

การประหยัดพลังงานโดยการนำกลับความร้อนจากการ boil ความร้อนหม้อไอน้ำ
ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสบู่

นางสาวธนกร ชาญชนะโรจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENERGY SAVING BY HEAT RECOVERY FROM BOILER BLOWDOWN
IN SOAP PRODUCTION INDUSTRY

Miss Tanaporn Chanchanaroj

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประหยัดพลังงานโดยการนำกลับความร้อนจากการ
โบลิวตวาร์หม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสบู่

โดย

นางสาวธนกร ชาญชนะโรจน์


สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

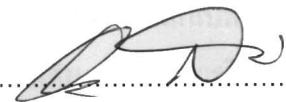
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

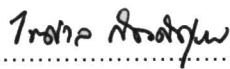
ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร

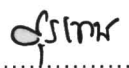
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงศ์)

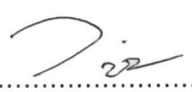
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ สมหวังธโรจน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.กษิติศ หนูทอง)

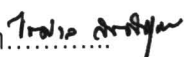

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.วชิรา ดาวสุด)

ฉนวน ชาญชนะโรจน์ : การประหยัดพลังงานโดยการนำกลับความร้อนจากการโบลด์
 ดาวนหม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสบู่ (ENERGY SAVING BY HEAT
 RECOVERY FROM BOILER BLOWDOWN IN SOAP PRODUCTION
 INDUSTRY) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศ.ดร. ไพศาล กิตติศุภกร, 89 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำกลับพลังงานความร้อนจากการโบลด์ดาวนหม้อไอน้ำ
 เพื่อลดต้นทุนในการผลิตไอน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสบู่แห่งหนึ่ง โดยการควบคุมอัตรา
 การโบลด์ดาวนให้เป็นแบบต่อเนื่อง และนำความร้อนจากการโบลด์ดาวนเพื่อช่วยเพิ่มอุณหภูมิ
 น้ำป้อนหม้อไอน้ำ ซึ่งโดยปกติน้ำร้อนจากการโบลด์ดาวนที่มีความดันสูงเมื่อระบายออกสู่ที่มี
 ความดันต่ำกว่าจะประกอบด้วยของเหลวและไอ จึงต้องติดตั้งถังแยกเพื่อแยกไอกับ
 ของเหลว ในส่วนของเป็นไอน้ำแฟลชสามารถนำไปเข้าถึงน้ำป้อนหม้อไอน้ำโดยตรง และอีก
 ส่วนที่เป็นของเหลวจะต้องนำไปแลกเปลี่ยนความร้อน กับน้ำเต็มเข้าถึงน้ำป้อนหม้อไอน้ำก่อน
 ปล่อยสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยในการวิจัยครั้งนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคือ แอสเพน ไฮซิส
 (Aspen HYSYS) เข้ามาช่วยในการจำลองการนำกลับความร้อนเพื่อทำนายผลก่อนนำไป
 ติดตั้งจริง

ซึ่งจากผลการติดตั้งระบบนำกลับความร้อนพบว่า สามารถทำให้อุณหภูมิของน้ำ
 ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ สูงขึ้น 11.3 องศาเซลเซียส (จาก 49.5 องศาเซลเซียส เป็น 60.8 องศา
 เซลเซียส) ซึ่งสามารถลดต้นทุนการใช้พลังงานโดยคิดเป็นมูลค่าถึง 787,950 บาทต่อปี โดยที่
 เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนของอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบนี้ สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา
 ประมาณ 10-11 เดือน

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา...2553

5271484321 : MAJOR CHEMICAL ENGINEER

KEYWORDS : BOILER BLOWDOWN / HEAT RECOVERY / ENERGY SAVING /
ASPEN HYSYS / TDS CONTROL

TANAPORN CHANCHANAROJ: ENERGY SAVING BY HEAT RECOVERY
FROM BOILER BLOWDOWN IN SOAP PRODUCTION INDUSTRY. ADVISOR:
PROF. PAISAN KITTISUPAKORN, Ph.D., 89 pp.

This research is to study the heat recovery from the boiler blow down for reduce cost of steam in soap production industry by automatic controlling blow down continuously. The recovered heat from blow down is used to raise the temperature of the boiler feed water. Normally, the blow down consists of both liquid and gas phases so phase separation must be installed in prior to the steam flash tank separation. The flash steam is then used in the boiler feed water tank directly whereas the liquid phase will be fed to a heat exchanger to raise the temperature of makeup water before draining to a waste water system. In this research, the software package Aspen HYSYS is employed to provide the heat recovery simulation to predict its performance prior to actual installation.

Simulation results has shown that the installed heat recovery can raise the temperature of the feed boiler water about 11.3 °C (from 49.5 °C to 60.8 °C), which can reduce the cost of energy up to 787,950 baht per year. With this cost saving and the cost of implementation, the payback period is about 10-11 months.

Department : Chemical Engineering.....

Field of Study : Chemical Engineering.....

Academic Year : 2010.....

Student's Signature *Tanaporn Chanchanaraj*

Advisor's Signature *Paisan Kittisupakorn*

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยแก้ไขและปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์ ประธานในการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ ดร.กษิติศ หนูทอง และอาจารย์ ดร.วชิรา ดาวสุด ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ความสนใจและชี้แนวทางให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เป็นแหล่งความรู้ให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาตลอดการทำงานวิจัย

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	4
2 ทฤษฎี.....	5
2.1 การผลิตสบู่.....	5
2.2 ระบบไอน้ำ.....	7
2.2.1 หม้อไอน้ำ.....	10
2.2.1.1 การจำแนกประเภทของหม้อไอน้ำ.....	10
2.2.1.2 โครงสร้างของหม้อไอน้ำ.....	12
2.2.1.3 อุปกรณ์เบ็ดเตล็ดของหม้อไอน้ำ.....	13
2.2.1.4 ระบบส่งน้ำเข้าหม้อไอน้ำ.....	14
2.2.1.5 ระบบเชื้อเพลิงและการเผาไหม้.....	15
2.2.1.6 อุปกรณ์ระบายสิ่งสกปรกที่ผิวหม้อไอน้ำ.....	16

บทที่	หน้า
2.2.1.7	๗
2.2.1.7 ผนวณกันควมร้อนน.....	17
2.2.1.8 การปรับสภาพน้ำดิบ.....	17
2.2.1.9 วิธีกรกำจัดสิ่งเจือปนออกจกนน้ำ.....	19
2.2.1.10 การปรับน้ำภยในหม้อไอน้ำ.....	20
2.2.1.11 การระบายน้ำหม้อไอน้ำทึ่ง (Blowdown).....	21
2.2.1.12 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ.....	25
2.1.2 ระบบจ่ายไอน้ำ.....	28
2.1.3 ระบบระบยคอนเดนเสท.....	29
2.1.5 การประหยัดพลังงานในการผลิตไอน้ำ.....	30
2.1.5.1 ปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	30
2.1.5.2 การสูญเสยควมร้อนนผ่านผนังหม้อไอน้ำ.....	32
2.1.5.3 การควบคุมการโบลว์ดวอน์.....	33
2.1.5.4 การบำรุงรักษา Burner.....	35
2.1.5.5 การประหยัดพลังงานในการส่งจ่ายไอน้ำ.....	35
2.1.6 การจำลองและเลียนแบบกระบวนการ.....	39
2.1.7 หลักการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาผลลัพท์ในแบบจำลอง.....	40
2.2 เอกสรและงนวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	47
2.2.1 งนวิจัยทงด้นการประหยัดพลังงาน.....	43
2.2.2 งนวิจัยที่ผ่นมทงด้นการจำลองกระบวนการโดยใช้ไฮซิส (HYSYS).....	45
3. วิธีดำนเนินการวิจัย.....	47
3.1 ขั้นตอนในการดำนเนินงนวิจัย.....	47
3.2 การนำข้อมูลมำจำลองในโปรแกรมแอสเพนไฮซิส (Aspen HYSYS).....	49
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบ.....	52
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลจกโรงงาน.....	54
4.2 ผลการจำลองข้อมูลใน Aspen HYSYS เทียบกับข้อมูลจกโรงงานก่อนการปรับปรุงระบบโบลว์ดวอน์	57
4.3 ผลการศึกษาตัวแปรต่ง ๆ ในระบบจกแบบจำลอง.....	58
4.4 ผลการปรับปรุงระบบจริงในโรงงาน.....	63

บทที่	ฉ หน้า
สรุปผลการวิจัย.....	67
รายการอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	70
ภาคผนวก ก การคำนวณเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานกับต้นทุน.....	71
ภาคผนวก ข รายละเอียดข้อมูลทางเทคนิคอุปกรณ์หลักที่นำมาติดตั้งในระบบ.....	75
ภาคผนวก ค ตารางบันทึกข้อมูล และเอกสารอ้างอิงในการคำนวณ.....	81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	89

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	4
2.1	พิกัดความเข้มข้นของน้ำ ที่ใช้ในหม้อไอน้ำ (ไพฑูรย์ สร้อยสน, 2549)	21
2.2	ก๊าซไอเสียที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด (วัชระ มั่งวิทธิตกุล, 2550: 149)	31
2.3	การตรวจสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ด้วยตาเปล่า (วัชระ มั่งวิทธิตกุล, 2550: 149)	32
2.4	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนชนิดต่างๆ (วัชระ มั่งวิทธิตกุล, 2550: 157)	36
4.1	ข้อมูลทั่วไปของระบบไอน้ำ ที่ได้จากโรงงาน.....	54
4.2	แสดงตารางแสดงข้อมูลจากโรงงาน และคำนวณค่าการโบลว์ดาวน์เกิน	54
4.3	ผลต่างของอุณหภูมิที่ได้จากการใส่เงื่อนไขที่ประหยัดได้น้อยที่สุดของแต่ละ กรณี.....	61
4.4	ข้อมูลเพื่อใช้คำนวณต้นทุนพลังงาน.....	62
4.5	ตารางแสดงผลของอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงระบบ.....	63
4.6	ตารางแสดงการคำนวณต้นทุนของการผลิตไอน้ำ ระยะเวลาคืนทุนก่อน และ หลังการปรับปรุงระบบจริง.....	65
ก-1	แสดงต้นทุนของอุปกรณ์ และราคาติดตั้ง.....	72
ค-1	ตารางแสดงข้อมูลที่ใช้ในการจำลองระบบใน Aspen HYSYS.....	82
ค-2	ตารางไอน้ำ (Engineering data book, Spirax sarco engineering plc.).....	87

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	รูปแสดงกระบวนการผลิตสบู่ในโรงงานอุตสาหกรรม.....	7
2-2	แสดงการเกิดไอน้ำแฟลช (ฉัตรชัย นิมมล, 2548).....	9
2-3	ถังแฟลช และการใช้งาน (ฉัตรชัย นิมมล, 2548).....	9
2-4	หม้อไอน้ำ แบบท่อไฟ (ฉัตรชัย นิมมล, 2548).....	13
2-5	หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (ฉัตรชัย นิมมล, 2548).....	13
2-6	แสดงการสูญเสียความร้อนที่ผิวท่อ (ไพฑูรย์ สร้อยสน, 2549).....	17
2-7	ภาพจำลองแสดงการเกิดแคแรรีไอเวอรีในหม้อไอน้ำ.....	18
2-8	อัตราการไหลของน้ำที่ระบายทิ้ง (Blowdown) (เอกสารเผยแพร่คู่มือการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ).....	24
2-9	ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, 2548: 24).....	25
2-10	แผนภูมิสมดุลพลังงานของหม้อไอน้ำ (โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP), 2546 : 10).....	26
2-11	การสูญเสียความร้อนของหม้อไอน้ำ (โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP), 2546 :10).....	27
2-12	ตัวอย่างของระบบไอน้ำ อย่างง่าย (ฉัตรชัย นิมมล, 2548).....	28
2-13	สเต็มแท่งรูปแบบต่างๆ (ฉัตรชัย นิมมล, 2548).....	29
2-14	กราฟวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซไอเสีย (น้ำมันดีเซล) (วัชระ มั่ง วิทิตกุล, 2550: 151).....	31
2-15	กราฟวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนผ่านผนังหม้อไอน้ำ (วัชระ มั่งวิทิตกุล, 2550: 155).....	33
2-16	กราฟแสดงการหาขนาดท่อไอน้ำ ที่เหมาะสม (EDB Data, Spirax sarco).....	38
3-1	ภาพแสดงการจำลองข้อมูลในโปรแกรมก่อนทำการปรับปรุง.....	49
3-2	แสดงระบบแบบจำลองในโปรแกรม Aspen HYSYS หลังการปรับปรุงระบบ.....	51
4-1	แสดงค่าความเข้มข้นสารละลายในน้ำโบล์วดาวนก่อนการปรับปรุงระบบโบล์ว ดาวน.....	57
4-2	เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงระบบโบล์ว ดาวน.....	57

4-3	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบการจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเติมถึงน้ำ ป้อน กับอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ก่อนและหลังปรับปรุง.....	58
4-4	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบการจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคอนเดนเสท กับอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ก่อนและหลังปรับปรุง.....	59
4-5	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบการจำลองการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของคน เดนเสท กับอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ก่อนและหลังปรับปรุง.....	60
4-6	แสดงความสัมพันธ์ อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงระบบ	63
4-5	แสดงรูประบบจริงหลังการปรับปรุง.....	64
ค-1	รูปแสดงกราฟแสดงการหาค่า Kv ของวาล์วน้ำ.....	88

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
h_g	เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัว	kJ/kg
h_f	เอนทัลปีของน้ำ	kJ/kg
h_{fg}	เอนทัลปีของการระเหย	kJ/kg
$h_{r,2}$	เอนทัลปีของคอนเดนเสทที่ความดันต่ำ	kJ/kg
$h_{fg,2}$	เอนทัลปีของการระเหยที่ความดันต่ำ	kJ/kg
Q	อัตราการสูญเสียไอน้ำ	kg/hr
d	ขนาดรูรั่ว	mm
p	ความดันไอน้ำ	bar
t_i	อุณหภูมิของไหลในท่อ	K, °C
t_o	อุณหภูมิภายนอกท่อ	K, °C
R_{th}	ค่าความต้านทานความร้อน	
r_i	รัศมีของท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน	m
r_o	r_i + ความหนาของฉนวน	m
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน	w/m ² .K

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปหม้อไอน้ำ (Boiler) นับเป็นอุปกรณ์สำคัญอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม โดยในระบบหม้อไอน้ำนั้นถือได้ว่าการใช้พลังงานค่อนข้างมากการใช้พลังงานความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรมจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องนำพลังงานความร้อนไปเป็นตัวผลิตกำลังงานตามความเหมาะสมกับลักษณะของงาน ค่าความสิ้นเปลืองหรือราคาต้นทุนของการผลิตต่าง ๆ อุปกรณ์หรือเครื่องจักรต่าง ๆ ที่ใช้พลังงานความร้อนจะอาศัยสารนำพาความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ไอน้ำ น้ำมันร้อน หรือน้ำร้อน เป็นต้น ดังนั้นในด้านพลังงานความร้อน การใช้งานหม้อไอน้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้นก็เท่ากับเป็นการอนุรักษ์พลังงาน ก็คือลดพลังงานความร้อนสูญเสีย (Heat Loss) หรือนำความร้อนสูญเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะส่งผลให้หม้อไอน้ำลดการใช้เชื้อเพลิงลงอีกด้วย

บ่อยครั้งที่การใช้ไอน้ำอย่างไม่ระมัดระวังส่งผลให้ระบบมีการใช้งานไม่ดีเท่าที่ควร และประสิทธิภาพต่ำ ถึงแม้ว่าโรงงานจะมีการปรับปรุงการใช้ไอน้ำที่ดีเพียงใดก็จะมี การสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้อยู่จำนวนหนึ่ง หากการสูญเสียมีจำนวนน้อยก็เป็นสิ่งที่ยอมรับได้ สำหรับในส่วนของความร้อนที่เหลือ ถ้ามีมากพอก็ควรจะพิจารณานำความร้อนที่เหลือกลับมาใช้งานให้ดีที่สุด อย่างเช่น การนำคอนเดนเสท (Condensate) กลับมาใช้ผสมกับน้ำใหม่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำทำให้อุณหภูมิของน้ำหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นดังนั้นจึงใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำน้อยลง การนำไอเสียจากหม้อไอน้ำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำป้อนหม้อไอน้ำทำให้น้ำป้อนอุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน

นอกจากนี้ยังมีความร้อนสูญเสียซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้อีกจำนวนหนึ่งคือ การระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง หรือการโบลด์าวน์ (Blowdown) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำงานของหม้อไอน้ำเพื่อที่จะรักษาระดับค่าต่าง ๆ ของน้ำหม้อไอน้ำ เนื่องจากน้ำป้อนที่เข้าหม้อไอน้ำมีสารละลายอยู่จำนวนหนึ่ง เมื่อน้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำจะทิ้งสารละลายเหล่านี้ไว้ในหม้อไอน้ำทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น อาจจะมีอยู่ในสภาวะสารละลายและสารแขวนลอย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องควบคุมระดับความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ ขณะเดียวกันจะต้องป้อนน้ำเข้ามาทดแทนน้ำส่วนที่ระบายทิ้งโดยอัตโนมัติ ทั้งนี้เพื่อเป็นการรักษาระดับของสารละลายทั้งหมดในน้ำ (Total Dissolved Solids, TDS) หากไม่มีการโบลด์าวน์ หม้อไอน้ำอาจจะเสียหายได้ เนื่องจากมีน้ำ และ

สิ่งอื่นปะปนตลอดจนฟองอากาศติดไปกับไอน้ำทำให้ละอองน้ำจำนวนมากลอยติดไปกับไอน้ำที่เรียกว่า แครี่ โอเวอร์ (Carry over) เข้าไปในระบบท่อจนถึงกระบวนการผลิต

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบการโบลว์ดาวน์นี้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสบู่แห่งหนึ่งซึ่งพบว่าในปัจจุบันมีการโบลว์ดาวน์หม้อไอน้ำโดยการจับเวลาและให้คนไปเปิดวาล์วเพื่อรักษาระดับสารละลายในหม้อไอน้ำซึ่งวิธีนี้หากผู้ที่เปิดวาล์วทำการเปิดไว้นานเกินไปก็จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน หรือทำให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพลดลง แต่ถ้าหากปิดวาล์วเร็วเกินไปก็จะทำให้เกิดความเข้มข้นสารละลายอาจยังไม่ถึงค่ามาตรฐานที่ต้องการและทำให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะควบคุมอัตราการโบลว์ดาวน์โดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่มีการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายในหม้อไอน้ำ และมีการส่งสัญญาณไปที่วาล์วควบคุมการโบลว์ดาวน์ให้ทำงานเปิดระบายน้ำออกแบบอัตโนมัติและมีความต่อเนื่อง และมีการนำพลังงานความร้อนจากน้ำการโบลว์ดาวน์ ที่โดยปกติแล้วเมื่อทางโรงงานมีการโบลว์ดาวน์ออกมาแล้วก็จะทำการปล่อยทิ้งไปเลยอย่างน่าเสียดาย เนื่องจากน้ำโบลว์ดาวน์นั้นเป็นน้ำที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง โดยในการวิจัยครั้งนี้มีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคือ แอสเพน ไฮซิส (Aspen HYSYS) เข้ามาช่วยในการจำลองการทำงานของระบบเพื่อทำนายผลก่อนนำไปทำการติดตั้งจริง ซึ่งช่วยทำให้สามารถประมาณค่าการลงทุน และช่วยทำให้ผู้ที่ลงทุนมีข้อมูลเพียงพอต่อการตัดสินใจลงทุนมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีใช้หม้อไอน้ำได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดต้นทุนในการผลิตไอน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสบู่แห่งหนึ่ง โดยการควบคุมอัตราการโบลว์ดาวน์ให้เป็นแบบต่อเนื่องและนำกลับความร้อนเหลือทิ้งจากการโบลว์ดาวน์หม้อไอน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลระบบไอน้ำในโรงงานผลิตสบู่แห่งหนึ่ง ประกอบด้วย

- ขนาดหม้อไอน้ำ ชนิดเชื้อเพลิง ความดันของหม้อไอน้ำที่ใช้งาน
- อุณหภูมิ และปริมาณน้ำป้อนหม้อไอน้ำ
- พฤติกรรมการโบลว์ดาวน์หม้อไอน้ำ และค่าสารละลายในน้ำเติมหม้อไอน้ำ

1.3.2 นำข้อมูลมาจำลองในโปรแกรม Aspen HYSYS เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของโปรแกรม โดยมีอุปกรณ์ที่จำลองดังนี้

- ปริมาณ และอุณหภูมิน้ำเข้าถึงน้ำป้อนหม้อไอน้ำ และคอนเดนเสทที่กลับมาจากระบบ

- ปริมาณน้ำจากถังน้ำเติมเข้าถึงน้ำเข้าป้อนหม้อไอน้ำ และถึงน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

- ปริมาณ และอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ

1.3.3 เพิ่มระบบควบคุม และนำกลับพลังงานโดยมีการจำลองอุปกรณ์เพิ่มเติมในโปรแกรม Aspen HYSYS ดังนี้

- วาล์วควบคุมอัตราการไหลวาล์ว

- ถังแฟลช

- เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1.3.4 นำระบบที่จำลองจากโปรแกรม Aspen HYSYS มาทำการประยุกต์ใช้และติดตั้งตามสภาพหน้างานจริง หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ น้ำป้อนหม้อไอน้ำ และปริมาณน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อนหม้อไอน้ำ เพื่อนำมาคำนวณวิเคราะห์ผล และหาระยะเวลาดำเนินการ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 อุณหภูมิ น้ำป้อนหม้อไอน้ำสูงขึ้น เนื่องจากการนำกลับความร้อนจากการไหลวาล์วหม้อไอน้ำ

1.4.2 ปริมาณน้ำ และพลังงานความร้อนสูญเสียลดลงเนื่องจากติดตั้งระบบควบคุมอัตราการไหลวาล์วให้มีการระบายน้ำทิ้งเท่าที่จำเป็น

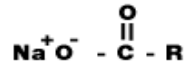
1.4.3 เป็นข้อมูลในการลงทุนด้านการประหยัดพลังงานให้โรงงานอื่นๆ ต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตสบู่

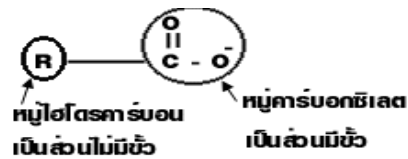
คือ เกลือโซเดียมของกรดไขมัน มีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ



โครงสร้างของสบู่

โมเลกุลของสบู่ ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่

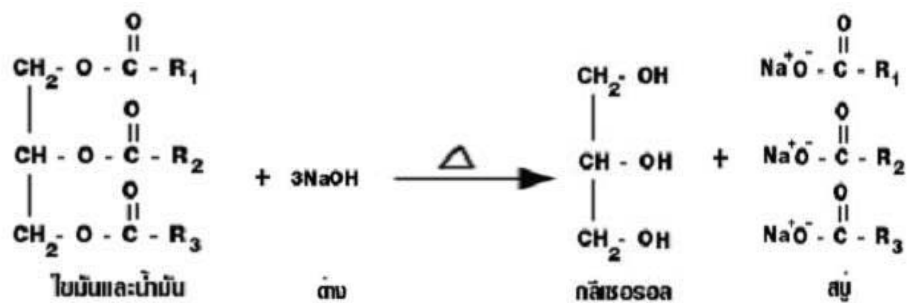
- ส่วนที่ไม่มีขี้ เป็นด้านของไฮโดรคาร์บอน
- ส่วนที่มีขี้ เป็นด้านของโซเดียมคาร์บอกซิเลต ($-\text{COO}^-\text{Na}^+$)



สบู่ที่ดีควรมีจำนวน C อะตอมในหมู่ R พอเหมาะ จะเป็นสบู่ที่ละลายน้ำได้ดี

ปฏิกิริยาการเกิดสบู่

เรียกว่า ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) เป็นปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสไขมัน และน้ำมันด้วยเบส เกิดเกลือของกรดไขมัน (สบู่) กับกลีเซอรอล ดังนี้



ชนิดของสบู่

สบู่มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่ใช้ โดยทั่วไปจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 9.0-10.0

1) สบู่ก้อน (Hard soap) ลักษณะเป็นก้อนสีขาวหรือเทาขาวเมื่อเวลาแห้ง และเย็น มีโซดาเป็นส่วนประกอบหลัก และมีเกลือโปแตสเซียมของกรดไขมัน ใช้สำหรับภายนอกเท่านั้น

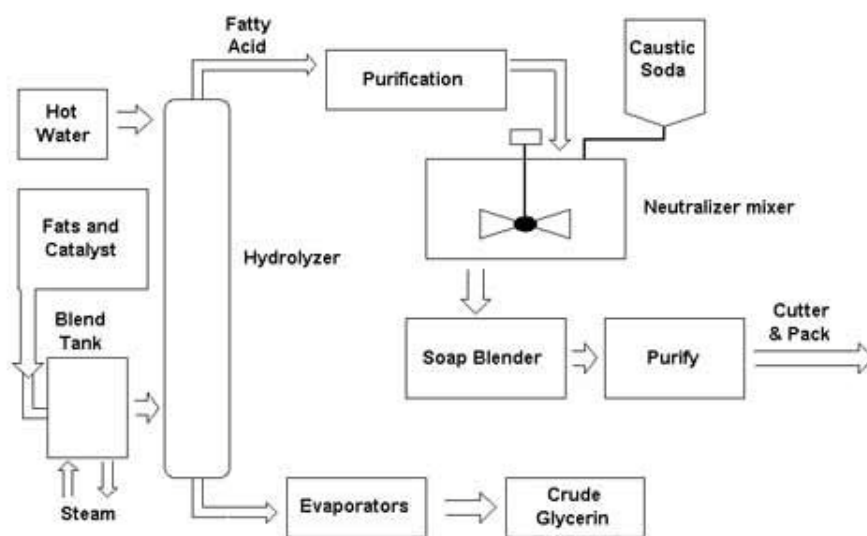
2) สบู่ชนิดอ่อน (Soft soap) ลักษณะคล้ายน้ำผึ้งหรือเยลลี่ (Jelly) สีเหลืองใสทำด้วยน้ำมันมะกอกและโซดา

3) สบู่เหลว (Liquid soap) มีส่วนผสมของเกลือโปแตสเซียมของกรดไขมัน และอาจมีส่วนผสมของน้ำมันมะกอก เมล็ดถั่ว เมล็ดฝ้าย

4) ซินเดท (Synndet) เป็นสบู่ที่มีส่วนผสมของสาร ที่ให้ความชุ่มชื้นกับผิวหนัง

กระบวนการผลิตสบู่ในอุตสาหกรรมทำได้โดยผสมไขมันหรือน้ำมันกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และให้ความร้อนโดยการผ่านไอน้ำลงไปในสารผสมเป็นเวลา 12 – 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงเติมโซเดียมคลอไรด์ลงไปเพื่อแยกสบู่ออกจากสารละลาย ทำสบู่ให้บริสุทธิ์ ผสมน้ำหอมหรือสีลงไปเพื่อให้ได้กลิ่นหรือสีตามที่ต้องการ แล้วทำให้เป็นก้อนเพื่อจำหน่ายต่อไป กลีเซอรอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทำสบู่จะแยกออกจากสารละลาย และนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง พลาสติก และใช้เป็นสารให้รสหวานในอาหารหรือยา

สังเกตได้ว่าในอุตสาหกรรมผลิตสบู่มีการใช้ไอน้ำซึ่งอยู่ในขั้นตอนของกระบวนการผลิตที่สำคัญ คือในกระบวนการที่เป็นปฏิกิริยาการเกิดสบู่ ดังนั้นหม้อไอน้ำจึงนับว่าเป็นต้นกำลังหลักในกระบวนการผลิตสบู่ ซึ่งหากสามารถลดต้นทุนในการผลิตไอน้ำก็ถือว่าเป็นการประหยัดต้นทุนในการผลิตสบู่ได้อีกทางด้วย



Process diagram of Soap

รูปที่ 2-1 รูปแสดงกระบวนการผลิตสบู่ในโรงงานอุตสาหกรรม

(<http://www.vinythai.co.th/ourchemicalproducts/causticsoda/mkt1soapdetergent>)

2.2 ระบบไอน้ำ

คำจำกัดความของไอน้ำ

ไอน้ำ คือ น้ำในสถานะก๊าซที่เกิดขึ้นจากการที่น้ำในสถานะของเหลวได้รับความร้อนภายในหม้อไอน้ำ (Boiler) กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำจากของเหลวไปเป็นก๊าซสามารถอธิบายได้ดังนี้

ในช่วงแรก เมื่อน้ำในสถานะของเหลวได้รับความร้อนที่ความดันคงที่ค่าหนึ่ง อุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิอิ่มตัว (Saturation temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่น้ำพร้อมจะเดือดหรือระเหย อุณหภูมิตัวของน้ำจะสัมพันธ์กับความดัน โดยอุณหภูมิอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ในช่วงนี้น้ำจะอยู่ในรูปของความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ที่ปัจจุบันมักเรียกว่าเอนทัลปีของน้ำ (Enthalpy of water: h_f) ซึ่งเป็นความร้อนที่ทำให้น้ำที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิอิ่มตัว ณ ความดันคงที่ค่าหนึ่ง เช่น ที่ความดันบรรยากาศ (0 บาร์เกจ) จะต้องใช้ความร้อน 419.04 กิโลจูล ในการทำน้ำ 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิเพิ่มจาก 0 องศาเซลเซียส ไปสู่อุณหภูมิอิ่มตัว (100 องศาเซลเซียส) เป็นต้น

ช่วงที่สอง เมื่อยังคงให้ความร้อนแก่น้ำต่อไปจะทำให้มีบางส่วนเริ่มระเหย กลายเป็นไอการระเหยของน้ำจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งน้ำในสถานะของเหลวกลายเป็นไอทั้งหมด โดยจะเรียกไอน้ำในสถานะนี้ว่าไอน้ำอิ่มตัว (Saturated steam) ในช่วงของการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวเป็นไอ อุณหภูมิและความดันของน้ำจะไม่เปลี่ยนแปลง ความร้อนที่ถ่ายเทให้แก่น้ำในช่วงนี้จะอยู่ในรูปของความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization) ที่ปัจจุบันมักเรียกว่า เอนทัลปีของการระเหย (Enthalpy of evaporation: h_{fg}) ซึ่งเป็นความร้อนที่ทำให้น้ำซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำอิ่มตัว ณ ความดันคงที่ ในทางกลับกันไอน้ำอิ่มตัวจะควบแน่น (Condense) กลายเป็นน้ำที่ยังคงอุณหภูมิสูงอยู่ซึ่งมักเรียกกันว่า คอนเดนเสท (Condensate) หากมีการถ่ายเทความร้อนในปริมาณดังกล่าวออกไป

สำหรับค่าเอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัว (Enthalpy of saturated steam: h_g) ซึ่งแสดงถึงปริมาณความร้อนทั้งหมดของไอน้ำอิ่มตัวจะเป็นผลรวมระหว่างเอนทัลปีของน้ำและเอนทัลปีของการระเหย กล่าวคือ

$$h_g = h_f + h_{fg}$$

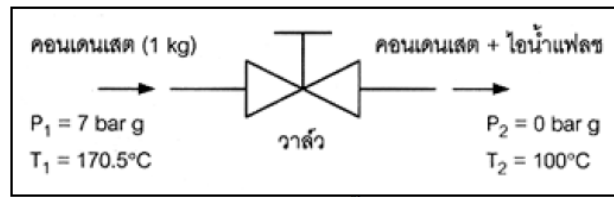
$$h_g = \text{เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัว, กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg)}$$

$$h_f = \text{มวลของเอนทัลปีของน้ำ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg)}$$

$$h_{fg} = \text{มวลของเอนทัลปีของการระเหย, กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg)}$$

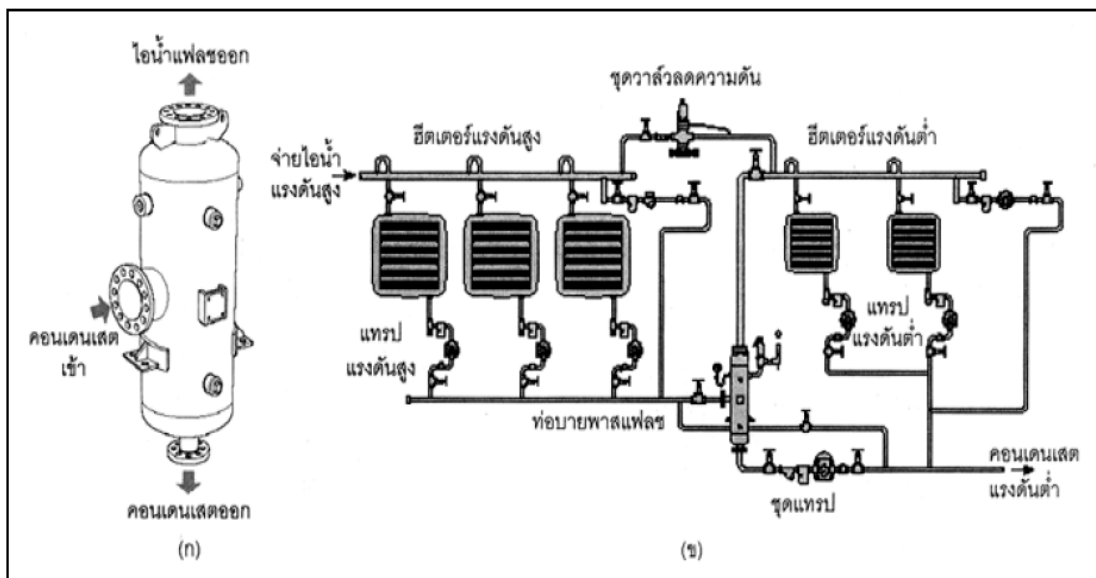
ช่วงสุดท้าย หากไอน้ำอิ่มตัวได้รับความร้อนต่อไปอีก อุณหภูมิของไอน้ำจะไม่คงที่ที่อุณหภูมิอิ่มตัวอีกต่อไปแต่จะเพิ่มเรื่อย ๆ ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะไม่สัมพันธ์กับความดัน โดยจะเรียกไอน้ำอุณหภูมิสูงอิ่มตัวว่า ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated steam) ปฏิบัติ สมบัติของไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันค่าต่างๆ อันได้แก่ อุณหภูมิอิ่มตัว เอนทัลปี และปริมาตรจำเพาะได้ถูกรวบรวมไว้ในรูปของตารางที่เรียกว่า ตารางไอน้ำ (Steam tables) (ภาคผนวก ค)

ไอน้ำแฟลช (Flash steam) คือ ไอน้ำที่เกิดจากการระเหยของคอนเดนเสทซึ่งมีอุณหภูมิสูงเมื่อคอนเดนเสทนั้นถูกลดความดันลง การเกิดไอน้ำแฟลชสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2-2 แสดงการเกิดไอน้ำแฟลช (ฉัตรชัย นิยมมล, 2548)

พิจารณาคอนเดนเสท 1 กิโลกรัม ซึ่งมีความดัน 7 บาร์เกจ และมีอุณหภูมิอิ่มตัว $T_1 = 170.5$ องศาเซลเซียส ที่ไหลผ่านวาล์ว (Valve) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยคอนเดนเสทที่สภาวะดังกล่าวจะมีเอนทัลปี (h_1) หรือปริมาณความร้อนเท่ากับ 721.4 กิโลจูล (จากตารางไอน้ำอิ่มตัว) แต่ตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน ปริมาณความร้อนของคอนเดนเสทที่ไหลออกจากวาล์วจะต้องมีค่าเท่ากับ 721.4 กิโลจูลด้วย แต่ในความเป็นจริง เอนทัลปีหรือปริมาณความร้อนของคอนเดนเสทซึ่งไหลออกจากวาล์วที่ความดัน 0 บาร์เกจ (ความดันบรรยากาศ) กลับมีเพียง 419.06 กิโลจูล เท่านั้น จะเห็นว่ามีเอนทัลปีหรือความร้อนของคอนเดนเสทหายไป 302.34 กิโลจูล (จาก $721.4 - 419.06$) โดยเอนทัลปีหรือความร้อนที่หายไปนี้จะถูกใช้ในการระเหยคอนเดนเสทบางส่วนที่ความดัน 0 บาร์เกจ ซึ่งปรากฏการณ์ลักษณะนี้เรียกว่า การแฟลช (Flashing) ไอน้ำแฟลชจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ความดันสูงมีค่ามากกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวที่ความดันต่ำ (T_1 ต้องมากกว่า T_2)



รูปที่ 2-3 ถึงแฟลช และการใช้งาน (ฉัตรชัย นิยมมล, 2548)

ไอน้ำแฟลชถือเป็นไอน้ำที่มีคุณลักษณะเช่นเดียวกับไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำซึ่งยังคงมีปริมาณความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการทางความร้อนได้ จะเห็นว่าการนำไอน้ำแฟลชมาใช้จะช่วยลด ต้นทุนในการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำได้ในทางปฏิบัติ การใช้ประโยชน์จากไอน้ำแฟลชจะกระทำโดยการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ถังแฟลช (Flash tank) ดังรูปที่ 2 แสดงลักษณะของถังแฟลชและตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากไอน้ำแฟลช สำหรับปริมาณของไอน้ำแฟลชที่เกิดขึ้นซึ่งแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ (%Flash steam) สามารถหาได้จาก

$$\% \text{ ไอน้ำแฟลช} = \left(\frac{h_{f,1} - h_{f,2}}{h_{fg,2}} \right) \times 100\% \quad (2.1)$$

$h_{f,2}$ = เอนทัลปีของคอนเดนเสท ที่ความดันต่ำ (P2), kJ/kg

$h_{fg,2}$ = เอนทัลปีของการระเหยที่ความดันต่ำ, kJ/kg

2.2.1 หม้อไอน้ำ

คำจำกัดความ

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตไอน้ำซึ่งใช้กันมากในหลายด้าน ถ้าให้คำจำกัดความจะได้ดังนี้หม้อไอน้ำหมายถึง อุปกรณ์สำหรับผลิตไอน้ำโดยใส่น้ำเข้าไปในภาชนะทนความดันซึ่งปิดมิดชิดแล้วให้ความร้อนแก่น้ำด้วยเปลวไฟซึ่งได้จากการสันดาปเชื้อเพลิงจากภายนอก สามารถผลิตไอน้ำให้ได้ความดันและอุณหภูมิตามต้องการ

2.2.1.1 การจำแนกประเภทของหม้อไอน้ำ (ไพฑูรย์ สร้อยสน, 2549)

หม้อไอน้ำสร้างขึ้นมาจากจุดประสงค์เดียวกัน คือ ผลิตไอน้ำแต่ไอน้ำที่ผลิตได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่างกัน ดังนั้นการออกแบบหม้อไอน้ำจึงมีอยู่หลายแบบตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งานหม้อไอน้ำสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

- 1) แบ่งตามลักษณะการวางแนวแกนของเปลือกหม้อไอน้ำ หม้อไอน้ำแบบตั้งแนวแกนของเปลือกหม้อไอน้ำจะวางอยู่ในแนวตั้ง ถ้าแนวแกนของเปลือกหม้อไอน้ำอยู่ในแนวนอนเรียกว่าหม้อไอน้ำแบบนอน
- 2) แบ่งตามลักษณะการใช้งาน หม้อไอน้ำที่ออกแบบใช้งานสำหรับรถไฟเรียกว่าหม้อไอน้ำรถไฟ หม้อไอน้ำที่ออกแบบใช้งานในเรือเรียกว่าหม้อไอน้ำแบบเรือ ปัจจุบันหม้อไอน้ำทั้ง

สองแบบได้ถูกนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่นโรงเลื่อยไม้ โรงงานหล่อดอกยางรถยนต์ เป็นต้น

3) แบ่งตามตำแหน่งเตา การแบ่งหม้อไอน้ำแบบนี้พิจารณาถึงตำแหน่งของเตาว่า อยู่ภายในเปลือกหม้อไอน้ำหรือเตาอยู่ภายนอกเปลือกหม้อไอน้ำ

4) แบ่งตามน้ำหรือแก๊สร้อนที่อยู่ภายในท่อ จะพิจารณาที่ท่อ ถ้ามีน้ำอยู่ภายในท่อเรียกว่าหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube) ถ้ามีแก๊สวิ่งอยู่ในท่อเรียกว่าหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube)

5) หม้อไอน้ำที่สร้างขึ้นมาเป็นพิเศษ เช่น หม้อไอน้ำไฟฟ้า โดยทั่วไปจะมีขนาดเล็ก ใช้ความดันต่ำกว่า 10 กก/ตารางเซนติเมตร ใช้เวลาในการเดินเครื่องน้อยก็จะได้ความดันตามที่ต้องการไม่มีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมแต่ราคาแพงและกินกระแสมาก เนื่องจากหม้อไอน้ำจำแนกได้หลายประเภท แต่ละประเภทยังแบ่งได้เป็นหลายแบบ แต่เพื่อความเหมาะสมในการเปรียบเทียบและการใช้งานในปัจจุบันจึงแบ่งหม้อไอน้ำตามน้ำหรือแก๊สร้อนที่อยู่ในท่อ ดังต่อไปนี้

ก. หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler) หลักการทำงาน อากาศร้อนไหลในท่อซึ่งรอบ ๆ ท่อ ล้อมรอบด้วยน้ำ โดยปกติหม้อไอน้ำขนาดเล็กที่มีความดันไม่เกิน 18 bar และสามารถผลิตไอน้ำได้ไม่เกิน 11.5 ตัน/ชม. ไอน้ำที่ผลิตได้เป็นแบบไอน้ำอิ่มตัวเท่านั้น แบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้ 2 แบบคือ

- ห้องเผาไหม้อยู่นอกหม้อไอน้ำ

- ห้องเผาไหม้อยู่ภายในหม้อไอน้ำ

ข. หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler) เนื่องจากหม้อไอน้ำแบบนี้ น้ำไหลในท่อ น้ำที่ใช้ ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน มิฉะนั้นอายุการใช้งานจะสั้นและมีการอุดตันใน ท่อได้ง่าย มักใช้กับหม้อ ไอน้ำขนาดใหญ่ ความดันสูง กำลังการผลิตสูงถึง 450 ตัน/ชั่วโมง หม้อไอน้ำ แบบนี้สามารถแบ่งตามลักษณะ โครงสร้างท่อได้ 2 แบบ คือ

- หม้อไอน้ำชนิดท่อตรง หม้อไอน้ำชนิดนี้ท่อน้ำมีลักษณะตรงแต่จะวางตั้ง เอียงหรือขวางก็ได้

- หม้อไอน้ำชนิดท่ออก หม้อไอน้ำชนิดนี้มีข้อดีคือสามารถสร้างให้ทนความดันสูง ๆ ได้

2.2.1.2 โครงสร้างของหม้อไอน้ำ

1) เปลือกหม้อไอน้ำ หมายถึง เปลือกเหล็กที่ห่อหุ้มหม้อไอน้ำซึ่งภายในมีน้ำ และไอน้ำอยู่ ไม่รวมอิฐหรือ ฉนวนหุ้ม

2) ฉนวนหน้าและฉนวนหลังเป็นแผ่นเหล็กที่ใช้ปิดหัวและท้ายเปลือกหม้อไอน้ำจะทำได้ด้วยเหล็กชนิดเดียว กันกับที่ทำเปลือกหม้อไอน้ำแต่จะมีความหนามากกว่า

3) ท่อไฟใหญ่หรือลูกหมู หมายถึงท่อแก๊สร้อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 6 นิ้ว หม้อไอน้ำบางแบบท่อไฟใหญ่จะทำหน้าที่เป็นห้องเผาไหม้ด้วยแก๊สร้อนที่ท่อไฟใหญ่อุณหภูมิไม่ควรเกิน 850°F หน้าที่หลักของท่อไฟใหญ่คือถ่ายความร้อนที่ได้รับจากแก๊สร้อนไปยังน้ำ

4) ท่อไฟเล็กหรือหลอดไฟ เป็นท่อให้แก๊สร้อนผ่านมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 6 นิ้ว วัสดุที่ใช้สร้างมีจุดหลอมละลายสูงถึง 2500°F โดยทั่วไปความร้อนของแก๊สร้อนที่ผ่านท่อไฟเล็ก อุณหภูมิสูงไม่ถึงจุดหลอมละลายของท่อไฟเล็ก

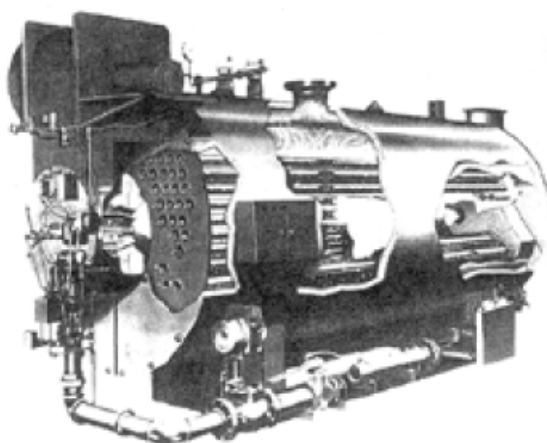
5) เหล็กยึดโยงหรือสเตย์เหล็กยึดโยงจะทำหน้าที่ ยึดฉนวนหน้าและฉนวนหลังของหม้อไอน้ำให้คงสภาพเดิมไม่แยกจากเปลือกหม้อไอน้ำ

6) ช่องคนลอด ช่องมือลอด และช่องทำความสะอาด ช่องคนลอดมีไว้สำหรับเป็นช่องทางให้คนสามารถเข้าไปทำความสะอาดภายในหม้อไอน้ำเพื่อตรวจสอบหรือซ่อมแซมหรือทำความสะอาดภายในหม้อไอน้ำ (ส่วนที่สัมผัสน้ำ) สำหรับช่องมือลอดมีไว้สำหรับเป็นช่องทางทำความสะอาดและใช้สายตาตรวจสอบโครงสร้างภายในหม้อไอน้ำซึ่งจะมีขนาดเล็กกว่าช่องคนลอด ส่วนช่องทำความสะอาดจะมีขนาดเล็กกว่าช่องมือลอดมีไว้สำหรับทำความสะอาดและดูโครงสร้างภายในหม้อไอน้ำ

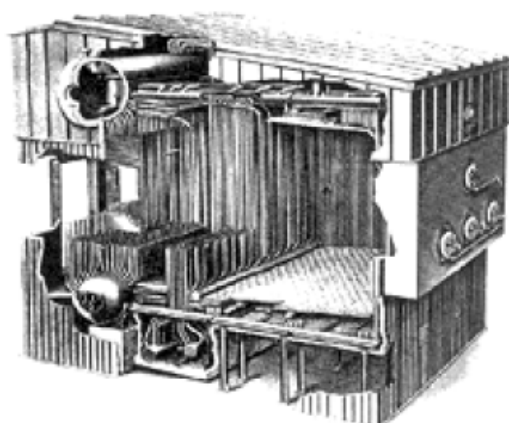
7) ห้องสันดาปหรือห้องเผาไหม้หรือเตา ห้องสันดาปเป็นที่ทำการสันดาปเชื้อเพลิงด้วยอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ อุปกรณ์สันดาปที่ใช้จะแตกต่างกันตามชนิดของเชื้อเพลิงที่ต้องสันดาป สำหรับเชื้อเพลิงแข็งจะใช้ตะแกรงไฟ (Fire-grate) ส่วนเชื้อเพลิงเหลวและถ่านผงจะใช้หัวเผา (Burner) ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงจะอยู่ภายในหรือภายนอกหม้อไอน้ำก็ได้ ห้องเผาไหม้เป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงสุดของหม้อไอน้ำ

8) ตัวหม้อไอน้ำ ตัวหม้อไอน้ำประกอบด้วยถังทรงกระบอก (Drum) และท่อ น้ำ ตัวหม้อไอน้ำเป็นที่ผลิตน้ำร้อนหรือไอน้ำที่มีความดันตามกำหนดโดยให้ความร้อนแก่น้ำภายในตัว หม้อไอน้ำด้วยแก๊สอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

9) ปล่องไฟ ปล่องไฟทำหน้าที่นำแก๊สร้อนที่ผ่านหม้อไอน้ำออกไปภายนอก



รูปที่ 2-4 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (จักรชัย นิยมกล, 2548)



รูปที่ 2-5 หม้อไอน้ำแบบน้ำ (จักรชัย นิยมกล, 2548)

2.2.1.3 อุปกรณ์เบ็ดเตล็ดของหม้อไอน้ำ

เนื่องจากหม้อไอน้ำมีหลายชนิดหลายแบบ ดังนั้นจึงยากที่จะยากอธิบายถึง ส่วนประกอบของหม้อไอน้ำแยกตามชนิดหรือแบบได้ ในที่นี้จึงรวบรวมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดมากับ

หม้อไอน้ำที่มีความจำเป็นต่อการใช้ เพื่อให้ผู้ควบคุมการใช้หม้อไอน้ำนั้น ๆ อ่านเกจและปรับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ถูกต้อง

1) เครื่องวัดระดับน้ำ จะทำหน้าที่แจ้งระดับน้ำแท้จริงภายในหม้อไอน้ำเพื่อให้ทราบระดับน้ำเลี้ยงตลอดเวลา ระดับน้ำในหม้อไอน้ำมีการเคลื่อนไหวขึ้นลงตลอดเวลาที่ใช้งาน ระดับน้ำจะเริ่มขึ้นหรือลงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำและอัตราการผลิตไอน้ำ

2) เกจวัดความดันไอน้ำ จะทำหน้าที่วัดความดันไอน้ำภายในหม้อไอน้ำเป็นบาร์ เกจ

3) ลิ้นหรือวาล์ว วาล์วที่ใช้กับหม้อไอน้ำมีหลายชนิดตามความเหมาะสมของงานที่ใช้โดยมีรายละเอียด ของวาล์วแต่ละชนิด ดังนี้

ก. โกลบวาล์ว (Globe valve) เหมาะที่จะใช้งานที่ต้องปิด-เปิดอย่างช้า ๆ วาล์วชนิดนี้มีความเสียดทานสูงมักจะใช้เป็นวาล์วจ่ายไอน้ำ

ข. ปลั๊กวาล์ว (Plug valve) เหมาะสำหรับงานที่ต้องการปิด-เปิดเร็ว วาล์วชนิดนี้มีความเสียดทานต่ำ พบมีการใช้เป็นวาล์วหล่อดักแก้วและวาล์วถ่ายน้ำ

ค. เกทวาล์ว (Gate valve) เหมาะสำหรับงานที่ต้องการปิด-เปิดไม่เร็วเกินไป ทิศทางการไหลผ่านตรงทำให้มีความเสียดทานต่ำ

ง. บอลวาล์ว (Ball valve) เหมาะสำหรับงานที่ต้องการปิด-เปิดเร็ว เช่นเดียวกับปลั๊กวาล์วแต่มีความต้านทานต่ำกว่า มักใช้เป็นวาล์วถ่ายน้ำและวาล์วท่อน้ำเข้า

จ. วาล์วกันกลับหรือเช็ควาล์ว (Check valve) จะยอมให้ของไหลไหลผ่านไปได้อย่างเดียวแต่ย้อนกลับไม่ได้

ฉ. วาล์วลดความดัน (Pressure reducing valve) จะทำหน้าที่ควบคุมความดันหรือลดความดันของไอน้ำที่หม้อไอน้ำจ่ายมาให้เหมาะสมกับงานที่ใช้

2.2.1.4 ระบบส่งน้ำเข้าหม้อไอน้ำ

ระบบส่งน้ำเข้าหม้อไอน้ำ มีส่วนประกอบดังนี้

1) อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำ ใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมที่จะใช้กับหม้อไอน้ำ

2) ถังพักน้ำ ใช้สำหรับเก็บสำรองน้ำที่จะจ่ายให้กับหม้อไอน้ำ

3) มาตรวัดปริมาณน้ำ ใช้วัดปริมาณน้ำที่ส่งเข้าหม้อไอน้ำเพื่อที่จะได้ทราบปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับหม้อไอน้ำในระยะเวลาหนึ่ง ๆ

4) เครื่องสูบน้ำหรือปั๊มน้ำ ทำหน้าที่ส่งน้ำจากถังพักน้ำเข้าหม้อไอน้ำ เครื่องสูบน้ำต้องมีความสามารถส่งน้ำเข้าหม้อไอน้ำได้มากกว่าอัตราการผลิตไอน้ำ นอกจากนี้เครื่องสูบน้ำต้องสามารถอัดน้ำให้มีความดันสูงกว่าความดันใช้งานของหม้อไอน้ำอย่างน้อย 1.5 เท่า

5) เกจวัดความดันน้ำ ปกติจะติดตั้งไว้ที่ท่อระหว่างเครื่องสูบน้ำกับหม้อไอน้ำ สามารถใช้หาความผิดปกติของระบบส่งน้ำเข้าหม้อไอน้ำได้โดยการอ่านจากเกจวัดความดัน

2.2.1.5 ระบบเชื้อเพลิงและการเผาไหม้

ระบบเชื้อเพลิงและการเผาไหม้มีอุปกรณ์ ดังนี้

1) หัวฉีดน้ำมัน (Burner) หม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันเตาหรือน้ำมันดีเซลจะต้องใช้หัวฉีดเป็นตัวพ่นน้ำมันให้เป็นฝอยเพื่อจะได้ลุกไหม้ได้ง่าย หัวฉีดน้ำมันมีหลายแบบ ดังนี้

ก. แบบใช้ลมหรือไอน้ำสเปรย์น้ำมันให้เป็นฝอย (Atomizer)

ข. แบบใช้ความดันของน้ำมันสเปรย์น้ำมันให้เป็นฝอย (Nozzle)

ค. แบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสเปรย์น้ำมันให้เป็นฝอย (Rotary cup)

2) ปั๊มเชื้อเพลิง ทำหน้าที่ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังเก็บเข้าสู่หัวฉีดในหม้อไอน้ำ

3) เครื่องอุ่นน้ำมัน (Oil heater) จะให้ความร้อนที่ได้จากไอน้ำหรือไฟฟ้าอุ่นน้ำมันเตาให้มีความหนืดน้อยลง เพื่อสะดวกต่อการส่งเข้าหัวฉีดและทำให้ฉีดน้ำมันเป็นฝอยดีขึ้น

4) พัดลม (Fan) ทำหน้าที่ป้อนลมเข้าห้องเผาไหม้

5) กระจกดูการเผาไหม้ (Deep hole) ใช้สำหรับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและ ทราบทิศทางของเปลวไฟเพื่อจะได้ปรับแต่งหัวฉีดให้มีส่วนผสมเหมาะสม

2.2.1.6 อุปกรณ์ระบายสิ่งสกปรกที่ผิวน้ำ

หม้อไอน้ำถึงแม้จะมีโครงสร้างที่แข็งแรงและส่วนประกอบที่จำเป็นแล้วยังเกิด อันตรายได้จึงต้องติดตั้งอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานมาก ขึ้น อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยของหม้อไอน้ำมีดังนี้

1) ลิ้นนิรภัยหรือโพลีหรือเซฟตีวาล์ว (Safety valve) เป็นอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยที่สำคัญที่สุดของหม้อไอน้ำ ทำหน้าที่ระบายไอน้ำออกจากหม้อไอน้ำเมื่อความดันในหม้อ ไอน้ำสูงกว่าที่กำหนดเพื่อป้องกันไม่ให้หม้อไอน้ำระเบิด

2) ปลั๊กหลอมละลายหรือสะดือหม้อไอน้ำ (Fusible plug) จะติดตั้งไว้บริเวณห้อง เผาไหม้ หรือบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ปลั๊กหลอมละลายจะทำงานเมื่อระดับน้ำต่ำจนเกือบถึงจุด อันตราย สารที่อุดปลั๊กหลอมละลายมีจุดหลอมละลายต่ำ (ประมาณ 235°C) จะหลอมละลายทำ ให้ไอน้ำหรือน้ำภายในหม้อไอน้ำไหลออกมาดับไฟ

3) เครื่องควบคุมระดับน้ำ (Water level control) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายน้ำเข้า หม้อไอน้ำเพื่อรักษาระดับน้ำภายในหม้อไอน้ำให้อยู่ในช่วงที่กำหนด

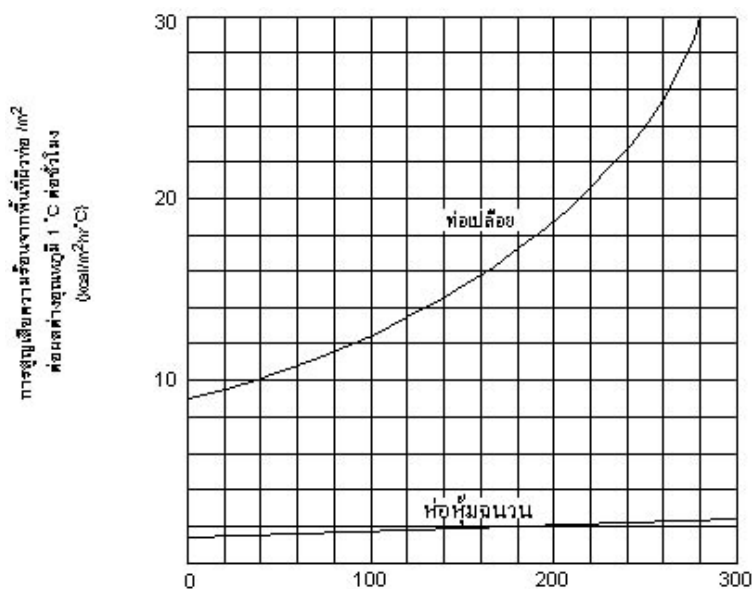
4) สัญญาณเตือนภัยอัตโนมัติ (Automatic alarm) เป็นอุปกรณ์สำหรับแจ้ง อันตรายเมื่อน้ำในหม้อไอน้ำมีน้อยกว่าที่ใช้งานปกติ

5) สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure control switch) สวิตช์ควบคุมความดัน ทำงานโดยอาศัยความดันของไอน้ำไปกระทำต่อเบลโลว์ล (Bellows) ที่ควบคุมหัวฉีดน้ำมัน ถ้าตั้ง สวิตช์ควบคุมความดันให้มีความดันแตกต่างกันมากไปทำให้ความดันไอน้ำที่จะนำไปใช้งานไม่ สม่าเสมอ แต่ถ้าตั้งให้มีความดันแตกต่างกันน้อยไปจะทำให้หัวฉีดทำงานบ่อยอาจชำรุดได้ง่าย

6) ฝานิรภัย (Access door) หม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวควรมีฝานิรภัยเพื่อช่วย ป้องกันแรงกระแทก ขณะเริ่มต้นติดไฟในห้องเผาไหม้ไม่ให้ทำอันตรายต่อห้องเผาไหม้

2.2.1.7 คำนวณกันความร้อน

คำนวณกันความร้อนใช้สำหรับท่อหุ้มเปลือกหม้อไอน้ำหรือท่อจ่ายไอเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน



รูปที่ 2-6 แสดงการสูญเสียความร้อนที่ผิวท่อ (ไพฑูริย์ สร้อยสน, 2549)

2.2.1.8 การปรับสภาพน้ำดิบ

น้ำดิบ หมายถึง น้ำที่จะใช้ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ โดยปกติ น้ำดิบที่ใช้มาจากแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีสิ่งเจือปน เมื่อสิ่งสกปรกเหล่านี้เข้าไปในหม้อไอน้ำ จะเกิดการจับตัวบนผนังที่ถ่ายเทความร้อนของเครื่องจักร ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน การพาและการนำลดต่ำลง หรือธาตุบางอย่างอาจทำปฏิกิริยากับวัสดุที่ทำเครื่องก็ได้ ฉะนั้นเพื่อป้องกันปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรจึงต้องทำการปรับแต่งสภาพของน้ำดิบก่อนเข้าเครื่องจักร ตามลักษณะงานที่ใช้

1) สารเจือปนในน้ำดิบ น้ำดิบที่จะนำมาปรับสภาพขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำซึ่งสารเจือปนที่มีอยู่ในน้ำมีหน่วยวัดเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/lit) หรือ ส่วนต่อล้านส่วน (ppm) ซึ่งบางครั้งก็ใช้หน่วยใหญ่ขึ้นคือ grain

ก. การรายงานการวิเคราะห์สารเจือปนในน้ำดิบ มักนิยมรายงาน 3 แบบด้วยกัน คือ

- ในรูปของธาตุ เช่น Ca, Mg, Na(HC₃) เป็นต้น

- ในรูปของสารประกอบ เช่น $MgCO_3$, $CaSO_4$, $CaCO_3$ เป็นต้น

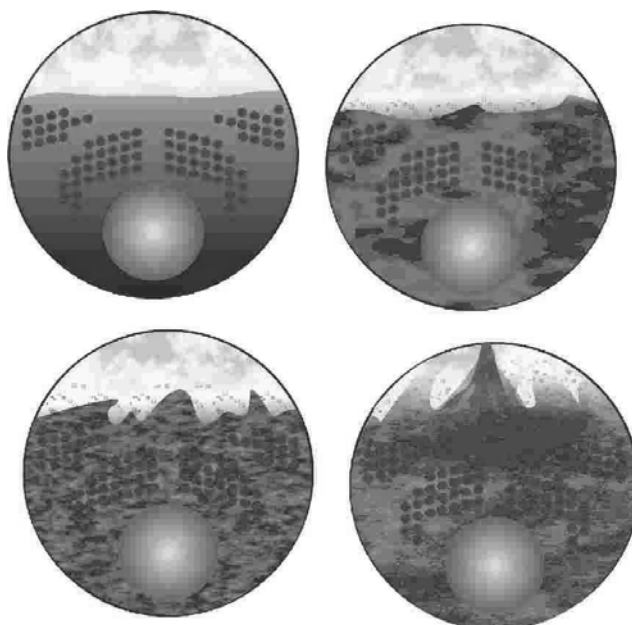
- ในรูปของความกระด้าง เช่น ความกระด้างของ $CaCO_3$

ข. สารเจือปนที่อยู่ในน้ำดิบ ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับหม้อไอน้ำได้ 4 ประการ ดังนี้

- การเกิดตะกอน (Scale formation) ทำให้การถ่ายเท ความร้อนไม่ดีเป็นเหตุทำให้เกิดความร้อนสูงเกินไป

- เกิดการกัดกร่อน (Corrosion) ทำให้เนื้อโลหะบางลง สาเหตุเกิดจากแก๊สที่ปนมากับน้ำที่สำคัญ 2 ตัวคือออกซิเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์

- เกิดแครี่โอเวอร์ (Carry over) หรือการเดือดพล่าน (Foaming) เนื่องจากการเดือดเป็นฟองของน้ำภายในหม้อไอน้ำ การเกิดแครี่โอเวอร์จะเกิดผลเสียกับภาชนะที่ใช้ไอน้ำ โดยเฉพาะในด้านการกัดกร่อนและปัญหาทางปฏิกิริยาทางเคมี



รูปที่ 2-7 ภาพจำลองแสดงการเกิดแครี่โอเวอร์ในหม้อไอน้ำ

(http://www.steamline.com/steam_pathshala/chemistry.html)

- เกิดการแตกร้าวในเนื้อโลหะที่ใช้สร้างหม้อไอน้ำ เกิดจากการสร้างหม้อไอน้ำที่มีความเค้นสูงสุดตรงรูที่เจาะเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกร้าวได้ง่าย

2.2.1.9 วิธีการกำจัดสิ่งเจือปนออกจากน้ำ

ก. การกำจัดสารแขวนลอย

การทิ้งให้นอนก้น (Sedimentation) คือการพักน้ำในบ่อพักโดยปล่อยให้ น้ำเข้าบ่อพักและทิ้งให้น้ำอยู่นิ่งตามระยะเวลาที่ตะกอนนั้น ๆ จะนอนก้น ส่วนน้ำที่สะอาดก็ระบายออกใช้ทางส่วนบนของบ่อ

การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Coagulation) โดยการเติมสารเคมีเพื่อช่วยการตกตะกอนเช่นสารส้ม, เกลืออลูมิเนียม, เกลือเหล็กต่าง ๆ ปฏิกริยาของเกลือเหล่านี้จะทำให้เกิดตะกอนหนักตกแยกออกมา

การกรอง (Filtration) เป็นการแยกเอาตะกอนออกโดยผ่านพวงทรายหรือพวงแขวนลอยบนทรายหรือต่างเหล่านี้ ดังนั้นต้องมีการล้างออกโดยวิธีย้อนกลับทาง (Backwash)

ข. การกำจัดแก๊สที่ละลายอยู่ในน้ำ แก๊สที่ละลายอยู่ในน้ำได้แก่ CO_2 , H_2S , O_2 และแก๊สอื่น ๆ การกำจัดโดยใช้ Degasification หรือ Deaerator ก่อนที่จะนำไปใช้

ค. การกำจัดสารที่ทำให้เกิดตะกอน ตัวที่ทำให้เกิดตะกอนคือ เกลือบางชนิดของแคลเซียมและแมกนีเซียม เกลือเหล่านี้เมื่อละลายอยู่ในน้ำจะทำให้ น้ำกระด้าง น้ำกระด้างมี 2 ชนิดคือ น้ำกระด้างชั่วคราวเป็นเกลือไบคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียมและน้ำกระด้างถาวรจะเป็นเกลือคลอไรด์หรือเกลือซัลเฟตของแคลเซียมและแมกนีเซียม การทำน้ำกระด้างให้อ่อนลงจะสามารถป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนได้ การทำน้ำให้หายกระด้างหรือทำน้ำให้อ่อนเรียกว่า Softening การกำจัดน้ำกระด้างมีด้วยกันหลายวิธี คือน้ำกระด้างชั่วคราวเป็นเกลือไบคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียมและน้ำกระด้างถาวรจะเป็นเกลือคลอไรด์หรือเกลือซัลเฟตของแคลเซียมและแมกนีเซียม การทำน้ำกระด้างให้อ่อนลงจะสามารถป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนได้ การทำน้ำให้หายกระด้างหรือทำน้ำให้อ่อนเรียกว่า Softening การกำจัดน้ำกระด้างมีด้วยกันหลายวิธีคือ

- Lime-Soda softening โดยการเติมสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวกำจัดเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียม ถ้าทำที่อุณหภูมิห้องเรียกว่าแบบเย็น ถ้าทำที่อุณหภูมิกำลังเดือดของน้ำเรียกว่าแบบร้อน สำหรับวิธีนี้ความกระด้างจะถูกกำจัดออกไม่หมดจะยังมีซิลิกาเหลืออยู่ น้ำที่ออกมาจะมีความกระด้างประมาณ 10-30 PPM

- Phosphate softening เป็นแบบร้อนใช้ไตรโซเดียมฟอสเฟตและคอสติกโซดาเป็นตัวกำจัดความกระด้าง เกลือฟอสเฟตสามารถกำจัดพวกซิลิกา แต่วิธีนี้แพงกว่าวิธีแรก ฉะนั้นถ้าน้ำมีความกระด้างมาก (มากกว่า 60 PPM) นิยมใช้ทั้ง 2 ขบวนการคือ ให้ผ่านโลมิโซดาซ็อฟเทนนิ่งก่อนแล้วผ่านฟอสเฟตซ็อฟเทนนิ่ง หลังจากผ่านขบวนการนี้ น้ำจะมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น ต้องทำให้น้ำเป็นกลางเสียก่อน โดยการเติมกรอฟอสฟลิคหรือกรดกำมะถันแต่ปกติหน้าที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำมักนิยมให้มีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย คือ $\text{pH} = 10.5$ เพื่อป้องกันมิให้น้ำมีสภาพเป็นกรด จะทำให้เกิดการกัดกร่อน

- โซเดียมซีโอไลท์ซ็อฟเทนนิ่ง ขณะที่น้ำผ่านซีโอไลท์ แคลเซียมและแมกนีเซียมจะเข้าแทนที่โซเดียม เกิดแคลเซียมและแมกนีเซียมซีโอไลท์ค้างอยู่ในถัง ส่วนเกลือที่เกิดจากโซเดียมจะละลายรวมอยู่ในน้ำที่ออกมา โซเดียมซีโอไลท์เมื่อใช้ไปนาน ๆ จะเสื่อมคือจะเกิดคัลเซียมและแมกนีเซียมซีโอไลท์ขึ้นการที่จะทำให้กลับสู่สภาพเดิมโดยเติมน้ำเกลือที่เข้มข้นลงไป วิธีนี้ใช้ได้ในอุณหภูมิไม่สูงกว่า 60°C ซีโอไลท์จะกำจัดความกระด้างตั้งแต่มีความเป็นด่างสูงไฮดรอกเจนซีโอไลท์น้ำใช้ไม่ได้กับน้ำดิบที่ขุ่น

- Anion-exchange แอนไอออน เช่น คลอไรด์, ซัลเฟตและไนเตรทถูกกำจัดโดยใช้เรซินการรีเจนเนอเรทก็ทำเช่นเดียวกับวิธีแรกโดยการเติมเกลือคัลเซียมคาร์บอเนตแทนเกลือแกง

- Demineralization การกำจัดแร่ธาตุที่อยู่ในน้ำโดยการไ้การกลั่นหรือแคทไอออนและแอนไอออนเอกเซนจ์ทำให้ได้น้ำกลั่นซึ่งเป็นวิธีการที่ประหยัด

2.2.1.10 การปรับน้ำภายในหม้อไอน้ำ

มักนิยมใช้กับหม้อไอน้ำที่มีความดันต่ำ โดยการเติมสารเคมีซึ่งเป็นสารประกอบด้วยคอสติกโซดา, โซดาแอช, โซเดียมฟอสเฟต, แทนนิน, แป้ง สารพวกนี้จะช่วยควบคุมด้านการกัดกร่อน, การเดือดพล่านเป็นฟองและการเป็นตะกรัน

ตารางที่ 2.1 พิกัดความเข้มข้นของน้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ (ไพฑูรย์ สร้อยสน, 2549)

ขนาดเครื่องกำเนิดไอน้ำ (T/hr)	สารเจือปน (ppm)
0-20.0	3500
20.01-31.0	3000
31.01-40.0	2500
40.01-50.0	2000
50.01-60.0	1500
60.01-70.0	1250

2.1.1.11 การระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) (เอกสารเผยแพร่คู่มือการใช้
เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ)

การระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้งเป็นสิ่งจำเป็น สำหรับการทำงานของหม้อไอน้ำ เพื่อที่จะรักษาระดับค่าต่างๆของน้ำหม้อไอน้ำ เนื่องจากน้ำป้อนที่เข้าหม้อไอน้ำมีสารละลายอยู่ จำนวนหนึ่ง เมื่อน้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำจะทิ้งสารละลายเหล่านี้ไว้ในหม้อไอน้ำทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น อาจจะเป็นทั้งอยู่ในสภาวะสารละลาย และสารแขวนลอยดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมระดับความเข้มข้นของสารละลายในน้ำโดยมีกระบวนการที่เรียกว่า การโบลด์ดาวน์ (Blowdown) ซึ่งก็คือการระบายน้ำจำนวนหนึ่งออกจากหม้อไอน้ำ ขณะเดียวกันจะต้องป้อนน้ำเข้ามาทดแทนน้ำส่วนที่ระบายทิ้งโดยอัตโนมัติ ทั้งนี้เพื่อเป็นการรักษาระดับของสารละลายทั้งหมดในน้ำ (TDS) หากไม่มีการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) หม้อไอน้ำอาจจะเสียหายได้ เนื่องจากมีน้ำและสิ่งอื่นปะปนตลอดจนฟองอากาศติดไปกับไอน้ำทำให้ละอองน้ำจำนวนมาก ลอยติดไปกับไอน้ำที่เรียกว่า แครี่ โอเวอร์ (Carry over) เข้าไปในระบบท่อจนถึงกระบวนการผลิต ปัญหานี้ต้องการการเอาใจใส่ดูแลติดตามอย่างสม่ำเสมอ ตลอดจนการให้คำแนะนำเกี่ยวกับสภาพของน้ำในหม้อไอน้ำทุกเครื่อง โดยเฉพาะหม้อไอน้ำรุ่นใหม่ๆ ที่ประกอบสำเร็จจากโรงงานซึ่งอาจจะเสียหายได้ง่ายกว่าหม้อไอน้ำแบบเก่าๆ เนื่องจากหม้อไอน้ำแบบนี้ไอน้ำได้น้อยและมีที่ว่างของไอน้ำอยู่จำนวนจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิต สิ่งสำคัญที่ต้องระลึกเสมอว่าหากมีการระบายน้ำทิ้ง (Blowdown) ไม่ถูกต้องจะสูญเสียความร้อนได้มาก เป็นอันดับสองรองมาจาก

การสูญเสียความร้อนของก๊าซไอเสียมีข้อคิดเห็นที่ควรพิจารณาอยู่ 2 ประการ คือ ข้อแรกเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ปริมาณน้ำในหม้อไอน้ำที่ระบายทิ้ง (Blowdown) ต้องไม่มากเกินไปจนความจำเป็นขั้นต่ำ ถ้ามากเกินไปจะมีผลให้สิ้นเปลืองพลังงานการควบคุมระดับในการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้งที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง

เมื่อข้อแรกได้ดำเนินการได้แล้ว ความร้อนสูญเสียจากการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) ควรนำกลับมาใช้ และต้องตรวจสอบว่าวิธีการนี้มีความเหมาะสมต่อการลงทุนหรือไม่

ก. วิธีการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown)

มีวิธีการระบายน้ำทิ้งสองวิธีดังต่อไปนี้

การระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) เป็นครั้งคราวโดยการระบายน้ำออกจากด้านล่างหม้อไอน้ำ เพื่อระบายคราบโคลนที่ก่อตัวออกไปการดำเนินการโดยวิธีนี้ผู้ควบคุมจะต้องกระทำทุก ๆ กะโดยการเปิดวาล์วหลาย ๆ ครั้ง ครั้งละสั้น ๆ ปริมาณของน้ำที่จะระบายนี้หม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) อาจจะมีประมาณจากระดับของน้ำใน หลอดแก้ววัดระดับน้ำที่ลดลง วิธีการนี้เป็น วิธีการเดิมที่ใช้กับหม้อไอน้ำแบบถัง (Shell Boilers)

การระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) อย่างต่อเนื่องโดยระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้งที่จุดใกล้กับระดับน้ำปกติ วิธีการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) เป็นขั้นๆ อย่างต่อเนื่องนี้ (Step Continuous) วาล์วระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) จะเปิดหรือปิด เมื่อได้รับสัญญาณจากเวลาที่ตั้งไว้ หรือสัญญาณที่ได้จากการวัดคุณสมบัติของน้ำในหม้อไอน้ำ ตัวอย่างเช่น วัดค่าสภาพการ นำไฟฟ้าของน้ำแนวทางการปฏิบัติในปัจจุบันจะมีทั้งการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) เป็นครั้ง คราว และการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) อย่างต่อเนื่อง วิธีการแรกเป็นการระบายของแข็งแขวนลอยซึ่งตกตะกอนลงมา และวิธีหลังเพื่อควบคุมระดับสารละลายทั้งหมดในน้ำ (TDS) สิ่งสำคัญ ในการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) เป็นครั้งคราวควรทำในช่วงที่หม้อไอน้ำมีภาระน้อยซึ่งเป็นสิ่งที่ละเลยไม่ได้ มิฉะนั้นจะทำให้หม้อไอน้ำมีสภาพที่ไม่ดีส่งผลให้เกิดเมื่อกรวมตัวมากขึ้นจนท่วมท่อห้องเผาไหม้ ทำให้การถ่ายเทความร้อนได้น้อยลงและท่อห้องเผาไหม้เสียหายได้

ข. ปริมาณการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown)

การที่จะประเมินการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) ปริมาณเท่าใดนั้น สามารถประเมินปริมาณน้ำที่ระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) ได้จากรายการต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1) ถ้าระดับสารละลายทั้งหมดในน้ำ (TDS) ของน้ำป้อน (เป็นส่วนผสมของคอนเดนเสทกับน้ำเติม) สามารถหาปริมาณการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) ซึ่งคำนวณได้ตั้งสมการที่ 2.2

$$\text{Blowdown rate} = \frac{F \times S}{(B - F)} \quad (2.2)$$

โดยที่

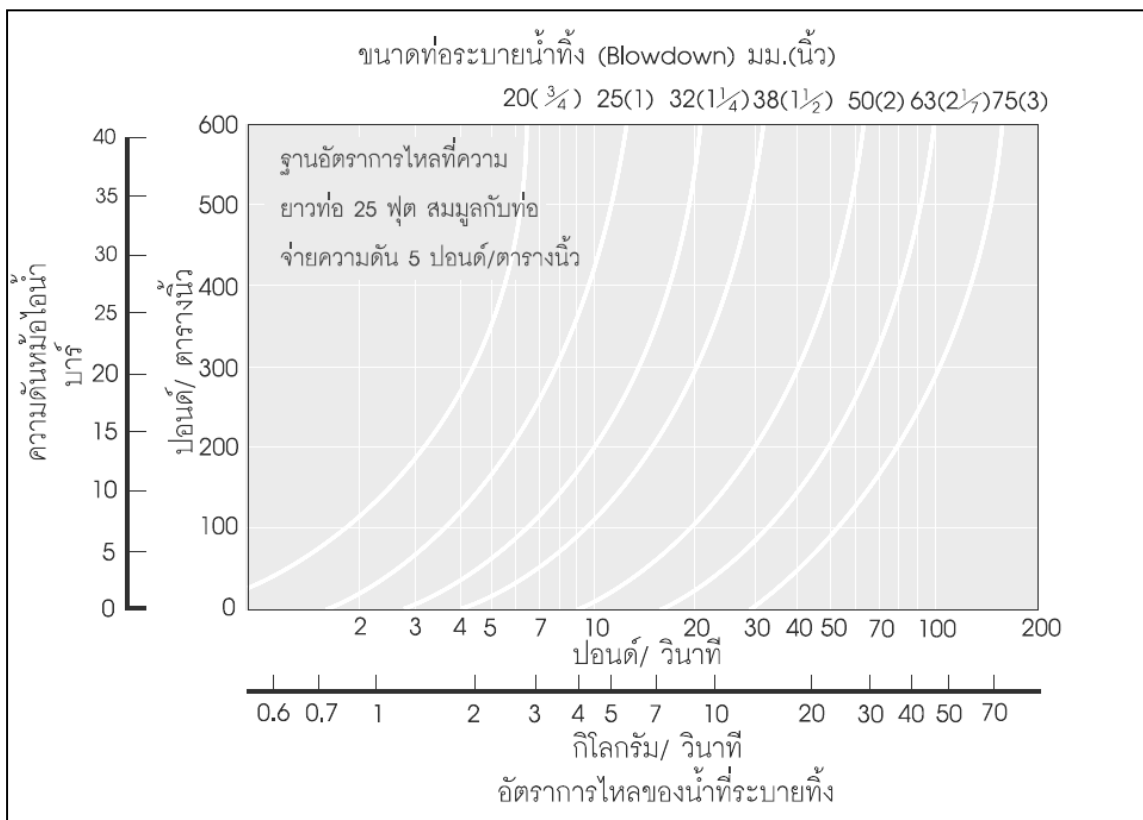
F = ค่าสารละลายในน้ำ (TDS) ของน้ำป้อนมีหน่วยเป็นหนึ่งล้านส่วน (PPM)

B = ค่าสารละลายในน้ำ (TDS) ของน้ำในหม้อไอน้ำที่ต้องการมีหน่วยเป็นหนึ่งล้านส่วน (PPM)

S = อัตราการใช้ไอน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง (kg/hr)

2) หม้อไอน้ำที่ใช้วิธีการคิดปริมาณการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) ต้องคำนวณจากปริมาณการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) ด้วย ตัวอย่างเช่น มีระดับน้ำ 1 นิ้ว บนหลอดแก้วซึ่งค่านี้แปลงเป็นปริมาตรได้ โดยการประเมินจากพื้นที่ผิวหน้าของน้ำในหม้อไอน้ำ (กว้าง x ยาว) และคูณด้วยระยะความสูงของระดับบนหลอดแก้ว แล้วคูณด้วยจำนวนครั้งการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) เมื่อได้ปริมาตรน้ำในหม้อไอน้ำแล้วนำมาคูณกับร้อยละของการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้งก็จะทราบ อัตราการไหลของการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) อย่างต่อเนื่องซึ่งต้องพิจารณาอัตราการไหลนี้ต้องสัมพันธ์กับค่าอัตราการผลิตไอน้ำโดยเฉลี่ย

3) วิธีหาอัตราการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) ของหม้อไอน้ำด้วยวิธีการเปิดวาล์วที่ด้านล่างของหม้อไอน้ำในช่วงเวลาหนึ่งและปิดเป็นระยะเวลาหนึ่งโดยใช้วาล์วแบบ Full Bore มาตรฐานอัตราการไหล ควบคุมโดยความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อระบายน้ำทิ้งและความดันหม้อไอน้ำรูปที่ 2-8 อาจจะใช้สำหรับการประเมินอัตราการไหลเมื่อเปิดวาล์วระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) และจากรูปจะคำนวณค่าเทียบเท่าอัตราการไหลของน้ำที่ระบายทิ้งอย่างต่อเนื่องได้



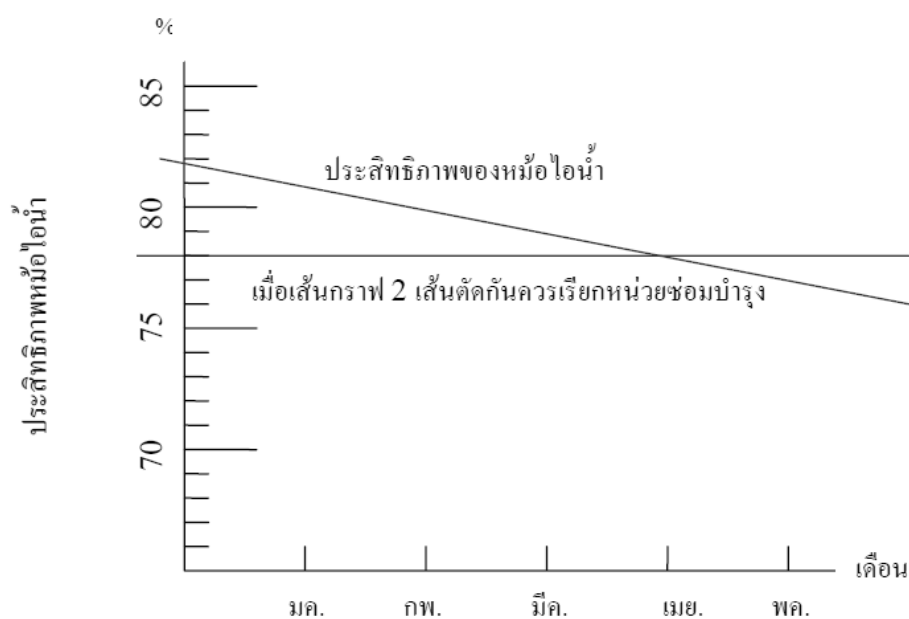
รูปที่ 2-8 แสดงการประเมินอัตราการไหลเมื่อเปิดวาล์วระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้งเทียบเท่าอัตราการไหลของน้ำที่ระบายทิ้งอย่างต่อเนื่องได้ (เอกสารเผยแพร่คู่มือการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ)

ค. ค่าใช้จ่ายในการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown)

ค่าใช้จ่ายในการซื้อน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อนน้ำเข้าหม้อไอน้ำ การให้ความร้อนจนถึงจุดเดือดแล้วปล่อยทิ้งไปได้เครื่อง เพื่อให้ได้ตามความต้องการของการผลิตไอน้ำ ถ้ามีการควบคุมที่เหมาะสมจะลดความสิ้นเปลืองของพลังงานและค่าใช้จ่ายได้มาก ฟังระลึกเสมอว่าต้องทำคุณภาพน้ำให้อยู่ในสภาพดีอย่างสม่ำเสมอเพื่อมิให้การระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) ผิดพลาดและยุ่งยาก สำหรับค่าใช้จ่ายของการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) ไม่ค่อยชัดเจนเพราะค่าใช้จ่ายนี้แฝงอยู่ในค่าใช้จ่ายรวมของโรงหม้อไอน้ำ ประกอบด้วยค่าน้ำค่าปรับปรุงคุณภาพและค่าเชื้อเพลิง (Blowdown) กับริยละเอียดของเชื้อเพลิงที่สูญเสียทิ้งไปในรูปของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงในการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) โดยทั่วไปแล้วเชื้อเพลิงประมาณ 97.7 % ถูกใช้โดยตรงในการผลิตไอน้ำและอีก 2.3% อยู่ในรูปของความร้อนในการระบายน้ำทิ้ง จำนวนเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยทิ้งไปกับการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blowdown) จำนวน 2.3 % นี้ อาจจะเป็นค่าที่เล็กน้อย แต่หากพิจารณาหม้อไอน้ำที่มีกำลังการผลิตไอน้ำ 4,500 กิโลกรัม/ชั่วโมง (10,000 ปอนด์/ชั่วโมง) ทำงานที่ 3,000 ชั่วโมงต่อปี จะสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

2.2.1.12 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (Boiler Efficiency) (ชุตินาถ ทักษจันทร์, 2551)

โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) (2546:11) ได้ให้คำจำกัดความของประสิทธิภาพความร้อนของหม้อไอน้ำว่า ประสิทธิภาพความร้อนของหม้อไอน้ำ คือ “ร้อยละของพลังงาน (ความร้อน) ที่ใส่เข้าไป ซึ่งมีประโยชน์เพียงพอในไอน้ำที่เกิดขึ้น” ประสิทธิภาพที่ดีของหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงมีค่าประมาณ 82% ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจะดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น การสูญเสียความร้อนของก๊าซร้อนจากปล่องควันมากเกินไป อัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศไม่ถูกต้อง และการสูญเสียความร้อนผ่านผนังหม้อไอน้ำ เป็นต้น การคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำควรทำทุกสัปดาห์ถ้าเป็นไปได้ แล้วบันทึกไว้ในรูปแบบกราฟ เมื่อประสิทธิภาพถึงจุดต่ำสุดที่ยอมรับได้ควรค้นหาสาเหตุเพื่อที่จะทำการแก้ไขต่อไป (ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, 2548: 21)



รูปที่ 2-9 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

(ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, 2548: 24)

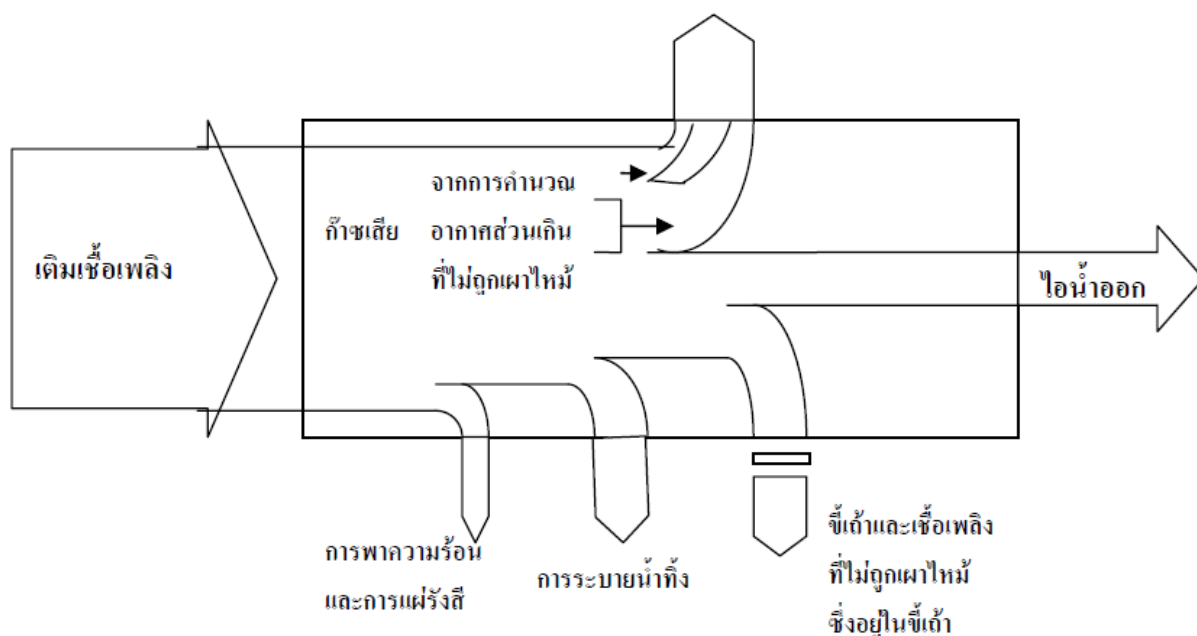
การตรวจวัดเพื่อหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำสามารถดำเนินการตรวจสอบได้ 3
วิธีการดังนี้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548: 21)

1) การวัดความร้อนที่สูญเสียออกทางปล่องไฟ (Stack Loss) โดยการวัดคาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนและอุณหภูมิก๊าซร้อน

2) การวัดปริมาณความร้อนเข้าและออก

3) การทำสมดุลความร้อน

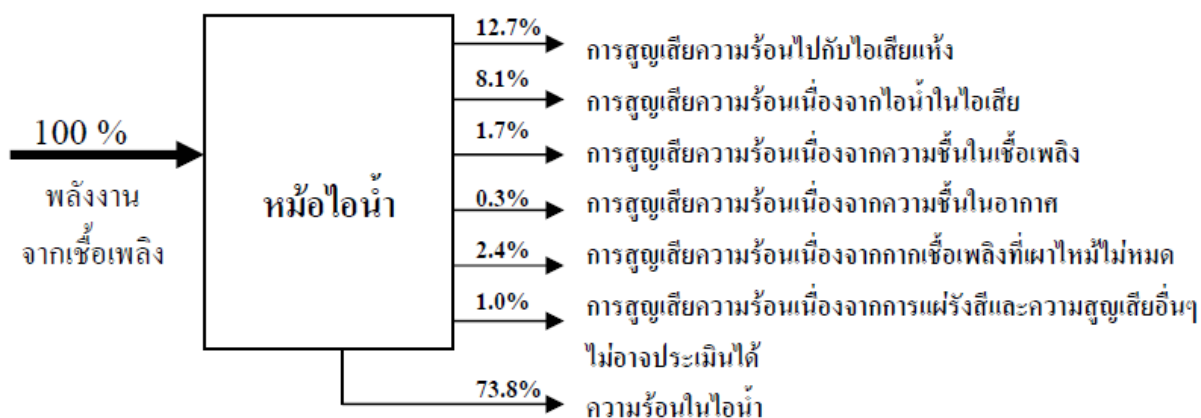
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2548: 21) ได้ให้ความหมายของสมดุลความร้อนว่า หมายถึง การคำนวณปริมาณความร้อนเข้าและออกจากหม้อไอน้ำ ซึ่งจากกฎของการอนุรักษ์พลังงานกล่าวว่า ความร้อนเข้าเท่ากับความร้อนออกจากหม้อไอน้ำ กระบวนการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำสามารถอธิบายโดยใช้แผนภูมิการไหลเวียนของพลังงาน ซึ่งช่วยให้มองเห็นภาพของพลังงานที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซึ่งถูกเปลี่ยนสภาพ ไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น หรือพลังงานที่มีประโยชน์หลายชนิดรวมถึงความร้อนและตลอดจนพลังงานที่ได้สูญเสียไป ความหนาของลูกศรชี้ให้เห็นถึงปริมาณพลังงานที่มีอยู่ในการไหลเวียนดังแสดงในแผนภูมิต่อไปนี้



รูปที่ 2-10 แผนภูมิสมดุลพลังงานของหม้อไอน้ำ

(โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP), 2546 : 10)

การทำสมดุลความร้อนเป็นความพยายามที่จะทำให้พลังงานรวม ที่เข้าสู่หม้อไอน้ำเท่ากับพลังงานที่ออกจากหม้อไอน้ำในรูปแบบต่างๆกัน ความสูญเสียรูปแบบต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตไอน้ำดังแสดงในภาพที่ 2-11



รูปที่ 2-11 การสูญเสียความร้อนของหม้อไอน้ำ
(โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP), 2546 :10)

การคำนวณประสิทธิภาพการของหม้อไอน้ำ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.3
(วัชระ มั่งวิฑิตกุล, 2550 : 147)

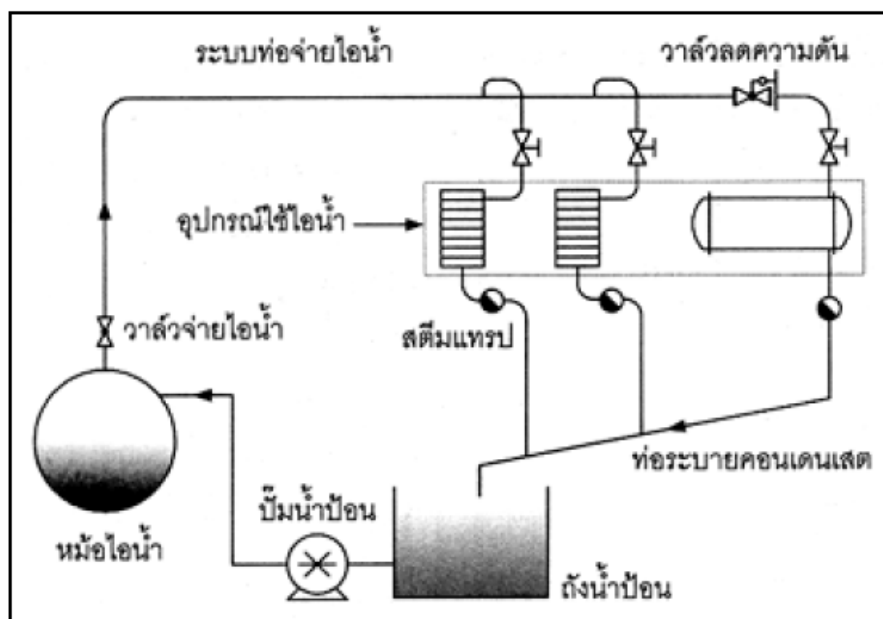
$$\begin{aligned}
 \text{ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ} &= \frac{\text{ความร้อนในไอน้ำที่ผลิตได้}}{\text{ความร้อนในเชื้อเพลิง}} \\
 &= \frac{\text{อัตราการผลิตไอน้ำ} \times (\text{ความร้อนไอน้ำ} - \text{ความร้อนน้ำป้อน})}{\text{อัตราการใช้เชื้อเพลิง} \times \text{ค่าความร้อนเชื้อเพลิง}} \\
 &= \frac{(\text{ความร้อนในเชื้อเพลิง} - \text{ความร้อนสูญเสีย})}{\text{ความร้อนในเชื้อเพลิง}} \\
 &= \frac{1 - \text{ความร้อนสูญเสีย}}{\text{ความร้อนในเชื้อเพลิง}}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\text{ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (\%)} = (1 - \text{อัตราส่วนความร้อนสูญเสีย}) \times 100 \quad (2.3)$$

2.2.2 ระบบจ่ายไอน้ำ

โดยทั่วไประบบไอน้ำในอุตสาหกรรมจะมีส่วนประกอบ 4 ส่วน ได้แก่ ระบบผลิตน้ำ (Steam generation system) ระบบจ่ายไอน้ำ (Steam distribution system) อุปกรณ์หรือกระบวนการที่ใช้ไอน้ำ (End use) และระบบระบายคอนเดนเสต (Condensate removal system) ลักษณะของระบบไอน้ำอย่างง่ายแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2-12



รูปที่ 2-12 ตัวอย่างของระบบไอน้ำอย่างง่าย (ฉัตรชัย นิยมมล, 2548)

ไอน้ำจากหม้อไอน้ำจะถูกจ่ายหรือลำเลียงไปสู่จุดใช้งาน (อุปกรณ์หรือกระบวนการที่ต้องการใช้ไอน้ำ) ผ่านทางระบบจ่ายไอน้ำ โดยระบบจ่ายไอน้ำจะประกอบไปด้วยระบบท่อส่งไอน้ำทั้งที่เป็นท่อหลักซึ่งรับไอน้ำจากหม้อไอน้ำและท่อสาขา (หรือท่อย่อย) ซึ่งรับไอน้ำจากท่อหลักแล้วจ่ายไอน้ำให้กับอุปกรณ์หรือกระบวนการที่ต้องการใช้ไอน้ำในแต่ละจุด ระบบจ่ายไอน้ำยังรวมไปถึงวาล์วเปิด-ปิด วาล์วควบคุม หรือวาล์วลดความดัน) ซึ่งติดตั้งที่ท่อสาขา อุปกรณ์ปรับความดันไอน้ำซึ่งติดตั้งที่อุปกรณ์ไอน้ำ (เพื่อปรับความดันให้เหมาะสมกับลักษณะงาน) รวมถึงฉนวนความร้อนซึ่งติดตั้งที่ท่ออุปกรณ์ต่างๆ การออกแบบระบบจ่ายไอน้ำอย่างเหมาะสมจะทำให้ไอน้ำที่จ่ายมายังอุปกรณ์หรือกระบวนการมีปริมาณที่ถูกต้องรวมถึงความดัน และอุณหภูมิตามความต้องการของระบบ อุปกรณ์ระบบจ่ายไอน้ำของหม้อไอน้ำมีรายละเอียดดังนี้

1) อุปกรณ์แยกน้ำออกจากไอน้ำ เนื่องจากหม้อไอน้ำผลิตไอน้ำได้เป็นไอน้ำที่มีความชื้น หรือน้ำผสมอยู่เมื่อนำไปใช้งานความร้อนจะลดลงเร็วอีกทั้งก่อให้เกิดผลเสียต่อเครื่องจักรไอน้ำได้

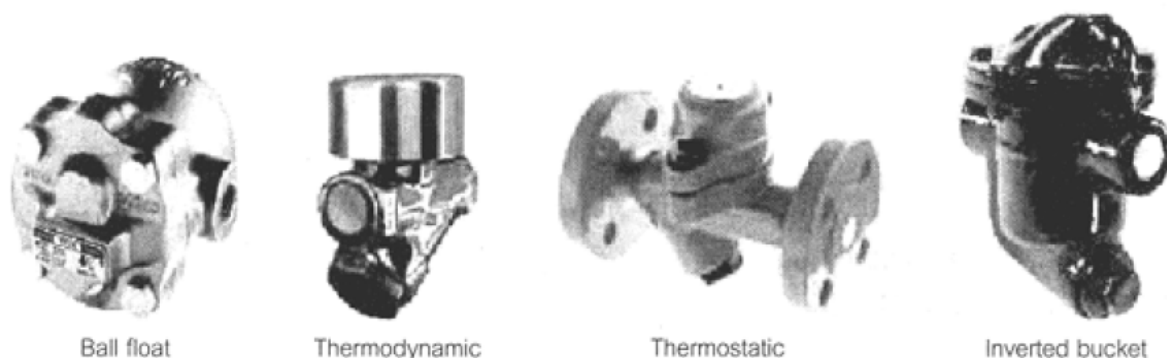
2) วาล์วจ่ายไอน้ำ (Main valve) ทำหน้าที่จ่ายไอน้ำจากหม้อไอน้ำไปใช้งาน

3) ท่อจ่ายไอน้ำ (Steam pipe) ทำหน้าที่ส่งไอน้ำไปใช้งานควรใช้ฉนวนหุ้มท่อจ่ายไอน้ำจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนของไอน้ำได้

4) ถังพักไอน้ำ (Header) ทำหน้าที่เก็บไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิตได้แล้วจ่ายไปยังเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ต้องการใช้ไอน้ำ

2.2.3 ระบบระบายคอนเดนเสท

เมื่อไอน้ำเกิดการการถ่ายเทความร้อนแฝง หรือเอนทัลปีของการระเหยออกในระหว่างไหลผ่านระบบท่อหรือระหว่างการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอุปกรณ์ หรือกระบวนการต่างๆ ไอน้ำจะเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวที่เรียกว่าคอนเดนเสท โดยคอนเดนเสทจะเป็นตัวกีดขวางการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำให้กับอุปกรณ์หรือกระบวนการ ซึ่งจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน (คอนเดนเสทจะทำหน้าที่เป็นฟิล์มซึ่งมีค่าความต้านทานในการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างมาก) รวมถึงทำให้เกิดปัญหาอื่นตามมา ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการระบายคอนเดนเสทที่สะสมในระบบออกให้ทันเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาดังที่กล่าว ในทางปฏิบัติ การระบายคอนเดนเสทจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า สตีมแทรป (Steam trap) หรือตัวกักไอน้ำซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่หลายจุดในระบบไอน้ำ



รูปที่ 2-13 สตีมแทรปรูปแบบต่างๆ (ฉัตรชัย นิยมกล, 2548)

ดังที่ได้ทราบแล้วว่า คอนเดนเสทคือน้ำที่อุณหภูมิสูงซึ่งหากปล่อยทิ้งไปก็ถือเป็น การสูญเสียพลังงานอย่างมหาศาล ด้วยเหตุนี้จึงมักนำคอนเดนเสทที่ไหลออกจากสตีมแทรปแต่ละ จุดมารวมกันแล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้ง โดยอาจอยู่ในรูปของการนำไปผสมกับน้ำป้อน (Feedwater) สำหรับหม้อไอน้ำ หรืออาจนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำแฟลช เป็นต้น

นอกเหนือจากการระบายคอนเดนเสทแล้ว ระบบนี้ยังทำหน้าที่ไล่อากาศและก๊าซ ที่ไม่สามารถควบแน่นได้ (Non condensable gases) ให้ออกจากระบบไอน้ำด้วยซึ่งทั้งอากาศ และก๊าซที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะเป็นตัวกีดขวางการถ่ายเทความร้อนไอน้ำให้กับอุปกรณ์ หรือ กระบวนการเช่นเดียวกับคอนเดนเสท และยังทำให้เกิดปัญหาเรื่องการกัดกร่อนอุปกรณ์ต่างๆ ใน ระบบระบบผลิตไอน้ำ หม้อไอน้ำถือได้ว่าเป็นหัวใจของระบบผลิตไอน้ำ ระบบไอน้ำสำหรับ กระบวนการทางความร้อนทั่วไปมักใช้หม้อไอน้ำสำเร็จรูป (Package boiler) หรือหม้อไอน้ำชนิด ท่อไฟ (Fire tube boiler) ส่วนหม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water tube boiler) มักใช้ในระบบไอน้ำ สำหรับการผลิตกำลัง (เช่น โรงไฟฟ้า) ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือจากกระแสไฟฟ้าจะ ถ่ายเทให้กับน้ำในหม้อไอน้ำซึ่งจะทำให้ระเหยตามกลไกที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ไอน้ำที่ถูกผลิตจาก หม้อไอน้ำที่ความดันที่กำหนดจะถูกปล่อยเข้าสู่ระบบจ่ายไอน้ำต่อไป

2.2.5 การประหยัดพลังงานในการผลิตไอน้ำ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2548: 10) ได้ให้ความหมาย ของการผลิตไอน้ำให้มีประสิทธิภาพว่า หมายถึง การใช้เชื้อเพลิงให้น้อยแต่ผลิตไอน้ำได้มากและ เสียค่าซ่อมบำรุงไอน้ำน้อย โดยหม้อไอน้ำมีอายุการใช้งานยาวการประหยัดพลังงานในการผลิตไอน้ำ สามารถดำเนินการได้ดังนี้

2.2.5.1 ปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้

การป้อนอากาศในปริมาณที่พอดีในเชิงทฤษฎี (14.1 กิโลกรัม) จะทำให้ออกซิเจน (O_2) ในอากาศทำปฏิกิริยากับธาตุต่างๆ ในเชื้อเพลิงได้หมดจนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไอน้ำ และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จะได้พลังงานมาก (วัชร มังวิทิตกุล, 2550: 148) ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะทำให้ออกซิเจน (O_2) ทำปฏิกิริยากับ ธาตุต่างๆ ในเชื้อเพลิงได้หมดและทั่วถึง เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศไม่แน่นอน ถ้าอุณหภูมิสูงทำให้ ความหนาแน่นของอากาศน้อยลง มวลของอากาศเข้าหม้อไอน้ำน้อยลง ทำให้อากาศไม่ เพียงพอในการเผาไหม้ จึงจำเป็นต้องป้อนอากาศให้มากกว่าความต้องการเชิงทฤษฎี แต่ต้อง

ไม่มากเกินไป เพราะ ออกซิเจน (O₂) ที่เกินมาจะไม่ทำปฏิกิริยาใดๆในการเผาไหม้ แต่จะดูดพลังงานความร้อนออกไปกับก๊าซเสีย

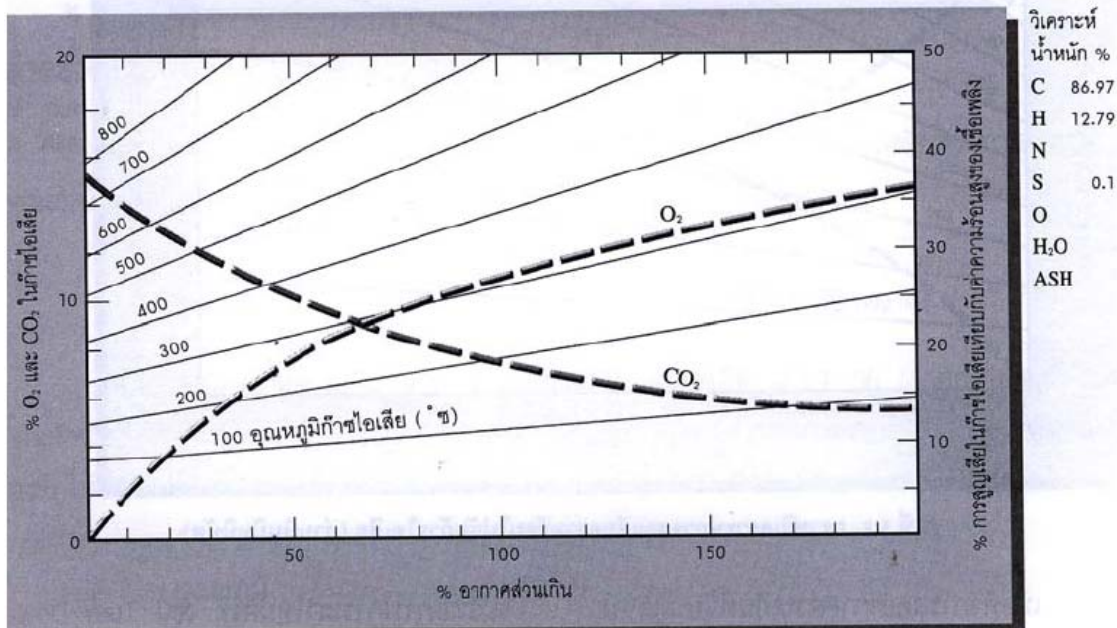
1) การตรวจสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้

1.1) การตรวจสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยใช้อุปกรณ์ในการตรวจวัดก๊าซไอเสียที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 ก๊าซไอเสียที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด (วัชระ มั่งวิทิติกุล, 2550: 149)

ชนิดของเชื้อเพลิง	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	อากาศส่วนเกิน (%)
น้ำมันเตา	3-4	13-14	10-20
น้ำมันดีเซล	3-4	12-13	10-20
ก๊าซ	2-3	9-10	10-20
เชื้อเพลิงแข็ง	7-10	12-13	50-70

เมื่อทราบค่าปริมาณ O₂ หรือ CO₂ และอุณหภูมิไอเสียแล้วสามารถหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ได้จากรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-14 กราฟวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซไอเสีย (น้ำมันดีเซล)
(วัชระ มั่งวิทิติกุล, 2550: 151)

การปรับอากาศส่วนเกินลดลงทุก 10 % จะประหยัดเชื้อเพลิงได้ 1% และ อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงขึ้นทุกๆ 15°C จะสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1% (วัชระ มั่งวิฑิตกุล, 2550:153)

1.2) การตรวจสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยการสังเกตสภาพการเผาไหม้ ด้วยตาเปล่า ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ด้วยตาเปล่า (วัชระ มั่งวิฑิตกุล, 2550: 149)

ปริมาณอากาศ	สีและรูปร่างของเปลวไฟ	สีของควันจากปล่องไอเสีย
พอดี	สีแสด รูปร่างเปลวไฟสั้น คงที่	เทาอ่อน หรือไม่มีสี
มากเกินไป	สีขาวสว่างจ้า เปลวไฟยาว	ขาวหรือไม่มีสี
	เคลื่อนไหวรุนแรง	
ไม่พอ	สีแดงคล้ำ เปลวไฟมีเขม่า	ดำ

2) การทำความสะอาดผิวถ่ายเทความร้อนด้านไฟ เมื่อหม้อน้ำทำงานมาระยะเวลานานจะมีเขม่าจับบนผิวถ่ายเทความร้อน เขม่าจะเป็นตัวต้านการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังน้ำมีผลทำให้ก๊าซที่ออกมาจากหม้อน้ำมีอุณหภูมิสูง โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 15 องศาเซลเซียส จะหมายถึงประสิทธิภาพของการเผาไหม้ลดลง 1 เปอร์เซ็นต์ ควรมีการตรวจสอบและทำความสะอาดทุกปี หรือเมื่อพบว่าอุณหภูมิของก๊าซร้อนสูงเกินกว่าปกติควรหยุดเดินหม้อไอน้ำเพื่อทำความสะอาด (ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, 2548: 28)

โดยสามารถคำนวณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้จากสมการ

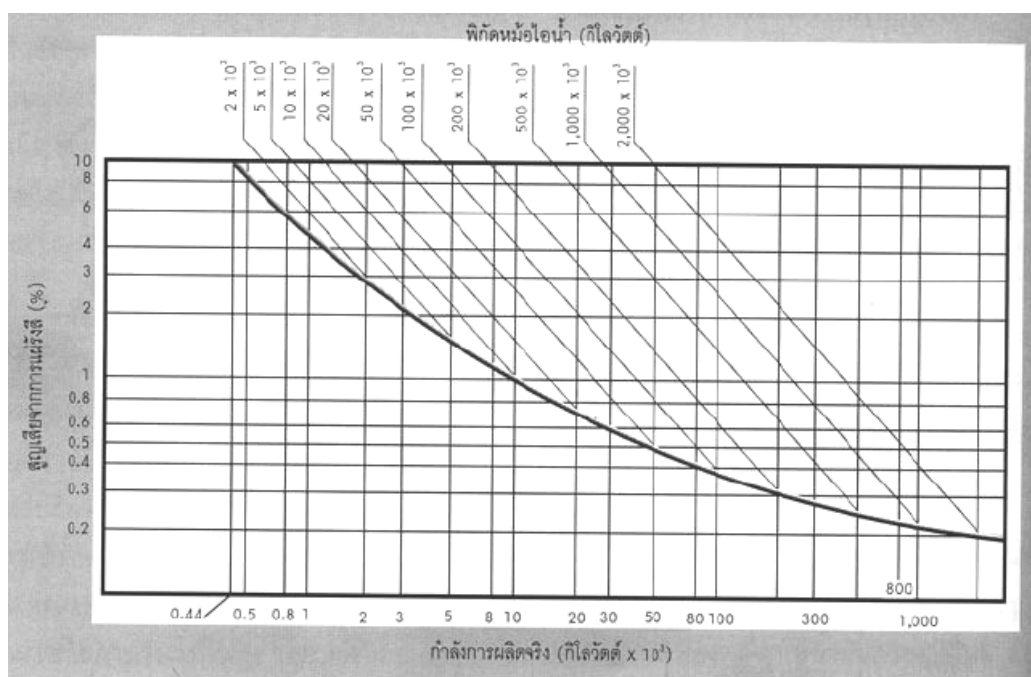
$$\text{เชื้อเพลิงที่ประหยัดได้} = (\text{ประสิทธิภาพใหม่} - \text{ประสิทธิภาพเก่า}) / \text{ประสิทธิภาพใหม่} \quad (2.4)$$

2.2.5.2 การสูญเสียความร้อนผ่านผนังหม้อไอน้ำ

การลดการสูญเสียความร้อนผ่านผนังหม้อไอน้ำ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2541: 18) การสูญเสียความร้อนจะอยู่ในรูปของการพาและการแผ่รังสีจากผนังร้อนถ้า การหุ้มฉนวนไม่ดีหรือขาดการสูญเสียจะมีมากประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้เชื้อเพลิงสูงสุดของหม้อไอน้ำตัวนั้น ไม่ว่าจะขณะนั้นหม้อไอน้ำจะทำงานมากหรือน้อย ในการลดความร้อนสูญเสียผ่านผนังอาจทำได้โดยการตรวจฉนวนไฟและฉนวนความร้อนของหม้อไอน้ำทุกๆ 12 เดือน อย่าเดินหม้อไอน้ำที่ไม่เต็มกำลังสองตัวพร้อมกัน ควรใช้หม้อไอน้ำเดินให้เต็มกำลังเพียงตัวเดียว ให้มี

การติดต่ออย่างใกล้ชิดระหว่างผู้ใช้และผู้ผลิตไอน้ำเพื่อจะได้มีการลด Peak Load และลดจำนวนตัวทำงานของหม้อไอน้ำ

การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนผ่านผนังหม้อไอน้ำ (วัชระ มั่งวิทิติกุล, 2550:154-155) การสูญเสียความร้อนจากการพาและแผ่รังสีผ่านผนังหม้อไอน้ำขึ้นอยู่กับขนาดหม้อไอน้ำ และสภาพฉนวนที่หุ้มหม้อไอน้ำสามารถประเมินได้ ดังรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 กราฟวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนผ่านผนังหม้อไอน้ำ (วัชระ มั่งวิทิติกุล, 2550: 155)

จากกราฟจะเห็นว่าหม้อไอน้ำที่ทำงานโหลดต่ำๆ ความร้อนสูญเสียผ่านผนังหม้อไอน้ำจะมากขึ้น การลดการสูญเสียทำได้โดยควบคุมให้หม้อไอน้ำทำงานน้อยตัวที่สุด และโหลดของแต่ละตัวไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 65 ของพิภค โดยการวางแผนการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในแต่ละวันให้เหมาะสมกับกำลังการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำ เพื่อให้สามารถควบคุมจำนวนหม้อไอน้ำใช้งานได้ตามเหมาะสม

2.2.5.3 การควบคุมการโบล์ดาวน์

การควบคุมการโบล์ดาวน์ เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนจากน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ เพื่อลดการเกิดตะกอนสามารถทำได้โดยการปล่อยน้ำร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow-down) ซึ่งจะทำความเข้มข้นของสิ่งเจือปนลดลง การโบล์ดาวน์มากเกินไปจะก่อให้เกิดการสูญเสีย

เปล่าของพลังงาน อัตราการไหลความร้อนขึ้นอยู่กับสภาพน้ำที่ใช้ การใช้อัตราการไหลความร้อนที่ถูกต้อง และการนำความร้อนจากไหลความร้อนมาใช้จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ (ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, 2548: 28)

การคำนวณความร้อนสูญเสียจากการไหลความร้อนสามารถคำนวณได้ดังนี้ (วัชร มิ่งวิฑิตกุล, 2550: 156)

ความร้อนสูญเสีย

$$= \text{ปริมาณการไหลความร้อน} \times (\text{ค่าความร้อนของไอน้ำ} - \text{ค่าความร้อนของน้ำป้อน}) \quad (2.5)$$

ซึ่งสามารถคำนวณการประหยัดเชื้อเพลิงของการควบคุมการไหลความร้อน ได้ดังนี้

ประหยัดเชื้อเพลิง

$$= \text{ความร้อนสูญเสียประสิทธิภาพ} \times \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง} \quad (2.6)$$

ดังนั้นเพื่อลดการสูญเสียจากการไหลความร้อน ควรควบคุมการไหลความร้อนให้ต่ำที่สุดในขณะเดียวกันรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลายให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังนี้ (วัชร มิ่งวิฑิตกุล, 2550: 155-156)

1) ปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อน โดยปรับน้ำกระด้าง ซึ่งมีแคลเซียมและแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์โซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมฟอสเฟต และนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ให้ได้มากที่สุด ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ดี

2) ไหลความร้อนเฉพาะเมื่อความเข้มข้นของสารละลายของน้ำในหม้อไอน้ำเกินมาตรฐาน

3) ในกรณีของหม้อไอน้ำขนาดใหญ่ที่มีการไหลความร้อนต่อเนื่องควรนำความร้อนจากการไหลความร้อนกลับมาใช้

2.2.5.4 การบำรุงรักษา Burner

ควรตรวจสอบ Burner อย่างสม่ำเสมอ การไม่บำรุงรักษา Burner และพัดลมจะทำให้เปลวไฟไม่เหมาะสมกับหม้อน้ำที่ใช้และทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ปัญหาที่พบได้บ่อย คือ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2541: 17-18)

- 1) การผสมกันของอากาศและเชื้อเพลิงไม่ดี ทำให้ต้องใช้อากาศส่วนเกินมาก เพื่อให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงได้หมดจด
- 2) ลักษณะของเปลวไฟไม่ดี แสดงถึงการถ่ายเทความร้อนไม่ดีมีผลทำให้ก๊าซที่ออกจากหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิสูง
- 3) การเผาไหม้ไม่ดีทำให้มีเขม่าจับ
- 4) กรณีที่หม้อไอน้ำใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง การอุ่นน้ำมันไม่เพียงพอทำให้น้ำมันกระจาย (Atomization) ไม่ดี ถ้าอุ่นมากเกินไปจะทำให้เกิดการเกาะจับ (Fueling) บนชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวใน Burner เป็นสาเหตุให้ลักษณะของเปลวไฟผิดไปซึ่งทำให้มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

2.2.5.5 การประหยัดพลังงานในการส่งจ่ายไอน้ำ

1) การซ่อมรอยรั่วของไอน้ำ

รอยรั่วของไอน้ำทุกจุดที่เกิดขึ้นทำให้มีความร้อนสูญเสีย และควรรีบแก้ไขเพราะแรงดันของไอน้ำจะทำให้รอยรั่วขยายตัวมากขึ้นเรื่อยๆ ปริมาณไอน้ำสูญเสียขึ้นอยู่กับขนาดรอยรั่วและความดันไอน้ำซึ่งสามารถประมาณจากสมการ (วัชระ มั่งวิฑิตกุล, 2550: 157)

$$Q = 0.4 d^2 (p + 1.013) \quad (2.9) \quad (2.7)$$

โดย

Q คือ อัตราการสูญเสียไอน้ำ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

d คือ ขนาดรูรั่ว (มิลลิเมตร)

p คือ ความดันไอน้ำ (บาร์)

สามารถคำนวณหาเชื้อเพลิงที่สูญเสียจากรอยรั่ว ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{เชื้อเพลิงที่สูญเสีย} \\ &= \frac{\text{ปริมาณการสูญเสียไอน้ำ} \times (\text{ค่าความร้อนของไอน้ำ} - \text{ค่าความร้อนของน้ำป้อน})}{(\text{ประสิทธิภาพ} \times \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง})} \end{aligned} \quad (2.8)$$

2) การหุ้มฉนวน

ฉนวนช่วยลดการสูญเสียความร้อนออกสู่อากาศรอบๆท่อ เนื่องจากฉนวนมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนชนิดต่างๆ (วัชระ มั่งวิวิทกุล, 2550: 157)

ชนิดของฉนวน	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) (วัตต์/เมตร-เคลวิน)
ฉนวนใยแก้ว	0.058
ฉนวนเซรามิกไฟเบอร์	0.055
ฉนวนโพลีเอทิลีน	0.025

การหาความร้อนสูญเสียจากท่อไอน้ำที่หุ้มฉนวน สามารถทำได้ดังนี้ (วัชระ มั่งวิวิทกุล, 2550: 158)

$$Q = A_{av} (t_i - t_o) \times 0.0036 / R_{th} \quad (2.7)$$

โดย

Q คือ ความร้อนสูญเสีย (เมกะจูล/เมตร - ชั่วโมง)

t_i คือ อุณหภูมิของไหลในท่อ (เคลวิน หรือ °C)

t_o คือ อุณหภูมิภายนอกท่อ (เคลวิน หรือ °C)

R_{th} คือ ค่าความต้านทานความร้อน

$$R_{th} = \frac{1}{h_o} + \frac{(r_o - r_i)}{k} + \frac{1}{h_i} \quad (2.8)$$

h_0 คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวท่อด้านนอกที่หุ้มฉนวนกับอากาศรอบๆ (โดยทั่วไป h_0 มีค่าประมาณ 30 วัตต์/ตร.ม. – เคลวิน)

h_i คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวท่อด้านในกับของไหลในท่อ (ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของไหลในท่อและอัตราการไหลโดย h_i มักมีค่าสูงประมาณ 4,000 วัตต์/เมตร-เคลวิน)

r_i คือ รัศมีของท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (เมตร)

r_o คือ r_i + ความหนาของฉนวน (เมตร)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน วัตต์/ตร.ม. – เคลวิน)

เนื่องจาก $(r_o - r_i)$ มากกว่า $1 / h_0$ และ $1 / h_i$ มากๆ ดังนั้นเพื่อให้
ง่ายต่อการคำนวณ R_{th} จึงประมาณ $= (r_o - r_i) / k$

$$A_{av} = (A_o - A_i) / \ln (A_o/A_i) \text{ ตร.ม.}$$

โดย $A_o = 2\pi r_o$

$$A_i = 2\pi r_i$$

การหาความร้อนสูญเสียจากท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวนสามารถทำได้ดังนี้ (วัชร มั่ง
วิทิตกุล, 2550: 159)

$$R_{th} = 1 / h_0$$

$$A_{av} = A_i$$

$$Q = A_{av} (t_i - t_o) h_0 \times 0.0036 \text{ เมกะจูล/เมตร-ชั่วโมง}$$

3) การเลือกขนาดท่อส่งจ่ายไอน้ำให้เหมาะสม

การเลือกขนาดท่อ

ขนาดท่อใหญ่ขึ้นส่งผลให้

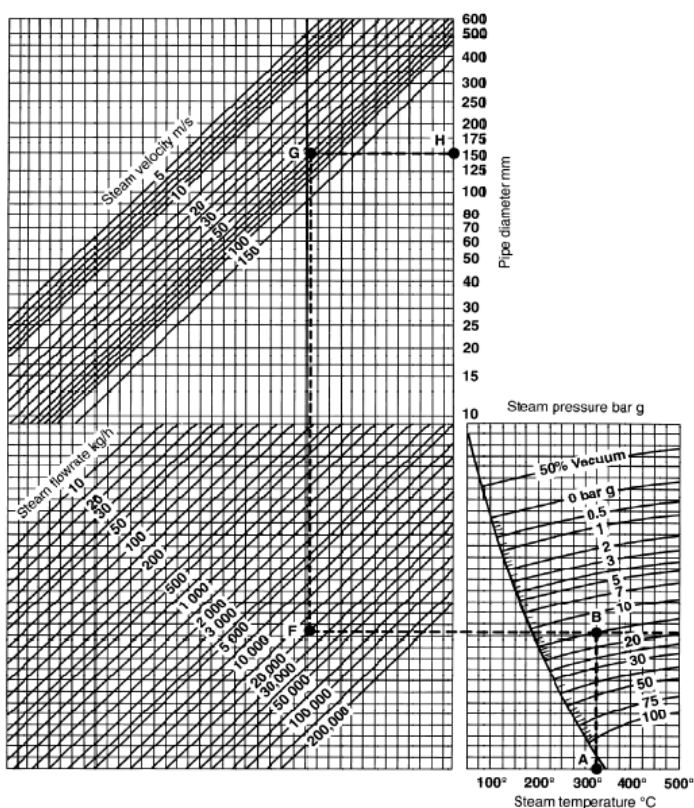
- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงขึ้น

- พื้นที่ขนาดใหญ่ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน ประสิทธิภาพของไอน้ำลดลง

ขนาดท่อลดลงส่งผลให้

- ความเร็วของไอน้ำเพิ่มขึ้นแรงดันไอน้ำลดลง
- ปริมาณไอน้ำที่จุดใช้งานอาจไม่เพียงพอ
- ระบบท่อจะสั่นหรือและส่งเสียงดังจากปัญหา water hammer เนื่องจากความเร็วของน้ำมาก

การออกแบบระบบท่อไอน้ำ ขนาดของท่อจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของไอน้ำและแรงดันในท่อ เมื่อเรารู้อัตราการไหลเราสามารถหาขนาดของท่อได้โดยการกำหนดความเร็วที่ยอมรับได้ในระบบ(ในกรณีระบบมีความเร็วมากเกินไปอาจส่งผลให้เกิด ปัญหา Water hammer) สำหรับแรงดันมีผลต่อระบบเนื่องจากความหนาแน่นของไอน้ำจะไม่เท่ากันในแต่ละแรงดัน ในการเลือกความหนาท่อจะกล่าวถึง Schedules ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการบอกถึงความสามารถในการรับแรงดันภายในท่อ สำหรับงานไอน้ำจะเลือกใช้ขนาด 40 และ 80



รูปที่ 2-16 กราฟแสดงการหาขนาดท่อไอน้ำที่เหมาะสม (EDB Data, Spirax sarco)

2.1.6 การจำลองและเลียนแบบกระบวนการ

การจำลองและเลียนแบบกระบวนการ คือ การแทนกระบวนการผลิตทั้งหมดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยหลักการของสมดุลและสมดุลพลังงาน แล้วทำการคำนวณเพื่อหาคำตอบของสมการด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลลัพธ์ของสมการจะแสดง ถึงผลที่จะเกิดขึ้นจริงในกระบวนการนั้น ๆ เมื่อดำเนินการด้วยเงื่อนไขที่กำหนด ความถูกต้องในการจำลอง และเลียนแบบจะขึ้นอยู่กับ สมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นตัวแทนของระบบว่าจะแทนลักษณะทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการจริงได้ถูกต้องหรือไม่ และวิธีการที่จะหาคำตอบของสมการเหล่านี้ จะขึ้นอยู่กับความถูกต้อง และแม่นยำของวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้แก้ปัญหา

เนื่องจากภายในกระบวนการจะประกอบด้วยหลายยูนิตย่อย แต่ละยูนิตจะสามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ สมการดุลมวล สมการดุลพลังงาน อัตราการเกิดปฏิกิริยา ตัวแปรต่าง ๆ ในสมการเหล่านี้ รวมกับสมการของสารขาเข้า และขาออก เงื่อนไขต่าง ๆ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือ และตัวแปรภายในแต่ละยูนิต เป้าหมายของการจำลองกระบวนการคือ แก่สมการในทุกยูนิตในกระบวนการให้ดีที่สุด โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสมการที่เป็นผลลัพธ์ของยูนิตก่อน มาเป็นสารขาเข้าของยูนิตต่อมา กรณีที่ทำการศึกษาคือระบบที่มีสภาวะดำเนินการแบบคงตัว (Steady state)

การหาคำตอบของระบบสมการที่เป็นตัวแทนสภาวะการดำเนินงานจริงนั้น มีวิธีการหาคำตอบทางคณิตศาสตร์ได้หลายทาง เช่น equation-oriented approaches, sequential modular approach, simultaneous modular approach เพื่อทำนายพฤติกรรมของระบบทั้งหมด โดยคำนวณจากสมการพื้นฐานของทฤษฎีทางด้านเทอร์โมไดนามิค ในการศึกษา ระบบจากการจำลองทางคณิตศาสตร์จะต้องทำการเลือกทฤษฎีที่เหมาะสมกับระบบที่จะศึกษา เพื่อให้สามารถของถึงพฤติกรรมที่จะเกิดขึ้นของระบบใกล้เคียงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการผลิตการเลือสมการพื้นฐานทางด้านเทอร์โมไดนามิค คือ การเลือกสมการสภาวะ ตัวอย่างของสมการ ได้แก่ สมการสภาวะแบบ Kabadi Danner, PRSV, SRK, Sour PR, Sour SPK, Zudketvitch Joffe แต่สำหรับกระบวนการที่ต้องการศึกษาจะใช้แบบ เพ็งโรบินสัน (PR, Peng Robinson) ซึ่งสามารถทำการศึกษาเงื่อนไขในช่วงกว้าง ๆ และมีความน่าเชื่อถือในการทำนายคุณสมบัติของระบบไฮโดรคาร์บอนเกือบทั้งหมด

2.1.7 หลักการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ในแบบจำลอง

ในการดุลสมการของมวล และความร้อน จะใช้อัลกอริทึมของการหาคำตอบแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear solution algorithm) โดยจะมีการสร้างเซ็ทของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า n ตัว พร้อมทั้งสมการจำนวน n สมการ ที่ได้มาจากข้อมูลของสารที่เข้ามา หรือสารที่ออกไป โดยการดุลสมการของมวล และความร้อนจะเป็นอิสระต่อกัน สมการทางเทอร์โมไดนามิคที่เลือกใช้แบบเพ็งโรบินสัน (Peng Robinson) เนื่องจากเหมาะสมสำหรับระบบที่มีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอน มีความถูกต้องสูงในช่วงการดำเนินการที่สนใจ

สมการดุลมวลสาร

$$\begin{aligned} [\text{มวลสารที่สะสมภายในยูนิต}] &= [\text{มวลสารที่ไหลเข้ายูนิต}] - [\text{มวลสารที่ไหลออกจากยูนิต}] \\ &+ [\text{มวลสารที่เกิดขึ้นภายในยูนิต}] - [\text{มวลสารที่ใช้ไปภายในยูนิต}] \end{aligned} \quad (2.9)$$

สมการดุลพลังงาน

$$\begin{aligned} [\text{พลังงานที่สะสมภายในยูนิต}] &= [\text{พลังงานที่ไหลเข้ายูนิต}] - [\text{พลังงานที่ไหลออกจากยูนิต}] + \\ &[\text{พลังงานที่เกิดขึ้นภายในยูนิต}] - [\text{พลังงานที่ใช้ไปภายในยูนิต}] \end{aligned} \quad (2.10)$$

สมการทางเทอร์โมไดนามิค

สมการสภาวะแบบเพ็งโรบินสัน (Peng Robinson)

$$\begin{aligned} P &= \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)+b(V-b)} \\ Z^3 - (1-B)Z^2 + (A-2B-3B^2)Z - (AB-B^2-B^3) &= 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

โดยที่

$$A = \frac{aP}{(RT)^2}$$

$$B = \frac{bP}{RT}$$

$$b = \sum_{i=1}^N x_i \left(0.077796 \frac{RT_a}{P_{ci}} \right)$$

$$a = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \left[\left(0.457235 \frac{\{RT_a\}^2}{P_{ci}} \right) \alpha_i \left(0.457235 \frac{\{RT_a\}^2}{P_{cj}} \right) \alpha_j \right]^{0.5} (1 - k_{ij})$$

$$\alpha_i^{0.5} = 1 + m_i (1 - T_i^{0.5})$$

$$\alpha_j^{0.5} = 1 + m_j (1 - T_j^{0.5})$$

$$m_i = 0.37464 + 1.54226\omega_i + 0.26992\omega_i^2$$

$$m_j = 0.37464 + 1.54226\omega_j + 0.26992\omega_j^2$$

เมื่อ ω น้อยกว่า > 0.49 , HYSYS จะปรับแก้โดยใช้ค่า m ตามสมการนี้

$$m_i = 0.379642 + (1.48503 - [0.164423 + 0.016666\omega_i]) \omega_i$$

$$m_j = 0.379642 + (1.48503 - [0.164423 + 0.016666\omega_j]) \omega_j$$

P = ความดัน (psia)

T = อุณหภูมิ (°R)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ = 10.73 (psia)(ft³)/(lb-mol)(°R)

V = ปริมาตร (ft³)

x = อัตราส่วนโดยโมล

T_c = Critical Temperature (°R)

P_c = Critical Pressure (°R)

T_r = Reduced Temperature = $\frac{T_i}{T_{ci}}$

P_r = Reduced Pressure = $\frac{P_i}{P_{ci}}$

ω = Acentric Factor

การคำนวณเอนทาลปี และเอนโทรปี

หลักการทางเทอร์โมไดนามิคสามารถแสดงค่าของเอนทาลปี และเอนโทรปี ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{H-H^{ID}}{RT} = Z - 1 + \frac{1}{RT} \int_{\infty}^V \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \right] dv \quad (2.12)$$

$$\frac{S-S^{ID}}{R} = \ln Z - \ln \frac{P}{P^0} + \int_{\infty}^V \left[\frac{1}{R} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - \frac{1}{V} \right] dv \quad (2.13)$$

จากหลักการทางเทอร์โมไดนามิคข้างต้น สามารถคำนวณค่าของเอนทาลปี และเอนโทรปีสำหรับการเลือกสมการทางเทอร์โมไดนามิคแบบเพ็งโรบินสัน ในรูปแบบดังนี้ คือ

$$\begin{aligned} \frac{H-H^{ID}}{RT} &= Z - 1 - \frac{1}{2^{1.5} b RT} \left(a - T \frac{da}{dT} \right) \ln \left(\frac{V + [2^{0.5} + 1]b}{V + [2^{0.5} - 1]b} \right) \\ \frac{S-S^{ID}}{R} &= \ln(Z - B) - \ln \frac{P}{P^0} - \frac{A}{2^{1.5} b RT} \left(- \frac{T da}{a dT} \right) \ln \left(\frac{V + [2^{0.5} + 1]b}{V + [2^{0.5} - 1]b} \right) \end{aligned} \quad (2.14, 2.15)$$

$$a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j (a_i a_j)^{0.5} (1 - k_{ij})$$

$$b_i = 0.077796 \frac{RT_c}{P_c}$$

$$a_i = 0.457235 \frac{(RT_c)^2}{P_c} \alpha_i$$

$$\sqrt{\alpha_i} = 1 + m_i (1 - T_r^{0.5})$$

$$m_i = 0.37646 + 1.54226 \omega_i - 0.26992 \omega_i^2$$

โดยที่

H = เอนทาลปี (Enthalpy) (Btu/lb)

S = เอนโทรปี (Entropy) (Btu/°R)

$R =$ ค่าคงที่ของก๊าซ (Ideal Gas constant) = $10.73 \text{ (psia)(ft}^3\text{)/(lb-mol)(}^\circ\text{R)}$

$ID =$ ที่สภาวะของ Ideal Gas

$o =$ ที่สภาวะที่สนใจ Reference state

2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 งานวิจัยทางการประหยัดพลังงาน

ในช่วงที่ผ่านมาได้จากมีงานวิจัยมากมายที่มุ่งเน้นในเรื่องของพลังงาน พลังงานเป็นเรื่องที่ทุกประเทศในโลกให้ความสนใจ โดยเฉพาะจากการที่โลกต้องประสบวิกฤตพลังงานหลายครั้งหลายคราในช่วงที่ผ่านมา เกิดสภาวะราคาน้ำมันโลกถีบตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบในวงกว้างต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของประชากรโลก รัฐบาลของประเทศต่างๆ ได้ให้ความสำคัญต่อการพัฒนา วิจัยและศึกษาการใช้พลังงานทดแทนและการประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรม

สานิตย์ จันทโร และ ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง, 2544 ศึกษากระบวนการปรับปรุงมีคอนเดนเสทจำนวน $1,590 \text{ kg/h}$ ที่อุณหภูมิ $100 \text{ }^\circ\text{C}$ (666 MJ/h) ถูกนำกลับเป็นน้ำเข้าหม้อไอน้ำและมีปริมาณแฟลชสตีมปล่อยทิ้งจำนวน 194 kg/h (438 MJ/h) การปรับปรุงระบบจะนำพลังงานความร้อนจากแฟลชสตีมและบางส่วนของคอนเดนเสทกลับมาทดแทนการใช้ไอน้ำอิมเมอร์ที่ $7 \text{ bar}, 165 \text{ }^\circ\text{C}$ (718 MJ/h) เพื่อใช้ในการล้างทำความสะอาดแผ่นเหล็กด้วยน้ำอุ่นซึ่งการวิจัยจะใช้น้ำจากภายนอกมาเติมเข้าถังคอนเดนเสท และวิเคราะห์พารามิเตอร์โดยการจำลองระบบเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสม ด้วยการสมดุลมวลและพลังงาน ผลการดำเนินการพบว่าได้คอนเดนเสทและแฟลชสตีมที่ผสมน้ำกลายเป็นน้ำร้อน จำนวน $2,844 \text{ kg/h}$ ที่ $97 \text{ }^\circ\text{C}$ เพิ่มจากเดิม $1,254 \text{ kg/h}$ (510 MJ/h) จะนำความร้อนส่วนนี้กลับมาใช้ทดแทนไอน้ำอิมเมอร์ด้วยน้ำร้อนสามารถทดแทนได้ 71% ทำให้ประหยัด เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำลงได้จำนวน 12.63 liter/h ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ใช้เงินลงทุนรวม $400,000 \text{ บาท}$ มีผลตอบแทนสุทธิ $1,212,250 \text{ บาท}$ มีระยะเวลาคืนทุน 1.65 ปีมีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ $923,755 \text{ บาท}$ และมีอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่มากกว่าค่าเสียโอกาสของทุน

ว่าที่ร้อยเอก ไพฑูรย์ สร้อยสน, 2549 ได้ทำการหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำสำเร็จรูป ขนาด $200 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$ ซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยกำหนด

อัตราป้อนที่ 60 80 และ 100 ลิตร/ชั่วโมง อุณหภูมิน้ำป้อน 80 องศาเซลเซียส และแรงดันไอน้ำที่ 2 4 และ 6 บาร์ ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำอยู่ระหว่าง 77.65-81.23 % โดยที่ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำต่ำสุด 77.65 % ที่แรงดัน 6 บาร์ อัตราน้ำป้อน 80 ลิตร/ชั่วโมง และประสิทธิภาพสูงสุดที่ 81.23 % ที่แรงดัน 2 บาร์ อัตราน้ำป้อน 100 ลิตร/ชั่วโมง ด้านค่าใช้จ่ายต่อปี เมื่อใช้น้ำมันดีเซลจะเสียค่าใช้จ่ายสูงสุด 1,848,013.10 บาท/ปี ที่แรงดันไอน้ำ 6 บาร์ อัตราน้ำป้อน 100 ลิตร/ชั่วโมง ค่าใช้จ่ายต่ำสุดเมื่อใช้ถ่านหินปิทูนีสเป็นเชื้อเพลิง 150,021.12 บาท/ปี ที่แรงดันไอน้ำ 2 บาร์ อัตราน้ำป้อน 60 ลิตร/ชั่วโมง ด้านการอนุรักษ์พลังงาน การทดลองนี้ใช้ 4 มาตรการ คือ มาตรการปรับลดอากาศส่วนเกิน มาตรการปรับลดแรงดันไอน้ำจาก 6 บาร์มาอยู่ที่ 4 บาร์ มาตรการปรับลดน้ำโบล์ดวาร์น และมาตรการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเตาซี ผลการทดลองพบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ประหยัดได้มากที่สุดคือ มาตรการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเตาซี ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 734,559.15 บาท/ปี ที่แรงดันไอน้ำ 6 บาร์ อัตราน้ำป้อน 100 ลิตร/ชั่วโมง มาตรการปรับลดน้ำโบล์ดวาร์น กรณีใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 677,107.11 บาท/ปี ที่แรงดันไอน้ำ 6 บาร์ อัตราน้ำป้อน 100 ลิตร/ชั่วโมง มาตรการปรับลดอากาศส่วนเกิน ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 43,646.84 บาท/ปี ที่แรงดันไอน้ำ 6 บาร์ อัตราน้ำป้อน 100 ลิตร/ชั่วโมง และมาตรการปรับลดแรงดันไอน้ำจาก 6 บาร์ มาอยู่ที่ 4 บาร์ ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 12,200.58 บาท/ปี ที่แรงดันไอน้ำ 6 บาร์ อัตราน้ำป้อน 100 ลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ

กิตติ ธนกรพิสุทธ์, 2549 นำเสนอหม้อไอน้ำแบบอัตโนมัติ หรือ Automatic Boiler โดยมีหลักการทำงาน คือ มีการนำ Automatic Boiler Control หรือ ABC เข้ามาช่วยในการควบคุม โดยใช้ Three-Element Control System ควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ ในหม้อไอน้ำแบบอัตโนมัติ ซึ่งได้แก่ การควบคุมระดับน้ำในถัง หรือ Drum Level Control และการควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำ หรือ Steam Temperature Control นอกจากนี้ยังมีการควบคุมการปล่อยก๊าซออกซิเจนที่ปล่อย หรือ flue gas oxygen control โดยคำนวณจากอัตราส่วน การใช้อากาศกับเชื้อเพลิงเมื่อมีการเผาไหม้สมบูรณ์ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าหม้อไอน้ำแบบนี้เมื่ออัตราส่วนการใช้พลังงานลดลง จาก 1.8 เหลือ 1.3 จะช่วยให้สามารถประหยัดต้นทุนได้มากกว่า 100,000 บาท ต่อปี ดังจะเห็นได้ชัดว่าหม้อไอน้ำแบบอัตโนมัติไม่เพียงแต่จะดีต่อสิ่งแวดล้อมและการประหยัดพลังงานเท่านั้น แต่ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายที่จะต้องสูญเสียไป และทำให้เกิดการประหยัดเงินต่อปีมากกว่าการใช้หม้อไอน้ำแบบธรรมดา

กิตติพงษ์ และ คณะ, 2549 ได้ศึกษาหม้อไอน้ำแบบฟลูอิดไดซ์เบดขนาดเล็ก โดยศึกษาสมรรถนะและปัญหาภาวะที่เกิดขึ้นของหม้อไอน้ำฟลูอิดไดซ์เบด พบว่าประสิทธิภาพทางความร้อน มีค่าสูงสุดประมาณ 87% ที่อัตราส่วนระหว่างอากาศ กับเชื้อเพลิงเท่ากับ 6 และปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีค่าน้อยกว่า 100ppm รวมทั้งขนาดของอนุภาคฝุ่นที่ปล่อยออกสู่อากาศมีค่าอยู่ช่วง 1-5 ไมครอน

อาษา ประทีปเสน, 2534 ได้ศึกษาและวิเคราะห์ระบบการผลิตร่วมในโรงงานกระดาษซึ่งโรงงานแห่งนี้ใช้หม้อไอน้ำแบบ stoker ขนาด 34.5 ton/hr ที่ 63 bar, 474°C ใช้ลิกไนต์ผสมถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงซึ่งระบบประกอบด้วยหม้อไอน้ำ เทอร์โบ-เจนเนอเรเตอร์และระบบการผลิตร่วมและได้นำการวิเคราะห์พลังงานของอุปกรณ์ดังกล่าว ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ตามกฎข้อที่ 1 มีค่าอยู่ระหว่าง 74.2-75.9% และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำตามกฎข้อที่ 2 มีระหว่าง 28.76 – 30.07% จากการทดลองอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ คืออัตราที่ 5.66 เท่า จากการสร้างแบบจำลองของหม้อไอน้ำอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 10.06-11.58 เท่า และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ลิกไนต์ แทนจะไม่มีผลระบบต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

The Energy Conservation Center, Japan 1993 ได้มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับการพิจารณาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับผู้ประกอบการโดยกำหนดทั้งมาตรฐานการไหล พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเชิงตัวเลข และมาตรฐานการดำเนินงานเพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับมาตรฐานการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเชิงตัวเลข ของพลังงานความร้อนด้วยระบบไอน้ำได้มีการกำหนดมาตรฐานอัตราส่วนอากาศสำหรับหม้อไอน้ำฟัด ต่าง ๆ เพื่อลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพโดยมีการกำหนดมาตรฐานการจัดการในเรื่องการปฏิบัติการ เกณฑ์การควบคุมการวัดการจดบันทึกข้อมูล การตรวจการบำรุงรักษา และการจัดการด้านอื่นๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.2 งานวิจัยที่ผ่านมาทางด้านการจำลองกระบวนการโดยใช้ไฮซิส (HYSYS)

Araceli Garca และคณะ 2009 ประยุกต์ใช้เทคนิคกระบวนการบูรณาการและสามารถนำไปสู่การรักษาสิ่งแวดล้อมในระดับที่ดี ซึ่งโปรแกรม CadSim Plus simulation ได้ถูกนำมาใช้เพื่อโรงงานผลิตเยื่อกระดาษคราฟท์ และการจำลองกระบวนการการผลิตกระดาษแผ่นหยัก ได้ดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้ซอฟต์แวร์ Aspen HX - Net 200 ศักยภาพของการประหยัด

พลังงานได้รับการระบุและความเป็นไปได้ของเครือข่ายที่เชื่อมโยงการปรับเปลี่ยนได้รับการประเมินโดยการจำลองกระบวนการ จากการโปรแกรม เขาได้ทำการศึกษากการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของกระบวนการโดยรักษาสภาพการดำเนินการและการประเมินความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปได้ในการออกแบบเครือข่ายแลกเปลี่ยนความร้อนที่ช่วยลดการใช้พลังงาน

หทัยกาญจน์ ศรีสมาน, 2544 ได้ทำการจำลอง และออปติไมซ์กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับและการหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสม โดยใช้ชุดเลียนแบบกระบวนการไฮซิส และเลือกอัลกอริทึมของการทำงานออปติไมซ์แบบควอดเดรติกต่อเนื่อง การศึกษาเป็นการจำลองกระบวนการผลิตจริงของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวของแท่นการผลิตกลางเอราวัณ บริษัทยูโนแคล ไมบแลนด์ จำกัด กรณีศึกษาแรกเพื่อศึกษาผลกระทบจากตัวแปรปรับต่าง ๆ ในกระบวนการจริงได้แก่ อัตราการไหลของสารป้อนเข้า อัตราส่วนของสายเย็นที่เข้าสู่หอกลั่น อัตราการให้พลังงานในระบบ และการใช้พลังงานในระบบ การศึกษาพบว่าอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า Reid Vapor Pressure สูงขึ้น แต่ RVZ จะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มพลังงานจากรีบอยเลอร์ และพลังงานรวมที่ใช้เพิ่มขึ้นด้วย สำหรับอัตราส่วนของสายเย็นที่เข้าสู่หอกลั่นมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่า Reid Vapor Pressure

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 ข้อมูลทั่วไปของหม้อไอน้ำซึ่งคือ ขนาดหม้อไอน้ำ ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ แรงดันหม้อไอน้ำ ค่าความเข้มข้นของสารละลาย (TDS) ในน้ำเติมเข้าถังน้ำป้อน ค่ามาตรฐานของความเข้มข้นของสารละลายในหม้อไอน้ำที่ต้องการควบคุม

3.1.2 ข้อมูลระบบไอน้ำก่อนทำการปรับปรุง โดยมีข้อมูลที่ต้องการเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ และคำนวณผลดังนี้

- ข้อมูลอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ซึ่งจะทำการเก็บค่าทุกๆ ชั่วโมง จำนวน 10 ค่า ตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 17.00 น.

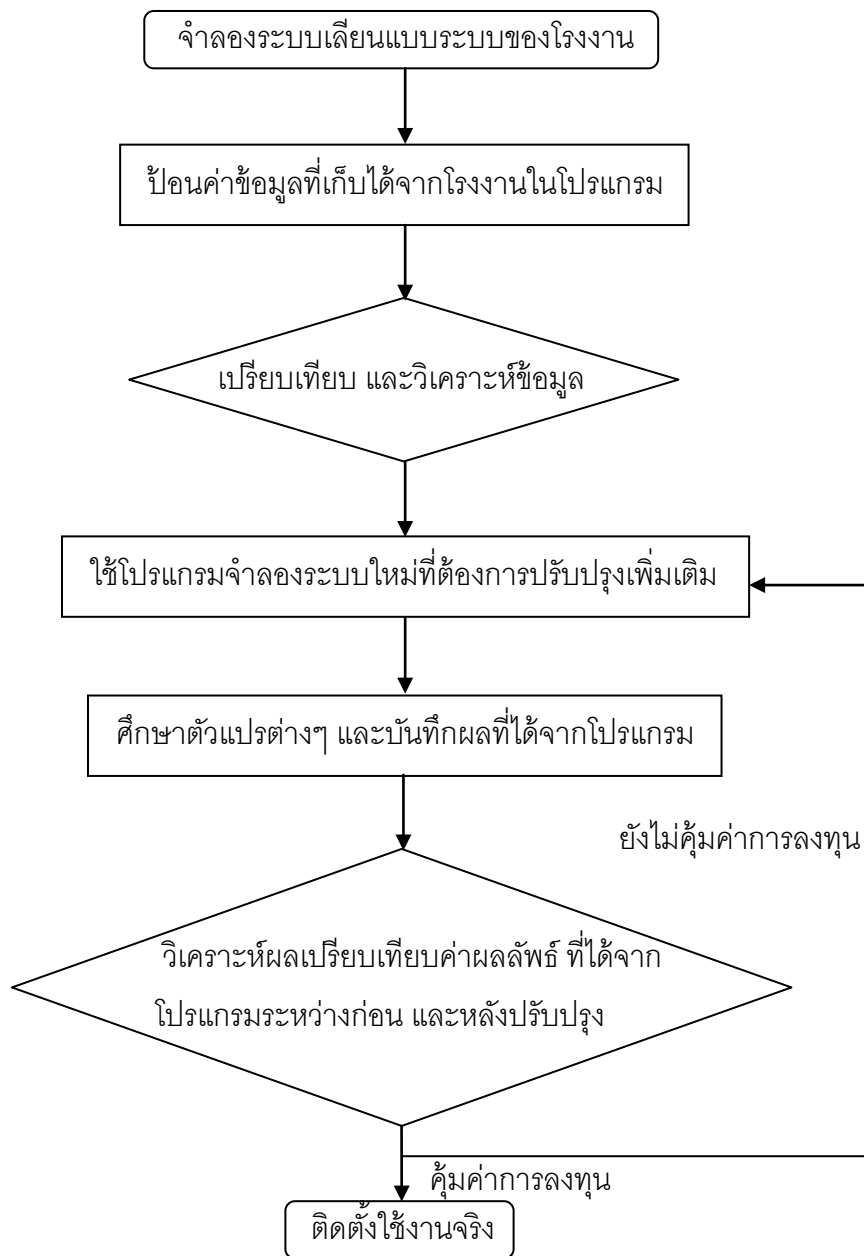
- อุณหภูมิ และปริมาณของน้ำเติม เข้าถังน้ำป้อนหม้อไอน้ำ โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ ชั่วโมง จำนวน 10 ค่า ตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 17.00 น.

- พฤติกรรมการโบล์วดาวน์

3.1.3 นำข้อมูลที่ได้ในข้อ 1 และ 2 มาจำลองในโปรแกรมแอสเพนไฮซิส (Aspen HYSYS) เพื่อเทียบข้อมูลจริงกับที่คำนวณได้ในโปรแกรมที่ประมวลผลมาจากทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิก ว่ามีความแม่นยำเพียงพอที่จะนำมาจำลองต่อไปหรือไม่

3.1.4 สร้างแบบจำลองของระบบที่ต้องการปรับปรุง และดูแนวโน้มว่าคุ้มทุนหรือไม่ โดยมีขั้นตอนในการจำลองดังนี้

ขั้นตอนการจำลองระบบในโปรแกรม แอสเพนไฮซิส (Aspen HYSYS)



3.1.5 นำข้อมูลที่สรุปได้จากแบบจำลองมาปรับปรุงระบบจริงในโรงงาน เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง โดยมีข้อมูลที่ต้องการเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ และคำนวณผลดังนี้

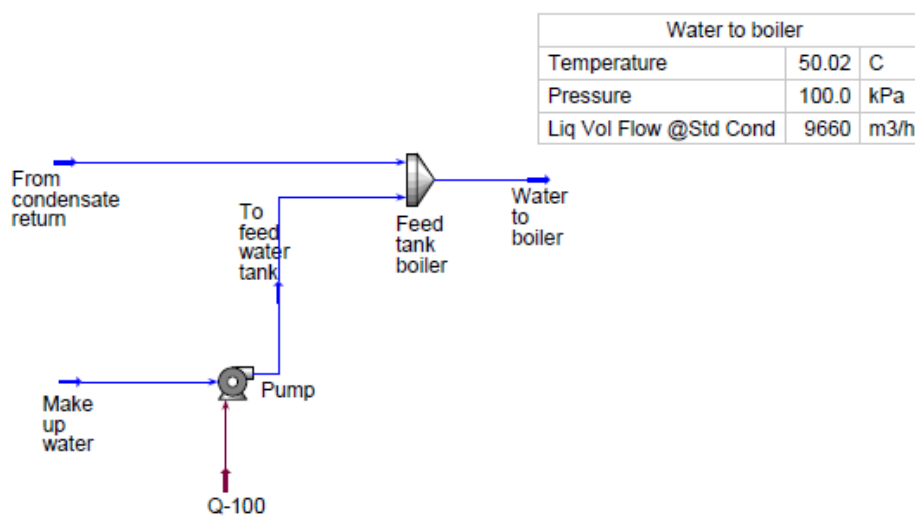
- ข้อมูลอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ซึ่งจะทำการเก็บค่าทุกๆ ชั่วโมง จำนวน 10 ค่า ตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 17.00 น.

- อุณหภูมิ และปริมาณของน้ำเติม เข้าถึงน้ำป้อนหม้อไอน้ำ โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ ชั่วโมง จำนวน 10 ค่า ตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 17.00 น.

- ค่าความเข้มข้นสารละลายในหม้อไอน้ำ โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ ชั่วโมง จำนวน 10 ค่า ตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 17.00 น.

3.2 วิธีจำลองข้อมูล และป้อนค่าในโปรแกรมแอสเพนไฮซิส (Aspen HYSYS)

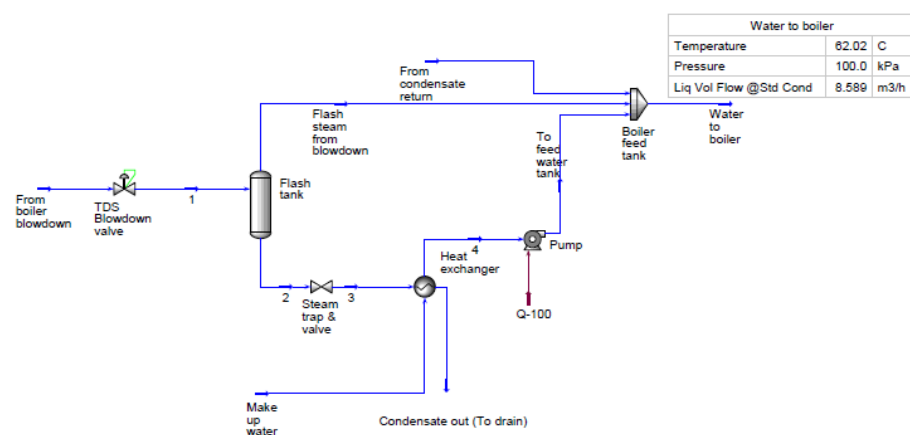
3.2.1 การจำลองก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 3-1 ภาพแสดงการจำลองข้อมูลในโปรแกรมก่อนทำการปรับปรุง

การกำหนดค่าในสายป้อนแต่ละสาย	
Make up water	
- กำหนดอัตราการไหล (m ³ /hr)	ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ 10 ครั้ง ที่เวลาทุก 1 ชม. ตั้งแต่ 8.00-17.00 น.
- กำหนดอุณหภูมิ (°C)	ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ 10 ครั้ง ที่เวลาทุก 1 ชม. ตั้งแต่ 8.00-17.00 น.
- กำหนดองค์ประกอบของสาร	มีสารชนิดเดียวคือน้ำให้ใส่ค่าเท่ากับ 1
- กำหนดความดัน (kPa)	จากโรงงาน (200 kPa)
Water to boiler	
- กำหนดอัตราการไหล (m ³ /hr)	ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ 10 ครั้ง ที่เวลาใดๆ ตั้งแต่ 8.00-17.00 น.
- กำหนดองค์ประกอบของสาร	มีสารชนิดเดียวคือน้ำให้ใส่ค่าเท่ากับ 1
From condensate return	
- กำหนดอุณหภูมิ (°C)	ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ 10 ครั้ง ที่เวลาใดๆ ตั้งแต่ 8.00-17.00 น.
- กำหนดอัตราการไหล (m ³ /hr)	ค่าที่ได้จากการคำนวณ (Water to boiler – Make up water)
- กำหนดความดัน (kPa)	ไหลออกสู่บรรยากาศ (100 kPa)
การกำหนดค่าที่ตัวอุปกรณ์	
Q-100	จากโรงงาน (ปั๊มขนาด 1.1 kW)

3.2.2 การจำลองข้อมูลหลังการปรับปรุงระบบ

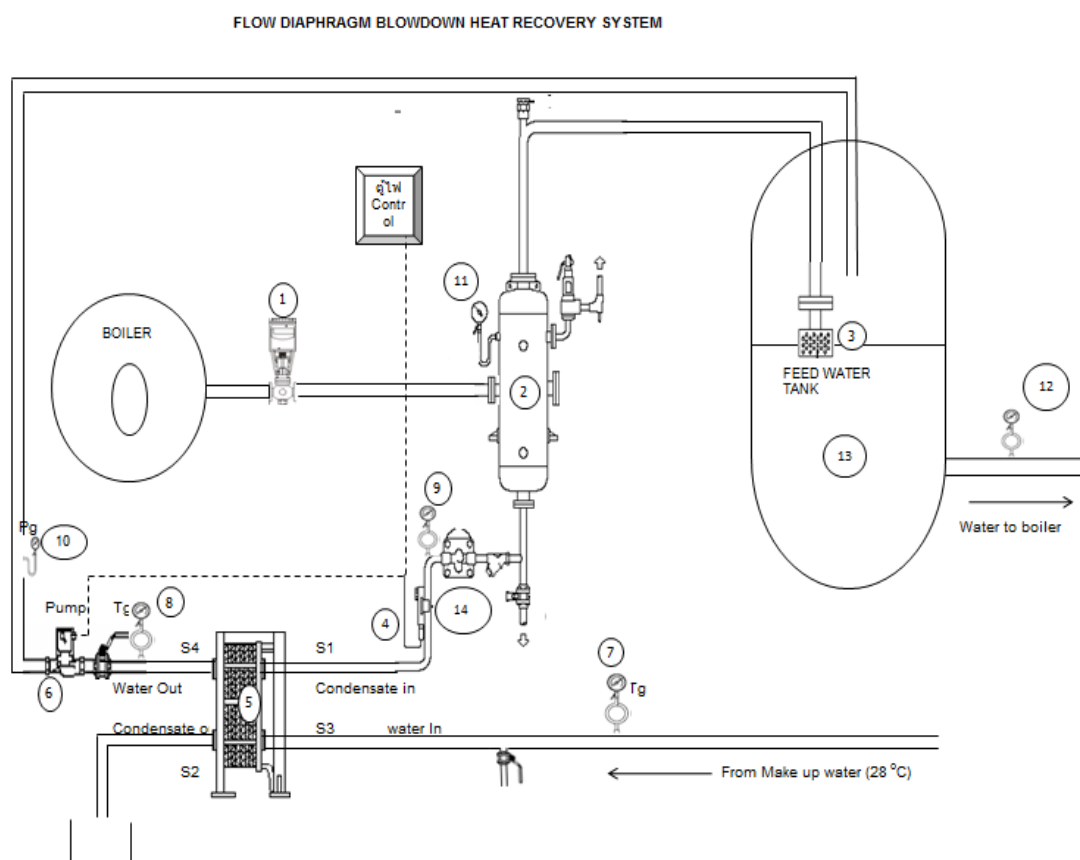


รูปที่ 3-2 แสดงระบบแบบจำลองในโปรแกรม Aspen HYSYS หลังการปรับปรุงระบบ

การกำหนดค่าสายป้อนแต่ละสาย	
Make up water	
- กำหนดอัตราการไหล (m ³ /hr)	ตามค่าที่บันทึกผลจากโรงงานก่อนการปรับปรุง
- กำหนดอุณหภูมิ (°C)	ตามค่าที่บันทึกผลจากโรงงานก่อนการปรับปรุง
- กำหนดองค์ประกอบของสาร	มีสารชนิดเดียวคือน้ำให้ใส่ค่าเท่ากับ 1
- กำหนดความดัน (kPa)	จากโรงงาน (200 kPa)
Water to boiler	
- กำหนดอัตราการไหล (m ³ /hr)	ตามค่าที่บันทึกผลจากโรงงานก่อนการปรับปรุง
- กำหนดองค์ประกอบของสาร	มีสารชนิดเดียวคือน้ำให้ใส่ค่าเท่ากับ 1
From condensate return	
- กำหนดอุณหภูมิ (°C)	ตามค่าที่บันทึกผลจากโรงงานก่อนการปรับปรุง
- กำหนดความดัน (kPa)	ไหลออกสู่บรรยากาศ (100 kPa)
From boiler blowdown	
- กำหนดอัตราการไหล (kg/hr)	คำนวณ (จากสมการ 2.2)
- กำหนดอุณหภูมิ (°C)	จากตารางไอน้ำ
- กำหนดความดัน (kPa)	จากความดันในหม้อไอน้ำ (1000 kPa)

กำหนดค่าที่ตัวอุปกรณ์	
TDS Blowdown valve	กำหนดสายไหลเข้าออก และ Delta P (850 kPa)
Flash tank	กำหนดสายไหลเข้าออก
Steam trap & valve	กำหนดสายไหลเข้าออก และ Delta P (30 kPa)
Heat exchanger	กำหนดสายไหลเข้าออก, Tube side Delta P (20 kPa) และ Shell side Delta P (30 kPa)/U=23,530 KJ/°C
Boiler feed tank	กำหนดสายไหลเข้าออก

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบ



รูปที่ 3-3 แสดงระบบและจุดติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ

1. ชุดควบคุมค่าสารละลายในหม้อไอน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย
 - วาล์วควบคุมอัตโนมัติ หัวขั้วลมขนาด 3/4"
 - โกล์บวาล์วขนาด 3/4"
 - อุปกรณ์ตรวจจับค่าน้ำในหม้อไอน้ำ
2. ถังแฟลชขนาด สูง 1.225 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.168 เมตร
3. วาล์วนิรภัย ขนาด 1/2"
4. เกจวัดแรงดัน
5. ชุดกับดักไอน้ำ ขนาด 1 1/4" พร้อมวาล์วเปิดปิด
6. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
7. อิเล็กทริกปั๊ม
8. ชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบ

หมายเหตุ รายละเอียดและการเลือกใช้อุปกรณ์ดัง ภาคผนวก ข

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์

4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงาน

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทั่วไปของระบบไอน้ำที่ได้จากโรงงาน

ประเภทหม้อไอน้ำ	ชนิดท่อไฟ
ขนาดหม้อไอน้ำ	12 ตันต่อชั่วโมง
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	80%
ปริมาณการใช้ไอน้ำ	~ 8-8.5 ตันต่อชั่วโมง
แรงดันไอน้ำ	9 บาร์เกจ
ชนิดของเชื้อเพลิง	น้ำมันเตาเกรด C
ค่าพลังงานเชื้อเพลิง	42500 กิโลจูลต่อกิโลกรัม
ราคาน้ำมันเตา	~ 18 บาท ต่อลิตร
จำนวนชั่วโมงทำงาน	3600 ชั่วโมงต่อปี
ค่าความเข้มข้นสารละลายในน้ำของน้ำเติมเข้าถังน้ำป้อน	260 ppm
ค่าความเข้มข้นสารละลายในหม้อไอน้ำที่ต้องการควบคุม	2500 ppm
พฤติกรรมการโบล์ดวาร์น (ทุก 1 ชม. 30-40 วินาที)	~ 1000 kg

ตารางที่ 4.2 แสดงตารางแสดงข้อมูลจากโรงงาน และคำนวณค่าการโบล์ดวาร์นเกิน (ให้อัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 8,500 kg/hr, ค่า TDS และอัตราการโบล์ดวาร์นที่ควรเป็นคำนวณจากสมการ 2.2)

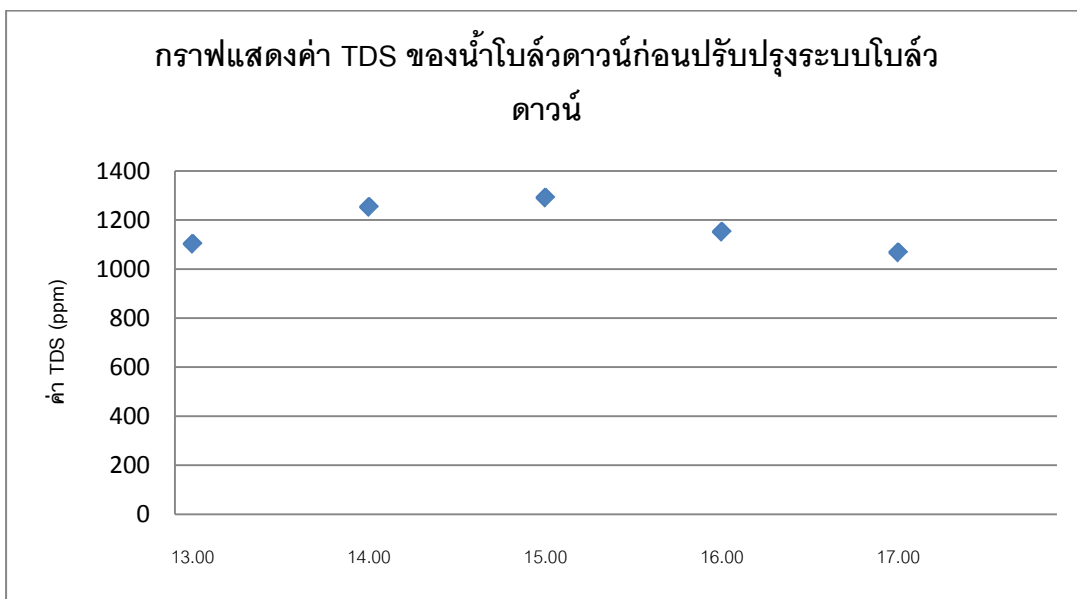
เวลา	รายละเอียด	ข้อมูลจริง	อัตราโบล์ดวาร์น	อัตราโบล์ดวาร์นที่ควรเป็น	ค่า TDS (ppm)
8.00	อัตราน้ำเติมเข้าถังน้ำป้อน (m ³ /h)	6340.0	1,200 kg	620 kg	1205
	อัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9700.0			
	อุณหภูมิน้ำเติมเข้าถังน้ำป้อน (°C)	28.0			
	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท (°C)	90.0			
	อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (°C)	50.0			

ตารางที่ 4.2 แสดงตารางแสดงข้อมูลจากโรงงาน และคำนวณค่าการไหลเวียน (ให้อัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 8,500 kg/hr, ค่า TDS และอัตราการไหลเวียนที่ควรเป็นคำนวณจากสมการ 2.2) (ต่อ)

เวลา	รายละเอียด	ข้อมูลจริง	อัตราไหลเวียน	อัตราไหลเวียนที่ควรเป็น	ค่า TDS (ppm)
9.00	อัตราน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อน (m ³ /h)	6254.0	1,150 kg	614.3 kg	1247
	อัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9650.0			
	อุณหภูมิน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อน (°C)	28.0			
	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท (°C)	90.0			
	อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (°C)	50.0			
10.00	อัตราน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อน (m ³ /h)	6231.0	1,099 kg	615.4 kg	1306
	อัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9599.0			
	อุณหภูมิน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อน (°C)	28.5			
	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท (°C)	92.0			
	อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (°C)	50.5			
11.00	อัตราน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อน (m ³ /h)	6505.0	1,178 kg	639 kg	1262
	อัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9678.0			
	อุณหภูมิน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อน (°C)	29.0			
	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท (°C)	93.0			
	อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (°C)	50.0			
12.00	อัตราน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อน (m ³ /h)	6497.0	1,170 kg	638.5 kg	1270
	อัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9670.0			
	อุณหภูมิน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อน (°C)	29.0			
	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท (°C)	90.0			
	อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (°C)	49.0			
	อัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9850.0			
	อุณหภูมิน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อน (°C)	29.0			

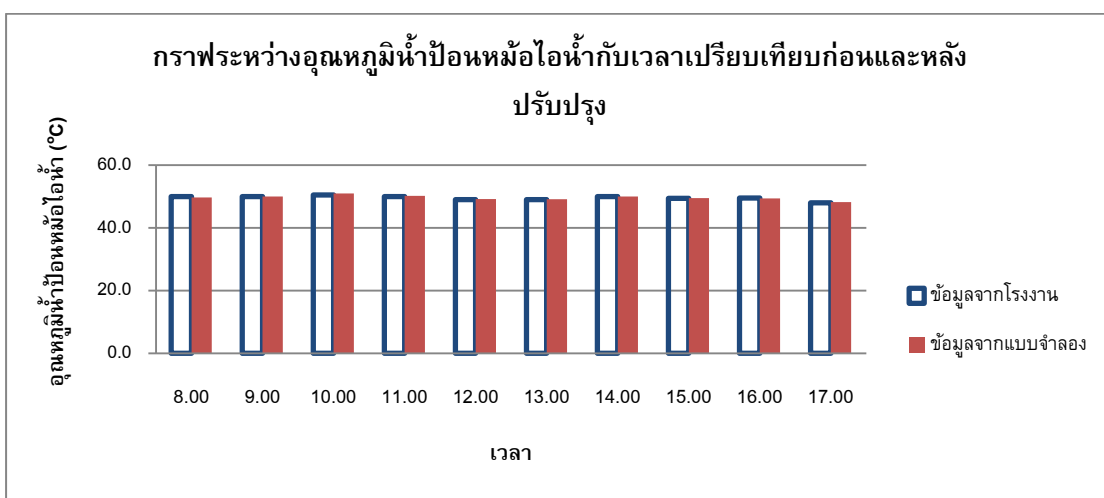
ตารางที่ 4.2 แสดงตารางแสดงข้อมูลจากโรงงาน และคำนวณค่าการไหลเวียนเกิน (ให้อัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 8,500 kg/hr, ค่า TDS และอัตราการไหลเวียนที่ควรเป็นคำนวณจากสมการ 2.2) (ต่อ)

เวลา	รายละเอียด	ข้อมูลจริง	อัตราไหลเวียน	อัตราไหลเวียนที่ควรเป็น	ค่า TDS (ppm)
13.00	อัตราน้ำเต็มเข้าถึงน้ำป้อน (m ³ /h)	6632.0	1,350 kg	640 kg	1103
	อัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9850.0			
	อุณหภูมิน้ำเต็มเข้าถึงน้ำป้อน (°C)	29.0			
	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท (°C)	90.0			
	อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (°C)	49.0			
14.00	อัตราน้ำเต็มเข้าถึงน้ำป้อน (m ³ /h)	6350.0	1,160 kg	624 kg	1253
	อัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9660.0			
	อุณหภูมิน้ำเต็มเข้าถึงน้ำป้อน (°C)	28.5			
	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท (°C)	91.0			
	อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (°C)	50.0			
15.00	อัตราน้ำเต็มเข้าถึงน้ำป้อน (m ³ /h)	6321.0	1,125 kg	623 kg	1291
	อัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9625.0			
	อุณหภูมิน้ำเต็มเข้าถึงน้ำป้อน (°C)	28.0			
	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท (°C)	90.0			
	อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (°C)	49.4			
16.00	อัตราน้ำเต็มเข้าถึงน้ำป้อน (m ³ /h)	6420.0	1,263 kg	624 kg	1152
	อัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9763.0			
	อุณหภูมิน้ำเต็มเข้าถึงน้ำป้อน (°C)	28.0			
	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท (°C)	91.0			
	อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (°C)	49.5			
17.00	อัตราน้ำเต็มเข้าถึงน้ำป้อน (m ³ /h)	6700.0	1,402 kg	643.4 kg	1068
	อัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9902.0			
	อุณหภูมิน้ำเต็มเข้าถึงน้ำป้อน (°C)	28.0			
	อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท (°C)	90.0			
	อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (°C)	48.0			



รูปที่ 4-1 แสดงค่าความเข้มข้นสารละลายในน้ำโบลด์าวาน์ก่อนการปรับปรุงระบบโบลด์าวาน์

4.2 ผลการจำลองข้อมูลใน Aspen HYSYS เทียบกับข้อมูลจากโรงงานก่อนการปรับปรุงระบบโบลด์าวาน์



รูปที่ 4-2 เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงระบบโบลด์าวาน์

จากตารางเป็นผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่เก็บค่าได้จากโรงงาน กับข้อมูลที่ได้อาจจากการจำลองใน Aspen HYSYS พบว่าโปรแกรมได้ค่าที่คลาดเคลื่อนจากผลที่บันทึกได้จากโรงงานเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากสาเหตุหลายปัจจัย เช่นจากการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบจริง ความสามารถในการผสมกันระหว่างคอนเดนเสทกับน้ำเติมเข้าถังน้ำป้อน และการอ่าน

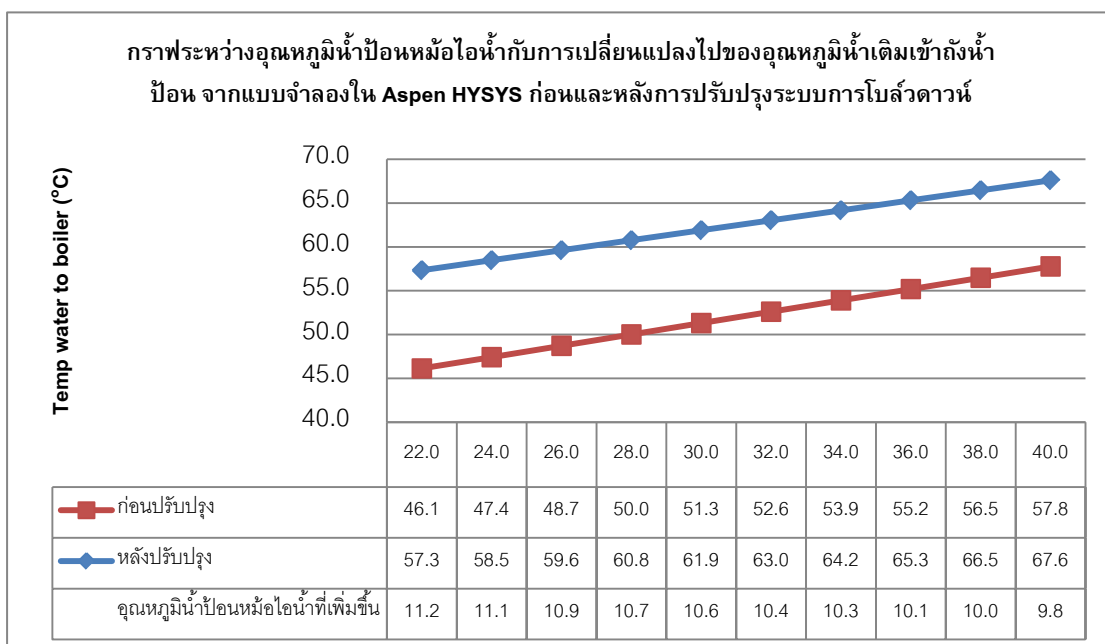
ค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ อย่างไรก็ตามผลที่ได้ก็ถือว่าเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน โดยจะเลือกใช้ค่าที่เวลา 9.00 น. มาทำการจำลองโดยเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ต่อไป

4.3 ผลการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ในระบบจากแบบจำลอง

4.3.1 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำเดิมเข้าถึงน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

สมมติฐานในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเดิมเข้าถึงน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

- ศึกษาที่สภาวะคงตัว
- แรงดันหม้อไอน้ำคงที่ที่ 9 บาร์เกจ
- อุณหภูมิคอนเดนเสท ไม่เปลี่ยนแปลง
- ปริมาณคอนเดนเสทที่กลับจากระบบมีค่าคงที่



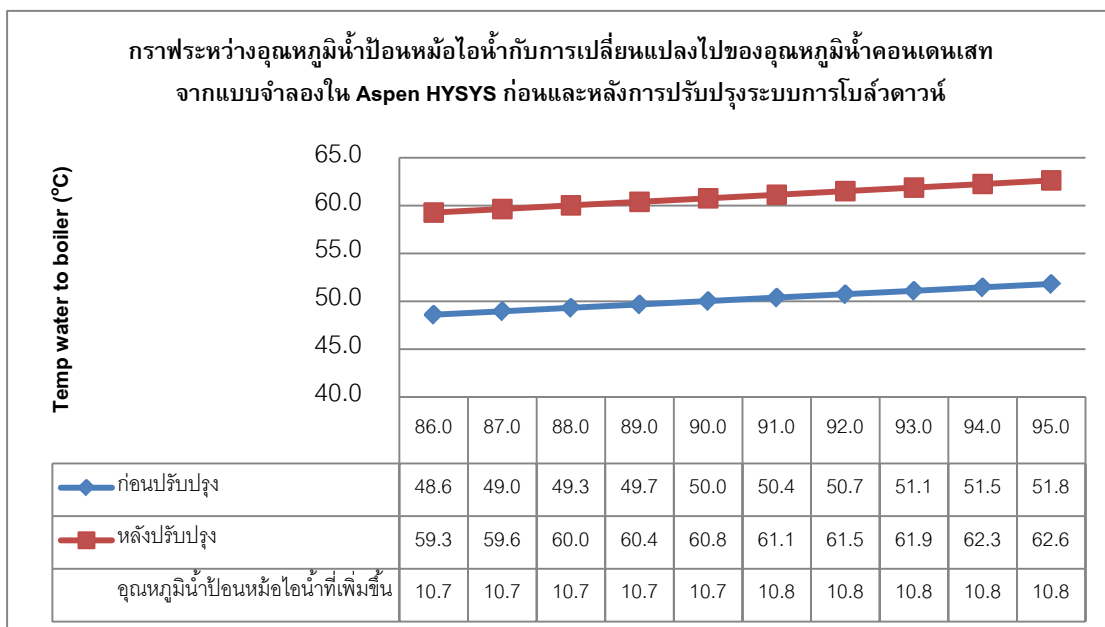
รูปที่ 4-3 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบการจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเดิมถึงน้ำป้อน กับ อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ก่อนและหลังปรับปรุง

จากการจำลองระบบใน Aspen HYSYS โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำก่อน และหลังปรับปรุง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเติมถึงน้ำป้อนโดยเริ่มจาก 22 ไปถึง 40 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเติมถึงน้ำป้อน ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงมีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการในระบบหลังการปรับปรุงนั้นมีอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นมา เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำโบล์ดวอร์คกับน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อนซึ่งในช่วงที่อุณหภูมิน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อน อุณหภูมิต่ำประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนจะดีกว่าเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น

4.3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของคอนเดนเสท

สมมติฐานในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคอนเดนเสท

- ศึกษาที่สภาวะคงตัว
- แรงดันหม้อไอน้ำคงที่ที่ 9 บาร์เกจ
- อุณหภูมิน้ำเติมเข้าถึงน้ำป้อน ไม่เปลี่ยนแปลง
- ปริมาณคอนเดนเสทที่กลับมาจากระบบคงที่



รูปที่ 4-4 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบการจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคอนเดนเสท กับ อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ก่อนและหลังปรับปรุง

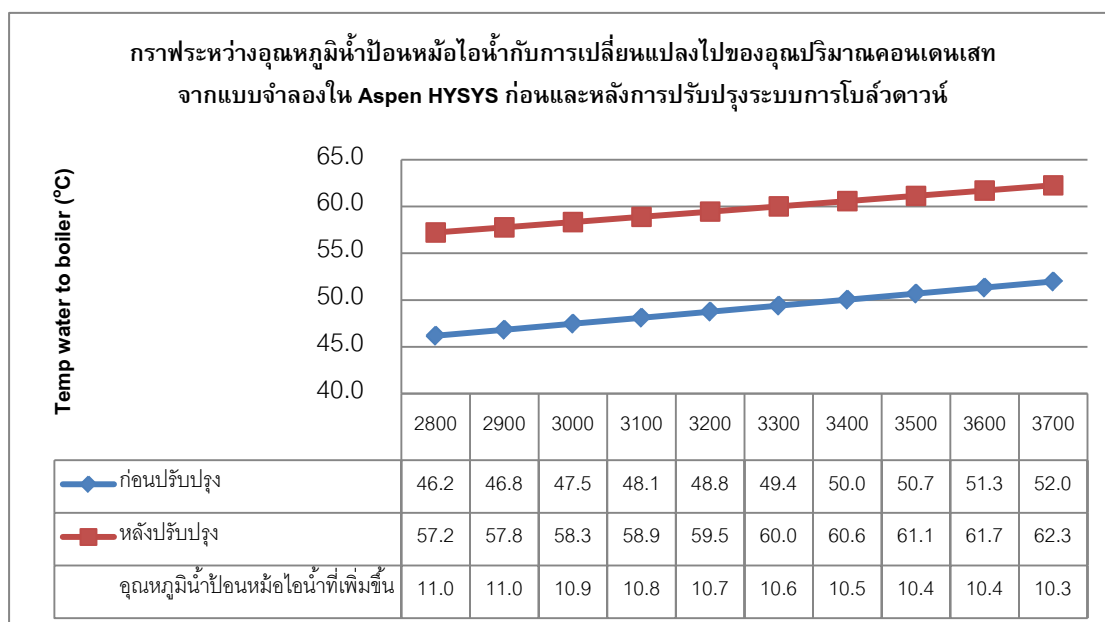
จากการจำลองระบบใน Aspen HYSYS โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำก่อน และหลังปรับปรุง พบว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำคอนเดนเสทเพิ่มขึ้นผลต่างของอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำระหว่างระบบก่อนและหลังปรับปรุงระบบโบลด์วาร์นจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนที่ถูกนำกลับมาจากน้ำโบลด์วาร์นและไอน้ำแฟลชเข้าไปช่วยเพิ่มอุณหภูมิของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ และมีผลมากกว่าอุณหภูมิของคอนเดนเสทที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นระบบหลังการปรับปรุงจึงมีแนวโน้มของอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำสูงขึ้นรวดเร็วกว่า

4.3.3 ผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของคอนเดนเสท

สมมติฐานในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของคอนเดนเสท

- ศึกษาที่สภาวะคงตัว
- แรงดันหม้อไอน้ำคงที่ที่ 9 บาร์เกจ
- อุณหภูมิน้ำเต็มเข้าถังก่อน และคอนเดนเสทไม่เปลี่ยนแปลง

สำหรับกรณีนี้หากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณคอนเดนเสทค่าอื่นๆ จะมีผลเปลี่ยนแปลงไปด้วยดังสมการสมดุลมวล และพลังงาน (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4-5 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบการจำลองการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของคอนเดนเสท กับอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ก่อนและหลังปรับปรุง

จากการจำลองระบบใน Aspen HYSYS โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำก่อน และหลังปรับปรุง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณคอนเดนเสทโดยเริ่มจาก 2800 ไปถึง 3700 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงมีค่าลดลงเมื่อปริมาณคอนเดนเสทเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อปริมาณคอนเดนเสทเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นสารละลายของน้ำป้อนหม้อไอน้ำลดลง ทำให้อัตราการโบลด์ดาว์ลดลงดังนั้นความร้อนที่ได้จากการโบลด์ดาว์ที่นำมาอุ่นน้ำเติมถึงน้ำป้อน และไอน้ำแฟลชลดลง ความสำคัญของระบบที่ทำการปรับปรุงจึงลดน้อยลง

หากนำค่าที่เปลี่ยนแปลงของทุกกรณีทีกล่าวมา โดยเลือกค่าที่ให้ผลการประหยัดต่ำสุดมาจำลองในโปรแกรม Aspen HYSYS ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลต่างของอุณหภูมิที่ได้จากการใส่เงื่อนไขที่ประหยัดได้น้อยที่สุดของแต่ละกรณี

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
อัตราการไหลน้ำเติมเข้าถ้ำน้ำป้อน (m ³ /h)	5950.0	5357.0
อุณหภูมิน้ำเติมเข้าถ้ำน้ำป้อน (°C)	40.0	40.0
อัตราการไหลคอนเดนเสท (m ³ /h)	3700.0	3700.0
อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท (°C)	86.0	86.0
อัตราการไหลน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m ³ /h)	9650.0	9057.0
ความดันหม้อไอน้ำ (kPa)	1000.0	1000.0
อัตราการโบลด์ดาว์ (kg/h)	-	557.0
อุณหภูมิน้ำเติมเข้าถ้ำน้ำป้อน (°C)	57.8	67.1
ผลต่างของอุณหภูมิ (°C)	9.3	

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลเพื่อใช้คำนวณต้นทุนพลังงาน

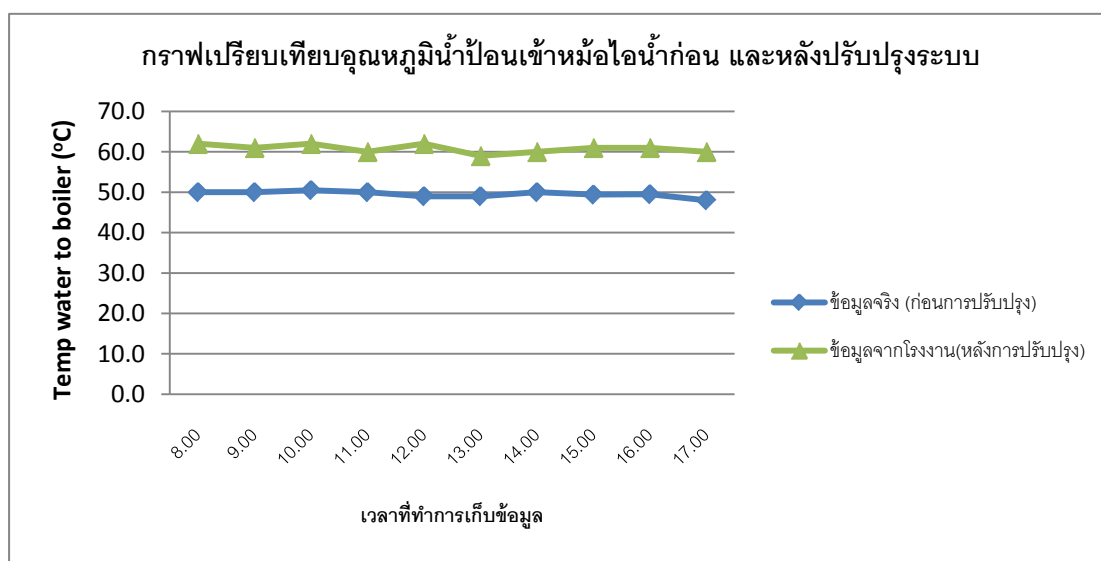
รายละเอียด	ข้อมูล	แหล่งที่มา
ค่าพลังงานเชื้อเพลิง (kJ/kg)	42500	EDB Data, Spirax sarco
เอนทัลปีของการระเหยของน้ำที่ 9 บาร์เกจ (kJ/kg)	2015	EDB Data, Spirax sarco
ไอน้ำ 1 ตัน (kg)	1000	
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	80%	
ความถ่วงจำเพาะ	0.97	EDB Data, Spirax sarco
ราคาน้ำมันเตาเกรด C (baht/lit)	18.00	จากโรงงาน
ชั่วโมงทำงานต่อปี (hr)	3600	จากโรงงาน
ปริมาณการใช้ไอน้ำเฉลี่ย (T/hr)	8.50	จากโรงงาน

เมื่อนำค่าผลต่างของอุณหภูมิมาคำนวณต้นทุนพลังงาน ผลที่ได้คือยังสามารถประหยัดได้ 650,789 บาทต่อปี ซึ่งถือว่ายังคุ้มค่าที่จะลงทุนอยู่ เพราะในความเป็นจริงค่าตัวแปรต่าง ๆ จะไม่คงที่และผลที่ได้จะมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันไป

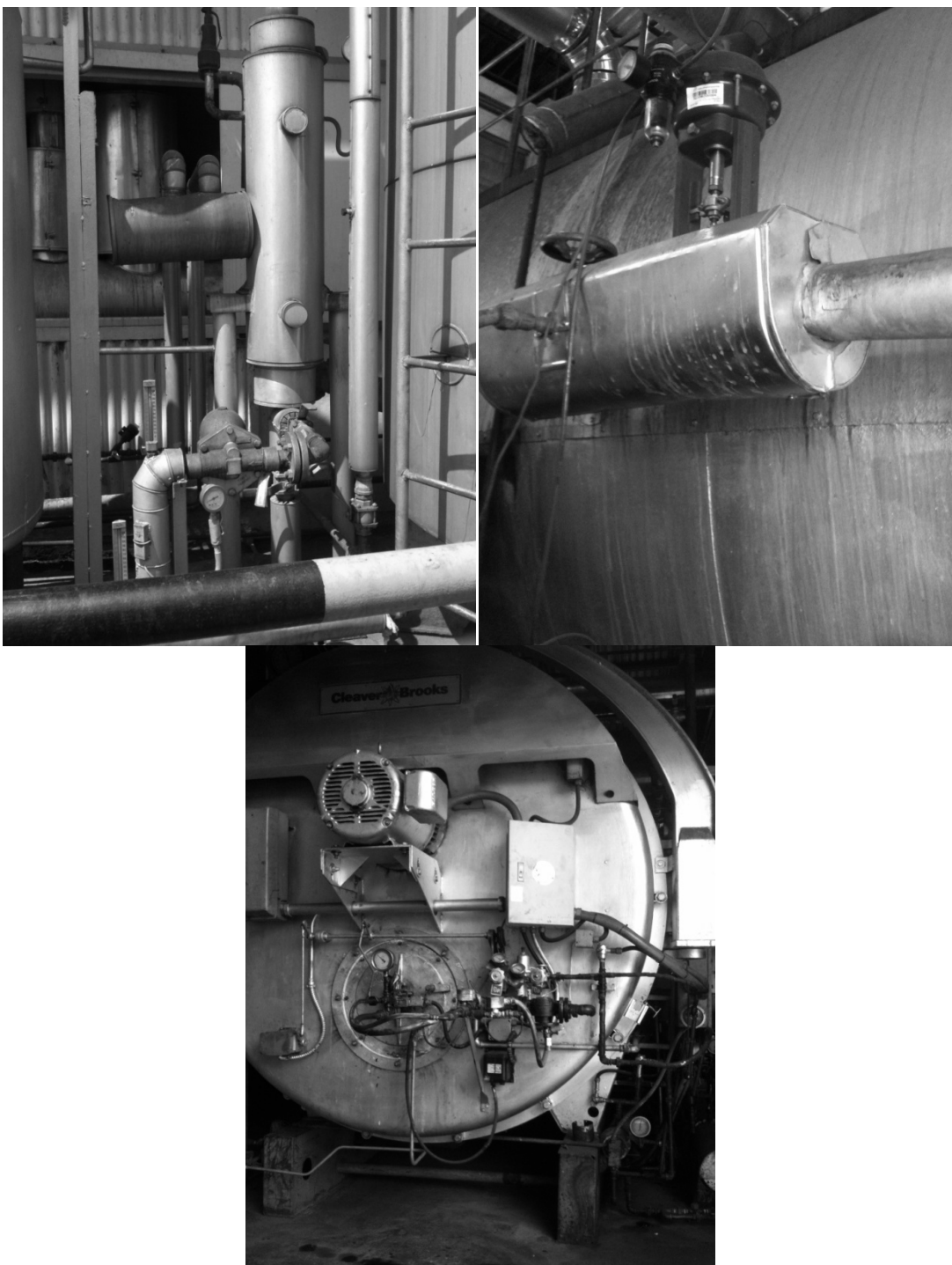
4.4 ผลการปรับปรุงระบบจริงในโรงงาน

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลของอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงระบบ

เวลา	อุณหภูมิของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ	
	ข้อมูลจริง (ก่อนการปรับปรุง)	ข้อมูลจากโรงงาน(หลังการปรับปรุง)
8.00	50.0	62
9.00	50.0	61
10.00	50.5	62
11.00	50.0	60
12.00	49.0	62
13.00	49.0	59
14.00	50.0	60
15.00	49.4	61
16.00	49.5	61
17.00	48.0	60



รูปที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำก่อนและหลังปรับปรุงระบบ



รูปที่ 4-5 แสดงรูปอุปกรณ์การติดตั้งหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงการคำนวณต้นทุนของการผลิตไอน้ำ ระยะเวลาค้ำทุนก่อน และหลัง
การปรับปรุงระบบจริง

เวลาที่ทำการเก็บข้อมูล	8.00		9.00		10.00		11.00		12.00	
Temp water to boiler (°C)	50.0	62.0	50.0	61.0	50.5	62.0	50.0	60.0	49.0	62.0
heat input required (kg/kj)	544.7	494.4	544.7	498.6	542.6	494.4	544.7	502.8	548.9	494.4
Total Heat input required	2559.7	2509.4	2559.7	2513.6	2557.6	2509.4	2559.7	2517.8	2563.9	2509.4
Net fuel needed (kg)	75.29	73.81	75.29	73.93	75.22	73.81	75.29	74.05	75.41	73.81
Net fuel needed (Lit)	77.6	76.1	77.6	76.2	77.6	76.1	77.6	76.3	77.7	76.1
Cost of steam (Baht/T steam)	1397.0	1369.6	1397.0	1371.9	1395.9	1369.6	1397.0	1374.2	1399.3	1369.6
ต้นทุนของพลังงานที่ประหยัดได้ต่อการ ผลิตไอน้ำ 1 ตัน (Baht)	27.4		25.2		26.3		22.9		29.7	
คิดเป็นเงินประหยัดได้ต่อปี (Baht)	<u>839,727.84</u>		<u>769,750.52</u>		<u>804,739.18</u>		<u>699,773.20</u>		<u>909,705.15</u>	
ระยะเวลาค้ำทุน	10		10		10		11		9	

เวลาที่ทำการเก็บข้อมูล	13.00		14.00		15.00		16.00		17.00	
Temp water to boiler (°C)	49.0	59.0	50.0	60.0	49.4	61.0	49.5	61.0	48.0	60.0
heat input required (kg/kj)	548.9	507.0	544.7	502.8	547.2	498.6	546.8	498.6	553.1	502.8
Total Heat input required	2563.9	2522.0	2559.7	2517.8	2562.2	2513.6	2561.8	2513.6	2568.1	2517.8
Net fuel needed (kg)	75.41	74.18	75.29	74.05	75.36	73.93	75.35	73.93	75.53	74.05
Net fuel needed (Lit)	77.7	76.5	77.6	76.3	77.7	76.2	77.7	76.2	77.9	76.3
Cost of steam (Baht/T steam)	1399.3	1376.5	1397.0	1374.2	1398.4	1371.9	1398.2	1371.9	1401.6	1374.2
ต้นทุนของพลังงานที่ประหยัดได้ต่อการ ผลิตไอน้ำ 1 ตัน (Baht)	22.9		22.9		26.5		26.3		27.4	
คิดเป็นเงินประหยัดได้ต่อปี (Baht)	<u>699,773.20</u>		<u>699,773.20</u>		<u>811,736.91</u>		<u>804,739.18</u>		<u>839,727.84</u>	
ระยะเวลาค้ำทุน	11		11		10		10		10	

จากตารางใช้ค่าเฉลี่ยเพื่อหาระยะเวลาค้ำทุน (ภาคผนวก ก)

- ต้นทุนของไอน้ำก่อนปรับปรุง = 1,398.1 บาท/ตัน
- ต้นทุนของไอน้ำหลังปรับปรุง = 1,372.3 บาท/ตัน

สรุปเปรียบเทียบต้นทุนของไอน้ำหลังการปรับปรุงระบบควบคุมอัตราการไหล

ดาวนและนำกลับพลังงานความร้อน

$$\text{ประหยัดได้} = 1,398.19 - 1,372.35 = 25.75 \text{ บาท/ตัน}$$

$$\text{- BOILER ขนาด 12 ton /hr , เดิน BOILER 80 \%} = 8.5 \text{ ton/hr}$$

$$\text{- ชั่วโมงการทำงาน 15 ชั่วโมง x 20 วัน x 12 เดือน} = 3600 \text{ ชั่วโมง}$$

$$\text{ประหยัดได้ทั้งหมด} = 25.75 \times 8.5 \times 3600 = 787,950 \text{ บาท/ปี}$$

ดังนั้นจากต้นทุน (ภาคผนวก ก) 665,000 บาท การปรับปรุงระบบการควบคุมอัตราการไหลดาวนและนำความร้อนจากการไหลดาวนหม้อไอน้ำมาใช้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 10-11 เดือน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 จำลองระบบในโปรแกรมแอสเพน ไฮซิส (Aspen HYSYS) เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง

จากการรวบรวมข้อมูลระบบเพื่อนำมาสร้างระบบจำลองเลียนแบบในโรงงานโดยใช้โปรแกรมแอสเพน ไฮซิส (Aspen HYSYS) และทำการป้อนค่าตามที่เป็นที่กได้จากโรงงาน และดูผลของอุณหภูมิ น้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ได้พบว่าพบว่ โปรแกรมได้ค่าที่คลาดเคลื่อนจากผลที่เป็นที่กได้จากโรงงานเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากสาเหตุหลายปัจจัย เช่นจากการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบจริง ความสามารถในการผสมกันระหว่างคอนเดนเสทกับน้ำเติมเข้าถ้งน้ำป้อน และการอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ อย่างไรก็ตามผลที่ได้ก็ถือว่าเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน จึงสามารถใช้โปรแกรมและระบบจำลองนี้ในการศึกษาค่าตัวแปรต่างๆ และปรับปรุงระบบต่อไป

5.2 ผลการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ในระบบจากแบบจำลอง

ในการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ คืออุณหภูมิ น้ำเติมเข้าถ้งน้ำป้อน อุณหภูมิของคอนเดนเสท ปริมาณคอนเดนเสทที่กลับมาจากระบวนการผลิต เพื่อศึกษาแนวโน้มของต้นทุนพลังงานที่สามารถประหยัดได้โดยเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิ น้ำป้อนหม้อไอน้ำจากแบบจำลองระบบก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุงการโบล์ดวามหม้อไอน้ำ หลังจากนั้นได้นำค่าที่ให้ผลการประหยัดน้อยที่สุดของแต่ละเงื่อนไข แล้วนำมาจำลองใน Aspen HYSYS อีกครั้งพบว่าให้ผลการประหยัดพลังงานอยู่ที่ 650,789 บาทต่อปี ซึ่งถือว่ายังคุ้มค่าที่จะลงทุนอยู่ ดังนั้นจึงสามารถนำระบบนี้ไปติดตั้งใช้งานจริงได้

5.3 ผลการปรับปรุงระบบจริงในโรงงาน

และจากการนำผลการจำลองในการปรับปรุงระบบมาทำการติดตั้งจริง พบว่าอุณหภูมิ น้ำป้อนเพิ่มขึ้น จาก 49.5°C เป็น 60.8°C ซึ่งเมื่อคิดเป็นค่าการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำพบว่าสามารถประหยัดได้ 787,950 บาทต่อปี ซึ่งในการปรับปรุงระบบมีค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์รวมค่าติดตั้งทั้งหมด 665,000 บาท ดังนั้นจากการลงทุนปรับปรุงระบบครั้งนี้สามารถคืนทุนได้ภายใน 10-11 เดือน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติ ธนารักษ์พิสุทธิ์. หม้อไอน้ำระบบอัตโนมัติกับการอนุรักษ์พลังงาน. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 : สาขาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. 44 (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2549): 118-125.

คำสอน ภูทองพลอย. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หม้อไอน้ำขนาดเล็กความดันต่ำสำหรับอุตสาหกรรม SMEs. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550

โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP). 2546. แนวทางการปฏิบัติเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในภาคอุตสาหกรรมของเอเชีย [ออนไลน์]. ค้นวันที่ 12 ธันวาคม 2550. จาก <http://www.energyefficiencyasia.org>.

จตุพร กุลละวณิชวิวัฒน์. การออกแบบโครงสร้างการควบคุมของช่างงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544

ฉัตรชัย นิยมล. พื้นฐานเกี่ยวกับระบบไอน้ำ. เทคนิคเครื่องกล-ไฟฟ้า-อุตสาหกรรม. 253 (กันยายน 2548): 1-13.

ชุตินาถ ทักษิณทร์. การใช้หม้อไอน้ำให้มีประสิทธิภาพด้วยเทคโนโลยีสะอาด กรณีศึกษาโรงพยาบาลนครพิงค์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2551

พิษณุ ร้อยมวงษ์. การประหยัดพลังงานโดยการปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนในระบบโรงงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548

ไพฑูรย์ สร้อยสน. การอนุรักษ์พลังงานของหม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549

วัชร มั่งวิฑิตกุล. กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เร็ล ยู พาวเวอร์ จำกัด. 2550ศิริกัลยา สุวจิตา

นนท์. เทคนิคการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2 (2548).

ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. เอกสารเผยแพร่คู่มือการใช้เชื้อเพลิงอย่างมี

ประสิทธิภาพ [ออนไลน์]. กรมพัฒนาทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

<http://www2.dede.go.th/bhrd/old/bookfire.htm>.

สานิตย์ จันทโร และ ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. การวิเคราะห์พารามิเตอร์และประเมินศักยภาพ
ของระบบการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่จากคอนเดนเสท และแฟลชสตีม กรณีศึกษา :
กระบวนการผลิตแผ่นเหล็กชุบสังกะสีของบริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด (มหาชน).

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 11 (กรกฎาคม-กันยายน 2544): 43.

สมเกียรติ บุญสูง. การวิเคราะห์การใช้พลังงานในหม้อไอน้ำของโรงงานอุตสาหกรรม. 6

ธันวาคม 2553. www.engineering-2000.com

หทัยกาญจน์ ศรีสมาน. สภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544

อาษา ประทีปเสน. การวิเคราะห์ระบบการผลิตร่วมในโรงงานกระดาษ. วิทยานิพนธ์

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าธนบุรี, 2534

ภาษาอังกฤษ

Aspentech. HYSYS: Simulation basis. Cambridge, MA: ASPEN Technology, 2005.

Araceli Garcia, Maria Gonzalez, Rodrigo Llano-Ponte, Jalel Labidi. Energy Optimization
of a Kraft Pulp Mill. International Symposium on Process Systems Engineering.
10 (2009): 417-422.

Boiler water treatment: Lessons learned. Public Works Technical bulletin 420-49-21. 10
November 1999.

Engineering Data Book. Spirax Sarco Engineering plc.

TM 5-650 Technical manual Central boiler plant. Headquarters, Department of
the army. October 1989.

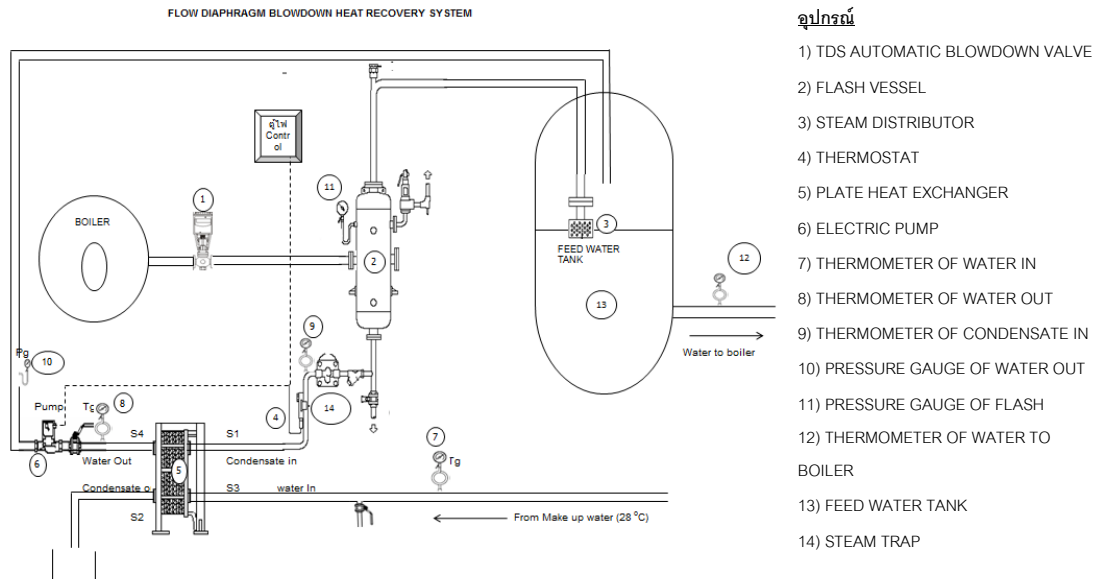
Water treatment. <http://epmc-epmc.blogspot.com/2009/09/water-treatment-storage-and-blowdown.html.html> [online]. 3 January 2011.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานกับต้นทุน

1) รายละเอียดต้นทุนและอุปกรณ์ในการติดตั้ง



ตาราง ก-1 แสดงต้นทุนของอุปกรณ์ และราคาติดตั้ง

ราคา		
รายละเอียด	จำนวน	ราคา (บาท)
1) TDS AUTOMATIC BLOWDOWN SET	1	350,000.00
2) FLASH VESSEL TANK	1	40,000.00
3) STEAM DISTRIBUTOR	1	15,000.00
4) THERMOSTAT	1	10,000.00
5) PLATE HEAT EXCHANGER	1	50,000.00
6) ELECTRIC PUMP	1	25,000.00
7) THERMOMETER	4	10,000.00
8) PRESSURE GAUGE	2	6,000.00
9) STEAM TRAP	1	25,000.00
10) BALL VALVE	3	12,000.00
11) STRAINER	1	8,000.00
12) VACCUUM BREAKER	1	9,000.00
13) INSTALLATION COST	1	105,000.00
รวมต้นทุน		665,000.00

2) วิธีการคำนวณต้นทุนพลังงาน

2.1) การหาต้นทุนในการผลิตไอน้ำ 1 ตัน

ต้นทุนในการผลิตไอน้ำ 1 ตัน =

$$\frac{\text{พลังงานที่ทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำอิมตัว} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) \times 1000 \text{ kg}}{\text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ} \times \text{ค่าพลังงานของเชื้อเพลิง} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) \times S.G. \text{เชื้อเพลิง}} \times \text{ราคาเชื้อเพลิง} \left(\frac{\text{บาท}}{\text{ลิตร}}\right)$$

โดยที่

$$\text{พลังงานที่ทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำอิมตัว} = C_p \times (T_b - T_r) + H_{fg}$$

$$C_p = \text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ} = 4.19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$T_b = \text{อุณหภูมิจุดเดือด} (^\circ\text{C})$$

$$T_r = \text{อุณหภูมิของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ} (^\circ\text{C})$$

$$H_{fg} = \text{เอนทัลปีของการระเหยที่แรงดันหม้อไอน้ำ} (\text{kJ/kg})$$

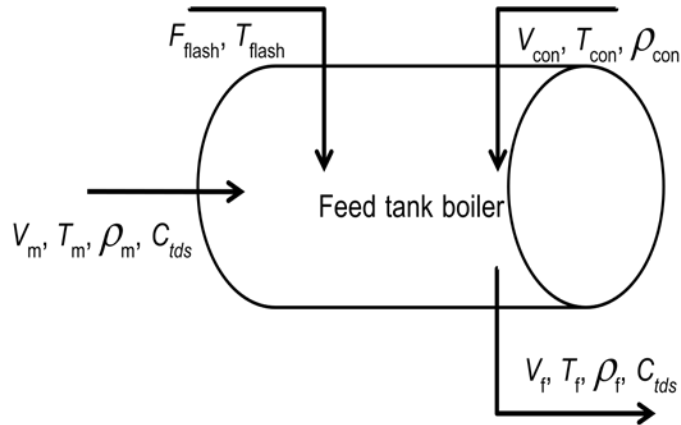
2.2) ผลการประหยัดพลังงานใน 1 ปี

= ผลต่างของต้นทุนในการผลิตไอน้ำ 1 ตัน เปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง X อัตราการใช้ไอน้ำ (ตัน/ช.ม.) x ชั่วโมงทำงาน (ช.ม./ปี)

2.3) ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)

$$= \text{ต้นทุนในการปรับปรุงระบบ (บาท)} \times 12 (\text{เดือน/ปี}) / \text{ผลการประหยัดพลังงาน (บาท/ปี)}$$

3) สมดุลมวล และสมดุลพลังงานของถังน้ำป้อนหม้อน้ำ



V =volumetric flow rate (lit/hr)
F =Flow rate (kg/hr)
T =Temperature ($^{\circ}C$)
ρ = Density (kg/lit)
C = TDS concentration
H_g = Total enthalpy
C_p = Heat capacity of water
flash = Flash steam
m=make up water
con=condensate
f =Boiler feed

สมมติฐาน:

- ที่สภาวะคงตัว
- $C_{tds,flash}$ และ $C_{tds,con} = 0$
- ไม่มีความร้อนสูญเสีย
- $\rho_f, \rho_{con}, \rho_m \sim \rho_{(water\ at\ 4\ C)} = 1\ kg/lit$
- สารผสมกันอย่างสมบูรณ์

สมดุลมวลรวม

$$F_f = F_{flash} + F_{con} + F_m$$

สมดุลค่าความเข้มข้นสารละลายในหม้อไอน้ำ

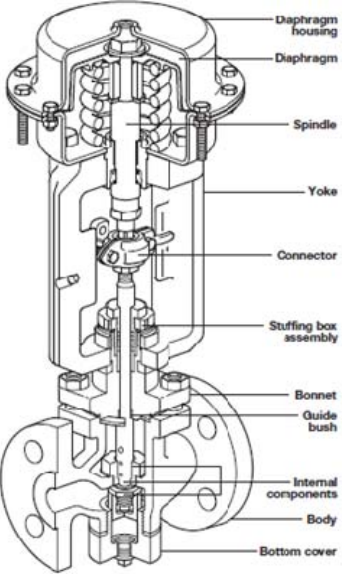
$$C_{tds,f} = \frac{F_m C_{tds,m}}{F_m + F_{flash} + F_{con}}$$

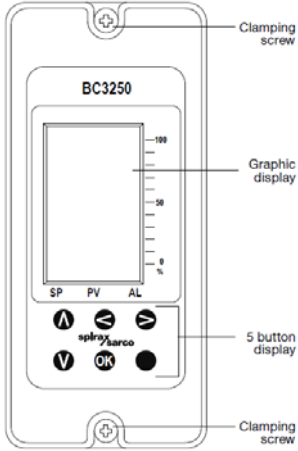
สมดุลพลังงาน

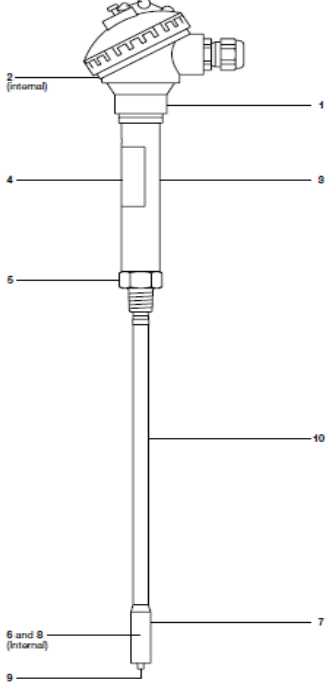
$$T_f = \frac{F_{flash} H_g + F_m C_p (T_m - T_r) + F_{con} C_p (T_{con} - T_r)}{F_f C_p}$$

ภาคผนวก ข

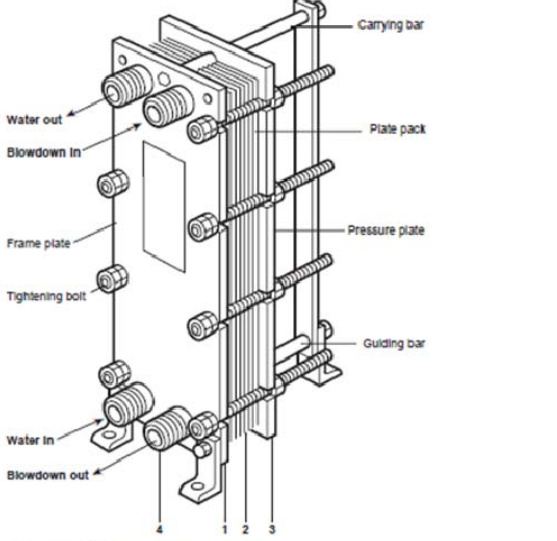
รายละเอียดข้อมูลทางเทคนิคอุปกรณ์หลักที่นำมาติดตั้งในระบบ

อุปกรณ์	รุ่น	ขนาด	ข้อมูลด้านเทคนิค																																																									
TDS AUTOMATIC BLOWDOWN VALVE	BCV31	20mm	 <p>Materials</p> <table border="1" data-bbox="874 929 1300 1243"> <thead> <tr> <th>Part</th> <th>Material</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Body</td> <td>Cast carbon steel DIN 17245 GS-C25</td> </tr> <tr> <td>Bonnet</td> <td>Forged carbon steel DIN 17243 C 22.8</td> </tr> <tr> <td>Stuffing box assembly</td> <td>Stainless steel/graphite seals ASTM A276 316L</td> </tr> <tr> <td>Bottom cover</td> <td>Carbon steel BS 970 230 M07</td> </tr> <tr> <td>3.1 version</td> <td>Forged carbon steel DIN 17243 C 22.8</td> </tr> <tr> <td>Internal components</td> <td>Stainless steel Type 431 (valve cone and seat are hardened)</td> </tr> <tr> <td>Guide bush</td> <td>Phosphor bronze BS EN 12163 CW451K</td> </tr> <tr> <td>Diaphragm housing</td> <td>Pressed steel</td> </tr> <tr> <td>Diaphragm</td> <td>Reinforced NBR</td> </tr> <tr> <td>Yoke</td> <td>SG iron</td> </tr> <tr> <td>Spindle</td> <td>Stainless steel</td> </tr> <tr> <td>Connector</td> <td>Carbon steel</td> </tr> </tbody> </table> <p>Capacities</p> <table border="1" data-bbox="874 1276 1300 1433"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Boiler pressure bar g</th> <th colspan="3">Blowdown valve capacity kg/h</th> </tr> <tr> <th>Low flowrates 10 mm stroke</th> <th>Medium flowrates 15 mm stroke</th> <th>High flowrates 20 mm stroke</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>380</td> <td>530</td> <td>730</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>460</td> <td>710</td> <td>1150</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>570</td> <td>950</td> <td>1500</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>700</td> <td>1150</td> <td>1650</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>780</td> <td>1250</td> <td>1700</td> </tr> <tr> <td>32</td> <td>940</td> <td>1400</td> <td>1800</td> </tr> </tbody> </table> <p>จากข้อมูลในการเลือกขนาดจะต้องรู้ค่าอัตราการไหลของวาล์วหม้อไอน้ำ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2 และค่าความดันไอน้ำของหม้อไอน้ำซึ่งได้มาจากโรงงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้วาล์วควบคุมที่ขนาด 3/4"</p>	Part	Material	Body	Cast carbon steel DIN 17245 GS-C25	Bonnet	Forged carbon steel DIN 17243 C 22.8	Stuffing box assembly	Stainless steel/graphite seals ASTM A276 316L	Bottom cover	Carbon steel BS 970 230 M07	3.1 version	Forged carbon steel DIN 17243 C 22.8	Internal components	Stainless steel Type 431 (valve cone and seat are hardened)	Guide bush	Phosphor bronze BS EN 12163 CW451K	Diaphragm housing	Pressed steel	Diaphragm	Reinforced NBR	Yoke	SG iron	Spindle	Stainless steel	Connector	Carbon steel	Boiler pressure bar g	Blowdown valve capacity kg/h			Low flowrates 10 mm stroke	Medium flowrates 15 mm stroke	High flowrates 20 mm stroke	5	380	530	730	7	460	710	1150	10	570	950	1500	15	700	1150	1650	20	780	1250	1700	32	940	1400	1800
Part	Material																																																											
Body	Cast carbon steel DIN 17245 GS-C25																																																											
Bonnet	Forged carbon steel DIN 17243 C 22.8																																																											
Stuffing box assembly	Stainless steel/graphite seals ASTM A276 316L																																																											
Bottom cover	Carbon steel BS 970 230 M07																																																											
3.1 version	Forged carbon steel DIN 17243 C 22.8																																																											
Internal components	Stainless steel Type 431 (valve cone and seat are hardened)																																																											
Guide bush	Phosphor bronze BS EN 12163 CW451K																																																											
Diaphragm housing	Pressed steel																																																											
Diaphragm	Reinforced NBR																																																											
Yoke	SG iron																																																											
Spindle	Stainless steel																																																											
Connector	Carbon steel																																																											
Boiler pressure bar g	Blowdown valve capacity kg/h																																																											
	Low flowrates 10 mm stroke	Medium flowrates 15 mm stroke	High flowrates 20 mm stroke																																																									
5	380	530	730																																																									
7	460	710	1150																																																									
10	570	950	1500																																																									
15	700	1150	1650																																																									
20	780	1250	1700																																																									
32	940	1400	1800																																																									

อุปกรณ์	รุ่น	ขนาด	ข้อมูลด้านเทคนิค
CONTROLLER	BC3250		 <p>In run mode (standard setting) the display is divided into three sections:</p> <ol style="list-style-type: none"> Process variable and control parameters. Information line, displays the various control states and process units. Three bar graphs, which show a percentage of full scale of: <ul style="list-style-type: none"> PV Process Variable highest and lowest recorded value. SP Set Point and hysteresis point. AL High Alarm and hysteresis point. <p>An additional filter can be selected to increase the damping effect where the probe is fitted directly in the boiler. This avoids over-frequent valve operation.</p> <p>A Trend graph screen display appears if the right or left button is pressed in run mode - This displays a record of the variation in TDS over a set time.</p> <p>The BC3250 can be used on a condensate contamination system. Please note that it will not detect contaminants that do not change the conductivity, e.g. oils, fats, or sugars.</p> <p>The blowdown may be set to pulsed, rather than continuous output, opening for 10 seconds, and closing for 20 seconds. This avoids the risk of triggering a low water alarm in smaller boilers.</p> <p>An isolated 0 - 20 or 4 - 20 mA output is provided for remote display of the TDS level or as an output to a management system.</p> <p>If a switch box is fitted to the bottom blowdown valve actuator, an alarm can be configured to indicate if the bottom blowdown valve fails to close or to lift off its seat.</p> <p>The BC3250 can communicate via an infrared link between adjacent controllers. It can be designated as either a master unit or a slave unit.</p> <p>The unit can be panel, DIN rail or chassis mounted.</p> <p>Principal features:</p> <ul style="list-style-type: none"> Blowdown controller with bottom blowdown timer. Multi-voltage 99 Vac – 264 Vac. Display in $\mu\text{S}/\text{cm}$ or ppm. LCD graphics display of PV and sequential trend graph. Filter for turbulent conditions. Infrared communications. Diagnostic / test facility. 0/4 - 20 mA output. EIA 485/Modbus communications.

อุปกรณ์	รุ่น	ขนาด	ข้อมูลด้านเทคนิค																																																	
SENSOR	CP32		 <p>Principal features :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Twin tip conductivity probe for use in TDS control systems. - Built-in temperature sensor - only one boiler connection needed. - Suitable for use in steam boilers up to 462°F @ 464 psi g - Patented scale detection and compensation. <p>Available tip lengths inches 11.8", 19.7" and 39.4" Note: 39.4" probes can only be installed vertically.</p> <p>Pressure / temperature limits</p> <table border="1"> <tr> <td>Maximum boiler pressure</td> <td>464 psi g</td> </tr> <tr> <td>Maximum operating temperature</td> <td>462°F</td> </tr> <tr> <td>Maximum ambient temperature</td> <td>131°F</td> </tr> </table> <p>Technical data</p> <table border="1"> <tr> <td>Protection rating (terminal head / cable gland only)</td> <td>IP65</td> </tr> <tr> <td>Minimum tip distance from boiler tubes</td> <td>0.4"</td> </tr> <tr> <td>Minimum immersion depth (vertically installed probes)</td> <td>4.0"</td> </tr> <tr> <td>Maximum cable length (probe to controller)</td> <td>328 ft</td> </tr> <tr> <td>Minimum conductivity</td> <td>10 ppm</td> </tr> </table> <p>Materials</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Part</th> <th>Material</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Terminal head</td> <td>Aluminium</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>O' ring</td> <td>Nitrile rubber</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Cover tube</td> <td>Austenitic stainless steel Type 316L</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Name-plate</td> <td>Polycarbonate</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Body</td> <td>Austenitic stainless steel Type 304L 1.4306</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Spring</td> <td>Austenitic stainless steel 302 S26</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Insulator</td> <td>PEEK</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Driver tip</td> <td>Austenitic stainless steel Type 316</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Sensor tip</td> <td>Austenitic stainless steel UGINE 4632</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Rod</td> <td>Austenitic stainless steel Type 316 / 316L</td> </tr> </tbody> </table> <p>อุปกรณ์ตรวจจับค่าสารละลายในหม้อไอน้ำต้องมีความสามารถในการตรวจจับได้แม่นยำและเหมาะสมในการใช้งานภายในหม้อไอน้ำ</p>	Maximum boiler pressure	464 psi g	Maximum operating temperature	462°F	Maximum ambient temperature	131°F	Protection rating (terminal head / cable gland only)	IP65	Minimum tip distance from boiler tubes	0.4"	Minimum immersion depth (vertically installed probes)	4.0"	Maximum cable length (probe to controller)	328 ft	Minimum conductivity	10 ppm	No.	Part	Material	1	Terminal head	Aluminium	2	O' ring	Nitrile rubber	3	Cover tube	Austenitic stainless steel Type 316L	4	Name-plate	Polycarbonate	5	Body	Austenitic stainless steel Type 304L 1.4306	6	Spring	Austenitic stainless steel 302 S26	7	Insulator	PEEK	8	Driver tip	Austenitic stainless steel Type 316	9	Sensor tip	Austenitic stainless steel UGINE 4632	10	Rod	Austenitic stainless steel Type 316 / 316L
Maximum boiler pressure	464 psi g																																																			
Maximum operating temperature	462°F																																																			
Maximum ambient temperature	131°F																																																			
Protection rating (terminal head / cable gland only)	IP65																																																			
Minimum tip distance from boiler tubes	0.4"																																																			
Minimum immersion depth (vertically installed probes)	4.0"																																																			
Maximum cable length (probe to controller)	328 ft																																																			
Minimum conductivity	10 ppm																																																			
No.	Part	Material																																																		
1	Terminal head	Aluminium																																																		
2	O' ring	Nitrile rubber																																																		
3	Cover tube	Austenitic stainless steel Type 316L																																																		
4	Name-plate	Polycarbonate																																																		
5	Body	Austenitic stainless steel Type 304L 1.4306																																																		
6	Spring	Austenitic stainless steel 302 S26																																																		
7	Insulator	PEEK																																																		
8	Driver tip	Austenitic stainless steel Type 316																																																		
9	Sensor tip	Austenitic stainless steel UGINE 4632																																																		
10	Rod	Austenitic stainless steel Type 316 / 316L																																																		

อุปกรณ์	รุ่น	ขนาด	ข้อมูลด้านเทคนิค
FLASH VESSEL	FV6	HIGH 1.225 M, DIAM ETER 0.168 M	<p>การเลือกขนาดของถังแฟลชต้องรู้อัตราไอน้ำและความดันหม้อไอน้ำ กับความดันที่ระบบนำกลับว่าเซตค่าไว้ให้แรงดันไม่เกินเท่าไรสำหรับงานนี้ อัตราไอน้ำอยู่ที่ไม่เกิน 1000 kg ความดันในหม้อไอน้ำ 9 barg และในระบบนำกลับเซตไว้ที่ 0.5 barg ได้ถึงแฟลชรุ่น FV6</p>

อุปกรณ์	รุ่น	ขนาด	ข้อมูลด้านเทคนิค																																																	
PLATE HEAT EXCHANGER	M3-10		 <p>Dimensions/weights (approximate) in mm and kg</p> <table border="1" data-bbox="778 882 1369 958"> <thead> <tr> <th>Size</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> <th>L</th> <th>Number of plates</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M3-8</td> <td>480</td> <td>180</td> <td>357</td> <td>60</td> <td>62</td> <td>1 1/2"</td> <td>60</td> <td>300</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>M3-10</td> <td>480</td> <td>180</td> <td>357</td> <td>60</td> <td>62</td> <td>1 1/2"</td> <td>60</td> <td>300</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table> <p>Material</p> <table border="1" data-bbox="778 1350 1353 1473"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Part</th> <th>Material</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Plates</td> <td>Stainless steel (316)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Gasketing</td> <td>EPDM</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Frame</td> <td>Mild steel</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Connections</td> <td>Stainless steel (316)</td> </tr> </tbody> </table> <p>Pressure/temperature limits Note: The M3 and M6 heat exchangers comply with PED and are SEP products, except M6-33 which is a Category 1 product.</p> <table border="1" data-bbox="778 1563 1353 1617"> <tbody> <tr> <td>Maximum temperature</td> <td>140°C</td> </tr> <tr> <td>Maximum working pressure</td> <td>10 bar g @ 140°C</td> </tr> </tbody> </table> <p>Designed for a maximum cold hydraulic test pressure of 13 bar g</p> <p>เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้องรู้อัตราการใช้และคุณสมบัติของน้ำโบลด์วอร์น และอัตราการใช้ของน้ำเติมเข้าหม้อไอน้ำและคุณสมบัติ และนำไปเลือกเพื่อหาจำนวนแผ่นเพลตในการแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับงานนี้อยู่ที่จำนวน 10 แผ่น รุ่น M3-10</p>	Size	A	B	C	D	E	F	G	L	Number of plates	M3-8	480	180	357	60	62	1 1/2"	60	300	8	M3-10	480	180	357	60	62	1 1/2"	60	300	10	No.	Part	Material	1	Plates	Stainless steel (316)	2	Gasketing	EPDM	3	Frame	Mild steel	4	Connections	Stainless steel (316)	Maximum temperature	140°C	Maximum working pressure	10 bar g @ 140°C
Size	A	B	C	D	E	F	G	L	Number of plates																																											
M3-8	480	180	357	60	62	1 1/2"	60	300	8																																											
M3-10	480	180	357	60	62	1 1/2"	60	300	10																																											
No.	Part	Material																																																		
1	Plates	Stainless steel (316)																																																		
2	Gasketing	EPDM																																																		
3	Frame	Mild steel																																																		
4	Connections	Stainless steel (316)																																																		
Maximum temperature	140°C																																																			
Maximum working pressure	10 bar g @ 140°C																																																			

ภาคผนวก ค

ตารางบันทึกข้อมูล และเอกสารอ้างอิงในการคำนวณ

ตารางที่ ค-1 ตารางแสดงข้อมูลที่ใช้ในการจำลองระบบใน Aspen HYSYS

เวลา	รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ที่มาของข้อมูล (ก่อนปรับปรุง/ปรับปรุงในแบบจำลอง)
8.00	อัตราการไหลน้ำเต็มเข้า ถึงน้ำป้อน(m ³ /h)	6340.0	5760.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make up ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลของน้ำ คอนเดนเสท (m ³ /h)	3360.0	3360.0	บันทึกจากหน้างาน
	อัตราการไหลของน้ำ ป้อนหม้อน้ำ (m ³ /h)	9700.0	9120.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make to boiler ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลไอน้ำ (kg/h)	1200.0	620.0	คำนวณ (flow water to boiler ก่อนปรับปรุง - ไอน้ำที่ผลิตได้)
	TDS (ppm)	1205.0	2500.0	คำนวณ (สมการที่ 2.2)/ตัวแปร ควบคุมในแบบจำลอง
	อัตราการไหลไอน้ำเกิน (kg/h)	580.0	0.0	คำนวณ (อัตราการไหลไอน้ำ- อัตราการไหลไอน้ำที่จำเป็น)
9.00	อัตราการไหลน้ำเต็มเข้า ถึงน้ำป้อน(m ³ /h)	6254.0	5718.3	บันทึกจากหน้างาน/flow water make up ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลของน้ำ คอนเดนเสท (m ³ /h)	3396.0	3396.0	บันทึกจากหน้างาน
	อัตราการไหลของน้ำ ป้อนหม้อน้ำ (m ³ /h)	9650.0	9114.3	บันทึกจากหน้างาน/flow water make to boiler ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลไอน้ำ (kg/h)	1150.0	614.3	คำนวณ (flow water to boiler ก่อนปรับปรุง - ไอน้ำที่ผลิตได้)
	TDS (ppm)	1247.0	2500.0	คำนวณ (สมการที่ 2.2)/ตัวแปร ควบคุมในแบบจำลอง
	อัตราการไหลไอน้ำเกิน (kg/h)	535.7	0.0	คำนวณ (อัตราการไหลไอน้ำ- อัตราการไหลไอน้ำที่จำเป็น)

10.00	อัตราการไหลน้ำเต็มเข้า ถึงน้ำป้อน(m ³ /h)	6231.0	5747.4	บันทึกจากหน้างาน/flow water make up ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลของน้ำ คอนเดนเสท (m ³ /h)	3368.0	3368.0	บันทึกจากหน้างาน
	อัตราการไหลของน้ำ ป้อนหม้อน้ำ (m ³ /h)	9599.0	9115.4	บันทึกจากหน้างาน/flow water make to boiler ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไบลีดวาร์น (kg/h)	1099.0	615.4	คำนวณ (flow water to boiler ก่อนปรับปรุง - ไอน้ำที่ผลิตได้
	TDS (ppm)	1306.3	2500.0	คำนวณ (สมการที่ 2.2)/ตัวแปร ควบคุมในแบบจำลอง
	อัตราการไบลีดวาร์นเกิน (kg/h)	483.6	0.0	คำนวณ (อัตราการไบลีดวาร์น- อัตราการไบลีดวาร์นที่จำเป็น
11.00	อัตราการไหลน้ำเต็มเข้า ถึงน้ำป้อน(m ³ /h)	6505.0	5966.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make up ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลของน้ำ คอนเดนเสท (m ³ /h)	3173.0	3173.0	บันทึกจากหน้างาน
	อัตราการไหลของน้ำ ป้อนหม้อน้ำ (m ³ /h)	9678.0	9139.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make to boiler ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไบลีดวาร์น (kg/h)	1178.0	639.0	คำนวณ (flow water to boiler ก่อนปรับปรุง - ไอน้ำที่ผลิตได้
	TDS (ppm)	1262.0	2500.0	คำนวณ (สมการที่ 2.2)/ตัวแปร ควบคุมในแบบจำลอง
	อัตราการไบลีดวาร์นเกิน (kg/h)	539.0	0.0	คำนวณ (อัตราการไบลีดวาร์น- อัตราการไบลีดวาร์นที่จำเป็น

12.00	อัตราการไหลน้ำเต็ม เข้าถังน้ำป้อน(m ³ /h)	6497.0	5965.5	บันทึกจากหน้างาน/flow water make up ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลของน้ำ คอนเดนเสท (m ³ /h)	3173.0	3173.0	บันทึกจากหน้างาน
	อัตราการไหลของน้ำ ป้อนหม้อน้ำ (m ³ /h)	9670.0	9138.5	บันทึกจากหน้างาน/flow water make to boiler ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการโบล์ดาวน์ (kg/h)	1170.0	638.5	คำนวณ (flow water to boiler ก่อนปรับปรุง - ไอน้ำที่ผลิตได้
	TDS (ppm)	1270.0	2500.0	คำนวณ (สมการที่ 2.2)/ตัวแปร ควบคุมในแบบจำลอง
	อัตราการโบล์ดาวน์ เกิน (kg/h)	531.5	0.0	คำนวณ (อัตราการโบล์ดาวน์- อัตราการโบล์ดาวน์ที่จำเป็น
13.00	อัตราการไหลน้ำเต็ม เข้าถังน้ำป้อน(m ³ /h)	6632.0	5922.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make up ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลของน้ำ คอนเดนเสท (m ³ /h)	3218.0	3218.0	บันทึกจากหน้างาน
	อัตราการไหลของน้ำ ป้อนหม้อน้ำ (m ³ /h)	9850.0	9140.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make to boiler ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการโบล์ดาวน์ (kg/h)	1350.0	640.0	คำนวณ (flow water to boiler ก่อนปรับปรุง - ไอน้ำที่ผลิตได้
	TDS (ppm)	1103.2	2500.0	คำนวณ (สมการที่ 2.2)/ตัวแปร ควบคุมในแบบจำลอง
	อัตราการโบล์ดาวน์ เกิน (kg/h)	710.0	0.0	คำนวณ (อัตราการโบล์ดาวน์- อัตราการโบล์ดาวน์ที่จำเป็น

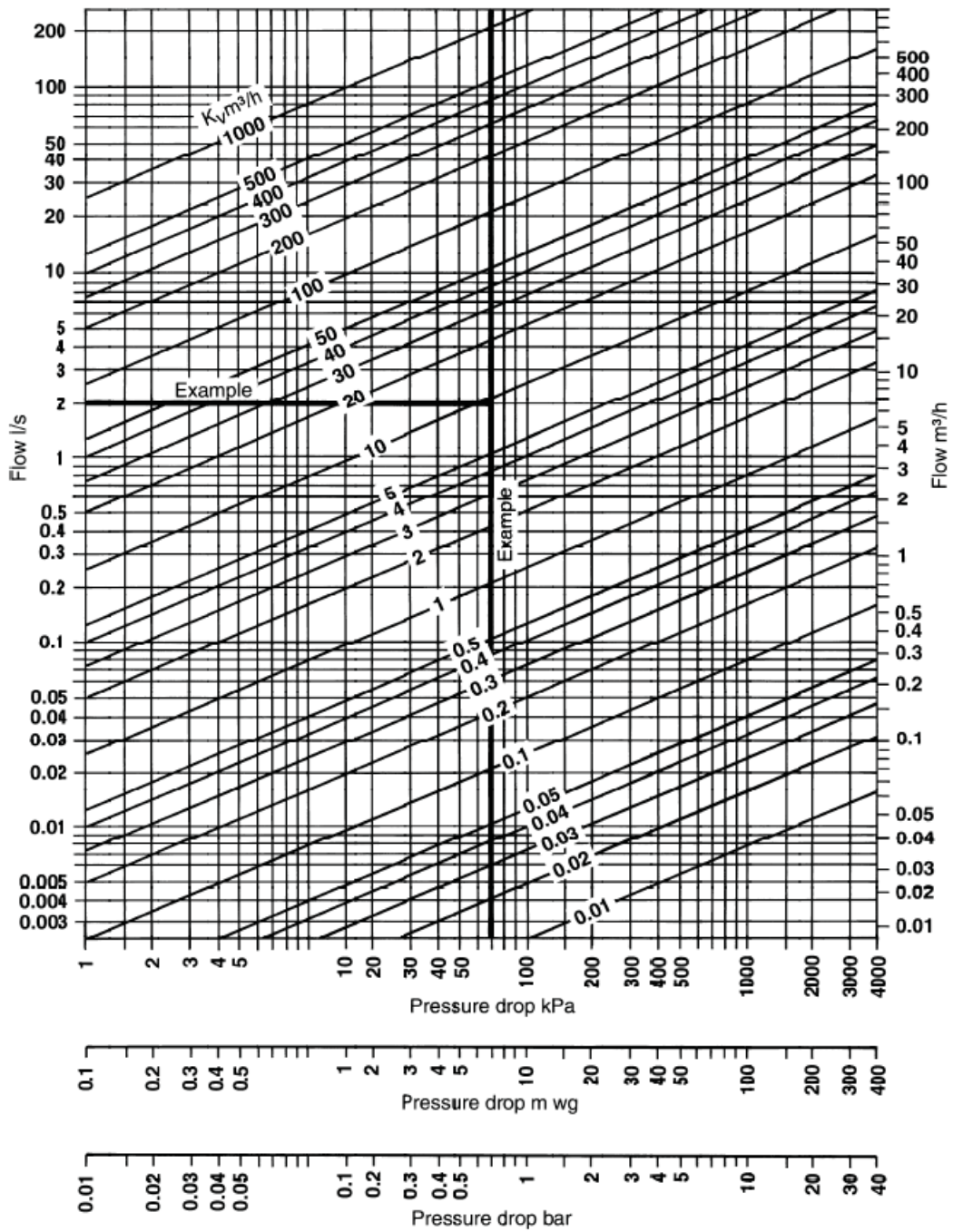
14.00	อัตราการไหลน้ำเต็ม เข้าถังน้ำป้อน(m ³ /h)	6350.0	5814.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make up ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลของน้ำ คอนเดนเสท (m ³ /h)	3310.0	3310.0	บันทึกจากหน้างาน
	อัตราการไหลของน้ำ ป้อนหม้อน้ำ (m ³ /h)	9660.0	9124.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make to boiler ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการโบล์ดาวน์ (kg/h)	1160.0	624.0	คำนวณ (flow water to boiler ก่อนปรับปรุง - ไอน้ำที่ผลิตได้
	TDS (ppm)	1253.4	2500.0	คำนวณ (สมการที่ 2.2)/ตัวแปร ควบคุมในแบบจำลอง
	อัตราการโบล์ดาวน์ เกิน (kg/h)	536.0	0.0	คำนวณ (อัตราการโบล์ดาวน์- อัตราการโบล์ดาวน์ที่จำเป็น
15.00	อัตราการไหลน้ำเต็ม เข้าถังน้ำป้อน(m ³ /h)	6321.0	5819.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make up ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลของน้ำ คอนเดนเสท (m ³ /h)	3304.0	3304.0	บันทึกจากหน้างาน
	อัตราการไหลของน้ำ ป้อนหม้อน้ำ (m ³ /h)	9625.0	9123.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make to boiler ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการโบล์ดาวน์ (kg/h)	1125.0	623.0	คำนวณ (flow water to boiler ก่อนปรับปรุง - ไอน้ำที่ผลิตได้
	TDS (ppm)	1291.0	2500.0	คำนวณ (สมการที่ 2.2)/ตัวแปร ควบคุมในแบบจำลอง
	อัตราการโบล์ดาวน์ เกิน (kg/h)	502.0	0.0	คำนวณ (อัตราการโบล์ดาวน์- อัตราการโบล์ดาวน์ที่จำเป็น

16.00	อัตราการไหลน้ำเต็ม เข้าถังน้ำป้อน(m ³ /h)	6420.0	5781.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make up ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลของน้ำ คอนเดนเสท (m ³ /h)	3343.0	3343.0	บันทึกจากหน้างาน
	อัตราการไหลของน้ำ ป้อนหม้อน้ำ (m ³ /h)	9763.0	9124.0	บันทึกจากหน้างาน/flow water make to boiler ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการโบล์ดาวน์ (kg/h)	1263.0	624.0	คำนวณ (flow water to boiler ก่อนปรับปรุง - ไอน้ำที่ผลิตได้
	TDS (ppm)	1152.0	2500.0	คำนวณ (สมการที่ 2.2)/ตัวแปร ควบคุมในแบบจำลอง
	อัตราการโบล์ดาวน์ เกิน (kg/h)	639.0	0.0	คำนวณ (อัตราการโบล์ดาวน์- อัตราการโบล์ดาวน์ที่จำเป็น
17.00	อัตราการไหลน้ำเต็ม เข้าถังน้ำป้อน(m ³ /h)	6700.0	5941.4	บันทึกจากหน้างาน/flow water make up ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการไหลของน้ำ คอนเดนเสท (m ³ /h)	3202.0	3202.0	บันทึกจากหน้างาน
	อัตราการไหลของน้ำ ป้อนหม้อน้ำ (m ³ /h)	9902.0	9143.4	บันทึกจากหน้างาน/flow water make to boiler ก่อนปรับปรุง - over blowdown
	อัตราการโบล์ดาวน์ (kg/h)	1402.0	643.4	คำนวณ (flow water to boiler ก่อนปรับปรุง - ไอน้ำที่ผลิตได้
	TDS (ppm)	1067.6	2500.0	คำนวณ (สมการที่ 2.2)/ตัวแปร ควบคุมในแบบจำลอง
	อัตราการโบล์ดาวน์ เกิน (kg/h)	758.6	0.0	คำนวณ (อัตราการโบล์ดาวน์- อัตราการโบล์ดาวน์ที่จำเป็น

**ปริมาณไอน้ำที่ผลิต
ได้เฉลี่ย 8.5 T/h**
**Water make up
TDS 260 ppm**

ตาราง ค-2 ตารางไอน้ำ (Engineering data book, Spirax sarco engineering plc.)

Pressure		Temperature °C	Specific Enthalpy			Specific Volume Steam m ³ /kg
bar	kPa		Water (h _f) kJ/kg	Evaporation (h _{fg}) kJ/kg	Steam (h _g) kJ/kg	
absolute						
0.30	30.0	69.10	289.23	2336.1	2625.3	5.229
0.50	50.0	81.33	340.49	2305.4	2645.9	3.240
0.75	75.0	91.78	384.39	2278.6	2663.0	2.217
0.95	95.0	98.20	411.43	2261.8	2673.2	1.777
gauge						
0	0	100.00	419.04	2257.0	2676.0	1.673
0.10	10.0	102.66	430.2	2250.2	2680.2	1.533
0.20	20.0	105.10	440.8	2243.4	2684.2	1.414
0.30	30.0	107.39	450.4	2237.2	2687.6	1.312
0.40	40.0	109.55	459.7	2231.3	2691.0	1.225
0.50	50.0	111.61	468.3	2225.6	2693.9	1.149
0.60	60.0	113.56	476.4	2220.4	2696.8	1.083
0.70	70.0	115.40	484.1	2215.4	2699.5	1.024
0.80	80.0	117.14	491.6	2210.5	2702.1	0.971
0.90	90.0	118.80	498.9	2205.6	2704.5	0.923
1.00	100.0	120.42	505.6	2201.1	2706.7	0.881
1.10	110.0	121.96	512.2	2197.0	2709.2	0.841
1.20	120.0	123.46	518.7	2192.8	2711.5	0.806
1.30	130.0	124.90	524.6	2188.7	2713.3	0.773
1.40	140.0	126.28	530.5	2184.8	2715.3	0.743
1.50	150.0	127.62	536.1	2181.0	2717.1	0.714
1.60	160.0	128.89	541.6	2177.3	2718.9	0.689
1.70	170.0	130.13	547.1	2173.7	2720.8	0.665
1.80	180.0	131.37	552.3	2170.1	2722.4	0.643
1.90	190.0	132.54	557.3	2166.7	2724.0	0.622
2.00	200.0	133.69	562.2	2163.3	2725.5	0.603
2.20	220.0	135.88	571.7	2156.9	2728.6	0.568
2.40	240.0	138.01	580.7	2150.7	2731.4	0.536
2.60	260.0	140.00	589.2	2144.7	2733.9	0.509
2.80	280.0	141.92	597.4	2139.0	2736.4	0.483
3.00	300.0	143.75	605.3	2133.4	2738.7	0.461
3.20	320.0	145.46	612.9	2128.1	2741.0	0.440
3.40	340.0	147.20	620.0	2122.9	2742.9	0.422
3.60	360.0	148.84	627.1	2117.8	2744.9	0.405
3.80	380.0	150.44	634.0	2112.9	2746.9	0.389
4.00	400.0	151.96	640.7	2108.1	2748.8	0.374
4.50	450.0	155.55	656.3	2096.7	2753.0	0.342
5.00	500.0	158.92	670.9	2086.0	2756.9	0.315
5.50	550.0	162.08	684.6	2075.7	2760.3	0.292
6.00	600.0	165.04	697.5	2066.0	2763.5	0.272
6.50	650.0	167.83	709.7	2056.8	2766.5	0.255
7.00	700.0	170.50	721.4	2047.7	2769.1	0.240
7.50	750.0	173.02	732.5	2039.2	2771.7	0.227
8.00	800.0	175.43	743.1	2030.9	2774.0	0.215
8.50	850.0	177.75	753.3	2022.9	2776.2	0.204
9.00	900.0	179.97	763.0	2015.1	2778.1	0.194
9.50	950.0	182.10	772.5	2007.5	2780.0	0.185
10.00	1000.0	184.13	781.6	2000.1	2781.7	0.177
10.50	1050.0	186.05	790.1	1993.0	2783.3	0.171
11.00	1100.0	188.02	798.8	1986.0	2784.8	0.163



รูปที่ ค-1 รูปแสดงกราฟแสดงการหาค่า Kv ของวาล์วน้ำ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธนภร ชาญชนะโรจน์ เกิดเมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2526 จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปี พ.ศ. 2548 หลังจากนั้นได้เข้าทำงานในตำแหน่ง วิศวกรฝ่ายขาย บริษัท สไปร์เร็็กซ์ ซาร์โก (ประเทศไทย) จำกัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 จนถึง ปี พ.ศ. 2553 และ บริษัท สยามราชธานี คอร์ปอเรชั่น จำกัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 จนถึง ปัจจุบัน ในปี พ.ศ. 2552 ได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย