

การนำความร้อนจากไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์
กรณีศึกษา บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด

ธนัญฐ์ เอื้อภราดร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
สำนักพัฒนาระบบจัดการศึกษา
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

พ.ศ. 2547

การนำความร้อนจากไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์
กรณีศึกษา บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด
ธนัญจุฑ์ เอื้อภราดร
หลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

รองศาสตราจารย์ ประธานกรรมการ
(ดร. บุญจง ขาวสิทธิวงษ์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กรรมการ
(ดร. ชวิชัย ศุภดิษฐ์)

อาจารย์ กรรมการ
(ดร. วิสาข ภูจินดา)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ผู้อำนวยการ
(ดร. สมพจน์ กรรณนุช)

วันที่ 10 เดือน กันยายน พ.ศ. 2548

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์	:	การนำความร้อนจากไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์ กรณีศึกษา บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด
ชื่อผู้เขียน	:	นายธนณัฐ เอื้อภราคร
ชื่อปริญญา	:	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
ปีการศึกษา	:	2547

การศึกษานี้เป็นการนำความร้อนจากไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงลักษณะการทำงาน และคุณสมบัติทางความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ (Economizer) ในการนำความร้อนจากไอเสียที่ปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศเพื่อนำกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ โดยได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงทั้งก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำของหม้อไอน้ำรวมทั้งยังศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ ข้อมูลทุติยภูมิจากการดำเนินงานในปี พ.ศ. 2546 (ก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ) และ ข้อมูลปฐมภูมิจากการดำเนินงานในปี พ.ศ. 2547 (หลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คืออุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ Paired - Simple T - Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

จากการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำสูงกว่าก่อนการติดตั้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 79.83 และ 75.87 ตามลำดับ เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.96 ในด้าน ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำน้อยกว่าก่อนการติดตั้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.97 และ 28.71 ตันต่อชั่วโมง ตามลำดับ ลดลงเฉลี่ย 2.74 ตันต่อชั่วโมง ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) โดยใช้อัตราคิดลดที่ร้อยละ 12 มีค่าเท่ากับ 2,725,969.72 บาท อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit - Cost Ratio) มีค่าเท่ากับ

3.44 อัตราผลตอบแทนสุทธิ (Internal Rate of Return) มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 97 และ ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period) ในการลงทุนจะได้เงินลงทุนคืนเมื่อดำเนินงานผ่านไปได้ 1 ปี 2 เดือน

ดังนั้นการนำความร้อนจากไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์ ถือเป็นแนวทางหนึ่งในหลายมาตรการที่จะทำให้เกิดการประหยัดและใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า แต่ปัญหาสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานประการหนึ่งคือ เมื่อประหยัดพลังงานมาก ๆ จะทำให้เชื้อเพลิง (กากขานอ้อย) เหลือเป็นจำนวนมาก สำหรับบางโรงงานอาจจะจำหน่ายกากขานอ้อยให้แก่โรงงานแปรรูปอื่น เช่น โรงงานกระดาษ หรือโรงงานทำแผ่นไม้อัด M.D.F. Board แต่ยังมีอีกหลาย ๆ โรงงานที่ไม่สามารถจำหน่ายกากขานอ้อยที่เหลือได้ แนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ คือ การย้ายโรงงานที่มีความต้องการใช้ไอน้ำหรือไฟฟ้าให้อยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกันเพื่อประโยชน์ในการบริหารจัดการในการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

ABSTRACT

Title of Thesis : Utilization of Recovered Heat From Flue Gas:
A Case Study of Rajburi Sugar Co., Ltd.
Author : Mr. Thananat Uabharadorn
Degree : Master of Science (Environmental Management)
Year : 2004

This thesis was aimed to study an efficiency of economizer and an economic feasibility of investment in recovering heat from flue gas of a cane sugar factory. The results of this experimental study with paired simple t - test illustrated that efficiency of a boiler had been statistically increased from 75.87 percent to 79.83 percent (approx. 4%) and fuel saving was approximately 2.74 tons per hour. In addition, the results from economic assessment showed that net present value at 12 percent was equal 2,725,969.72 bahts and benefit - cost ratio 3.44 has shown that investment in economizer was efficient. It can be concluded from the results that internal rate of return was 97 percent and pay back period is quite short on 14 month.

This study can be concluded that economizer was a good instrument for energy saving in the Rajburi sugar cane factory. An excess bagasses can be an input for near by particle board factories. The another alternative is to supply an excess steam to near by sugar cane factories.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องการนำความร้อนจากไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์ สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยการสนับสนุนและช่วยเหลือพร้อมทั้งการให้คำแนะนำเป็นอย่างดีจากบุคคลหลายท่าน

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญจง ขาวสิทธิวงษ์ ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย สุขดิษฐ์ และอาจารย์ ดร. วิสาขา ภูจินดา กรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอนทำให้สำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านของหลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่ได้ถ่ายทอดและสร้างความรู้ให้แก่ผู้ศึกษา และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของหลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อม สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณสุรพงษ์ ศรีสุข ผู้จัดการฝ่ายโรงงาน บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการประสานงานติดต่อกับผู้ปฏิบัติงานในโรงงานตลอดเวลาที่ทำการศึกษาและการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ของผู้ศึกษาสำเร็จลุล่วง

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณ สมาชิกในครอบครัวของผู้เขียน ที่ได้ช่วยส่งเสริม สนับสนุนและเป็นที่กำลังใจตลอดมา รวมทั้งผู้มีส่วนร่วมให้ความช่วยเหลือที่มิได้กล่าวมา ณ ที่นี้ ซึ่งได้ให้การสนับสนุนด้านต่าง ๆ และมีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ธนัญฐ์ เอื้อภราดร

มิถุนายน 2547

สารบัญ

หน้า

<u>บทคัดย่อ</u>		(1)
ABSTRACT		(3)
กิตติกรรมประกาศ		(4)
สารบัญ		(5)
สารบัญตาราง		(8)
สารบัญภาพ		(9)
สัญลักษณ์และคำย่อ		(11)
<u>บทที่ 1</u> บทนำ		1
1.1 ที่มาและแนวคิดในการวิจัย		1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย		2
1.3 ขอบเขตการวิจัย		2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ		3
1.5 สมมติฐานการวิจัย		3
1.6 นิยามคำศัพท์		4
<u>บทที่ 2</u> แนวคิดทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม	c2-1	5
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง		5
2.2 หม้อไอน้ำ		6
2.3 <u>การถ่ายเทความร้อน</u>	c2-2	27
2.4 ชนิดของของไหล		28
2.5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		29
2.6 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		32
2.7 เครื่องอุ่นน้ำ		36
2.8 ปริมาณและอัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิง		41
2.9 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์		42

	หน้า
2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
<u>บทที่ 3</u> วิธีการวิจัย	47
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	47
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	50
3.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	52
3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	52
3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	52
<u>บทที่ 4</u> ผลการวิจัย	54
4.1 ข้อมูลทั่วไป	54
4.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย	57
4.3 กากชานอ้อย	60
4.4 รายละเอียดข้อมูลหม้อไอน้ำ	60
4.5 รายละเอียดข้อมูลเครื่องอุ่นน้ำ	62
4.6 การคำนวณพื้นที่ผิวรับความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ	62
4.7 การคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	66
4.8 การคำนวณปริมาณการใช้เชื้อเพลิง	68
4.9 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง	71
4.10 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	73
<u>บทที่ 5</u> สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	76
5.1 สรุปและอภิปรายผลการศึกษาวิจัย	76
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
<u>บรรณานุกรม</u>	bi 85
<u>ภาคผนวก</u>	ap 87
ภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 1 ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำและอุณหภูมิ ของก๊าซไอเสียในฤดูหีบอ้อย พ.ศ. 2545 – 2546	88
ภาคผนวก ข ตารางที่ ก. 2 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ น้ำป้อนหม้อไอน้ำและอุณหภูมิ ก๊าซไอเสียในฤดูหีบอ้อย พ.ศ. 2545 – 2546	93

	หน้า
ภาคผนวก ค ตารางที่ ก. 3 ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำและอุณหภูมิ ของก๊าซไอเสียในฤดูหีบอ้อย พ.ศ. 2546 — 2547	94
ภาคผนวก ง ตารางที่ ก. 4 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำและอุณหภูมิ ก๊าซไอเสียในฤดูหีบอ้อย พ.ศ. 2546 — 2547	99
ภาคผนวก จ ตารางที่ ก. 5 ค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นโดยความดัน (Pressure) และอุณหภูมิ (Temperature)	100
<u>ประวัติผู้เขียน</u>	v 103

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแยกประเภทหม้อไอน้ำ	6
2.2 ข้อดีข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำและแบบท่อไฟ	20
2.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ	24
4.1 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	72
4.2 ความแตกต่างของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	72
4.3 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	73
4.4 ความแตกต่างของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	73
4.5 ต้นทุนและผลตอบแทนจากการลงทุนเครื่องอุ่นน้ำ	74
4.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเครื่องอุ่นน้ำ	74
4.7 มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนและผลตอบแทนจากการลงทุน (อัตราคิดลดร้อยละ 12)	75
5.1 สรุปผลก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำปี พ.ศ. 2545 – 2546 และ หลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำปี พ.ศ. 2546 – 2547	79

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 หม้อไอน้ำแบบยืน	8
2.2 หม้อไอน้ำท่อไฟตั้ง - ท่อพื้นน้ำ	9
2.3 หม้อไอน้ำท่อไฟตั้ง - น้ำท่วมท่อ	10
2.4 การไหลของก๊าซร้อนในท่อ	10
2.5 Lancashire Boiler	11
2.6 หม้อไอน้ำแบบท่อควั่นชนิดเตาเผาไหม้ภายนอก	11
2.7 หม้อไอน้ำแบบท่อควั่นชนิดเตาเผาไหม้ภายใน	12
2.8 หม้อไอน้ำรถไฟ	12
2.9 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟผสมท่อควั่น	13
2.10 หม้อไอน้ำสำเร็จรูปหรือแพคเกจ	13
2.11 หม้อไอน้ำแพคเกจชนิดมีและไม่มีการหล่อเย็นด้านหลัง	14
2.12 หม้อไอน้ำแบบหมุนเวียนธรรมชาติ	15
2.13 หม้อไอน้ำแบบหมุนเวียนบังคับ	16
2.14 หม้อไอน้ำแบบไหลผ่าน	16
2.15 หม้อไอน้ำตั้งท่อน้ำตรง วางตั้ง	17
2.16 หม้อไอน้ำตั้งท่อน้ำตรงวางขวาง	17
2.17 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำตรงวางเอียง	18
2.18 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำงอบางส่วน	19
2.19 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำคด	19
2.20 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดกลุ่มท่อ	30
2.21 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อสองชั้น	30
2.22 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดมีเปลือกหุ้มอยู่ภายนอก	30
2.23 อุณหภูมิของการไหลแบบสวนทางกันและแบบขนานกัน	33
2.24 อุณหภูมิของการไหลสวนทางกันและขนานกันในกรณี LMTD – NTU	34

ภาพที่	หน้า
2.25 อุณหภูมิของการไหลแบบสวนทางกันและขนานกันในกรณี Effectiveness and Number of Transfer Unit	35
2.26 การติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	37
2.27 ความสัมพันธ์การกลั่นตัวของกรดกำมะถัน	39
2.28 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับการกัดกร่อน	39
3.1 การทำงานของหม้อไอน้ำก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	48
3.2 การทำงานของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	49
4.1 สถานที่ตั้งโรงงานบริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด	54
4.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย	59
5.1 ลำดับขั้น การจัดการ การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่	82
ก. 1 การติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	101
ก. 2 ภาพตัดขวางเครื่องอุ่นน้ำ	102
ก. 3 ภาพด้านข้างเครื่องอุ่นน้ำ	102

สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย	หน่วย
N.C.V.	แทนค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม
w	แทนความชื้นของกากชานอ้อย	ร้อยละ (%)
s	แทนความหวานของกากชานอ้อย	ร้อยละ (%)
P_g	แทนน้ำหนักของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้	กิโลกรัมต่อกิโลกรัม
η	แทนประสิทธิภาพ	ร้อยละ (%)
B	แทนน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
m	แทนปริมาณอากาศส่วนเกิน	ร้อยละ (%)
T	แทนอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย	องศาเซลเซียส
q	แทนความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสีย	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม
Q	แทนพลังงานความร้อน	จูลต่อวินาที
k	แทนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของวัสดุ	กิโลแคลลอรีต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงต่อองศาเซลเซียส
A	แทนพื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน	ตารางเมตร
$\Delta\theta_m$	แทนความแตกต่างของอุณหภูมิ	องศาเซลเซียส
$\Delta\theta_{lmtd}$	แทนความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหล	องศาเซลเซียส
c	แทนของไหลอุณหภูมิต่ำ	—
h	แทนของไหลอุณหภูมิสูง	—
T_{ci}	แทนอุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิต่ำขาออก	องศาเซลเซียส
T_{ci}	แทนอุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิต่ำขาเข้า	องศาเซลเซียส

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย	หน่วย
ΔT_c	แทนความแตกต่างอุณหภูมิ (ของไหล - อุณหภูมิต่ำ)	องศาเซลเซียส
T_{h1}	แทนอุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิสูงขาเข้า	องศาเซลเซียส
T_{h2}	แทนอุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิสูงขาออก	องศาเซลเซียส
ΔT_h	แทนความแตกต่างอุณหภูมิ (ของไหล อุณหภูมิสูง)	องศาเซลเซียส
N_c	แทนอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของของไหลอุณหภูมิต่ำ	—
N_h	แทนอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของของไหลอุณหภูมิสูง	—
T_{span}	แทนความแตกต่างอุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิสูงขาเข้ากับอุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิต่ำขาเข้า (กรณีของไหลสวนทางกัน) หรือ ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิสูงขาเข้ากับอุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิต่ำขาออก (กรณีของไหลขนานกัน)	องศาเซลเซียส
Γ	แทนอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อน	—
α	แทนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	—
C	แทนความร้อนจำเพาะของก๊าซไอเสีย	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม ต่อองศาเซลเซียส
P	แทนปริมาณน้ำที่ได้รับการถ่ายเทความร้อน	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
c	แทนความร้อนจำเพาะของน้ำ	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม ต่อองศาเซลเซียส
T_o	แทนอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่เข้าเครื่องอุ่นน้ำ	องศาเซลเซียส

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย	หน่วย
t	แทนอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ	องศาเซลเซียส
t_0	แทนอุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องอุ่นน้ำ	องศาเซลเซียส
S	แทนพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ	ตารางเมตร
$F_0 \& F$	แทนปริมาณเชื้อเพลิงก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
$\eta_0 \& \eta$	แทนประสิทธิภาพหม้อไอน้ำก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	ร้อยละ (%)
h''	แทนเอนธาลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่ผลิตได้	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม
$h_1 \& h_2$	แทนเอนธาลปีของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและแนวคิดในการวิจัย

จากสถานการณ์เศรษฐกิจในปัจจุบัน ทำให้เกิดผลกระทบในด้านต่าง ๆ มากมายไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการผลิต และการบริการ เป็นต้น แต่ความต้องการที่ตรงกันประการหนึ่ง คือ การลดต้นทุนเพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งต้นทุนที่สำคัญประการหนึ่งที่ทุกสถานประกอบการต้องมีเหมือนกัน คือ ต้นทุนด้านพลังงาน เพราะพลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญและจัดได้ว่าเป็นปัจจัยที่ 5 ของมนุษย์ โดยการทำนายเกี่ยวกับการใช้พลังงานในอนาคตมีแนวโน้มตรงกันว่าประชากรของโลกที่เพิ่มขึ้นและการยกระดับมาตรฐานชีวิตจะนำไปสู่การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมากภายในช่วง 10, 20 และ 100 ปีต่อจากนี้ รวมทั้งประเทศไทยในปัจจุบันที่มีการเติบโตและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอุตสาหกรรมที่ส่งผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ในการตอบสนองความต้องการพลังงานได้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงชนิดใหม่ การแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่ การออกแบบพัฒนากระบวนการผลิต ตลอดจนเทคโนโลยีในการนำพลังงานที่หามาได้ให้มีการใช้อย่างคุ้มค่าที่สุด จากการสำรวจ พบว่า ในช่วง 9 เดือนแรกของปี พ.ศ. 2545 ประเทศไทยมีอัตราการขยายตัวของการผลิตภาคอุตสาหกรรมร้อยละ 7.3 ส่งผลให้มีการนำเข้าพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เชิงพาณิชย์สูงขึ้นร้อยละ 6.1 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2544 ของการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์รวมทั้งประเทศ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2545: 3 - 1) การใช้พลังงานอย่างประหยัดโดยให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง อาทิเช่นการนำเอาพลังงานความร้อนสูญเสียจากก๊าซไอเสีย (Flue Gas) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการอุ่นวัสดุ (Material Preheating) อุ่นอากาศ (Air Preheating) อุ่นน้ำ (Water Preheating) หรืออุ่นเชื้อเพลิง (Fuel Preheating) ก่อนที่จะใช้ในกระบวนการผลิตหรือการสันดาปมาใช้ โดยจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นประมาณร้อยละ 1 ต่อทุก ๆ 20 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของก๊าซไอเสียลดลง (ทาคามูระ โยชิฮิโกะ, 2543: 351)

ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่มีการใช้หม้อไอน้ำ จะมีความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เพื่อนำความร้อนมาทำให้น้ำที่บรรจุอยู่ในหม้อไอน้ำกลายเป็นไอน้ำ โดยจะนำไอน้ำไปขับเคลื่อนเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีความร้อนที่สูญเสียจากก๊าซไอเสีย ที่ปล่อยออกจากปล่องไฟ (Stack) ในปริมาณสูง โดยปกติจะมีอุณหภูมิสูงกว่าไอน้ำที่ผลิตได้ ดังนั้น การนำเอาพลังงานความร้อนที่สูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์ (Flue Gas Heat Recovery) อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น และเป็นการลดต้นทุนการผลิตโดยตรง รวมทั้งยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า โดยสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นที่มาของพลังงานความร้อน อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปัญหามลภาวะ ภาวะโลกร้อน และสอดคล้องกับเหตุผลในการประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะการทำงาน และคุณสมบัติทางความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ (Economizer) ในการนำความร้อนจากก๊าซไอเสีย กลับมาใช้เพื่อทำการอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Feed Water)
- 1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ
- 1.2.4 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ ของการนำความร้อนจากก๊าซไอเสีย กลับมาใช้ประโยชน์ (Recovery) โดยการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ทำการศึกษาถึงผลที่ได้จากการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ ในการนำความร้อนจากก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกจากปล่องไฟกลับมาใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ แบบท่อน้ำ (Water Tube) รุ่น N - 1700, 1979 ขนาดอัตราการผลิตไอน้ำ 60,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส ความดัน 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลิตโดย TAKUMA Co., Ltd. ประเทศ ญี่ปุ่น ของบริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด ในช่วง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2546 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2547 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหีบอ้อย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทำให้ทราบถึงลักษณะปัญหาในการดำเนินการติดตั้งและการทำงานของเครื่องอุ่นน้ำ
- 1.4.2 ทำให้ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นต้นทุนการผลิตที่สำคัญและสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการดำเนินงานทางด้านการอนุรักษ์พลังงานให้กว้างขวางมากขึ้น
- 1.4.3 ทำให้สามารถลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ
- 1.4.4 ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้น

1.5 สมมติฐานการวิจัย

- 1.5.1 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำสูงกว่าก่อนการติดตั้ง
- 1.5.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำน้อยกว่าก่อนการติดตั้ง

1.6 นิยามคำศัพท์

หม้อไอน้ำ (Boiler) หมายถึง เครื่องกำเนิดไอน้ำชนิดภาชนะปิด ทำด้วยเหล็กกล้าหรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณลักษณะคล้ายกัน โดยได้รับการออกแบบและสร้างอย่างแข็งแรงถูกหลักวิศวกรรมภายในบรรจุด้วยน้ำส่วนหนึ่งและอีกส่วนหนึ่งสำหรับเก็บไอน้ำ

เครื่องอุ่นน้ำ (Economizer) หมายถึง เครื่องจักรหรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อดึงเอาความร้อนจากก๊าซไอเสีย (Flue Gas) มาทำการอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (Boiler Efficiency) หมายถึง ความสามารถในการผลิตไอน้ำเมื่อเทียบกับอัตราการใช้เชื้อเพลิง

ก๊าซไอเสีย (Flue Gas) หมายถึง ก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อนำความร้อนที่ได้มาใช้งานและถูกปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศทางปล่องไฟ

น้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Feed Water) หมายถึง น้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อให้ได้คุณภาพตามความต้องการใช้งานสำหรับหม้อไอน้ำ

การนำกลับ (Recovery) หมายถึง การนำพลังงานความร้อนของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกลับมาใช้ประโยชน์

กากชานอ้อย (Bagasse) หมายถึง กากอ้อยที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนแก่หม้อไอน้ำ

น้ำคอนเดนเสท (Condensate) หมายถึง น้ำบริสุทธิ์ซึ่งเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำควบแน่น (ในอุดมคติ)

ความร้อนแฝง (Sensible Heat) หมายถึง ความร้อนที่เพิ่มอุณหภูมิของน้ำหรือไอน้ำ โดยไม่ทำให้สถานะเปลี่ยนแปลง

ความจุความร้อน (Specific Heat) หมายถึง หน่วยวัดความสามารถของวัตถุในการดูดซับความร้อนหรือ หมายถึง ปริมาณของพลังงาน (จูล) ที่ทำให้สาร 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

เอนทัลปี (Enthalpy) หมายถึง ปริมาณพลังงานรวมที่เกิดขึ้นโดยความดัน (Pressure) และอุณหภูมิ (Temperature) รวมกันของของเหลวหรือไอ (ในสภาพน้ำหรือไอน้ำ) ณ ขณะใดขณะหนึ่งและในสภาพใดสภาพหนึ่ง

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบต้นกำลังการผลิตไอน้ำหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า ระบบหม้อไอน้ำ เป็นระบบที่ใช้สำหรับการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะการนำความร้อนที่ได้จากการผลิตไอน้ำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การนำความร้อนไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น ระบบหม้อไอน้ำจึงจำเป็นต้องอาศัยเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการผลิตไอน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ตัวแปรของระบบการผลิตไอน้ำ ได้แก่ ระบบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในห้องสันดาป ความร้อนที่สูญเสียไปกับส่วนประกอบต่าง ๆ ของหม้อไอน้ำ เช่น ผนังหม้อไอน้ำ ความร้อนของก๊าซไอเสีย คอนเดนเสท ระบบน้ำเลี้ยง ระบบน้ำปล่อยทิ้ง การแผ่รังสี ความร้อนและการออกแบบการผลิตหม้อไอน้ำ

การนำความร้อนจากจากไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้ประหยัดพลังงาน และลดมลพิษได้ การแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการใช้แหล่งทรัพยากรพลังงานในปัจจุบันพบว่า พลังงานแต่ละแห่งมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อมีการใช้พลังงานกันมากขึ้นจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ เพื่อช่วยลดมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานดังกล่าว ส่วนใหญ่พลังงานที่ใช้จะอยู่ในรูปของความร้อน ซึ่งเป็นการยากที่จะนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ การพิจารณานำเอาเทคนิคประเภทต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ เพื่อดึงเอาความร้อนสูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์ สิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ จุดคุ้มทุน ระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงความสำคัญต่อการจัดการด้านประสิทธิภาพของพลังงานเหล่านั้นด้วย

เครื่องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้เพื่อนำเอาความร้อนจากก๊าซไอเสีย ที่ปล่อยออกจากปล่องไฟ (Stack) มาทำการอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยจะช่วยให้เพิ่มความสามารถในการผลิตไอน้ำหรืออาจลดขนาดของหม้อไอน้ำลงได้

2.2 หม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำ หมายถึง เครื่องกำเนิดไอน้ำชนิดภาชนะปิด ทำด้วยเหล็กกล้าหรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณลักษณะคล้ายกัน โดยได้รับการออกแบบและสร้างอย่างแข็งแรงถูกหลักวิศวกรรม ภายในบรรจุด้วยน้ำส่วนหนึ่ง และ อีกส่วนหนึ่งสำหรับเก็บไอน้ำจากการที่น้ำได้รับการถ่ายเทความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทำให้น้ำที่บรรจุอยู่ภายในเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำเพื่อนำไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต การฆ่าเชื้อโรคหรืออบแห้ง เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 1)

2.2.1 ประเภทหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำสร้างขึ้นมาจากจุดประสงค์เดียวกัน คือ ผลิตไอน้ำ แต่ไอน้ำที่ผลิตได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่าง ๆ กัน หม้อไอน้ำสามารถแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแยกประเภทหม้อไอน้ำ

ประเภท	รูปแบบ	ตัวอย่าง
หม้อไอน้ำทรงกระบอก	หม้อไอน้ำแบบขึ้น	หม้อไอน้ำแบบขึ้นที่มีระบบท่อในแนวนอน หม้อไอน้ำแบบขึ้นที่มีท่อหลายท่อ
	หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ	หม้อไอน้ำ Cornish หม้อไอน้ำ Lancashire
	หม้อไอน้ำแบบท่อควัน	หม้อไอน้ำท่อควันแนวนอน (เตาเผาไหม้ภายนอก) หม้อไอน้ำแบบรถจักรไอน้ำ (เตาเผาไหม้ภายใน)
หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ	หม้อไอน้ำแบบท่อไฟผสมท่อควัน	หม้อไอน้ำแบบท่อไฟผสมท่อควัน
	หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำตรง	หม้อไอน้ำ Babcock หม้อไอน้ำ Takuma

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

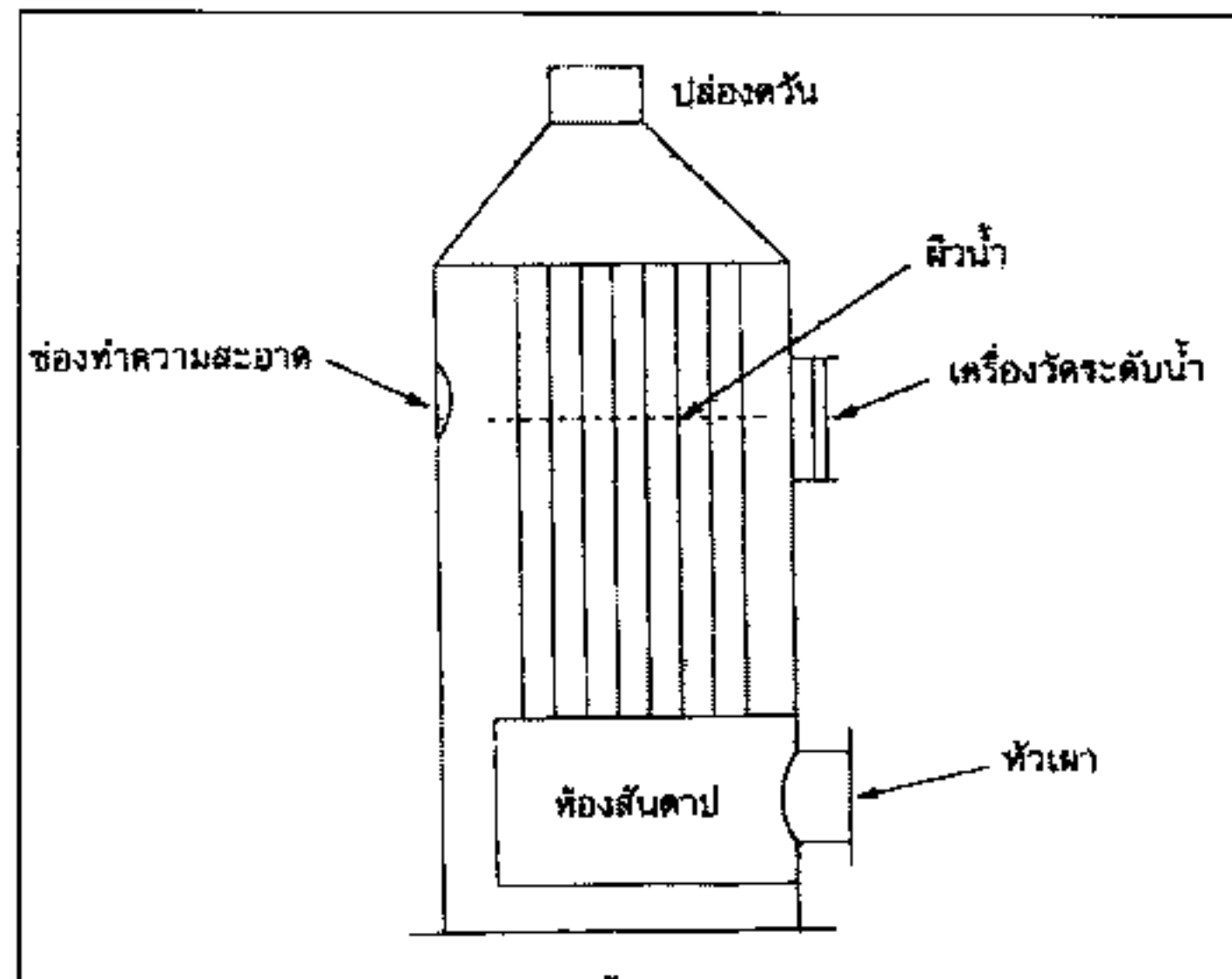
ประเภท	รูปแบบ	ตัวอย่าง
หม้อไอน้ำชนิดพิเศษ	หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำโค้ง	หม้อไอน้ำแบบถังน้ำ 2 ใบ หม้อไอน้ำแบบถังน้ำเดี่ยว หม้อไอน้ำแบบถังน้ำ 3 ใบ
	หม้อไอน้ำแบบหมุนเวียนบังคับ	หม้อไอน้ำลามอนด์ หม้อไอน้ำ CE
	หม้อไอน้ำแบบไหลผ่าน (ไม่มีถังน้ำ)	หม้อไอน้ำ Benson หม้อไอน้ำซูเปอร์
	หม้อไอน้ำระบบเผาไหม้	หม้อไอน้ำเรซิน หม้อไอน้ำเคลย์ตัน
	เพิ่มความดัน	หม้อไอน้ำเบร็อคส์
	หม้อไอน้ำหลักหล่อ	หม้อไอน้ำความดันสำหรับการทำความร้อน
	หม้อไอน้ำความร้อนทิ้ง	หม้อไอน้ำที่ใช้ความร้อนของไอเสีย เช่น เตาเผาซีเมนต์ (Cement Kiln) เตาหลอม (Blast Furnace) ไอเสียจากกังหันก๊าซ ก๊าซทิ้งจากการเผาขยะ

แหล่งที่มา : ทาคามูระ, 2543: 246

2.2.2 หม้อไอน้ำทรงกระบอก

2.2.2.1 หม้อไอน้ำแบบยืน

หม้อไอน้ำแบบยืน (Vertical Boiler) ชนิดนี้เป็นแบบเตาเผาไหม้ที่อยู่ภายใน ตามภาพที่ 2.1 ตัวหม้อไอน้ำจะวางอยู่ในแนวตั้งและมีห้องเผาไหม้อยู่ตอนล่าง อัตราการผลิตไอน้ำประมาณ 0.4 - 0.6 ตันต่อชั่วโมง เนื่องจากมีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนน้อย ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจึงต่ำกว่าร้อยละ 50 (ทาคามูระ, 2543: 247)



ภาพที่ 2.1 หม้อไอน้ำแบบยืน

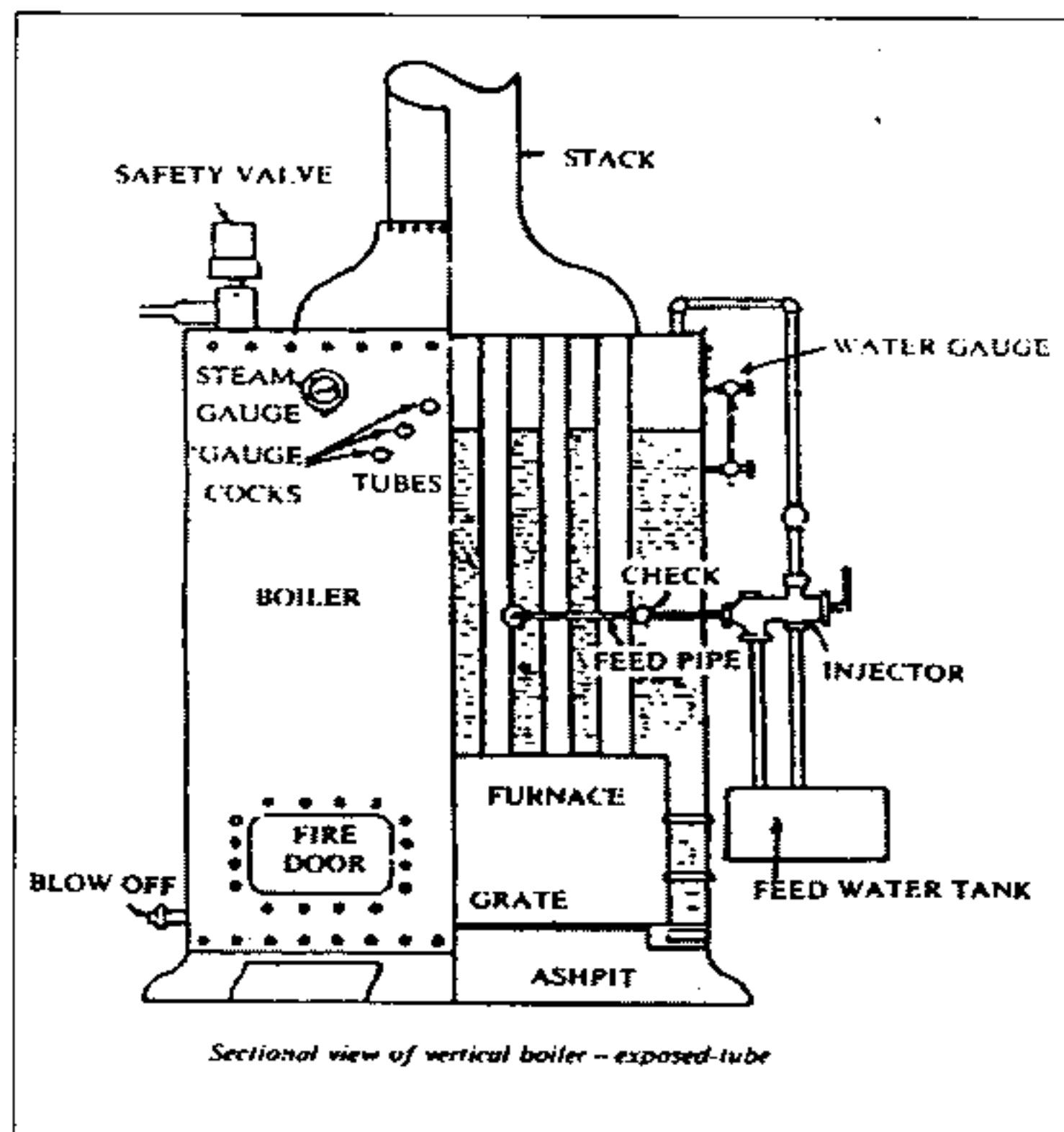
แหล่งที่มา : ทาคามูระ, 2543: 247

2.2.2.2 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler) ใช้ท่อโลหะเป็นตัวนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผ่านท่อไฟเพื่อให้ความร้อนกับน้ำที่อยู่รอบ ๆ ท่อไฟเหล่านี้โดยจะมีเปลือกหุ้มอีกชั้นหนึ่งทำหน้าที่รักษาความดันภายใน หม้อไอน้ำแบ่งออกตามลักษณะโครงสร้างได้ 2 แบบ คือ (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2518: 23)

1) หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟตั้ง เปลือกและท่อไฟจะวางอยู่ในแนวตั้งใช้พื้นที่น้อย แต่ประสิทธิภาพไม่ดี เนื่องจากความร้อนจากการเผาไหม้จะผ่านเร็วเกินไปทำให้สูญเสียความร้อนออกไปทางปล่องไฟมาก หม้อไอน้ำชนิดนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

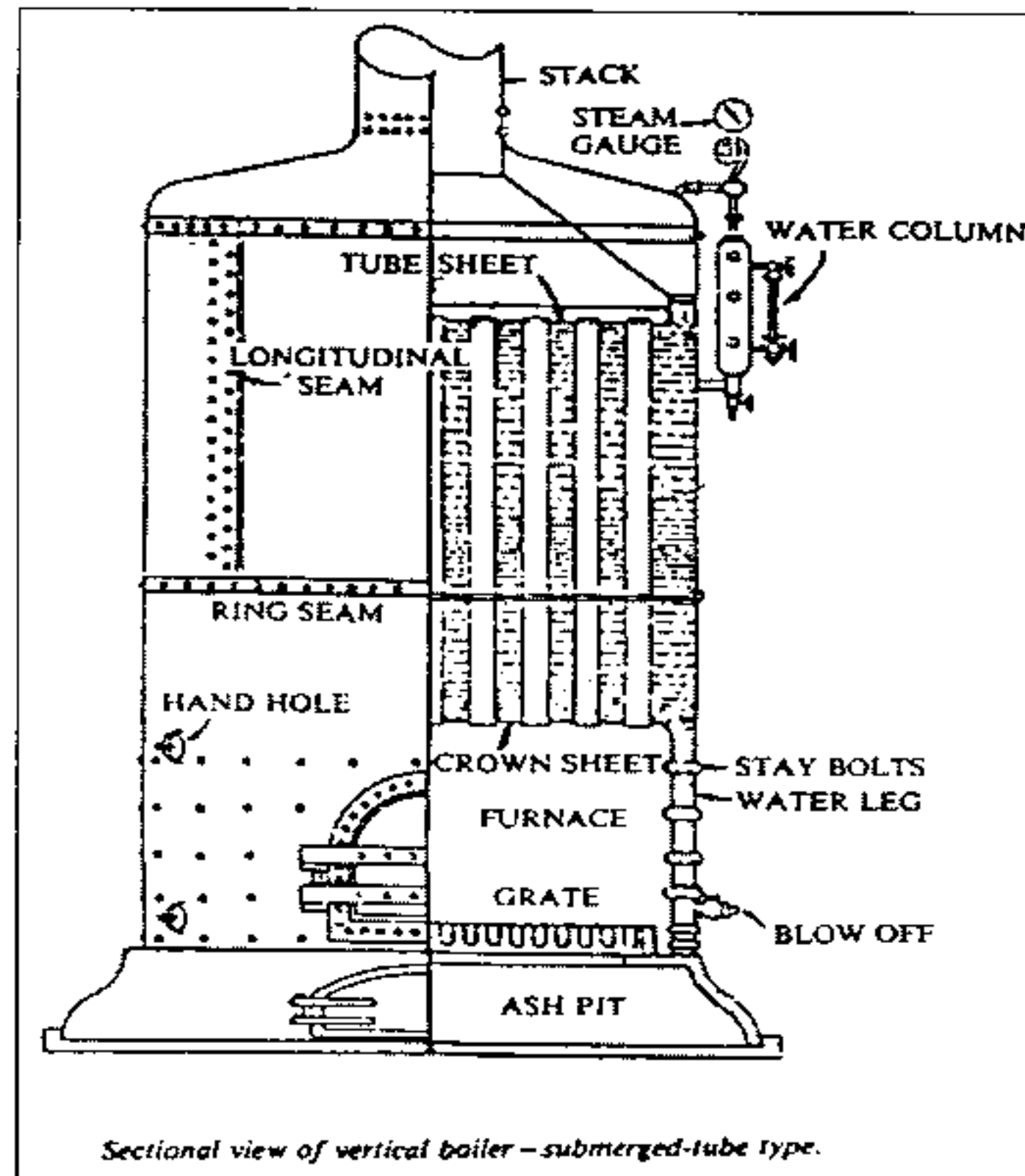
(1) หม้อไอน้ำท่อไฟตั้ง - ท่อพื้นน้ำ (Vertical Boiler - Exposed Tube) หม้อไอน้ำแบบนี้สามารถลดความชื้น (น้ำ) ของไอน้ำได้ดี ตามภาพที่ 2.2 วัสดุที่จะนำมาทำท่อไฟต้องมีคุณสมบัติพิเศษทนความร้อนได้สูง เนื่องจากท่อไฟส่วนที่พื้นน้ำจะได้รับความร้อนสูงทำให้สึกกร่อนและชำรุดได้ง่าย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 10)



ภาพที่ 2.2 หม้อไอน้ำท่อไฟตั้ง – ท่อพ่นน้ำ

แหล่งที่มา : Lammers, 1992: 33

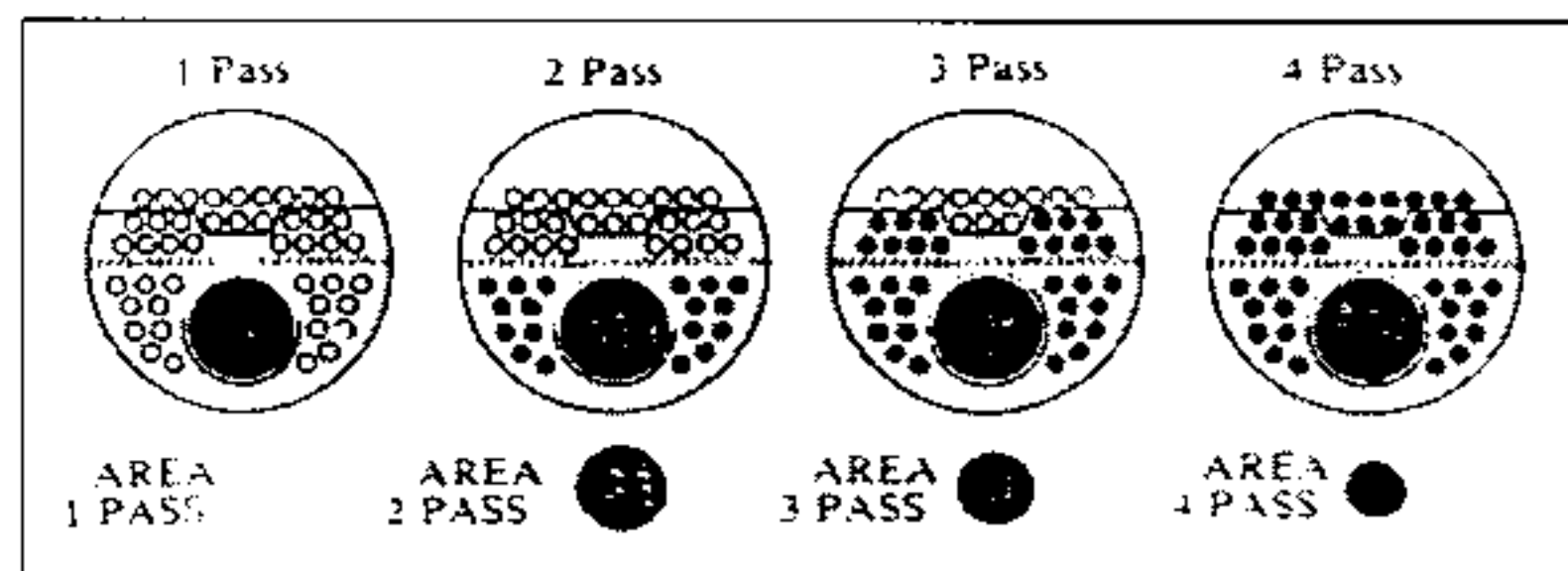
(2) หม้อไอน้ำท่อไฟตั้ง - น้ำท่วมท่อ (Vertical Boiler Submerged Tube) ชนิดนี้ส่วนที่เก็บไอน้ำจะมีมากกว่า ตามภาพที่ 2.3 การสร้างส่วนเก็บน้ำทำได้ยาก ไอน้ำที่ได้จะมีน้ำผสมอยู่มากกว่าชนิดท่อพ่นน้ำ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 11)



ภาพที่ 2.3 หม้อไอน้ำท่อไฟตั้ง – น้ำท่วมท่อ

แหล่งที่มา : Lammers, 1992: 34

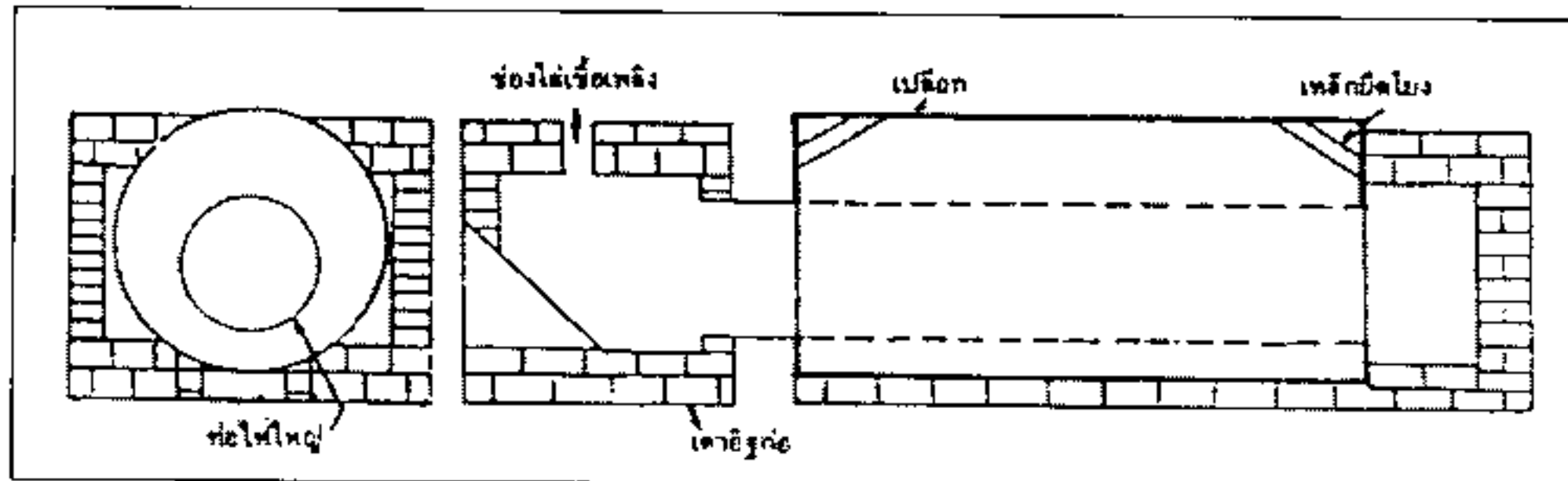
2) หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟนอน ตัวหม้อไอน้ำมีลักษณะเป็นทรงกระบอกวางอยู่ในแนวนอนความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะไหลผ่านท่อไฟ และผ่านทางท่อคว้นซึ่งก่อด้วยผนังอิฐเพื่ออุ่นตัวหม้อไอน้ำจากภายนอก โดยจะไหลผ่าน 1, 2, 3 หรือ 4 เที้ยวก็ได้แล้วแต่การออกแบบการไหลของก๊าซในท่อ ตามภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การไหลของก๊าซร้อนในท่อ

แหล่งที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 12

ลักษณะการไหลวนของก๊าซร้อนในท่อ 1 ที่เขวเรียกว่า Cornish Boiler และแบบที่มีการไหลวนของก๊าซร้อนในท่อ 2 ที่เขว เรียกว่า Lancashire Boiler หรือเรียกว่า หม้อไอน้ำลูกหมู ตามภาพที่ 2.5 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 15)



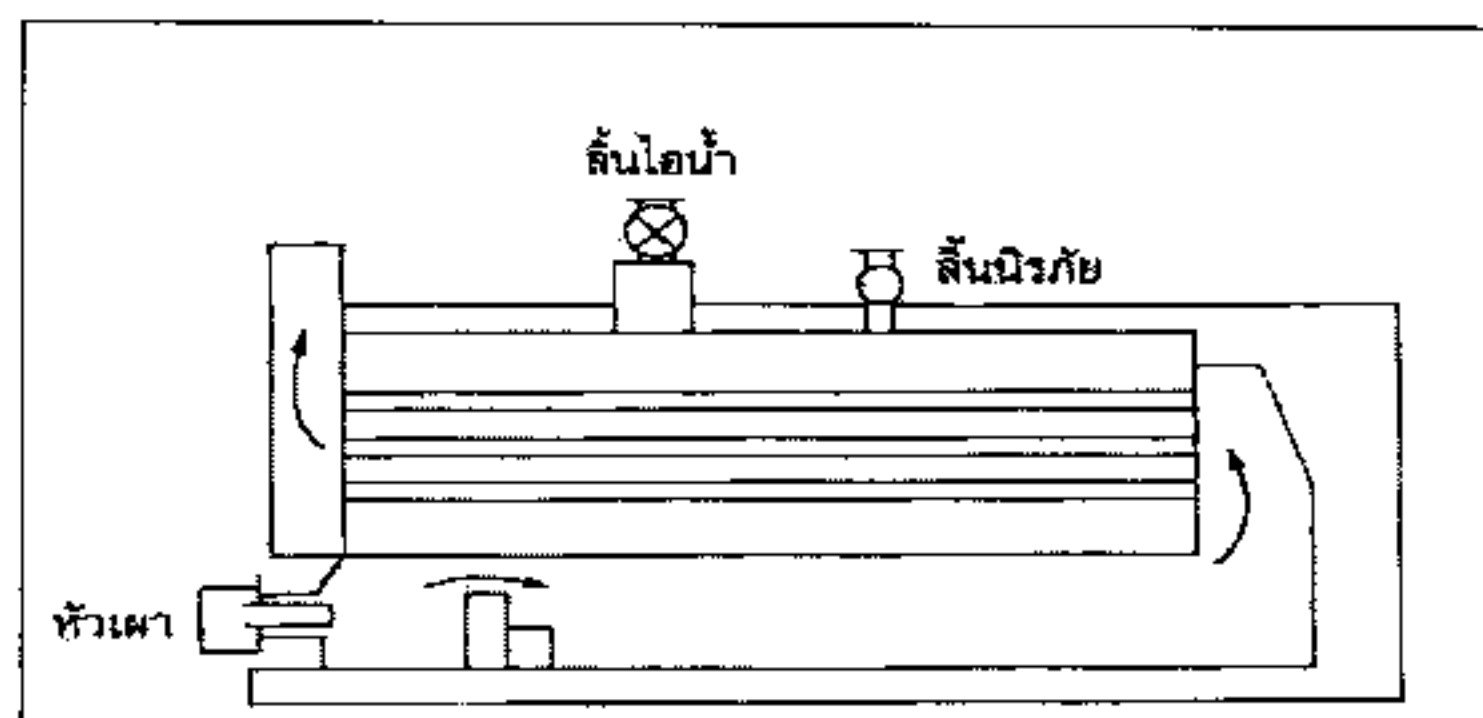
ภาพที่ 2.5 Lancashire Boiler

แหล่งที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 15

2.2.2.3 หม้อไอน้ำแบบท่อควัน

หม้อไอน้ำแบบท่อควัน (Smoke Tube Boiler) จะมีท่อควันเล็ก ๆ หลายท่อติดตั้งอยู่ภายในส่วนที่บรรจุน้ำของตัวหม้อไอน้ำ เพื่อเป็นทางผ่านของก๊าซร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง แบ่งตามลักษณะของเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงได้ ดังนี้ (ทาคามูระ โยชิฮิโกะ, 2543: 248 - 249)

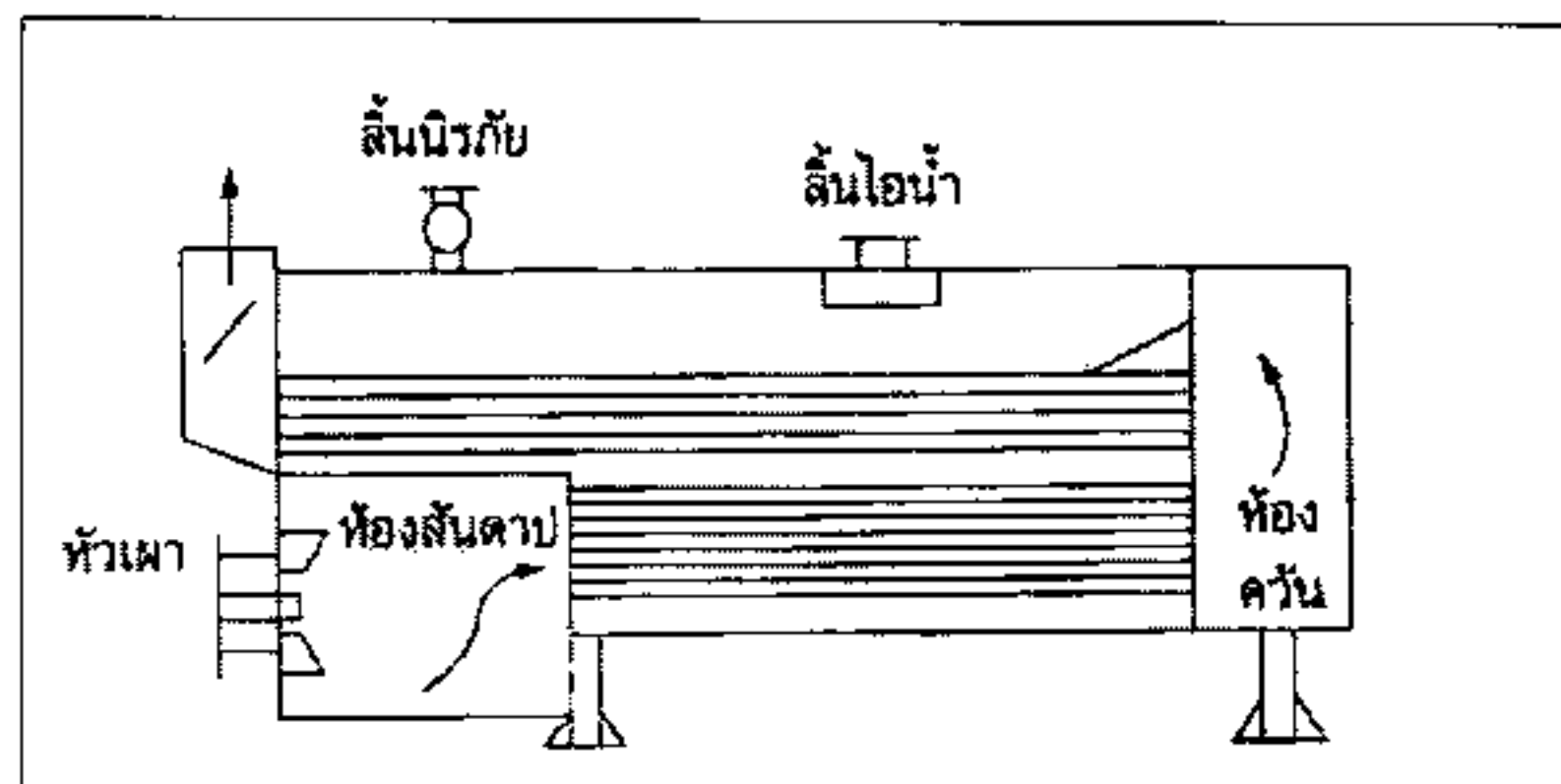
1) หม้อไอน้ำแบบท่อควันชนิดเตาเผาไหม้ภายนอก ตามภาพที่ 2.6 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ก่อด้วยผนังอิฐอยู่ที่ส่วนล่างของตัวหม้อไอน้ำ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะถ่ายเทให้กับผิวด้านล่างของตัวหม้อไอน้ำ และไหลวนเข้าไปในท่อควันด้านหลัง จากนั้นจะไหลวนออกทางด้านหน้าของท่อควันไปยังปล่องไฟ



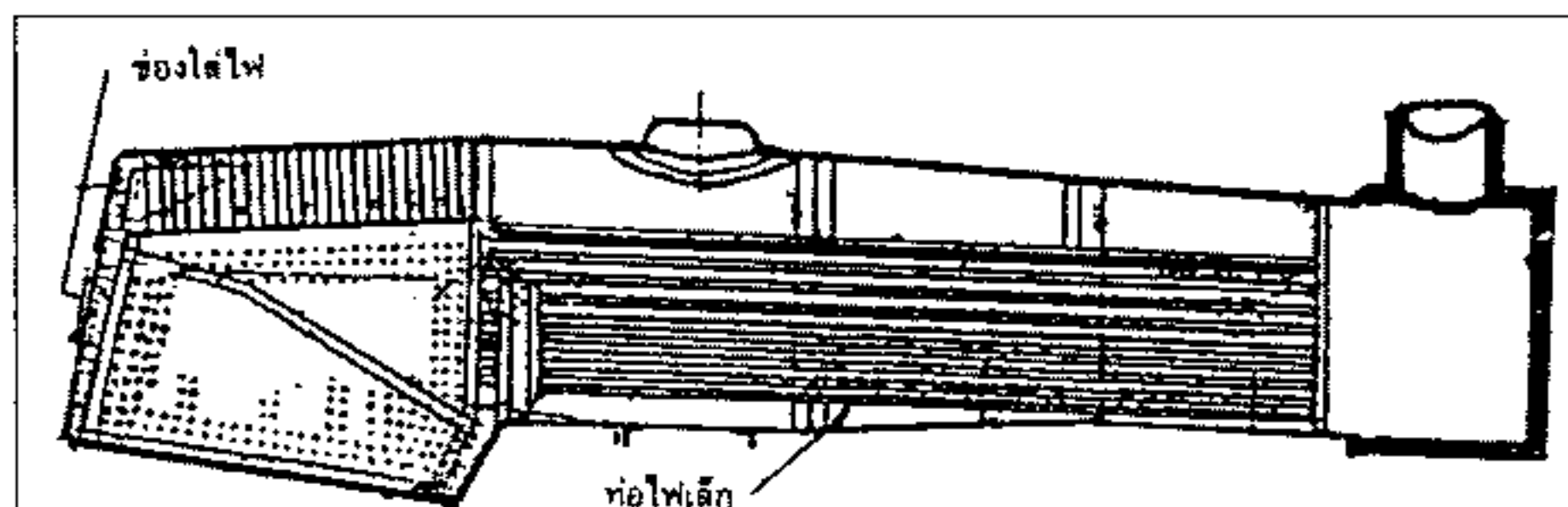
ภาพที่ 2.6 หม้อไอน้ำแบบท่อควันชนิดเตาเผาไหม้ภายนอก

แหล่งที่มา : ทาคามูระ, 2543: 249

2) หม้อไอน้ำแบบท่อควันทันชนิดเตาเผาไหม้ภายใน ตามภาพที่ 2.7 และภาพที่ 2.8 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงจะติดตั้งอยู่ภายในตัวหม้อไอน้ำ เนื่องจากไม่มีทางเดินของก๊าซร้อนซึ่งเป็นผนังอิฐอยู่ภายนอกจึงมีความสะดวกในการติดตั้ง



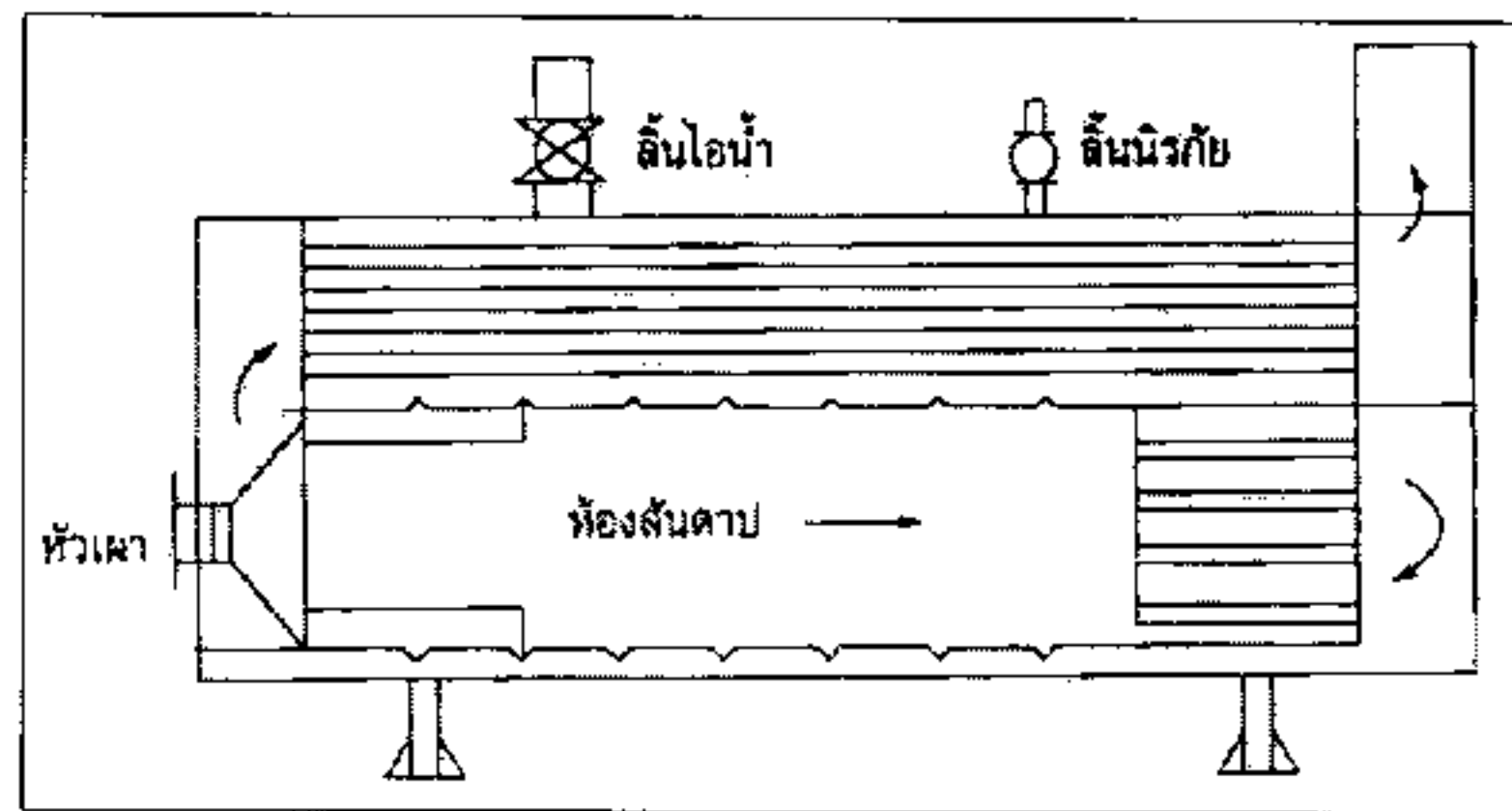
ภาพที่ 2.7 หม้อไอน้ำแบบท่อควันทันชนิดเตาเผาไหม้ภายใน
แหล่งที่มา : ทาคามูระ, 2543: 249



ภาพที่ 2.8 หม้อไอน้ำรถไฟ
แหล่งที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 5

2.2.2.4 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟผสมท่อควัน

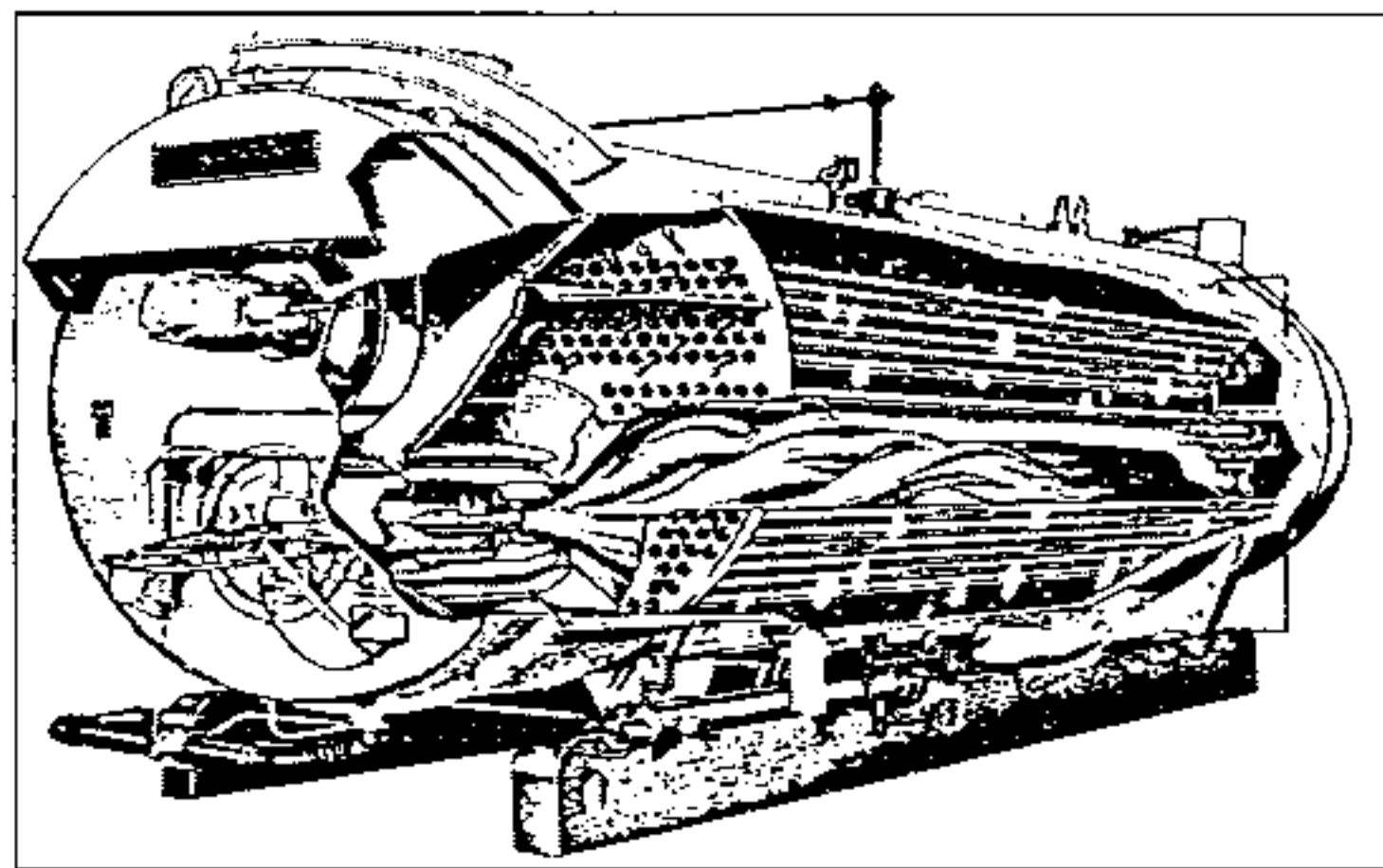
หม้อไอน้ำชนิดนี้มีทั้งท่อไฟและกลุ่มท่อควัน ประกอบกันอยู่ภายใน ตามภาพที่ 2.9 โดยเน้นจุดค้ำของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟและท่อควัน ซึ่งจะมีท่อควันจำนวนหลายท่อประกอบกันกับท่อไฟรูปลอน 1 ท่อ (ทาคามูระ, 2543: 249 - 250)



ภาพที่ 2.9 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟผสมท่อคว้น

แหล่งที่มา : ทาคามุระ, 2543: 249

หม้อไอน้ำแบบท่อไฟผสมท่อคว้น คือ หม้อไอน้ำสำเร็จรูปหรือแพคเกจจ (Package Boiler) เนื่องจากสามารถสร้างและประกอบในโรงงานเป็นหม้อไอน้ำสำเร็จรูป ตามภาพที่ 2.10 ซึ่งสะดวกในการขนส่งและติดตั้ง มีอัตราการผลิตไอน้ำประมาณ 6 ตันต่อชั่วโมง และมีประสิทธิภาพประมาณ ร้อยละ 75 - 85 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 12)



ภาพที่ 2.10 หม้อไอน้ำสำเร็จรูปหรือแพคเกจ

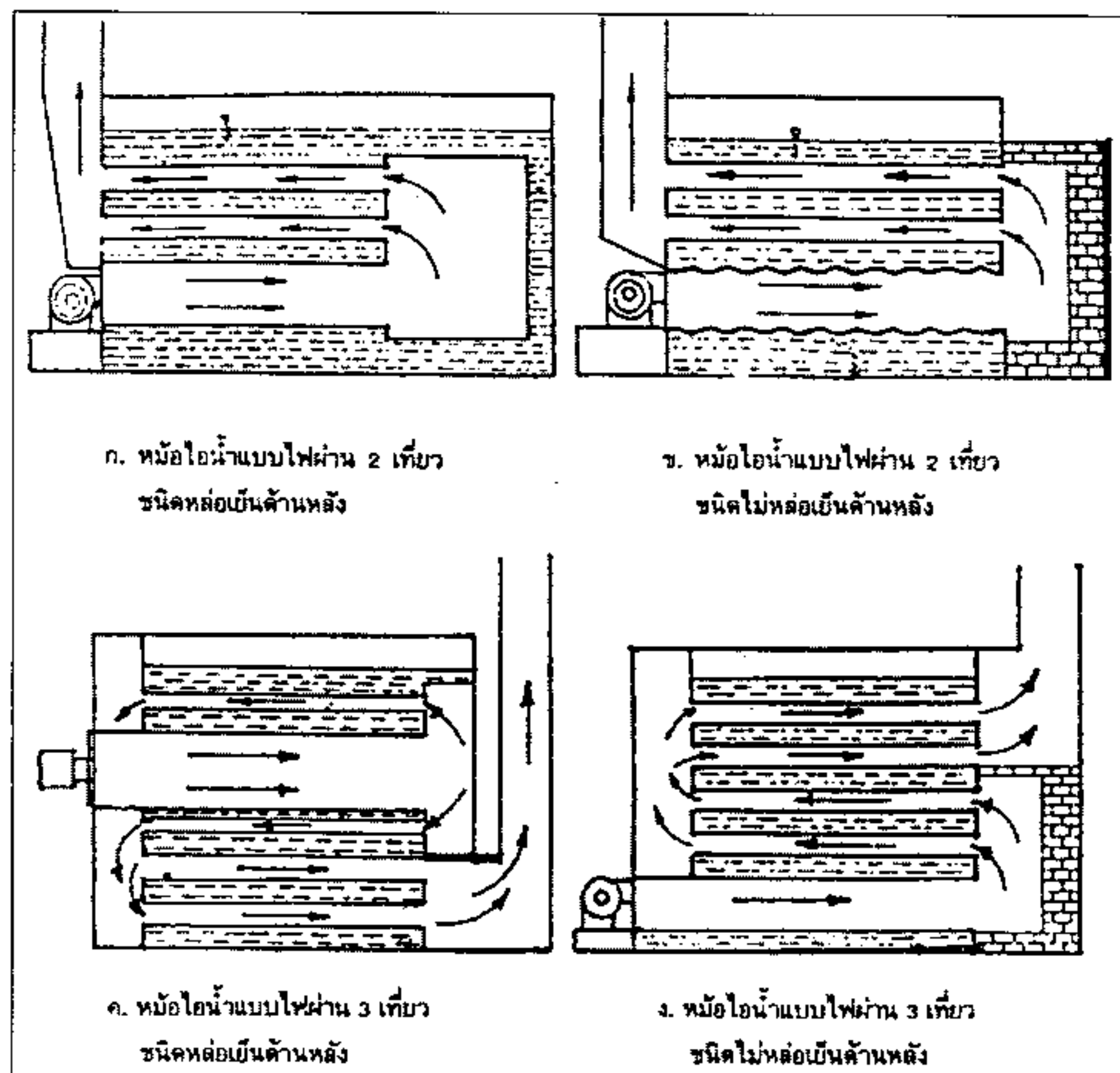
แหล่งที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 13

การออกแบบทิศทางการไหลวนของก๊าซร้อนมีตั้งแต่ 2 – 4 เที้ยวและยังมีการแบ่งเป็นชนิดหล่อเย็นด้านหลัง และไม่มีการหล่อเย็นด้านหลัง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 14)

ภาพที่ 2.11 ก. แบบทิศทางการไหลของก๊าซร้อนผ่าน 2 เที้ยว มีน้ำหล่อเย็นด้านหลังหม้อไอน้ำ มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นที่ด้านหลัง ทำให้อัตราการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นแต่การสร้างมีความยุ่งยาก

ภาพที่ 2.11 ข. แบบทิศทางการไหลของก๊าซร้อนผ่าน 2 เที้ยว ไม่มีน้ำหล่อเย็นด้านหลัง หม้อไอน้ำจะมีการสูญเสียความร้อนทางด้านหลัง ทำให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (Overall Efficiency) ลดลงร้อยละ 1 – 3

ภาพที่ 2.11 ค. และ 2.11 ง. แบบทิศทางการไหลของก๊าซร้อนผ่าน 3 เที้ยว มีน้ำหล่อเย็นและไม่มีน้ำหล่อเย็นด้านหลัง ข้อดีและข้อเสียจะเหมือนกับแบบทิศทางการไหลของก๊าซร้อนผ่าน 2 เที้ยว มีน้ำหล่อเย็นและไม่มีน้ำหล่อเย็น ไม่เหมาะสำหรับเชื้อเพลิงแข็ง เนื่องจากมีการไหลของก๊าซร้อน 3 เที้ยว ทำให้กากที่เหลือจากการเผาไหม้ตกค้างในท่อไฟและอาจเกิดการอุดตันได้



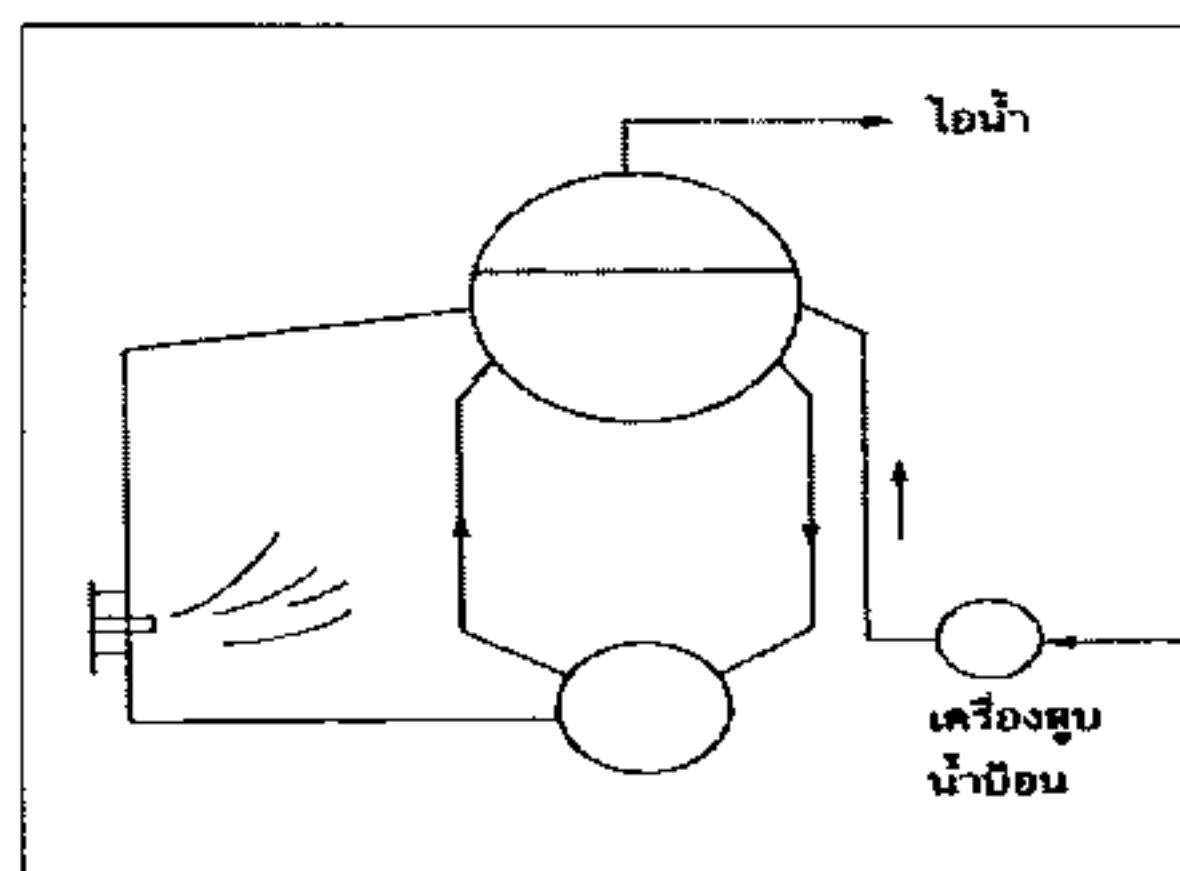
ภาพที่ 2.11 หม้อไอน้ำแพคเกจชนิดมีและไม่มีน้ำหล่อเย็นด้านหลัง

2.2.3 หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ

หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water Tube Boiler) คือ หม้อไอน้ำชนิดที่ให้น้ำที่ต้องการต้มอยู่ภายในท่อที่เป็นเหล็กกล้า ซึ่งเป็นสื่อความร้อนที่ดี ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ อยู่ภายนอกกรอบ ๆ ท่อน้ำ เพื่อถ่ายเทให้กับน้ำที่อยู่ภายในท่อ เป็นหม้อไอน้ำที่ผลิตไอน้ำความดันสูงตั้งแต่ 150 – 5,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ตั้งแต่ 15,000 ปอนด์ต่อชั่วโมงขึ้นไป (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2518: 38)

การหมุนเวียนของน้ำในหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ สามารถจำแนกการหมุนเวียนของน้ำได้ดังนี้ (ทาคามูระ, 2543: 251)

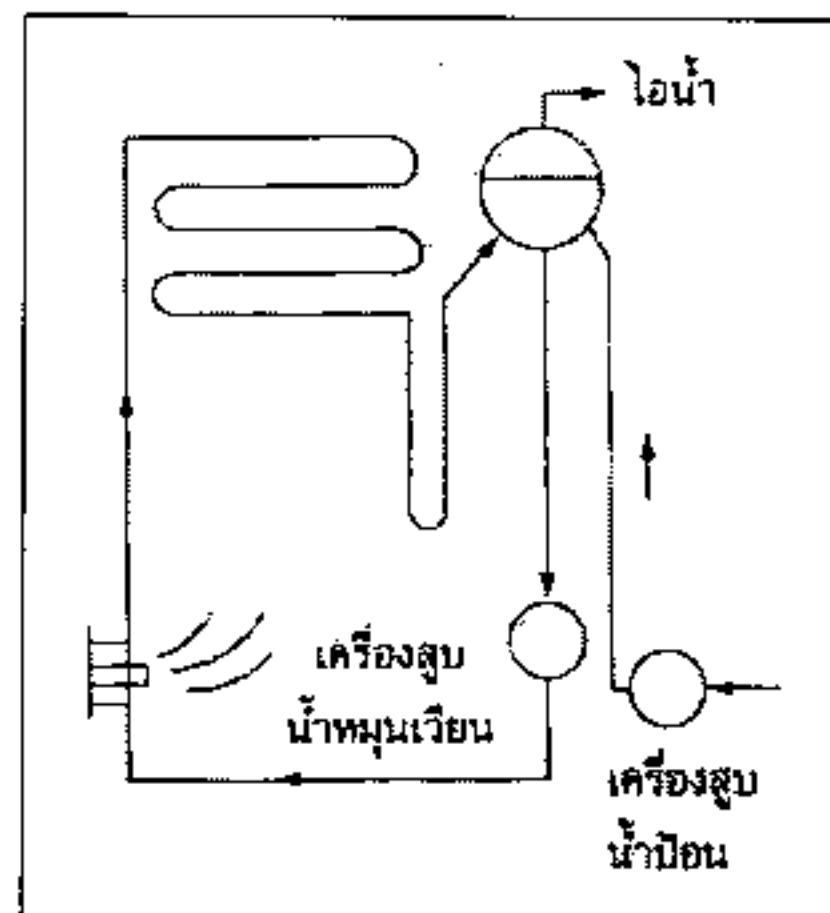
2.2.3.1 แบบหมุนเวียนธรรมชาติ (Natural Circulation) ตามภาพที่ 2.12 ระบบการหมุนเวียนของน้ำเกิดจากผลต่างของความถ่วงจำเพาะของน้ำ เมื่อน้ำในท่อได้รับความร้อน ส่วนหนึ่งจะกลายเป็นไอน้ำทำให้ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยในส่วนนั้นต่ำลงจึงเคลื่อนที่ขึ้นข้างบน ส่วนน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำจะไหลจากส่วนบนลงมาตอนล่างเป็นการไหลเวียนของน้ำ เนื่องจากผลต่างของความถ่วงจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัวและน้ำอิ่มตัวมีค่าน้อยลงที่ความดันสูง ทำให้การไหลเวียนของน้ำจะไม่เพียงพอ จึงต้องออกแบบให้ท่อน้ำมีส่วนโค้งมากขึ้น หรือให้ตัวหม้อไอน้ำสูงขึ้น



ภาพที่ 2.12 หม้อไอน้ำแบบหมุนเวียนธรรมชาติ

แหล่งที่มา : ทาคามูระ, 2543: 252

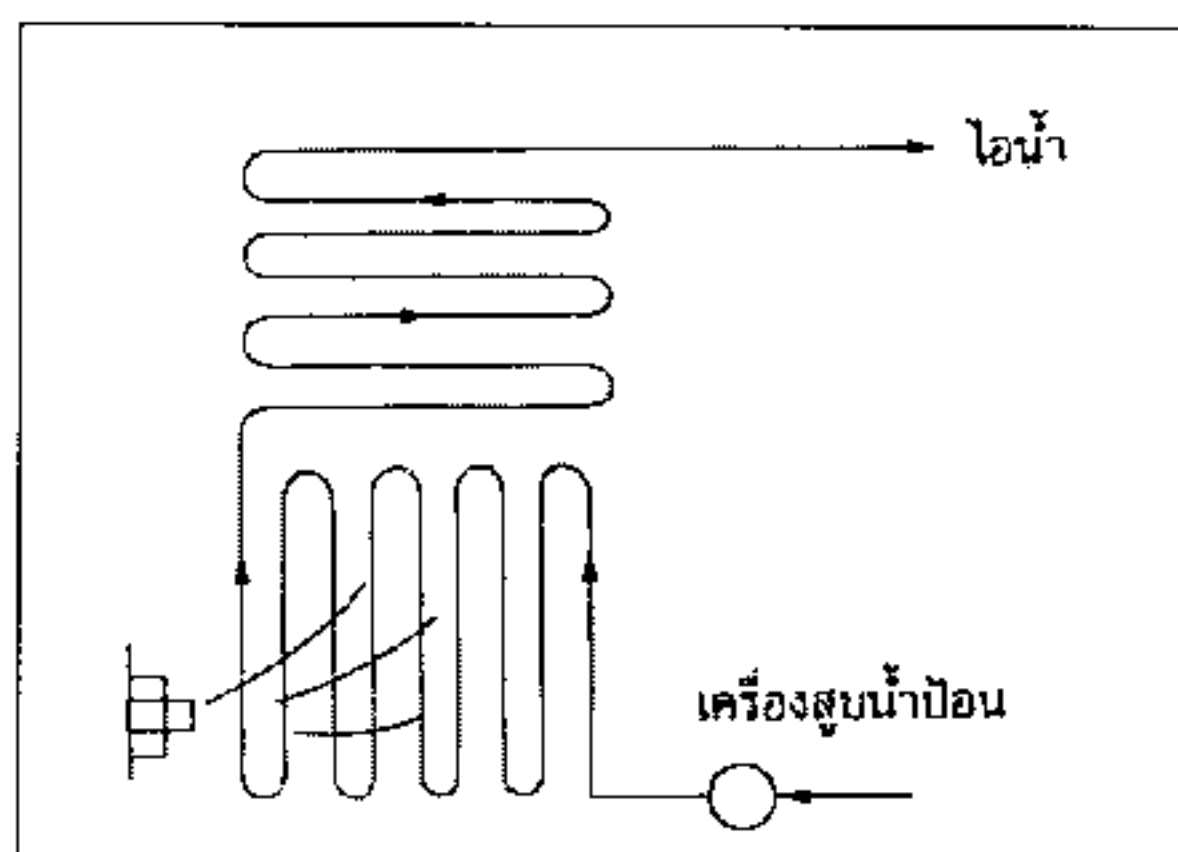
2.2.3.2 แบบหมุนเวียนบังคับ (Forced Circulation) โดยใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ เช่น เครื่องสูบน้ำแทน ตามภาพที่ 2.13 ซึ่งไม่มีข้อจำกัดในด้านทิศทางการไหลของน้ำ หรือความสูงของหม้อไอน้ำ



ภาพที่ 2.13 หม้อไอน้ำแบบหมุนเวียนบังคับ

แหล่งที่มา : ทาคามุระ, 2543: 252

2.2.3.3 แบบไหลผ่าน (Once - Through Boiler) การผลิตไอน้ำเกิดขึ้นในขณะที่น้ำซึ่งป้อนเข้าไปด้วยเครื่องสูบน้ำกำลังไหลอยู่ในท่อน้ำ ตามภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 หม้อไอน้ำแบบไหลผ่าน

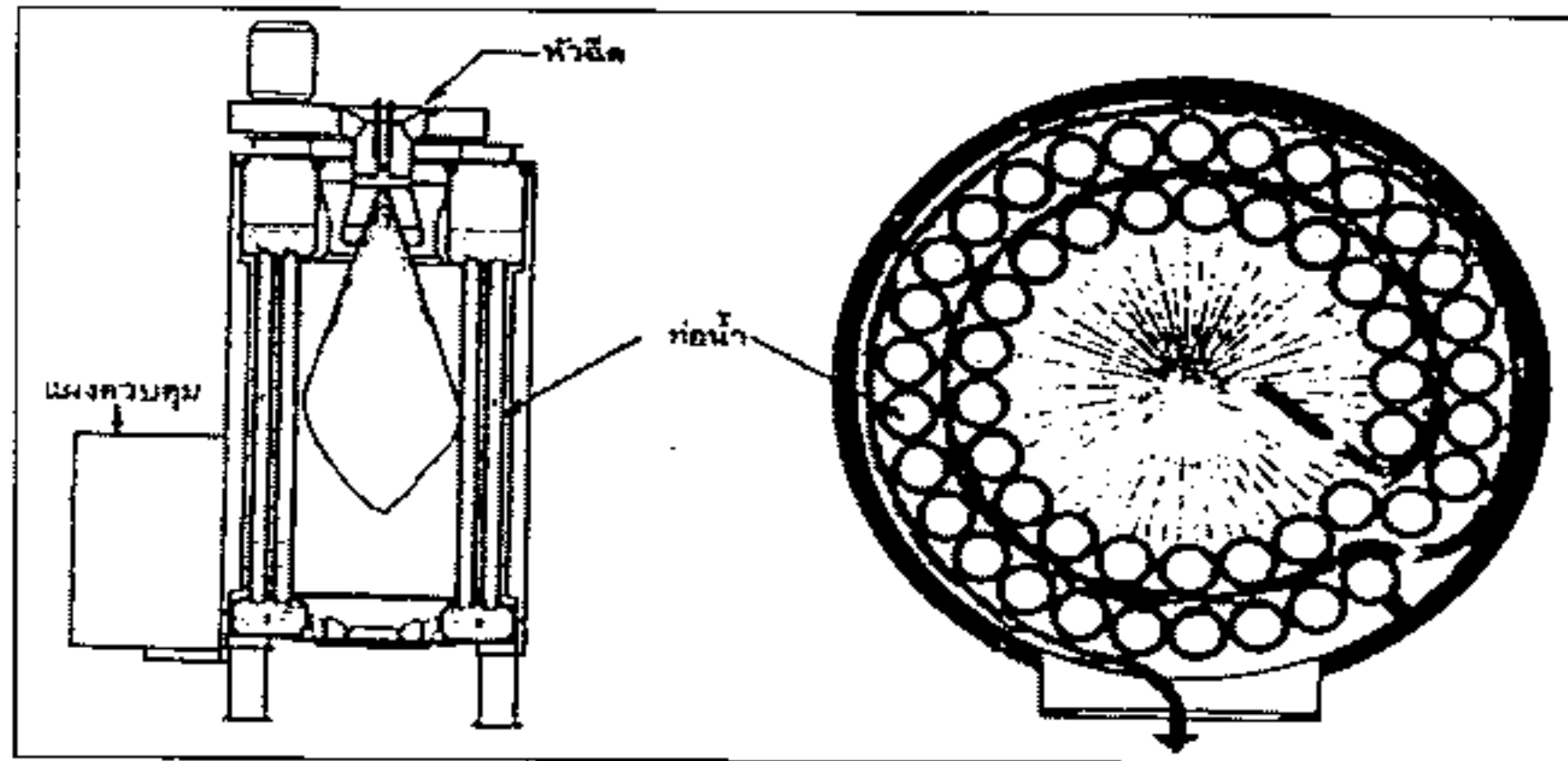
แหล่งที่มา : ทาคามุระ, 2543: 252

หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของท่อน้ำได้ 2 แบบ คือ ชนิดท่อตรงและท่อโค้ง

1) หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำตรง (Straight Tube Boiler) ท่อน้ำมีลักษณะตรง แบ่งตามประเภทของการวางท่อน้ำได้ 3 แบบ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 18 - 20)

(1) หม้อไอน้ำตั้งท่อน้ำตรง วางตั้ง ตามภาพที่ 2.15 หม้อไอน้ำชนิดนี้ท่อน้ำจะวางตั้งตรงเรียงเป็นรูปกันหอยระหว่างท่ออาจกั้นด้วยแผ่นโลหะหรือฉนวนเพื่อบังคับให้ทิศ

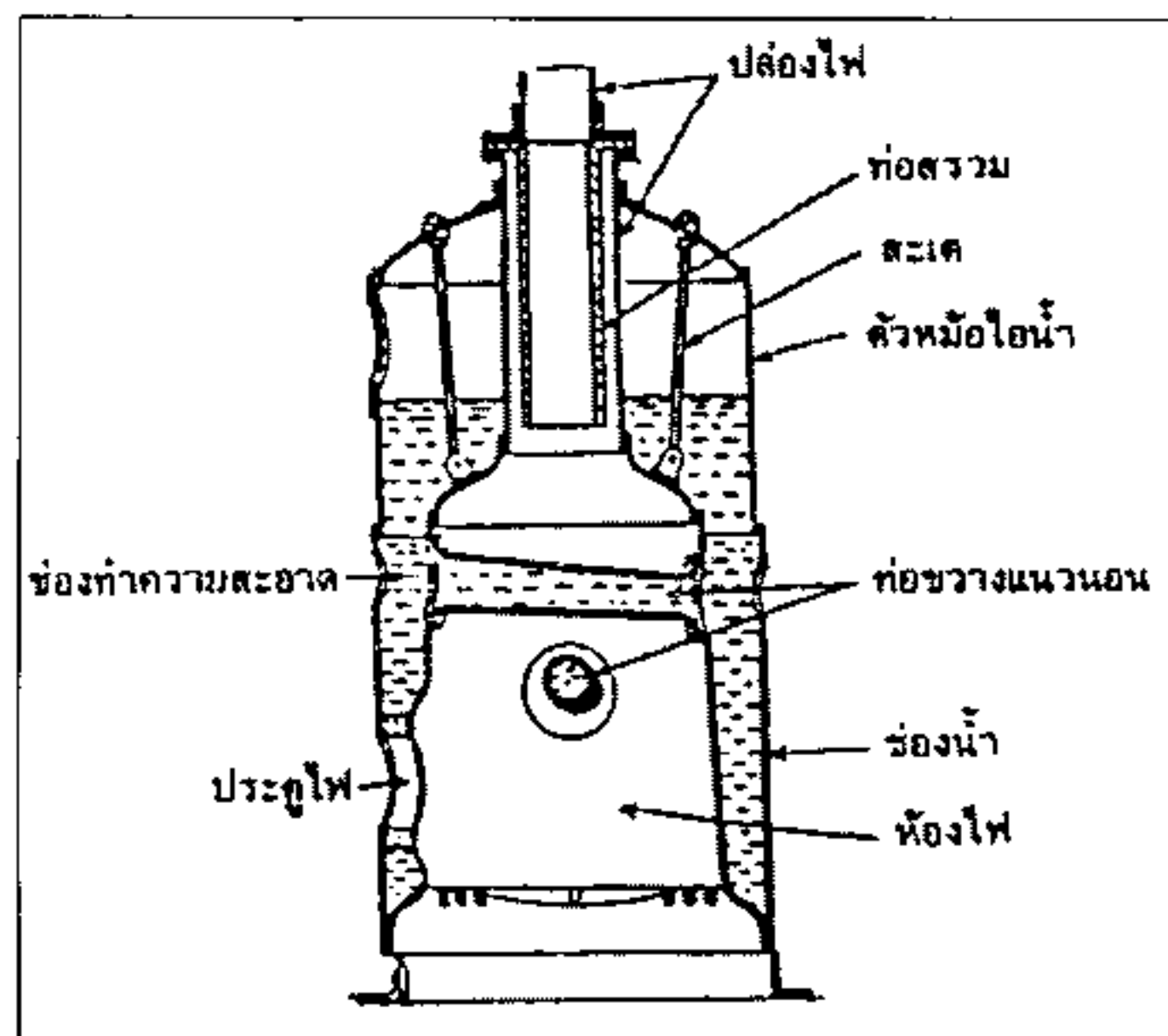
ทางการไหลของก๊าซร้อนให้ไหลวน เชื้อเพลิงจะเผาไหม้ตรงกลาง ก๊าซร้อนจะไหลเวียนออกทางด้านข้างของหม้อไอน้ำแล้วปล่อยออกทางปล่องไฟ



ภาพที่ 2.15 หม้อไอน้ำตั้งท่อน้ำตรง วางตั้ง

แหล่งที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 18

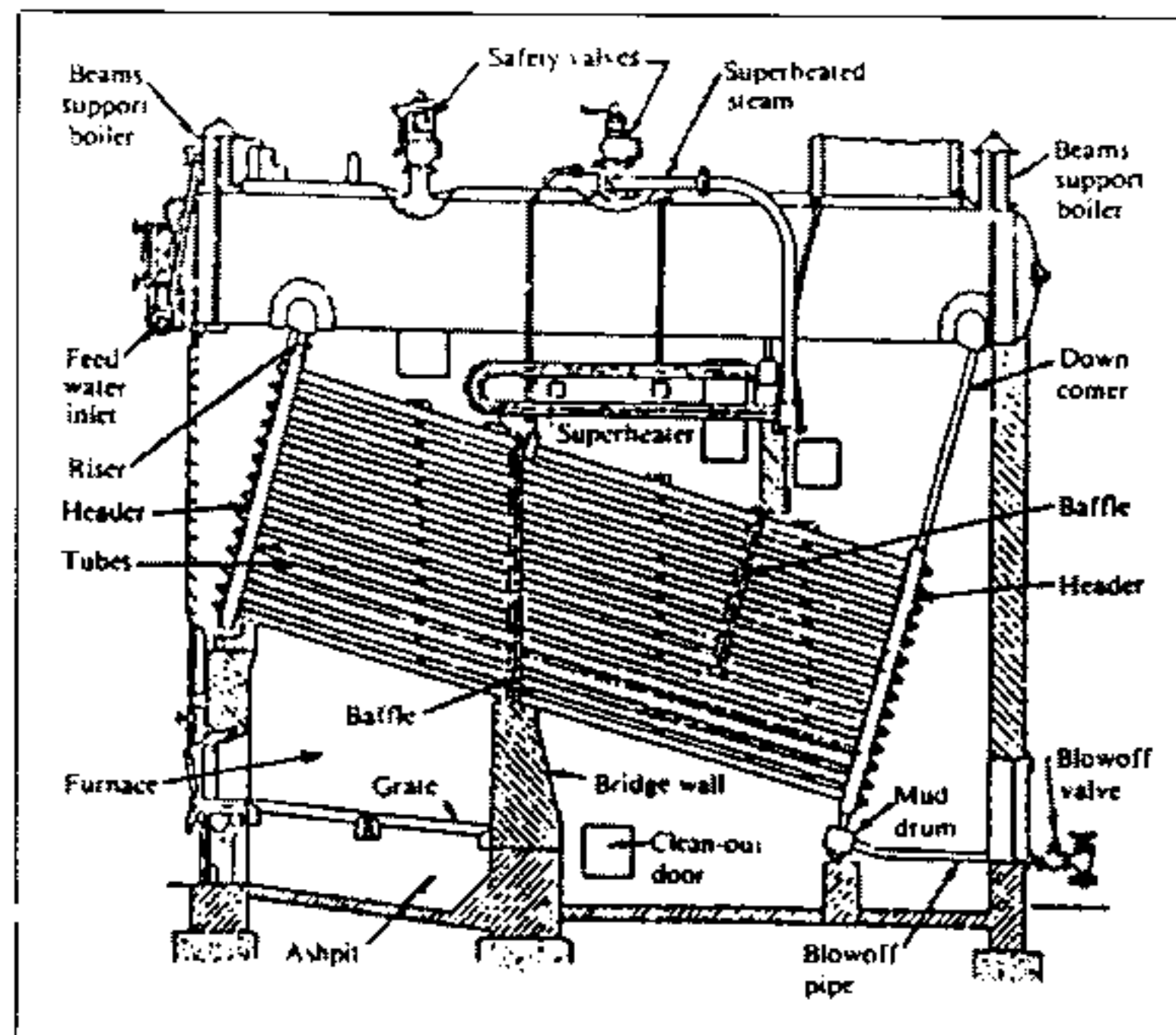
(2) หม้อไอน้ำตั้งท่อน้ำตรงวางขวาง (Vertical Cross Tube Boiler)
ตามภาพที่ 2.16 เปลือกหม้อไอน้ำจะวางตั้ง ท่อน้ำวางขวางเป็นชั้น ๆ ตัดกัน ทิศทางการไหลของก๊าซร้อนมีเพียง 1 เที้ยว ทำให้มีการสูญเสียความร้อนทางปล่องไฟมาก ส่วนใหญ่ใช้ในโรงงานทำเส้นก๋วยเตี๋ยว



ภาพที่ 2.16 หม้อไอน้ำตั้งท่อน้ำตรงวางขวาง

แหล่งที่มา : เชี่ยวเวทย์ ยิ้มศิริกุล, 2518: 14

(3) หม้อไอน้ำชนิดท่อตรงวางเอียง (Inclined Tube Boiler) เป็นหม้อไอน้ำที่มีกำลังการผลิตขนาดปานกลางจนถึงขนาดใหญ่ ตามภาพที่ 2.17 เชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ที่ใต้ท่อ น้ำส่วนที่ร้อนจะลอยตัวผ่านท่อที่วางเรียงกันและถูกบังคับให้วนกลับด้านล่างแล้วลอยตัวขึ้นอีกครั้ง ก่อนที่จะปล่อยออกทางปล่องไฟ ไอน้ำจะเก็บไว้ที่ถัง (Drum) ด้านบน

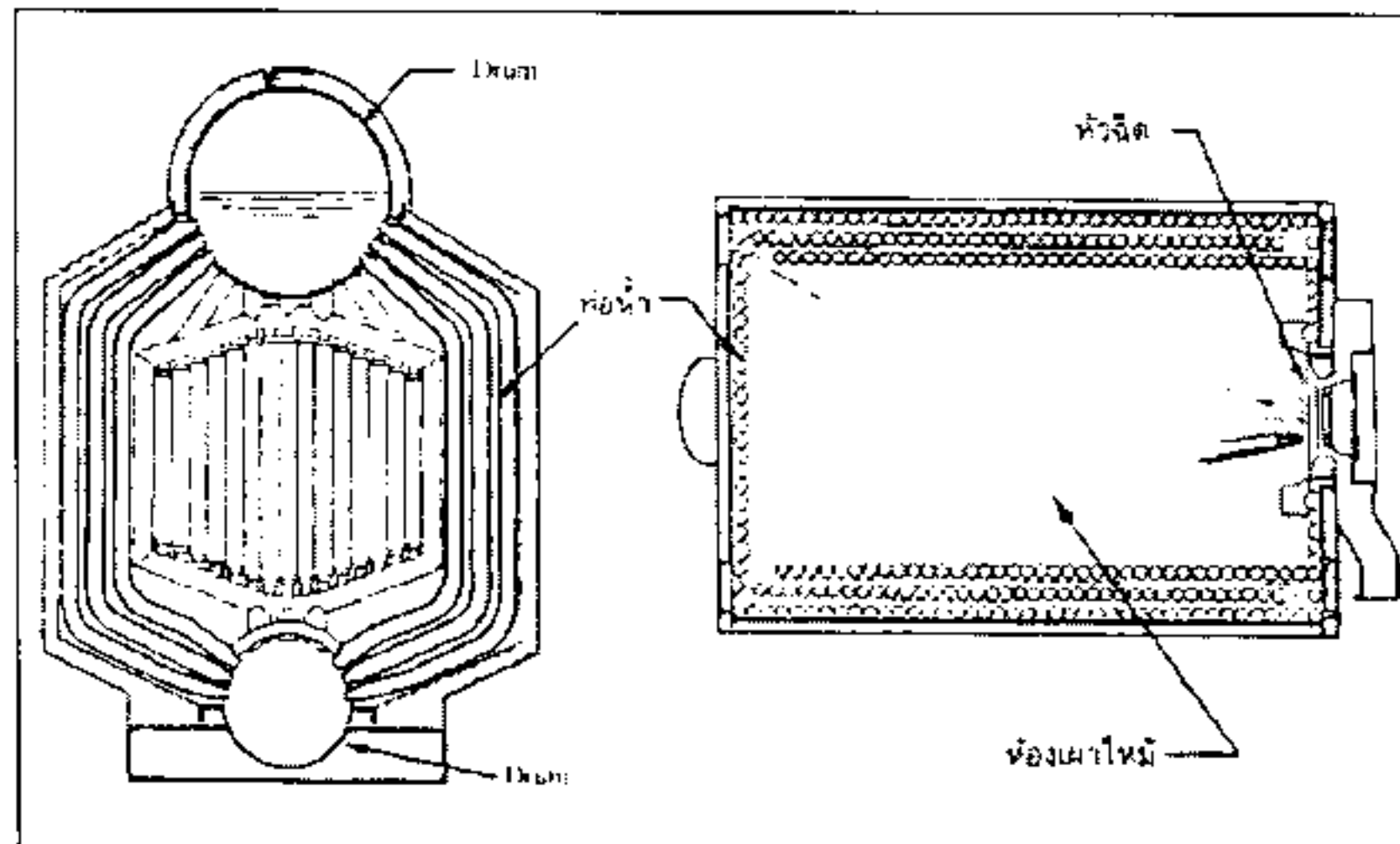


ภาพที่ 2.17 หม้อไอน้ำชนิดท่อตรงวางเอียง

แหล่งที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 20

2) หม้อไอน้ำชนิดท่อโค้ง (Bent - Tube Boiler) มีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ สามารถทนความดันสูง ๆ ได้ แบ่งออกได้ 2 แบบ คือ

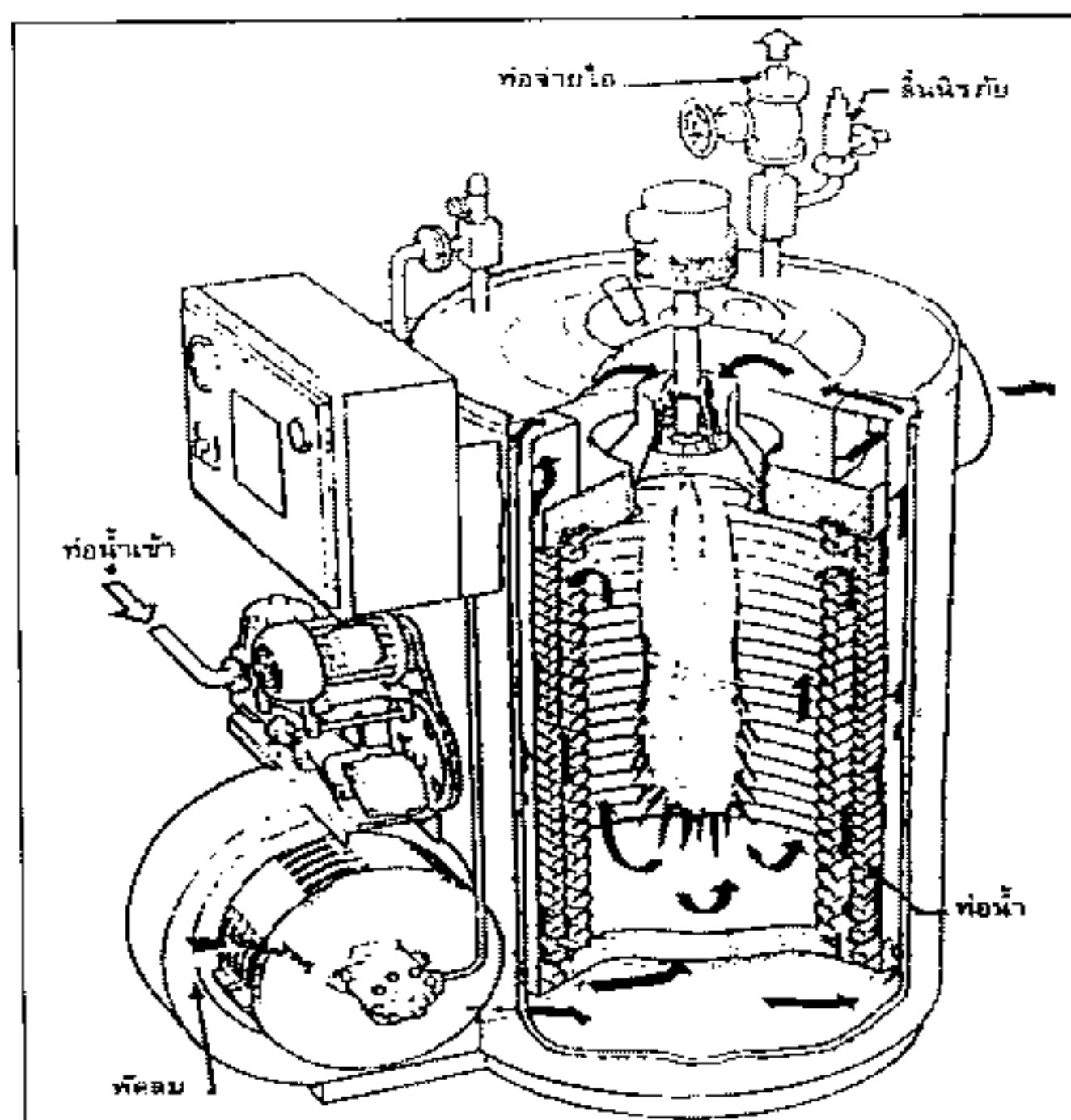
(1) หม้อไอน้ำชนิดท่อโค้งบางส่วน ตามภาพที่ 2.18 มักมีขนาดใหญ่ อัตราการผลิตไอน้ำสูงใช้กับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงงานน้ำตาล หรือโรงไฟฟ้า เป็นต้น



ภาพที่ 2.18 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำบางส่วน

แหล่งที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 21

(2) หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำขาด ตามภาพที่ 2.19 ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กผลิตไอน้ำได้เร็ว หลังจากเลิกใช้งานต้องระบายน้ำในท่อน้ำออกให้หมด การดูแลซ่อมแซมท่อน้ำทำได้ยาก



ภาพที่ 2.19 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำขาด

แหล่งที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543: 22

จากประเภทและคุณลักษณะของหม้อไอน้ำ จัดแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ตามก๊าซร้อน หรือน้ำร้อนที่อยู่ภายในท่อได้ 2 แบบ คือ แบบท่อน้ำ และแบบท่อไฟ ซึ่งมีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันไป ตามตารางที่ 2.2 ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานให้เหมาะสม

ตารางที่ 2.2 ข้อดีข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำและแบบท่อไฟ

หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ	หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ
ข้อดี	ข้อดี
1. ทนความดันได้สูง 2. ผลิตไอน้ำได้เร็วกว่า (มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนมากกว่า) 3. ปลอดภัยในการใช้งาน 4. ตรวจสอบสภาพท่อน้ำได้ง่าย	1. น้ำที่ใช้ไม่ต้องมีคุณภาพดีมากนัก 2. ความดันไอน้ำคงที่ (ใช้ไอน้ำได้สม่ำเสมอด้วยความดันคงที่) 3. ราคาถูก 4. การซ่อมบำรุงและการทำความสะอาดง่าย 5. อันตรายจากน้ำในหม้อไอน้ำแห้งมีน้อย
ข้อเสีย	ข้อเสีย
1. น้ำที่ใช้ต้องมีคุณภาพดี 2. ความดันไอน้ำไม่คงที่ (ถ้าการใช้งานไม่สม่ำเสมอ) 3. ราคาแพง 4. การซ่อมและบำรุงรักษายาก 5. อันตรายจากน้ำในหม้อไอน้ำแห้งมีมาก	1. ทนความดันได้ต่ำกว่า 2. ผลิตไอน้ำได้ช้ากว่า (มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนน้อย) 3. ความปลอดภัยในการใช้งานน้อยกว่า 4. ตรวจสอบสภาพท่อไฟได้ยากกว่า

แหล่งที่มา : วิวัฒน์ ภัตติยธนี, 2539: 201

2.2.4 หม้อไอน้ำชนิดพิเศษ

หม้อไอน้ำชนิดพิเศษจะมีลักษณะการใช้งานเฉพาะ แตกต่างจากประเภทและชนิดของหม้อไอน้ำที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยแบ่งออกได้ดังนี้ (ทาคามูระ, 2543: 255 - 256)

2.2.4.1 หม้อไอน้ำเหล็กหล่อ ตัวหม้อไอน้ำจะหล่อเป็นท่อน ๆ แล้วนำมาวางเรียงกันตามแนวหน้า - หลัง ส่วนล่างเป็นห้องเผาไหม้ อัตราการผลิตไอน้ำประมาณ 5 ตันต่อชั่วโมง ส่วนใหญ่ใช้ในการทำความอบอุ่นในอาคารและโรงพยาบาล เป็นต้น

2.2.4.2 หม้อไอน้ำความร้อนทิ้ง ใช้ความร้อนทิ้งจากก๊าซร้อนที่ระบายออกจากอุปกรณ์ต่าง ๆ นอกจากหม้อไอน้ำ เช่น เตาเผา เตาหลอมและเตาเผาซีเมนต์ (Kiln) เป็นต้น มาใช้ประโยชน์ในการผลิตไอน้ำ โดยมีทั้งแบบหมุนเวียนธรรมชาติและแบบหมุนเวียนบังคับ

2.2.4.3 หม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชนิดพิเศษ โดยปกติหม้อไอน้ำทั่ว ๆ ไปจะใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล (Fossil) เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับหม้อไอน้ำชนิดนี้ ได้แก่ กากขาน้อย เปลือกไม้ หรือหม้อไอน้ำแบบแยกโซดา (Soda Recovery Boiler)

2.2.5 ส่วนประกอบหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำมีส่วนประกอบสำคัญ ๆ ดังนี้

2.2.5.1 ห้องสันดาปหรือห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) อุปกรณ์ที่ใช้จะแตกต่างกันตามชนิดของเชื้อเพลิง สำหรับเชื้อเพลิงแข็งจะใช้ตะแกรงไฟ (Fire - Grate) ส่วนเชื้อเพลิงจำพวกของเหลวหรือผงจะใช้หัวเผา (Burner)

2.2.5.2 ตัวหม้อไอน้ำ ประกอบด้วยถังทรงกระบอก (Drum) และท่อไอน้ำ เป็นส่วนที่ผลิตน้ำร้อนหรือไอน้ำที่มีความดันตามกำหนด โดยให้ความร้อนแก่น้ำภายในหม้อไอน้ำ บริเวณที่รับความร้อนเรียกว่า พื้นผิวถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Surface)

2.2.5.3 เครื่องดงไอน้ำ (Super Heater) เป็นกลุ่มท่อไอน้ำซึ่งทำให้ไอน้ำอิ่มตัวจากหม้อไอน้ำกลายเป็นไอน้ำยิ่งยวด (Superheated Steam) ปกติจะติดตั้งอยู่ตอนบนของห้องสันดาป

2.2.5.4 เครื่องให้ความร้อนซ้ำ (Reheater) เป็นกลุ่มท่อไอน้ำของหม้อไอน้ำในโรงไฟฟ้า ใช้เพิ่มอุณหภูมิให้กับไอน้ำที่ผ่านการขยายตัวและลดความดันลงภายในกังหันไอน้ำแล้ว จึงนำกลับมายังหม้อไอน้ำอีกครั้งหนึ่ง

2.2.5.5 เครื่องอุ่นน้ำหรือเครื่องประหยัดเชื้อเพลิง (Economizer) เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผ่านหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง จึงมีการนำความร้อนมาใช้ในการอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำโดยอาศัยความร้อนสัมผัสของก๊าซที่เผาไหม้

2.2.5.6 เครื่องอุ่นอากาศ (Air Preheater) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ โดยใช้ประโยชน์จากความร้อนสัมผัสของก๊าซที่เผาไหม้ ก่อนปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ

2.2.5.7 อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เช่น เครื่องเป่าลม สำหรับป้อนอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ อุปกรณ์ป้อนน้ำเพื่อรักษาระดับน้ำให้คงที่ และอุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิง เป็นต้น (ทาคามูระ, 2543: 244 - 245)

อุปกรณ์ที่ช่วยให้การทำงานของหม้อไอน้ำเป็นไปอย่างสมบูรณ์มีประสิทธิภาพ ประหยัด และมีความปลอดภัย

1) เครื่องวัดความดันไอน้ำ (Steam Pressure Gauge) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ แสดงให้ทราบว่าความดันของไอน้ำมีค่ามากน้อยเท่าใด ปกติจะติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหม้อไอน้ำใน ตำแหน่งที่มองเห็นได้ง่าย (วิวัฒน์ ภัตติยธนี, 2539: 202 - 204)

2) ลิ้นนิรภัย (Safety Valve) เป็นอุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่อาจเกิด ขึ้นกับหม้อไอน้ำ โดยทำหน้าที่ระบายไอน้ำที่มีความดันสูงเกินพิกัดให้ออกสู่บรรยากาศ เนื่องจาก ถ้าความดันภายในหม้อไอน้ำสูงเกินไป อาจทำให้เกิดการระเบิดได้ ควรดูแลทดสอบการทำงาน และความสะอาดลิ้นนิรภัยเป็นระยะหรือตามเวลาที่กำหนด (วิวัฒน์ ภัตติยธนี, 2539: 212)

3) หมุกหรือจุกกันอันตราย (Fusible Plug) เป็นอุปกรณ์ ที่ติดตั้งไว้ที่ตัว หม้อไอน้ำบริเวณเพดานเตาหรือส่วนที่มีน้ำอยู่สูงสุดและถูกความร้อนจากเชื้อเพลิงหมุกกันอันตราย มีลักษณะกลมเรียบ มีเกลียวสำหรับขันติดกับหม้อน้ำ ตรงกลางมีรูระบายบรรจุทองแดง ร้อยละ 1 ผสม ดีบุก ร้อยละ 99 การใส่หมุกจะทำให้ส่วนตัวอยู่ด้านน้ำเลี้ยง ส่วนเล็กอยู่ด้านเตาเผาไหม้ เมื่อน้ำในหม้อ ไอน้ำลดต่ำลงจากตัวหมุกลงมา ทองแดงและดีบุกผสมจะละลาย ทำให้น้ำ และไอน้ำที่ยังมีเหลืออยู่ บ้าง พุ่งลงทางช่องหมุกเพื่อดับไฟในเตาเผา หม้อไอน้ำจึงไม่เป็นอันตราย หมุกกันอันตรายมักใช้กับ หม้อไอน้ำประเภทท่อไฟ (วิวัฒน์ ภัตติยธนี, 2539: 215 - 216)

4) ปั๊มน้ำเลี้ยง (Feed Pump) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สูบน้ำเลี้ยงป้อนเข้าหม้อ ไอน้ำ ประกอบด้วยตัวปั๊ม ลิ้นกั้นกลับ (Check Valve) และท่อป้อนน้ำ มี 3 แบบ คือ แบบสูบชัก (Reciprocating Pump) แบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump) และแบบโรตารี (Rotary Pump) (วิวัฒน์ ภัตติยธนี, 2539: 219)

5) เครื่องคุรระดับน้ำ (Water Level) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ เพื่อให้ทราบ ระดับน้ำเลี้ยงในหม้อไอน้ำ มีลักษณะเป็นหลอดแก้ว สามารถมองเห็นระดับน้ำในหม้อไอน้ำได้ หลอดแก้วนี้จะใช้กับหม้อไอน้ำที่มีความดันไม่เกิน 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถ้าแรงดัน มากกว่าจะใช้แท่งแก้วแทน โดยการเจาะที่ผนังหม้อไอน้ำแล้วนำเอาแท่งแก้วประกบเข้ากับผนัง หม้อน้ำ (เชิขเวทย์ ยิ้มศิริกุล, 2518: 99 – 100)

2.2.6 การประหยัดพลังงานของหม้อไอน้ำ

การประหยัดพลังงานของหม้อไอน้ำจะเริ่มกันตั้งแต่ในขั้นตอนการออกแบบ โดยจะต้องมี การเลือกชนิดของหม้อไอน้ำว่าจะใช้แบบท่อไฟหรือแบบท่อน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ไอน้ำ หลังจากนั้นต้องตรวจสอบเครื่องจักรและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำทั้งหมดว่ามีการใช้ไอน้ำทั้งหมดในอัตรา

เท่าใดและจำเป็นต้องใช้พร้อมกันหรือไม่ เพื่อที่จะหาว่าต้องการใช้หม้อไอน้ำขนาดอัตราการผลิตไอน้ำเท่าใด เนื่องจากถ้าเลือกขนาดที่ใหญ่เกินไปจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้งานสูงขึ้น

แนวทางการประหยัดพลังงานของหม้อไอน้ำ (สุภชัย ปัญญาวิรุ, 2540: 105 - 106)

- 1) การปรับปรุงประสิทธิภาพในการเผาไหม้โดยทำการตรวจวัดอย่างน้อยทุก ๆ 2 - 3 สัปดาห์เพื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำขณะใช้งานใหม่ ๆ โดยทั่วไปไม่ควรต่างกันเกินร้อยละ 3 – 5 ถ้ามากกว่านี้ควรปรับตั้งอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F Ratio) ให้เหมาะสม โดยเชื้อเพลิงก๊าซมีความต้องการอากาศส่วนเกินประมาณร้อยละ 10 – 15 เชื้อเพลิงเหลวประมาณร้อยละ 10 – 20 เชื้อเพลิงแข็งประมาณร้อยละ 30 - 50
- 2) การลดอัตราการปล่อยน้ำทิ้ง (Blow Down) ที่ต่อเนื่องของหม้อไอน้ำโดยการปรับเวลาและอัตราการปล่อยน้ำทิ้ง หรือหาวิธีการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่
- 3) การอุ่นอากาศ เชื้อเพลิงและน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ก่อนการเผาไหม้หรือก่อนเข้าหม้อไอน้ำ โดยการใช้ความร้อนจากก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกทางปล่องไฟ หรือคอนเดนเสท
- 4) การลดการสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนจากผนังหม้อไอน้ำโดยทำการหุ้มฉนวนด้วยความหนาที่เหมาะสม
- 5) การทำความสะอาดผิวถ่ายเทความร้อนในหม้อไอน้ำ เพื่อให้ความร้อนจากเชื้อเพลิงถ่ายเทให้กับน้ำในหม้อไอน้ำได้สะดวก
- 6) ในกรณีของการใช้เชื้อเพลิงแข็ง เช่น กากขานอ้อยหรือไม่ ควรหาแนวทางการลดความชื้นของเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้
- 7) การลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่องไฟ โดยการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น อุ่นอากาศ เชื้อเพลิง และน้ำป้อนหม้อไอน้ำ เป็นต้น

2.2.7 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

การเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตไอน้ำ มองในอีกแง่หนึ่งก็คือการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนที่ใช้ หรือการนำความร้อนที่สูญเสียไปกับแหล่งต่าง ๆ เช่น การนำก๊าซไอเสียกลับมาถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำป้อนหม้อไอน้ำ เป็นอีกวิธีหนึ่งในหลาย ๆ วิธีที่ใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ โรงงานน้ำตาลในประเทศส่วนใหญ่จะใช้เชื้อเพลิง คือ กากขานอ้อยที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงในการให้พลังงานความร้อน ซึ่งองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ มีดังนี้

2.2.7.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย

เชื้อเพลิงกากชานอ้อยในแต่ละแหล่ง จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่แตกต่างกันมากนัก จึงสามารถใช้ค่าเฉลี่ยมาตรฐานโดยมีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ คาร์บอน (Carbon) ร้อยละ 47 ไฮโดรเจน (Hydrogen) ร้อยละ 6.5 ออกซิเจน (Oxygen) ร้อยละ 44 และน้ำร้อยละ 2.5 โดยค่าความร้อนของกากชานอ้อย (Net Calorific Value of Bagasse: N.C.V.) ที่ใช้ คือ 4,250 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม แต่เนื่องจากกากชานอ้อยที่ได้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลจะมีความชื้น (Moisture) และน้ำตาลซูโครส (Sucrose) หลงเหลืออยู่ ดังนั้น

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย หาได้จาก สมการ

$$\text{N.C.V.} = 4,250 - (48.5w) - (12s) \quad (2.1)$$

โดย N.C.V. คือ ความร้อนของเชื้อเพลิง
(กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง)
w คือ ความชื้นของเชื้อเพลิง
(% Bagasse Moisture)
s คือ ความหวานของเชื้อเพลิง (กากชานอ้อย)
(% Bagasse Sucrose)

ในแต่ละแหล่งอาจใช้สมการที่แตกต่างกันในการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย เช่น ในประเทศ ออสเตรเลีย ใช้ค่า $\text{N.C.V.} = 4,324 - (49.04 w) - (12.3s)$ เป็นต้น (Hugot, 1986: 918 - 923)

ตารางที่ 2.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

ชนิด	หน่วย	กิโลแคลอรี/ กิโลกรัม	เมกะจูล/ กิโลกรัม
1. ถ่านไม้ (Fuel Wood)	กิโลกรัม	3,820	15.99
2. ถ่านชาโคล (Charcoal)	กิโลกรัม	6,900	28.88
3. แกลบ (Paddy Husk)	กิโลกรัม	3,440	14.40
4. ชานอ้อย (Bagasse)	กิโลกรัม	1,800	7.53

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ชนิด	หน่วย	กิโลแคลอรี/ กิโลกรัม	เมกะจูล/ กิโลกรัม
5. ขยะ (Garbage)	กิโลกรัม	1,160	4.86
6. ขี้เลื่อย (Saw Dust)	กิโลกรัม	2,600	10.88
7. ขยะจากการเกษตร (Agricultural Waste)	กิโลกรัม	3,030	12.68

แหล่งที่มา : ทาคามุระ, 2543: 396

2.2.7.2 การเผาไหม้เชื้อเพลิงกากชานอ้อย

เนื่องจากกากชานอ้อยที่ได้จากกระบวนการผลิตจะมีความชื้น (Moisture) และค่าความหวาน (Sucrose) อยู่ ดังนั้น ในการที่จะเผาไหม้กากชานอ้อยให้มีประสิทธิภาพสูงสุดจึงต้องเพิ่มอากาศส่วนเกิน (Excess Air) เพื่อช่วยในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ (Hugot, 1986: 926)

น้ำหนักของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้หาได้จาก สมการ

$$P_g = 5.76 (1 - w) m + 1 \quad (2.2)$$

โดย P_g คือ น้ำหนักของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้
(กิโลกรัมก๊าซต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง)

w คือ ความชื้นของกากชานอ้อย

m คือ ปริมาณอากาศส่วนเกิน (% Excess Air)

ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย (Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse) หมายถึง อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่อน้ำหนัก สามารถผลิตปริมาณไอน้ำได้ต่อน้ำหนัก (Hugot, 1986: 963)

ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย หาได้จากสมการ

$$\text{Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse} = \left(\frac{\text{N.C.V.}}{\text{Heat Supplied per Kg of Water}} \right) \times \eta \quad (2.3)$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

N.C.V. คือ ความร้อนของเชื้อเพลิง

Heat Supplied per Kg of Water หมายถึง ความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ

ของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ให้เปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำที่ ความดันและอุณหภูมิที่ต้องการ มีหน่วยวัดเป็น กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

น้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อยที่เผาไหม้ (Weight of Bagasse Burnt) หมายถึง น้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อยที่ใช้เผาไหม้ เพื่อผลิตไอน้ำให้ได้ตามต้องการ (Hugot, 1986: 963)

$$B = \frac{\text{Steam Generated}}{\text{Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse}} \quad (2.4)$$

โดย B คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ (กิโลกรัมเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง)

Steam Generated หมายถึง อัตราการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำ (กิโลกรัมไอน้ำต่อชั่วโมง)

2.2.7.3 ความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสีย

การนำความร้อนจากก๊าซไอเสียกลับมาถ่ายเทให้กับน้ำป้อนหม้อไอน้ำ เพื่อให้ อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำสูงขึ้นนั้น จะมีความร้อนส่วนหนึ่งที่สูญเสียไปกับก๊าซไอเสีย (Heat Loss in Flue Gas) เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนดังกล่าว

ความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสียหาได้จาก สมการ

$$q = [(1 - w)(1.4m - 0.13)] + 0.5 \times T \quad (2.5)$$

โดย q คือ ความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสีย (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง)

w คือ ความชื้นของเชื้อเพลิง

m คือ ปริมาณอากาศส่วนเกิน

T คือ อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (องศาเซลเซียส)

โดย ความร้อนสูญเสียรวม (Total Heat Loss) = ความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสีย (Heat Loss in Flue Gas) + ความร้อนสูญเสียที่อุปกรณ์ต่าง ๆ

ดังนั้น

$$\text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ} = \left(\frac{\text{ความร้อนเชื้อเพลิง} - \text{ความร้อนสูญเสียรวม}}{\text{ความร้อนเชื้อเพลิง}} \right) \times 100 \quad (2.6)$$

(Hugot, 1986: 918 - 964)

2.3 การถ่ายเทความร้อน

การไหลของความร้อนจากที่หนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิสูงไปสู่อีกที่หนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ เรียกว่า การถ่ายเทความร้อน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.3.1 การนำความร้อน (Heat Conduction)

เมื่ออุณหภูมิในวัตถุชิ้นหนึ่งมีค่าไม่เท่ากันทุกจุด หรือ เมื่อนำวัตถุสองชิ้นที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิมาสัมผัสกันทำให้มีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น ปัจจัยที่สำคัญที่มีส่วนในการกำหนดอัตราการนำความร้อนก็คือ ผลต่างของอุณหภูมิแตกต่างลอการิทึมเฉลี่ย(Log Mean Temperature Difference: LMTD) รูปร่างของวัตถุและคุณสมบัติของวัตถุในการนำความร้อน ถ้าอุณหภูมิที่ทุก ๆ จุดของวัตถุที่นำความร้อนมีค่าคงที่โดยไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา เป็นการนำความร้อนในสภาวะคงที่ (Steady - State Heat Conduction) ในกรณีที่อุณหภูมิของวัตถุส่วนหนึ่งมีการเปลี่ยนค่าตามเวลาอัตราการนำความร้อนของวัตถุจะเปลี่ยนค่าตามเวลาด้วยในกรณีนี้เรียกว่าการนำความร้อนในสภาวะไม่คงที่ (Unsteady - State Heat Conduction) โดยปกติทั่วไปการนำความร้อนที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนถือว่าเป็นการนำความร้อนในสภาวะคงที่

2.3.2 การพาความร้อน (Heat Convection)

เป็นลักษณะเฉพาะของของไหล เพราะจะเกิดขึ้นในก๊าซ โมเลกุลของก๊าซหรือของเหลวจะเคลื่อนที่ไปยังผิวถ่ายเทความร้อนอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่พื้นผิวนั้นขึ้น ดังนั้น ถ้าการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเร็วขึ้นเท่าไรอัตราการพาความร้อนก็จะสูงขึ้นด้วยเท่านั้นเพราะจำนวนโมเลกุลที่เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวถ่ายเทความร้อนมีเพิ่มขึ้น ในการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน มีอยู่บ่อย ๆ ที่ทำการกวนของไหลด้วยแรงกล หมุนเวียนของไหลด้วยเครื่องสูบหรือขับเคลื่อนของไหลด้วยกรรมวิธีพิเศษ การทำเช่นนี้ เรียกว่า การพาโดยการบังคับ (Force Convection) ในทางตรงกันข้าม การพาความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหลอย่างธรรมชาติเนื่องจากแรงลอยตัว (Buoyant Force) ที่เกิดจากการขยายตัวของของไหลด้วยความร้อน เรียกว่า การพาความร้อนอย่างธรรมชาติ (Natural Convection) หรือการพาอย่างอิสระ (Free Convection)

2.3.3 การแผ่รังสีความร้อน (Heat Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเกิดขึ้นระหว่างผิว 2 แห่งที่มีอุณหภูมิต่างกัน และถูกคั่นกลางด้วยสื่อตัวกลาง (Medium) ที่ยอมให้รังสีความร้อนวิ่งผ่านได้ อากาศที่บริสุทธิ์และสุญญากาศจะยอมให้

รังสีความร้อนวิ่งผ่านได้ เมื่อรังสีความร้อนแผ่ไปถึงผิวของวัตถุส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับจากผิววัตถุ อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเป็นความร้อนและเพิ่มอุณหภูมิของวัตถุที่รับรังสีความร้อน และในบางครั้งรังสีอีกส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านวัตถุนั้นโดยไม่เปลี่ยนเป็นความร้อน (วิวัฒน์ คั่นทะพานิชกุล, 2536: 19 - 20)

2.4 ชนิดของของไหล

2.4.1 ของเหลว/ของเหลว (Liquid/Liquid)

ชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้หลายประเภท อาศัยหลักการของการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนซึ่งให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูง โดยขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาแน่นของของไหลที่ใช้

2.4.2 ของเหลว/ก๊าซ (Liquid/Gas)

ชนิดนี้เหมาะกับงานประเภทการระบายอากาศโดยของเหลวจะถูกอัดผ่านท่อด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนสูง โดยอากาศจะไหลผ่านท่อแบบหน้าตัด ส่วนใหญ่จะออกแบบเป็นเครื่องระบายความร้อนชนิดครีป และท่อระบายความร้อน

2.4.3 ก๊าซ/ก๊าซ (Gas/Gas)

ใช้กับงานประเภทก๊าซไอเสีย (Flue Gas) อากาศร้อนหรือระบบกังหันก๊าซ ซึ่งมีค่าความหนาแน่นของของไหลไม่สูงมากนัก

2.4.4 เครื่องควบแน่น (Condenser)

เหมาะสำหรับงานที่ต้องการให้ก๊าซหรืออากาศเย็นตัวลงเปลี่ยนสภาพเป็นของไหลใช้ในงานประเภทการไหลแบบ 2 สถานะ โดยจะใช้ของเหลวที่เป็นสารหล่อเย็น เช่น น้ำเย็น ใสในท่อ โดยให้ก๊าซที่ต้องการที่จะควบแน่นไหลผ่านท่อซึ่งอาจจะใช้ครีปหรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรออกแบบของแต่ละเครื่องและความต้องการอัตราการถ่ายเทความร้อน

2.4.5 เครื่องระเหย (Evaporator or Boiler)

เครื่องระเหยชนิดนี้สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ

2.4.5.1 ระบบให้ความร้อนโดยใช้เปลวไฟ โดยได้มาจากการสันดาปของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ ได้แก่ แอลพีจี น้ำมันดีเซล เป็นต้น ซึ่งให้ค่าความร้อนที่สูง ส่วนใหญ่

จะใช้กับงานประเภทการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.4.5.2 ระบบไม่ใช่เปลวไฟในการให้ความร้อน ได้แก่ การให้ความร้อนโดยอาศัยกระบวนการทางปฏิกิริยาปริมาณ กระบวนการทางเคมี กระบวนการให้ความร้อนทางไฟฟ้า เป็นต้น ส่วนใหญ่จะใช้กับงานด้านต่าง ๆ ที่ต้องการไอน้ำอุณหภูมิไม่สูงมากนัก ได้แก่ การผลิตไอน้ำเพื่ออุตสาหกรรมด้านอาหาร สิ่งทอ เคมี เป็นต้น (Walker, 1982: 45 - 46)

2.5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

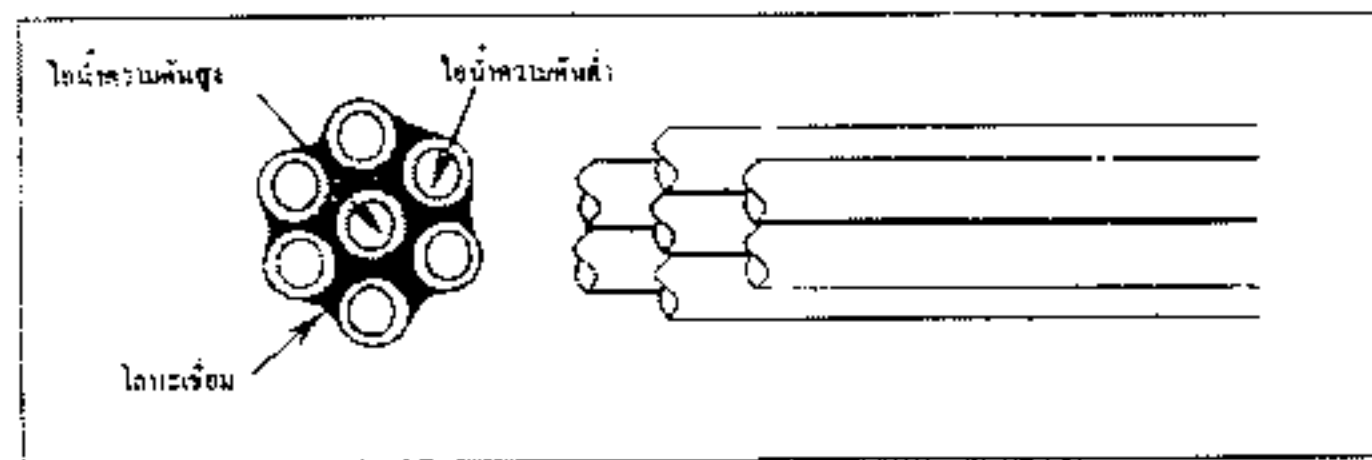
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม มีหน้าที่หลักในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลที่มีอุณหภูมิสูงและของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยที่ของไหลทั้งสองไม่จำเป็นต้องสัมผัสกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอาจมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น เครื่องให้ความร้อน (Heater) เครื่องอุ่นอากาศ (Air Preheater) เครื่องอุ่นน้ำ (Economizer) เครื่องระบายความร้อน (Cooler) เครื่องระเหย (Evaporator) หรือเครื่องควบแน่น (Condenser) เป็นต้น (Walker, 1982: 48 - 114)

2.5.1 ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2.5.1.1 แบบท่อ (Tubular Exchanger) แบ่งเป็นประเภทได้ดังนี้

1) แบบท่อเดี่ยว (Single – Pipe Exchanger) อาศัยหลักการที่ของไหลผ่านท่อ โดยส่งผ่านความร้อนให้แก่บรรยากาศภายนอก ซึ่งเป็นที่นิยมกัน ได้แก่ การอุ่นน้ำร้อนเพื่อใช้ภายในที่พักอาศัยหรือการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยใช้ความร้อนจากภายนอกส่งผ่านให้กับท่อน้ำและอาจติดตั้งครีบริบความร้อนเพิ่มก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

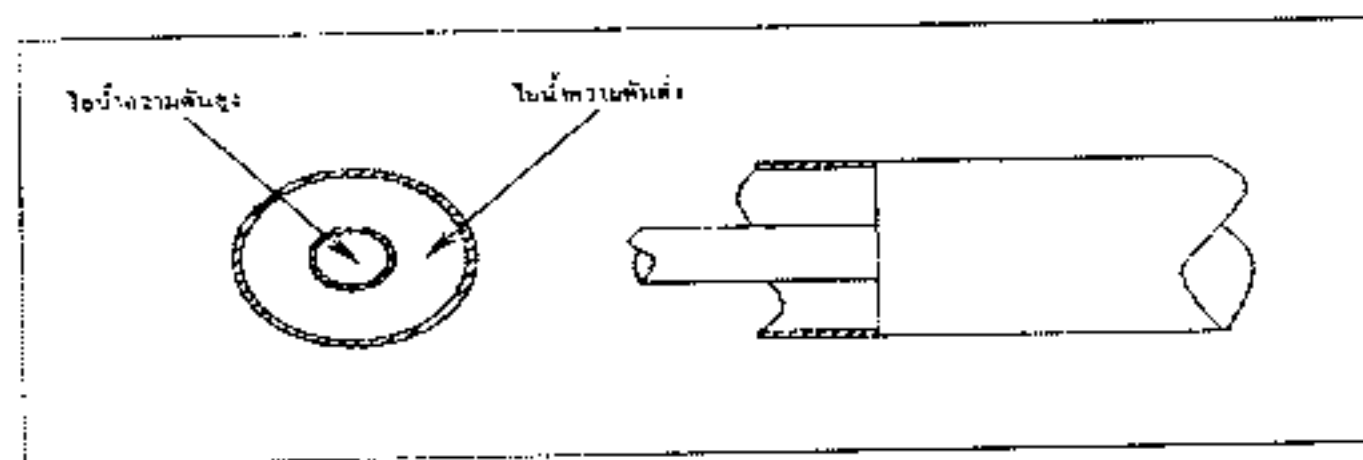
2) แบบท่อกลุ่ม (Cluster - Pipe Exchanger) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้พัฒนามาจากแบบท่อเดี่ยว ตามภาพที่ 2.20 โดยนำหลาย ๆ ท่อมารวมกันทำให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น โดยทำหน้าที่ส่งถ่ายความร้อนให้กับท่อที่อยู่แกนกลาง เป็นการถ่ายเทความร้อนในลักษณะการไหลแบบสวนทางกันหรือการไหลแบบขนานกันก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ



ภาพที่ 2.20 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดกลุ่มท่อ

แหล่งที่มา : Walker, 1982: 48

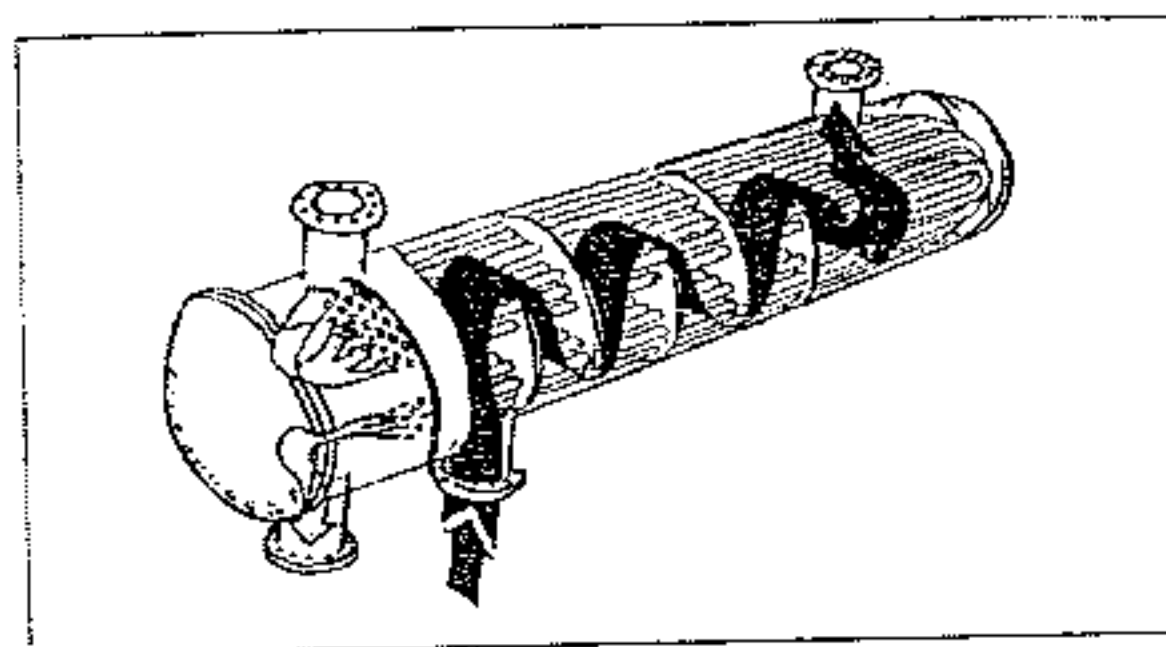
3) แบบท่อสองชั้นหรือท่อคู่ (Double – Pipe Exchanger) ชนิดนี้ใช้ในการส่งถ่ายความร้อนระหว่างของไหลที่มีความดันสูงกับของไหลที่มีความดันต่ำ ตามภาพที่ 2.21 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่ต่ำ



ภาพที่ 2.21 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อสองชั้น

แหล่งที่มา : Walker, 1982: 48

4) แบบมีเปลือกหุ้มอยู่ภายนอก (Shell and Tube Exchanger) เหมาะกับงานที่ต้องการปริมาณงานสูงแต่มีพื้นที่ในการติดตั้งน้อย ซึ่งแบบนี้อาศัยการนำท่อจำนวนมากแบบท่อหลายชั้นมารวมกัน ตามภาพที่ 2.22 ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนมีสูง ส่วนใหญ่จะใช้กับของไหลชนิดของเหลว/ของเหลว หรือของเหลว/ไอน้ำแบบเปียก



ภาพที่ 2.22 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดมีเปลือกหุ้มอยู่ภายนอก

แหล่งที่มา : Walker, 1982: 50

5) แบบท่อมีครีบริบายความร้อน (Tube and Fin Exchanger) จะใช้ถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซกับของเหลว เช่น การถ่ายเทความร้อนของน้ำในรถยนต์ โดยใช้อากาศส่งผ่านความร้อนไปสู่ภายนอก

6) แบบสแครปเซอร์เฟส (Scraped - Surface Exchanger) สามารถป้องกันการที่ของไหลประเภทอุณหภูมิต่ำควบแน่นกลายเป็นผลึกแข็ง ขณะที่อยู่ภายในซึ่งจะทำอันตรายต่อผิวถ่ายเทความร้อนได้ ภายในเครื่องจะมีท่อกลางที่รองรับด้วยสปริงตลอดทั้งความยาว ทำหน้าที่รับแรงกระทำของของไหลที่อยู่ภายใน

7) แบบท่อความร้อน (Heat Pipe) ชนิดนี้สามารถออกแบบพื้นที่ในการรับความร้อนได้มาก อุณหภูมิที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างจะคงที่ เหมาะกับงานที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิทางออกและทางเข้าไม่มากนัก เช่น การออกแบบให้ความร้อนจากใต้ดินสู่ผิวถนนในเวลาหิมะลงเพื่อละลายน้ำแข็งบนถนน

8) แบบสวมปลอก (Cartridge Exchanger) ชนิดนี้ประกอบด้วยผนังคู่ทรงกระบอกจะส่งถ่ายความร้อนจากท่อที่อยู่ภายในโดยใช้วัสดุชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นแท่งส่งผ่านความร้อนจำนวนมากอยู่ภายใน ซึ่งเหมาะกับงานที่ต้องการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซให้กับก๊าซ หรือ ก๊าซกับของเหลวที่มีอุณหภูมิสูง

2.5.1.2 แบบแผ่น (Plate Heat Exchanger) แบ่งเป็นประเภทได้ดังนี้

1) แบบแผ่นมีโครง (Plate and Frame Heat Exchanger) มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะรีดซึ่งแผ่นเหล่านี้จะทำหน้าที่สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหล 2 ชนิด จะทำงานภายใต้ความดันที่ไม่สูงมากนักหลักการทำงานจะเหมือนกับแบบท่อและแบบมีเปลือกหุ้มอยู่ภายนอก

2) แบบแผ่นขดวงกลม (Spiral - Plate Heat Exchanger) จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบท่อมีเปลือกหุ้มภายนอก เหมาะกับงานที่ต้องการถ่ายเทความร้อนระหว่างของเหลว / ของเหลว ที่มีค่าความหนืดค่อนข้างสูง

3) แบบแผ่นประกบคู่ (Panel - Coil Heat Exchanger) การทำงานจะเหมือนกับแบบแผ่นโดยนำแผ่นโลหะ 2 แผ่น มาประกบคู่และมีช่องว่างอยู่ภายในเพื่อทำหน้าที่ส่งถ่ายความร้อน ส่วนใหญ่จะใช้ถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหล เช่น ก๊าซ/ของเหลว โดยก๊าซจะอยู่ภายในท่อที่มีแผ่นโลหะประกบอยู่และจะถ่ายเทความร้อนผ่านผิวหน้าของแผ่นโลหะไปสู่ของเหลว เช่น การทำความร้อนในการต้มน้ำซึ่งจะใช้ต้นทุนต่ำกว่าเครื่องถ่ายเทความร้อนประเภทอื่น ๆ

4) แบบแผ่นมีครีบริบ (Plate – Fin Heat Exchanger) เป็นการนำเพลทมาประกอบเป็นชั้น ๆ ทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนคล้าย ๆ กับครีบริบ ส่วนใหญ่จะใช้ใน

อุตสาหกรรมที่มีความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ๆ และใช้กับของไหลประเภทก๊าซ/ก๊าซ ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูง วัสดุที่ใช้เป็นแผ่นอลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา (Walker, 1982: 48 - 114)

การเลือกใช้และออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้เหมาะสมกับการใช้งาน และมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ ๆ ได้แก่ คุณสมบัติของของไหล (Fluid) ที่ใช้ เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties of Fluid) ของของไหล เช่น ความหนืด (Viscosity) ความหนาแน่น (Density) และความจุความร้อนจำเพาะของของไหล (Specific Heat) รวมทั้งปริมาณสิ่งเจือปนหรืออนุภาคของแข็งที่มีอยู่ในของไหล เนื่องจากจะเกิดการสะสมในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจนทำให้เกิดขางหรือจับเกาะเป็นตะกรัน (Scale) ซึ่งเกาะติดกับผิวที่จะนำความร้อนทำให้ประสิทธิภาพลดลง การเดินเครื่อง (Operating Condition) ความแข็งแรงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถูกกำหนดโดยอุณหภูมิและความดันของของไหลที่ใช้ เวลาที่ใช้ในการเดินเครื่อง รวมทั้งผลต่างของอุณหภูมิที่ยอมให้ได้ในการเดินเครื่อง คุณสมบัติทางเคมีของของไหล (Chemical Properties of Fluid) การเกิดสนิม (Corrosion) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของของไหลที่กระทำต่อผิวสัมผัส การกัดเซาะ (Erosion) ผิวสัมผัส ที่เกิดจากการไหลปะทะของของไหลกับผิวสัมผัสและความดันต่ำที่เกิดขึ้น ณ จุดบางจุด (Cavitations) เป็นต้น (วิวัฒน์ คันทะพานิชกุล, 2536: 1 - 2)

2.6 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การคำนวณการถ่ายเทความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ

2.6.1 วิธีแอลเอ็มทีดี (Logarithmic Mean Temperature Difference)

ในการถ่ายเทความร้อนมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดข้อสมมติฐานเพื่อที่จะกำหนดขอบเขตของการพิจารณา โดยสามารถอธิบายการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

2.6.1.1 การไหลของของไหลและสถานะเป็นแบบคงที่ (Steady State Steady Flow)

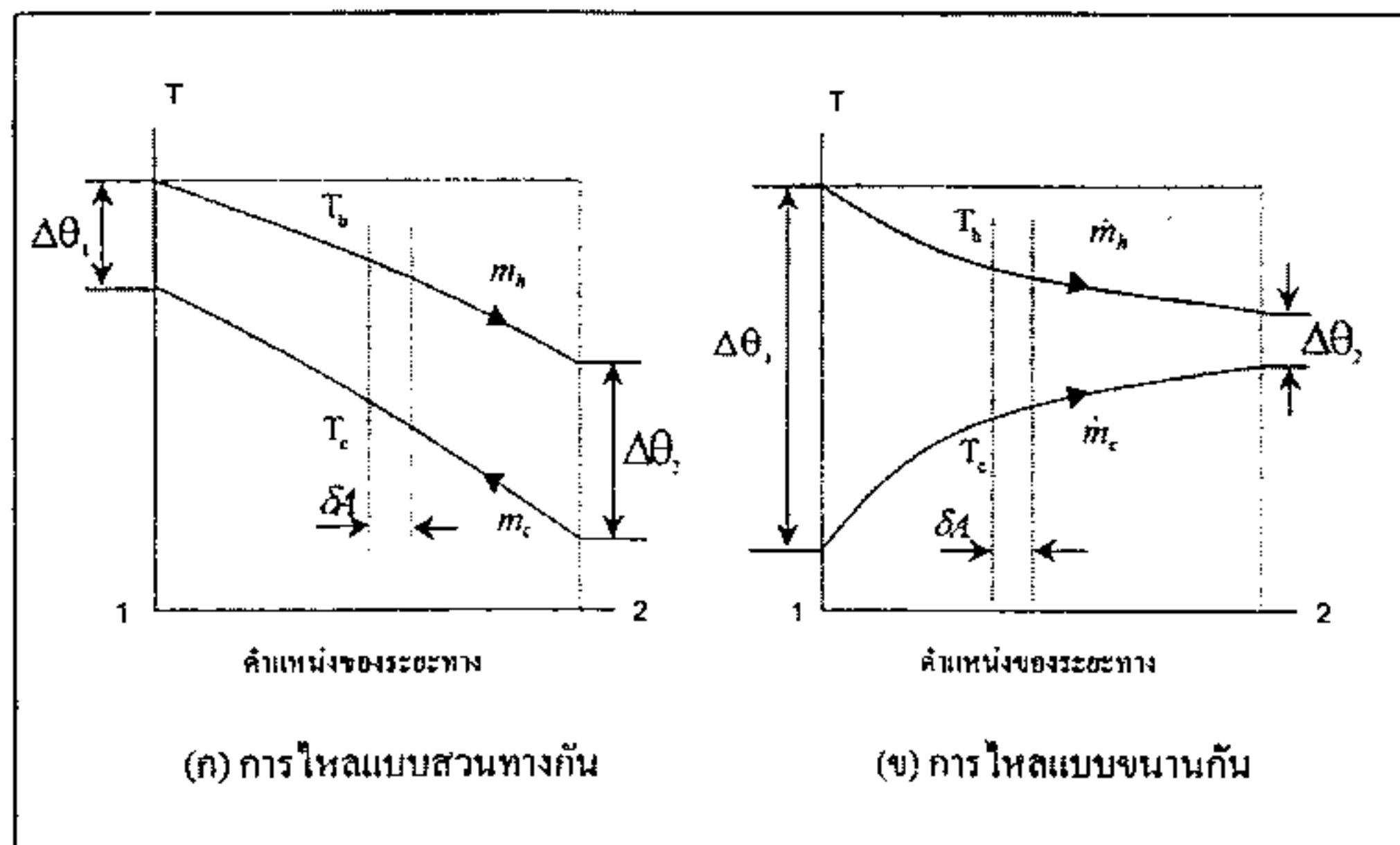
2.6.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะต้องมีค่าที่คงที่

2.6.1.3 ไม่คิดค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อม

สมการการถ่ายเทความร้อน

$$Q = kA \Delta \theta_m \quad (2.7)$$

โดย Q คือ ปริมาณความร้อน (จูลต่อวินาที)
 k คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของวัสดุ
 (กิโลแคลอรีต่อตารางเมตรต่อองศาเซลเซียส)
 A คือ พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน (ตารางเมตร)
 $\Delta \theta_m$ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 2.23 อุณหภูมิของการไหลแบบสวนทางกันและแบบขนานกัน

แหล่งที่มา : Smith, 1988: 19

จาก ภาพที่ 2.23 จะได้ความสัมพันธ์ คือ

$$Q = kA \frac{(\Delta \theta_2 - \Delta \theta_1)}{\ln(\Delta \theta_2 / \Delta \theta_1)} = kA \Delta \theta_{lmtd} \quad (2.8)$$

โดยที่ ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหล $\Delta \theta_{lmtd}$ (Log Mean Temperature Difference: LMTD)

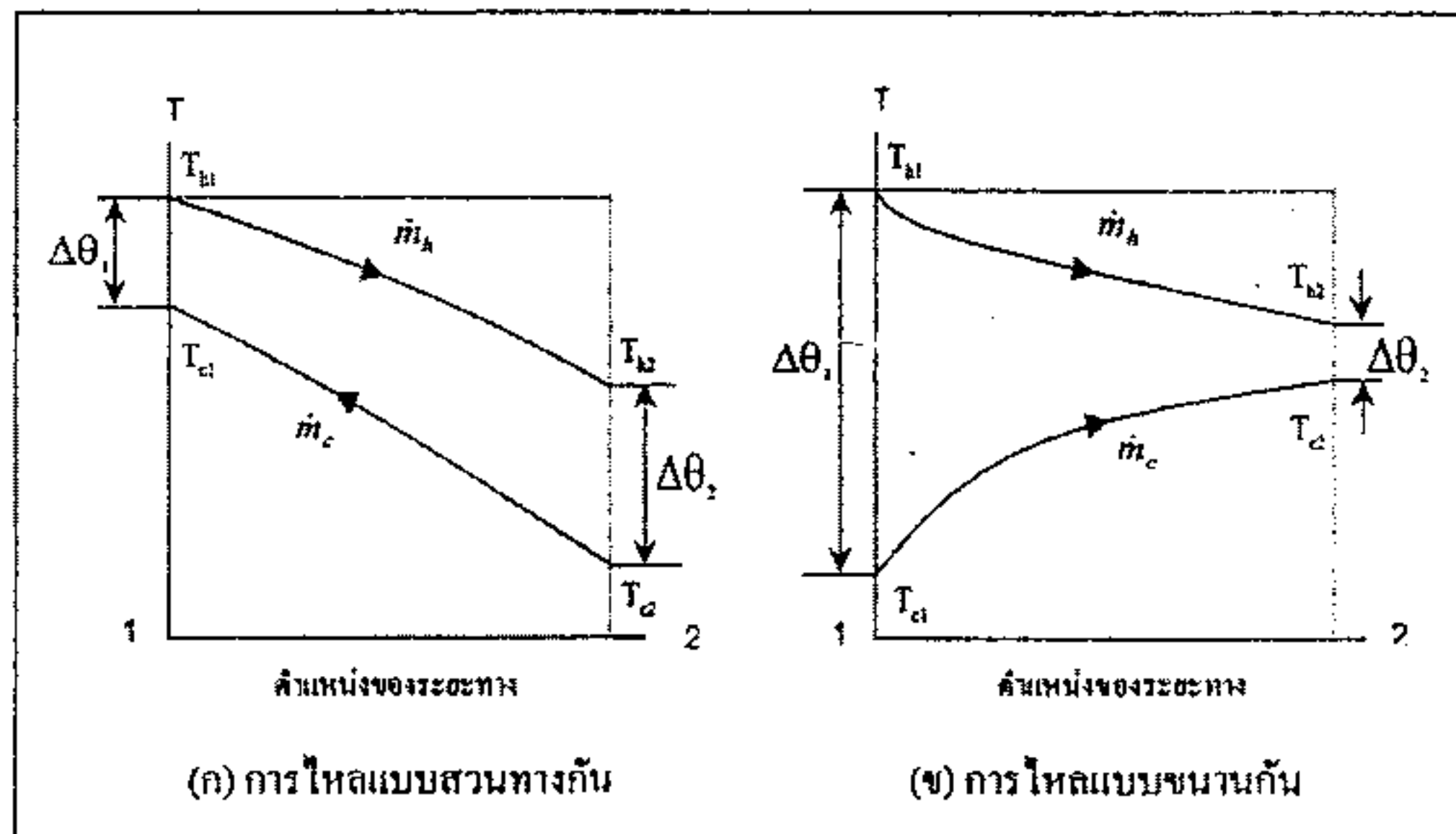
$$\Delta \theta_{lmtd} = \frac{(\Delta \theta_2 - \Delta \theta_1)}{\ln(\Delta \theta_2 / \Delta \theta_1)} \quad (2.9)$$

2.6.2 วิธีแอลเอ็มทีดี - นัมเบอร์ออฟทรานสเฟอร์ยูนิต ((Logarithmic Mean Temperature Difference – Number of Transfer Unit)

วิธีนี้เป็นการผสมแนวความคิด และหลักการของวิธีแอลเอ็มทีดีและเอ็นทียู (Number of Transfer Unit: NTU) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างผลคูณของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน ต่อผลคูณของอัตราการไหลและความร้อนจำเพาะเข้าด้วยกัน ทำให้ง่ายต่อการคำนวณโดยพารามิเตอร์บางตัวไม่จำเป็นต้องทราบ การพิจารณาจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

2.9.2.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการไหลแบบสวนทางกัน (Counter Flow)

2.9.2.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการไหลแบบขนานกัน (Parallel Flow)



ภาพที่ 2.24 อุณหภูมิของการไหลสวนทางกันและขนานกันในกรณี LMTD - NTU
แหล่งที่มา : Smith, 1988: 21

จาก ภาพที่ 2.24 การวิเคราะห์การไหลแบบสวนทางกัน จะได้ความสัมพันธ์ คือ

$$\frac{\Delta T_c}{\Delta T_h} = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{h2}} = \frac{N_c}{N_h} \quad (2.10)$$

การวิเคราะห์การไหลแบบขนานกัน จะได้ความสัมพันธ์ คือ

$$\frac{\Delta T_c}{\Delta T_h} = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{h2}} = \frac{N_c}{N_h} \quad (2.11)$$

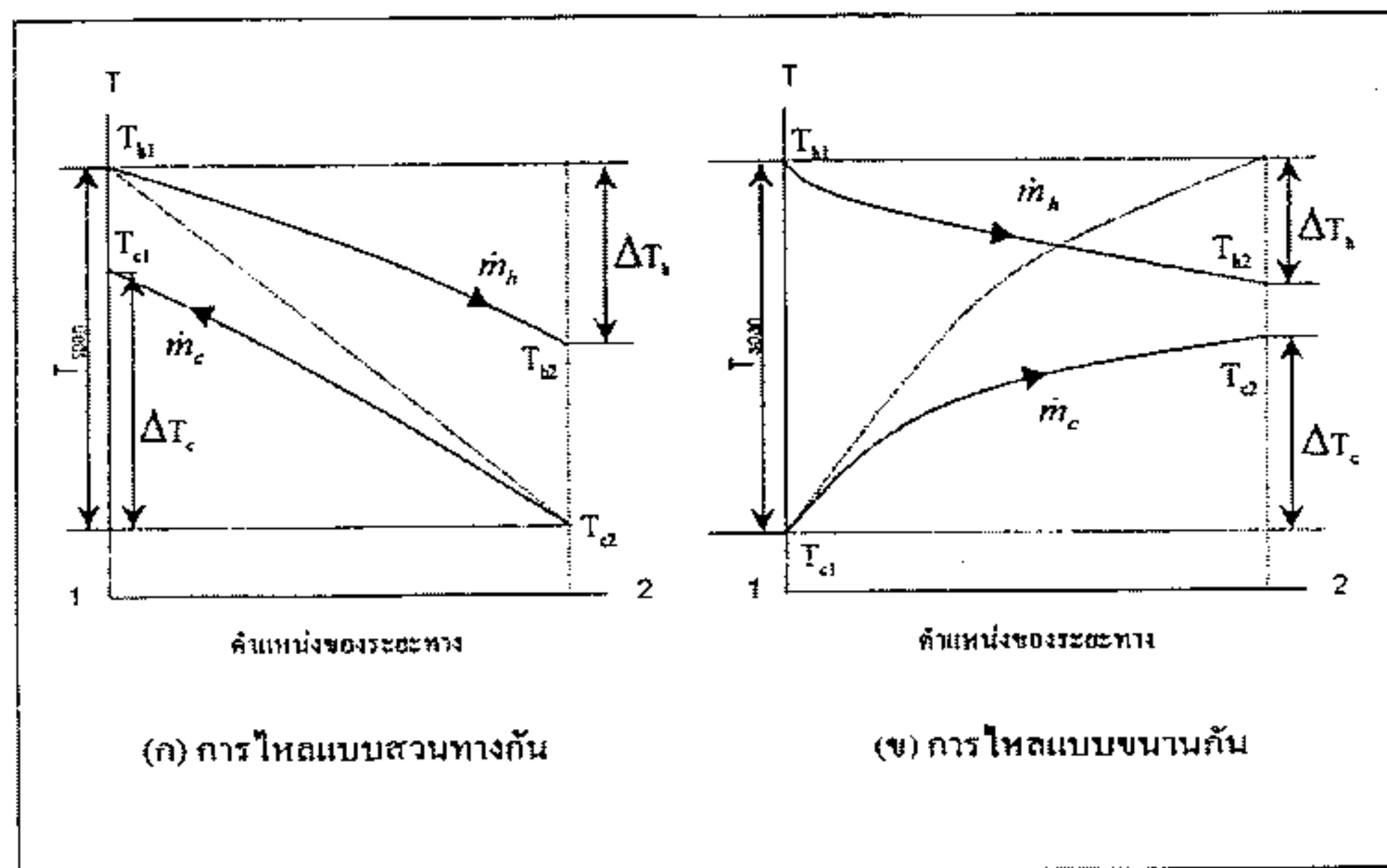
โดย c คือ ของไหลอุณหภูมิต่ำ

T_{c1} คือ อุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิต่ำขาออก (องศาเซลเซียส)

T_{c2}	คือ	อุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิต่ำขาเข้า (องศาเซลเซียส)
ΔT_c	คือ	ความแตกต่างอุณหภูมิ (ของไหลอุณหภูมิต่ำ) (องศาเซลเซียส)
h	คือ	ของไหลอุณหภูมิสูง
T_{h1}	คือ	อุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิสูงขาเข้า (องศาเซลเซียส)
T_{h2}	คือ	อุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิสูงขาออก (องศาเซลเซียส)
ΔT_h	คือ	ความแตกต่างอุณหภูมิ (ของไหลอุณหภูมิสูง) (องศาเซลเซียส)
N_c	คือ	อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของของไหลอุณหภูมิต่ำ
N_h	คือ	อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของของไหลอุณหภูมิสูง

2.6.3 วิธีเอฟเฟกทีฟเนส - นัมเบอร์ออฟทรานสเฟอร์ยูนิต (Effectiveness and Number of Transfer Unit)

วิธีนี้อาศัยความสัมพันธ์ของสมการ ซึ่งเขียนแสดงได้ดัง ภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 อุณหภูมิของการไหลแบบสวนทางกันและขนานกันในกรณี Effectiveness and Number of Transfer Unit

แหล่งที่มา : Smith, 1988: 25

จาก ภาพที่ 2.25 การวิเคราะห์การไหลแบบสวนทางกัน

$$\text{โดย } \Delta T_c = T_{c1} - T_{c2} \quad (2.12)$$

$$\text{และ } T_{span} = T_{h1} - T_{h2} \quad (\text{จากภาพที่ 24}) \quad (2.13)$$

จะได้ความสัมพันธ์ คือ $\eta = \frac{\Delta T_c}{T_{span}} = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c2}}$ (2.14)

การวิเคราะห์การไหลแบบขนานกัน

โดย $\Delta T_c = T_{c2} - T_{c1}$ (2.15)

และ $T_{span} = T_{h1} - T_{c1}$ (จากภาพที่ 24) (2.16)

จะได้ความสัมพันธ์ คือ $\eta = \frac{\Delta T_c}{T_{span}} = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c1}}$ (2.17)

โดย η	คือ	ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
T_{c1}	คือ	อุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิต่ำขาออก (องศาเซลเซียส)
T_{c2}	คือ	อุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิต่ำขาเข้า (องศาเซลเซียส)
ΔT_c	คือ	ความแตกต่างอุณหภูมิ (ของไหลอุณหภูมิต่ำ) (องศาเซลเซียส)
T_{h1}	คือ	อุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิสูงขาเข้า (องศาเซลเซียส)
T_{h2}	คือ	อุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิสูงขาออก (องศาเซลเซียส)
T_{span}	คือ	ความแตกต่างอุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิสูงขาเข้า กับอุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิต่ำขาเข้า (กรณีของไหลสวนทางกัน) หรือ ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิสูงขาเข้า กับ อุณหภูมิของของไหลอุณหภูมิต่ำขาออก (กรณีของไหลขนานกัน) (องศาเซลเซียส)

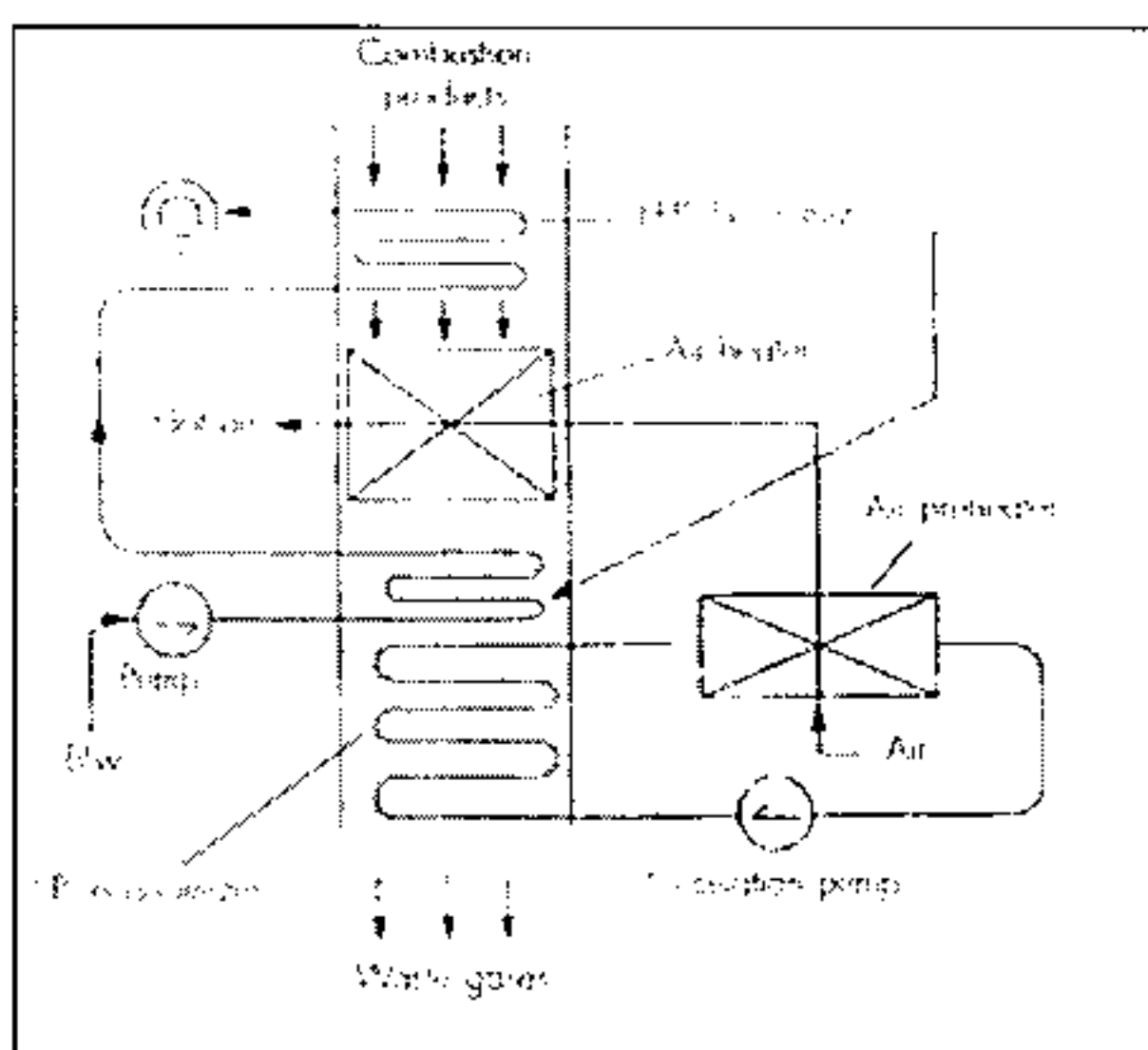
(Smith, 1988: 17 - 31)

2.7 เครื่องอุ่นน้ำ

เครื่องอุ่นน้ำเป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้เพื่อนำเอาความร้อนของก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเตาเผาภายในหม้อไอน้ำโดยใช้หลักของการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบก๊าซกับของเหลว เพื่อทำการอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนป้อนให้แก่หม้อไอน้ำ ตัวเครื่องประกอบด้วยกลุ่มท่อจำนวนมาก (Bundle of Tubes) ซึ่งจะมีครีบลอยอยู่ในช่องทางออกของก๊าซไอเสีย (Flue Gas) พบว่า การประหยัดเชื้อเพลิงได้ร้อยละ 1 จะต้องลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย

(Flue Gas) ในการนำความร้อนกลับมาใช้ทุก ๆ 16 องศาเซลเซียส (โดยการคำนวณจากเชื้อเพลิง ถ่านหินที่มีค่าความร้อน 7,222 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และ CO_2 ร้อยละ 13) ทำให้ประสิทธิภาพ ของระบบหม้อไอน้ำโดยรวมเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 3 - 5 ในกรณีการติดตั้ง ตามภาพที่ 2.26 ต้อง คำนึงถึงพื้นที่ที่ใช้งาน ความแข็งแรงทนทาน ความประหยัด และความสะดวกในการบำรุงรักษา

การพิจารณาออกแบบเครื่องอุ่นน้ำ มีองค์ประกอบสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ พื้นที่ผิวสัมผัส ความร้อนที่สามารถรับการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุด วัสดุที่ใช้เป็นโลหะเพื่อความประหยัด พื้นที่ผิวสัมผัสของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากเศษขี้เถ้า รวมทั้งอัตราการสึกหรอ การกัดกร่อนและ ตะกรันที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด (แมคพาวเวอร์, 2542: 135 - 138)



ภาพที่ 2.26 การติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

แหล่งที่มา : แมคพาวเวอร์, 2542: 136

2.7.1 การแบ่งประเภทของเครื่องอุ่นน้ำ

เครื่องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ แบ่งตามประเภทการทำงานได้ 2 แบบ คือ

2.7.1.1 เครื่องอุ่นน้ำแบบควบแน่น (Condensing Economizer) การใช้งานโดย ทำให้ก๊าซไอเสียเย็นลงต่ำกว่าจุดกลั่นตัวของก๊าซไอเสียนั้น เช่น การทำให้เกิดการควบแน่นและนำ ความร้อนแฝงส่วนหนึ่งกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งต้องพิจารณาถึงผลที่ตามมาจากการเกิดกรดเจือจางในน้ำ คอนเดนเสทด้วย เหมาะสำหรับเชื้อเพลิงที่มีค่ากำมะถัน (Sulphur) เนื่องจากอุณหภูมิของก๊าซไอ เสียจะต้องต่ำกว่าจุดควบแน่นของจุดน้ำค้าง (Water Dew point) ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการกัด กร่อน

2.7.1.2 เครื่องอุ่นน้ำแบบพ่น (Spray Economizer) หรือเรียกอีกอย่างว่า รีคูเพอเรเตอร์แบบพ่น (Spray Recuperator) เป็นชนิดที่สัมผัสความร้อนโดยตรง คือ ไม่มีผนังกันแยกระหว่างแหล่งจ่ายความร้อนและแหล่งรับความร้อน โดยทั่วไปมักจะใช้น้ำจืดเป็นฝอยเข้าไปในกระแสน้ำร้อน น้ำจะร้อนขึ้นและเสริมด้วยความร้อนเมื่อเกิดการกลั่นตัว น้ำร้อนที่ได้สามารถนำไปใช้โดยตรงในกระบวนการผลิตอื่น ๆ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ม.ป.ป.: 32 - 33)

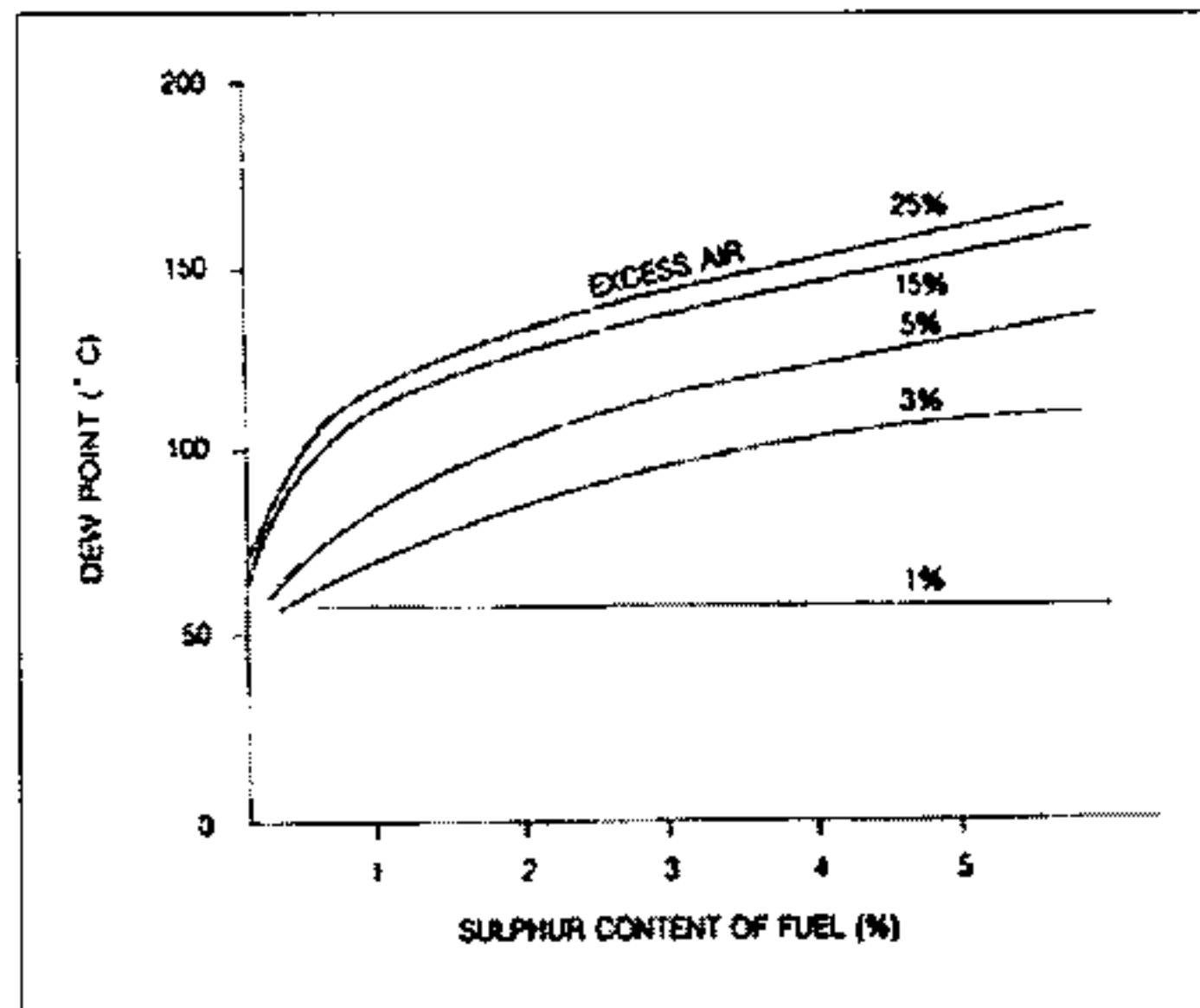
2.7.2 การป้องกันการกัดกร่อน

ปัญหาการกัดกร่อนเป็นปัญหาที่พบบ่อย การป้องกันนอกจากจะต้องควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย ไม่ให้มีอุณหภูมิต่ำจนถึงระดับอุณหภูมิการกลั่นตัวของกรดกำมะถัน และ ปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ ในทางปฏิบัติมักจะประสบปัญหาดังกล่าว การป้องกันสามารถทำได้ดังนี้

2.7.2.1 ควบคุมอุณหภูมิของผิวโลหะที่รับความร้อนให้สูงกว่าจุดน้ำค้าง ที่ประมาณ 150 - 180 องศาเซลเซียส

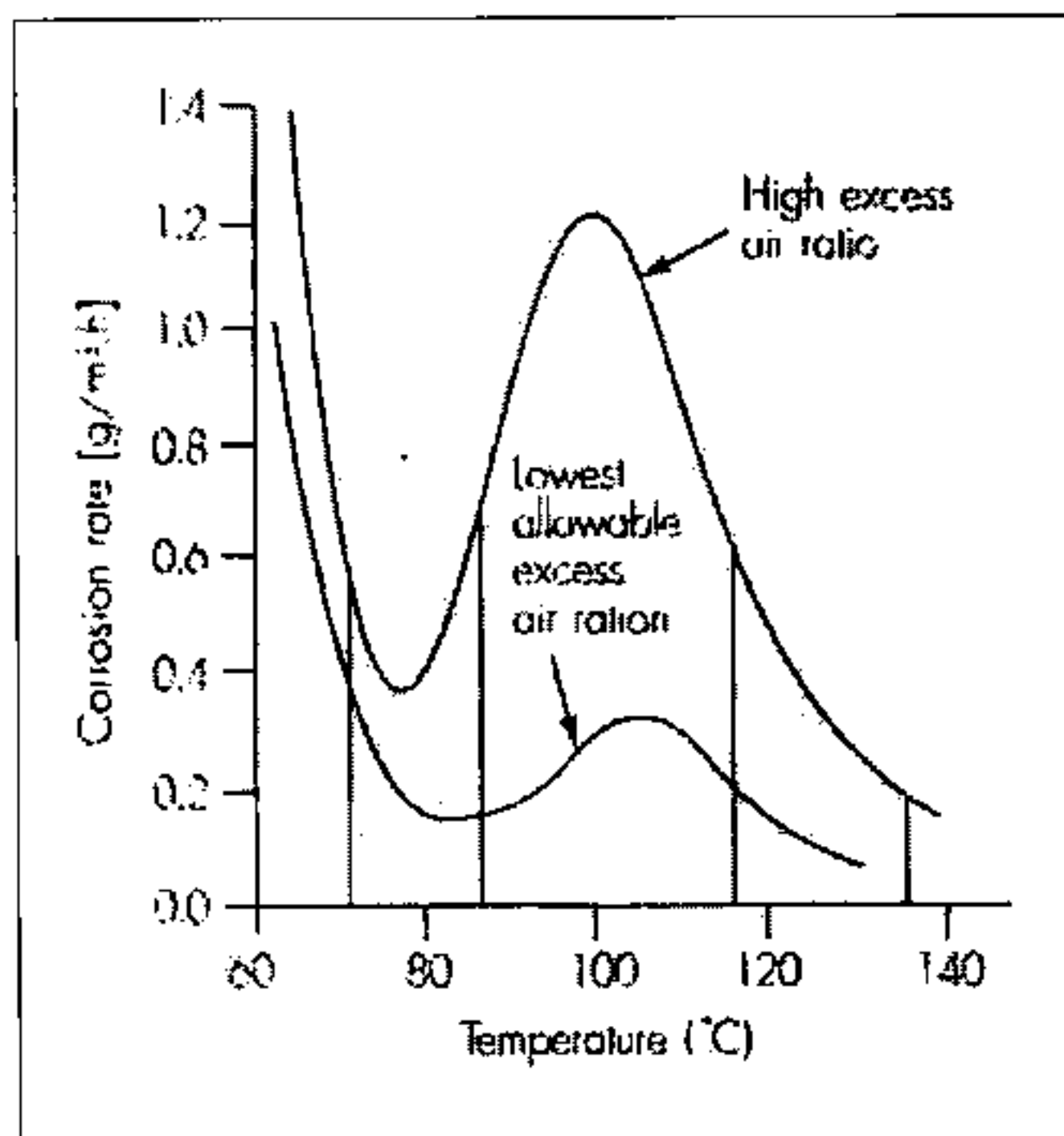
2.7.2.1 ควบคุมการทำงานของเครื่องอุ่นน้ำ ในบริเวณที่ติดตั้ง ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนต่ำที่สุด ตามภาพที่ 2.27

2.7.2.3 ควบคุมให้มีปริมาณของอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่ำที่สุด ตามภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.27 ความสัมพันธ์การกลั่นตัวของกรดกำมะถัน

แหล่งที่มา : แมคฟาวเวอร์, 2542: 138



ภาพที่ 2.28 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับการกัดกร่อน

แหล่งที่มา : ทาคามุระ, 2543: 352

2.7.3 พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน

การคำนวณหาพื้นที่ผิว ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ มีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลการออกแบบ เนื่องจากในการถ่ายเทความร้อนถ้าพื้นที่ผิว ที่ได้รับความร้อนมีน้อยเกินไป จะเกิดความร้อนสูญเสียส่วนหนึ่งที่เครื่องอุ่นน้ำไม่สามารถที่จะรับความร้อนนั้นได้ ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นน้ำลดลง ในการคำนวณเพื่อหาพื้นที่ผิวของเครื่องอุ่นน้ำมีขั้นตอนดังนี้

2.7.3.1 คำนวณหาอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ

จาก สมการ
$$r = \frac{\alpha P_g C}{P_c} \quad (2.18)$$

โดย	r	คือ	อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อน
	α	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
	P_g	คือ	น้ำหนักของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้
	C	คือ	ความร้อนจำเพาะของก๊าซไอเสีย
	P	คือ	ปริมาณน้ำที่ได้รับการถ่ายเทความร้อน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
	c	คือ	ความร้อนจำเพาะของน้ำ

2.7.3.2 คำนวณหาอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ

จาก สมการ
$$T = T_o - \frac{t - t_o}{r} \quad (2.19)$$

โดย	T	คือ	อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ (องศาเซลเซียส)
	T_o	คือ	อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่เข้าเครื่องอุ่นน้ำ (องศาเซลเซียส)
	t	คือ	อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ (องศาเซลเซียส)
	t_o	คือ	อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องอุ่นน้ำ (องศาเซลเซียส)
	r	คือ	อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อน

2.7.3.3 คำนวณหาพื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ

จาก สมการ
$$S = \frac{\alpha P_g C}{k(1-r)} \ln \frac{T_o - t}{T - t_o} \quad (2.20)$$

โดย	S	คือ	พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ (ตารางเมตร)
-----	---	-----	--

α	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
P_g	คือ	น้ำหนักของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้
C	คือ	ความร้อนจำเพาะของก๊าซไอเสีย
T	คือ	อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ
T_o	คือ	อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่เข้าเครื่องอุ่นน้ำ
t	คือ	อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ
t_o	คือ	อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องอุ่นน้ำ
r	คือ	อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อน
k	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยรวมของ วัสดุ (กิโลแคลอรีต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงต่อ องศาเซลเซียส)

(Hugot, 1986: 965 - 969)

2.8 ปริมาณและอัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิง

การนำความร้อนจากก๊าซไอเสียมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อน้ำทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นประมาณร้อยละ 1 ทุก ๆ 20 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ลดลง โดยปกติก๊าซไอเสียจะมีอุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส ที่ภาวะสูงสุด และมีความร้อนที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนประมาณร้อยละ 15 การนำเอาวิธีการดึงความร้อนจากก๊าซไอเสียมาใช้จึงเป็นการประหยัดพลังงานที่มีประสิทธิผล

วิธีการหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดและอัตราส่วนการประหยัดเชื้อเพลิง ในกรณีการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนสำหรับหม้อไอน้ำ

กำหนดให้ W คือ อัตราน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (ปริมาณระเหย) (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) เพื่อเพิ่มเอนทัลปี (Enthalpy) ของน้ำป้อนหม้อไอน้ำจาก h_i เป็น h_1 (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) กับกรณีที่ไม่ใช้เครื่องอุ่นน้ำที่มีปริมาณระเหยเท่ากัน

โดย	F_o & F คือ	ปริมาณเชื้อเพลิงก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ (กิโลกรัมเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง)
	η_o & η คือ	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ
	N.C.V. คือ	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

h'' คือ เอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่ผลิตได้
(กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม)

h_1 & h_2 คือ เอนทาลปีของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ
(กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม)

จะได้ความสัมพันธ์ดัง สมการ

$$F_o = \frac{W(h'' - h_1)}{N.C.V. \times \eta_o} \quad (2.21)$$

$$F = \frac{W(h'' - h_1)}{N.C.V. \times \eta} \quad (2.22)$$

ในกรณีที่ภาระของหม้อไอน้ำมีมากหรือน้อยเกินไป ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจะลดลงเนื่องจากเชื้อเพลิงบางส่วนไม่เกิดการสันดาปเพิ่มขึ้นหรือปริมาณอากาศส่วนเกินมากเกินไป ภายในช่วงภาระที่เหมาะสมการสันดาปจะสมบูรณ์ การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำน้อย ถ้าปริมาณการสันดาปลดลงเนื่องจากการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำอยู่ในช่วงภาระที่เหมาะสมถือว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำไม่เปลี่ยนแปลง คือ $\eta_o = \eta$

จะได้ความสัมพันธ์ ดังสมการ

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ประหยัด

$$F_o - F = \frac{W(h_2 - h_1)}{\eta H_i} \quad (2.23)$$

อัตราส่วนการประหยัดเชื้อเพลิง

$$\frac{F_o - F}{F_o} = \frac{W(h_2 - h_1)}{W(h'' - h_1)} = \frac{h_2 - h_1}{h'' - h_1} \quad (2.24)$$

(தாகามูระ, 2543: 351 - 353)

2.9 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการ มีความสำคัญอย่างมากต่อการตัดสินใจที่จะรับหรือปฏิเสธโครงการ โดยนำมาใช้สำหรับเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในการลงทุน

2.9.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิแสดงให้เห็นถึงผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับตอบแทนตลอดระยะเวลาโครงการ ซึ่งอาจจะมีค่าเป็นบวก ลบ หรือศูนย์ก็ได้ขึ้นอยู่กับมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมหักออกด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม จากสมการ

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2.25)$$

โดย	B_t	คือ	ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t
	C_t	คือ	ต้นทุนของโครงการในปีที่ t
	r	คือ	อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่เหมาะสม
	t	คือ	ระยะเวลาของโครงการ(0, 1, 2, 3,..... n)

โดยการตัดสินใจที่ว่าโครงการจะมีความเหมาะสมทางการเงินนั้นให้พิจารณาจากค่า NPV เมื่อ $NPV > 0$ หรือมีค่าเป็นบวก แสดงว่ามีความเหมาะสมสำหรับการลงทุน กล่าวคือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม

2.9.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit - Cost Ratio: BCR)

ผลตอบแทนต่อต้นทุน หมายถึง มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม ผลประโยชน์จะเกิดขึ้นตลอดอายุทางเศรษฐกิจของโครงการ หมายถึงว่าเมื่อการลงทุนโครงการผ่านพ้นไปแล้ว ในขณะที่ต้นทุนในการก่อสร้างจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงการลงทุนเท่านั้น ส่วนต้นทุนในรูปของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ซ่อมแซม บำรุงรักษาและลงทุนทดแทนอุปกรณ์ที่เสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นตลอดช่วงอายุทางเศรษฐกิจของโครงการ จากนั้นจึงนำเอากระแสผลประโยชน์และกระแสต้นทุนของโครงการที่ได้ปรับค่าไปตามเวลาหรือคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้วมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน จากสมการ

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (2.26)$$

ค่าที่ได้ของ BCR อาจจะเท่ากับหนึ่ง มากกว่าหนึ่ง หรือน้อยกว่าหนึ่งก็ได้ แต่หลักการตัดสินใจที่แสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมและคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจ คือ เมื่อ BCR มีค่าเท่ากับหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่ง

2.9.3 อัตราผลตอบแทนสุทธิ (Internal Rate of Return: IRR)

หมายถึง ผลตอบแทนเป็นร้อยละต่อโครงการหรือหมายถึงดอกเบี้ยในกระบวนการคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าอัตราดอกเบี้ยระดับหนึ่งที่ใช้ในการคิดมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก เมื่อเราใช้อัตราดอกเบี้ยที่สูงขึ้นจะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าลดลง จนกระทั่งอัตราดอกเบี้ย ณ ระดับหนึ่งทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นก็คือ อัตรา

ผลตอบแทนสุทธิ เมื่อกำหนดให้ r คือ IRR แล้วค่า r จะสามารถหาได้ จากการแก้สมการ

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (2.27)$$

ทั้งนี้ค่า IRR ยังสามารถนำมาเปรียบเทียบระหว่างโครงการถึงการลงทุนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดได้และยังใช้ได้กับสถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอนอยู่ด้วยว่าควรจะใช้อัตราคิดลดตัวที่ถูกต้องตัวใด (ชูชีพ พิพัฒนศิริ, ชาย กิตติคุณาภรณ์ และชนเชษฐ์ ทิพย์โยภาส, 2539: 87 - 91)

การเลือกอัตราคิดลด (Choosing The Discount Rate) ใช้การคิดลดในอัตราแบบตัดขาด (Cut - Off Rate) คือ ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของเงินตรา (Marginal Cost of Money) ของกิจการ หรืออัตราที่วิสาหกิจจะสามารถกู้ยืมเงินได้ ส่วนการวิเคราะห์อัตราแบบตัดขาดที่ใช้ คือค่าเสียโอกาสของทุน (Opportunity Cost of Capital) ซึ่งเป็นอัตราที่แสดงให้เห็นถึงการเลือกของสังคม โดยส่วนรวมระหว่างผลตอบแทนในปัจจุบันและอนาคต ไม่มีผู้ใดที่จะทราบว่าค่าเสียโอกาสของทุนที่แท้จริงเป็นเท่าใด ค่าเสียโอกาสของทุนในประเทศกำลังพัฒนา จะมีค่าในรูปที่แท้จริง (In Real Terms) อยู่ระหว่างร้อยละ 8 ถึงร้อยละ 15 ต่อปี ดังนั้น อัตราที่เลือกใช้โดยทั่วไปตาม The Rule of Thumb คือ ร้อยละ 12 ต่อ ปี (ชูชีพ พิพัฒนศิริ, ชาย กิตติคุณาภรณ์ และชนเชษฐ์ ทิพย์โยภาส, 2539: 75 - 76)

2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวិเคราะห์พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพของอุตสาหกรรมการผลิตไม้อัด (A Study Waste Heat Veneer Pre - Dryer System): กรณีศึกษา บริษัทไม้อัดไทย จำกัด จากการศึกษาการใช้พลังงานในเครื่องให้ความร้อนแบบ Hot Oil และระบบเตาอบไม้อัด (Veneer Drying) สามารถปรับอัตราการใช้ (A/F Ratio) โดยสามารถนำก๊าซไอเสีย (Flue Gas) กลับมาใช้ในการอุ่นอากาศก่อนการสันดาปเพื่อเพิ่มผลผลิตของบริษัทฯ ซึ่งทำการจำลองระบบและวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้ เครื่องอบไม้แบบ 2 สถานะ (Two - Stage Veneer Dryer) เหมาะสมที่สุด คือ การอุ่นและการอบตามปกติ (Pre - Dryer and Conventional Dryer) โดยสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 1.32 ล้านบาท/ปี หรือประมาณ ร้อยละ 15.9 ของมูลค่าพลังงานทั้งหมด (Anucha Promwungkwa, 1989: Abstract)

การศึกษารอบชานแห้งชานอ้อยโดยใช้ก๊าซร้อนจากหม้อน้ำของโรงงานน้ำตาล เป็นศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อการอบแห้งชานอ้อย โดยจำลองสถานะของก๊าซร้อนที่ใช้ภายใต้ห้องปฏิบัติการ ซึ่งผลของตัวแปร ได้แก่ ความหนาของชานอ้อย อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

ร้อน และระยะเวลาในการอบ ที่ปริมาณความชื้นของก๊าซร้อน ร้อยละ 7 และ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ อุณหภูมิคงที่ที่ 200 องศาเซลเซียส และความชื้นของขานอ้อยประมาณ ร้อยละ 50 ผลของการศึกษา พบว่า การเผาไหม้ขานอ้อยที่มีความชื้น ร้อยละ 50 จำนวน 1 ตัน จะมีก๊าซร้อนเกิดขึ้น 9.4 ตัน ซึ่งไม่เพียงพอต่อการอบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งขานอ้อยจำนวน 1 ตัน ต้องใช้ก๊าซร้อนจำนวน 11.7 ตัน แต่ถ้าขานอ้อยที่ใช้มีความชื้นลดลง จะทำให้สภาวะการอบแห้งดีขึ้น (นรินพร คงไม้สัจฉิย์, 2537: บทคัดย่อ)

การศึกษาการนำความร้อนสูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์ของอุตสาหกรรมน้ำตาล (Waste Heat Recovery Systems in the Sugar Industry) ในประเทศอินเดีย พบว่า กระบวนการผลิตมี ศักยภาพการใช้พลังงานจากแหล่งความร้อนประมาณ 5,757.9 กิโลจูลต่อผลผลิตน้ำตาล 1 กิโลกรัม ในการศึกษาการนำก๊าซร้อนที่มีอุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส กลับมาใช้ประโยชน์ทำให้สามารถลด ต้นทุนการผลิตได้ การนำความร้อนทั้งหมดมาใช้ประโยชน์จะประสบผลสำเร็จมี 3 วิธี คือ ใช้ให้ ความร้อนในการแยกน้ำออกจากวัตถุดิบ (ผลิตภัณฑ์) ใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงขานอ้อย และให้ ความร้อนแก่น้ำเชื่อมในการผลิตน้ำตาลทราย โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 3 เครื่อง จากกระบวนการดังกล่าวสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในกระบวนการผลิตได้ร้อยละ 10 และ เป็นการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (Madnaik, and Jadhav, 1996: 333 - 343)

การศึกษาถึงการออกแบบสร้างและทดสอบสมรรถนะของเครื่องอุ่นน้ำร้อนแบบท่อความ ร้อนเพื่อใช้กับหม้อไอน้ำขนาด 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมงโดยเครื่องอุ่นน้ำร้อนประกอบด้วยท่อ ความร้อนชนิดท่อเหล็กไร้สนิมผิวเรียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 25.4 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 78 ท่อ ใช้น้ำกลั่นบริสุทธิ์เป็นสารทำงาน พบว่า เมื่ออุณหภูมิของก๊าซร้อนสูงขึ้น ค่าประสิทธิภาพก็จะสูงขึ้นด้วยและจำนวนหน่วยของอัตราการถ่ายเทความร้อน (NTU) มีค่ามากขึ้น ค่าประสิทธิภาพก็จะเพิ่มขึ้นตามความสัมพันธ์เชิงเส้น การเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์ได้ค่า ประหยัดเชื้อเพลิงคิดเป็นน้ำมันเตาเกรด C เท่ากับ 4,748 ลิตรต่อปี และคิดเป็นจำนวนเงินที่ ประหยัดได้เท่ากับ 19,700 บาทต่อปี มีอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 12.8 หรือช่วงระยะของ เงินทุนกลับคืน คือ 7 ปี (ทวีศักดิ์ ทวีวิทยาการ, 2541: บทคัดย่อ)

การศึกษาศักยภาพของแหล่งการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ที่ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประเทศจอร์แดน พบว่า เตาที่ใช้ปรุงอาหารซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในห้องครัวของสโมสร นักศึกษาเป็นแหล่งนำความร้อนทิ้งที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 114 องศาเซลเซียส สามารถกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นอย่างดี โดยได้ออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบคอยล์ (Coil Heat Exchanger) ซึ่งใช้ทองแดงเป็นวัสดุในการสร้าง เพื่อวิเคราะห์ถึงประโยชน์ของความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ที่อยู่ในก๊าซไอเสียในการทำน้ำอุ่นเพื่อล้างภาชนะ ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 50 องศา

เซลเซียส จากการศึกษานำความร้อนทิ้งจากเตาตั้งถั่วกลับมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าร้อยละ 60 และการลงทุนในการสร้างมีความประหยัดสูง (Alkhamis, Alhusein, and Kablan, 1998: 1113 - 1116)

การศึกษาการนำความร้อนฟลูแกส และคอนเดนเสทจากระบวนการผลิตโพลิเอสเตอร์ กลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำเอาคอนเดนเสทจากระบวนการผลิตและฟลูแกสที่มีอุณหภูมิสูงที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้เพื่อการประหยัดพลังงาน พบว่า การนำคอนเดนเสทที่เกิดจากระบวนการผลิตผสมกับน้ำทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อใช้เป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ประมาณร้อยละ 8 การนำความร้อนจากฟลูแกสที่ปล่อยทิ้งมาทำการอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ประมาณร้อยละ 8.4 และการอุ่นอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ประมาณร้อยละ 6.2 (ชนาคม สุนทรชัยนาคแสง, 2541: 89 – 91)

การวิเคราะห์พารามิเตอร์และประเมินศักยภาพของระบบการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่จากคอนเดนเสทและแฟลชสตีม ในกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นชุบสังกะสี กรณีศึกษา บริษัทกรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด (มหาชน) โดยระบบก่อนการปรับปรุงมีปริมาณคอนเดนเสทจำนวน 1,590 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีค่าพลังงานความร้อนสัมผัส 666 เมกะจูลต่อชั่วโมง (เมกะจูล หมายถึง ปริมาณความร้อน 10^6 จูล) ถูกนำกลับมาใช้เป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ และมีปริมาณแฟลชสตีมถูกปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศจำนวน 194 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นพลังงานความร้อน 438 เมกะจูลต่อชั่วโมง การปรับปรุงระบบจะนำพลังงานความร้อนจากแฟลชสตีมและบางส่วนของคอนเดนเสทกลับมาทดแทนการใช้ไอน้ำอิ่มตัวที่ 7 บาร์ 165 องศาเซลเซียส ซึ่งระบบเดิมใช้ไอน้ำอิ่มตัวจำนวน 260 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นพลังงานความร้อน 718 เมกะจูลต่อชั่วโมง เพื่อใช้ในกระบวนการล้างแผ่นเหล็กด้วยน้ำอุ่น ซึ่งทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์โดยการจำลองระบบเพื่อหาปริมาณคอนเดนเสทและแฟลชสตีมที่เหมาะสม ด้วยสมมูลมวลและพลังงาน ผลการศึกษา พบว่า สามารถนำคอนเดนเสทและแฟลชสตีมที่ผสมน้ำแล้วกลายเป็นน้ำร้อนจำนวน 2,844 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมจำนวน 1,254 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในส่วนนี้มีปริมาณของแฟลชสตีมที่สามารถนำกลับผสมอยู่ด้วยจำนวน 176 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และปริมาณน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นพลังงานความร้อน 510 เมกะจูลต่อชั่วโมง จะนำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนไอน้ำอิ่มตัวด้วยน้ำร้อนคิดเป็นร้อยละ 71 โดยที่สามารถประหยัดเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำได้ประมาณ 12.63 ลิตรต่อชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ใช้เงินลงทุนรวม 400,000 บาท มีผลตอบแทนสุทธิ 1,212,250 บาท มีระยะเวลาคืนทุนที่ 1.65 ปี มูลค่าเงินสุทธิปัจจุบัน 923,755 บาท และมีอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่มากกว่าค่าเสียโอกาสของทุน (สานิตย์ จันทโร, 2542: บทคัดย่อ)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการศึกษาถึงรายละเอียด และข้อมูลในการออกแบบของหม้อไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของบริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด คือ หม้อไอน้ำ แบบท่อน้ำ (Water Tube) รุ่น N - 1700, 1979 ขนาดอัตราการผลิตไอน้ำ 60,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลิตโดย TAKUMA Co.,Ltd ประเทศ ญี่ปุ่น รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้ ในการนำความร้อนจากก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกจากปล่องไฟ (Flue Gas Heat Recovery) กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เพื่อการอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ในช่วง เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2546 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2547 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหีบอ้อย โดยทำการศึกษาทั้งก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ เพื่อเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพการผลิตไอน้ำ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง และทางด้านเศรษฐศาสตร์

3.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

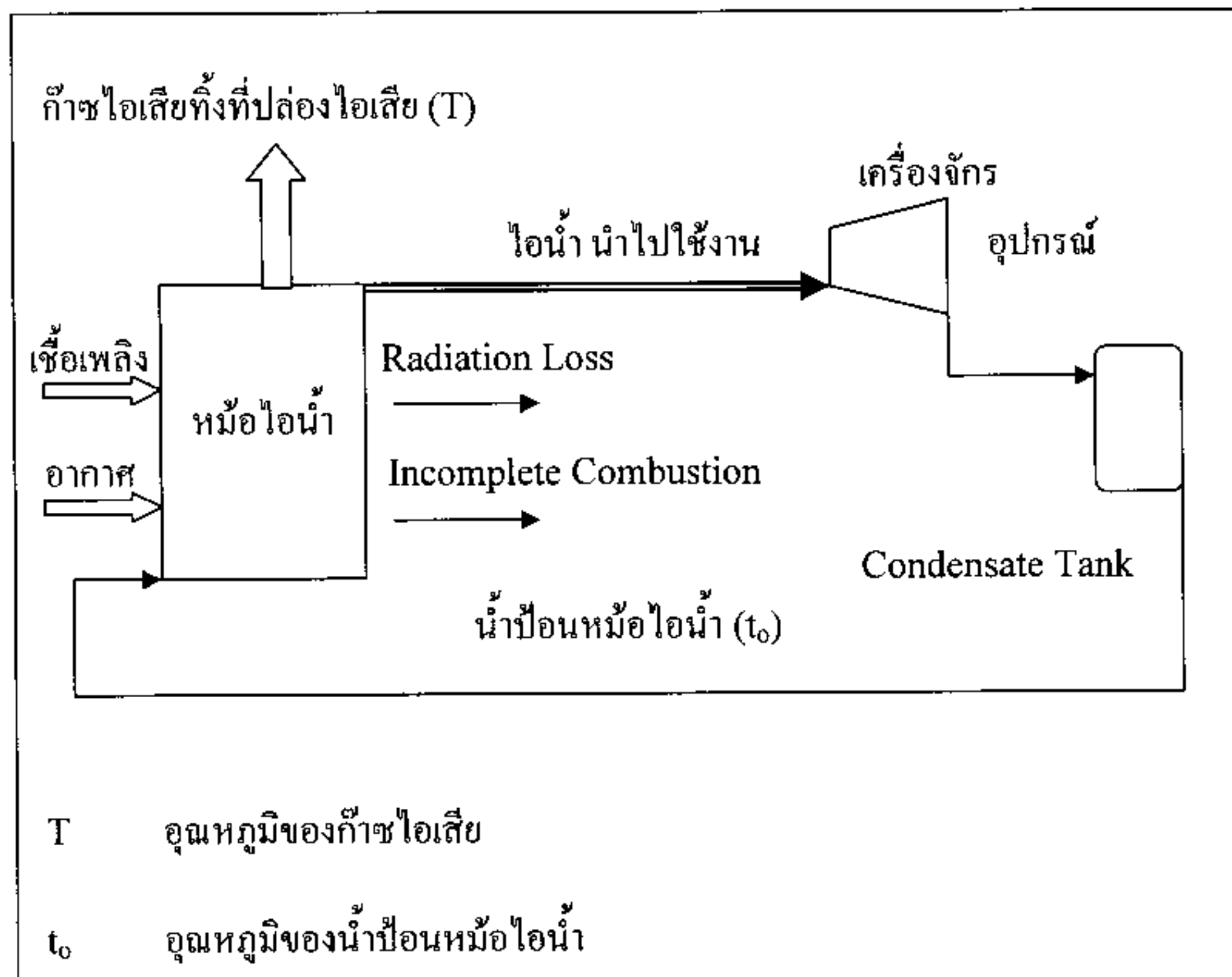
โดยการค้นคว้าและรวบรวมจากหนังสือรายงานเอกสารงานวิจัย และสิ่งตีพิมพ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยโดยศึกษาถึงแนวคิด ทฤษฎีเกี่ยวกับประเภทลักษณะ ข้อมูลที่เกี่ยวกับเครื่องอุ่นน้ำ และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหม้อไอน้ำก่อนที่จะทำการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ดังนี้

3.1.1.1 อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (T) จากการดำเนินการในฤดูหีบอ้อย (พ.ศ. 2545 - 2546) โดยแยกเป็น 2 ช่วง คือ กะที่ 1 (8.00 - 18.00 น.) และ กะที่ 2 (18.00 - 8.00 น.) เริ่มตั้งแต่วันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2545 ถึง 7 เมษายน พ.ศ. 2546 จำนวนวันทำการ 101 วัน

3.1.1.2 อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (t_o) จากการดำเนินการในฤดูหีบอ้อย (พ.ศ. 2545 - 2546) โดยแยกเป็น 2 ช่วง คือ กะที่ 1 (8.00 - 18.00 น.) และกะที่ 2 (18.00 - 8.00 น.) เริ่มตั้งแต่วันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2545 ถึง 7 เมษายน พ.ศ. 2546 จำนวนวันทำการ 101 วัน

3.1.1.3 ความชื้นและความหวานของกากชานอ้อย (w, s) ที่ได้จากการดำเนินการในฤดูหีบอ้อย (พ.ศ. 2545 - 2546)

3.1.1.4 ค่าพารามิเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความร้อนที่สูญเสียไปกับเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่าง ๆ (Radiation Loss and Incomplete Combustion) และปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้ (Excess Air)



ภาพที่ 3.1 การทำงานของหม้อไอน้ำก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

3.1.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ

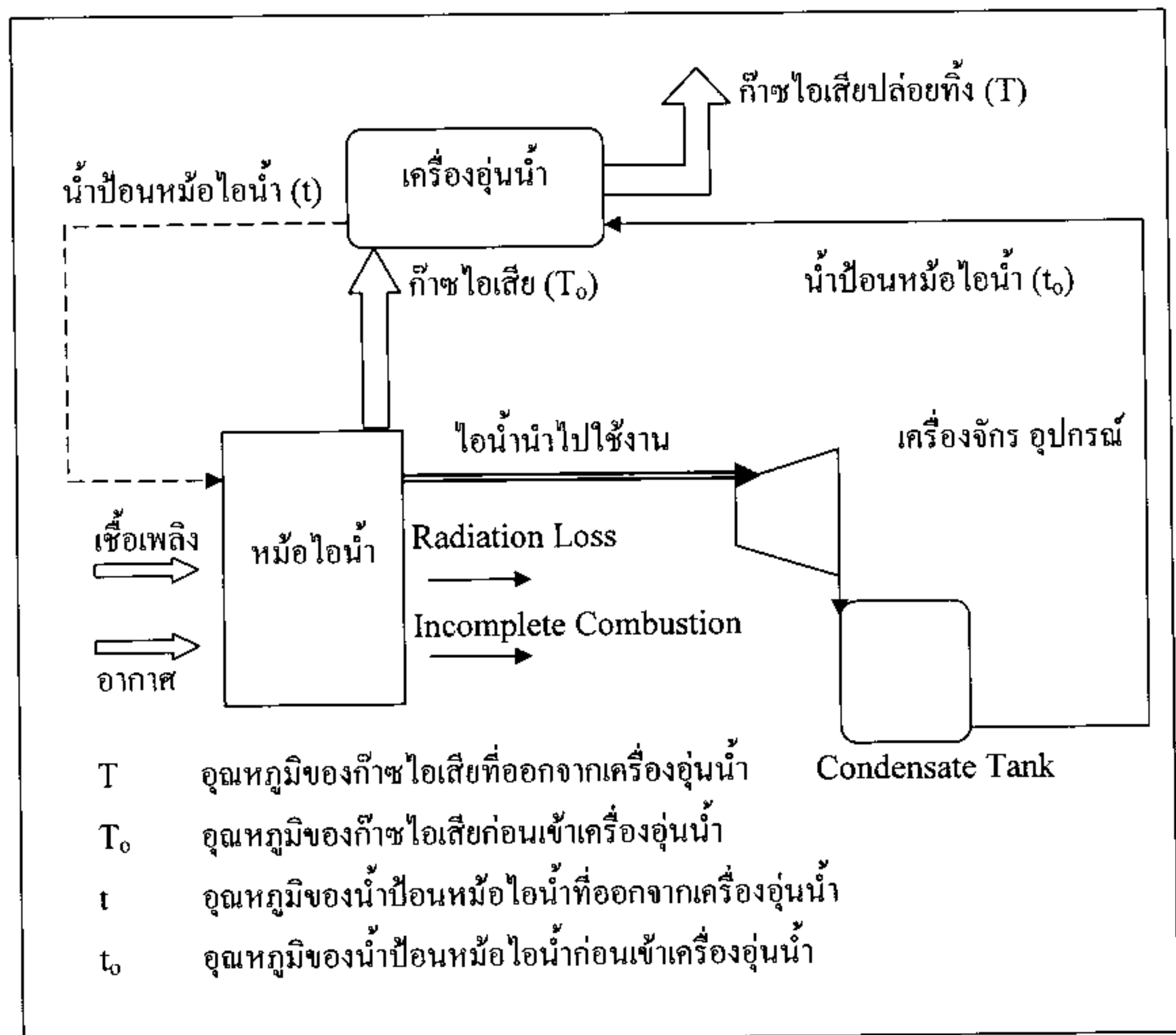
โดยการตรวจสอบบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหม้อไอน้ำ ในการผลิตไอน้ำหลังจากที่ทำการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำของบริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด ตามภาพที่ 3.2 จากการดำเนินงานในช่วงฤดูหีบอ้อยที่จะเริ่มในปลายปี พ.ศ. 2546 ดังนี้

3.1.2.1 อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (t_o) จากการดำเนินการในฤดูหีบอ้อย (พ.ศ. 2546 - 2547) โดยแยกเป็น 2 ช่วง คือ กะที่ 1 (8.00 - 18.00 น.) และ กะที่ 2 (18.00 - 8.00 น.) เริ่มตั้งแต่วันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2546 ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2547 จำนวนวันของการเก็บข้อมูล 101 วัน

3.1.2.2 อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (T) จากการดำเนินการในฤดูหีบอ้อย (พ.ศ. 2546 - 2547) โดยแยกเป็น 2 ช่วง คือ กะที่ 1 (8.00 - 18.00 น.) และ กะที่ 2 (18.00 - 8.00 น.) เริ่มตั้งแต่วันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2546 ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2547 จำนวนวันของการเก็บข้อมูล 101 วัน

3.1.2.3 ความชื้นและความหวานของกากชานอ้อย (w, s) ที่ได้จากการดำเนินการในฤดูหีบอ้อย (พ.ศ. 2546 - 2547)

3.1.2.4 ค่าพารามิเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความร้อนที่สูญเสียไปกับเครื่องจักรและอุปกรณ์ (Radiation Loss and Incomplete Combustion) ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้ (Excess Air) และข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบเครื่องอุ่น



ภาพที่ 3.2 การทำงานหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาและวิจัย ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบ ผลที่ได้ของการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ และความคุ้มค่าของการลงทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยกำหนดให้

1. กระบวนการไหลและสถานะของของไหลคงที่
2. ไม่คิดค่าความดันตกของของไหลในระบบ
3. อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมคงที่

3.2.1 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวรับความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ

โดยนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการเก็บรวบรวมและจากการออกแบบเครื่องอุ่นน้ำ มาคำนวณเพื่อเปรียบเทียบว่ามีพื้นที่ผิวรับความร้อนเพียงพอหรือไม่ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1.1 คำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิง จากสมการที่ (2.1)

3.2.1.2 คำนวณน้ำหนักของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง จากสมการที่ (2.2)

3.2.1.3 คำนวณปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิง จากสมการที่ (2.3)

3.2.1.4 คำนวณน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ จากสมการที่ (2.4)

3.2.1.5 คำนวณอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำจากสมการที่ (2.18)

3.2.1.6 คำนวณอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ จากสมการที่ (2.19)

3.2.1.7 คำนวณพื้นที่ผิวรับความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ จากสมการที่ (2.20)

3.2.1.8 คำนวณพื้นที่ผิวรับความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำที่ได้ทำการออกแบบ

3.2.1.9 เปรียบเทียบขนาดของพื้นที่ผิวรับความร้อนที่ได้จากการออกแบบและการคำนวณ

3.2.2 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ข้อมูลทุติยภูมิและปฐมภูมิที่ได้จากการเก็บรวบรวม นำมาทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ ตามขั้นตอน ดังนี้

3.2.1.1 คำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิง จากสมการที่ (2.1)

3.2.1.2 คำนวณความร้อนสูญเสียไปกับก๊าซไอเสีย จากสมการที่ (2.5)

3.2.1.3 คำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำทั้งก่อน และหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ จาก สมการที่ (2.6)

3.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

การหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้เชื้อเพลิงก่อน และ หลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ โดยการคำนวณ ดังนี้

3.2.3.1 คำนวณหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง จากสมการที่ (2.1)

3.2.3.2 ทำการคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากขานอ้อย ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ จากสมการที่ (2.3)

3.2.3.3 คำนวณน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากขานอ้อยที่เผาไหม้ ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ จากสมการที่ (2.4)

3.2.4 การหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

การหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงอีกวิธีหนึ่ง สามารถหาได้ จากสมการที่ (2.21) และ (2.22)

3.2.5 การวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง และอัตราส่วนการประหยัดเชื้อเพลิง

ใช้สถิติวิเคราะห์ Paired - Simple T - Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูปทางสังคมศาสตร์ (SPSS Version 10)

3.2.6 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

3.2.6.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ แสดงให้เห็นถึงผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับตอบแทนตลอดระยะโครงการ โดยการตัดสินใจที่ว่าโครงการจะมีความเหมาะสมทางการเงินนั้นพิจารณาจากค่า NPV เมื่อ $NPV > 0$ หรือมีค่าเป็นบวก แสดงว่ามีความเหมาะสมสำหรับการลงทุน จากสมการที่ (2.25)

3.2.6.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit - Cost Ratio: BCR) มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม ค่าของ BCR อาจจะเท่ากับ

หนึ่ง มากกว่าหนึ่ง หรือน้อยกว่าหนึ่งก็ได้ ในการตัดสินใจว่าโครงการมีความเหมาะสมและคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจก็คือเมื่อ BCR มีค่าเท่ากับหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่ง จากสมการที่ (2.26)

3.2.6.3 อัตราผลตอบแทนสุทธิ (Internal Rate of Return: IRR) ผลตอบแทนเป็นร้อยละต่อโครงการ หรือดอกเบี้ยในกระบวนการคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์ ทั้งนี้ค่า IRR ยังสามารถนำมาเปรียบเทียบระหว่างโครงการถึงการลงทุนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดได้และยังใช้ได้กับสถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอนอยู่ด้วยว่าควรจะใช้อัตราคิดลดตัวที่ถูกต้องตัวใด จากสมการที่ (2.27)

3.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 การวิเคราะห์โดยนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบและบันทึกมาวิเคราะห์ใช้ค่าสถิติร้อยละ (Percentage) และค่าเฉลี่ย (Mean) เพื่ออธิบายประกอบกับข้อมูลจากการวิจัยเอกสาร

3.3.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงก่อน และหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ Paired – Samples T - Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของหม้อไอน้ำหลังจากติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ หลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ เริ่มตั้งแต่ วันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2546 ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2547 และเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำในช่วงระยะเวลาการดำเนินการที่เท่ากัน คือ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2545 ถึง 7 เมษายน พ.ศ. 2546 จำนวน 101 วันทำการ

3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

w	คือ	ความชื้นของกากชานอ้อย (% Bagasse Moisture)
s	คือ	ความหวานของกากชานอ้อย (% Bagasse Sucrose)
m	คือ	ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้ (% Excess Air)
T	คือ	อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ (องศาเซลเซียส)

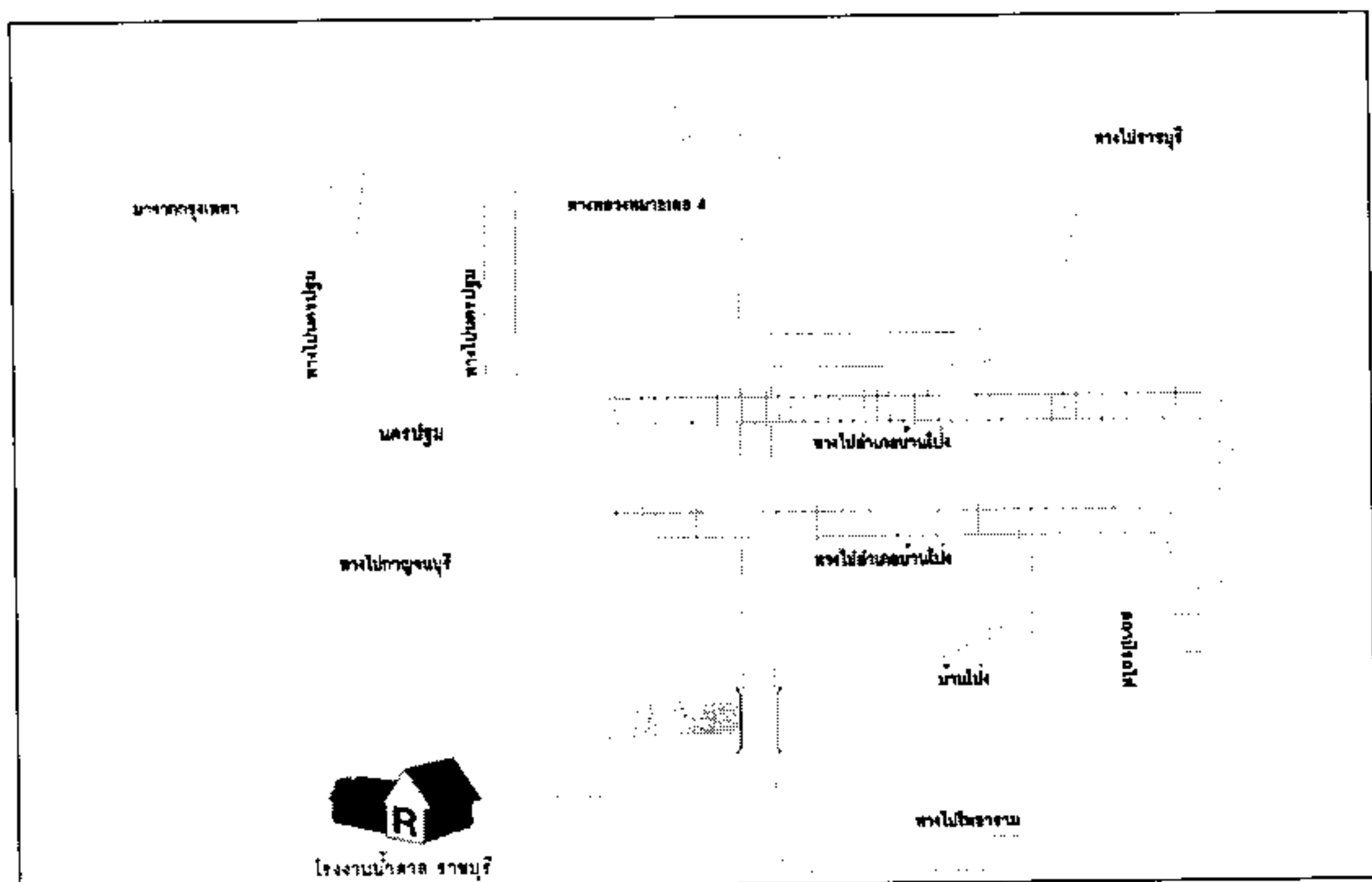
T_o	คือ	อุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าเครื่องอุ่นน้ำ (องศาเซลเซียส)
t	คือ	อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ (องศาเซลเซียส)
t_o	คือ	อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำก่อนเข้าเครื่องอุ่นน้ำ (องศาเซลเซียส)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ข้อมูลทั่วไป

บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด ประกอบกิจการผลิตน้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลทรายดิบจากอ้อยเพื่อจำหน่ายทั้งภายในและภายนอกประเทศ สถานที่ตั้งโรงงานเลขที่ 9 หมู่ 6 ถนนเบิกไพร - เขาสูง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี (ภาพที่ 4.1) เริ่มดำเนินการผลิตตั้งแต่ วันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2518 กำลังการผลิตประมาณ 7,000 ตันอ้อยต่อวัน ในปัจจุบันได้เพิ่มกำลังการผลิตเป็น 14,000 ตันอ้อยต่อวัน พื้นที่บริเวณโรงงานทั้งสิ้น 381 ไร่ แบ่งออกเป็น พื้นที่อาคาร โรงงาน 79 ไร่พื้นที่ลานจอดรถบรรทุกอ้อย 100 ไร่และพื้นที่บ่อเก็บกักน้ำเสียและน้ำใช้ 202 ไร่



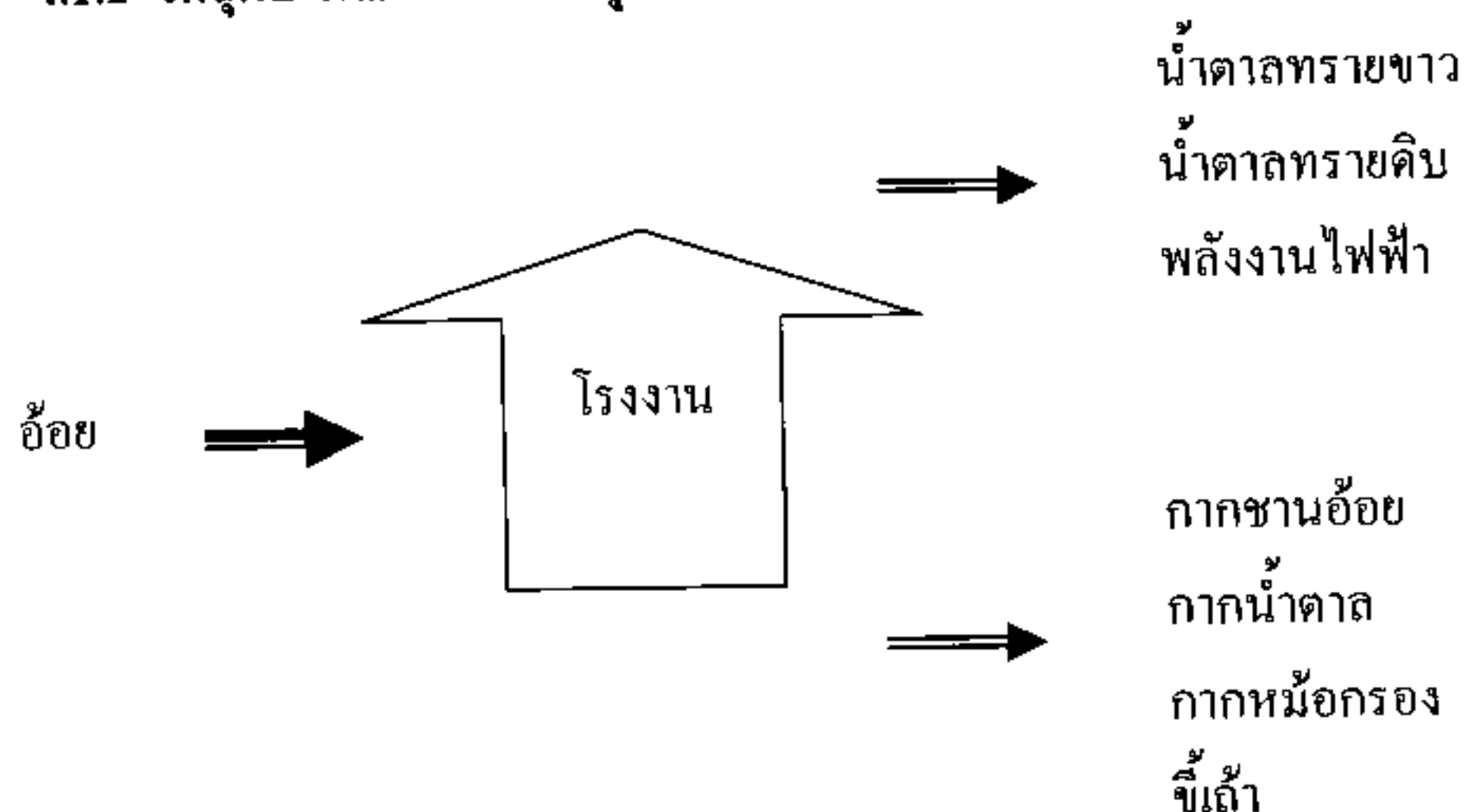
ภาพที่ 4.1 สถานที่ตั้งโรงงานบริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด

แหล่งที่มา : บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด, 2546

4.1.1 ลักษณะการดำเนินการ

ในระหว่างดำเนินการผลิต เครื่องจักรจะทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ใช้ระยะเวลาประมาณ 120 วันต่อปี ซึ่งจะเริ่มต้นการผลิตประมาณปลายเดือนธันวาคมหรือต้นเดือนมกราคมเป็นต้นไป ส่วนระยะเวลาที่เหลือประมาณ 8 - 9 เดือนจะเป็นช่วงเวลาของการเตรียมการซ่อมบำรุงและการปรับปรุงเครื่องจักรต่าง ๆ

4.1.2 วัตถุดิบ ผลผลิตและวัตถุดิบได้



4.1.3 กิจกรรมด้านการพัฒนาวัตถุดิบ

เนื่องจากอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สามารถทำรายได้เข้าประเทศเป็นเงินหลายหมื่นล้านบาทต่อปี ซึ่งประเทศไทยมีประสิทธิภาพในการดำเนินการผลิตน้ำตาลทรายอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเมื่อเทียบกับต่างประเทศ แต่ในด้านวัตถุดิบ คือ อ้อยมีต้นทุนการผลิตที่สูงมาก จึงมีนโยบายที่จะพัฒนาวัตถุดิบ โดยการให้ความร่วมมือกับภาครัฐจัดการฝึกอบรมชาวไร่อ้อยเพื่อเพิ่มพูนความรู้ในการที่จะลดต้นทุนด้านเพาะปลูกอ้อย เน้นการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้สูงขึ้นและมีคุณภาพดี และยังร่วมมือกับกรมทรัพยากรธรณี ในการพัฒนาแหล่งน้ำภายใต้โครงการ “พัฒนาชาวไร่อ้อยสู่ความมั่นคง” โดยเริ่มต้นโครงการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540

4.1.4 กิจกรรมด้านสังคม

เนื่องจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วในปี พ.ศ. 2535 ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านพลังงานไฟฟ้าสำรองของประเทศอยู่ในขั้นวิกฤต ทางบริษัทฯ จึงได้ดำเนินการจำหน่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับภาครัฐ เพื่อเป็นการแบ่งเบาภาระทางด้านการลงทุนในระบบการผลิตและระบบการ

จำหน่ายไฟฟ้าของภาครัฐ ตามความเห็นชอบของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 จนถึงปัจจุบัน

4.1.5 มาตรฐานเกียรติบัตรที่ได้รับ

4.1.5.1 ใบรับรองระบบบริหารคุณภาพ ตามมาตรฐาน ISO 9002: 1994 จาก Lloyd's Register Quality Assurance Limited (13 มีนาคม พ.ศ. 2542)

4.1.5.2 ใบอนุญาตให้แสดง “เครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม” มอก. 56 - 2533 จากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (11 เมษายน พ.ศ. 2543)

4.1.5.3 ใบรับรองระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐาน ISO 14001: 1996 จาก Lloyd's Register Quality Assurance Limited (7 เมษายน พ.ศ. 2544)

4.1.5.4 ใบรับรองระบบบริหารคุณภาพ ตามมาตรฐาน ISO 9002: 2000 จาก Lloyd's Register Quality Assurance Limited (23 มีนาคม พ.ศ. 2545)

4.1.6 ด้านสิ่งแวดล้อม

การดำเนินธุรกิจของ บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด มีนโยบายดำเนินธุรกิจเชิงพาณิชย์และความรับผิดชอบต่อสังคม โดยตระหนักถึงคุณภาพ ความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อมอย่างเคร่งครัด ในกระบวนการผลิตมีของเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ดังนี้

4.1.6.1 น้ำเสียจากกระบวนการผลิต น้ำล้างเครื่องจักร มีปริมาณ 70,000 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน โดยมีระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Waste Stabilization Pond

4.1.6.2 อากาศเสีย จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง มีปริมาณ 700,988,400 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน

4.1.6.3 ฝุ่นต่าง ๆ ที่เกิดจากกระบวนการผลิต ใช้การบำบัดแบบ Dust Collector (Multi - Cyclone)

4.1.6.4 กากปฏิกูล เช่น จี๊เส้ากากอ้อย มีปริมาณ 399.56 ตันต่อเดือน โดยจำหน่ายแก่เกษตรกรชาวไร่อ้อย เพื่อใช้ในการเพาะปลูก

4.1.7 แนวนโยบายในการดำเนินการ

4.1.7.1 การปฏิบัติตามกฎหมาย และระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้องด้านสิ่งแวดล้อม

4.1.7.2 การป้องกันและควบคุมปริมาณฝุ่นคุณภาพอากาศและน้ำทิ้งจากการประกอบกิจการ ไม่ให้เกินค่ามาตรฐานกำหนดของทางราชการ

4.1.7.3 การกำจัดขยะและกากของเสียโดยวิธีปลอดภัยและถูกต้องตามกฎหมาย

4.1.7.4 การอนุรักษ์ทรัพยากรและพลังงานต่าง ๆ โดยการส่งเสริมการพัฒนา และปรับปรุงให้มีการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

4.1.7.5 ส่งเสริมให้มีการพัฒนาปรับปรุง และแก้ไขอย่างต่อเนื่อง ในการดำเนินกิจกรรมทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยมีการนำไปปฏิบัติอย่างจริงจัง และสม่ำเสมอตลอดจนทำความเข้าใจกับพนักงาน ผู้บริหาร และเปิดเผยต่อสาธารณชน

4.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

4.2.1 กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

การผลิตน้ำตาลทรายมีกระบวนการผลิต ตามภาพที่ 4.2 ซึ่งจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลทรายขาวหรือน้ำตาลรีไฟน์

4.2.1.1 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ สามารถแบ่งออกได้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) กระบวนการสกัดน้ำอ้อย (Juice Extraction) ทำการสกัดน้ำอ้อยโดยผ่านอ้อยเข้าไปในชุดลูกหีบ (4 - 5 ชุด) และกากอ้อยที่ผ่านการสกัดน้ำอ้อยจากลูกหีบชุดสุดท้าย จะถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ภายในเตาของหม้อไอน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำมาใช้ในการผลิต

2) การทำความสะอาดหรือทำใส่น้ำอ้อย (Juice Purification) น้ำอ้อยที่สกัดได้ทั้งหมดจะเข้าสู่กระบวนการทำใส เนื่องจากน้ำอ้อยที่ได้มีสิ่งสกปรกต่าง ๆ เจือปน จึงต้องแยกเอาส่วนต่าง ๆ เหล่านี้ออกโดยผ่านวิธีทางกล เช่น ผ่านเครื่องกรองต่าง ๆ และวิธีทางเคมี เช่น การให้ความร้อนและผสมปูนขาว

3) การต้ม (Evaporation) น้ำอ้อยที่ผ่านการทำใสแล้วจะถูกนำเข้าสู่อุปกรณ์หม้อต้ม (Multiple Evaporator) เพื่อทำการระเหยเอาน้ำออก (ประมาณร้อยละ 70) โดยน้ำอ้อยข้นที่ออกจากหม้อต้มลูกสุดท้าย เรียกว่า น้ำเชื่อม (Syrup)

4) การเคี้ยว (Crystallization) น้ำเชื่อมที่ได้จากการต้มจะถูกนำเข้าหม้อเคี้ยวระบบสุญญากาศ (Vacuum Pan) เพื่อระเหยน้ำออกจนน้ำเชื่อมถึงจุดอิ่มตัว ที่จุดนี้ผลึกน้ำตาลจะเกิดขึ้นมาโดยที่ผลึกน้ำตาลและกากน้ำตาลที่ได้จากการเคี้ยวนี้รวมเรียกว่า แมสคิวท (Massecuite)

5) การปั่นแยกผลึกสีน้ำตาล (Centrifugaling) แมสคิวทที่ได้จากการเคี้ยวจะถูกนำไปปั่นแยกผลึกน้ำตาลออกจากกากน้ำตาลโดยใช้เครื่องปั่น (Centrifugals) ผลึกน้ำตาลที่ได้นี้จะเป็นน้ำตาลทรายดิบ (Raw Sugar)

4.2.1.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลรีไฟน์ โดยการนำน้ำตาลทรายดิบไปละลายน้ำ และผ่านกระบวนการผลิต 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) การปั่นละลาย (Affinated Centrifugal) เป็นการนำน้ำตาลทรายดิบมาผสมกับน้ำร้อนหรือน้ำเหลืองจากการปั่นละลาย (Green Molasses) น้ำตาลทรายดิบที่ผสมแล้วเรียกว่า แมกม่า (Magma) และจะถูกนำไปปั่นละลายเพื่อล้างคราบน้ำเหลืองหรือกากน้ำตาลออก

2) การทำความสะอาดและการฟอกสี (Clarification) น้ำเชื่อมที่ได้จากหม้อปั่นละลาย (Affinated Syrup) จะถูกนำไปละลายอีกครั้งเพื่อทำการละลายผลึกน้ำตาลบางส่วนที่ยังละลายไม่หมดจากการปั่น และผ่านตะแกรงกรองเข้าผสมกับปูนขาว จึงฟอกสีโดยผ่านเข้าไปในหม้อฟอก (ปัจจุบันนิยมใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวฟอก) จากนั้นจะผ่านเข้าสู่การกรองโดยหม้อกรองแบบใช้แรงดัน (Pressure Filter) เพื่อแยกตะกอน และน้ำเชื่อมที่ได้จะผ่านไปฟอกสีเป็นครั้งสุดท้ายโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Resin) จะได้น้ำเชื่อมรีไฟน์ (Fine Liquor)

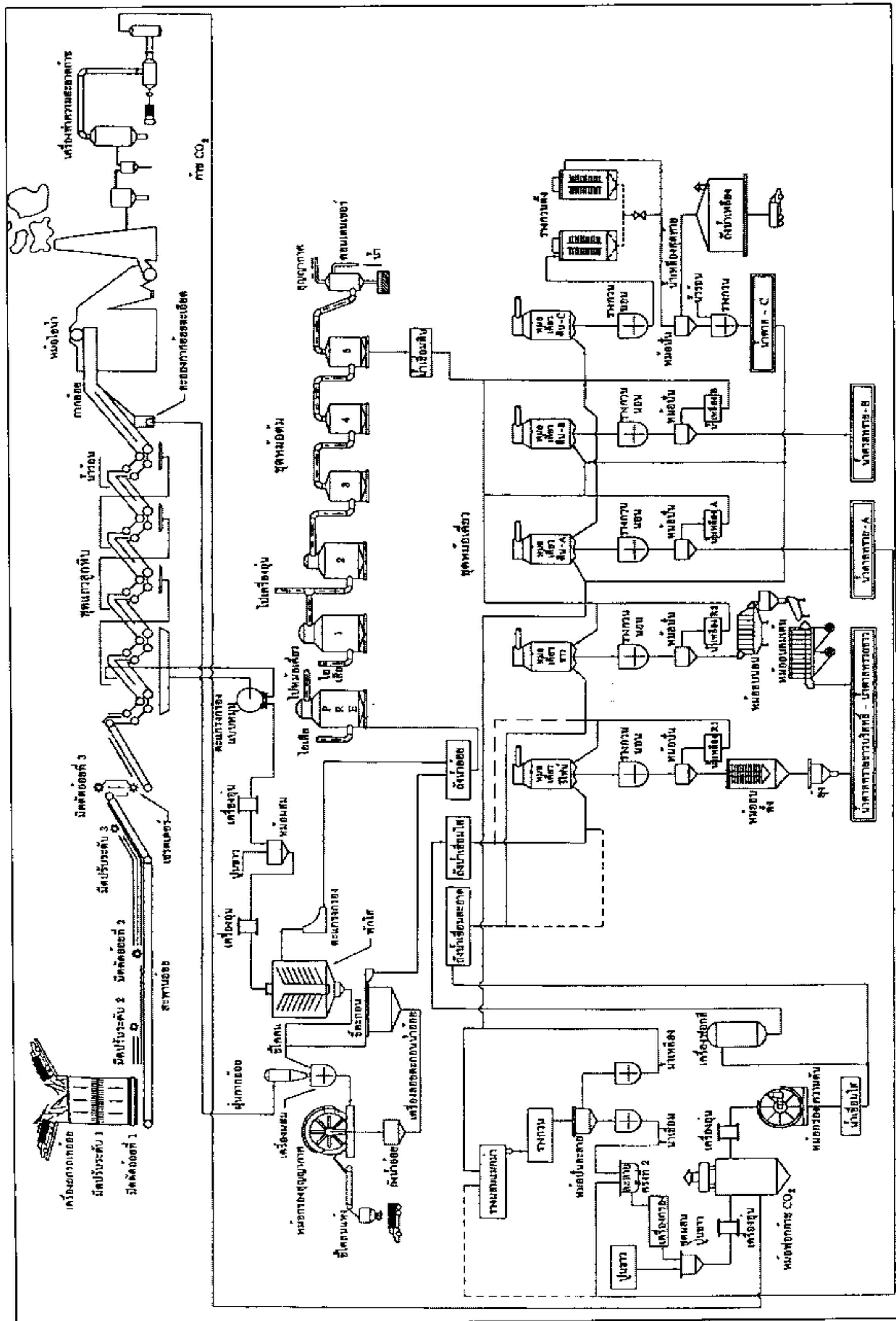
3) การเคี้ยว (Crystallization) น้ำเชื่อมรีไฟน์ที่ได้จะถูกนำเข้าหม้อเคี้ยวระบบสุญญากาศ (Vacuum Pan) เพื่อระเหยน้ำออกจนน้ำเชื่อมถึงจุดอิ่มตัว

4) การปั่นและแยกผลึกน้ำตาล (Centrifugaling) เมล็ดควิทที่ได้จากการเคี้ยวจะถูกนำไปปั่นแยกผลึกน้ำตาลออกจากกากน้ำตาลโดยใช้เครื่องปั่น (Centrifugals) ผลึกน้ำตาลที่ได้นี้จะเป็น น้ำตาลรีไฟน์และน้ำตาลทรายขาว

5) การอบ (Drying) ผลึกน้ำตาลรีไฟน์และน้ำตาลทรายขาวที่ได้จากการปั่นจะเข้าหม้ออบ (Dryer) เพื่อไล่ความชื้นออก และบรรจุเพื่อจำหน่าย

4.2.2 อุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิต

รายการอุปกรณ์หลักสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ อุปกรณ์ทางด้านความร้อนและอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้า อุปกรณ์ทางด้านความร้อน ได้แก่ หม้อไอน้ำ (Boiler) กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ฮีตเตอร์ (Heater) หม้อต้ม (Evaporator) และหม้อเคี้ยว (Vacuum Pan) ตลอดจนคอนเดนเซอร์สำหรับหม้อเคี้ยว ส่วนอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้า ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) และมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) เป็นต้น



ภาพที่ 4.2 กระบวนการผลิตน้ำประปา

4.3 กากชานอ้อย

กากชานอ้อยมีลักษณะเป็นขุย ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ประมาณร้อยละ 80 ส่วนที่เหลือร้อยละ 20 นำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษและ MDF Board ประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน (Carbon: C) ไฮโดรเจน (Hydrogen: H) ออกซิเจน (Oxygen: O) และไนโตรเจน (Nitrogen: N) สัดส่วนของธาตุต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของอ้อยและพื้นที่ที่ใช้เพาะปลูก

4.3.1 ผลการศึกษาข้อมูลรายละเอียดกากชานอ้อยที่ได้จากกระบวนการผลิต ของบริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด คือ

4.3.1.1 ค่าความชื้นของกากชานอ้อย (% Bagasse Moisture, w) = ร้อยละ 50

4.3.1.2 ค่าความหวานของกากชานอ้อย (% Bagasse Sucrose, s) = ร้อยละ 2

4.4 รายละเอียดข้อมูลหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำ (Boiler) เป็นเครื่องจักรที่สำคัญของโรงงานผลิตน้ำตาลและมีราคาค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับเครื่องจักรและอุปกรณ์อื่น ๆ หม้อไอน้ำทำหน้าที่ผลิตไอน้ำเพื่อนำไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต ดังนั้น การบำรุงรักษาหรือเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ โดยการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายทั้งเชื้อเพลิง และอื่น ๆ อีกทั้งยังมีผลทำให้เกิดการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ผลจากการศึกษารายละเอียดมาตรฐานของหม้อไอน้ำที่ติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำในการวิจัยครั้งนี้ มีข้อมูลดังนี้

4.4.1 Design Specifications

Steam Pressure	20	kg/cm ²
Steam Temperature	360	° C
Feed Water Temperature	105	° C
Air Temperature	30	° C
Steam Generated	60,000	kg/hr
Draft System	Balanced Draft System	
Combustion System	Horse Shoe Type Furnace With Dumping Grate	
Fuel	Bagasse	

	Calorific Value	1,800 kcal/kg (52 % Moisture)
	Heating Surface	1,620 m ²
4.4.2	Boiler Proper	
	Type	Water Tube Boiler
	Model	N - 1700
	Heating Surface	1,220 m ²
	Steam Pressure	20 kg/cm ²
	Steam Temperature	360 °C
	Steam Generated	60,000 kg/hr
4.4.3	Bagasse Combustion Equipment	
	Type	Dumping Grate Stoker with Pneumatic Spreader
	Bagasse Moisture	52 %
	Bagasse Calorific Value	1,800 kcal/kg
	Bagasse Consumption	26,860 kg/hr
	Bagasse Feeding Capacity	35,000 kg/hr
	Dumping Grate Area	26 m ²
	Dumping Grate Separation	4 Section
	Dumping Method	Pneumatic Cylinder
4.4.4	Boiler Feed Water Pump	
	Type	Turbine Pump
	Capacity	75,000 kg/hr
	Delivery Pressure	27 kg/cm ²
	Feed Water Temperature	105 °C

ผลการศึกษาข้อมูลรายละเอียดหม้อไอน้ำของ บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด คือ

1. ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้ (Excess Air) เท่ากับร้อยละ 40(การปรับอัตราส่วนเกินของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ สมบูรณ์)

2. ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง มีการสูญเสียที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ประมาณร้อยละ 6

4.5 รายละเอียดข้อมูลเครื่องอุ่นน้ำ

เครื่องอุ่นน้ำที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำป้อนหม้อไอน้ำได้ทำการออกแบบสำหรับการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำจากเดิม 100 องศาเซลเซียส (จากน้ำคอนเดนเสท) เป็น 130 องศาเซลเซียส โดยมีข้อมูลรายละเอียดการออกแบบ ดังนี้

4.5.1 อุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนเข้าเครื่องอุ่นน้ำ (T_o) เท่ากับ 230 องศาเซลเซียส

4.5.2 อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ หาได้จาก สมการ (2.19) เท่ากับ 181.6 องศาเซลเซียส

4.5.3 อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำก่อนเข้าเครื่องอุ่นน้ำ (t_o) เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส

4.5.4 อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ (t) เท่ากับ 130 องศาเซลเซียส

4.5.5 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของวัสดุ (Heat Transfer Coefficient) เท่ากับ 30 กิโลแคลลอรี่ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงต่อองศาเซลเซียส

4.5.6 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Coefficient) เท่ากับ 0.95

4.5.7 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างและติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ 1,040,900 บาท

4.5.8 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ร้อยละ 2 ต่อปี

4.5.9 อายุการใช้งานของเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ 5 ปี

4.6 การคำนวณพื้นที่ผิวรับความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ

การคำนวณหาพื้นที่ผิวรับความร้อน (Heating Surface) ของเครื่องอุ่นน้ำจากข้อมูลที่กำหนด และข้อมูลที่ได้ทำการเก็บรวบรวมจากการดำเนินงาน (กำหนดให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพ ร้อยละ 80) เพื่อเปรียบเทียบว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

4.6.1 คำนวณหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย จากสมการที่ (2.1)

$$N.C.V. = 4,250 - (48.5w) - (12s)$$

แทนค่า: w ความชื้นของเชื้อเพลิง (% Bagasse Moisture) = ร้อยละ 50

s ความหวานของเชื้อเพลิง (% Bagasse Sucrose) = ร้อยละ 2

จะได้ $N.C.V. = 4,250 - (48.5 \times 50) - (12 \times 2)$

$$= 1,801 \text{ กิโลแคลลอรี่ต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง}$$

ค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย จาก ตารางที่ 2.3 โดยในการคำนวณจะใช้ค่าความร้อนเท่ากับ 1,800 กิโลแคลลอรี่ต่อกิโลกรัม

เชื้อเพลิง

4.6.2 คำนวณน้ำหนักของก๊าซ (Weight of Gas) ที่ได้จากการเผาไหม้ในการใช้เชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม จากสมการที่ 2.2

$$P_g = 5.76(1 - w)m + 1$$

โดย P_g คือ น้ำหนักของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ (กิโลกรัมก๊าซต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง)

w คือ ความชื้นของเชื้อเพลิง (% Bagasse Moisture)
= ร้อยละ 50

m คือ ปริมาณอากาศส่วนเกิน (% Excess Air) = ร้อยละ 40

$$\text{จะได้ } P_g = 5.76(1 - 0.5)1.4 + 1$$

$$P_g = 5.03 \text{ กิโลกรัมก๊าซต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง}$$

4.6.3 คำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย (Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse) จากสมการที่ 2.3

$$\text{Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse} = \left(\frac{\text{N.C.V.}}{\text{Heat Supplied per Kg of Water}} \right) \times \eta$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ = ร้อยละ 80

N.C.V. คือ ความร้อนของเชื้อเพลิง (เท่ากับ 1,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง)

หมายเหตุ : Heat Supplied per Kg of Water หาได้จากการเปิดตารางที่ ก. 5 (ภาคผนวก จ) จากข้อมูลของหม้อไอน้ำ ที่อุณหภูมิของไอน้ำ 360 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะได้ค่าความร้อน เท่ากับ 754 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยค่าความร้อนของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เท่ากับ 130 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

$$\text{จะได้ } \text{Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse} = \left(\frac{1,800}{754 - 130} \right) \times 0.80$$

$$= 2.3 \text{ กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง}$$

4.6.4 คำนวณหาน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อยที่เผาไหม้ (Weight of Bagasse Burnt) จากสมการที่ 2.4

$$B = \frac{\text{Steam Generated}}{\text{Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse}}$$

โดย B คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อยที่เผาไหม้ (กิโลกรัมเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง)

อัตราการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำ = 60,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิง (Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse) = 2.3 กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง

$$\text{จะได้ } B = \frac{60,000}{2.3} = 26,087 \text{ กิโลกรัมเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง}$$

ดังนั้น จะได้น้ำหนักของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ในการผลิตไอน้ำ 60,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

$$= 5.03 \times 26,087 \left(\frac{\text{กิโลกรัมก๊าซ}}{\text{กิโลกรัมเชื้อเพลิง}} \times \frac{\text{กิโลกรัมเชื้อเพลิง}}{\text{ชั่วโมง}} \right)$$

$$= 131,217 \text{ กิโลกรัมก๊าซต่อชั่วโมง}$$

4.6.5 คำนวณหาอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำจาก สมการที่ 2.18

$$r = \frac{\alpha P_g C}{P_c}$$

โดย	r	คือ	อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อน
	α	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (มีค่าเท่ากับ 0.95)
	P_g	คือ	น้ำหนักของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ต่อชั่วโมง เท่ากับ 131,218 กิโลกรัมก๊าซต่อชั่วโมง
	C	คือ	ความร้อนจำเพาะของก๊าซ (มีค่าเท่ากับ 0.3)
	P	คือ	ปริมาณน้ำที่ได้รับการถ่ายเทความร้อน เท่ากับ 60,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
	c	คือ	ความร้อนจำเพาะของน้ำ (มีค่าเท่ากับ 1)

จะได้

$$r = \frac{0.95 \times 131,217 \times 0.3}{60,000 \times 1}$$

$$r = 0.62$$

4.6.6 คำนวณหา อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ จากสมการที่ 2.19

$$T = T_o - \frac{t - t_o}{r}$$

โดย	T	คือ	อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ (องศาเซลเซียส)
	T_o	คือ	อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่เข้าเครื่องอุ่นน้ำเท่ากับ 230 องศาเซลเซียส
	t	คือ	อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส

t_o คือ อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส

r คือ อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อน เท่ากับ 0.62

จะได้
$$T = 230 - \frac{130 - 100}{0.62}$$

$$T = 181.6 \text{ องศาเซลเซียส}$$

4.6.7 คำนวณหาพื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำจากสมการที่ 2.20

$$S = \frac{\alpha P_g C}{k(1-r)} \ln \frac{T_o - t}{T - t_o}$$

โดย S คือ พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ (ตารางเมตร)

α คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (มีค่าเท่ากับ 0.95)

P_g คือ น้ำหนักของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ เท่ากับ 131,217 กิโลกรัมก๊าซต่อชั่วโมง

C คือ ความร้อนจำเพาะของก๊าซ (มีค่าเท่ากับ 0.3)

T คือ อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ 181.61 องศาเซลเซียส

T_o คือ อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่เข้าเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ 230 องศาเซลเซียส

t คือ อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ 130 องศาเซลเซียส

t_o คือ อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส

r คือ อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อน เท่ากับ 0.62

k คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของวัสดุ (มีค่าอยู่ระหว่าง 20 – 30 กิโลแคลลอรี่ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงต่อองศาเซลเซียส) ในการคำนวณใช้ค่าเท่ากับ 30 กิโลแคลลอรี่ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงต่อองศาเซลเซียส

จะได้
$$S = \frac{0.95 \times 131,217 \times 0.3}{30(1 - 0.62)} \ln \frac{230 - 130}{181.6 - 100}$$

$$S = 666.8 \text{ ตารางเมตร}$$

ในการออกแบบ และ ก่อสร้างเครื่องอุ่นน้ำ วัสดุที่ใช้เป็นท่อเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42.2 มม. ความยาว 7,000 มม. จำนวนแผงท่อรับความร้อน ของเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ 31 แผง โดยใน 1 แผง ใช้ท่อเหล็กจำนวน 24 ท่อ

ดังนั้น พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน ของเครื่องอุ่นน้ำหาได้จาก

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่ผิว} &= \pi DL \\ &= \pi \times \left(\frac{42.2}{1,000} \right) \times \left(\frac{7,000}{1,000} \right) \times 24 \times 31 \\ &= 690.7 \text{ ตารางเมตร}\end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่าพื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำจากการคำนวณ ออกแบบโดยใช้ข้อมูลที่กำหนด เท่ากับ 666.8 ตารางเมตร (ข้อมูลทฤษฎีและปฐมภูมิที่ได้จากการ เก็บรวบรวม) โดยในการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำมีพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน เท่ากับ 690.7 ตารางเมตร ซึ่งมีพื้นที่ผิวรับความร้อนเพียงพอต่อการใช้งาน

4.7 การคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

4.7.1 การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

4.7.1.1 คำนวณหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย จากสมการที่ (2.1)

$$\text{N.C.V.} = 4,250 - (48.5w) - (12s)$$

จะได้ $\text{N.C.V.} = 1,800$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง

4.7.1.2 คำนวณหาค่าความร้อนสูญเสียไปกับก๊าซไอเสีย จากสมการที่ (2.5)

$$q = [(1 - w)(1.4m - 0.13)] + 0.5 \times T$$

แทนค่า w ความชื้นของเชื้อเพลิง (% Bagasse Moisture) = ร้อยละ 50

m ปริมาณอากาศส่วนเกิน (% Excess Air) = ร้อยละ 40

T อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (Flue Gas Temperature) เท่ากับ 230.6 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned}\text{จะได้ } q &= [(1 - 0.5)(1.4 \times 1.4 - 0.13)] + 0.5 \times 230.6 \\ &= 326.3 \text{ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง}\end{aligned}$$

ความร้อนสูญเสียรวม (Total Heat Loss) = ความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสีย (Heat Loss in Flue Gas) + ความร้อนสูญเสียที่อุปกรณ์ต่าง ๆ

(ความร้อนสูญเสียที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ประมาณร้อยละ 6 ของค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง)

$$= \frac{6}{100} \times 1,800 = 108 \text{ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง}$$

$$\text{ความร้อนสูญเสียรวม (Total Heat Loss)} = 326.3 + 108$$

$$= 434.3 \text{ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง}$$

4.7.1.3 คำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ จากสมการที่ (2.6)

$$\text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ} = \left(\frac{\text{ความร้อนเชื้อเพลิง} - \text{ความร้อนสูญเสียรวม}}{\text{ความร้อนเชื้อเพลิง}} \right) \times 100$$

$$\text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ} = \left(\frac{1,800 - 434.3}{1,800} \right) \times 100$$

จะได้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 75.87

4.7.2 การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

4.7.2.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย

$$\text{N.C.V.} = 1,800 \text{ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง}$$

4.7.2.2 คำนวณค่าความร้อนสูญเสียไปกับก๊าซไอเสีย จากสมการที่ (2.5)

$$q = [(1 - w)(1.4m - 0.13)] + 0.5 \times T$$

แทนค่า w ความชื้นของเชื้อเพลิง (% Bagasse Moisture) ร้อยละ 50

m ปริมาณอากาศส่วนเกิน (% Excess Air) ร้อยละ 40

T อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (Flue Gas Temperature) เท่ากับ

180.2 องศาเซลเซียส

$$\text{จะได้ } q = [(1 - 0.5)(1.4 \times 1.4 - 0.13)] + 0.5 \times 180.2$$

$$= 254.9 \text{ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง}$$

ความร้อนสูญเสียรวม (Total Heat Loss) = ความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสีย (Heat Loss in Flue Gas) + ความร้อนสูญเสียที่อุปกรณ์ต่างๆ

(ความร้อนสูญเสียที่อุปกรณ์ต่างๆ ประมาณร้อยละ 6 ของค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง

$$= \frac{6}{100} \times 1,800 = 108 \text{ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง}$$

ความร้อนสูญเสียรวม (Total Heat Loss)

$$= 254.9 + 108 = 362.9 \text{ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง}$$

4.7.2.3 หาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ จากสมการที่ (2.6)

$$\text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ} = \left(\frac{\text{ความร้อนเชื้อเพลิง} - \text{ความร้อนสูญเสียรวม}}{\text{ความร้อนเชื้อเพลิง}} \right) \times 100$$

$$\text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ} = \left(\frac{1,800 - 362.9}{1800} \right) \times 100$$

จะได้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 79.83

4.8 การคำนวณปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

4.8.1 การหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ใช้จริงก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

4.8.1.1 กำหนดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย จากสมการที่ (2.1)

$$\text{N.C.V.} = 4,250 - (48.5w) - (12s)$$

จะได้ N.C.V. = 1,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง

4.8.1.2 กำหนดหาปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย

(Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse) จากสมการที่ 2.3

$$\text{Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse} = \left(\frac{\text{N.C.V.}}{\text{Heat Supplied per Kg of Water}} \right) \times \eta$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำร้อยละ 75.87

N.C.V. คือ ความร้อนของเชื้อเพลิง = 1,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง

หมายเหตุ: Heat Supplied per Kg of Water หาได้จากการเปิดตารางที่ ก. 5 (ภาคผนวก จ) จากข้อมูลของหม้อไอน้ำ ที่อุณหภูมิไอน้ำ 360 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะได้ค่าความร้อน เท่ากับ 754 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยค่าความร้อนของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุณหภูมิ 99.95 องศาเซลเซียส เท่ากับ 99.95 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม จะได้

$$\begin{aligned} \text{Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse} &= \left(\frac{1,800}{754 - 99.95} \right) \times 0.7587 \\ &= 2.09 \text{ กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง} \end{aligned}$$

4.8.1.3 กำหนดหาน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อยที่เผาไหม้ (Weight of Bagasse Burnt) จากสมการที่ 2.4

$$B = \frac{\text{Steam Generated}}{\text{Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse}}$$

โดย B คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อยที่เผาไหม้ (กิโลกรัมเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง)

อัตราการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำ = 60,000 กิโลกรัมไอน้ำต่อชั่วโมง

ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย (Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse) = 2.09 กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง

$$\begin{aligned}\text{จะได้ } B &= \frac{60,000}{2.09} \\ &= 28,708 \text{ กิโลกรัมเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง} \\ &= 28.71 \text{ ตันเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง}\end{aligned}$$

4.8.2 การหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ใช้จริงหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

4.8.2.1 คำนวณหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย จากสมการที่ (2.1)

$$\text{N.C.V.} = 4,250 - (48.5w) - (12s)$$

จะได้ N.C.V. = 1,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง

4.8.2.2 คำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย (Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse) จากสมการที่ 2.3

$$\text{Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse} = \left(\frac{\text{N.C.V.}}{\text{Heat Supplied per Kg of Water}} \right) \times \eta$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ร้อยละ 79.83

N.C.V. คือ ความร้อนของเชื้อเพลิง = 1800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง

หมายเหตุ: Heat Supplied per Kg of Water หาได้จากการเปิดตารางที่ ก. 5 (ภาคผนวก จ) จากข้อมูลของหม้อไอน้ำ ที่อุณหภูมิไอน้ำ 360 องศาเซลเซียสความดันไอน้ำ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะได้ค่าความร้อน เท่ากับ 754 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยค่าความร้อนของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุณหภูมิ 131.6°C เท่ากับ 131.6 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมจะได้

$$\begin{aligned}\text{Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse} &= \left(\frac{1,800}{754 - 131.6} \right) \times 0.7983 \\ &= 2.31 \text{ กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง}\end{aligned}$$

4.8.2.3 คำนวณหาน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อยที่เผาไหม้ (Weight of Bagasse Burnt) จากสมการที่ 2.4

$$B = \frac{\text{Steam Generated}}{\text{Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse}}$$

โดยที่ B คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อยที่เผาไหม้ (กิโลกรัมเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง)

อัตราการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำ = 60,000 กิโลกรัมไอน้ำต่อชั่วโมง

ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิงกากชานอ้อย (Weight of Steam Supplied per Kg of Bagasse) = 2.31 กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง

$$\begin{aligned}\text{จะได้ } B &= \frac{60,000}{2.31} \\ &= 25,974 \text{ กิโลกรัมเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง} \\ &= 25.97 \text{ ตันเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง}\end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกากชานอ้อยในฤดูหีบอ้อย (101 วัน) ในปี พ.ศ. 2546 – 2547 ลดลงจากฤดูหีบอ้อยในปี พ.ศ. 2545 – 2546

$$\begin{aligned}&= 28.71 - 25.97 = 2.74 \text{ ตันเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง} \\ &= 2.74 \times 24 \times 101 = 6,642 \text{ ตันเชื้อเพลิงต่อปี} \\ &\text{เชื้อเพลิงที่ลดลงหลังจากการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ คิดเป็นจำนวนเงิน} \\ &= 6,642 \times 160 \text{ (ราคาเชื้อเพลิง (กากชานอ้อย) 160 บาทต่อตัน)} \\ &= 1,062,720 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

4.8.3 การหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและ อัตราส่วนการประหยัดเชื้อเพลิง

การคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่อีกวิธีหนึ่ง สามารถหาได้จากสมการที่ 2.21 และ 2.22
ปริมาณเชื้อเพลิงก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

$$F_o = \frac{W(h'' - h_1)}{N.C.V. \times \eta_o}$$

ปริมาณเชื้อเพลิงหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

$$F = \frac{W(h'' - h_1)}{N.C.V. \times \eta}$$

โดย F_o & F คือ ปริมาณเชื้อเพลิงก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ
(กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

W คือ อัตราน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (ปริมาณระเหย) เท่ากับ
60,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

η_o & η คือ ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำก่อนและหลังการติดตั้ง เครื่องอุ่นน้ำ
เท่ากับร้อยละ 75.87 และ 79.83 ตามลำดับ

h'' คือ เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิไอน้ำ
360 องศาเซลเซียสความดันไอน้ำ 20 กิโลกรัมต่อตาราง

เซนติเมตร เท่ากับ 754 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

h_1 & h_2 คือ เอนธาลปี ของน้ำป้อนหม้อไอน้ำก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ
ที่อุณหภูมิ 99.95 องศาเซลเซียส เท่ากับ 99.95 กิโลแคลอรีต่อ
กิโลกรัมและที่อุณหภูมิ 131.6 องศาเซลเซียส เท่ากับ 131.6 กิโล
แคลอรีต่อกิโลกรัม

แทนค่า ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

$$F_o = \frac{60,000 (754 - 99.95)}{1,800 \times 0.7587} = 28,735.56 \text{ กิโลกรัมเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง}$$

$$= 28.74 \text{ ตันเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง}$$

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

$$F = \frac{60,000 (754 - 131.6)}{1,800 \times 0.7983} = 25,988.56 \text{ กิโลกรัมเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง}$$

$$= 25.99 \text{ ตันเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง}$$

การคำนวณหาอัตราส่วนการประหยัดเชื้อเพลิง หาได้จากสมการที่ 2.24

$$\frac{F_o - F}{F_o} = \frac{28.74 - 25.99}{28.74} = 0.0957$$

นั่นคือ อัตราส่วนการประหยัดเชื้อเพลิงหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 9.57

4.9 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

การวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงใช้
สถิติวิเคราะห์ Paired - Simple T - Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 โดยโปรแกรม
วิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูปทางสังคมศาสตร์ (SPSS Version 10)

4.9.1 การทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก่อนและหลังการติดตั้ง เครื่องอุ่นน้ำ

สมมติฐานที่ 1 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำสูงกว่าก่อนการ
ติดตั้ง

จากการวิเคราะห์ พบว่า ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำสูงกว่า
ก่อนการติดตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ($p = .000$) โดยค่า t ที่คำนวณได้มีค่าเป็นลบ
แสดงถึงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำสูงกว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 79.83 และ 75.87 ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำสูงกว่าก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.96 ตามตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

	ค่าเฉลี่ย	จำนวน (n)	ส่วนเบี่ยงมาตรฐาน
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	75.8722	202	.5590
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	79.8342	202	.1273

ตารางที่ 4.2 ความแตกต่างของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

	ความแตกต่างก่อนและหลัง		t	df	p - value
	ค่าเฉลี่ย	ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 99			
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	- 3.962 *	- 4.066 ถึง - 3.861	- 100.528	201	.000

หมายเหตุ : * ค่าความแตกต่างเฉลี่ยและค่าสถิติ t มีค่าเป็นลบ คำนวณมาจากประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก่อน ลบ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ (pair = before – after) โดยที่ประสิทธิภาพเฉลี่ยของหม้อไอน้ำก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ ทำให้ค่าความแตกต่างเฉลี่ยและค่าสถิติ t มีค่าเป็นลบ (วัฒนาสุนทรชัย, 2542: 73)

4.9.2 การทดสอบความแตกต่างของปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

สมมติฐานที่ 2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำน้อยกว่าก่อนการติดตั้งจากการวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำมีค่าน้อยกว่า

ก่อนการติดตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ($p = .000$) โดยค่า t ที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวก แสดงถึงปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำน้อยกว่าก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.98 ต้นต่อชั่วโมง และ 28.73 ต้นต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำน้อยกว่าก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 2.75 ตามตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

	ค่าเฉลี่ย	จำนวน (n)	ส่วนเบี่ยงมาตรฐาน
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก่อน การติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	28.734	202	.2540
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลังการ ติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ	25.986	202	.1131

ตารางที่ 4.4 ความแตกต่างของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

	ความแตกต่างก่อนและหลัง		t	df	p-value
	ค่าเฉลี่ย	ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 99			
ปริมาณการใช้ เชื้อเพลิงก่อนและ หลังการติดตั้ง เครื่องอุ่นน้ำ	2.748	2.701 ถึง 2.798	146.934	201	.000

4.10 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

4.10.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value)

ต้นทุนค่าก่อสร้างและติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำเท่ากับ 1,040,900 บาท และต้นทุนผันแปร เป็นค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อปีคิดเป็นร้อยละ 2 ของต้นทุนค่าก่อสร้างหรือเท่ากับ 20,818 บาทต่อปี สำหรับผลตอบแทนที่ได้ คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลงหลังจากการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำคิดเป็นจำนวนเงิน 1,065,784.32 บาทต่อปีตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ต้นทุนและผลตอบแทนจากการลงทุนเครื่องสูบน้ำ

ปีที่	ต้นทุนคงที่	ต้นทุนผันแปร	ผลตอบแทน	ผลตอบแทนสุทธิ
0	1,040,900	-	-	-1,040,900.00
1	-	20,818	1,065,784.32	1,044,966.32
2	-	20,818	1,065,784.32	1,044,966.32
3	-	20,818	1,065,784.32	1,044,966.32
4	-	20,818	1,065,784.32	1,044,966.32
5	-	20,818	1,065,784.32	1,044,966.32

การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิตามอัตราคิดลดที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 12 จะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการติดตั้งเครื่องสูบน้ำเท่ากับ 2,725,969.72 บาท แสดงว่ามีความเหมาะสมสำหรับการลงทุน โดยพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมากกว่า 0 ตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเครื่องสูบน้ำ

อัตราคิดลด	NPV
อัตราคิดลดที่ร้อยละ 8	3,131,347.51
อัตราคิดลดที่ร้อยละ 12	2,725,969.72
อัตราคิดลดที่ร้อยละ 15	2,461,989.18

4.10.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR)

การคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ $3,841,913.95 / 1,115,944.23 = 3.44$ ซึ่งมีความมากกว่าหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าโครงการมีความเหมาะสมและคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจอย่างมาก ตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนและผลตอบแทนจากการลงทุน (อัตราคิดลดร้อยละ 12)

ปีที่	ต้นทุน	ผลตอบแทน	ผลตอบแทนสุทธิ	มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสม
0	1,040,900.00	-	-1,040,900.00	-
1	18,587.50	951,593.14	933,005.64	-107,894.36
2	16,595.98	849,636.73	833,040.75	725,146.40
3	14,817.84	758,604.23	743,786.39	1,468,932.78
4	13,230.22	677,325.20	664,094.99	2,133,027.77
5	11,812.69	604,754.65	592,941.95	2,725,969.72
รวม	1,115,944.23	3,841,913.95	2,725,969.72	6,945,182.31

4.10.3 อัตราผลตอบแทนสุทธิ (IRR)

การคำนวณอัตราผลตอบแทนสุทธิเท่ากับร้อยละ 97 หมายถึง อัตราดอกเบี้ยในกระบวนการคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์แสดงถึงการใช้ทุนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีการลงทุนก่อสร้างเครื่องสูบน้ำ สามารถกู้เงินลงทุนจากสถาบันการเงินในอัตราดอกเบี้ยไม่เกินร้อยละ 97 ต่อปี โดยที่ยังไม่ขาดทุนหรือมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก

4.10.4 ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Periods)

การคำนวณระยะเวลาคืนทุน พบว่า อยู่ในช่วงปีที่ 1 ถึง 2 โดยได้ผลตอบแทนสุทธิในช่วงดังกล่าวเท่ากับ 833,040.75 บาท หากเราต้องการคืนทุนให้หมดต้องจ่ายเงินอีก 107,894.36 บาท และใช้เวลาอีก $(107,894.36 \times 1) / 833,040.75 = 0.13$ ปี ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุนของการก่อสร้างเครื่องสูบน้ำคือ $1 + 0.13 = 1.13$ ปี ดังนั้น การลงทุนก่อสร้างเครื่องสูบน้ำจะได้เงินลงทุนคืนเมื่อการดำเนินงานผ่านไปได้ 1 ปี 2 เดือน ตามตารางที่ 4.7

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลการศึกษาวิจัย

ผลที่ได้จากการศึกษาวิเคราะห์ การนำความร้อนจากไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์ในการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ และได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำในช่วงฤดูหีบอ้อย (พ.ศ. 2545 – 2546) ตามตารางที่ ก. 1 (ภาคผนวก) และหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำในช่วงฤดูหีบอ้อย (พ.ศ. 2546 – 2547) ตามตารางที่ ก. 3 (ภาคผนวก) จำนวนวันดำเนินการ 101 วัน ซึ่งสรุปผลการศึกษาวิเคราะห์ได้ ดังนี้

5.1.1 ขนาดพื้นที่ผิวรับความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำ

จากข้อมูลการออกแบบและการคำนวณได้พื้นที่ผิวรับความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำเท่ากับ 666.8 ตารางเมตร ในการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำใช้วัสดุเป็นท่อเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42.2 มิลลิเมตร ความยาว 7,000 มิลลิเมตร จำนวนแผงที่รับความร้อน 31 แผง ในแต่ละแผงใช้ท่อเหล็กจำนวน 24 ท่อ ตามภาพที่ ก. 1 ก. 2 และ ก. 3 (ภาคผนวก) มีพื้นที่ผิวรับความร้อนเท่ากับ 690.7 ตารางเมตร โดยเครื่องอุ่นน้ำที่ก่อสร้างและติดตั้งใช้งานมีพื้นที่ผิวรับความร้อนมากกว่าที่ได้จากการออกแบบ ดังนั้น จึงมีขนาดเพียงพอสำหรับการใช้งาน

5.1.2 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิของก๊าซไอเสียก่อนและหลังการติดตั้ง เกลียมีค่าเท่ากับ 230.6 และ 180.2 องศาเซลเซียส ตามตารางที่ ก. 2 และ ก. 4 โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยลดลง เท่ากับ 50.4 องศาเซลเซียส ซึ่งประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะสูงขึ้นประมาณ ร้อยละ 1 ต่อ 20 องศาเซลเซียสที่อุณหภูมิของก๊าซไอเสียลดลง (ทาคามูระ, 2543: 351) ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะสูงขึ้นประมาณร้อยละ 50.4/20 เท่ากับ 2.52 ในทางทฤษฎี

จากการวิเคราะห์และการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ ก. 2 (ภาคผนวก ข) และ ตารางที่ ก. 4 (ภาคผนวก ง) ในการดำเนินการศึกษาวิจัย พบว่า ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำเท่ากับร้อยละ 79.83 และก่อนการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำเท่ากับร้อยละ 75.87 ตามลำดับ ซึ่งหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้นร้อยละ 3.96 ตามตารางที่ 4.1 และ 4.2 โดยประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ได้จากการศึกษาวิจัยสูงกว่าในทางทฤษฎีประมาณร้อยละ 3.96 - 2.52 เท่ากับ 1.44 อาจจะมีผลมาจากการกำหนดเงื่อนไขในการศึกษาวิจัยและการคำนวณ คือ

1. กระบวนการไหลและสถานะของของไหลคงที่
2. ไม่คิดค่าความดันตกของของไหลในระบบ
3. อุณหภูมิของสถานะแวดล้อมคงที่

เนื่องจากในกระบวนการผลิตจะมีการเปลี่ยนแปลงภาระไปตามปริมาณวัตถุดิบและชั่วโมงของการทำงาน ซึ่งสรุปได้ว่าในการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำเพื่อทำการอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ สามารถทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสูงขึ้นตามสมมติฐาน

5.1.3 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

จากการวิเคราะห์ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง พบว่า ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำน้อยกว่าก่อนการติดตั้งมีค่าเท่ากับ 25.98 ตันต่อชั่วโมง และ 28.73 ตันต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลง เท่ากับ 2.75 ตันต่อชั่วโมง ตามตารางที่ 4.3 และ 4.4

ในทางทฤษฎี พบว่า การประหยัดเชื้อเพลิงร้อยละ 1 จะต้องลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (Flue Gas) ในการนำความร้อนกลับมาใช้ทุก ๆ 16 องศาเซลเซียส (โดยการคำนวณจากเชื้อเพลิงถ่านหินที่มีค่าความร้อน 7,222 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และ CO₂ ร้อยละ 13) (แมคพาวเวอร์, 2542: 135 - 138) ในที่นี้อุณหภูมิก๊าซไอเสียเฉลี่ยลดลง เท่ากับ 50.4 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้เท่ากับร้อยละ $50.4/16 = 3.15$ โดยในการศึกษาวิจัยพบว่า อัตราส่วนการประหยัดเชื้อเพลิงเท่ากับร้อยละ 9.57 ในกรณีก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ เห็นได้ว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงในการดำเนินการมีมากกว่าทางทฤษฎี เท่ากับ $9.57 - 3.15$ เท่ากับ 6.42 ซึ่งอาจจะมีผลเนื่องจากในทางทฤษฎีเป็นการคำนวณที่ได้มาจากการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินจึงทำให้มีความแตกต่างจากงานที่ได้ทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลงคิดเป็นจำนวนเงินที่ประหยัดได้ เท่ากับ 1,065,784.32 บาทต่อปี ตามตารางที่ 5.1

5.1.4 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

จากการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งใช้สถิติวิเคราะห์ Paired – Simple T – Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 โดยโปรแกรมทางสถิติสำเร็จรูปทางสังคมศาสตร์ (SPSS Version 10) เป็นไปตามสมมติฐานดังนี้

5.1.4.1 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำสูงกว่าก่อนการติดตั้ง

5.1.4.2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลังการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำน้อยกว่าก่อนการติดตั้ง

5.1.5 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

5.1.5.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) โดยใช้อัตราคิดลดที่ร้อยละ 12 พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (N.P.V.) ของเครื่องอุ่นน้ำ เท่ากับ 2,725,969.72 บาท ซึ่งแสดงว่ามีความเหมาะสมในการลงทุน โดยพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธินั้นมากกว่า 0 ตาม ตารางที่ 4.6

5.1.5.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit - Cost Ratio) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ $3,841,913.95 / 1,115,944.23 = 3.44$ ซึ่งมีค่ามากกว่าหนึ่งแสดงว่าการลงทุนมีความเหมาะสมและคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจอย่างมาก ตามตารางที่ 4.7

5.1.5.3 อัตราผลตอบแทนสุทธิ (Internal Rate of Return) พบว่า เท่ากับร้อยละ 97 หมายถึง อัตราดอกเบี้ยในกระบวนการคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับ ศูนย์ แสดงถึงการลงทุนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีการลงทุนก่อสร้างเครื่องอุ่นน้ำสามารถกู้เงินลงทุนจากสถาบันการเงินในอัตราดอกเบี้ยไม่เกินร้อยละ 97 ต่อปี โดยที่ยังไม่ขาดทุนหรือมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก

5.1.5.4 ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Periods) พบว่า อยู่ในช่วงปีที่ 1 ถึง 2 โดยผลตอบแทนสุทธิในช่วงดังกล่าวเท่ากับ 833,040.75 บาท หากต้องการคืนทุนให้หมดต้องใช้เงินอีก 107,894.36 บาท และใช้เวลาอีก $(107,894.36 \times 1) / 833,040.75 = 0.13$ ปี ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุนของการก่อสร้างเครื่องอุ่นน้ำเพื่อใช้งาน เท่ากับ $1 + 0.13 = 1.13$ ปี หมายถึง การลงทุนก่อสร้างเครื่องอุ่นน้ำจะได้เงินลงทุนคืนเมื่อการดำเนินงานผ่านไปได้ 1 ปี 2 เดือน ตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 5.1 สรุปผลก่อนการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ ปี พ.ศ. 2545 - 2546 และ หลังการติดตั้งเครื่องสูบน้ำปี พ.ศ. 2546 - 2547

รายละเอียด	หน่วย	พ.ศ. 2545 - 2546	พ.ศ. 2546 - 2547
อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	องศาเซลเซียส	99.95	-
อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ก่อนเข้าเครื่องสูบน้ำ	องศาเซลเซียส	-	100.9
อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ออกจากเครื่องสูบน้ำ	องศาเซลเซียส	-	131.6
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย	องศาเซลเซียส	230.6	180.2
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	ร้อยละ (%)	75.87	79.83
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง	ตันต่อชั่วโมง	28.71	25.97
เงินลงทุน	บาท	-	1,040,900
ประหยัดเชื้อเพลิง	บาทต่อปี	-	1,065,784.32
อัตราส่วนการประหยัด เชื้อเพลิง	ร้อยละ (%)	-	9.57
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	บาท	-	2,725,969.72
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อ ต้นทุน (BCR)	-	-	3.44
อัตราผลตอบแทนสุทธิ (IRR)	ร้อยละ (%)	-	97
ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period)	ปี	-	1.13

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 แนวทางในการดำเนินการนำพลังงานความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่

การนำความร้อนจากก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นวิธีการใดก็ตาม ควรเป็นวิธีการที่สามารถใช้งานได้ดีและมีประสิทธิภาพสูง การกำหนดการใช้ประโยชน์ต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ต้องการ ช่วงของอุณหภูมิ เวลา ปฏิบัติการ และสถานที่ เป็นต้น ในการพิจารณาการนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ เป็นมาตรการที่ดำเนินการหลังจากที่ได้มีมาตรการประหยัดพลังงานในด้านต่าง ๆ แล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ แนวโน้มที่ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวอุปกรณ์อาจจะไม่ดี แต่ถ้ามีการนำความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์แล้วประสิทธิภาพเชิงความร้อนของทั้งระบบย่อมจะสูงขึ้น ข้อควรระวังก็คือ การติดตั้งอุปกรณ์เก็บความร้อนที่มีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้การปฏิบัติยุ่งยากขึ้น

5.2.1.1 การตรวจสอบการใช้พลังงานที่ควรให้ความสำคัญโดยทั่ว ๆ ไป มีดังนี้

- 1) แหล่งที่มาหรือต้นกำลังของพลังงานที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต
- 2) การจัดการพลังงานให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการป้องกันหรือลดการสูญเสียพลังงาน
- 3) การเลือกใช้เทคนิคและวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสม เพื่อให้ประหยัดพลังงานได้คุ้มค่ากับการลงทุน

ในทางปฏิบัติการที่จะเลือกควรทำอะไรก่อน - หลัง หรือเมื่อใด ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจ ซึ่งต้องตัดสินใจด้วยผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการดำเนินงานกับผลเสียที่ปล่อยให้มีการสิ้นเปลืองพลังงานหรือปล่อยให้มีการใช้พลังงานอย่างไร้ประสิทธิภาพ นอกจากจะลดความสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายที่ควรหลีกเลี่ยงหรือลดลงได้แล้ว การประหยัดพลังงานจะช่วยให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลง การแข่งขันในตลาดที่ดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อค่าพลังงานเป็นส่วนสำคัญในต้นทุนการผลิต เช่นเดียวกับต้นทุนวัตถุดิบ แรงงานและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ

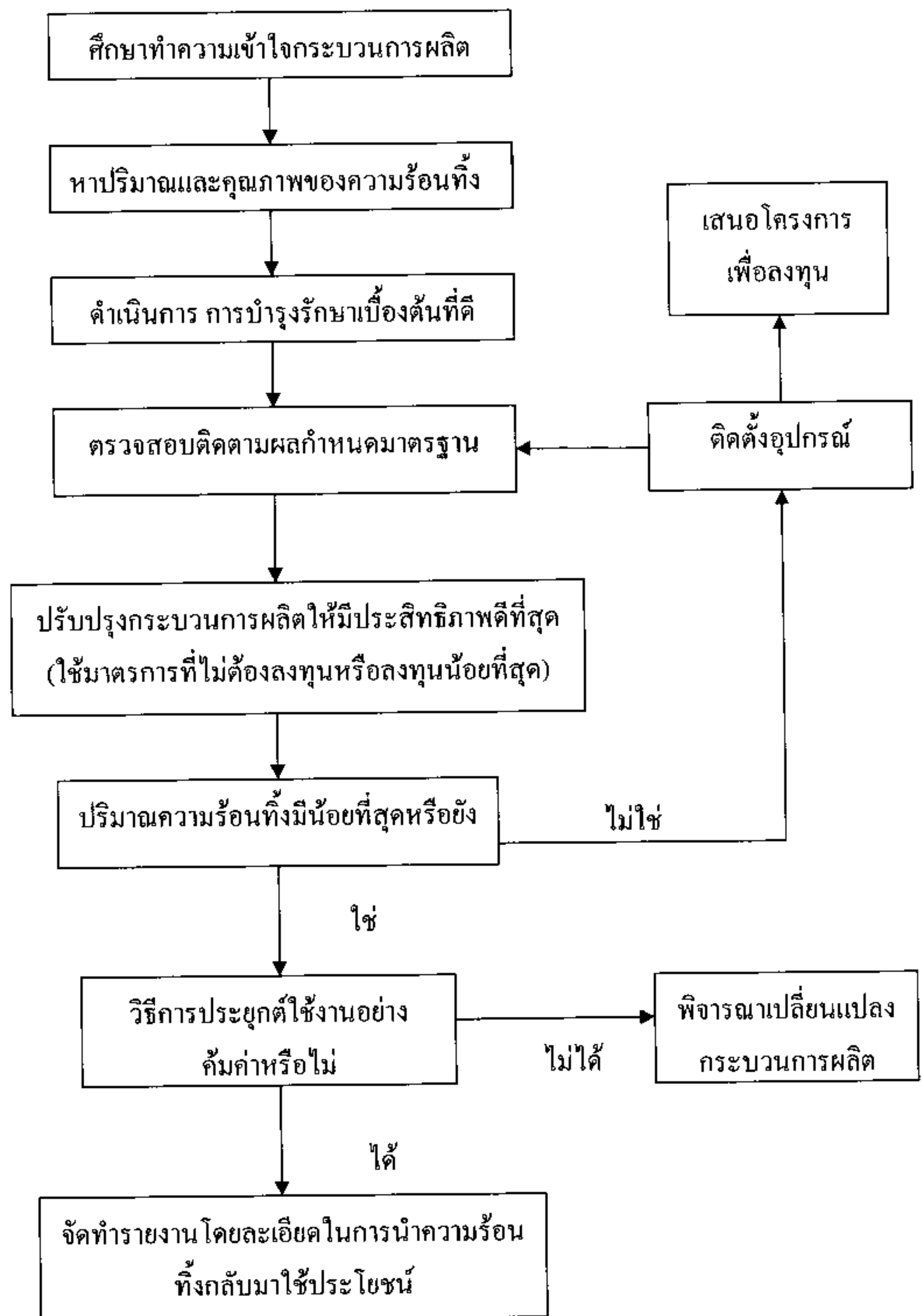
5.2.1.2 ขั้นตอนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

- 1) การเลือกใช้พลังงานด้วยเทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่เหมาะสม เพื่อให้ความต้องการพลังงานน้อยที่สุดและการทำงานของอุปกรณ์มีประสิทธิภาพสูงสุด
- 2) ให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดหรือไม่สูญเสียเลย
- 3) กรณีที่หลีกเลี่ยงการสูญเสียไม่ได้ ต้องหาทางนำพลังงานที่สูญเสียไปกลับคืนมาใช้ประโยชน์ให้ได้

การนำพลังงานความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ควรมีการศึกษาทำความเข้าใจในกระบวนการที่เกิดขึ้น เพื่อให้มีการดำเนินการอย่างถูกต้องและเหมาะสม ตามภาพที่ 5.1 แสดงให้เห็นถึงลำดับขั้นตอนในการจัดการการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่

จะเห็นได้ว่าการนำความร้อนที่สูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์ เป็นแนวทางการดำเนินการอย่างหนึ่งในหลาย ๆ มาตรการที่จะทำให้เกิดการประหยัดและใช้พลังงานให้คุ้มค่าที่สุดจากการศึกษาวิจัย พบว่า ทางบริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด มีการดำเนินมาตรการหลายประการด้วยกัน เช่น การตรวจสอบรอยรั่วต่าง ๆ ของอุปกรณ์ การบำรุงรักษาเครื่องจักรแบบป้องกัน (Preventive Maintenance) การหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสีย ตลอดจนมีการติดตั้งเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่จะสามารถช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงาน

ในการใช้เชื้อเพลิงกากขี้เถ้าที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต เป็นการลดต้นทุนอย่างหนึ่ง แต่จากการศึกษาวิจัย พบว่า เชื้อเพลิงที่ใช้จะมีค่าความชื้นอยู่ในสัดส่วนที่สูง ดังนั้น ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อนำเอาความร้อนมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ นั้นจึงไม่สามารถดึงเอาพลังงานความร้อนมาใช้ได้ทั้งหมด ในการลดค่าความชื้นของเชื้อเพลิงจะทำให้ได้พลังงานความร้อนที่ได้เพิ่มขึ้น โดยการนำเชื้อเพลิงมาอบให้แห้งก่อนที่จะเข้าเตาเผาซึ่งค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจะสูงกว่าการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ หรือการตรวจสอบดูแลอุปกรณ์ต่าง ๆ เนื่องจากมีชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่เคลื่อนไหวจำนวนมาก และมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการลงทุน หรือการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณความชื้นของกากขี้เถ้าให้มากที่สุด ซึ่งขึ้นอยู่กับกรณีการตัดสินใจว่าควรที่จะลงทุนด้านใดจึงจะทำให้ได้ประโยชน์สูงสุด



ภาพที่ 5.1 ลำดับขั้น การจัดการ การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่

5.2.2 การเกิดครดักคร่อนต่อเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ

โดยปกติอุณหภูมิของก๊าซไอเสียจะมีค่าประมาณ 300 องศาเซลเซียส ที่ภาระเต็มที่มีความร้อนที่สูญเสียไปกับก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งมีค่าประมาณร้อยละ 15 ของความร้อนทั้งหมด ดังนั้น การนำความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์จึงเป็นวิธีการที่ประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ แต่การใช้ประโยชน์จะไม่สามารถกระทำได้อีกถ้าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งต่ำเกินไป เนื่องจากจะมีผลต่อแรงลมที่ไหลผ่าน (Draft Force) อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งควรมีค่าประมาณ 150 - 180 องศาเซลเซียส ในกรณีที่เชื้อเพลิงมีกำมะถัน (Sulfur) ปนอยู่จะต้องระวังไม่ให้ก๊าซไอเสียมีอุณหภูมิต่ำจนถึงระดับการกลั่นตัวของกรดกำมะถัน เนื่องจากจะก่อให้เกิดการกัดกร่อนอุปกรณ์โลหะต่าง ๆ ได้ ช่วงอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดการกลั่นตัวดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกำมะถันที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงซึ่งจะเป็นตัวกำหนดหรือข้อจำกัดในการออกแบบอุปกรณ์ที่นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ และยังขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ด้วย ตามภาพที่ 2.7 และ 2.8

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เชื้อเพลิงที่ใช้ คือ กากชานอ้อยซึ่งมีส่วนประกอบของกำมะถันประมาณ ร้อยละ 0.03 (ศูนย์สี่เสริมพลังงานชีวมวล, 2547) ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำ จึงไม่มีผลที่จะทำปฏิกิริยาก่อให้เกิดการกัดกร่อน และอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งมีค่าเฉลี่ย 180.2 องศาเซลเซียส ตามตารางที่ ก. 4 (ภาคผนวก) และจากการคำนวณการออกแบบเครื่องอุ่นน้ำอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งมีค่าเท่ากับ 181.61 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดกลั่นตัวของกำมะถัน (150 - 180 องศาเซลเซียส) ในการเกิดครดักคร่อนต่อเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ

5.2.3 ด้านสิ่งแวดล้อม

ในการศึกษาวิจัยผลของการติดตั้งและใช้งานเครื่องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำในครั้งนี้ ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้น และยังทำให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลงด้วย เนื่องจากว่าในการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะเกิดมลพิษทางอากาศซึ่งมีผลต่อสุขภาพ พืช และแหล่งน้ำที่สำคัญ เช่น อนุภาคขนาดเล็ก (Particulate) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และไฮโดรคาร์บอน (HC) และความร้อนจากก๊าซไอเสียที่เป็นสาเหตุให้เกิดสภาวะโลกร้อน ดังนั้น การที่สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลงทำให้มลพิษที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงลดลง เป็นผลดีต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ส่วนเชื้อเพลิงที่มีสภาพเป็นค้าง จึงเหมาะสมที่นำไปเพาะปลูก หรือปรับสภาพดินที่เป็นกรด นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก หรือผสมในซีเมนต์

ในส่วนของการดำเนินงานของ บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด นั้น ได้เน้นนโยบายทางด้านสิ่งแวดล้อม คือ มีการลงทุนติดตั้งเครื่องจักรที่ใช้ในการบำบัดของเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจาก

กระบวนการผลิต รวมทั้งการนำเทคโนโลยีในการกำจัดมาใช้ควบคู่กันไป และยังมีโครงการทางด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เช่น การรณรงค์และส่งเสริมให้เกษตรกรทำปุ๋ยน้ำชีวภาพแทนการใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อการอนุรักษ์ดินและรักษาสภาพแวดล้อม

5.2.4 การจัดการด้านพลังงาน

สำหรับเชื้อเพลิงที่สามารถประหยัดได้นั้น เป็นผลดีต่อบริษัทฯ เนื่องจากทางภาครัฐฯ มีนโยบายที่จะให้เอกชนรายย่อยผลิตไฟฟ้าขายให้กับภาครัฐฯ ในกรณีของโรงงานน้ำตาล ปกติจะผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งเหลืออยู่จึงสามารถจำหน่ายให้แก่ภาครัฐฯ ได้ ในการดำเนินการผลิตน้ำตาลทรายจะดำเนินการผลิต (ฤดูหีบอ้อย) ประมาณ 3 - 4 เดือนต่อครั้ง ขึ้นอยู่กับปริมาณของวัตถุดิบ (อ้อย) ดังนั้น จึงเป็นแนวทางที่ดีที่ทางโรงงานจะใช้เวลาส่วนที่เหลือทำการผลิตไฟฟ้า โดยใช้เชื้อเพลิงที่สามารถประหยัดได้หลังจากมีการใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์เพิ่มเติมในกระบวนการผลิต

ในอีกแนวทางหนึ่ง คือ ถ้าภาครัฐฯ ให้การสนับสนุนแบบบูรณาการ คือ ลักษณะการจัดตั้งกลุ่ม (Cluster) ของผู้ประกอบการ ที่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าและผู้ผลิตที่มีพลังงานไฟฟ้าเหลือมาอยู่ในกลุ่มเดียวกัน หรือการนำวัสดุเหลือใช้ในกลุ่มผู้ประกอบการมาทำการผลิต ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ทำให้ง่ายต่อการกำกับดูแลในเรื่องของสิ่งแวดล้อม รวมทั้งด้านความปลอดภัย โดยที่ภาครัฐฯ สามารถที่จะลดบทบาทหน้าที่ในการกำกับดูแล หรือต้องลงทุนเองในการที่จะผลิตไฟฟ้าเพื่อบริการให้กับภาคอุตสาหกรรม

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก. 1 ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำและอุณหภูมิของก๊าซไอเสียในฤดูหีบอ้อย
พ.ศ. 2545 - 2546

วัน/เดือน/ปี	งานกะที่ 1		งานกะที่ 2	
	อุณหภูมิน้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	อุณหภูมิน้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)
28/12/45	79.2	186.6	96.4	232.1
29/12/45	101.2	205.7	97.9	235.9
30/12/45	100.8	216.7	91.5	239.2
31/12/45	101.3	216.5	97.2	238.7
01/01/46	100.8	225.7	96.5	236.5
02/01/46	99.1	227.8	97.7	237.6
03/01/46	102.4	231.9	96.5	234.2
04/01/46	101.5	228.1	99.8	229.1
05/01/46	101.3	226.7	98.4	228.7
06/01/46	101.5	224.2	98.8	231.2
07/01/46	101.2	225.4	99.3	232.0
08/01/46	101.6	227.0	101.1	230.7
09/01/46	101.4	234.0	88.3	233.8
10/01/46	100.8	237.0	100.2	234.9
11/01/46	101.1	236.6	100.9	232.2
12/01/46	101.2	242.9	100.9	238.1
13/01/46	100.8	243.3	99.9	232.4
14/01/46	100.8	243.1	90.8	231.3
15/01/46	101.3	240.3	101	233.1
16/01/46	100.8	238.8	98.3	231.3

ตารางที่ ก. 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	งานกะที่ 1		งานกะที่ 2	
	อุณหภูมิน้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	อุณหภูมิน้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)
17/01/46	101.6	241.7	101.2	232.9
18/01/46	101.6	229.4	99.9	233.4
19/01/46	101.6	229.3	100.9	232.4
20/01/46	101.8	234.2	100.8	234.1
21/01/46	101.4	224.9	101.5	233.9
22/01/46	101.5	233.2	101.3	236.1
23/01/46	101.8	237.5	100.7	237.7
24/01/46	101.8	237.5	100.9	238.5
25/01/46	101.2	240.1	93.1	231.6
26/01/46	101.1	242.1	101.8	234.2
27/01/46	101.3	240.5	101.2	229.1
28/01/46	101.5	238.9	101.4	227.7
29/01/46	101.2	240.2	101.2	233.2
30/01/46	101.4	239.3	101.5	234.0
31/01/46	101.3	225.2	99.7	233.7
01/02/46	88.8	235.8	79.5	234.8
02/02/46	90.2	237.2	71.7	233.9
03/02/46	101.3	235.9	101.1	235.2
04/02/46	100.5	242.3	99.2	237.1
05/02/46	101.4	241.4	101.7	233.4
06/02/46	102.2	240.3	100.8	234.3
07/02/46	100.5	241.1	101.9	231.1
08/02/46	101.2	239.8	101.1	232.3
09/02/46	101.2	244.3	100.3	232.9
10/02/46	102.3	230.5	97.9	233.4

ตารางที่ ก. 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	งานกะที่ 1		งานกะที่ 2	
	อุณหภูมิน้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	อุณหภูมิน้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)
11/02/46	101.8	239.5	101.3	234.6
12/02/46	101.8	238.2	101.1	232.9
13/02/46	102.2	229.5	101.2	234.4
14/02/46	102.1	235.7	101.4	235.9
15/02/46	101.5	232.3	101	238.4
16/02/46	101.3	229.0	98.7	234.2
17/02/46	101.6	236.6	101.8	230.7
18/02/46	101.2	236.8	101.8	232.9
19/02/46	101.1	237.3	101.2	229.1
20/02/46	101.6	240.2	101.5	230.7
21/02/46	100.6	231.2	100.8	235.2
22/02/46	100.9	231.5	99.8	231.5
23/02/46	102.1	227.9	98.9	232.9
24/02/46	102.4	233.6	101.2	228.4
25/02/46	101.3	230.8	100.3	226.0
26/02/46	102.8	225.8	99.7	216.6
27/02/46	101.8	222.9	100.1	234.6
28/02/46	101.4	222.2	99.8	236.3
01/03/46	101.5	225.4	99.5	235.8
02/03/46	101.2	223.1	100.8	230.7
03/03/46	101.2	225.5	100.5	222.2
04/03/46	101.3	228.2	98.5	229.2
05/03/46	100.3	225.2	100.7	232.8
06/03/46	100.8	228.3	100.9	232.0
07/03/46	101.5	223.9	101.3	227.1

ตารางที่ ก. 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	งานกะที่ 1		งานกะที่ 2	
	อุณหภูมิน้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	อุณหภูมิน้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)
08/03/46	100.6	223.8	101.5	225.7
09/03/46	100.9	226.9	101.6	223.4
10/03/46	101.3	223.6	100.3	238.7
11/03/46	101.0	224.4	101.1	226.2
12/03/46	101.8	225.3	102.0	227.8
13/03/46	101.3	227.4	101.5	231.2
14/03/46	101.2	223.7	101.5	225.9
15/03/46	101.0	230.4	101.1	226.5
16/03/46	100.5	223.4	101.2	228.0
17/03/46	100.7	223.9	98.4	222.9
18/03/46	101.2	224.8	98.8	223.6
19/03/46	100.4	224.1	100.5	244.5
20/03/46	101.4	222.0	100.4	219.5
21/03/46	101.6	221.6	99.8	222.6
22/03/46	101.2	220.2	101.2	223.1
23/03/46	100.3	218.6	101.5	231.5
24/03/46	101.2	222.2	101.5	224.8
25/03/46	101.2	220.2	101.2	226.8
26/03/46	99.2	224.1	101.4	225.2
27/03/46	100.8	224.8	99.3	223.7
28/03/46	100.5	224.2	95.4	224.3
29/03/46	102.1	226.9	88.8	228.8
30/03/46	101.2	231.8	102.9	220.1
31/03/46	101.2	232.8	95.5	221.1
01/04/46	101.9	229.1	94.1	220.8

ตารางที่ ก. 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	งานกะที่ 1		งานกะที่ 2	
	อุณหภูมิน้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)	อุณหภูมิน้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย (°C)
02/04/46	100.2	234.9	96.9	228.0
03/04/46	96.2	224.1	100.3	241.5
04/04/46	101.2	227.4	100.5	228.5
05/04/46	101.8	223.6	108.8	229.6
06/04/46	101.3	230.4	98.6	230.4
07/04/46	99.9	235.1	97.5	230.5
รวม	10,175.4	23,237.2	10,022.6	23,344.2
เฉลี่ย	100.7	230.1	99.2	231.1

แหล่งที่มา : บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด, 2546.

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ก. 2 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำและอุณหภูมิก๊าซไอเสียในฤดูหีบอ้อย
พ.ศ. 2545 - 2546

	อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (°C)
เฉลี่ย	99.95	230.6

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก. 3 ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำและอุณหภูมิของก๊าซไอเสียในฤดูหีบอ้อย
พ.ศ. 2546 - 2547

วัน/ เดือน/ ปี	งานกะที่ 1				งานกะที่ 2			
	อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ			อุณหภูมิ ก๊าซ ไอเสีย (°C)	อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ			อุณหภูมิ ก๊าซ ไอเสีย (°C)
	(°C)				(°C)			
	ก่อนเข้า เครื่อง อุ่นน้ำ	ออกจาก เครื่อง อุ่นน้ำ	ความ แตกต่าง		ก่อนเข้า เครื่อง อุ่นน้ำ	ออกจาก เครื่อง อุ่นน้ำ	ความ แตกต่าง	
22/12/46	90.5	125.8	35.3	177.3	95.2	130.9	35.7	179.2
23/12/46	93.5	128.3	34.8	179.5	98.9	130.6	31.7	179.3
24/12/46	92.4	123.6	31.2	179.5	105.1	131.3	26.2	181.5
25/12/46	100.6	137.1	36.5	182.2	102.7	126.2	23.5	179.3
26/12/46	99.1	138.3	39.2	180.0	94.7	125.9	31.2	181.2
27/12/46	100.1	138.6	38.5	181.2	95.1	131.7	36.6	177.3
28/12/46	98.5	135.1	36.6	179.9	98.5	132.3	33.8	180.9
29/12/46	100.8	134.4	33.6	178.5	92.3	127.5	35.2	181.7
30/12/46	101.5	132.8	31.3	181.2	100.3	133.5	33.2	180.2
31/12/46	100.5	134.9	34.4	180.1	95.8	134.9	39.1	181.6
01/01/47	101.4	136.3	34.9	178.6	98.8	131.3	32.5	179.3
02/01/47	100.1	138.5	38.4	181.1	97.9	132.2	34.3	181.9
03/01/47	101.9	130.9	29.0	180.4	100.8	130.6	29.8	182.1
04/01/47	100.1	133.6	33.5	179.8	101.2	131.3	30.1	183.4
05/01/47	101.9	139.7	337.8	178.9	101.4	129.5	28.1	178.3
06/01/47	102.1	133.2	31.1	179.5	101.6	131.7	29.4	179.9
07/01/47	101.7	134.2	32.5	181.7	101.5	130.6	29.1	182.5

ตารางที่ ก. 3 (ต่อ)

วัน/ เดือน/ ปี	งานกะที่ 1				งานกะที่ 2			
	อุณหภูมิ น้ำป้อน หม้อไอน้ำ			อุณหภูมิ ก๊าซ ไอเสีย (°C)	อุณหภูมิ น้ำป้อน หม้อไอน้ำ			อุณหภูมิ ก๊าซ ไอเสีย (°C)
	(°C)				(°C)			
	ก่อนเข้า เครื่อง อุ่นน้ำ	ออกจาก เครื่อง อุ่นน้ำ	ความ แตกต่าง		ก่อนเข้า เครื่อง อุ่นน้ำ	ออกจาก เครื่อง อุ่นน้ำ	ความ แตกต่าง	
08/01/47	102.1	135.5	33.4	179.3	101.4	130.8	29.4	181.5
09/01/47	100.8	134.2	33.4	178.9	100.0	130.5	30.5	180.6
10/01/47	100.3	133.0	32.7	181.9	99.2	123.5	24.3	179.7
11/01/47	102.3	132.1	29.8	178.8	100.8	129.5	28.7	179.9
12/01/47	101.7	133.6	31.9	182.6	97.8	129.5	31.7	179.9
13/01/47	100.1	132.6	32.5	179.5	97.4	127.7	30.3	178.5
14/01/47	101.2	133.6	32.4	178.6	97.5	128.9	31.4	181.7
15/01/47	102.5	135.6	33.1	182.6	97.9	129.5	31.6	179.5
16/01/47	100.6	134.9	34.3	181.9	101.0	130.4	29.4	180.5
17/01/47	101.8	134.4	32.6	180.2	101.7	131.1	29.4	181.6
18/01/47	101.8	134.9	33.1	185.9	101.6	130.9	29.3	178.1
19/01/47	101.2	133.3	32.1	178.4	102.1	131.2	29.1	179.5
20/01/47	100.1	131.2	31.1	179.8	101.2	130.3	29.1	180.5
21/01/47	101.4	133.5	32.1	180.7	99.5	130.6	31.1	181.3
22/01/47	100.3	138.5	38.2	181.5	100.5	132.6	32.1	180.7
23/01/47	101.2	133.4	32.2	181.4	88.2	123.3	35.1	181.2
24/01/47	100.3	134.4	34.1	179.3	98.3	127.5	29.2	179.2
25/01/47	101.4	130.6	29.2	179.9	100.3	130.5	30.2	179.5
26/01/47	100.5	136.7	36.2	180.9	99.1	129.3	30.2	181.5
27/01/47	101.2	132.4	31.2	178.9	86.0	125.4	39.4	179.9
28/01/47	101.1	127.3	26.2	178.6	101.4	127.7	26.3	180.4
29/01/47	101.2	132.4	31.2	181.8	101.2	131.5	30.3	179.5

ตารางที่ ก. 3 (ต่อ)

วัน/ เดือน/ ปี	งานกะที่ 1				งานกะที่ 2			
	อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (°C)			อุณหภูมิ ก๊าซ ไอน้ำ (°C)	อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (°C)			อุณหภูมิ ก๊าซ ไอน้ำ (°C)
	ก่อนเข้า เครื่อง อุ่นน้ำ	ออกจาก เครื่อง อุ่นน้ำ	ความ แตกต่าง		ก่อนเข้า เครื่อง อุ่นน้ำ	ออกจาก เครื่อง อุ่นน้ำ	ความ แตกต่าง	
30/01/47	102.5	135.6	33.1	179.5	102.2	130.3	28.1	179.6
31/01/47	101.4	135.5	34.1	178.9	102.3	131.6	29.3	179.1
01/02/47	102.9	133.3	30.4	180.5	100.3	127.4	27.1	181.2
02/02/47	102.0	131.0	29.0	179.9	101.3	122.8	21.5	180.9
03/02/47	102.9	132.2	29.3	183.3	101.0	131.6	30.6	179.5
04/02/47	101.0	131.5	30.5	182.4	101.3	132.0	30.7	178.7
05/02/47	102.0	133.6	31.6	184.0	100.8	130.6	29.8	182.5
06/02/47	100.8	132.1	31.3	185.8	102.0	131.0	29.0	179.5
07/02/47	96.9	131.5	34.6	182.2	98.0	129.5	31.5	178.6
08/02/47	101.8	130.9	29.1	179.2	99.4	130.5	31.1	178.1
09/02/47	101.5	131.9	30.4	180.6	101.9	130.5	28.6	181.5
10/02/47	102.6	130.7	28.1	179.1	101.0	131.0	30.0	179.5
11/02/47	101.7	131.1	29.4	181.9	101.3	129.5	28.2	181.3
12/02/47	102.1	130.6	28.5	179.5	102.1	131.6	29.5	178.7
13/02/47	101.9	132.6	30.7	178.6	101.9	132.6	30.1	178.2
14/02/47	102.1	130.6	28.5	179.3	100.1	128.6	28.5	180.2
15/02/47	102.9	132.5	29.6	179.4	101.9	127.5	25.6	183.5
16/02/47	103.0	131.0	28	178.7	102.0	129.0	27.0	179.5
17/02/47	102.7	131.4	28.7	181.6	103.7	131.4	27.7	180.9
18/02/47	102.0	132.0	30.0	179.2	102.0	130.0	28.0	181.0
19/02/47	101.8	131.0	29.2	180.6	101.8	132.0	30.2	181.5
20/02/47	102.3	130.0	27.7	181.4	103.3	132.0	28.7	180.4

ตารางที่ ก. 3 (ต่อ)

วัน/ เดือน/ ปี	งานกะที่ 1				งานกะที่ 2			
	อุณหภูมิ น้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)			อุณหภูมิ ก๊าซ ไอเสีย (°C)	อุณหภูมิ น้ำป้อน หม้อไอน้ำ (°C)			อุณหภูมิ ก๊าซ ไอเสีย (°C)
	ก่อนเข้า เครื่อง อุ่นน้ำ	ออกจาก เครื่อง อุ่นน้ำ	ความ แตกต่าง		ก่อนเข้า เครื่อง อุ่นน้ำ	ออกจาก เครื่อง อุ่นน้ำ	ความ แตกต่าง	
21/02/47	101.5	131.0	29.5	181.5	102.5	129.0	26.5	182.9
22/02/47	100.6	132.0	31.4	178.6	101.6	128.0	26.4	179.9
23/02/47	101.0	131.2	30.2	179.1	102.0	127.2	25.2	177.5
24/02/47	100.0	132.5	32.5	178.9	103.0	132.5	29.5	177.7
25/02/47	99.4	133.6	34.2	179.3	99.4	133.6	34.2	178.5
26/02/47	100.8	131.1	30.3	178.8	100.8	129.1	28.3	178.5
27/02/47	101.5	132.5	31.0	179.0	102.5	134.5	32.0	179.6
28/02/47	101.5	130.9	29.4	180.8	101.5	132.9	31.4	179.1
29/02/47	101.4	131.9	30.5	181.1	102.4	131.9	29.5	178.5
01/03/47	102.1	130.7	28.6	179.3	101.1	130.7	29.6	179.5
02/03/47	101.9	132.1	30.2	178.5	102.9	132.1	29.2	183.3
03/03/47	102.1	131.6	29.5	178.7	102.1	133.6	31.5	181.7
04/03/47	102.9	131.6	28.7	179.2	101.9	127.6	25.7	179.2
05/03/47	103.0	130.6	27.6	182.5	103.0	131.6	28.6	177.2
06/03/47	101.7	132.5	30.8	181.8	101.7	133.5	31.8	179.6
07/03/47	102.0	133.0	31	180.3	103.0	131.0	28	178.8
08/03/47	100.8	133.4	32.6	179.6	102.8	134.4	31.6	179.9
09/03/47	101.3	134.0	32.7	178.2	103.3	133.0	29.7	185.0
10/03/47	102.5	132.0	29.5	177.9	101.5	132.0	30.5	181.5
11/03/47	101.7	131.9	30.2	181.4	102.8	131.0	28.2	179.6
12/03/47	101.3	130.9	29.6	179.8	101.4	132.0	30.6	180.1
13/03/47	101.6	132.1	30.5	179.9	102.6	129.1	26.5	179.3

ตารางที่ ก. 3 (ต่อ)

วัน/ เดือน/ ปี	งานกะที่ 1				งานกะที่ 2			
	อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (°C)			อุณหภูมิ ก๊าซ ไอลีเย (°C)	อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (°C)			อุณหภูมิ ก๊าซ ไอลีเย (°C)
	ก่อนเข้า เครื่อง อุ่นน้ำ	ออกจาก เครื่อง อุ่นน้ำ	ความ แตกต่าง		ก่อนเข้า เครื่อง อุ่นน้ำ	ออกจาก เครื่อง อุ่นน้ำ	ความ แตกต่าง	
14/03/47	100.1	131.7	31.6	178.9	101.1	133.7	32.7	178.9
15/03/47	103.1	131.7	28.6	179.9	100.1	130.7	30.6	179.5
16/03/47	98.4	130.6	32.2	179.6	99.4	131.6	32.2	179.5
17/03/47	100.8	130.5	29.7	180.2	101.8	131.2	29.4	178.6
18/03/47	101.4	132.9	31.2	178.9	102.4	134.9	32.5	178.7
19/03/47	100.5	133.4	32.5	180.5	102.5	133.4	30.9	179.9
20/03/47	101.4	133.9	32.5	182.4	101.4	135.0	33.6	180.3
21/03/47	101.1	131.9	30.8	181.5	102.1	133.0	30.9	181.2
22/03/47	101.9	132.0	30.1	178.1	102.9	130.0	27.1	182.3
23/03/47	101.1	131.2	30.1	177.9	103.1	132.2	29.1	179.9
24/03/47	100.9	132.4	31.5	179.7	102.9	133.4	30.5	187.7
25/03/47	101.3	132.4	31.1	181.1	104.2	131.3	27.1	182.2
26/03/47	102.7	131.1	28.4	180.8	102.7	130.8	28.1	181.8
27/03/47	101.2	133.4	32.2	178.2	101.1	132.2	31.1	179.5
28/03/47	100.8	131.9	31.1	178.7	101.8	130.0	28.2	177.7
29/03/47	102.3	131.4	29.1	178.9	102.3	131.5	29.2	178.5
30/03/47	100.5	134.7	34.2	179.5	102.5	129.6	27.1	180.8
31/03/47	101.2	132.6	31.4	179.9	101.4	130.3	28.9	179.9
รวม	10,205.9	13,398.8	3762.2	18,195.3	10,169	13,191.2	3,022.1	18202.0
เฉลี่ย	101.1	132.6	37.2	180.2	100.7	130.6	29.9	180.2

แหล่งที่มา : บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด, 2547.

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ก. 4 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำและอุณหภูมิก๊าซไอเสียในฤดูหีบอ้อย
พ.ศ. 2546 - 2547

	อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (°C)		อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (°C)
	ก่อนเข้าเครื่องอุ่นน้ำ	ออกจากเครื่องอุ่นน้ำ	
เฉลี่ย	100.9	131.6	180.2

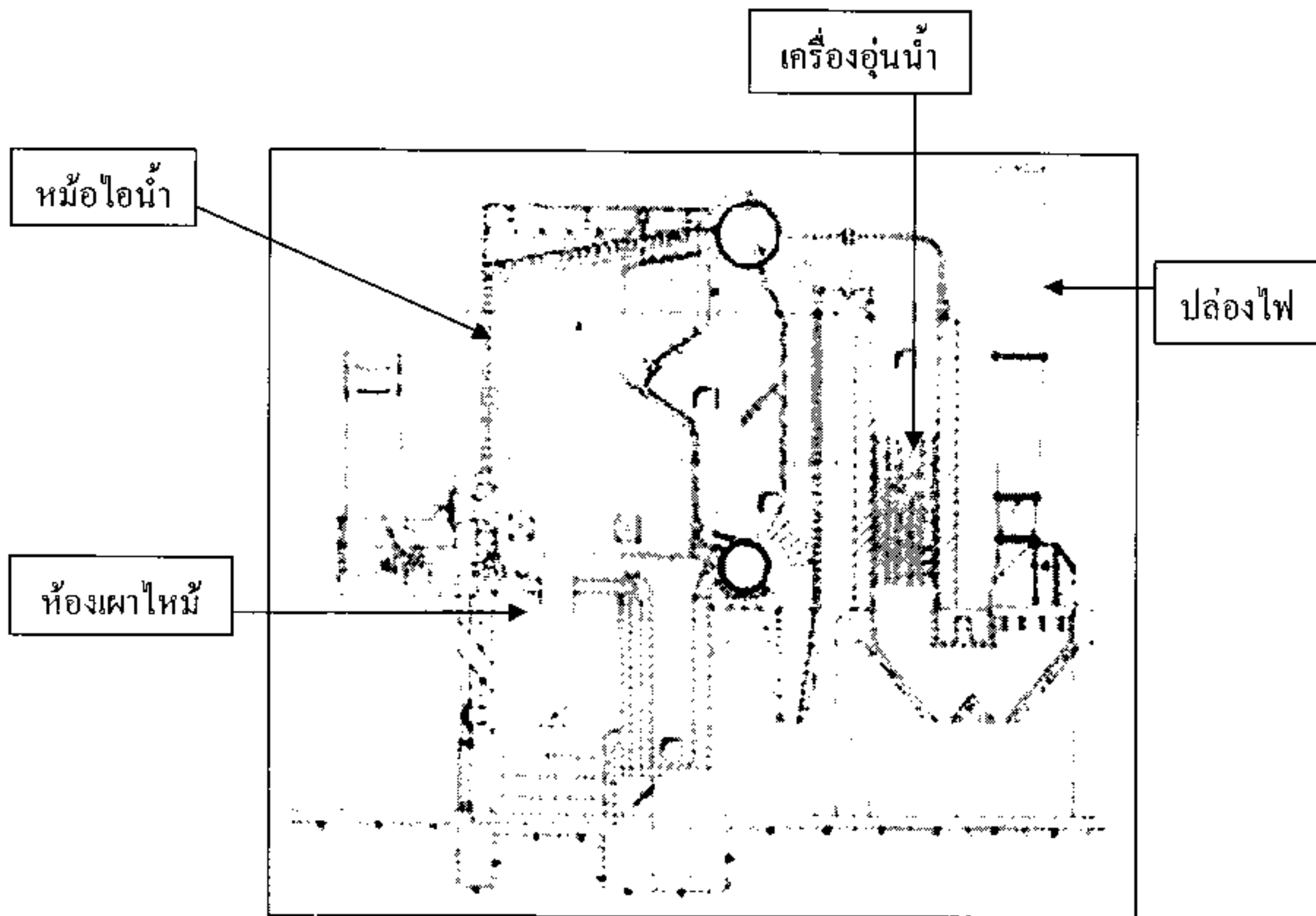
ภาคผนวก จ

ตารางที่ ก. 5 ค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นโดยความดัน (Pressure) และอุณหภูมิ (Temperature)

TOTAL HEAT OF SUPERHEATED STEAM (Izart¹ – after Mollier)

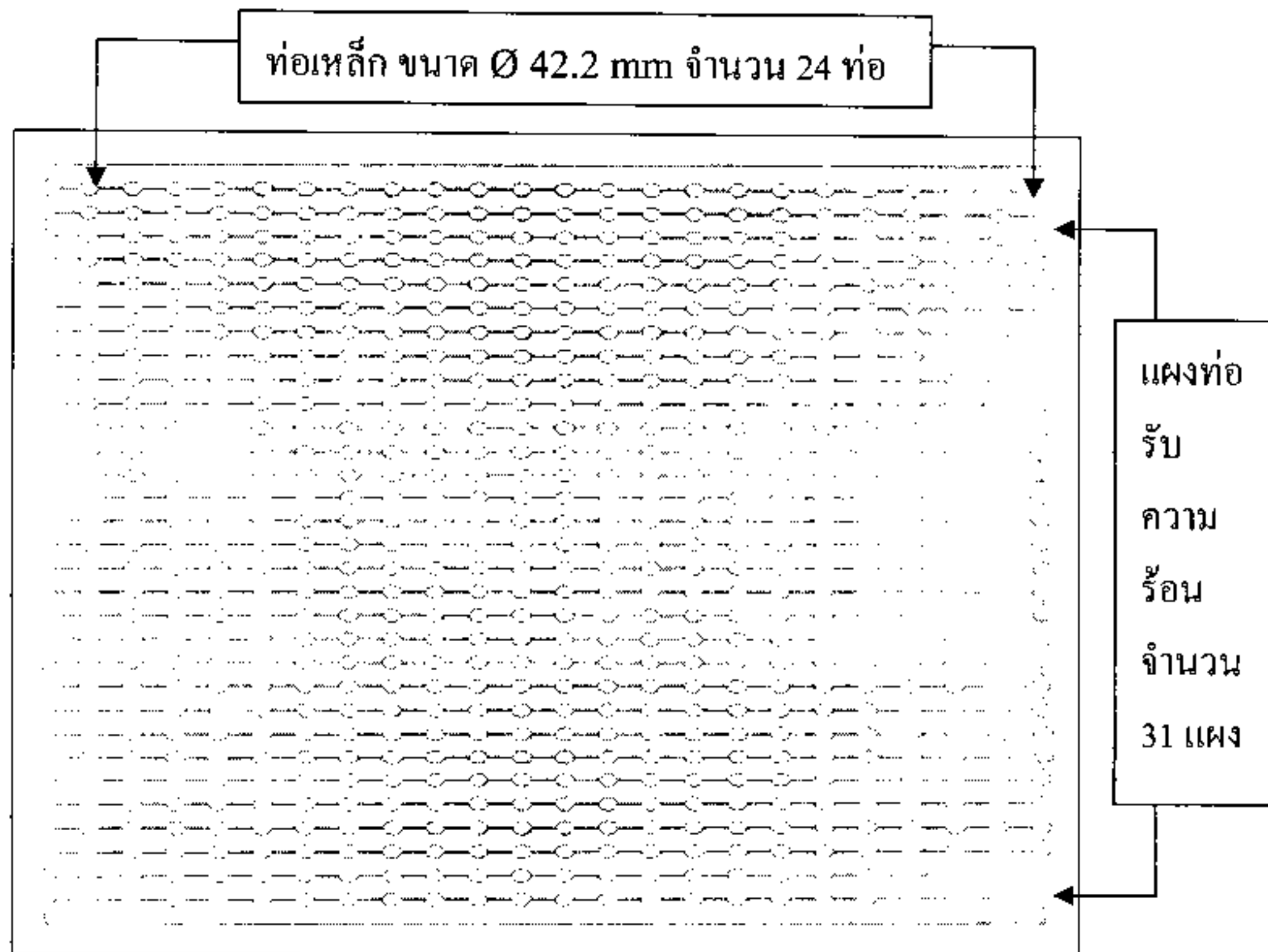
This table gives the total heat A of eqn. (41.1) using the same nomenclature. p' = corresponding approximate gauge pressure, in kg/cm²

A. METRIC UNITS										
p p' $T^{\circ}C$	9 8	11 10	13 12	17 16	21 20	26 25	31 30	41 40	51 50	61 60
200	677.5	674.9	671.8							
210	683	680.8	678.2	672.5						
220	688.4	686.3	684	679.2	673.7					
230	693.5	691.6	689.6	685.3	680.6	673.8				
240	698.7	697	695.2	691.3	687.2	681.2	674.6			
250	703.8	702.2	700.6	697	693.2	688.1	682.4			
260	709	707.5	706	702.7	699.2	694.6	689.6	677.8		
270	714	712.6	711.2	708.1	705	700.8	696.3	686.1	673.6	
280	719	717.7	716.3	713.5	710.6	706.8	702.8	693.6	682.8	670.1
290	724.1	722.8	721.5	718.9	716.2	712.7	709	700.7	691.3	680.3
300	729.2	727.9	726.7	724.3	721.8	718.4	715	707.5	699.1	689.5
310	734.3	733.1	731.9	729.6	727.2	724.1	721	714.1	706.5	698
320	739.3	738.2	737.1	734.8	732.6	729.7	726.8	720.4	713.5	705.8
330	744.3	743.2	742.2	740	737.9	735.2	732.5	726.6	720.2	713.3
340	749.4	748.4	747.4	745.4	743.4	740.8	738.2	732.7	726.7	720.5
350	754.4	753.5	752.5	750.6	748.7	746.3	743.7	738.5	733	727.2
360	759.4	758.5	757.6	755.8	754	751.7	749.3	744.3	739.2	733.8
370	764.5	763.7	762.8	761.1	759.3	757.1	754.9	750.1	745.4	740.4
380	769.6	768.7	767.9	766.2	764.6	762.5	760.3	755.9	751.5	746.8
390	774.6	773.8	773	771.4	769.8	767.8	765.7	761.6	757.4	753
400	779.6	778.9	778.1	776.6	775.1	773.1	771.2	767.3	763.2	759.1
410	784.8	784.1	783.3	781.9	780.4	778.6	776.7	772.9	769.1	765.2
420	789.9	789.2	788.5	787.1	785.7	783.9	782.1	778.5	774.8	771.1
430	795	794.3	793.6	792.3	790.9	789.2	787.5	784.1	780.5	777
440	800.1	799.4	798.8	797.5	796.2	794.6	792.9	789.7	786.2	783
450	805.2	804.5	803.9	802.7	801.4	799.9	798.3	795.2	792	788.8
460	810.2	809.6	809	807.8	806.6	805.1	803.6	800.6	797.5	794.5
470	815.3	814.8	814.2	813	811.9	810.4	809	806.1	803.2	800.2
480	820.5	820	819.4	818.3	817.2	815.8	814.4	811.6	808.8	806
490	825.7	825.2	824.6	823.6	822.5	821.2	819.8	817.1	814.5	811.7
500	830.8	830.3	829.7	828.8	827.7	826.4	825.2	822.6	820	817.4
510	836	835.5	835	834.1	833	831.8	830.6	828.1	825.5	823
520	841.2	840.7	840.2	839.3	838.3	837.1	835.9	833.5	831	828.6
530	846.4	846	845.5	844.6	843.7	842.6	841.4	839	836.6	834.4
540	851.6	851.2	850.8	849.9	849	847.9	846.8	844.5	842.2	840
550	856.8	856.4	856	855.1	854.3	853.2	852.1	849.9	847.8	845.6



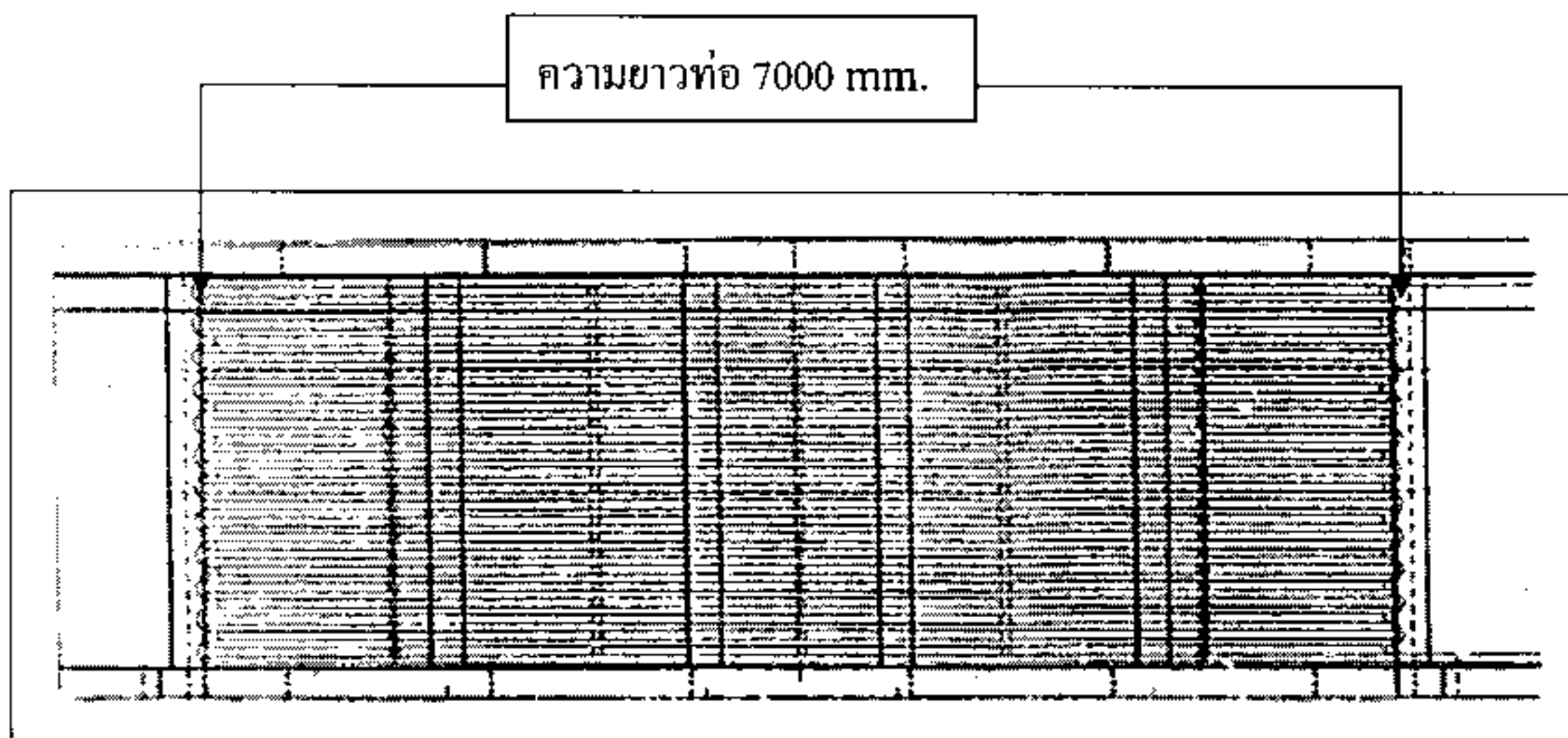
ภาพที่ ก. 1 การติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำ

แหล่งที่มา: Hugot, 1986: 967



ภาพที่ ก. 2 ภาพตัดขวางเครื่องอุ่นน้ำ

แหล่งที่มา : บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด, 2547.



ภาพที่ ก. 3 ภาพด้านข้างเครื่องอุ่นน้ำ

แหล่งที่มา : บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด, 2547.

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ม.ป.ป. การนำพลังงานความร้อนใน
กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมกลับมาใช้ใหม่. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ทรัพยากร
ฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2543. ผู้ควบคุมหม้อไอน้ำ. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.
กระทรวงอุตสาหกรรม. 2540. การใช้และการประหยัดพลังงานในโรงงานน้ำตาล รายงาน
การศึกษา. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. 2518.
ทฤษฎีช่างไอน้ำ. กรุงเทพมหานคร: ศึกษาสัมพันธ์.
- ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ, ชาย กิตติคุณาภรณ์ และชนเชษฐ์ ทิพย์โยภาส. 2539. คู่มือการวิเคราะห์ความ
เป็นไปได้โครงการ กรณีศึกษา: โครงการลงทุนเอกชน และโครงการอสังหาริมทรัพย์.
ปทุมธานี: บริษัท พี พรินต์ติ้ง กรุ๊ป จำกัด.
- เชียวเวทย์ ยัมศิริกุล. 2518. หม้อไอน้ำ. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย -
ญี่ปุ่น).
- ทวีศักดิ์ ทวีวิทยาการ. 2541. การออกแบบและทดสอบเครื่องอุ่นน้ำร้อนแบบท่อความร้อน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- தாகามูระ, โยชิฮิโกะ. 2543. การประหยัดพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร:
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).
- ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. 2541. การนำความร้อนแฝงและคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิต
โพลีเอสเตอร์กลับมาใช้ประโยชน์. ข่าวสารเพื่อการปรับตัวก้าวหน้าเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม. 43 (เมษายน): 89 – 91.
- นรินพร คงไม้สถิตย์. 2537. การอบแห้งขนอ้อยโดยใช้ก๊าซร้อนจากหม้อน้ำของโรงงานน้ำตาล.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด. 2546. ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำและอุณหภูมิของก๊าซไอ
เสียในฤดูหีบอ้อย พ.ศ. 2545 – 2546. (อัดสำเนา).
- บริษัท น้ำตาลราชบุรี จำกัด. 2547. ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำและอุณหภูมิของก๊าซไอ
เสียในฤดูหีบอ้อย พ.ศ. 2546 – 2547. (อัดสำเนา).

- แมคพายเวอร์. 2542. เครื่องอุ่นอากาศและอีโคโนไมเซอร์. วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี.
(กุมภาพันธ์ – มีนาคม): 135 – 138.
- วัฒนา สุนทรชัย. 2542. เรียนสถิติด้วย SPSSภาคสถิติอิงพารามิเตอร์. กรุงเทพมหานคร:
วิทย์พัฒน์.
- วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. 2536. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรม.
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร: ส. เอเชียเพรส.
- วิวัฒน์ ถัดติยธานี. 2539. เทคโนโลยีไอน้ำ. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- ศุภชัย ปัญญาวิทย์. 2540. สมดุลพลังงานสำหรับหม้อไอน้ำ. เทคนิค เครื่องกล - ไฟฟ้า - อุตสาหการ.
(ธันวาคม): 105 - 106.
- ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล. 2547. (20 เมษายน). คำวิเคราะห์ชีวมวล (ออนไลน์). Available
URL: <http://www.effe.or.th/indexs.htm>.
- สานิตย์ จันทร์โร. 2542. การวิเคราะห์พารามิเตอร์และประเมินศักยภาพของระบบการนำความร้อน
กลับมาใช้ใหม่จากคอนเดนเสท และแฟลชสตีม กรณีศึกษา: กระบวนการผลิตแผ่น
เหล็กชุบสังกะสี ของบริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด (มหาชน). วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2545. นโยบายและมาตรการเพื่อการพัฒนาพลังงานในปี
2545. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน.
- Alkhamis, T.M., Alhusein, M.A. and Kablan, M.M. 1998. Utilization of waste heat
from the kitchen furnace of an enclosed campus. **Energy conversion and
management**. 1113 - 1116.
- Anucha, Promwungkwa. 1989. **A study waste heat veneer pre - dryer system**.
Master's Thesis. Bangkok: Asian Institute of Technology, Thailand.
- Hugot, E. 1986. **Handbook of cane sugar engineering**. 3rd ed. Amsterdam - New
York: Elsevier Science.
- Lammers, Thomas F. 1992. **Steam plant operation**. New York: Hemisphere.
- Madnaik, S.D. and Jadhav, M.G. 1996. Waste heat recovery systems in the sugar
industry: An Indian perspective. **Energy sources**.: 333 - 343.
- Smith, Eric M. 1997. **Thermal design of heat exchangers: a numerical approach
- direct sizing and stepwise rating**. New York: Wiley & Sons.
- Walker, G. 1982. **Industrial heat exchangers: a basic guide**. New York: McGraw
- Hill.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายชนัญญ์ เอื้อภราดร
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2526
ตำแหน่งสถานที่ทำงาน	วิศวกร 7ว. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
ทุนการศึกษา	ทุนการศึกษาระดับอุดมศึกษาในประเทศสำหรับบุคลากร ประจำปีงบประมาณ 2546 กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน