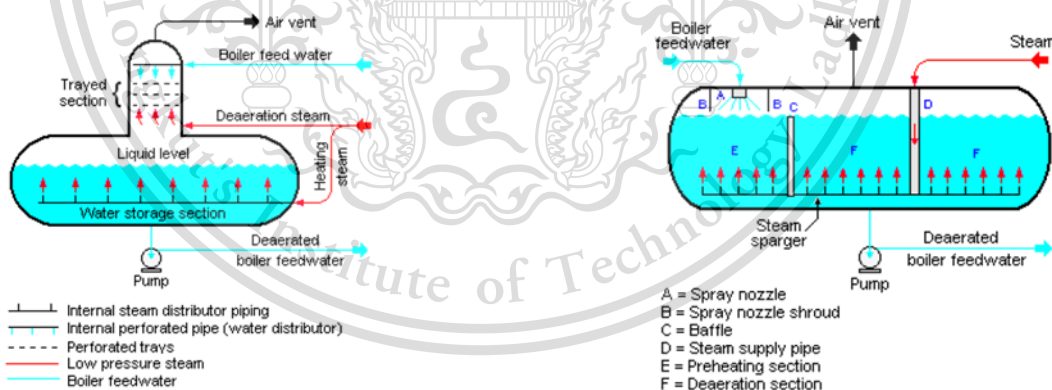


รูปที่ 2.13 ถังกรองน้ำแบบรีเวิร์สออสโมซิส

ถังไล่อากาศ (Deaerator)

ทำการขับไล่อากาศที่ไม่ต้องการออกไปโดยเฉพาะออกซิเจนที่ทำให้ท่อกัดกร่อนได้ มีอยู่ 3 ประเภท

1. ถังไล่อากาศแบบธรรมดา
2. ถังไล่อากาศแบบถาด (Tray type)
3. ถังไล่อากาศแบบพ่น (Spray type)



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.114 ถังไล่อากาศแบบถาด (ก) และแบบพ่น (ข)

ระบบเติมเคมี (Chemical feed or dosing system)

ทำการเติมสารเคมีเข้าไปในน้ำโดยตรงหรือผ่านอุปกรณ์ในระบบน้ำป้อนที่อยู่ใกล้หม้อน้ำเช่น ถังพักน้ำป้อน ท่อน้ำป้อน เพื่อป้องกันการเกิดตะกรัน การกัดกร่อน กำจัดออกซิเจน แอวกสารเป็นแอวกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.15 ระบบเติมเคมี

3. ถังพักน้ำ ใช้สำหรับเก็บสำรองน้ำที่จะจ่ายให้กับหม้อไอน้ำ มีระดับขีดบอกปริมาณของน้ำ



รูปที่ 2.16 ถังพักน้ำ

4. มาตรวัดปริมาณน้ำ ใช้วัดปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับหม้อไอน้ำในระยะเวลาหนึ่งๆ



รูปที่ 2.17 มาตรวัดปริมาณน้ำ

5. เครื่องสูบน้ำหรือปั้มน้ำ (Feed Water Pump) ทำหน้าที่ส่งน้ำจากถังพักน้ำเข้าหม้อไอน้ำ เครื่องสูบน้ำต้องมีความสามารถส่งน้ำเข้าหม้อไอน้ำได้มากกว่าอัตราการผลิตไอน้ำ และต้องมีความสามารถถัดน้ำให้มีความดันสูงกว่าความดันใช้งานของหม้อไอน้ำอย่างน้อย 1.5 เท่า เครื่องสูบน้ำมีใช้หลายแบบ ดังนี้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump) เช่น Turbine
- เครื่องสูบน้ำแบบโรตารี (Rotary Pump)
- เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ (Reciprocating Pump)
- เครื่องสูบน้ำแบบ Injector



รูปที่ 2.18 เครื่องสูบน้ำ

6. เกจวัดความดันน้ำ ปกติจะติดตั้งไว้ที่ท่อน้ำระหว่างเครื่องสูบน้ำกับหม้อไอน้ำ สามารถใช้หาความผิดปกติของระบบส่งน้ำเข้าหม้อไอน้ำได้โดยการอ่านค่าจากเกจวัดความดัน



รูปที่ 2.19 เกจวัดความดันน้ำ

2.2.5 ระบบส่งจ่ายไอน้ำ

เมื่อหม้อน้ำได้ผลิตไอน้ำออกมาแล้ว ไอน้ำจะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่างๆที่ติดตั้งไว้ทั่วสถานที่ทำงานผ่านระบบจ่ายไอน้ำ เมื่อไอน้ำถ่ายเทความร้อนให้แก่อุปกรณ์ใช้ไอน้ำแล้วจะมีความดันและอุณหภูมิที่ลดลง การรวบรวมและส่งจ่ายไอน้ำจะมีอุปกรณ์ประกอบดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

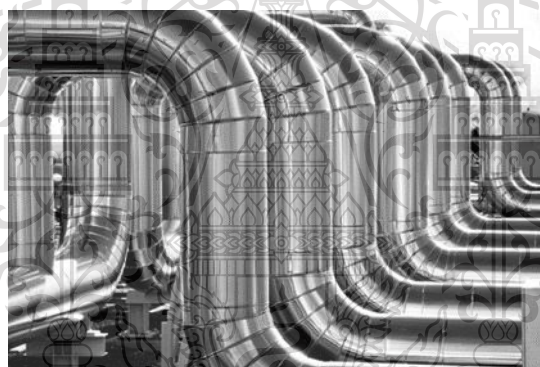
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วาล์วจ่ายไอน้ำ (Main Steam Valve) : ทำหน้าที่จ่ายไอน้ำออกจากหม้อไอน้ำไปใช้งาน



รูปที่ 2.20 วาล์วจ่ายไอน้ำ

ท่อจ่ายไอน้ำ (Steam Pipe) : ทำหน้าที่ส่งไอน้ำไปใช้งาน มีฉนวนหุ้ม เพื่อจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนของไอน้ำ



รูปที่ 2.21 ท่อจ่ายไอน้ำ

ท่อพักไอน้ำ (Steam Header) : จะทำหน้าที่เก็บไอน้ำผลิตได้ แล้วจ่ายไปยังเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ต้องการใช้ไอน้ำ ถังพักน้ำจะต้องสร้างจากวัสดุที่ทนความดันและอุณหภูมิของไอน้ำได้ ถังพักไอน้ำควรมีลิ้นนิรภัย (Safety Valve) เกจวัดความดัน วาล์วถ่ายน้ำหรือเครื่องดักไอน้ำ(Steam Trap) และหุ้มฉนวนกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.22 ท่อพักไอน้ำ

2.2.6 ระบบนำความร้อนกลับ

2.2.6.1 คอนเดนเสท เป็นสิ่งที่เกิดจากไอน้ำที่ได้ถ่ายเทความร้อนออกไปแล้วควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวที่มีความร้อนหลงเหลืออยู่ตกค้างในอุปกรณ์ใช้ไอน้ำและท่อจ่ายไอน้ำ สามารถนำกลับมาใช้เพิ่มอุณหภูมิของน้ำป้อนเพื่อลดใช้เชื้อเพลิงได้ ระบบคอนเดนเสทจะมีอุปกรณ์ต่อไปนี้

- กักดักไอน้ำ (Steam trap)

เป็นวาล์วควบคุมแบบอัตโนมัติ ทำหน้าที่ระบายคอนเดนเสทออกจากระบบไอน้ำเนื่องจากหม้อไอน้ำผลิตไอน้ำได้เป็นไอน้ำที่มีความชื้นหรือน้ำผสมอยู่ เมื่อนำไปใช้งานความร้อนจะลดลงเร็ว อีกทั้งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อเครื่องจักรไอน้ำได้ มีหน้าที่หลักดังนี้

1. ระบายน้ำร้อนที่เกิดขึ้นออกไป
2. ปิดกั้นไอน้ำไม่ให้ไอน้ำมีการรั่วไหลออก
3. ระบายอากาศและก๊าซให้ออกไป



รูปที่ 2.23 กักดักไอน้ำ

- ท่อลำเลียงคอนเดนเสท

เป็นท่อที่นำคอนเดนเสทส่งกลับไปยังถังพักน้ำป้อนเพื่อผสมกับน้ำป้อนและนำไปใช้ในหม้อไอน้ำต่อ

- ปั๊มน้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อุปกรณ์สำหรับเพิ่มแรงดันของน้ำ ทำหน้าที่หมุนส่งกำลังให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อเพิ่มแรงดันและส่งน้ำไปตามท่อ ใช้ในกรณีที่ระยะคอนเดนเสทไปถึงพักน้ำป้อนมีระยะไกล



รูปที่ 2.24 ปั๊มน้ำ

2.2.6.2 ไอน้ำแฟลช เป็นการนำกลับความร้อนในรูปแบบของไอน้ำโดยเกิดจากลดความดันของคอนเดนเสทหรือน้ำทิ้งที่มาจากกระบวนการโบลว์ดาวน์ทำให้น้ำในสถานะของเหลวกลับไปเป็นไอน้ำอีกครั้ง สามารถนำไอน้ำแฟลชไปใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำความดันต่ำได้ โดยมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า ถังแฟลช(Flash tank) ในการแยกไอน้ำแฟลชออกจากคอนเดนเสท



รูปที่ 2.25 ถังแฟลช (Flash tank)

2.2.7 ระบบประหยัดพลังงาน

นำเอาความร้อนที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้ง ทำให้ช่วยประหยัดพลังงานหรือค่าใช้จ่ายให้น้อยลง มีอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- เครื่องอุ่นลม (Air Preheater)

จะใช้ความร้อนที่จะออกปล่องไฟกลับมาอุ่นอากาศที่จะป้อนเข้าไปช่วยในการเผาไหม้ จะช่วยให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.26 เครื่องอุ่นลม (Air Preheater)

- เครื่องอุ่นน้ำ (Economizer)

จะใช้ความร้อนจากปล่องไฟหรือไอน้ำที่เหลือจากใช้งานมาอุ่นน้ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อน้ำเข้าไปหม้อไอน้ำได้รับความร้อนอีกเพียงเล็กน้อยก็เดือดกลายเป็นไอน้ำให้ประหยัดเชื้อเพลิงที่จะมาต้มให้กลายเป็นไอน้ำ



รูปที่ 2.27 เครื่องอุ่นน้ำ (Economizer)

2.2.8 อุปกรณ์ใช้ไอน้ำ

เป็นอุปกรณ์ที่นำความร้อนที่มาจากกาถ่ายเทความร้อนแบบความร้อนแฝงและความร้อนออกจากไอน้ำ และเอาไปใช้งานสามารถแบ่งอุปกรณ์ใช้ไอน้ำได้ 2 ประเภทตามลักษณะการใช้ไอน้ำ ได้แก่

1. อุปกรณ์ใช้ไอน้ำทางอ้อม (Indirectly heated device)

อุปกรณ์ที่สามารถนำความร้อนไปใช้ประโยชน์โดยที่ไอน้ำไม่ได้สัมผัสกับสิ่งรับความร้อนโดยตรง เหมือนเป็นสื่อกลางความร้อนระหว่างไอน้ำและสิ่งรับความร้อน มักใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ในโรงพยาบาล และในโรงแรม เป็นต้น ตัวอย่างของอุปกรณ์ เช่น โต๊ะรีดผ้าและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and tube heat exchanger) เป็นต้น

2. อุปกรณ์ใช้ไอน้ำโดยตรง (Direct steam injected device)

อุปกรณ์ที่สามารถนำความร้อนไปใช้ประโยชน์โดยที่ไอน้ำสัมผัสกับสิ่งรับความร้อนโดยตรง สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 แบบ คือ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- แบบให้ความร้อนโดยพ่นไอน้ำลงในของเหลว (Direct steam injection into liquid)

เป็นวิธีที่ง่าย ไม่ต้องใช้กับดักไอน้ำ และไม่มีคอนเดนเสทที่จะเก็บกลับ มักใช้ในกระบวนการผลิตที่ต้องการอุณหภูมิไม่เกิน 100 C ซึ่งการใช้ไอน้ำอิมตัวความดันต่ำ ประมาณ 0.5 บาร์เกจ

- แบบให้ความร้อนโดยพ่นไอน้ำเข้าไปในภาชนะที่มีฝาปิดแน่น (Direct steam injection into product chamber)

เป็นวิธีที่ใช้ไอน้ำพ่นเข้าไปยังผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ในภาชนะปิดสนิทและมีระบบไล่อากาศเป็นอย่างดี เพื่อ อย ่าง หนึ่ง ฆ่าเชื้อ เช่น ตู้อบนึ่งผลิตภัณฑ์ยาง (Autoclave) หม้ออบฆ่าเชื้อโรค (Sterilizer) หรือหม้อต้มอาหาร สำหรับบรรจุกระป๋อง (Retort) เป็นต้น

2.2.9 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

2.2.9.1 หม้อไอน้ำ

- กฎกระทรวงกรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรมได้ให้คำนิยามหม้อไอน้ำดังนี้

1. ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำที่มีปริมาณความจุเกิน 2 ลิตรขึ้นไปเมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานความร้อนอื่นน้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำภายใต้ความดันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล

2. ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำซึ่งใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนตั้งแต่ 8 ตารางเมตรขึ้นไป

- กฎหมายที่เกี่ยวข้องหม้อไอน้ำ

1. ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการให้ความเห็นชอบในการตรวจสอบภายในหม้อไอน้ำ ทุกระยะเวลาเกินกว่า 1 ปีแต่ไม่เกิน 5 ปีต่อการตรวจสอบหนึ่งครั้ง พ.ศ.2555

2. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติน้ำสำหรับหม้อไอน้ำ พ.ศ.2549 ลงวันที่ 31 ต.ค. 2549

3. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อไอน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อน พ.ศ.2549 ลงวันที่ 31 ต.ค. 2549

4. ประกาศกฎกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อน และภาชนะแรงดันในโรงงาน พ.ศ.2549 ลงวันที่ 30 พ.ค. 2549

5. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อไอน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อน พ.ศ.2549 ลงวันที่ 31 ต.ค. 2549

6. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องหลักเกณฑ์การตรวจทดสอบความปลอดภัยหม้อไอน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อนที่มีความดันต่างจากบรรยากาศ พ.ศ.2548

7. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อไอน้ำของโรงงาน พ.ศ.2549

8. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ.2549

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำ พ.ศ.2548

10. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อไอน้ำเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ พ.ศ. 2548

11. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2549

12. ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงาน ในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552

13. กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการ ด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน เกี่ยวกับเครื่องจักร บันจัน และหม้อไอน้ำ พ.ศ.2552

14. กฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัย เป็นต้น

15. มาตรฐานวิชาชีพ ระบบหม้อไอน้ำ สภาวิศวกร

2.2.9.2 ภาชนะรับแรงดัน (Pressure Vessels)

ภาชนะรับแรงดัน (Pressure Vessels) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิตมีการติดตั้งอยู่ในโรงงานเกือบทุกประเภท เช่น หม้ออัดก๊าซ หม้ออัดอากาศ ถังเก็บสารเคมีอุปกรณ์รองรับปฏิกิริยาเคมี (Reactor) หอ-กลั่น (Retort) อุปกรณ์ควบแน่น (Condenser) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เป็นอุปกรณ์ที่เมื่ออยู่ในสภาวะใช้งานจะสะสมพลังงานภายใน (Stored Energy) สูงตามความดันที่เกิดขึ้นและมีโอกาสเกิดการระเบิดหรือเกิดอันตรายกับบุคคลและทรัพย์สินได้

ภาชนะรับแรงดัน (pressure vessel) หมายความว่าตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 มีดังนี้

1. ภาชนะปิดที่มีความกดดันภายในภาชนะและภายนอกภาชนะแตกต่างกันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 103 มิลลิเมตร

2. ถังปฏิกิริยา (reactor)

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับถังความดัน

1. ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการในการเก็บรักษาการกำหนดบุคลากรที่รับผิดชอบและการยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติว่าด้วยอันตราย พ.ศ. 2535 สำหรับสถานที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ที่กรมธุรกิจพลังงานรับผิดชอบ พ.ศ. 2554

2. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องการทดสอบและตรวจสอบถังเก็บและจ่ายก๊าซ พ.ศ. 2554

2.2.10 เชื้อเพลิง

หมายถึง สารที่เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศที่อุณหภูมิติดไฟแล้วจะเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนออกมา โดยมีธาตุองค์ประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงคือ ธาตุคาร์บอน ธาตุไฮโดรเจน และธาตุซัลเฟอร์ เมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนในอากาศ จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้ตามสถานะคือ เชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว และ เชื้อเพลิงแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ซึ่งสงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิในข้อมูลทั้งหมดนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.10.1 ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนที่ได้ออกมาหลังจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงกับอากาศ โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ภาวะปกติ ซึ่งค่าความร้อนแบ่งออกเป็น

Lower Heating Value (LHV) หมายถึงค่าความร้อนทั้งหมดที่ได้ออกมาหลังจาก การเผาไหม้ที่สมบูรณ์แล้วได้น้ำที่อยู่ในสภาพเป็นแก๊สหรือเป็นไอซึ่งเกิดขึ้นเป็นผลพลอยได้ จากกระบวนการเผาไหม้

Higher Heating Value (HHV) หมายถึง ค่าความร้อนทั้งหมดที่ได้ออกมา หลังจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์แล้วได้น้ำ ที่อยู่ในสภาพของเหลวซึ่งเกิดขึ้นเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผาไหม้หรือก็คือค่าความร้อนขั้นต่ำรวมกับค่าความร้อนแฝงที่ใช้ในการควบแน่นไอน้ำให้กลายเป็นน้ำ

2.2.10.2 ถ่านหิน (Coal)

ถ่านหิน เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่กำเนิดมาจากซากพืชซากสัตว์ทับถมกันลักษณะแข็งแต่เปราะ มีสีน้ำตาลถึงดำ มีทั้งชนิดผิวมันและผิวด้าน องค์ประกอบหลักในถ่านหินคือธาตุคาร์บอน และธาตุอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถันและความชื้น นอกจากนี้อาจพบธาตุที่มีปริมาณน้อย เช่น พรอท สารหนู ซิลิเนียม โครเมียม นิกเกิล ทองแดง และแคดเมียม ชนิดของถ่านหินจะขึ้นอยู่กับปริมาณสะสมของคาร์บอนกับระยะเวลาที่ถูกทับถม

ถ่านหินซับบิทูมินัส (Sub-bituminous)

มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ เนื้อถ่านหินจะมีความอ่อนตัวคล้ายขี้ผึ้ง ไม่แข็งมาก มีปริมาณคาร์บอนประมาณร้อยละ 71-77 และมีปริมาณกำมะถันต่ำ ถ่านหินประเภทนี้มีส่วนมากใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า หรือใช้ในอุตสาหกรรม ส่วนมากถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้กับหม้อไอน้ำที่ใช้ในการอบต่าง

ตาราง 2.2 คุณสมบัติของถ่านหินถ่านหินประเภทบิทูมินัส

ชนิดของเชื้อเพลิง	องค์ประกอบ (ร้อยละโดยมวล)						ค่าความร้อน (dry ash-free basis) (kJ/kg)
	C	H	O	N	S	ความชื้น	
ซับบิทูมินัส (D,E)	75 - 80	6-May	15 - 20	1	1	25 - 30	(D) 32,650 - 33,910 (E) 30,560 - 32,560



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรูปีที่ 2.28 ถ่านหินประเภทบิทูมินัส อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.11 ทฤษฎีการประเมินประสิทธิภาพหม้อน้ำ

2.2.11.1 วิธีที่ใช้คำนวณ มี 2 วิธี

1. การคำนวณโดยวิธีตรง

การคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง เป็นการคำนวณประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลของปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำที่ผลิตขึ้นโดยหม้อไอน้ำและข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงการคำนวณ โดยวิธีนี้ง่ายและไม่ยุ่งยากอย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่ได้แสดงให้เห็นว่าทราบดีว่าการสูญเสียพลังงานหรือการลดลงของประสิทธิภาพ ของหม้อไอน้ำเกิดจากสาเหตุใด สมการที่ 2.1 แสดงการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \text{อัตราผลิตไอน้ำ} / \text{พลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำ} \quad (2.1)$$

2.การคำนวณโดยวิธีอ้อม

การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อมเป็นการประเมินผลรวมความร้อนสูญเสียที่ออกจากหม้อน้ำ ความร้อนสูญเสียเกิดจากการที่หม้อน้ำไม่สามารถดูดซับพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไปใช้ได้หมด 100 % โดยจะใช้วิธีวัดการสูญเสียพลังงานจากแหล่งต่างๆของหม้อไอน้ำ แล้วหักออกจาก 100 สมการที่ 2.2 แสดงการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อม

$$\text{ประสิทธิภาพ} = 1 - \text{ผลรวมความร้อนสูญเสียที่ออกจากหม้อไอน้ำ} \quad (2.2)$$

2.2.11.2 เกณฑ์มาตรฐานในการตรวจประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

อ้างอิงจากมาตรฐานหม้อไอน้ำในต่างประเทศ เช่น มาตรฐานญี่ปุ่น มาตรฐานยุโรป และมาตรฐานอเมริกา เป็นต้น โดยแต่ละมาตรฐานมีขอบเขตการพิจารณาในการตรวจวัดและมีสมการอ้างอิงที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งมาตรฐานที่นำมาเปรียบเทียบกับมีดังนี้ แสดงผลเปรียบเทียบตามตารางที่ 2.3

1. British standards, BS845:1987
2. Japan standards, JIS B8222:1993
3. European standards, EN 12952-15:2003
4. European standards, EN 12953-11:2003
5. ASME Standard, PTC-4-1:2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์มาตรฐาน และเงื่อนไขในการตรวจประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

Scope	BS 845 :1987	JIS B8222 :1993	EN 12952-15:2003	EN 12953-11:2003	ASME PTC 4-1 :2008
Testing for	Steam boiler, hot water boiler or high temperature HTF fluid	Land boiler including hot water boiler	Steam boiler, hot water boiler and waste heat boilers (Water tube boiler)	Steam boiler, hot water boiler and waste heat boilers (Shell boiler)	Steam boiler and HRSG
Type of fuel	Gas, Oil and Solid	Gas, Oil and Solid	Gas, Oil and Solid	Gas, Oil and Solid	Gas, Oil and Solid
Steam rating	intended condition (installation or normal operation)	intended condition (installation or normal operation)	MCR (Maximum continues rating)	intended condition (installation or normal operation)	MCR (Maximum continues rating)
Testing time	Gas & Oil ≥ 1 h Solid ≥ 2 h	Gas & Oil ≥ 1 h Solid ≥ 2 h	Gas & Oil ≥ 2 h Solid ≥ 4 h	agreed upon under steady state condition	Gas, oil and Solid ≥ 2 h
Reference temperature	Base on combustion air inlet temperature	Base on combustion air inlet temperature	The reference temperature, tr, shall be 25 °C	The reference temperature, tr, shall be 25 °C	The reference temperature,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Scope	BS 845 :1987	JIS B8222 :1993	EN 12952-15:2003	EN 12953-11:2003	ASME PTC 4-1 :2008
Calculation method	Indirect method (<u>mass</u>)	Direct method /Indirect method (volume) (Including heat credits)	Direct method /Indirect method (<u>mass + volume</u>) (Including heat credits)	Indirect method (<u>mass + volume</u>)	Direct method /Indirect method (<u>mass ± volume</u>) (Including heat credits)
Efficiency	Ref. base NCV/GCV	Ref. base LCV /HCV (agreed upon)	Ref. base NCV/(agreed upon)	Ref. base NCV/GCV	Ref. base HHV

เมื่อได้เปรียบเทียบเงื่อนไขและปัจจัยที่ต้องใช้ในการตรวจวัดของมาตรฐานต่างๆแล้วพบว่ามาตรฐาน Japanese Industrial standards, JIS B8222:1993 มีความเหมาะสมที่สุด

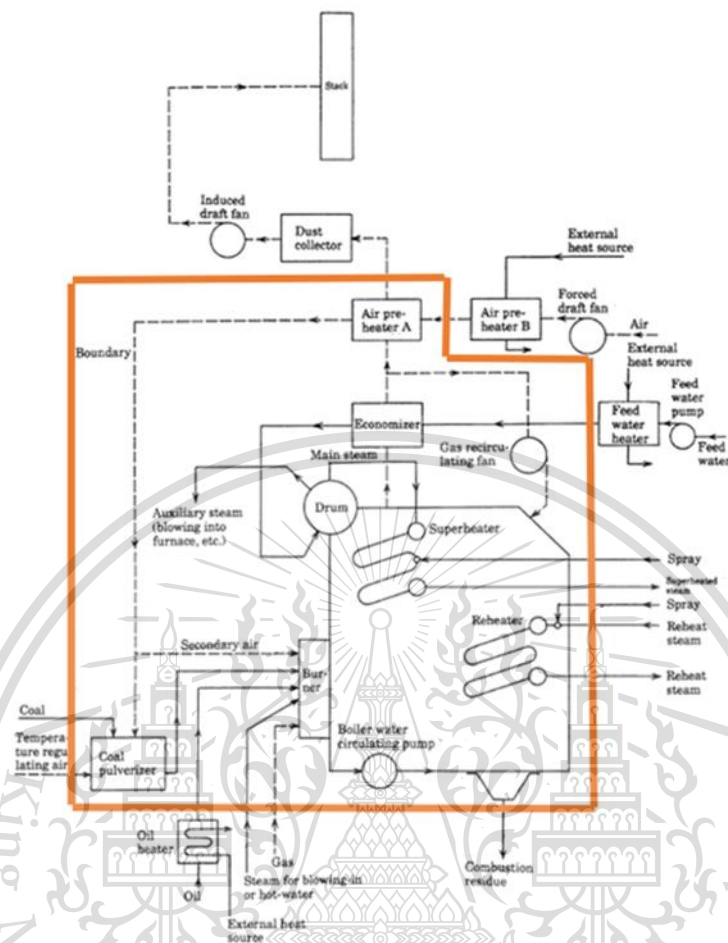
2.2.11.3 มาตรฐาน Japanese Industrial Standards, JIS B8222:1993

เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการสมมูลพลังงานความร้อนในหม้อน้ำ รวมถึงหม้อต้มน้ำร้อน ที่มีการใช้เชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงก๊าซ มาตรฐานนี้ใช้เฉพาะในการทำสมมูลพลังงานความร้อนหม้อน้ำเชิงพาณิชย์ที่มีประยุกต์ใช้ในการทดสอบเพื่อการยอมรับระหว่างผู้ซื้อหม้อน้ำและผู้ผลิตหม้อน้ำ ขอบเขตของการทำสมมูลพลังงานความร้อนใน หม้อน้ำแสดงในรูปที่ 2.28 ในกรณีที่มีซูเปอร์ฮีตเตอร์ (Super heater) และ รีฮีตเตอร์ (Reheater) อุปกรณ์เหล่านี้จะถูกรวมอยู่ในขอบเขตของการทำสมมูลพลังงานความร้อน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.29 แสดงขอบเขตของการทำสมดุลพลังงานความร้อนในหม้อน้ำกรอบสี่สั้ม

2.2.11.4 ข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน

1. อุณหภูมิอากาศด้านนอก
2. อัตราการใช้เชื้อเพลิง เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวัดควรมีค่าความผิดพลาด (Error) ที่สามารถยอมรับได้ ดังนี้ เชื้อเพลิงแข็ง $\pm 1.5\%$ เชื้อเพลิงเหลว $\pm 1.0\%$ และเชื้อเพลิงก๊าซ $\pm 1.6\%$
3. ค่าความร้อนเชื้อเพลิง
4. อัตราการป้อนน้ำเข้าหม้อน้ำ เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวัดควรมีค่าความผิดพลาด (Error) ที่สามารถยอมรับ $\pm 1.0\%$
5. อุณหภูมิน้ำป้อน
6. อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้
7. อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ในกรณีที่มีการติดตั้ง เครื่องอุ่นอากาศ (Air preheater)
8. ปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการอุ่นเชื้อเพลิง หรือปริมาณไอน้ำที่เป่าเข้าไปในหม้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ 10. อุณหภูมิไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ออกจากซูเปอร์ฮีเตอร์ (Super heater) และ รีฮีเตอร์ (Reheater) ไปใช้

11. ความดันไอน้ำ
12. คุณภาพไอของไอน้ำอิ่มตัว
13. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย
14. องค์ประกอบของก๊าซไอเสีย
15. ความดันอากาศ ความดันก๊าซไอเสีย
16. เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมดในซีเ็ก้า

2.2.11.5 การประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำด้วยวิธีความร้อนสูญเสีย (Heat loss method)

ความร้อนสูญเสียของหม้อไอน้ำในมาตรฐาน JIS ประกอบด้วย

1. ความร้อนสูญเสียจากก๊าซไอเสียแห้ง
2. ความร้อนสูญเสียจากไอน้ำหรือน้ำที่เป่าเข้าไปในหม้อไอน้ำ
3. ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์
4. ความร้อนสูญเสียไปกับเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมดในซีเ็ก้า
5. ความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสี
6. ความร้อนสูญเสียอื่นๆ (ความร้อนสูญเสียจากการโบลด์าวน์ (Blown-down))

ซึ่งเป็นไปตามสมการ $Heat\ loss = L_h = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6$

1. ความร้อนสูญเสียจากก๊าซไอเสีย (L_1)

เมื่อก๊าซไอเสียไหลออกไปจากหม้อไอน้ำ ทำให้สูญเสียพลังงานใน ส่วนนี้ไปเนื่องจากไม่สามารถนำเอาความร้อนในส่วนนี้มาใช้ได้ทั้งหมด โดยปกติแล้วการสูญเสียความร้อนจากก๊าซไอเสียในหม้อไอน้ำถือเป็น การสูญเสียที่สำคัญที่สุดเพราะมีความสูญเสียพลังงานจากจุดนี้มากที่สุดในระบบ

กรณีของเชื้อเพลิงแข็ง และเชื้อเพลิงเหลว

$$L_1 = Gc_g(t_g - t_0) \text{ kcal/kg} \quad (2.3)$$

โดยที่ G คือ ปริมาณก๊าซไอเสียแห้งต่อหนึ่งกิโลกรัมเชื้อเพลิง (m^3/kg)

c_g คือ ค่าความร้อนเฉพาะของก๊าซไอเสีย $1.38 \text{ (kJ/m}^3\text{K)}$, $0.33 \text{ (kcal/m}^3\text{°C)}$

t_g คือ อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย ($^{\circ}\text{C}$)

t_0 คือ อุณหภูมิภายนอก ($^{\circ}\text{C}$)

สามารถคิดได้จาก $G = G_0 + G_w + (m-1)A_0 + G_{w1}$

โดยที่ G_0 = ปริมาณแก๊สไอเสียแห้งต่อหน่วยเชื้อเพลิงในทางทฤษฎี (m^3/kg)

$$\text{สามารถคิดได้จาก } G_0 = \frac{1}{100} [8.89c_1 + 21.1 \left(h - \frac{O}{8} \right) + 3.3s + 0.80n]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่คือ ปริมาณคาร์บอนที่เผาไหม้จริงในเชื้อเพลิงแข็ง (mass%) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น h คือ ปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงแข็งและเหลวที่เวลาเผาไหม้ (mass%)

o คือ ปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงแห้งและเหลวที่เวลาเผาไหม้(mass%)

s คือ ปริมาณซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิงแห้งและเหลวที่เวลาเผาไหม้(mass%)

n คือ ปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิงแห้งและเหลวที่เวลาเผาไหม้(mass%)

G_w คือ ปริมาณของไอน้ำ(เนื่องมาจากไฮโดรเจนและความชื้นมีอยู่ในเชื้อเพลิง) ในแก๊สไอเสียต่อหน่วยเชื้อเพลิง (m^3/kg)

$$\text{สามารถคิดได้จาก } G_w = \frac{1}{100} [1.24(9h + w)]$$

w คือ ปริมาณรวมความชื้นในเชื้อเพลิงแห้งหรือเหลวที่เวลาเผาไหม้ (mass%)

G_{w1} คือ ปริมาณของไอน้ำ(เนื่องมาจากจุดความชื้นในอากาศ)ในแก๊สไอเสียต่อหน่วยเชื้อเพลิง (m^3/kg)

$$\text{สามารถคิดได้จาก } G_{w1} = 1.61zmA_0$$

z คือ ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศแวดล้อม(kg steam/kg dry air)

m คือ สัดส่วนอากาศส่วนเกิน

$$\text{สามารถคิดได้จาก } m = \frac{21}{21 - 79 \left[\frac{(O_2) - 0.5(CO)}{(N_2)} \right]}$$

O_2 คือ ปริมาณออกซิเจนในแก๊สไอเสียแห้ง (volume%)

CO คือ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สไอเสียแห้ง (volume%)

N_2 คือ ปริมาณไนโตรเจนในแก๊สไอเสียแห้ง (volume%)

A_0 คือ ปริมาณอากาศต่อหน่วยเชื้อเพลิงในทางทฤษฎี (m^3/kg)

$$\text{สามารถคิดได้จาก } A_0 = \frac{1}{100} [8.89c_1 + 26.7 \left(h - \frac{0}{8} \right) + 3.3s]$$

2. ความร้อนสูญเสียจากไอน้ำหรือน้ำที่เป่าเข้าไปในหม้อน้ำ (L_2)

ในกรณีที่มีการใช้ไอน้ำในพ่นฝอยเชื้อเพลิง ใช้ไอน้ำที่เป่าเข้าไปในหม้อน้ำเพื่อทำความสะอาด ใช้ไอน้ำในการอุ่นอากาศ หรือน้ำร้อนที่เป่าเข้าไปในหม้อน้ำ เป็นต้น ความร้อนสูญเสียจากไอน้ำหรือน้ำที่เป่าเข้าไปในหม้อน้ำหาได้จาก

$$L_2 = W_b(h_g - h_s) \text{ kcal/kg(or } m^3) \quad (2.4)$$

โดยที่ L_2 คือ ความร้อนสูญเสียจากไอน้ำหรือน้ำที่เป่าเข้าไปในหม้อน้ำ

W_b คือ ไอน้ำหรือน้ำร้อนที่เป่าเข้าไปในหม้อน้ำต่อเชื้อเพลิง 1 kg หรือ $1 m^3$ ($kg/kg(m^3)$)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- h_g คือ เอนทาลปีของไอน้ำ ณ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (kcal/kg)
 h_s คือ เอนทาลปีของไอน้ำหรือน้ำ ที่อุณหภูมิอ้างอิง (kcal/kg)

3. ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (L_3)

เป็นความร้อนสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากยังมีเชื้อเพลิงบางส่วนไม่สามารถปลดปล่อยพลังงานออกมาได้เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ตัวแปรที่บ่งบอกถึงความร้อนสูญเสียนี้คือการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide : CO) ในก๊าซไอเสียหาได้จาก

$$L_3 = 126.1[G_0 + (m - 1)A_0](CO) \text{ kcal/kg(or } m^3) \quad (2.5)$$

- โดยที่ L_3 คือ ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์
 G_0 คือ ปริมาณก๊าซไอเสียแห้งทางทฤษฎี (m^3/kg)
 m คือ อัตราส่วนของอากาศส่วนเกิน
 A_0 คือ ปริมาณอากาศแห้ง (m^3/kg)
(CO) คือ ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซไอเสียแห้ง (% by volume)

4. ความร้อนสูญเสียจากเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมดในซีเ็ก้า (L_4)

ความร้อนสูญเสียจากเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด คิดเฉพาะปริมาณของธาตุ คาร์บอน (Carbon : C) ที่หลงเหลือจากการสันดาปปรากฏอยู่ในซีเ็ก้าหาได้จาก

$$L_4 = 339c_2 \text{ kcal/kg(or } m^3) \quad (2.6)$$

- โดยที่ L_4 คือ ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์
 c_2 คือ $au / (100 - u)$ ปริมาณของคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด mass wet basis (%)
 a คือ ปริมาณซีเ็ก้าในเชื้อเพลิง mass wet basis (%)
 u คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมดในกากที่เหลือจากการเผาไหม้ mass wet basis (%)

5. ความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสี (L_5)

ความร้อนสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวเตาของหม้อไอน้ำออกไปสู่อากาศภายนอกซึ่งปริมาณการความร้อนสูญเสียจะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ผิวของผิวเตาของหม้อไอน้ำและคุณสมบัติของฉนวนที่ใช้หุ้มผนังหาได้จาก

$$L_{5h} = \frac{1}{100} l_{rh} H_h = L_5 = \frac{1}{100} l_r H_l \text{ kcal/kg(or } m^3) \quad (2.7)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยที่ L_{5h} คือ ความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสีจากตัว หม้อน้ำอ้างอิงค่าความร้อนเชื้อเพลิงทางสูง (High calorific value)

L_l คือ ความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสีจากตัวหม้อน้ำคิดเป็นร้อยละ อ้างอิงค่าความร้อนเชื้อเพลิงทางต่ำ (Low calorific value)

L_{lh} คือ ความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสีจากตัวหม้อน้ำคิดเป็นร้อยละอ้างอิงค่าความร้อนเชื้อเพลิงทางสูง (High calorific value)

H_l คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงทางต่ำ (Low calorific value) ฐานเปียก

H_h คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงทางสูง (High calorific value) ฐานเปียก

6. ความร้อนสูญเสียอื่น ๆ

เป็นความร้อนสูญเสียนอกเหนือจากที่กล่าวมา ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของสถานที่ทำงานกับการกำหนดของผู้ดูแล ความร้อนสูญเสียอื่นๆ เช่น ความร้อนสูญเสียจากการโบล์ดวาร์น

2.2.11.6 การคำนวณความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสี (L_5) โดยใช้โปรแกรม 3E-plus ประกอบ

เนื่องจากสมการคำนวณความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสี (L_5) ของมาตรฐาน JIS มีตัวแปรบางตัวที่ไม่สามารถทราบค่าได้จึงได้มีการปรับเปลี่ยนการคำนวณเป็นแบบใช้โปรแกรม 3E-plus ประกอบโดยโปรแกรม 3E-plus เป็นโปรแกรมสำหรับการจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่ช่วยในการหาการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายรวมทั้งความหนาของฉนวนที่คุ้มค่า ในโปรแกรมยังสามารถคำนวณความร้อนสูญเสียต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของหม้อน้ำได้จากอุณหภูมิผิวหม้อน้ำอีกด้วย โปรแกรมนี้จัดทำขึ้นจาก North American Insulation Manufacturers Association (NAIMA) ซึ่งมีความน่าเชื่อถือ ความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสีหาได้จาก

$$Q_c = \Sigma[QA(10)^{-6}] \text{ MW} \quad (2.9)$$

$$L_5 = Q_c(859845.228)(1000m)^{-1} \text{ kcal/kg} \quad (2.10)$$

โดยที่ L_5 คือ ความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสี (kcal/kg)

Q_c คือ ความร้อนสูญเสียของพื้นที่หม้อน้ำทั้งหมด (MW)

Q คือ ความร้อนสูญเสียต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของหม้อน้ำ (W/m^2)

A คือ พื้นที่แต่ละด้านของหม้อน้ำ (m^2)

m คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/h)

การคำนวณเริ่มจากนำค่าอุณหภูมิผิวหม้อน้ำที่วัดได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนนำมาใส่ในโปรแกรม 3E-plus เพื่อคำนวณหาความร้อนสูญเสียต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของหม้อน้ำ Q_c และนำมาคูณกับพื้นที่ของหม้อน้ำที่ระบุไว้ตามข้อมูลจำเพาะของหม้อน้ำได้ออกมาเป็นความร้อนสูญเสียต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของหม้อน้ำ Q เสร็จแล้วแปลงหน่วยเอกสารนี้ได้ค่าความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสี L_5 งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

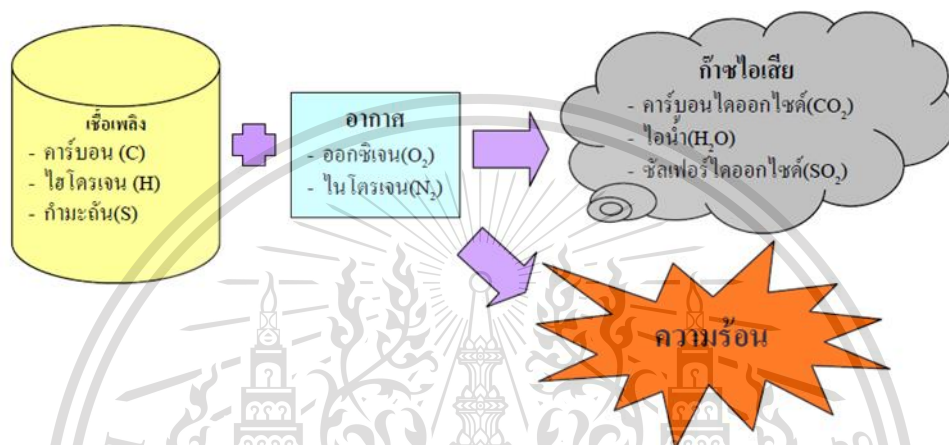
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.12 ทฤษฎีการเผาไหม้

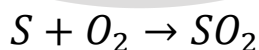
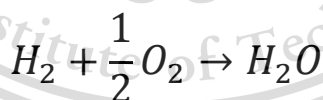
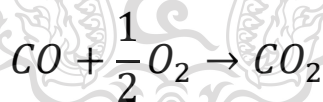
การเผาไหม้คือ กระบวนการปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนที่มีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะให้ผลผลิตเป็นพลังงานความร้อนกับก๊าซไอเสียออกมา ซึ่งพลังงานความร้อนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่น ใช้ผลิตไอน้ำในหม้อไอน้ำ องค์ประกอบสำหรับการเผาไหม้มี เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมี โดยองค์ประกอบทั้งหมดนี้ต้องเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ รูปที่ 2.29 แสดงหลักการเบื้องต้นของกระบวนการเผาไหม้



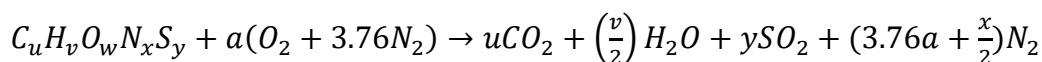
รูปที่ 2.30 หลักการเบื้องต้นของกระบวนการเผาไหม้

2.2.12.1 สมการการเผาไหม้ทางทฤษฎี

ในทางทฤษฎีของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านหินที่สมบูรณ์ องค์ประกอบของธาตุในถ่านหินที่ทำปฏิกิริยากับอากาศจะประกอบไปด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ซัลเฟอร์ (S)



เมื่อนำสมการเคมีของเชื้อเพลิงถ่านหินกับอากาศมาเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้สมบูรณ์จะเกิดเป็นการเผาไหม้แบบสมมูล (Stoichiometric) คือการเผาไหม้สมมูลทางทฤษฎีที่มีอัตราส่วน ผสมระหว่าง ออกซิเจนและเชื้อเพลิง โดยออกซิเจนจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเชื้อเพลิงได้หมดพอดี มีสมการตามนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อ $a = u + \left(\frac{v}{4}\right) - \left(\frac{w}{2}\right) + y$
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ทดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง (Air-Fuel Ratio)

ในการเผาไหม้แบบสโตยคิโอเมตริก (Stoichiometric) ต้องใช้ปริมาณอากาศจำนวน 14.7 kg ต่อเชื้อเพลิง 1 kg จึงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้สมบูรณ์ ซึ่งจะเรียกว่าปริมาณอากาศนี้เป็นปริมาณอากาศใช้เผาไหม้ตามทฤษฎี

$$(A/F)_{stoi} = m_{air} : m_{fuel} = 14.7 : 1$$

ในการเผาไหม้จริง หากป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ในปริมาณที่พอดีกับค่าทางทฤษฎีแล้ว เป็นการยากที่จะทำให้ออกซิเจนทุกตัวพบกับธาตุต่างๆ ในเชื้อเพลิงได้หมดและทั่วถึงกัน การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงจึงมี 3 ลักษณะคือ

1. ใช้อากาศส่วนเกินน้อยไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้
2. ใช้อากาศส่วนเกินพอดีเผาไหม้หมด
3. ใช้อากาศส่วนเกินมากเกินไปจนความจำเป็น

อากาศส่วนเกิน (Excess Air)

ในทางปฏิบัติการเผาไหม้จริงจำเป็นต้องป้อนอากาศให้เกินกว่าความต้องการในเชิงทฤษฎี อากาศส่วนนี้เรียกว่าอากาศส่วนเกิน (Excess Air) สามารถหาอัตราส่วนของอากาศส่วนเกิน(Excess Air ratio)ได้ตามสมการ

$$m = \frac{(CO_2)_{stoi}}{(CO_2)}$$

เมื่อ m = อัตราส่วนอากาศ
 CO_2 = ร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซไอเสีย (%)

2.2.13 ก๊าซไอเสีย (exhaust gas)

เป็นก๊าซที่ปล่อยออกมาเนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น แก๊สธรรมชาติ แก๊สโซลีน น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา หรือถ่านหินกับอากาศในหม้อไอน้ำ ก๊าซไอเสียจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศผ่านท่อไอเสียหรือปล่องควัน ก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไอน้ำ (H_2O) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งก๊าซไอเสียบางตัวจะเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) : เป็นก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้สมบูรณ์ก๊าซนี้จะทำให้โลกร้อนขึ้น หรือที่เรียกว่าก๊าซเรือนกระจก
2. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) : เป็นก๊าซที่เกิดเฉพาะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นอันตรายต่อสมองและระบบประสาท ถ้าได้รับก๊าซพิษนี้ในปริมาณสูงจะทำให้เสียชีวิตได้
3. ก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) : เป็นก๊าซที่เกิดจากเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ มีผลให้เกิดฝนกรด ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ป่าไม้ แหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตและมีฤทธิ์กัดกร่อนอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในเชิงการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำเนื้อหาแต่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

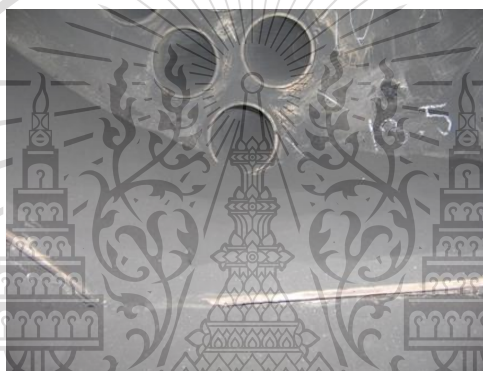
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) : เกิดจากการเผาไหม้ที่ใส่ก๊าซออกซิเจนเข้าเผาไหม้มากเกินไป ก๊าซนี้จะทำให้เกิดฝนกรด หรือเกิดเป็นก๊าซยาสลบได้

2.2.14 เเขม่าและตะกรัน (Soot and Slug)

เเขม่า (Soot)

กลุ่มของอนุภาคคาร์บอนที่อยู่ในสถานะของแข็งเป็นผลจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Unburnt Carbon) ของไฮโดรคาร์บอน ยึดเกาะกันอยู่ภายในห้องเผาไหม้และท่อของหม้อไอน้ำ เเขม่าจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีเชื้อเพลิงผสมหนา (Rich Combustion) ขณะเผาไหม้ ละอองของคาร์บอนเหล่านี้เมื่อรวมตัวเกาะกันเป็นก้อนคาร์บอนและมีสถานะเป็นของแข็งจะมีขนาดตั้งแต่ 10 ถึง 80 นาโนเมตร เมื่อเขม่ามากขึ้นอุณหภูมิไอเสียที่ออกปล่องจะสูงขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียความร้อนออกทางปล่องมากขึ้น โดยทั่วไปเขม่าที่หนาขึ้น 1 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 15-20 %



รูปที่ 2.31 เเขม่าในหม้อไอน้ำ

ตะกรัน (Slug)

เกิดจากน้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำมีส่วนผสมของแร่เช่น ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และซิลิกา ละลายอยู่ ซึ่งธาตุทั้งสองชนิดนี้จะตกผลึกและสะสมพอกพูนขึ้นตามขอบผนังของหม้อไอน้ำขอบท่อหนาขึ้นเรื่อย ๆ คล้ายกับหินปูน ซึ่งตะกรันทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลงทำให้ท่อน้ำ วาล์วและข้อต่ออุดตันได้ และท่อมีความร้อนสูงสะสมสูงขึ้นอีกทั้งตะกรันยังทำให้น้ำในหม้อไอน้ำมีความเป็นกรดเกิดการกัดกร่อนได้ โดยทั่วไปตะกรันที่หนาขึ้นทุกๆ 1 มิลลิเมตร จะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 2 %



รูปที่ 2.32 ตะกรันในหม้อไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดแก้ไขเนื้อหาหรือแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.15 ชี้เถ้า (Ash)

เถ้าถ่านหินที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ (Non Combustible Residue) เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาไหม้ของถ่านหินในหม้อไอน้ำ เมื่อให้ไอร้อนแล้วถ่านหินส่วนที่เหลือจะเปลี่ยนสภาพสถานะเป็นชี้เถ้า ชี้เถ้าที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- ชี้เถ้าหนัก (Slag ,Wet Ash)

ชี้เถ้าประเภทนี้จะมือน้ำหนักพอที่จะตกลงไปที่บริเวณด้านล่างของ Boiler ซึ่งจะมีภาคน้ำรองรับอยู่และภาคน้ำจะทำหน้าที่ป้องกันอากาศภายนอกไม่ให้รั่วไหลเข้ามายังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ชี้เถ้าที่ตกมาจะมีอุณหภูมิลดลง ลำเลียงผ่านอุปกรณ์ลำเลียงไปที่ภายนอก

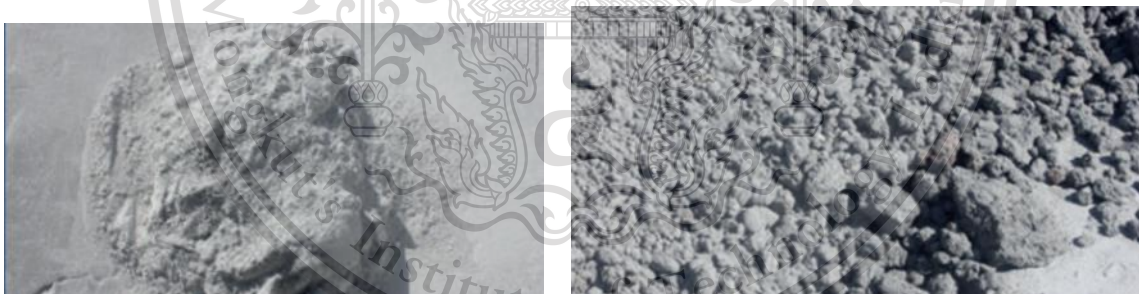
- ชี้เถ้าเบาหรือชี้เถ้าลอย (Fly Ash, Dry Ash)

ชี้เถ้าประเภทนี้จะลอยขึ้นไปตามการดูดของพัดลมดูดอากาศทางด้านบนของเตาโดยชี้เถ้าเบาและไอเสียบางส่วนที่เหลือออกจากหม้อไอน้ำจะถูกดูดผ่านอุปกรณ์ดักจับฝุ่นแบบ กระแสไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator: ESP) ลำเลียงไปเก็บ

หรือแบ่งออกตามส่วนประกอบได้ 2 ชนิด

1. Adventitious Mineral Matter : ประกอบด้วยสารจำพวกดินเหนียว(Clay) , หินดินดาน (Shale) , แคลไซต์ (Calcite) , ไพไรต์ (Pyrite), มาร์คไซต์ (Marcasite) หรือองค์ประกอบอื่นในรูปแบบของ Inorganic Sulphate , Chlorides

2. Fluorides Inherent Ash : เกิดจากจับตัวของสารอินทรีย์ (Organic)และสารอนินทรีย์ (Inorganic) ในเนื้อของถ่านหิน



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.33 ประเภทชี้เถ้า (ก) ชี้เถ้าหนัก (Slag, Wet-ash) (ข) ชี้เถ้าลอย (Fly ash)

2.2.16 การระบายน้ำจากหม้อไอน้ำ (Blowdown)

เนื่องจากน้ำมีสารแขวนลอยและแร่ธาตุเจือปนอยู่ เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำแล้ว ทำให้สารเจือปนในน้ำเกิดการตกตะกอน ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลงและอุปกรณ์เสียหายได้ จึงจำเป็นต้องมีการระบายน้ำร้อนที่ใช้งานออกจากหม้อไอน้ำผ่านระบบโบล์ดาวน์เพื่อป้องกันปัญหา โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ระบายออกจะมีปริมาณไม่เกิน 5% ของน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ การระบายน้ำจากหม้อไอน้ำเป็นการสูญเสียความร้อนในรูปแบบเอกสหนึ่งเนื่องจากน้ำร้อนที่ระบายออกไปมีพลังงานความร้อนอยู่ชานาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- การระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำสามารถระบายได้ 2 ตำแหน่ง
- 1. การระบายน้ำจากด้านล่าง (Bottom Blowdown) : เพื่อระบายตะกอนโคลนที่สะสมบริเวณก้นหม้อไอน้ำทิ้ง
- 2. การระบายน้ำจากด้านบน (Surface Blowdown) : เพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายและสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ
- สำหรับการควบคุมการระบายน้ำแบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้
- 1. แบบเป็นครั้งคราว : เปิดการทำงานของวาล์วด้วยมือ หลายๆ ครั้ง
- 2. แบบต่อเนื่อง : วาล์วจะทำงานตามสัญญาณที่ส่งมาอย่างต่อเนื่อง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

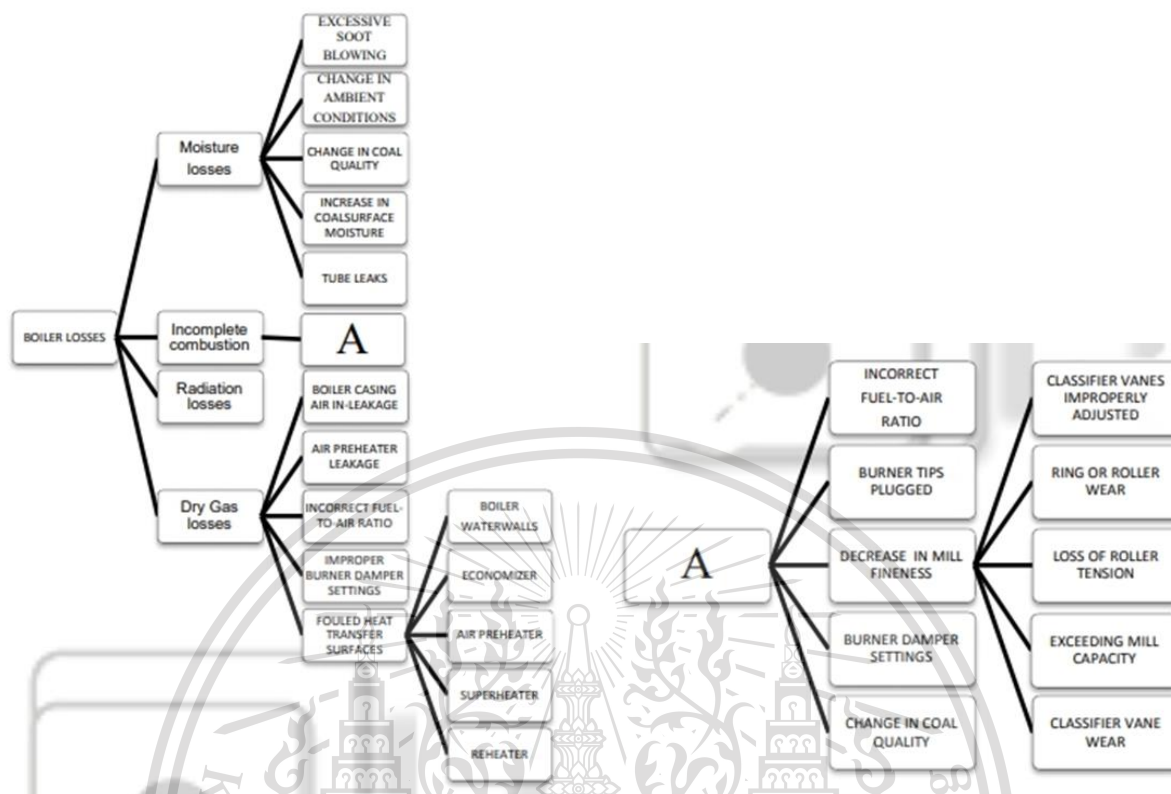
2.4.1. Virendra Nagar, Dr. V. K. Soni, Dr. V. K. Khare[2013]

งานวิจัยนี้เสนอเกี่ยวกับการพัฒนาค่าประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำ ใน Vindhya chal ประเทศอินเดีย โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ Boiler efficiency , Fault Tree Analysis (FTA) , Maintenance โดยหัวข้อแรก Boiler efficiency มีการจำแนกประเภทของวิธีคิดประสิทธิภาพเป็น วิธีคิดทางตรง และวิธีคิดทางอ้อม โดยวิธีทางอ้อมมีข้อมูลที่ใช้คำนวณ และวิธีคำนวณ ได้เป็นค่าประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ ในส่วนที่สอง Fault Tree Analysis (FTA) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ เปรียบเทียบการสูญเสียความร้อนในรูปแบบต่างๆ และวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนผัง เพื่อให้ได้เห็นปัญหาที่ชัดเจน ใช้เป็นแนวทางในการวางแผนซ่อมบำรุงต่อไป ในส่วนสุดท้าย Maintenance เมื่อเห็นปัญหาที่ชัดเจนแล้ว จึงมีการวางแผนแก้ปัญหา เป็นขั้นต่อขั้น เพื่อลดการสูญเสียความร้อน โดยสรุปแล้วงานวิจัยนี้มุ่งที่จะหาการสูญเสียความร้อนโดยสามารถจำแนกออกมาเป็น ส่วนๆ พร้อมทั้งหาสาเหตุในการเกิดการสูญเสีย พร้อมหาวิธีแก้ปัญหา โดยคาดว่า การปฏิบัติที่ถูกต้องจะสามารถเพิ่มค่าประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.34 Fault Tree Analysis (FTA)

2.4.2 David A.T. Rodgers, P.E ,Timothy Golightly , Fred D. Lang, P.E. [2011]

งานวิจัยนี้เสนอเกี่ยวกับการเปรียบเทียบการคิดค่าประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำระหว่างวิธีคิดสมดุลพลังงานและวิธีคิดสัดส่วนระหว่างการป้อนเข้าส่วนการสูญเสีย โดยอ้างอิงมาตรฐานของ ASME(The American Society of Mechanical Engineers) และใช้ข้อมูลจาก เตาถ่านหินบอร์คแมน ใน รัฐโอริกอน สหรัฐอเมริกา ในการคำนวณและวิเคราะห์ ยกกรณีตัวอย่าง พร้อมทั้งเปรียบเทียบเชื้อเพลิงระหว่างถ่านหินและน้ำมัน พบว่าวิธีสมดุลพลังงานนั้นมีความอรรถประโยชน์ในการเลือกใช้แต่จำเป็นต้องมีการปรับแต่งให้เหมาะสมกับรูปแบบงานที่เลือกใช้ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล ในส่วนของวิธีคิดสัดส่วนระหว่างการป้อนเข้าส่วนการสูญเสีย เหมาะสำหรับการหาคำตอบสัมบูรณ์โดยใช้ Exergetic System

2.4.3 คู่มือการใช้งานและการดูแลรักษาหม้อน้ำ,กรมโรงงานอุตสาหกรรม[2010]

หนังสือเล่มนี้ให้ความรู้เกี่ยวกับพื้นฐานของหม้อน้ำ เช่น ชนิดของหม้อน้ำโครงสร้างของหม้อน้ำโดยละเอียดในแต่ละประเภท ความแตกต่าง วิธีการเลือกใช้งานตามความเหมาะสมของความต้องการในโรงงานทั้งการเลือกใช้อุปกรณ์เสริมเพื่อลดปัญหาหรือเพิ่มประสิทธิภาพในกรณีต่างๆ อธิบายการทำงานของระบบต่างๆในตัวหม้อต้มไอน้ำ

การปฏิบัติในการใช้หม้อน้ำในสถานการณ์ต่างๆ เช่น ก่อนเดินเครื่อง ระหว่างเดินเครื่อง และสถานการณ์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การบำรุงรักษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อน เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับหม้อน้ำในภายหลังจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำอยู่เสมอ เช่นปัญหา การเกิดตะกอนในท่อ น้ำ จำเป็นต้องมีการป้องกันให้ไม่ยุ่งยากในภายหลัง

ประเภทของเชื้อเพลิง ไม่ว่าจะเป็นชนิดแข็ง ชนิดเหลว และชนิดแก๊ส การเลือกใช้เชื้อเพลิงให้ดูตามความเหมาะสมของงาน

การปรับแต่งหัวเผา เพื่อลดมลพิษ และลดความสูญเสียเชื้อเพลิงโดยไม่จำเป็น ทำให้เกิดความสมดุลในรูปแบบต่างๆ มีการยกกรณีตัวอย่างเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

กฎหมายเกี่ยวกับการใช้หม้อต้มไอน้ำโดยแบ่งเป็น กฎหมายความปลอดภัย โดยครอบคลุม คำนิยามของหม้อไอน้ำ การออกแบบ การผลิต การตรวจสอบ การติดตั้ง การใช้งาน การซ่อมแซมตัดแปลง การยกเลิกใช้งาน คุณสมบัติบุคลากร การจัดอบรม สอบมาตรฐาน ความปลอดภัยและสวัสดิการของแรงงาน

กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อควบคุมมลพิษ และสารเคมีที่เจือปนในของเสียที่ปล่อยออกจากโรงงาน มีการกำหนดค่าที่ยอมรับได้ ไม่เป็นผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและธรรมชาติ

2.4.4 Bureau of Energy Efficiency งานวิจัยนี้เป็นการคำนวณที่อ้างอิงจากมาตรฐานของทั้ง ASME Standards, British Standards(BS), Indian Standards(IS) ในการหาค่าประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำแบบวิธีคิดทางอ้อมโดยใช้เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิง

Unit Load	=	210MW
Steam Flow	=	615 T/hr
Total Coal Flow	=	140 T/hr
Wet Bulb Temp	=	24 °C
Dry bulb Temp	=	30 °C
%CO ₂ in Flue gas	=	14.3
%CO in flue gas	=	0.5
Average flue gas temperature	=	180 °C
Ambient temperature	=	30 °C
Humidity in ambient air	=	0.014 kg/ kg dry air
Carbon in Ash / kg of coal	=	0.002 kg/kg coal
Ratio of bottom ash to fly ash	=	90:10
Fuel Analysis (in %)		
Ash content in fuel	=	40
Moisture in coal	=	12.2
Carbon content	=	39.71
Hydrogen content	=	2.58
Nitrogen content	=	0.76
Oxygen content	=	4.15
Sulphur	=	0.6
GCV of Coal	=	3501 kCal/kg
CV of Carbon	=	8077.8 kCal/kg

รูปที่ 2.35 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.4 ผลการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

Input/Output Parameter	=	kCal / kg of furnace oil	% Loss
Heat Input	=	10000	100
Losses in boiler :			
1. Dry flue gas, L_1	=	786	7.86
2. Loss due to hydrogen in fuel, L_2	=	708	7.08
3. Loss due to Moisture in fuel, L_3	=	3.3	0.033
4. Loss due to Moisture in air, L_4	=	38	0.38
5. Partial combustion of C to CO, L_5	=	0	0
6. Surface heat losses, L_6	=	38	0.38
Boiler Efficiency = $100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_6) = 84.27\%$			

2.4.5 Zetao Wang, Yujiao Gong, Xuedong Jing[2015]งานวิจัยนี้เป็นการคำนวณที่อ้างอิงมาตรฐาน Guabiao standards (GB) ของสาธารณรัฐประชาชนจีน ในการหาค่าประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการตรวจวัด

3.1 อุปกรณ์ตรวจวัด

3.1.1 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Flue gas analyzer)

เป็นเครื่องมือสำหรับวัดไอเสียจากการเผาไหม้ เครื่องวัดนี้จะวัดอุณหภูมิก๊าซไอเสีย วิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกซิเจน (O₂) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO/NO₂)

หลักการทำงาน เมื่อทรานซ์ดิวเซอร์สัมผัสกับก๊าซไอเสีย ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าทำการแปลงค่าความต่างศักย์ไปเป็นข้อมูลตัว เลข กราฟ แล้วแสดงที่หน้าจอแสดงผล

วิธีการใช้เครื่องมือ ตรวจสอบความพร้อมของเครื่องมือก่อนการใช้งาน เมื่อตรวจสอบสภาพภายนอกอย่างครบถ้วนแล้ว ให้ทำการเปิดเครื่องเข้าเมนู Measurement Option เลือกเมนู Flue Gas เลือกชนิดเชื้อเพลิงที่ต้องการวัดองค์ประกอบการเผาไหม้เมื่อเลือกแล้วให้ทำการนำโพรบวัดอุณหภูมิ ติดตั้งเข้ากับปล่องไอเสีย โดยให้ส่วนปลายของโพรบที่มีเซ็นเซอร์ อยู่กึ่งกลางของปล่องไอเสีย แล้วทำการปิดช่องว่างระหว่างปล่องไอเสียกับโพรบเพื่อไม่ให้อากาศหลุดเข้าไปหลังจากนั้นกดปุ่มกลาง (start) อุปกรณ์จะทำการดูดก๊าซไอเสียผ่านโพรบ ปล่องโพรบที่ติดตั้งอยู่กับปล่องไอเสียไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง เมื่อได้ค่าที่ถูกต้องแล้ว ให้ทำการกดปุ่มกลาง (Stop) แล้วทำการบันทึกผลการวัดหลังจากได้ค่าที่ต้องการแล้ว ให้ทำการถอดโพรบที่ติดตั้งกับปล่องไอเสีย แล้วทำการคืนค่าสภาพเดิม (Set Zero) โดยการกด Esc เมื่อเครื่องทำการล้างข้อมูลเดิมเสร็จให้กดปุ่ม Power บริเวณด้านบนของเครื่อง (รอประมาณ 20 วินาที) เครื่องจะปิดอัตโนมัติ หลังจากนั้นให้เก็บเครื่องมือให้อยู่ในสภาพเดิม



รูปที่ 3.1 Testo 330-2LL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 เครื่องวัดความชื้นในอากาศ (Hygrometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความชื้นในอากาศ (Humidity) อุณหภูมิภายนอก (Ambient temperature) และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dew point temperature) มีชิ้นส่วนสำคัญประกอบด้วย ทรานซ์ดิวเซอร์ (Transducer) วงจรไฟฟ้า (Electrical circuit) หน้าจอแสดงผล (display)

หลักการทำงาน ทรานซ์ดิวเซอร์สัมผัสกับอากาศที่มีความชื้นแล้วเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าทำการแปลงค่าเป็นข้อมูลตัวเลขแล้วแสดงขึ้นที่จอแสดงผล

วิธีการใช้เครื่องมือ สํารวจสภาพความพร้อมของเครื่องมือก่อนการใช้งาน กดปุ่มเปิดเครื่องแล้วนำตำแหน่งโพรบให้อยู่ในตำแหน่ง/บริเวณที่จะทำการตรวจวัด ทำการอ่านค่าจากหน้าจอแสดงผล ค่าที่อ่านได้จะเป็นข้อมูลในขณะนั้น หากต้องการข้อมูลสูงสุด-ต่ำสุด ให้ทำการกดปุ่ม Hold Max/Min อุปกรณ์จะทำการตรวจวัดและแสดงผลค่าสูงสุดต่ำสุดในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด หากต้องการเปลี่ยนโพรบเป็นชนิดเรดิโอโพรบ ทำการกดปุ่มล่างสุด (เป็นรูปลงเสาสัญญาณคลื่น) เมื่อตรวจวัดเรียบร้อยแล้วทำการปิดเครื่องและเก็บอุปกรณ์ให้เรียบร้อย



รูปที่ 3.2 Hygrometer Testo 625

3.1.3 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Infrared thermal imaging camera)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิบริเวณพื้นผิววัตถุทำงานโดยอาศัยหลักการแผ่รังสีอินฟราเรดออกจากวัตถุ ซึ่งเป็นการตรวจวัดแบบไม่สัมผัสและไม่มีการทำลายวัตถุ มีชิ้นส่วนสำคัญประกอบด้วย เลนส์ (Lens) ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรด (Infrared detector) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics circuit) และส่วนแสดงผล (Display)

หลักการทำงาน ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรดรับรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุผ่านเลนส์ของเครื่องมือแล้วแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะทำการแปลงข้อมูลที่รับมาจากตัวตรวจจับแล้วนำข้อมูลไปแสดงที่จอแสดงผล โดยจะแสดงข้อมูลในรูปแบบของสี กราฟ ตัวเลข หรือทั้ง 3 แบบ

วิธีการใช้เครื่องมือ สํารวจสภาพความพร้อมของเครื่องมือก่อนการใช้งาน ใส่แบตเตอรี่แล้วกดปุ่มเปิดเครื่อง ทำการตั้งค่าตัวเลือกให้เหมาะสมกับพื้นผิวที่จะทำการตรวจวัด ทำการสแกนบริเวณที่ต้องการตรวจวัดโดยใช้ระบบโฟกัสอัตโนมัติ แล้วปรับเลนส์ให้ได้ระยะโฟกัสที่ภาพชัดเจน โดยให้ระยะจากกล้องกับพื้นผิวที่ต้องการตรวจวัดห่างกันไม่เกิน 40 เซนติเมตร เมื่อได้ระยะและภาพที่เหมาะสมแล้วทำการลั่นไก 1 ครั้ง เพื่อจับภาพถ่าย

ไม่แล้วลั่นไกอีก 1 ครั้ง เพื่อบันทึกภาพ การนำภาพมาใช้นั้นทำโดยนำการ์ดบันทึกข้อมูลไปต่อกับคอมพิวเตอร์ นำไปใช้



รูปที่ 3.3 Infrared imaging thermal camera Testo 882

3.1.4 เครื่องวัดอัลตราโซนิก (Ultrasonic tester)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าอัตราไหลของของเหลว โดยใช้คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic wave) มีชิ้นส่วนสำคัญประกอบด้วย ตัวปล่อยคลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic source) ตัวรับคลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic detector) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics circuit) หน้าจอแสดงผล (Display)

หลักการทำงาน ตัวเครื่องมือตรวจวัดจะทำการปล่อยสัญญาณเหนือเสียงไปกระทบผนังท่อและไปกระทบของเหลวที่กำลังไหล แล้วสัญญาณเหนือเสียงจะสะท้อนกลับมาที่เครื่องรับสัญญาณเหนือเสียง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ จะทำการแปลงค่าสัญญาณแล้วแสดงผลเป็นข้อมูลตัวอักษรบนหน้าจอแสดงผล

วิธีใช้เครื่องมือ สำนวความพร้อมของเครื่องมือก่อนการใช้งาน ทำการติดตั้งเครื่องมือกับท่อที่ต้องการตรวจวัด ต่อสายจากเครื่องมือที่ติดตั้งที่ท่อกับเครื่องตรวจวัด กดปุ่มเปิดเครื่อง ทำการปรับหน่วยที่ต้องการใช้ตรวจวัด ใส่ค่าความหนาของผนังท่อ เลือกชนิดวัสดุของผนังท่อ เลือกชนิดของเหลว กดเริ่มตรวจวัด อ่านค่าที่แสดงบนหน้าจอแสดงผล



รูปที่ 3.4 Ultrasonic tester Micronics Portaflow 216

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.5 เครื่องวัดค่าความเหนี่ยวนำ (Conductivity meter)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า เป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยคุณสมบัติขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของไอออนที่อยู่ในน้ำ และอุณหภูมิของน้ำ ค่านี้ไม่ได้บอกถึงชนิดของสารที่อยู่ในน้ำ บอกเพียงมีปริมาณไอออนที่มากกว่าหรือน้อยกว่าน้ำตัวอย่าง มีชิ้นส่วนสำคัญประกอบด้วย เซ็นเซอร์ (Sensor) อิเล็กโทรดทรงกระบอก (Cond shape electrode) วงจรไฟฟ้า (Electrical circuit) หน้าจอแสดงผล (Display)

หลักการทำงาน เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของสารตัวอย่าง จากการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดทรงกระบอกทั้ง 4 ตัว เมื่อได้ความต่างศักย์ไฟฟ้ามาแล้วก็นำไปแปลงเป็นมาตรวัดตัวเลขเพื่อแสดงผล

วิธีใช้เครื่องมือ สํารวจความพร้อมของเครื่องมือก่อนการนำไปใช้งาน กดปุ่มเปิดเครื่อง เปิดฝาที่ปลายเครื่อง นำน้ำยามาตรฐานหยดที่จุดตรวจวัด กดปุ่ม Cal (Calibration) เมื่อเครื่องตรวจวัดเสร็จก็นำของเหลวที่ต้องการตรวจวัดมาหยดที่จุดตรวจวัด กดปุ่ม MEAS (Measurement) อ่านค่าที่แสดงบนหน้าจอแสดงผล เมื่อตรวจวัดเสร็จแล้วนำไปทำความสะอาดทำให้แห้ง แล้วเก็บใส่กล่อง



รูปที่ 3.5 Conductivity (EC) Meter EC22 Laquatwin

3.1.6 เครื่องวัดค่ากรดเบส (pH meter)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัด มีชิ้นส่วนสำคัญประกอบด้วย อิเล็กโทรด (Electrode) เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า (Volt meter) วงจรไฟฟ้า (Electrical circuit) หน้าจอแสดงผล (Display)

หลักการทำงาน เครื่องวัดค่ากรด-ด่างใช้การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรด แล้วแปลงเป็นข้อมูลตัวเลขแสดงค่า pH

วิธีการใช้เครื่องมือ สํารวจความพร้อมของเครื่องมือก่อนการนำไปใช้งาน กดปุ่มเปิดเครื่อง ถอดฝาที่ปลายเครื่อง ออก ล้างด้วยน้ำที่ปราศจากประจุหรือน้ำกลั่น ใช้ทิชชูซับ แล้วนำน้ำตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบมาหยดลงที่ตำแหน่งจุดตรวจสอบ อ่านค่าที่หน้าจอแสดงผล ปิดฝา แล้วเก็บเครื่องมือให้เรียบร้อย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 pH meter

3.2 เกณฑ์การกำหนดความคลาดเคลื่อน

3.2.1 การตรวจวัด

ในกรณีการหาค่าสัมประสิทธิ์ของหม้อไอน้ำโดยวิธีอินพุท-เอาท์พุทจำเป็นต้องได้ค่าความร้อนอินพุทจากจำนวนเชื้อเพลิงที่ใช้ ค่าความร้อน และค่าความร้อนดูดซับของไอน้ำที่สร้าง

ในขณะที่วิธีความสูญเสียการหาค่าสัมประสิทธิ์หม้อไอน้ำได้จากจำนวนเชื้อเพลิงที่ใช้ค่าความร้อนและความร้อนสูญเสียตามลำดับ

การตรวจวัดค่าต่างๆสามารถจำแนกได้ดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก ควรตรวจวัดอากาศที่จะเข้าหม้อไอน้ำ โดยควรหลีกเลี่ยง แสงอาทิตย์ การแผ่รังสี เพื่อลดความคลาดเคลื่อน

2. เชื้อเพลิง ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามสถานะ ในที่นี้จะกล่าวถึง เชื้อเพลิงแข็งเพียงอย่างเดียว โดยการตรวจวัดควรตรวจวัดก่อนการเผาไหม้ ควรหลีกเลี่ยงการเกิดไอขึ้นหลังการตรวจวัด

ควรเก็บตัวอย่างมาจากแต่ละช่วงเวลาการทดสอบหลายเวลา โดยทั่วไปควรปฏิบัติในขณะระบบสมดุล เมื่อทำการเปรียบเทียบควรมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 1.5

3. น้ำป้อน

3.1 ปริมาณน้ำป้อนควรใช้ถึงน้ำที่มีมาตรวัดบอกปริมาตรของน้ำป้อนและมีเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำป้อน โดยควรมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 1

3.2 อุณหภูมิน้ำป้อน ควรวัดขณะที่ป้อนน้ำเข้าและป้อนน้ำออกจากอีโคโนไมเซอร์ หากไม่ได้ติดตั้ง ควรวัดขณะที่ป้อนน้ำเข้าหม้อไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. อากาศเผาไหม้

4.1 ปริมาณอากาศเผาไหม้ โดยทั่วไปแล้วสามารถคำนวณได้จากองค์ประกอบของเชื้อเพลิง และองค์ประกอบของแก๊สเผาไหม้ และควรตรวจวัดที่จุดออกของพัดลมโดยใช้โอริฟิส, พิทอทิวป์หรือเครื่องมือที่คล้ายกัน ถ้ามีการติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศควรตรวจวัดที่จุดออกของเครื่องอุ่นอากาศ

4.2 อุณหภูมิอากาศก่อนให้ความร้อน ควรวัดขณะที่เข้าและออกจากเครื่องอุ่นอากาศ

5. ปริมาณไอที่ใช้ในการให้ความร้อนเชื้อเพลิงหรือเป่าเข้าเตาเผา ซึ่งใช้ในการเป่าเข้าเตาเพื่อให้ความร้อนแก่เชื้อเพลิง วัดโดยการใช้ฟลูว์มิเตอร์

6. ไอที่เกิดจากการผลิต

6.1 ปริมาณไอผลิต สามารถคำนวณได้จากจำนวนของน้ำป้อนเมื่อติดตั้งฟลูว์มิเตอร์แล้วค่าที่วัดได้ควรเปรียบเทียบกับค่าจากเอกสารอ้างอิง

6.2 อุณหภูมิของไอร้อนยิ่งยวดและอากาศอุ่น ควรวัดในที่ใกล้กับจุดออกของไอน้ำมากที่สุด ถ้ามีการติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ณ จุดออกของอากาศ ควรตรวจวัด ณ หลังเครื่องควบคุมอากาศ

6.3 ความดันไอ ไออิมตัวควรวัดความดันที่จุดถึงเก็บน้ำ (drum) ของหม้อไอน้ำหรือจุดที่สมดุลในส่วนของไอร้อนยิ่งยวดและไออากาศอุ่นควรวัดในจุดเดียวกันกับที่วัดอุณหภูมิโดยค่าความสูงอ้างอิงระหว่างจุดที่วัดกับที่อยู่ของมาตรวัดความดัน โดยค่าความดันที่ได้ควรสอดคล้องกับระดับน้ำในท่อเชื่อมต่อ

6.4 ความแห้งไอ ความแห้งของไออิมตัว ควรวัดที่จุดออกจากถังเก็บน้ำ (drum) หรือจุดสมดุลโดยใช้แคลอรีมิเตอร์

7. แก๊สไอเสีย

7.1 อุณหภูมิแก๊สไอเสีย ควรวัดที่จุดออกของหม้อไอน้ำหม้อสุดท้าย จุดออกและจุดเข้าของซูเปอร์ฮีทเทอร์ เครื่องอุ่นอากาศ อีโคโนไมเซอร์

7.2 การตรวจสอบตัวอย่างแก๊สไอเสียและทดสอบทางเคมี แก๊สไอเสียควรเก็บตัวอย่างจากจุดออกของอีโคโนไมเซอร์ ในกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งให้เก็บตัวอย่างที่จุดออกของหม้อไอน้ำหลัก

8. ความดันระเบิด

8.1 ความดันระเบิด(ความดันสถิตย์) ควรวัดขณะที่เปิดพัดลมโดยใช้ระดับน้ำวัดความดัน

8.2 ความดันแก๊สไอเสีย วัดในที่ออกของแก๊สไอเสียที่เครื่องให้ความร้อนสุดท้ายโดยใช้ ระดับน้ำวัดความดัน

9. สารตกค้างจากการเผาไหม้

9.1 ปริมาณของสารตกค้างคำนวณได้จากจำนวนของเชื้อเพลิงที่ใช้ หรือ ชี้อัดที่ได้จากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง

9.2 ตัวอย่างของสารตกค้างเผาไหม้และการวัดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หาได้จากการเก็บตัวอย่างชี้อัดเพื่อทำการทดสอบ

10. ระยะเวลาของการตรวจวัด

10.1 ความดันและอุณหภูมิของไอน้ำและอุณหภูมิของน้ำป้อนใช้เวลาประมาณ 10-30 นาที

10.2 อัตราการไหลของน้ำป้อนและเชื้อเพลิงใช้เวลาประมาณ 5-30 นาที

10.3 ความดันและอุณหภูมิอากาศและแก๊สไอเสียใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขได้ ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

10.4 การเก็บตัวอย่างแก๊สไอเสียใช้เวลาประมาณ 30 นาที

ความแปรปรวนของการวัดค่า

- โดยปริมาตรของไอผลิตมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของค่าเฉลี่ย
- โดยความดันของไอคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 6 ของค่าเฉลี่ย

3.3 ขั้นตอนการตรวจวัดและแผนการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

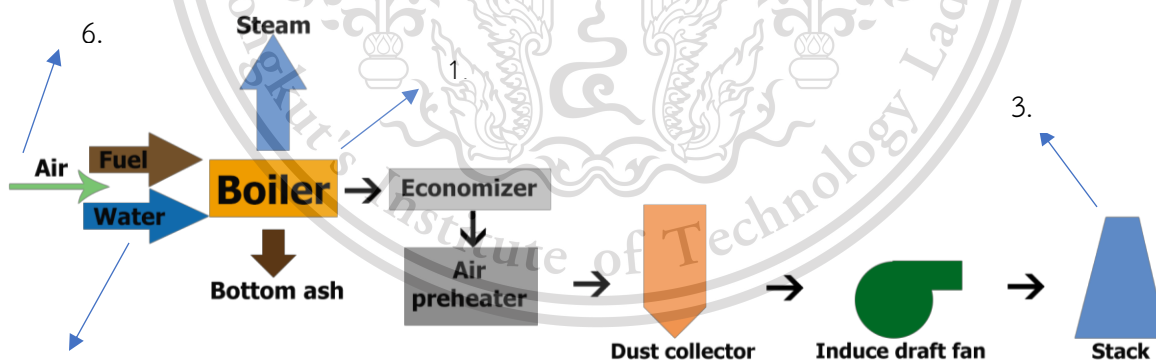
3.3.1 ขั้นตอนการตรวจวัดส่วนการผลิตไอน้ำ

1. ตรวจวัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ
2. ตรวจวัดความดันไอน้ำที่ใช้งาน
3. ตรวจวัดการผลิตไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิตได้ต่อชั่วโมง
4. ตรวจวัดก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำเพื่อดูประสิทธิภาพการเผาไหม้
5. ตรวจวัดคุณภาพน้ำป้อนและน้ำโบลด์วอร์น
6. ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำป้อน
7. ตรวจวัดอัตราการโบลด์วอร์น
8. ตรวจวัดสภาพนวนหม้อไอน้ำ

3.3.2 ขั้นตอนการตรวจวัดส่วนระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ

1. ตรวจวัดสภาพนวนท่อส่งไอน้ำ
2. ตรวจวัดการรั่วไหลของไอน้ำ

3.3.3 แผนการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ



2. 4. 5.

1. Thermal imaging camera
2. Ultrasonic flow meter
3. Flue gas analyzer
4. Conductivity meter
5. pH meter
6. Humidity meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

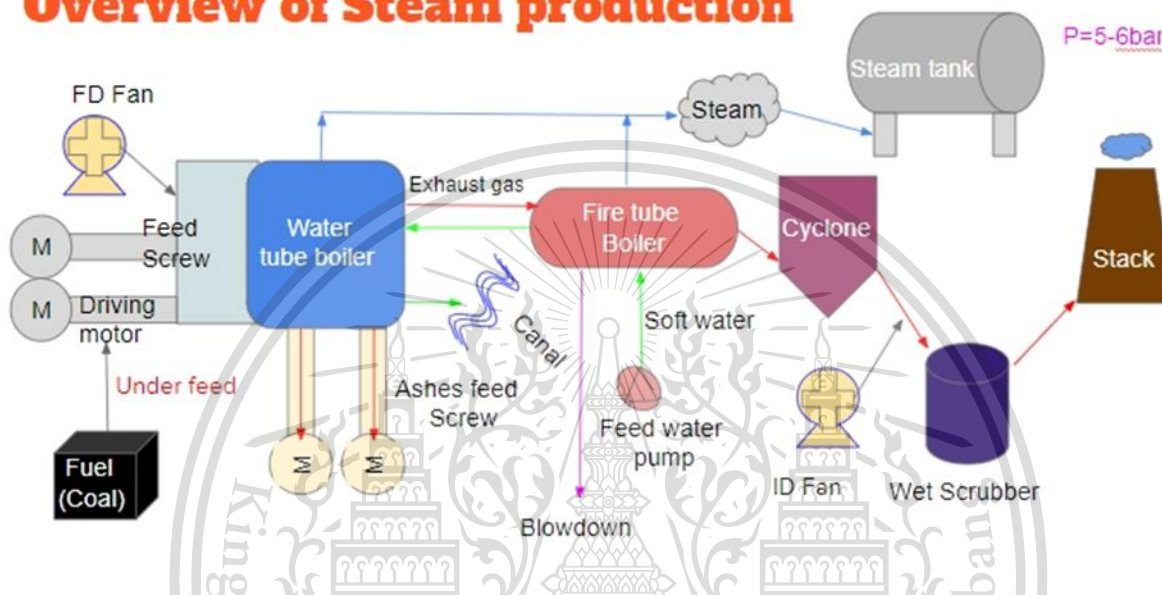
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ในโรงงาน

Overview of Steam production



รูปที่4.1 โครงสร้างระบบหม้อไอน้ำ

4.1.1 หม้อไอน้ำ

ระบบหม้อไอน้ำของโรงงานเป็นหม้อไอน้ำแบบผสม(Hybrid)เป็นหม้อไอน้ำดัดแปลงมาจากหม้อไอน้ำแบบท่อไฟยี่ห้อ Getabec Kessel และเพิ่มหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำในภายหลังโดยป้อนเชื้อเพลิงเป็นถ่านหินเข้าด้านใต้ (Under feed) ที่หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ ผ่านหม้อไอน้ำแบบท่อไฟตามลำดับมีขนาดมีอัตราการผลิตไอที่ 5000 kg/h ออกแบบความดันสูงสุดไว้ที่10bargมีอายุการใช้งาน19ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่4.2 หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ



รูปที่4.3 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

มีการสูบน้ำขึ้นมาจากคลองผ่านถังทรายเพื่อกรอง เข้าสู่ถังเรซิน มีการป้อนน้ำเกลือเพื่อล้างเรซิน ก่อนจะป้อนสารเคมีและเก็บไว้ในถังเก็บน้ำใช้ป้อนใช้ในหม้อไอน้ำต่อไป

Overview of water treatment



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.5 ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ (ถังทราย, ถังเรซิน, ถังน้ำเกลือจากซ้ายไปขวา) ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่4.6 ถังเก็บน้ำป้อน

4.1.3ระบบเก็บขี้เถ้า

มีตำแหน่งปล่อยขี้เถ้าหนัก(Bottom Ash)บริเวณด้านใต้ของหม้อไอน้ำทอน้ำโดยใช้กำลังมอเตอร์2ตัวขับเคลื่อนออกมา และขี้เถ้าลอย (Fly Ash) ผ่านท่อไอเสียเข้า Cyclone และเข้าสู่ Wet scrubber ก่อนออกสู่ Stack



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่4.7 ระบบเก็บขี้เถ้าหนัก ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 wet scrubber

4.1.4 ระบบน้ำป้อน

ปั้มน้ำรับน้ำมาจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อนโดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ตัว ขับเข้าทางด้านใต้ของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ



รูปที่ 4.9 ระบบน้ำป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.5 Blowdown

มีการBlowdown จำนวน2ครั้งต่อชั่วโมง



รูปที่4.10 Blowdown

4.1.6 เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นถ่านหินประเภทซบิพูมินัสใช้ในปริมาณเฉลี่ย 7500kg/day ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนผ่านสายพานไปสู่ระบบและใช้มอเตอร์2ตัว ขับถ่านหินเข้าทางด้านใต้ของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ(Under feed)เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตต่อไป



รูปที่4.11 แหล่งเก็บถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่องค์กรหรือหน่วยงานอื่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่4.12 สายพาน



รูปที่4.13 มอเตอร์ขับเคลื่อนหินเข้าสู่หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 การตรวจวัด

4.2.1 การตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อน้ำและองค์ประกอบเชื้อเพลิง

โรงงานแห่งนี้มีการใช้หม้อน้ำแบบผสม (Hybrid) ซึ่งใช้เชื้อเพลิงแข็งถ่านหินซับบิทูมินัส มีการจ่ายเชื้อเพลิงจากห้องเก็บเชื้อเพลิงลำเลียงมาตามรางดังแสดงในรูป 4.14 และมีการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยสกรูพืดเตอร์ (Screw Feeder) ดังแสดงในรูป 4.13 เข้าไปในห้องเผาไหม้ ลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงเป็นป้อนเข้าด้านล่าง (Under feed) การตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จะอ้างอิงและคำนวณจากเอกสารบันทึก (Log Sheet) ดังแสดงในรูป 4.15 ส่วนองค์ประกอบเชื้อเพลิงจะทำการตรวจวัดโดยการเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงส่งไปตรวจสอบที่ห้องปฏิบัติการทดสอบที่ได้รับการรับรองตาม มอก. 17025 เนื่องจากโรงงานแห่งนี้มีใบผลการตรวจวัดองค์ประกอบเชื้อเพลิงแบบ Proximate Analysis ดังแสดงในรูป 4.16 อยู่จึงอ้างอิงผลจากใบตรวจวัดแล้วนำไปแปลงเป็นองค์ประกอบเชื้อเพลิงแบบ Ultimate Analysis



รูปที่ 4.14 ห้องเก็บเชื้อเพลิงและรางลำเลียง

 A photograph of a large, multi-page log sheet titled 'Isowall' and 'บันทึกการเดินเครื่องของหม้อน้ำ'. The sheet contains a detailed table with many columns and rows, likely recording operational data for a boiler. The table has a header section with various parameters and a main body of data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมด ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 4.15 Log Sheet บันทึกการเดินเครื่องของหม้อน้ำ เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



Report No: MIN 2021-2008256 - 001

BANGKOK: March 18, 2021

ANALYSIS REPORT

We determined the analysis results as per the request of ASIA GREEN ENERGY PUBLIC COMPANY LIMITED which Hand Sample was submitted to our laboratory by applicant on March 16, 2021 and we hereby report as under;

Sample designated as : Coal
Applicant's marks/references : บริษัท 1โทแมสสันเบอร์ จำกัด
VTR-044 รอบวันที่ 1-16 มีนาคม 2564

The analysis results (our reference Sample No. 21-2008256 /1) were found by our laboratory.

Moisture and Quality Results

The analysis results were found by our laboratory as follows:-

No	Descriptions	Standard/Method	As received basis	As determined basis
1	Total Moisture	ASTM: D3302M-17	33.11 %	- %
2	Moisture	ASTM: D7582-15	- %	10.10 %
3	Ash Content	ASTM: D7582-15	2.25 %	3.02 %
4	Volatile Matter	ASTM: D7582-15	34.16 %	45.91 %
5	Fixed Carbon	By Calculation	30.48 %	40.97 %
6	Sulfur	ASTM: D5016-16	0.16 %	0.22 %
7	Gross Calorific Value	ASTM: D5865M-19	4,246 kcal/kg	5,707 kcal/kg

รูปที่ 4.16 ใบผลการตรวจวัดองค์ประกอบเชื้อเพลิงแบบ Proximate Analysis

4.2.2 การตรวจวัดความดันใช้งานและอุณหภูมิของไอน้ำ

การตรวจวัดความดันไอน้ำของหม้อน้ำจะทำการตรวจวัดโดยการอ่านค่าจากเกจความดัน (Pressure Gauge) ที่ติดตั้งอยู่หน้าหม้อน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.17 ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วทำการหาค่าความดันเฉลี่ย ในสถานะไออิ่มตัว (Saturated steam) ส่วนอุณหภูมิของไอน้ำจะทำการตรวจวัดโดยใช้ค่าความดันเฉลี่ยที่ได้มาไปคำนวณหาในตารางเทอร์โมไดนามิกส์ในช่วงสถานะไออิ่มตัว (Saturated steam)



รูปที่ 4.17 จุดวัดความดันไอน้ำ เกจความดัน(Pressure Gauge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.3 การตรวจวัดอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำป้อน

การตรวจวัดอัตราการไหลน้ำป้อนจะทำการตรวจวัดโดยการอ่านค่าเลขมิเตอร์จากมิเตอร์วัดน้ำ (Water meter) ที่ติดตั้งบนท่อส่งน้ำก่อนเข้าหม้อน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.18 ทุกๆ 15 นาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วนำค่าเลขมิเตอร์มาคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำป้อนในหน่วยตันต่อชั่วโมง ส่วนการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำป้อนในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำป้อนมีค่าอยู่ที่ 30°C



รูปที่ 4.18 จุดวัดอัตราการไหลน้ำป้อน มิเตอร์วัดน้ำ (Water meter)

4.2.4 การตรวจวัดคุณภาพของน้ำป้อนและน้ำโบลด์วาร์น

การตรวจวัดคุณภาพของน้ำป้อนและน้ำโบลด์วาร์นจะทำการตรวจวัดโดยการเก็บตัวอย่างน้ำใส่ในถ้วยที่เขียนชื่อชนิดของน้ำไว้ สำหรับน้ำป้อนสามารถเก็บตัวอย่างได้ที่แหล่งเก็บน้ำส่วนน้ำโบลด์วาร์นจะเก็บที่บริเวณท่อปล่อยน้ำในช่วงเวลาที่เกิดการโบลด์วาร์นจริงของโรงงานซึ่งโรงงานนี้มีการเปิดวาล์วให้น้ำโบลด์วาร์นไหลออกผ่านท่อ 2 ครั้งต่อชั่วโมง เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำขึ้นมาใส่ถ้วยแล้ว จะใช้อุปกรณ์วัดคุณภาพน้ำแบบพกพาได้แก่เครื่องวัดความนำไฟฟ้า (Compact Conductivity Meter) รุ่น EC33-LAQUAtwin ดังแสดงในรูปที่ 4.19 มาใช้ในการตรวจวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) และค่าปริมาณของแข็งที่แขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำ (Total Dissolved Solids (TDS)) กับเครื่องวัดระดับความเป็นกรดและด่างในน้ำ (pH meter) ดังแสดงในรูปที่ 4.20 มาใช้ในการตรวจวัดค่าความเป็นกรดและด่างในน้ำ (pH) วิธีการตรวจวัดสำหรับเครื่องวัดความนำไฟฟ้าทำได้โดยการหยดน้ำตัวอย่างลงในช่องและทำการบันทึกค่าที่แสดงขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 4.21 ส่วนเครื่องวัดระดับความเป็นกรดและด่างในน้ำจะต้องจุ่มส่วนหัวของเครื่องลงในน้ำและทำการบันทึกค่าที่แสดงขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.19 เครื่องวัดความนำไฟฟ้า (Compact Conductivity Meter)



รูปที่ 4.20 เครื่องวัดระดับความเป็นกรดและด่างในน้ำ (pH meter)



รูปที่ 4.21 ตัวอย่างการตรวจวัดสำหรับเครื่องวัดความนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างการตรวจวัดสำหรับเครื่องวัดระดับความเป็นกรดและด่างในน้ำ

4.2.5 การตรวจวัดอัตราการโบลว์ดาวน์และอัตราการผลิตไอน้ำ

การตรวจวัดอัตราการโบลว์ดาวน์สามารถตรวจวัดได้จากการนำข้อมูลค่าการตรวจวัด อัตราการไหลน้ำป้อนในหัวข้อ 4.2.3 และค่าความนำไฟฟ้าจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในหัวข้อที่ 4.2.4 มาคำนวณหาอัตราการโบลว์ดาวน์ได้ตามสมการ (4.1) - (4.2)

$$\% \text{ Blowdown} = \frac{\text{Feedwater conductivity}}{\text{Blowdown conductivity}} \times 100 \quad (4.1)$$

$$\text{อัตราการโบลว์ดาวน์} = \frac{\% \text{ Blowdown}}{100 - \% \text{ Blowdown}} \times \text{อัตราการไหลของไอน้ำ} \quad (4.2)$$

(โดยกำหนดให้ อัตราการไหลของไอน้ำ = อัตราการไหลน้ำป้อน - อัตราการโบลว์ดาวน์)

ส่วนการตรวจวัดอัตราการผลิตไอน้ำนั้นเนื่องจากโรงงานนี้ไม่มีมิเตอร์วัดไอน้ำ (Steam flow meter) วัดปริมาณไอน้ำที่ถูกส่งต่อไปในส่วนผลิตจึงต้องตรวจวัดจากการคำนวณในสมการ (4.3) โดยนำค่าอัตราการไหลน้ำป้อนกับอัตราการโบลว์ดาวน์มาแทนในสมการ

$$\text{อัตราการไหลของไอน้ำ} = \text{อัตราการไหลน้ำป้อน} - \text{อัตราการโบลว์ดาวน์} \quad (4.3)$$

4.2.6 การตรวจวัดก๊าซไอเสียของหม้อน้ำเพื่อคุณภาพการเผาไหม้

การตรวจวัดก๊าซไอเสียของหม้อน้ำของหม้อน้ำแบบผสม (Hybrid) จะทำการวัดก๊าซไอเสียที่บริเวณท่อไอเสียที่ต่อออกมาจากหม้อน้ำท่อไฟแบบนอนช่วงก่อนเข้าถึงดักฝุ่น (Cyclone) ดังแสดงในรูป 4.23 โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Flue gas analyzer) รุ่น Testo 330-2LL พร้อมกับสายโพรบ (Probe) ตามรูป 4.24 เริ่มทำการตรวจวัดโดยการเสียบสายโพรบที่ต่อกับเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสียเข้าไปสำหรับใส่เทอร์โมคัปเปิลโดยไม่ให้มืออากาศสัมผัสต่อจากนั้นเสียบสาย USB ระหว่างเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสียกับคอมพิวเตอร์เพื่อทำการอ่านค่าและเก็บบันทึกการตรวจวัดแบบต่อเนื่องทุกวินาทีในเวลา 2 ชั่วโมง ผ่านโปรแกรม Testo easyheat Software ดังแสดงในรูป 4.25 ต่อจากนั้นนำข้อมูลที่บันทึกในโปรแกรมแปลงเป็นไฟล์ Microsoft excel เพื่อนำเป็นคำนวณหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

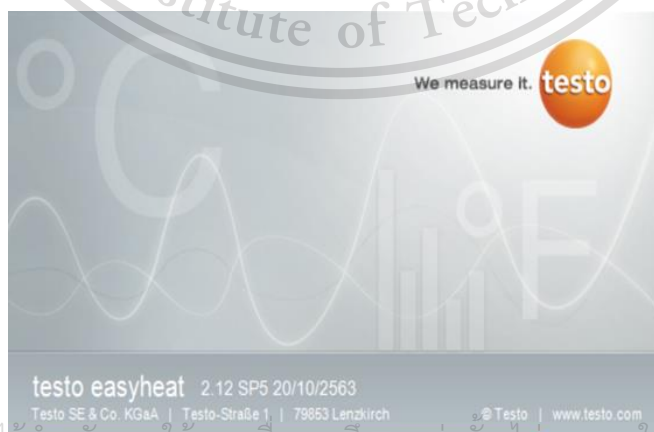
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.23 ตำแหน่งตรวจวัดก๊าซไอเสีย



รูป 4.24 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Testo 330-2LL) พร้อมกับสายโพรบ (Probe)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทาง Testo ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.25 โปรแกรมอ่านค่าตรวจวัด Testo easyheat Software

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.7 การตรวจวัดองค์ประกอบซีเมนต์

การตรวจวัดองค์ประกอบของซีเมนต์สามารถทำได้โดยการเก็บตัวอย่างซีเมนต์ที่ลำเลียงออกมาทางสกรูฟีเดเตอร์ (Screw Feeder) ดังแสดงในรูป 4.7 ซีเมนต์ที่ออกมามีความร้อนอยู่จึงต้องทำการฉีบน้ำให้ซีเมนต์เย็นตัวก่อนเก็บใส่ในถุงซิปล็อคเพื่อนำไปตากในแสงแดดให้แห้ง ดังแสดงในรูป 4.26 ต่อจากนั้นจึงส่งไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการทดสอบและรวมผลการตรวจวัด



รูป 4.26 ซีเมนต์ตากแห้งในถุงซิปล็อค

4.2.8 การตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์

การตรวจวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์จะทำการตรวจวัดโดยการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบพกพา (Thermohygrometer) รุ่น Testo 625 ดังแสดงในรูป 4.27 วัดอากาศบริเวณรอบโรงงานทุกๆ 30 นาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ออกมาส่วผลการตรวจวัดความเร็วลมจะทำการตรวจวัดโดยการใช้เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) รุ่น Kimo vt100 ดังแสดงในรูป 4.28 วัดอากาศบริเวณรอบโรงงาน



รูป 4.27 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบพกพา (Thermohygrometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามการตีพิมพ์หรือการเผยแพร่โดยไม่เจตนาในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.28 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

4.2.9 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังและขนาดของหม้อน้ำ

การตรวจวัดอุณหภูมิผนังเพื่อประเมินความร้อนสูญเสียที่ผนังหม้อน้ำแบบผสม (Hybrid) สามารถทำการตรวจวัดได้โดยการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imager) รุ่น Testo 882 ดังแสดงในรูป 4.29 ถ่ายภาพความร้อนของผนังหม้อน้ำในด้านต่างๆดังแสดงในรูป 4.30 ออกมาเสร็จแล้วทำการเปิดภาพถ่ายความร้อนผ่านโปรแกรม IRSoft thermography analysis software ดังแสดงในรูป 4.31 ที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิผนังของแต่ละภาพออกมา เมื่อได้ค่าอุณหภูมิผนังแล้วจะนำข้อมูลนี้ไปตรวจวัดหาปริมาณความร้อนสูญเสียต่อหน่วยพื้นที่ผนังต่อในโปรแกรม 3E plus ดังแสดงในรูป 4.32 และนำไปประเมินความร้อนสูญเสียที่ผนังหม้อน้ำต่อไป ส่วนขนาดของหม้อน้ำสามารถตรวจวัดได้จากการนำตลับเมตรไปวัดความกว้าง ความยาว ความสูงของหม้อน้ำ หรืออ้างอิงขนาดจากเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำของโรงงาน

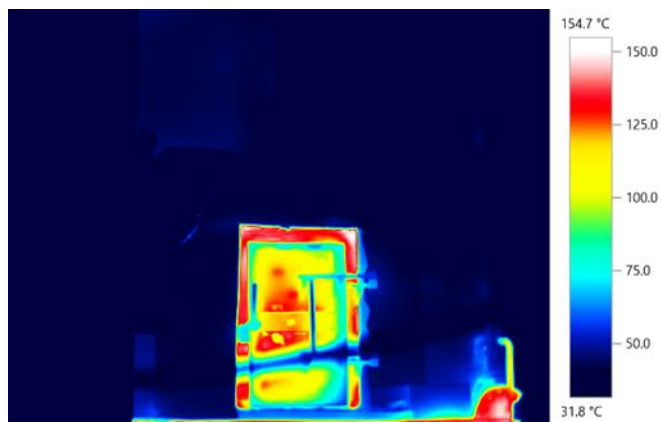


รูป 4.29 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imager)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

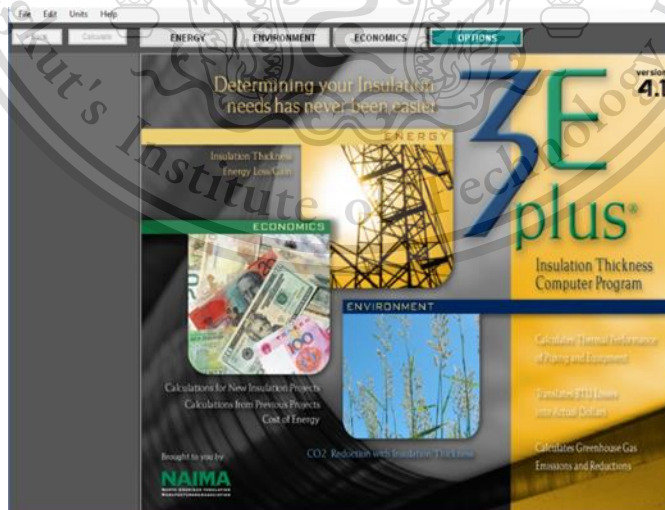
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.30 ตัวอย่างภาพความร้อนของผนังหม้อน้ำ



รูป 4.31 โปรแกรม IRTerm thermography analysis software



รูป 4.32 โปรแกรม 3E plus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

ผลการตรวจวัดและผลการคำนวณ

5.1 ผลการคำนวณประสิทธิภาพเพื่อยืนยันความถูกต้องของ Microsoft Excel Program

การยืนยันความถูกต้องของ Microsoft Excel Program นั้นใช้งานวิจัยจาก IJSRD – International Journal for Scientific Research & Development โดยมีชื่องานวิจัยว่า Boiler Efficiency Improvement through Analysis of Losses จัดทำโดย Mechanical Engineering Department, M.A.N.I.T. Bhopal (M.P.) India ซึ่งตรวจวัดโรงไฟฟ้าชื่อ Vindhyachal Super thermal power plant (India) ได้ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีความร้อนสูญเสียแสดงดังตารางที่ 5.1 ผลจากการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำด้วยวิธีความร้อนสูญเสียโดยใช้ Microsoft Excel Program ที่ได้จัดทำขึ้นนั้นแสดงดังตารางที่ 5.2 และตารางที่ 5.3 แสดงผลความคลาดเคลื่อนของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำจากการคำนวณวิธีความร้อนสูญเสียระหว่างงานวิจัยจาก IJSRD และ Microsoft Excel Program ที่ได้จัดทำขึ้น ส่วนค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่คำนวณด้วยวิธีทางตรงนั้นสามารถหาค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำได้คือ 73.771%

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำจากงานวิจัยของ IJSRD

Input/output Parameter	=	kCal / kg of coal	% loss
Heat Input	=	3320	100
Losses in boiler			
1. Dry flue gas, L_1	=	242.42	7.302
2. Loss due to hydrogen in fuel, L_2	=	151.06	4.55
3. Loss due to moisture in fuel, L_3	=	79.34	2.39
4. Loss due to moisture in air, L_4	=	6.407	0.193
5. Partial combustion of C to CO, L_5	=	77.02	2.32
6. Surface heat losses, L_6	=	9.96	0.3
7. Loss due to Unburnt carbon, L_7	=	15.93	0.48
Boiler Efficiency = $100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7) = 82.447\%$			

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการคำนวณโดยใช้ Microsoft Excel Program ที่ได้จัดทำขึ้น

Heat loss	593.6755989	kCal/kg	17.881795	%
L_1	494.7155171	kCal/kg	14.90107	%
L_2	0	kCal/kg	0	%
L_3	78.20862196	kCal/kg	2.3556814	%
L_4	16.2	kCal/kg	0.4879518	%
L_5	4.551459823	kCal/kg	0.1370922	%
Boiler efficiency	2726.324401	kCal/kg	82.118205	%

ตารางที่ 5.3 แสดงผลความคลาดเคลื่อน

JIS	Eff (%)	IJSRD	Eff (%)	Error (%)
L1	14.90107	L1 - L4	14.435	3.23
L2	0	-	-	
L3	2.3556814	L5	2.32	1.54
L4	0.4879518	L7	0.48	1.66
L5	0.1370922	L6	0.3	54.3
Heat loss	17.8818	Heat loss	17.535	1.98
Boiler eff	82.1182	Boiler eff	82.465	0.42

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพระหว่างวิธีทางตรงกับวิธีความร้อนสูญเสียมาเปรียบเทียบกัน พบว่าจากการคิดด้วยวิธีทางตรงนั้นมีค่าประสิทธิภาพน้อยกว่าวิธีความร้อนสูญเสีย โดยในความเป็นจริงนั้นควรมีค่าเท่ากัน แต่ในงานวิจัยของ IJSRD นั้นไม่ได้ระบุอุณหภูมิของไอน้ำ ซึ่งสามารถหาข้อมูลนั้นได้จากเว็บไซต์ของโรงไฟฟ้า จึงตั้งข้อสันนิษฐานได้ว่าเนื่องจากเหตุนี้ทำให้ค่าประสิทธิภาพของทั้งสองวิธีนั้นไม่เท่ากัน

จากโปรแกรมคำนวณ วิธีทางตรง (Direct method) มีประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ 73.77 % ส่วนวิธีทางอ้อม (Indirect method) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 5.2 เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพวิธีทางอ้อมของงานวิจัยอินเดียบกับโปรแกรม Microsoft Excel ตามตารางพบว่าค่าความสูญเสียจากการแผ่รังสีมีความต่างกันมากที่สุด เนื่องจากการประเมินความสูญเสียจากการแผ่รังสีของ JIS ใช้หลักการประเมินคร่าวๆจากประเภทและขนาดของหม้อไอน้ำ อย่างไรก็ตามในการนำไปใช้ตรวจวัดจริงได้ปรับปรุงให้อ้างอิงตามสภาพหม้อไอน้ำมากขึ้นโดยการวัดอุณหภูมิผิวหม้อไอน้ำและนำไปคำนวณหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนด้วยโปรแกรม 3E plus ส่วนค่าความสูญเสียชนิดอื่นมีความแตกต่างเล็กน้อยและประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยรวมมีความแตกต่างกัน 0.4 % สรุปได้ว่าโปรแกรมคำนวณ Microsoft Excel ได้ประสิทธิภาพออกมาใกล้เคียงงานวิจัยมากสามารถนำไปตรวจวัดประสิทธิภาพจริงที่โรงงานอื่นๆได้

5.2 ผลการตรวจวัดโรงงาน

5.2.1 การตรวจวัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ

จากการเข้าสำรวจพบว่าโรงงานแห่งนี้มีการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินซับบิทูมินัส การตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำได้ตรวจวัดหม้อไอน้ำ No.1 ขนาด 5 ตันต่อชั่วโมง มีการป้อนเชื้อเพลิงแบบป้อนเข้าด้านล่าง (Under feed) โดยใช้แบบสกรูฟีดเดอร์ (Screw feeder) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ได้มีการจดบันทึกรายละเอียด (Log sheet) ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงใน ปริมาณน้ำเข้าหม้อไอน้ำ ในแต่ละวันดังแสดงในรูปที่ 5.1 และมีการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงที่โรงงานใช้แสดงดังตารางที่ 5.4 จากการจดบันทึกรายละเอียดพบว่าหม้อไอน้ำที่ทำการตรวจวัดมีอัตราการการใช้เชื้อเพลิงอยู่ที่ 348 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

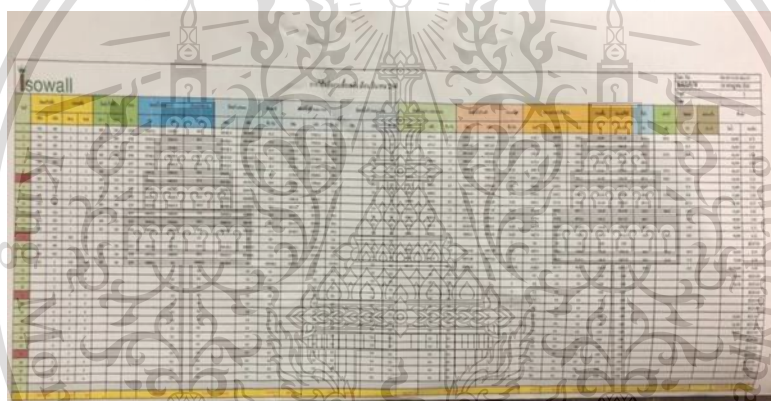
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5.4 แสดงองค์ประกอบเชื้อเพลิง

ตัวแปร	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
คาร์บอน	C	46.71	%
ไฮโดรเจน	H	3.27	%
ไนโตรเจน	N	0.97	%
ออกซิเจน	O	13.35	%
ซัลเฟอร์	S	0.35	%
ขี้เถ้า	a	2.25	%
ความชื้น	w	33.11	%
รวม		100	%
ค่าความร้อนทางสูง	HHV	4246	kcal/kg
ค่าความร้อนทางต่ำ	LHV	3876.86	kcal/kg



รูปที่ 5.1 รายการบันทึก (Log sheet)

5.2.2 การตรวจวัดความดันไอน้ำที่ใช้งาน

จากการตรวจวัดความดันไอน้ำในช่วงระยะเวลาหนึ่งโดยอ่านค่าจากเกจความดัน(Pressure Gauge)ทำให้ได้ค่าความดันใช้งานเฉลี่ยที่ 5.8 barg ในสถานะไออิ่มตัว ไอน้ำจะถูกส่งไปเก็บไว้ที่ถังพักไอน้ำและส่งต่อไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำที่ความดันต่างๆแสดงดังตาราง 5.5 โดยมีการใช้วาล์วลดความดัน (PRV) เพื่อให้ไอน้ำมีความดันที่เหมาะสมต่อการใช้งานในแต่ละอุปกรณ์ ส่วนอุณหภูมิของไอน้ำจะอยู่ที่ 157.45 °C

ตารางที่ 5.5 แสดงความดันของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ

อุปกรณ์ใช้ไอน้ำ	ความดันไอน้ำที่ใช้งาน (barg)
เครื่องนึ่ง (Steamer) 4 เครื่อง	0.5
เครื่องขึ้นรูป (Molding machine) 8 เครื่อง	1
เครื่องอัดบล็อก (Block press machine) 2 เครื่อง	1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2.3 การตรวจวัดปริมาณการผลิตไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิตได้ต่อชั่วโมง

เนื่องจากโรงงานนี้ไม่มี Steam flow meter เพื่อวัดอัตราการไหลของไอน้ำที่ถูกส่งจ่ายไปยังกระบวนการผลิต จึงได้ทำการอ้างอิงอัตราการผลิตไอน้ำจากมิเตอร์น้ำป้อน แสดงดังรูปที่ 4.6 โดยช่วงเวลาที่ตรวจวัดพบว่าอัตราการไหลของน้ำป้อนเท่ากับ 2.125 ตันต่อชั่วโมง เมื่อหักส่วนโบล์ดาวน์ที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อที่ 5.1.7 ออกจะมีค่าเท่ากับ 2.05 ตันต่อชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 41 ของพิกัดหม้อไอน้ำ

5.2.4 การตรวจวัดก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำเพื่อคุณภาพการเผาไหม้

ทำการตรวจวัดที่หม้อไอน้ำขนาด 5 ตัน สร้างโดย Getabec Kessel ณ บริเวณปล่องไอเสียที่ต่อออกมาจากหม้อไอน้ำส่วนท่อไฟโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Testo 330) ได้ผลลัพธ์ออกมาแสดงดังตารางที่ 5.6 สามารถนำ ออกซิเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากผลการตรวจวัดมาวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟแสดงดังรูปที่ 5.2

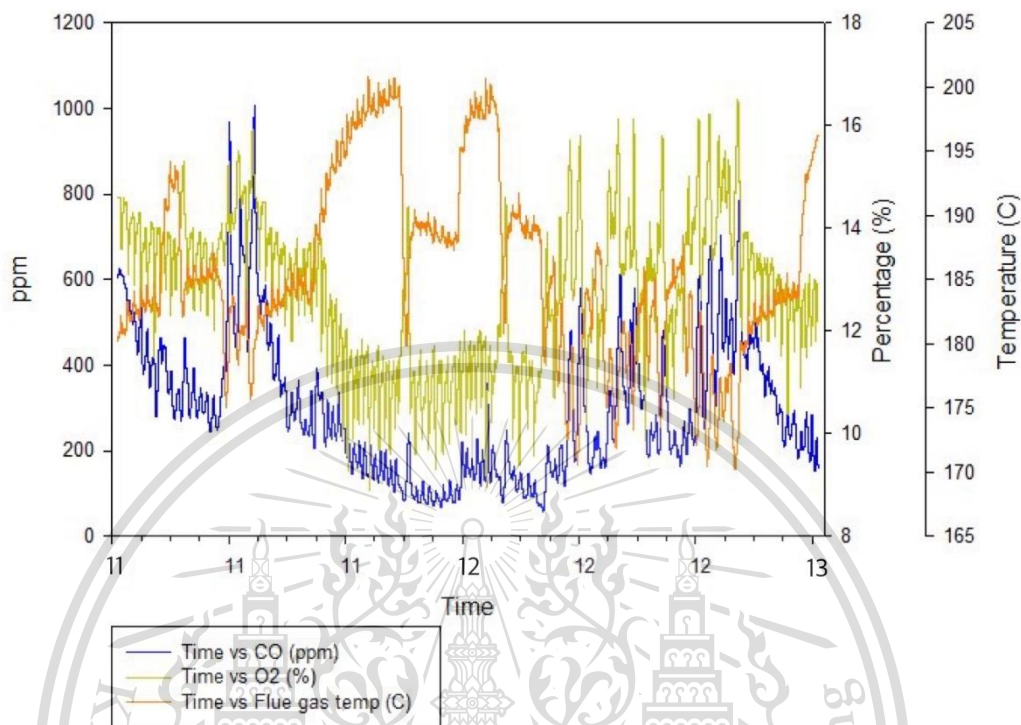
ตารางที่ 5.6 แสดงผลตรวจวัดก๊าซไอเสีย

ข้อมูล	ค่า	หน่วย
ก๊าซออกซิเจน (O ₂)	12.76	%
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	7.22	%
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x)	81.99	ppm
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	296.45	ppm
อุณหภูมิภายนอก	33.2	°C
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย	185.51	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Graph between Time and CO, O₂, Flue gas temp

รูปที่ 5.2 แสดงการวิเคราะห์ผลการตรวจวัดก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำ

จากผลการตรวจวัดก๊าซไอเสียมีประเด็นสำคัญดังนี้

- มีการใส่อากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้มากเกินไป สังเกตได้จากปริมาณ O₂ ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.76% ซึ่งมีค่าสูง จากกราฟวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์เผาไหม้สังเกตได้ว่าการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงๆ (ทำการตรวจวัดในช่วงเวลา 11.00น. – 13.00น. เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) สามารถแบ่งได้ 3ช่วง ช่วงแรกประมาณ 11.00 – 11.40 น. ในก๊าซไอเสีย มีปริมาณ O₂ สูงจับกลุ่มกันอยู่ในช่วง 12 – 15 % เนื่องจากมีปริมาณการใช้ไอน้ำน้อย ช่วงที่สองประมาณ 11.40 – 12.10 น. ในก๊าซไอเสียมีปริมาณ O₂ จับกลุ่มกันอยู่ในช่วง 10 – 12 % เนื่องจากมีการใช้ไอน้ำที่เพิ่มมากขึ้น ช่วงที่สามประมาณ 11.40 – 13.00 น. ในก๊าซไอเสียมีปริมาณ O₂ ที่แกว่งไปมาอยู่ในช่วง 9 – 16 % เนื่องจากมีปริมาณการใช้ไอน้ำที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด
- ปริมาณ CO มีแนวโน้มตามปริมาณ O₂ โดยมีค่า 296.45 ppm ที่ O₂ 12.7% แต่เมื่อเทียบตามเกณฑ์กรมโรงงานอุตสาหกรรมต้องคิดที่ O₂ 7% ต้องมี CO ≤ 690 ppm เมื่อเทียบ O₂ ที่ 7% ค่า CO 503.68 ppm ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด
- อุณหภูมิก๊าซไอเสียมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 185.51 °C ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ (170 – 200 °C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2.5 การตรวจวัดองค์ประกอบซีเมนต์

ได้มีการเก็บตัวอย่างซีเมนต์ที่ออกมาทางสกรูฟีดเดอร์ (Screw Feeder) เพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบ แต่ไม่ได้นำไปวิเคราะห์ (เนื่องจากสถานการณ์ COVID-19)

5.2.6 การตรวจวัดคุณภาพน้ำป้อนและน้ำโบลว์ดาวน์

หม้อน้ำของโรงงานแห่งนี้จะมีการโบลว์ดาวน์แบบอัตโนมัติโดยทำการเปิดวาล์วให้น้ำโบลว์ดาวน์ไหลออก ผ่านท่อ 2 ครั้งต่อชั่วโมง ในการตรวจวัดจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของน้ำป้อนจากแหล่งน้ำและสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำโบลว์ดาวน์จากท่อในช่วงเวลาที่เกิดโบลว์ดาวน์จริงของโรงงาน มาทำการวิเคราะห์ โดยทำการวัด 3 ครั้ง และนำมาเฉลี่ยกัน รูปการตรวจวัดแสดงดังรูป 5.3 – 5.5 ผลการตรวจวัดแสดงดังตาราง 5.7



รูปที่ 5.3 แสดงการวัดค่า pH, Conductivity, TDS ของน้ำดิบ



รูปที่ 5.4 แสดงการวัดค่า pH, Conductivity, TDS ของน้ำอ่อน



รูปที่ 5.5 แสดงการวัดค่า pH, Conductivity, TDS ของน้ำโบลว์ดาวน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ

ค่าตรวจวัด	น้ำดิบ	น้ำป้อนหม้อน้ำ (Soft)	น้ำโบลด์วาร์น	หน่วย
pH	8.86	8.38	9.55	
Conductivity	471.5	544.67	14496.67	$\mu\text{S/cm}$
TDS	237.5	272.3	7246.67	ppm

ผลการตรวจวัดน้ำอ่อน(น้ำป้อนหม้อไอน้ำ) และน้ำโบลด์วาร์น น้ำอ่อนนั้นมีค่าความเป็นกรด(pH) 8.38, ค่าการนำไฟฟ้า(Conductivity) 544.67mS/cm และค่าTDS(Total Dissolved Solid) 272.3ppm อยู่ในเกณฑ์ปกติ ส่วนน้ำโบลด์วาร์นมีค่าความเป็นกรด(pH) 9.55, ค่าการนำไฟฟ้า(Conductivity) 14496.67 mS/cm และค่าTDS(Total Dissolved Solid) 7246.67ppm นั้นเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ($\leq 3,500$ ppm)

5.2.7 การตรวจวัดอัตราการโบลด์วาร์น

หม้อไอน้ำได้มีการโบลด์วาร์นออกมาทางท่อ โดยการตรวจวัดนี้สามารถหาได้จากการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 5.4 โดยใช้สมการที่ 5.1 – 5.3 พบว่ามีอัตราการโบลด์วาร์นที่ 0.0799 ตันต่อชั่วโมงแสดงดังตารางที่ 5.8

$$\beta = \frac{\text{Feedwater conductivity}}{\text{Blowdown conductivity}} \times 100 \quad (5.1)$$

$$\text{Blowdown rate} = \frac{\beta}{100-\beta} \times \dot{m}_{\text{steam}} \quad (5.2)$$

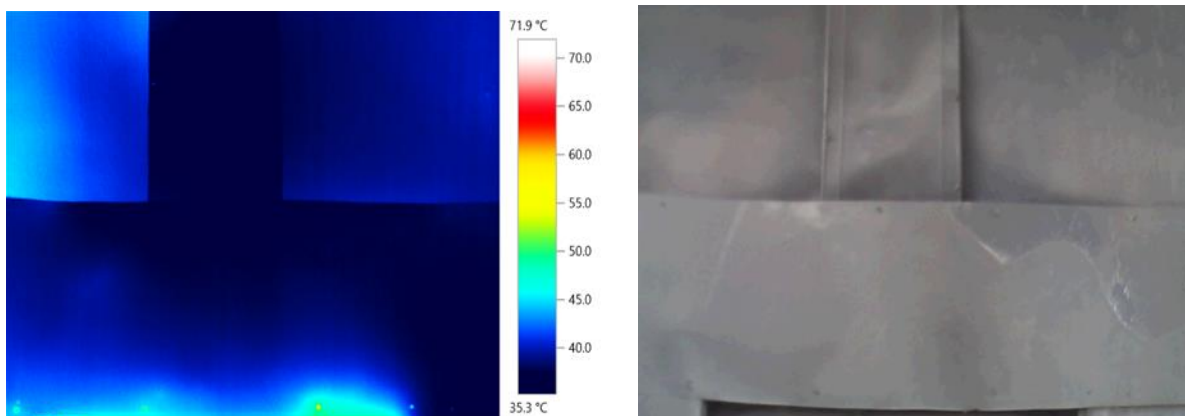
$$\dot{m}_{\text{steam}} = \dot{m}_{\text{feedwater}} - \dot{m}_{\text{blowdown}} \quad (5.3)$$

ตารางที่ 5.8

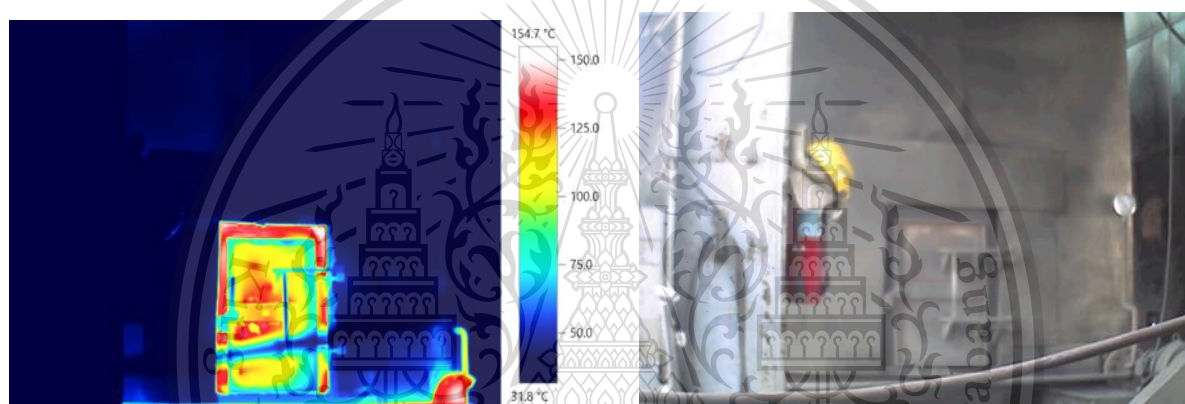
ตัวแปร (หน่วย)	ค่า
β (%)	3.758
น้ำป้อน (T/h)	2.215
อัตราการโบลด์วาร์น (T/h)	0.0799
อัตราการผลิตไอน้ำ (T/h)	2.045

5.2.8 การตรวจวัดอุณหภูมิผิวหม้อไอน้ำและการประเมินความร้อนสูญเสียผ่านผนังหม้อไอน้ำ

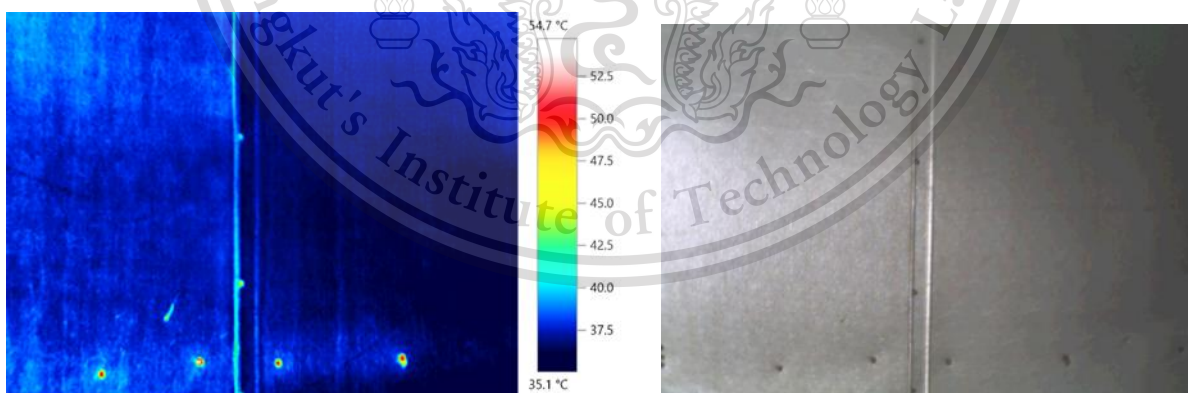
เพื่อประเมินความร้อนสูญเสียที่ผนังหม้อไอน้ำแบบผสม (Hybrid) จึงทำการตรวจสอบอุณหภูมิผนังด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน สามารถถ่ายภาพความร้อนในด้านต่างๆออกมาได้แสดงดังรูป 5.6 – 5.14 และผลของการวัดอุณหภูมิผนังแสดงตามตาราง 5.9 ส่วนการประเมินความร้อนสูญเสียผ่านผนังหม้อไอน้ำใช้โปรแกรม 3-E plus แสดงดังรูปที่ 5.15 – 5.21 และผลการประเมินความร้อนสูญเสียแสดงดังตารางที่ 5.10



รูปที่ 5.6 อุณหภูมิผนังด้านหน้าของหม้อไอน้ำส่วนท่อน้ำ



รูปที่ 5.7 อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำส่วนท่อน้ำ

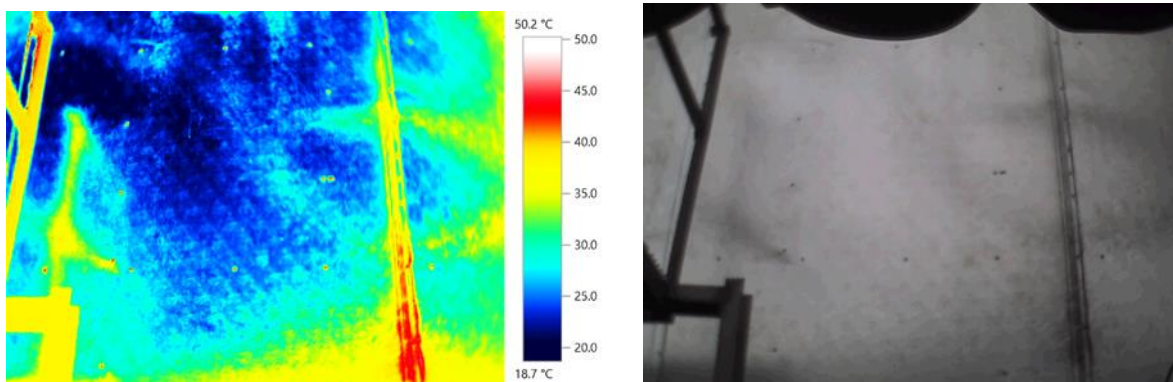


รูปที่ 5.8 อุณหภูมิผนังด้านขวาของหม้อไอน้ำส่วนท่อน้ำ

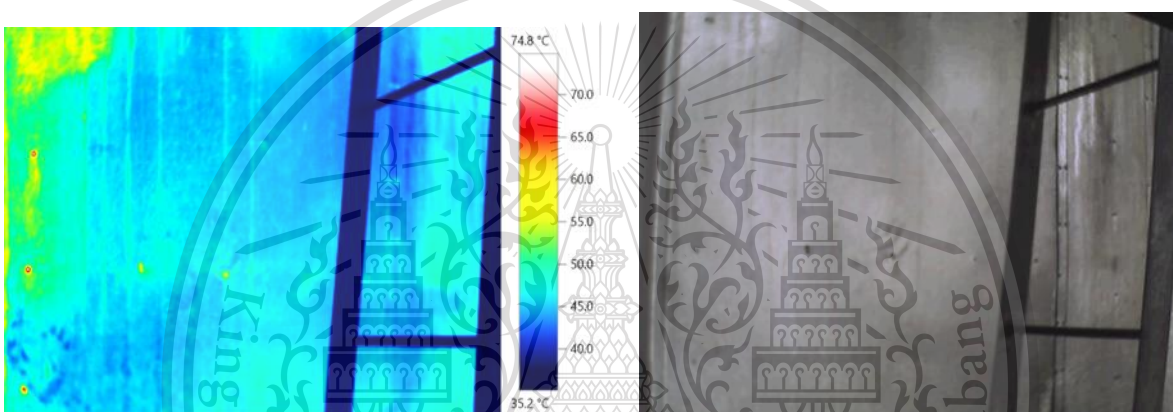
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

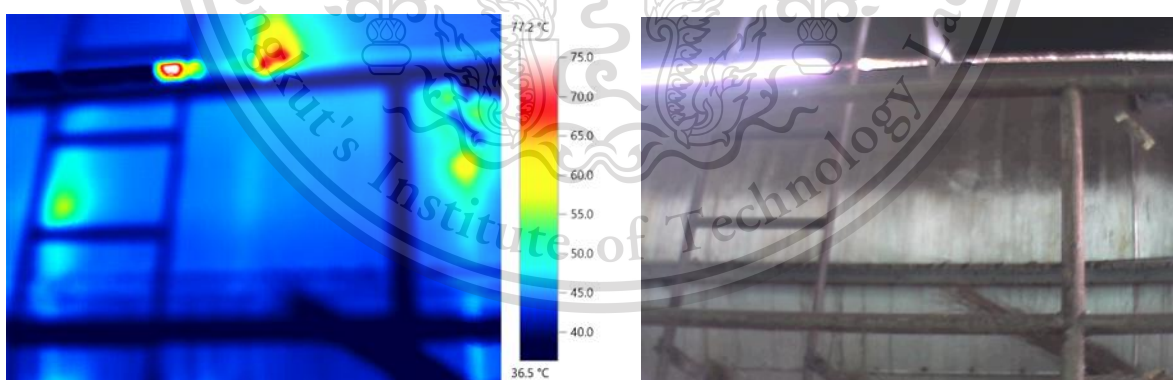
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.9 อุณหภูมิผนังด้านซ้ายของหม้อไอน้ำส่วนท่อน้ำ



รูปที่ 5.10 อุณหภูมิผนังด้านหลังของหม้อไอน้ำส่วนท่อน้ำ

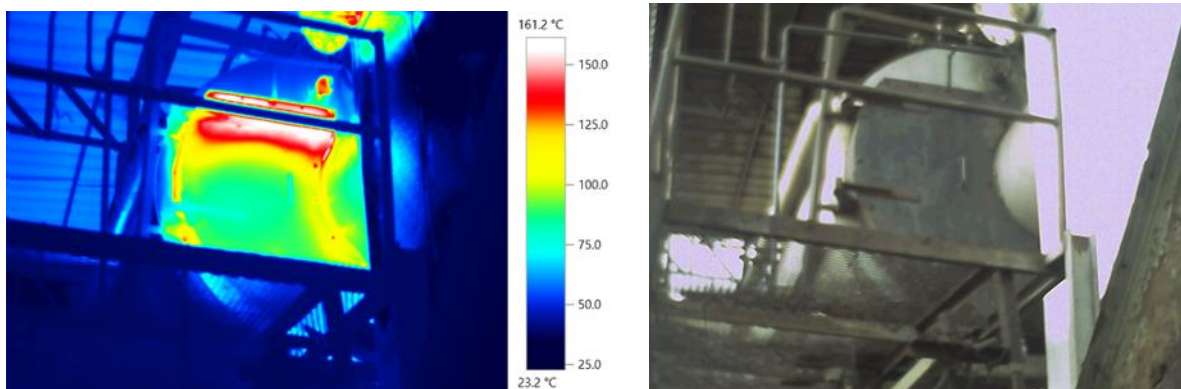


รูปที่ 5.11 อุณหภูมิผนังด้านขวาของหม้อไอน้ำส่วนท่อไฟ

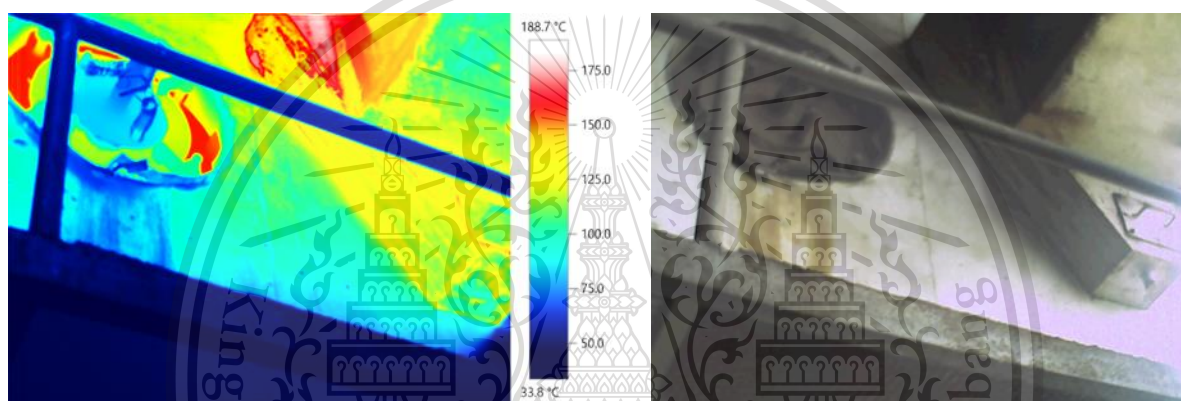
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

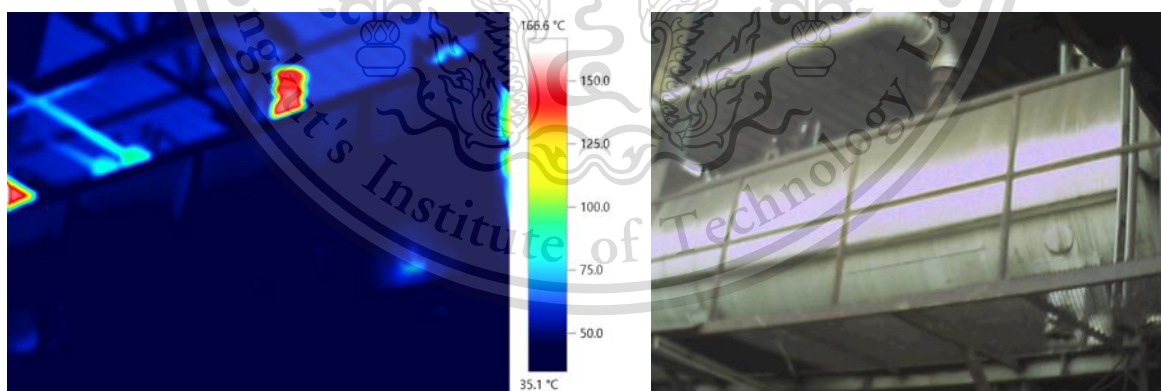
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.12 อุณหภูมิผนังประตูของหม้อไอน้ำส่วนท่อไฟ



รูปที่ 5.13 อุณหภูมิผนังด้านหลังของหม้อไอน้ำส่วนท่อไฟ



รูปที่ 5.14 อุณหภูมิผนังด้านซ้ายของหม้อไอน้ำส่วนท่อไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการตรวจวัดอุณหภูมิผนังหม้อไอน้ำ

รายการตรวจวัด	ค่า	หน่วย
อุณหภูมิผนังด้านหน้าของหม้อน้ำส่วนท่อน้ำ	39.1	°C
อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำส่วนท่อน้ำ	102.8	°C
อุณหภูมิผนังด้านขวาของหม้อน้ำส่วนท่อน้ำ	37.3	°C
อุณหภูมิผนังด้านซ้ายของหม้อน้ำส่วนท่อน้ำ	28.5	°C
อุณหภูมิผนังด้านหลังของหม้อน้ำส่วนท่อน้ำ	46.1	°C
อุณหภูมิผนังด้านขวาของหม้อน้ำส่วนท่อไฟ	44.5	°C
อุณหภูมิผนังประตูของหม้อน้ำส่วนท่อไฟ	103.4	°C
อุณหภูมิผนังด้านหลังของหม้อน้ำส่วนท่อไฟ	101	°C
อุณหภูมิผนังด้านซ้ายของหม้อน้ำส่วนท่อไฟ	44.7	°C

Variable Insulation Thickness	Surface Temp (°C)	Heat Loss (W/m ²)	Efficiency (%)
Bare	102.7	860.40	
15.0	50.7	172.60	79.94
25.0	43.8	96.52	88.78

รูปที่ 5.15 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังห้องเผาไหม้ด้วยโปรแกรม 3E-Plus

Variable Insulation Thickness	Surface Temp (°C)	Heat Loss (W/m ²)	Efficiency (%)
Bare	39.1	46.19	
15.0	34.8	12.11	73.79
25.0	34.2	6.96	84.93

รูปที่ 5.16 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านหน้าส่วนท่อน้ำด้วยโปรแกรม 3E-Plus

Variable Insulation Thickness	Surface Temp (°C)	Heat Loss (W/m ²)	Efficiency (%)
Bare	37.3	30.83	
15.0	34.3	8.33	72.97
25.0	33.9	4.80	84.42

เอกสารนี้รูปที่ 5.17 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านข้างส่วนท่อน้ำด้วยโปรแกรม 3E-Plus ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Variable Insulation Thickness	Surface Temp (°C)	Heat Loss (W/m ²)	Efficiency (%)
Bare	46.1	112.10	
15.0	36.6	27.25	75.68
25.0	35.2	15.54	86.13

รูปที่ 5.18 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านหลังส่วนท่อน้ำด้วยโปรแกรม 3E-Plus

Variable Insulation Thickness	Surface Temp (°C)	Heat Loss (W/m ²)	Efficiency (%)
Bare	103.3	870.00	
15.0	50.9	174.30	79.96
25.0	43.9	97.50	88.79

รูปที่ 5.19 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านหน้าส่วนท่อไฟด้วยโปรแกรม 3E-Plus

Variable Insulation Thickness	Surface Temp (°C)	Heat Loss (W/m)	Efficiency (%)
Bare	44.5	69.49	
15.0	36.2	18.85	72.87
25.0	34.8	10.44	84.97

รูปที่ 5.20 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านข้างส่วนท่อไฟด้วยโปรแกรม 3E-Plus

Variable Insulation Thickness	Surface Temp (°C)	Heat Loss (W/m ²)	Efficiency (%)
Bare	100.9	831.70	
15.0	50.3	167.30	79.88
25.0	43.5	93.62	88.74

รูปที่ 5.21 แสดงผลการประเมินความร้อนสูญเสียบริเวณผนังด้านหลังส่วนท่อไฟด้วยโปรแกรม 3E-Plus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5.10

ข้อมูล	ค่า	หน่วย
ปริมาณความร้อนสูญเสียต่อหน่วยพื้นที่ผนังห้องเผาไหม้	860.40	W/ m ²
ปริมาณความร้อนสูญเสียต่อหน่วยพื้นที่ผนังด้านหน้าส่วนท่อน้ำ	46.19	W/ m ²
ปริมาณความร้อนสูญเสียต่อหน่วยพื้นที่ผนังด้านข้างส่วนท่อน้ำ	30.83	W/ m ²
ปริมาณความร้อนสูญเสียต่อหน่วยพื้นที่ผนังด้านหลังส่วนท่อน้ำ	112.10	W/ m ²
ปริมาณความร้อนสูญเสียต่อหน่วยพื้นที่ผนังด้านหน้าส่วนท่อไฟ	870.09	W/ m ²
ปริมาณความร้อนสูญเสียต่อหน่วยพื้นที่ผนังด้านข้างส่วนท่อไฟ	69.49	W/ m ²
ปริมาณความร้อนสูญเสียต่อหน่วยพื้นที่ผนังด้านหลังส่วนท่อไฟ	831.70	W/ m ²
พื้นที่ผนังห้องเผาไหม้	1.55	m ²
พื้นที่ผนังด้านหน้าส่วนท่อน้ำ	7.94	m ²
พื้นที่ผนังด้านข้างส่วนท่อน้ำ	35.88	m ²
พื้นที่ผนังด้านหลังส่วนท่อน้ำ	9.49	m ²
พื้นที่ผนังด้านหน้าส่วนท่อไฟ	2.54	m ²
พื้นที่ผนังด้านข้างส่วนท่อไฟ	25.45	m ²
พื้นที่ผนังด้านหลังส่วนท่อไฟ	2.54	m ²
ความร้อนสูญเสียรวมผ่านพื้นผิว	9.96	kW

** เพื่อที่จะแปลงหน่วย MW เป็น kcal/h ทำได้โดยการคูณ 859845.227 kcal•s/MJ•h

อุณหภูมิผิวของหม้อไอน้ำในภาพรวมมีค่าที่อยู่ในเกณฑ์ (การหุ้มฉนวนที่ดีอุณหภูมิผิวต้องมีค่าต่ำกว่า 60°C) เนื่องจากฉนวนที่ทำการหุ้มไว้ยังมีประสิทธิภาพที่ดีอยู่ แต่จะมีส่วนบริเวณผนังประตูห้องเผาไหม้, ผนังประตูหม้อไอน้ำส่วนท่อไฟ และผนังด้านหลังของหม้อไอน้ำส่วนท่อไฟ ที่อุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.3 ผลการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำของโรงงาน

5.3.1 ผลการคำนวณโดยวิธีทางตรง (Direct method)

ตารางที่ 5.11 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ค่าความร้อนทางสูง

ตัวแปร (หน่วย)	ค่า
อัตราการผลิตไอน้ำ	2.045
เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)	2761.6
เอนทาลปีของน้ำป้อน (kJ/kg)	125.71
ค่าความร้อนสูง (kcal/kg)	4246
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (T/h)	0.349
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (%)	86.72

ตารางที่ 5.12 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ค่าความร้อนทางต่ำ

ตัวแปร (หน่วย)	ค่า
อัตราการผลิตไอน้ำ	2.045
เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)	2761.6
เอนทาลปีของน้ำป้อน	125.71
ค่าความร้อนต่ำ (kcal/kg)	3876.85
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (T/h)	0.349
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (%)	94.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.3.2 ผลการคำนวณโดยวิธีทางอ้อม (Indirect method)

ตารางที่ 5.13 แสดงค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีทางอ้อม

ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	อ้างอิงค่าความร้อน ทางต่ำ	อ้างอิงค่าความร้อน ทางสูง	หน่วย
การสูญเสียความร้อนจากก๊าซไอเสีย (L ₁)	16.08	23.376	%
การสูญเสียความร้อนจากการ blow in furnace (L ₂)	0	0	%
การสูญเสียความร้อนจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (L ₃)	0.261	0.238	%
การสูญเสียความร้อนจากการกักคาร์บอน (L ₄)	0	0	%
การสูญเสียความร้อนทางผนังหม้อไอน้ำ (L ₅)	0.0006	0.0006	%
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	83.66	76.385	%

หมายเหตุ เนื่องจากสถานการณ์การระบาดของไวรัส COVID-19 ทำให้ไม่สามารถนำเชื้อเพลิงที่ทำการเก็บมาไปตรวจสอบประกอบได้ จึงไม่สามารถหาค่าการสูญเสียความร้อนจากการกักคาร์บอน

5.4 แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพ

5.4.1 ลดการสูญเสียความร้อนจากก๊าซไอเสีย

ก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกมานั้นมีปริมาณ O₂ ที่สูงกว่าเกณฑ์ปกติ ถ้าหากทำการปรับจูนพัดลมเป่าเข้า (FD Fan) และพัดลมดูดออก (ID Fan) ให้อากาศเข้าห้องเผาไหม้ลดลงและคงความดันในห้องเผาไหม้ให้ยังคงเป็นค่าลบไว้ (Negative pressure) จะเป็นการลดก๊าซออกซิเจนและเป็นการเพิ่มระยะเวลาที่ก๊าซร้อนได้ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสียมีค่าลดลง จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ แสดงดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.14

ตัวแปร	ค่าเก่า	ศักยภาพ
ออกซิเจน (%)	12.76	10
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (°C)	185.51	175
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (%)	76.39	80.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ทำความสะอาดส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซร้อนกับน้ำ เนื่องจากรอบๆบริเวณส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีซีลเถ้าลอยเกาะอยู่ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นดำเนินไปได้ไม่เต็มที่ ส่งผลให้ความร้อนได้ถูกปล่อยไปในรูปของอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่สูง เมื่อทำความสะอาดแล้วการแลกเปลี่ยนความร้อนจะดีขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำมีค่าสูงขึ้น

5.4.2 ปรับปรุงการโบลด์วาม์

เนื่องจากค่า TDS (Total Dissolved Solid) ของน้ำโบลด์วาม์นั้นมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ไอออนที่ละลายในน้ำจะไปทำการเกาะตัวรวมอยู่ที่ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนในหม้อไอน้ำทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำลดลง ด้วยเหตุดังกล่าวจึงเสนอให้ทำการเพิ่มอัตราการโบลด์วาม์เพื่อลดค่า TDS และจะทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซร้อนกับน้ำดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการพัฒนาแนวทางการตรวจประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำในระดับอุตสาหกรรม ได้มีการศึกษาและหาข้อมูลในหลากหลายด้าน ตลอดจนการศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือตรวจวัด นำไปสู่การเข้าโรงงานเพื่อทำการตรวจวัดจริง และได้ผลการตรวจวัดซึ่งใช้คำนวณหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำของโรงงาน ในส่วนสุดท้ายนี้คือการสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ซึ่งมีประเด็นต่างๆดังต่อไปนี้

6.1 สรุปผลการทดลอง

6.1.1 การหาข้อมูล

จากการทำการหาข้อมูลวิธีการหาค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำนั้นมามีวิธีการหาตามมาตรฐานที่หลากหลายเกณฑ์ ซึ่งแต่ละเกณฑ์มีความเหมาะสมตามแต่ละสภาพแวดล้อมของแต่ละประเทศ และในท้ายที่สุดได้เลือกมาตรฐาน JIS B8222:1993 เป็นมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากมีเงื่อนไขต่างๆที่สอดคล้องกับการดำเนินงานของโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากในประเทศไทย อาทิ เงื่อนไขระยะเวลาที่ทำการตรวจวัด, เงื่อนไขการรันหม้อไอน้ำ, เงื่อนไขอุณหภูมิอ้างอิง เป็นต้น

6.1.2 การตรวจวัดและผลการตรวจวัด

- การวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อเพลิงที่ได้จากโรงงานนั้นเป็นการวิเคราะห์แบบ Proximate analysis ซึ่งระบุค่าความชื้น, ซี้เถ้าในเชื้อเพลิง(Ash), สารระเหย(Volatile matter), Fixed carbon, ซัลเฟอร์(Sulfur) แต่ในการคำนวณหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยมาตรฐาน JIS B8222:1993 นั้นต้องใช้ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อเพลิงแบบ Ultimate analysis ซึ่งได้จากการคำนวณโดยอ้างอิงข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบ Proximate analysis มีข้อมูลดังนี้ คาร์บอน 46.71%, ไฮโดรเจน 3.27%, ไนโตรเจน 0.97%, ออกซิเจน 13.35%, ซัลเฟอร์ 0.35%, ซี้เถ้า 2.25% และความชื้นในเชื้อเพลิง 33.11%

- การตรวจวัดน้ำอ่อน น้ำโบล์วตาวน

จากการตรวจวัดพบว่าน้ำอ่อน (น้ำป้อนหม้อไอน้ำ) ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วมีค่าความเป็นกรด (pH), ค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้า(Conductivity) และค่า TDS(Total Dissolved Solid) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ส่วนน้ำโบล์วตาวนมีค่า TDS ที่สูงเกินกว่าเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ($\leq 3,500$ ppm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- การตรวจวัดก๊าซไอเสีย

จากผลการตรวจวัดพบว่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) นั้นน้อยกว่าเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ส่วนค่าออกซิเจน (O₂) มีค่ามากกว่าปกติซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำลดลง

6.1.3 การคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีทางอ้อม

ผลการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีทางอ้อมนั้นเป็นการหาประสิทธิภาพโดยวิธีความร้อนสูญเสีย ซึ่งผลการคำนวณพบว่าหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี

6.2 ข้อเสนอแนะ

- เสนอแนะให้ทำการตรวจวัดหลากหลายโรงงานเพื่อให้ได้ทำการคำนวณในหลากหลายเงื่อนไข หลากหลายอุปกรณ์ และได้เจออุปสรรคการตรวจวัดที่แปลกใหม่มากยิ่งขึ้น

- นำซีเอ็นทีทำการเก็บไปตรวจวัดเพื่อหาปริมาณคาร์บอนที่หลงเหลืออยู่ เพื่อคำนวณหาค่าความร้อนที่สูญเสียจากกากคาร์บอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] Virendra Nagar, Dr. V. K. Soni, Dr. V. K. Khare(2013), *Boiler efficiency improvement through analysis of losses*[PDF Files], Mechanical Engineering Department, M.A.N.I.T Bhopal (M. P.) India,URL:
https://www.academia.edu/6802500/Boiler_Efficiency_Improvement_through_Analysis_of_Losses, access on 23/11/2020.
- [2] David A.T. Rodgers, P.E ,Timothy Golightly, Fred D. Lang, P.E. [2011],*Comparing boiler efficiency calculational methods*[PDF Files], Journal of Thermal Science and Engineering Applications.
URL:
https://www.researchgate.net/publication/267621836_Comparing_Boiler_Efficiency_Calculation_Methods, access on 23/11/2020
- [3] กรมโรงงานอุตสาหกรรม[2553],*คู่มือการใช้งานและการดูแลรักษาหม้อน้ำ*[PDF Files], แหล่งที่มา
<http://php.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/boiler2.pdf> เข้าดูเมื่อวันที่ 23/11/2563.
- [4] Bureau of Energy Efficiency, *Energy performance assessment of boilers* [PDF Files],
URL:<https://www.beeindia.gov.in/sites/default/files/4Ch1.pdf> access on 23/11/2020
- [5] Zetao Wang, Yujiao Gong, Xuedong Jing[2015],*Method for calculating thermal efficiency of the solid fuel fired boiler*[PDF Files], Shanghai Institute of Technology, China, Chongming Institute of Quality and Technical Supervision, Shanghai China.URL:www.atlantis-pess.com access on 23/11/2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ภาคผนวก ก 1 แสดงการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยใช้ Microsoft Excel Program

1. Heat loss due to exhaust gas produced	L_1	994.8285937	kCal/kg
temp of exhaust gas	t_g	185.5077	$^{\circ}\text{C}$
base temp	t_0	33.2	$^{\circ}\text{C}$
mean specific heat of exhaust gas	c_g	0.33	kCal/ $\text{m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$
actual amount of exhaust gas per 1kg of fuel	G	12.44864336	m^3/kg
excess air ratio	m	2.495814512	
nitrogen	N_2	79.990641	%
excess air ratio (rough at stoi)	m_{rough}	#VALUE!	
carbon dioxide content in flue gas (at stoi)	$(\text{CO}_2)_{\text{max}}$	#VALUE!	%
amount of theoretical dry exhaust gas	G_0	4.509471076	m^3/kg
carbon content fired actually mass	C_1	46.69984726	%
unburned carbon content mass	C_2	0	%
amount of steam generated by firing	G_w	0.775820911	m^3/kg
amount of steam due to hygroscopic moisture	G_{w1}	0.29520256	m^3/kg
amount of theoretical (dry) air	A_0	4.591577874	m^3/kg
Low calorific value of fuel used at the time of firing	H_1	369.1405949	kCal/kg
2. Heat loss due to steam or hot-water blown into furnace	L_2		kCal/kg
amount of blown-in steam per 1kg of fuel	W_b		
enthalpy of steam at exhaust gas temp	h_g		kCal/kg
enthalpy of steam at base temp	h_g		kCal/kg
3. Heat loss due to unburned gas	L_3	10.15241521	kCal/kg
4. Heat loss due to unburned combustibles in burnt residue	L_4	0	kCal/kg
5. Heat loss due to radiation	L_5	0.024569209	kCal/kg
Maximum useful heat output	Q'_{N}	***	MW
Enthalpy of water input boiler	h_{in}	***	kJ/kg
Enthalpy of water output boiler	h_{out}	***	kJ/kg
Coal flow	m'	***	T/hr
Radiation loss	Q'_c	0.00996	MW
		8564.058469	kCal/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ภาคผนวก ก 2 แสดงการคำนวณประสิทธิภาพโดยวิธีทางตรง

Blow down rate (2times/h)	0.07986	T/h
β	3.75805	%
Generated steam	2.04514	T/h
Feedwater	2.12500	T/h
Eff of HHV	86.72272	%
Generate steam		T/h
Enthalpy of Sat. steam	2761.60000	kJ/kg
Enthalpy of feedwater	125.71000	kJ/kg
High Heating Value	4246.00000	kcal/kg
Fuel consumption	348.56875	kg/h
Eff of LHV	94.98015	%
Low Heating Value	3876.85941	kcal/kg

ตารางที่ ภาคผนวก ก 3 แสดงผลการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีทางอ้อม

HHV				
Heat input	4246	kCal/kg	100	%
Heat loss	1005.005578	kCal/kg	23.669467	%
L ₁	994.8285937	kCal/kg	23.429783	%
L ₂	0	kCal/kg	0	%
L ₃	10.15241521	kCal/kg	0.2391054	%
L ₄	0	kCal/kg	0	%
L ₅	0.024569209	kCal/kg	0.0005786	%
Boiler efficiency	3240.994422	kCal/kg	76.330533	%
LHV				
Heat input	3876.859405	kCal/kg	100	%
Heat loss	635.8649832	kCal/kg	16.401549	%
L ₁	625.6879988	kCal/kg	16.139043	%
L ₂	0	kCal/kg	0	%
L ₃	10.15241521	kCal/kg	0.2618722	%
L ₄	0	kCal/kg	0	%
L ₅	0.024569209	kCal/kg	0.0006337	%
Boiler efficiency	3240.994422	kCal/kg	83.598451	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.