

**การจำลองระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำโดยเน้นพีไอดี
แบบตัวแปรเดียวและสามตัวแปร**

**BOILER DRUM LEVEL CONTROL SYSTEM SIMULATION BASED ON
SINGLE AND THREE ELEMENTS PID**



ฉพ.
๗๖๗/๗
๘๘๕/

เลขหมู่.....
82840
เลขทะเบียน.....
2๖ พ.ค. 2551
วัน,เดือน,ปี.....

b..... 119 ๕๕๐28
i.....

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
พ.ศ.2551
KMITL-2008-EN-M-060-363

**BOILER DRUM LEVEL CONTROL SYSTEM SIMULATION BASED ON
SINGLE AND THREE ELEMENTS PID**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENT ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2008
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KMUTL-2008-EN-M-060-363
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจำลองระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำโดยเน้นพีไอดีแบบตัวแปรเดียว
และสามตัวแปร

Bioler Drum Level-Control System Simulation Based on Single and
Three Elements PID

นักศึกษา นายกิตติ ธนสารพิสุทธิ์

รหัสประจำตัว 46068001

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สุพรรณ กลุภาณิชย์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.วิริยะ เกอ็กรัตน์	
รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์	
ดร.มงคล กลิ่นกระจ่าย	
รศ.พิพัฒน์ เลหาสงคราม	
รศ.สุพรรณ กลุภาณิชย์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 28 พฤษภาคม 2551 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ (ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1



วันที่.....๒๐.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.....๒๕๕๑.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ โดยเน้นพีไอดีแบบ ตัวแปรเดียวและสามตัวแปร
ชื่อนักศึกษา	นาย กิตติ ธนากรพิสุทธิ์
รหัสประจำตัว	46068001
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.สุพรรณ กุลพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบเพื่อควบคุมรักษาระดับน้ำในหม้อไอน้ำ ด้วยใช้วิธีการแบบผสมผสานระหว่างการควบคุมพีไอดี แบบวงรอบเดี่ยวชนิดตัวแปรเดียวและการควบคุมพีไอดีแบบคลาสสิก ที่จะทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของทั้งสองแบบ โดยวิธีทดสอบคือจำลองให้มีการไหลออกของไอน้ำจากหม้อไอน้ำอย่างไม่แน่นอน และทำให้เกิดการกระเพื่อมของน้ำเดือดและฟองอากาศที่ผิวน้ำในหม้อไอน้ำ อีกทั้งยังศึกษาถึงผลกระทบจากความดันและอุณหภูมิที่มีต่อการวัดระดับน้ำ เพื่อหาการตอบสนองของการควบคุมรักษาระดับน้ำทั้งสองแบบ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงผลโดยจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ ในการทดลอง จากนั้นจึงมีการวิเคราะห์หาค่าข้อดี-ข้อเสียของแต่ละแบบ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นระบบควบคุมแบบผสมที่เหมาะสมสำหรับหม้อไอน้ำที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Boiler Drum Level Control System Simulation Based on Single and Three Elements PID
Student Name	Mr. Kittit Tanakonpisoot
Student ID	46068001
Degree	Master Degree
Program	Instrument Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Supan Kulpanich

ABSTRACT

This thesis presents the methods to control the drum level in steam boiler by using PID single loop control (Single Element Control) and PID cascade control (Three Element Control). Besides, the tests to compare efficiencies of both methods are employed which are the steam flow in boiler is released unsteadily and the swell and shrink of boiled water in boiler are formulated. Both means are utilized to discover the responses of both controls by the computer simulation. Moreover, the advantage and disadvantage are analyzed. Then the appropriate control is applied in the combination control for control the drum leveling steam boiler in each temperature and pressure range.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สุพรรณ กุลพาณิชย์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาและให้โอกาสข้าพเจ้าเสมอมา ตลอดจนให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่าง ตลอดจนกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ คุณศักดิ์ชัย วงศ์อากาศ และคุณศยม สุริยมงคล จากบริษัท โยโกกาวา (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้โอกาสในการทำงาน

ขอขอบคุณ Mr. Nakashima T. แห่ง Yoshimine Co.,Ltd. (Japan) ที่จุดประกายแนวทางการศึกษาการทำงานของหม้อไอน้ำให้ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณสิริธร กิจดาวรุ่ง ที่คอยให้คำแนะนำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ได้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณผณิตา วิบุรณวงศ์ เจ้าหน้าที่กองบริการนักศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กับการช่วยเหลือเต็มที่ด้วยความเต็มใจ ถ้าไม่มีคุณผณิตา ผมคงไม่ได้ขอบคุณทุกๆ คนใน กิตติกรรมประกาศนี้ ขอขอบคุณครับ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้และประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

กิตติ ธนากรพิสุทธิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของหม้อไอน้ำ.....	4
2.1 พื้นฐานของหม้อไอน้ำ.....	4
2.2 ประเภทของหม้อไอน้ำ.....	4
2.2.1 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boilers).....	5
2.2.2 หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water Tube Boilers).....	5
2.3 ส่วนประกอบของหม้อไอน้ำ.....	6
2.4 เชื้อเพลิงและการเผาไหม้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ.....	7
2.4.1 ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อไอน้ำ.....	8
2.4.2 เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีผลต่อการเผาไหม้.....	9
2.5 การทำงานของวัฏจักรของไอน้ำ.....	9
2.5.1 ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่วัฏจักร.....	10
2.5.2 ปริมาณความร้อนที่ออกจากวัฏจักร.....	10
2.5.3 งานที่ออกจากวัฏจักร.....	11
2.5.4 งานที่เข้าสู่วัฏจักร.....	11
2.5.5 งานสุทธิของวัฏจักร.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรไอน้ำ.....	13
2.5.7 ความดันเฉลี่ยและอัตราไอน้ำ.....	13
2.6 คุณสมบัติของน้ำและไอน้ำ (สารบริสุทธิ์)	13
2.6.1 การเปลี่ยนแปลงเฟสของสารบริสุทธิ์.....	13
2.6.2 คุณสมบัติอิสระของสารบริสุทธิ์.....	14
2.7 พื้นฐานของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ.....	14
2.8 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบเปิดปิด (On/Off Level Control)	15
2.9 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบแปรผัน (Modulating Level Control)	16
2.9.1 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียว (Single Element Control)	16
2.9.2 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบสองตัวแปร (Two Element Control)	17
2.9.3 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปร (Three Element Control)	18
2.9.4 เปรียบเทียบการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ.....	19
2.10 ระบบควบคุมอื่นๆที่ใช้งานในหม้อไอน้ำระบบอัตโนมัติ.....	19
2.10.1 ระบบควบคุมการเผาไหม้ (Combustion Control System)	19
2.10.2 ระบบควบคุมไอเสีย (Air Pollution Control System)	20
2.10.3 ระบบควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำ (Steam Temperature Control)	20
บทที่ 3 การหาค่าระดับน้ำในหม้อไอน้ำ.....	21
3.1 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบความแตกต่างความดัน.....	22
3.1.1 แรงดันและความดัน.....	22
3.1.2 ความดันของของเหลว.....	22
3.1.3 การทำงานของอุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบความแตกต่างความดัน	23
3.2 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบอื่นที่มีใช้งาน.....	26
3.2.1 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบตัวเก็บประจุ	26
3.2.2 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลูกลอย.....	27
บทที่ 4 ปรากฏการณ์ที่ทำให้การวัดค่าระดับน้ำผิดพลาด.....	28
4.1 การกระเพื่อมของฟองอากาศที่ผิวน้ำเดือด.....	28
4.2 ขยายตัวของฟองอากาศผิวน้ำเมื่อความต้องการไอน้ำเพิ่มขึ้น (Swell) ใ้ใช้ประโยชน์ได้.....	29

เอกสารนี้เป็น 4.2 ขยายตัวของฟองอากาศผิวน้ำเมื่อความต้องการไอน้ำเพิ่มขึ้น (Swell) ใ้ใช้ประโยชน์ได้ 29 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การหดตัวลดลงของฟองอากาศ (Shrink)	30
4.4 การวัดค่าระดับน้ำที่ผิดพลาดจากความดันที่เพิ่มขึ้น.....	30
4.5 การวัดค่าอัตราการไหลออกของไอน้ำที่ผิดพลาดจากอุณหภูมิและความดัน	31
4.5.1 การชดเชยอัตราการไหลจากผลของอุณหภูมิ.....	31
4.5.2 การชดเชยอัตราการไหลจากผลของความดัน.....	32
4.5.3 การชดเชยทั้งอัตราการไหลจากผลของอุณหภูมิและความดัน	32
บทที่ 5 ระบบควบคุมที่ใช้กับหม้อไอน้ำ	33
5.1 Single Controller.....	33
5.2 Programmable Controller (PC or PLC)	35
5.3 Distributed Control System (DCS)	36
บทที่ 6 วิธีการศึกษาระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำ.....	38
6.1 วิธีการเปรียบเทียบการทำงานของระบบควบคุม.....	38
6.2 การจำลองอัตราการไหลเข้าของน้ำ.....	40
6.3 การจำลองอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มความร้อนให้สู่ม้อไอน้ำ	41
6.4 การจำลองอัตราการไหลออกของน้ำทิ้ง.....	42
6.5 การจำลองการเดือดของน้ำในหม้อไอน้ำ.....	43
6.6 การจำลองระดับน้ำที่ต่ำลงจากความเป็นจริงเนื่องจากความดัน.....	44
6.7 โปรแกรมจำลองอัตราการไหลออกของไอน้ำ	45
6.8 การจำลองการควบคุมแน่นของไอน้ำที่อุณหภูมิลดลง	46
6.9 การหาค่าอุณหภูมิผสมกันเมื่อเติมน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ.....	46
6.10 ปัญหาที่พบในการจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำ.....	47
บทที่ 7 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	48
7.1 การควบคุมระดับน้ำด้วยระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียว.....	49
7.2 สรุปผลการควบคุมระดับน้ำด้วยระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียว.....	55
7.3 การควบคุมระดับน้ำด้วยระบบควบคุมแบบสามตัวแปร.....	56
7.4 สรุปผลการควบคุมระดับน้ำด้วยระบบควบคุมแบบสามตัวแปร.....	62
7.5 เปรียบเทียบผลการทดลองของระบบควบคุมทั้งสองแบบ.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

7.6 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบผสมระหว่างแบบตัวแปรเดียวกับแบบสามตัวแปร.....	62
บทที่ 8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	64
บรรณานุกรม.....	65
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำ.....	67
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	76
ภาคผนวก ค. เปรียบเทียบแบบจำลองกับหม้อไอน้ำที่ใช้งานจริง.....	86
ประวัติผู้เขียน.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ	5
2.2 โครงสร้างของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ	6
2.3 ปริมาณอากาศและการสูญเสียพลังงาน	7
2.4 การทำงานของวัฏจักรไอน้ำ	10
2.5 แสดงวัฏจักรแรงคิน ซึ่งเป็นพื้นฐานของเครื่องจักรไอน้ำ	10
2.6 การเปลี่ยนแปลงเฟสของน้ำภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ	14
2.7 ระบบไหลเวียนน้ำกลับ (Recirculation)	16
2.8 ระบบควบคุมแบบแปรผันสองตัวแปร (Two Element Control)	18
2.9 ระบบควบคุมแบบแปรผันสามตัวแปร (Three Element Control)	19
3.1 อุปกรณ์วัดระดับน้ำและส่วนประกอบของหม้อไอน้ำ	21
3.2 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบความแตกต่างความดัน	23
3.3 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบตัวเก็บประจุ	27
3.4 โครงสร้างของอุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบตัวเก็บประจุ	27
4.1 การกระเพื่อมของฟองอากาศที่ผิวน้ำเดือด	28
4.2 การขยายตัวของฟองอากาศผิวน้ำ (Swell)	29
4.3 การหดตัวลดลงของฟองอากาศ (Shrink)	30
4.4 การวัดค่าระดับน้ำที่ผิดพลาดจากความดันที่เพิ่มขึ้น	31
5.1 ตัวอย่างการใช้งาน Single Controller	33
5.2 โครงสร้างของ Single Controller	34
5.3 โครงสร้างของ Programmable Controller	35
5.4 ตัวอย่างการใช้งาน Programmable Controller	36
5.5 ห้องควบคุมการทำงานที่ใช้ระบบควบคุมแบบ DCS	37
6.1 ลำดับขั้นตอนของการศึกษาและวิจัย.....	38
6.2 กราฟพิกัดจำลองการทำงานของระบบควบคุมหม้อไอน้ำ.....	39
6.3 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ	40
6.4 Loop Control ที่ใช้จำลองอัตราการไหลของน้ำเข้า	41
6.5 กราฟแสดงอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงและความร้อนที่ป้อนสู่หม้อไอน้ำ	42
6.6 กราฟแสดงอัตราการไหลออกของน้ำทิ้งจากหม้อไอน้ำ	43
6.7 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในหม้อไอน้ำ	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.8 กราฟแสดงอัตราการกระเพื่อมของน้ำในหม้อไอน้ำที่อุณหภูมิสูง.....	44
6.9 กราฟแสดงผลกระทบของระดับที่ ได้รับจากความดันที่เพิ่มขึ้นในหม้อไอน้ำ	45
6.10 โปรแกรมจำลองอัตราการไหลออกของไอน้ำ	46
7.1 ระบบควบคุมการทำงานของหม้อไอน้ำที่ใช้ทดลอง	48
7.2 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียวที่ใช้ทดสอบ	49
7.3 กราฟการควบคุมระบบควบคุมระดับน้ำเมื่อหม้อไอน้ำเริ่มดำเนินงาน	50
7.4 กราฟแสดงการควบคุมของระบบควบคุมระดับน้ำที่พยายามรักษาระดับให้คงที่	50
7.5 กราฟแสดงอุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มความร้อนสู่หม้อไอน้ำ	51
7.6 กราฟแสดงระดับน้ำในหม้อไอน้ำที่ต่ำกว่าความเป็นจริงจากค่าความดัน	51
7.7 กราฟความดันในหม้อไอน้ำที่มีผลต่อระดับน้ำ ตั้งแต่ช่วงความดัน 10 บาร์ถึง 110 บาร์ (1)	52
7.8 กราฟความดันในหม้อไอน้ำที่มีผลต่อระดับน้ำ ตั้งแต่ช่วงความดัน 10 บาร์ถึง 110 บาร์ (2)....	52
7.9 กราฟแสดงระดับน้ำในหม้อไอน้ำที่พุ่งสูงจากการจ่ายไอน้ำ	53
7.10 กราฟแสดงการควบคุมของระบบควบคุมระดับน้ำในช่วงอุณหภูมิสูง	54
7.11 กราฟแสดงการทำงานของวาล์วน้ำทิ้งเนื่องจากการกระเพื่อมของน้ำเดือด	54
7.12 กราฟแสดงการทำงานของวาล์วน้ำทิ้งเนื่องจากการจ่ายไอน้ำ	55
7.13 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปรที่ใช้ทดสอบ	56
7.14 กราฟแสดงการควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำแบบสามตัวแปรช่วงเริ่มทำงาน	57
7.15 กราฟแสดงการควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำแบบสามตัวแปรช่วงความดันต่ำ	58
7.16 กราฟแสดงการควบคุมรักษาระดับน้ำเมื่อมีการจ่ายไอน้ำจากหม้อไอน้ำ	58
7.17 กราฟแสดงการควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำแบบสามตัวแปรช่วงความดันสูง	59
7.18 กราฟแสดงการควบคุมรักษาระดับน้ำเมื่อมีการจ่ายไอน้ำจากหม้อไอน้ำอย่างต่อเนื่อง	59
7.19 กราฟแสดงทำงานของตัวคำนวณค่าการควบคุมแบบพีไอดีตัวที่หนึ่ง	60
7.20 กราฟแสดงทำงานของตัวคำนวณค่าการควบคุมแบบพีไอดีตัวที่สอง	60
7.21 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบควบคุมทั้งสองแบบ	62
7.22 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบผสมระหว่างแบบตัวแปรเดียวกับแบบสามตัวแปร	62
7.23 การควบคุมระดับน้ำแบบผสมเมื่อมีการจ่ายไอน้ำอย่างต่อเนื่อง.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หม้อไอน้ำ (Boiler) เป็นอุปกรณ์สำคัญชิ้นหนึ่งที่มีการใช้งานกันในโรงงานอุตสาหกรรม หน้าที่ของหม้อไอน้ำคือผลิตไอน้ำโดยการต้มน้ำ เพื่อจ่ายไปยังกระบวนการอื่น ไม่ว่าจะเป็นการจ่ายไอน้ำไปยัง เครื่องเจนเนอเรเตอร์ (Generator) เพื่อหมุนใบพัดที่ใช้ผลิตกระแส ไฟฟ้า หรือจ่ายไอน้ำไปยังเครื่องสเตอริไลเซอร์ (Sterilizer) ที่ใช้ไอน้ำในการฆ่าเชื้อโรคในอาหาร หม้อไอน้ำที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน แบ่งเป็นสองแบบ คือ หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler) และ หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water Tube Boiler) หลักการทำงานของหม้อไอน้ำประกอบด้วยสองระบบใหญ่ๆคือ ระบบป้อนเชื้อเพลิงและควบคุมการเผาไหม้ (Combustion Control) มีหน้าที่รักษาระดับความร้อน โดยการเพิ่มหรือลดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ ให้สอดคล้องกับความต้องการ การใช้งานของไอน้ำในขณะนั้น และ รักษาอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ เพื่อได้พลังงานมากที่สุดและเกิดมลพิษน้อยที่สุด และอีกระบบคือ ระบบควบคุมรักษาระดับน้ำในถัง (Drum Level Control) มีหน้าที่ควบคุมการจ่ายน้ำไปยังเก็บน้ำของหม้อไอน้ำ และรักษาระดับน้ำในถังให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ ให้ไม่มากหรือน้อยเกินไป เพราะการเติมน้ำเข้ามากเกินไป จะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน หรือถ้าปล่อยให้ระดับน้ำต่ำกว่าที่กำหนดอาจจะทำให้หม้อไอน้ำได้รับความเสียหายได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาระบบควบคุมรักษาระดับน้ำในหม้อไอน้ำ(Drum Level Control) โดยการเปรียบเทียบวิธีการควบคุมในแบบตัวแปรเดียว (Single Element Control) กับวิธีการควบคุมในแบบสามตัวแปร (Three Element Control) โดยการจำลองเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นกับหม้อไอน้ำได้จริง เช่น การเพิ่มหรือลดของความดันไอน้ำแบบช้าๆและแบบทันทีทันใด หรือการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำที่จ่ายเข้าไปยังหม้อไอน้ำ ว่าวิธีใดจะมีเสถียรภาพและเหมาะสมกับการนำไปใช้งานมากที่สุด อีกทั้งยังได้ศึกษาผลกระทบจากเหตุการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นในถังที่จะสามารถทำให้เกิดการผิดพลาดในการควบคุมได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงของความดันในถังจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น การกระเพื่อมของผิวน้ำและฟองอากาศที่ทำให้การวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำผิดพลาด เพื่อที่จะสามารถทำให้เข้าใจและแก้ไขปัญหานั้นที่จะเกิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับ ระบบควบคุมรักษาระดับน้ำในหม้อไอน้ำนั้น เพียงใช้การควบคุมแบบตัวแปรเดียว (Single Element Control) ที่เป็นการใช้ค่าระดับน้ำที่อ่านได้จาก Transmitter มาใช้เป็นสัญญาณในการเปิดหรือปิด ปั๊มน้ำที่สูบน้ำไปยังหม้อไอน้ำ (Feed Water Pump) ก็น่าจะเพียงพอแล้ว และไม่จำเป็นต้องใช้การควบคุมแบบสองตัวแปร (Two Element Control) หรือ การควบคุมแบบสามตัวแปร (Three Element Control) มาใช้ เพราะเป็นการสิ้นเปลืองค่าอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละแบบการควบคุม ซึ่งอุปกรณ์แต่ละตัวนั้นก็มาราคาแพง จึงต้องศึกษาว่า ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นกับประโยชน์ที่จะได้รับนั้นเหมาะสมมากหรือน้อยเพียงใด

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยนี้จำลองการทำงานของระบบควบคุมสองแบบขึ้นมา ทั้งแบบระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียว (Single Element Control) ใช้การควบคุมด้วย PID Control แบบ Single Loop ในการเปิดปิดวาล์วน้ำจ่ายเข้าถัง และระบบควบคุมแบบสามตัวแปร (Three Element Control) ที่ใช้การควบคุมด้วย PID Control แบบ Cascade Control โดยมีการชดเชยระดับน้ำในถังจากความดันที่สามารถทำให้การอ่านค่ามาผิดพลาดจากความเป็นจริง แล้วทำการสร้างเหตุการณ์จำลองที่จะสามารถมีผลกระทบกับการควบคุมรักษาระดับน้ำที่จะเกิดขึ้นได้ คือ การเพิ่มหรือลดของความต้องการไอน้ำ (Load) แบบช้าๆและแบบทันทีทันใดโดยที่อัตราการไหลของน้ำเข้าถังที่, การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำที่จ่ายเข้าไปยังหม้อไอน้ำ โดยที่ความต้องการของไอน้ำคงที่ (Flow Inlet), ผลกระทบจากการกระเพื่อมและหดตัวของน้ำ (Swell & Shrink) แล้วเปรียบเทียบว่าแบบใดที่สามารถควบคุมรักษาระดับน้ำในหม้อไอน้ำได้มีประสิทธิภาพมากกว่ากัน โดยเนื้อหาและทฤษฎีต่างๆ ที่ศึกษามีการแปลงมาจากเอกสารอ้างอิง(บรรณานุกรม) ดังรายละเอียดในบทที่ 2 และสอดคล้องรูปภาพตามบทต่างๆในวิทยานิพนธ์นี้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยนี้จะใช้การจำลองระบบควบคุมการทำงานของหม้อไอน้ำโดยการออกแบบโปรแกรมควบคุมระดับน้ำทั้งสองแบบ ด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วนหรือ Distributed Control System (DCS) จากนั้นจึงเขียนโปรแกรมจำลองปัญหาที่จะเกิดขึ้นแล้วทำการทดสอบหาผลตอบสนองที่ได้จากระบบควบคุมที่จำลองขึ้น, และทำการศึกษาผลที่ได้จากการทดลองแล้วทำการเปรียบเทียบ เพื่อสรุปข้อดีและข้อเสียของระบบควบคุมแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย และส่วนประกอบต่างๆของหม้อไอน้ำ รวมถึงกระบวนการที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการหาค่าของระดับน้ำในหม้อไอน้ำ (Level Measurement) รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมรักษาระดับน้ำ

บทที่ 4 กล่าวถึงผลกระทบจากเหตุการณ์ต่างๆที่ทำให้เกิดการผิดพลาดในการควบคุมรักษาระดับน้ำของหม้อไอน้ำ

บทที่ 5 กล่าวถึงระบบที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของหม้อไอน้ำ คือ ระบบควบคุมแบบกระจายส่วนหรือ Distributed Control System (DCS)

บทที่ 6 กล่าวถึงวิธีการศึกษาและวิธีการเปรียบเทียบระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำ

บทที่ 7 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 8 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานของหม้อไอน้ำ (Boiler)

2.1 พื้นฐานของหม้อไอน้ำ (Boiler)

หม้อไอน้ำ (Boiler) ในทางอุตสาหกรรมหมายถึงภาชนะที่บรรจุน้ำภายใต้ความดันสูงและน้ำจะถูกทำให้กลายเป็นไอน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิง ภาชนะเปิดที่บรรจุน้ำหรือภาชนะที่ให้กำเนิดไอน้ำที่ความดันบรรยากาศ ไม่นับเป็นหม้อไอน้ำทางอุตสาหกรรม เหตุผลที่ทำให้น้ำที่บรรจุอยู่ในหม้อไอน้ำมีความดันสูงเพราะจะทำให้จุดเดือดของไอน้ำสูงขึ้นเพื่อที่จะได้พลังงานจากไอน้ำมากขึ้น ขณะเดียวกันน้ำซึ่งมีสภาพเป็นของเหลวที่ความดันสูงจะมีปริมาตรน้อยกว่าที่ความดันปกติ จึงต้องการเนื้อที่ของหม้อไอน้ำน้อยกว่า

หม้อไอน้ำในทางอุตสาหกรรมสมัยแรกสร้างขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพียงเพื่อให้ผลิตไอน้ำได้เท่านั้น โดยยังไม่ได้คำนึงถึงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ การป้อนเชื้อเพลิง, การควบคุมปริมาณน้ำในหม้อไอน้ำ หรือการควบคุมการจ่ายไอน้ำยังเป็นแบบป้อนด้วยมือทั้งสิ้น ซึ่งต่อมาภายหลังเมื่อเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น จึงได้มีการพิจารณาออกแบบหม้อไอน้ำ ที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพสูง, สามารถใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ได้หลายชนิด และสร้างมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากที่สุด

ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต โดยใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้ให้เกิดความร้อน และต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำ ส่งตามท่อไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ความร้อน โดยอุปกรณ์ใช้ไอน้ำมี 2 แบบ คือ แบบใช้โดยตรง (Direct Heating) และแบบผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Indirect Heating) ซึ่งแบบใช้โดยตรงนั้นไอน้ำจะถูกพ่นผสมกับสารที่มารับความร้อนโดยตรง ขณะที่แบบผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ไอน้ำจะไม่สัมผัสกับสารที่มารับความร้อน ดังนั้นหลังจากถ่ายเทความร้อนให้แล้วไอน้ำจะควบแน่นเป็นน้ำ ที่เรียกว่า คอนเดนเสท จากนั้นกับดักไอน้ำจะทำหน้าที่แยกคอนเดนเสทออกมา และส่งกลับไปผลิตเป็นไอน้ำอีกครั้งที่หม้อไอน้ำ เหตุผลที่ใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางส่งถ่ายความร้อน เนื่องจากไอน้ำสามารถสะสมความร้อนได้มาก และค่าใช้จ่ายในการใช้งานต่ำกว่าสารอื่น จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวกลางส่งถ่ายความร้อนในอุตสาหกรรมมาแล้วนับร้อยปีอย่างไรก็ตามหากต้องการความร้อนอุณหภูมิสูงกว่า 200°C จะต้องผลิตไอน้ำความดันสูงมาก [1] จึงมักใช้น้ำมันร้อน (Thermal Oil) เป็นสารตัวกลาง

2.2 ประเภทของหม้อไอน้ำ

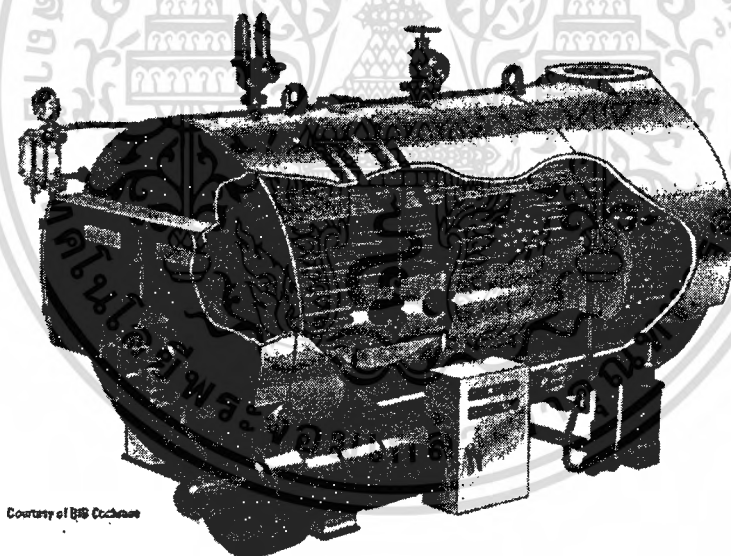
หม้อไอน้ำสามารถแบ่งเป็นชนิดตามลักษณะ โครงสร้างและรูปแบบการถ่ายเทความร้อนจากเชื้อเพลิงไปสู่ น้ำในหม้อไอน้ำได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

เอกสารชิ้นนี้เอกสารที่ส่งมอบให้โดย บริษัท อี.ที.ที. จำกัด (มหาชน) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boilers) คือหม้อไอน้ำที่ใช้ฟลูแกส (Flue Gas) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผ่านเข้าไปในท่อที่ทำด้วยเหล็กกล้า ซึ่งเป็นสื่อความร้อนที่ดี และถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำซึ่งอยู่ข้างนอกกรอบๆท่อไฟเหล่านี้ โดยมีเปลือกของหม้อไอน้ำหุ้มอยู่อีกชั้นหนึ่ง ซึ่งเปลือกของหม้อไอน้ำนี้ยังทำหน้าที่เก็บรักษาความดันภายในหม้อไอน้ำไว้อีกด้วย

หม้อไอน้ำแบบท่อไฟมีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับหม้อไอน้ำแบบอื่น คือมีขนาดเท่ากับถังน้ำมันทั่วไป ตัวอย่างของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ เช่น หม้อไอน้ำสำหรับต้มน้ำเพื่อฆ่าเชื้อโรคตามโรงพยาบาล , หม้อไอน้ำที่ใช้ข้อผ้า, ย้อมผ้า หรือ หม้อไอน้ำที่ใช้สำหรับอบอาหาร เป็นต้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟนี้จะใช้ในงานที่ต้องการไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิไม่สูง คือความดันประมาณ 10 ถึง 20 Bar และอุณหภูมิ ประมาณ 200 องศาเซลเซียส [1]

หม้อไอน้ำแบบท่อไฟมีโครงสร้าง และส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 2.1 มีข้อดีที่สามารถเก็บน้ำไว้ได้ปริมาณมาก จึงสามารถป้อนไอน้ำได้ดีในงานที่ไม่ต้องการไอน้ำสม่ำเสมอ แต่มีข้อเสียอยู่ที่ไม่สามารถผลิตไอน้ำที่ความดันสูงๆได้ และค่อนข้างใช้เวลานานจากการคิดเตาจนผลิตไอน้ำได้เนื่องจากน้ำปริมาณมากที่เก็บไว้

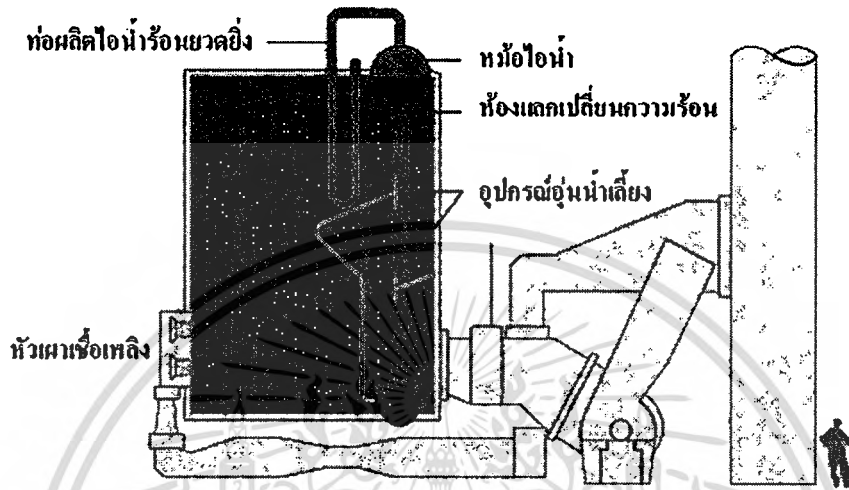


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ [2]

2.2.2 หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water Tube Boilers) คือหม้อไอน้ำชนิดที่ให้น้ำที่ต้องการต้มอยู่ภายในท่อที่ทำด้วยเหล็กกล้า ซึ่งเป็นสื่อความร้อนที่ดี และเกิดที่ไอน้ำจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะอยู่ภายนอกกรอบๆท่อน้ำ ปรกติหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำนี้จะใช้ผลิตไอน้ำที่มีความดันสูงตั้งแต่ 10 ถึง 350 Bar และผลิตไอน้ำสำหรับงานที่ต้องการไอน้ำชนิดไอดงหรือไอร้อนยิ่งยวด (Superheat) หรืองานที่ต้องการปริมาณไอน้ำตั้งแต่ 7,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมงขึ้นไป [2]

เอกสารนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำคือ ถังเก็บน้ำ (Drum) ซึ่งหมายถึงถังเก็บน้ำในรูปทรงกระบอก ในหม้อไอน้ำอาจจะมีถังเก็บน้ำอยู่ได้ 2 ถึง 4 ถังก็ได้ และเนื่องจากถังเก็บน้ำของ

หม้อไอน้ำมีหน้าที่เก็บน้ำและไอน้ำเท่านั้น ไม่มีหน้าที่ที่จะรับความร้อนจากการเผาไหม้ ดังนั้นขนาดของถังเก็บน้ำจึงมีขนาดเล็กกว่าของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ และส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนของหม้อไอน้ำคือท่อน้ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนรับความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและถ่ายเทให้แก่ น้ำซึ่งไหลวนอยู่ในท่อน้ำนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ [2]

2.3 ส่วนประกอบของหม้อไอน้ำ (Boiler)

หม้อไอน้ำ (Boiler) ใช้ผลิตไอน้ำเพื่อเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายนอก ซึ่งหมายถึง เครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายนอกตัวเครื่อง โดยการส่งพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงผ่านทางไอน้ำ เพื่อขับเคลื่อนเครื่องยนต์ เช่น เครื่องจักรไอน้ำ (Steam Engine) หรือกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เป็นต้น ซึ่งหม้อไอน้ำจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

1 หม้อไอน้ำ (Boiler) ทำหน้าที่เป็นส่วนที่รับพลังงานจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เพื่อต้มน้ำที่เก็บไว้ในหม้อไอน้ำให้กลายเป็นไอน้ำ

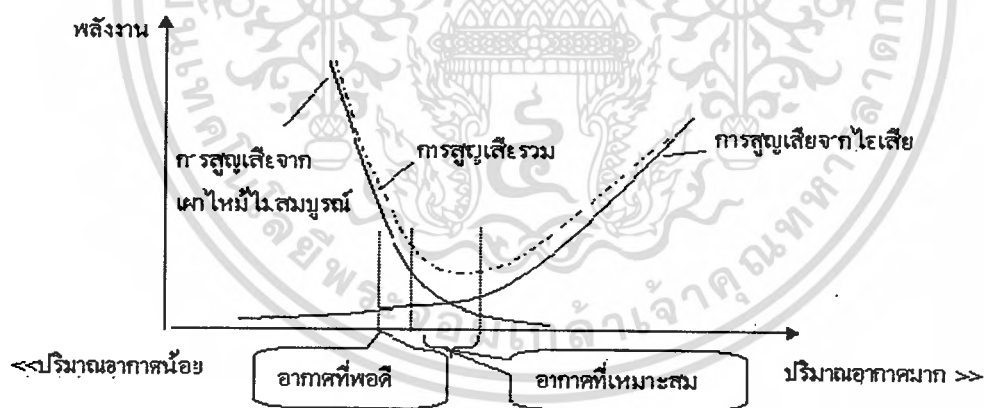
2 ภาระ (Load) ซึ่งหมายถึง เครื่องจักรไอน้ำ, กังหันไอน้ำ หรือ ระบบที่นำไอน้ำที่ผลิตได้ไปใช้งาน เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกล

3 ระบบควบคุม (Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบต่างๆของการผลิตไอน้ำให้เป็นไปอย่างถูกต้องและปลอดภัย ซึ่งสามารถแบ่งย่อยออกเป็นส่วนต่างๆตามหน้าที่การควบคุมได้เช่น การควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ (Boiler Drum Level Control), การควบคุมการเผาไหม้ (Combustion Control), การควบคุมจัดการเชื้อเพลิง (Fuel Handling Control), การควบคุมจัดการอากาศ (Flue Gas Control)

4 ส่วนประกอบอื่นๆ คือ อุปกรณ์อื่นๆที่จะเติมเต็มระบบของหม้อไอน้ำ เช่น ปั๊มน้ำ (Water Pump), อุปกรณ์อุ่นอากาศ (Air Preheater), อุปกรณ์อุ่นน้ำเลี้ยง (Economizer), อุปกรณ์ควบแน่นการค้ำ (Condenser) เป็นต้น [1]ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เชื้อเพลิงและการเผาไหม้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ

คือการที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศและความร้อน แล้วเกิดก๊าซไอเสียและพลังงานความร้อน ซึ่งการเผาไหม้แบ่งออกเป็น การเผาไหม้สมบูรณ์ คือการที่ก๊าซออกซิเจนทำปฏิกิริยาพอดีกับธาตุในเชื้อเพลิง จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไอน้ำ และได้พลังงานออกมามากที่สุด ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด และประสิทธิภาพการเผาไหม้จะขึ้นอยู่กับ ชนิดของเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศที่เข้าเผาไหม้ และหัวเผา (Burner) หรือลักษณะการเผาไหม้ ส่วนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดได้จาก กรณีที่อากาศน้อยเกินไป การเผาไหม้จะได้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ เหม่า ควันส์ค่าพลังงานที่ได้จะน้อย การเผาไหม้มีประสิทธิภาพต่ำ และกรณีที่อากาศมากเกินไป ส่วนที่เกินความต้องการจะพาความร้อนออกไปทางปล่องไอเสียส่งผลให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดต่ำลง ดังนั้น ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ในปริมาณที่พอดีกับ เชื้อเพลิง เนื่องจากจะมีเชื้อเพลิงบางส่วนไม่สัมผัสกับอากาศได้ทั่วถึง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เชื้อเพลิงแข็ง เราจึงต้องป้อนอากาศเข้า เผาไหม้ในปริมาณที่เกินพอดีเล็กน้อย อากาศส่วนนี้เรียกว่า อากาศส่วนเกิน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 นอกจากนั้นในกรณีของเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซถ้าหัวเผาที่สกปรก อุดตัน ชำรุด ทำให้เชื้อเพลิงและอากาศคลุกเคล้ากัน ได้ไม่ดี มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้เช่นกัน



รูปที่ 2.3 ปริมาณอากาศและการสูญเสียพลังงาน [2]

2.4.1 ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อไอน้ำ เชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อไอน้ำสามารถแบ่งเป็นสามชนิดใหญ่ๆตามสถานะของเชื้อเพลิงคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ดังนี้

1. ถ่านหิน เป็นเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง ที่เกิดจากการเน่าเปื่อย ทับถมของซากพืชและซากสัตว์เป็นเวลาหลายล้านปี ถ่านหินใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักของอุตสาหกรรมหลักแทบทุกชนิด เช่น อุตสาหกรรมถลุงเหล็ก ส่วนประกอบของถ่านหินมีส่วนประกอบหลักคือ คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน, กำมะถัน และความชื้น นอกจากนี้ยังมีสารอนินทรีย์ซึ่งเกิดปนอยู่กับถ่านหินทุกชนิด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งถ่านหินยังสามารถแบ่งย่อยได้ตามความอ่อนแก่และมีชื่อเรียกและคุณสมบัติแตกต่างกันไป เช่น แอนทราไซต์ เป็นถ่านหินที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดที่จะเป็นเชื้อเพลิง มีอายุยาวนานสุด มีความแข็งแรงมาก ดัดไฟยากถ้าอุณหภูมิไม่สูงพอ เมื่อดัดไฟมีเปลวและควันน้อยมาก ค่าความชื้นต่ำ และให้ค่าความร้อนสูงกว่า 7,500 บีทียู (BTU) ต่อกิโลกรัม, บิทูมินัส ถ่านหินชั้นรองจากแอนทราไซต์ เมื่อดัดไฟมีเปลวสีเหลือง ค่าความชื้นปานกลาง และให้ค่าความร้อนประมาณ 5,500 บีทียู (BTU) ต่อกิโลกรัม, ลิกไนท์ เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำสุด ที่ยังพอใช้เป็นเชื้อเพลิงในงานอุตสาหกรรมได้ มีชีงี้ไธมาก มีค่าความชื้นมาก และให้ค่าความร้อนประมาณ 4,500 บีทียู (BTU) ต่อกิโลกรัม [1]

เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำที่เป็นแบบของแข็งยังมีชนิดอื่นนอกจากถ่านหินอีก เช่น เศษไม้ ชีงี้ไธ เลื่อย แกลบ ชานอ้อย ชังข้าว โปก เป็นต้น ซึ่ง เชื้อเพลิงแข็งแต่ละชนิดที่กล่าวมานี้จะมีวิธีเก็บรักษาวิธีเตรียมก่อนใช้งาน วิธีป้อนเชื้อเพลิง และวิธีจัดการชีงี้ไธ ที่แตกต่างกันออกไป

2. น้ำมันเตา หมายถึง เชื้อเพลิงเหลวที่เป็นผลผลิตจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งน้ำมันเตาจะมีการใช้งานกับหม้อไอน้ำมาก ทั้งแบบที่เป็นเชื้อเพลิงหลัก และแบบที่เป็นเชื้อเพลิงรองของหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น ชานอ้อย แกลบ ชีงี้ไธ เป็นเชื้อเพลิงหลัก แต่ก็ต้องใช้น้ำมันเตาขณะเริ่มจุดเตาหรือขณะที่ต้องการเพิ่มพลังงานของหม้อไอน้ำขึ้นอย่างทันทีทันใด

น้ำมันเตาแบ่งเป็นมาตรฐานได้ 6 เกรดตั้งแต่ น้ำมันเตาเบอร์ 1 ที่มีความหนืดน้อยที่สุด และมีค่าความร้อนน้อยสุด ไปจนถึงน้ำมันเตาเบอร์ 6 ที่มีความหนืดมากที่สุด และมีค่าความร้อนมากที่สุด แต่ต้องอาศัยการอุ่นน้ำมันก่อนไปที่หัวพ่นน้ำมัน

ประโยชน์ของน้ำมันเตาเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหินที่ให้ค่าความร้อนเท่ากันจะ ใช้น้ำมันเตาปริมาณน้อยกว่าประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ตามน้ำหนัก และต้องการที่เก็บน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพของน้ำมันเตาไม่เสื่อมลงขณะที่เก็บไว้ก่อนใช้งาน ไม่เกิดการลุกไหม้ด้วยตัวเอง การขนย้ายน้ำมันทำได้สะดวกกว่า สามารถเพิ่มอัตราการเผาไหม้ได้อย่างรวดเร็วเมื่อภาระของหม้อไอน้ำเปลี่ยนไป ประสิทธิภาพสูงและไม่มีควัน [1]

3. ก๊าซธรรมชาติ เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ สะสมกันอยู่ใต้พื้นดินในส่วนที่เป็นช่องว่าง ส่วนใหญ่ก๊าซธรรมชาติประกอบด้วยสารพาราฟินไฮโดรคาร์บอน (Lighter Paraffin Hydrocarbons) โดยมีเปอร์เซ็นต์ของมีเทน (CH_4) สูงมาก ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และลดหลั่นไปเป็นอีเทน (C_2H_6) และก๊าซต่างๆเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และออกซิเจน เป็นต้น จะมีอยู่ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซธรรมชาติยังสามารถแบ่งได้เป็นสองชนิดคือ ก๊าซธรรมชาติแห้ง ส่วนใหญ่ประกอบด้วยมีเทน (CH_4) และอีเทน (C_2H_6) โดยปริมาณของมีเทนมีมากกว่า และมีสถานะเป็นไอที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ก๊าซธรรมชาติแห้งนี้ ส่วนใหญ่นำไปใช้เป็น ก๊าซหุงต้มในครัวเรือน เชื้อเพลิงสำหรับงานอุตสาหกรรม เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมี เป็นต้น ก๊าซธรรมชาติแห้งนี้ เมื่อถูกเผาไหม้แล้วสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้เช่น เขม่า และชีงี้ไธมีน้อยมากจึงสะอาดกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ [1]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

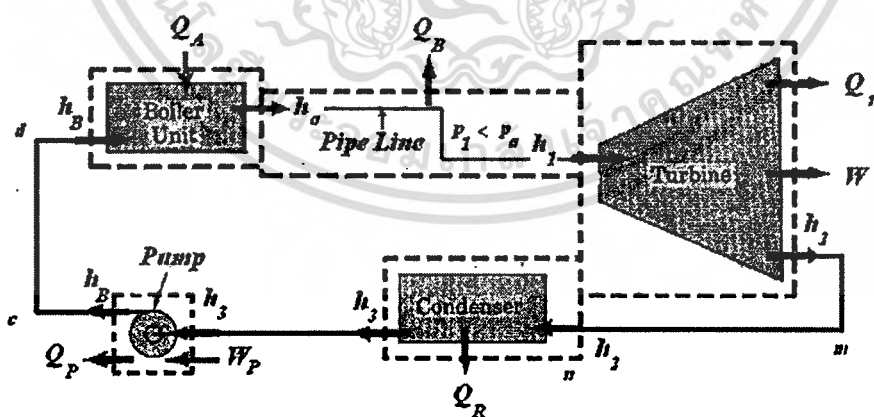
ก๊าซธรรมชาติซึ่งจะประกอบขึ้นด้วยสารไฮโดรคาร์บอนชนิดหนักเช่น โพรเพน (C_3H_8) บิวเทน (C_4H_{10}) และสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า เช่น เพนเทน (C_5H_{12}) เฮกเซน (C_6H_{14}) และเฮปเซน (C_7H_{16}) เป็นต้น

ก๊าซธรรมชาติซึ่งมีสถานะเป็นไอหรือก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ เช่นเดียวกับก๊าซธรรมชาติแห้ง แต่เมื่อถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นเกินกว่า 150 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร ที่อุณหภูมิของบรรยากาศ จะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว [1]

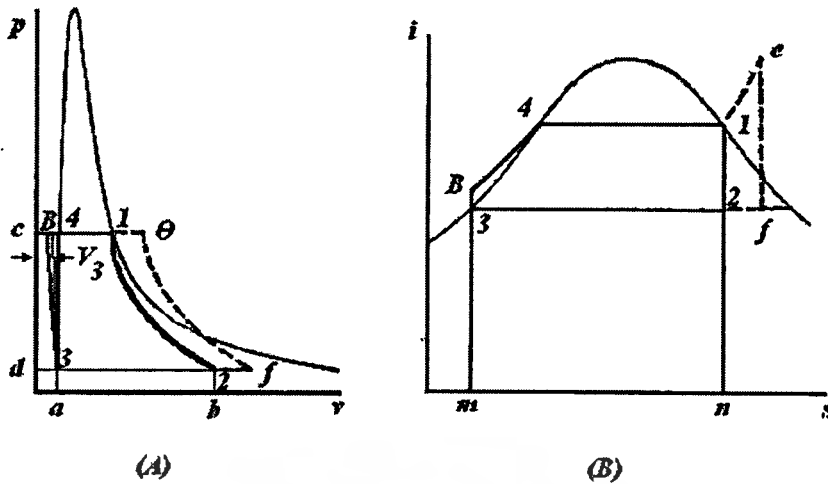
2.4.2 เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีผลต่อการเผาไหม้ เชื้อเพลิงแข็งมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ร้อยละ 75-85 เชื้อเพลิงเหลวร้อยละ 80-85 และเชื้อเพลิงก๊าซร้อยละ 80-90 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งต่ำกว่าเชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงเหลวต่ำกว่าเชื้อเพลิงก๊าซตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่สัมผัสระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศน้อยกว่ากันตามลำดับ นอกจากนั้นเชื้อเพลิงที่มีความหนืดสูงจะกระจายออกเป็นฝอยละเอียดยาก ทำให้มีพื้นที่สัมผัสน้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ

2.5 การทำงานของวัฏจักรของไอน้ำ

การศึกษาถึงวัฏจักรไอน้ำเป็นหัวใจของการออกแบบโรงจักรหรือเครื่องจักรไอน้ำ ซึ่งวัฏจักรของไอน้ำที่ถือว่าเป็นวัฏจักรพื้นฐาน คือ วัฏจักรแรงกิน (Rankine Cycle) ประกอบด้วยกระบวนการที่มีความดันคงที่สองอัน และขบวนการไอเซนทรอปิกสองอันดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การทำงานของวัฏจักรไอน้ำ [2]



รูปที่ 2.5 วัฏจักรแรงคิน ซึ่งเป็นพื้นฐานของเครื่องจักรไอน้ำ [2]

เมื่อไอน้ำออกจากหม้อน้ำและไปขับเคลื่อนเครื่องจักรหรือกังหันไอน้ำ โดยกระบวนการไอเซนทรอปิก จากนั้นจึงผ่านอุปกรณ์ควบแน่นจนไอน้ำกลายเป็นน้ำ โดยกระบวนการที่มีความดันคงที่ หลังจากนั้นเมื่อน้ำที่เกิดจากการควบแน่น ถูกปั๊มให้มีความดันเพิ่มขึ้นตามกระบวนการไอเซนทรอปิกอีกครั้ง เพื่อคั้นน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ แล้วจึงได้รับความร้อนจากการเผาไหม้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงจุดเดือดแล้วกลายเป็นไอ กลับเข้าขับเคลื่อนเครื่องจักรหรือกังหันไอน้ำต่อไป

2.5.1 ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่วัฏจักร ความร้อนที่เข้าสู่วัฏจักรของไอน้ำคือความร้อนที่ใช้ต้มน้ำในหม้อไอน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการที่มีความดันคงที่มีค่าเท่ากับผลต่างของเอนทัลปี

$$Q_A = h_1 - h_B \quad (2.1)$$

ถ้าพิจารณาในระนาบ T-S ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่วัฏจักร Q_A คือพื้นที่ $m-B-4-1-2-n$ ซึ่งปริมาณความร้อนที่เข้าสู่วัฏจักร Q_A นี้จะใช้เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักร, ใช้เลือกชนิดของเชื้อเพลิง, ปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องการ และพื้นที่ผิวรับความร้อนของหม้อไอน้ำ

2.5.2 ปริมาณความร้อนที่ออกจากวัฏจักร ความร้อนที่ออกจากวัฏจักรของไอน้ำ คือความร้อนที่ถ่ายเทออกจากไอน้ำ ขณะที่ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำภายในอุปกรณ์ควบแน่น ซึ่งเมื่อพิจารณาในระนาบ T-S แล้วปริมาณความร้อนที่ออกจากวัฏจักรคือพื้นที่ $n-2-3-m$ และในการที่ไอน้ำเกิดการกลั่นตัวนี้เกิดขึ้นในขณะที่มีความดันคงที่

$$Q_R = h_3 - h_2 \quad (2.2)$$

ปริมาณความร้อนที่ออกจากวัฏจักร Q_R นี้ จะใช้หาขนาดพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ควบแน่น และปริมาณของสารหล่อเย็นที่ใช้ถ่ายเทความร้อนออกจากไอน้ำภายในอุปกรณ์ควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 งานที่ออกจากวัฏจักร หมายถึงงานที่เกิดขึ้นจากการขยายตัวของไอน้ำในเครื่องจักร หรือกังหันไอน้ำ ซึ่งงานที่ออกจากวัฏจักรเกิดขึ้นในกระบวนการไอเซนทรอปิก ดังนั้น

$$W = h_1 - h_2 + KE_1 - KE_2$$

และในกรณีที่ $KE_1 = KE_2$ ดังนั้นจะได้

$$W = h_1 - h_2 \quad (2.3)$$

งานที่ออกจากวัฏจักรที่หาได้นี้ จะสามารถบอกได้ว่า วัฏจักรของไอน้ำนี้สามารถผลิตกำลังงานกลได้เท่าไร เมื่อนำไปใช้งานเช่นใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือขับปั๊มน้ำ จะสามารถเลือกได้ว่า เหมาะสมจะใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือปั๊มขนาดใด [2]

2.5.4 งานที่เข้าสู่วัฏจักร หมายถึงงานที่ใช้ปั๊มน้ำเลี้ยงเข้าสู่หม้อไอน้ำ ในวัฏจักรแรงคินนี งานที่เข้าสู่วัฏจักรเกิดขึ้นในกระบวนการไอเซนทรอปิก แต่ที่อุณหภูมิและความดันต่ำ น้ำถือว่าเป็นของไหลที่ไม่ยุบตัวตามแรงดัน (Incompressible Fluid) ทำให้การอัดตัวแบบไอเซนทรอปิก และการอัดตัวแบบปริมาตรคงที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันจนสามารถถือว่าเป็นแบบเดียวกันได้

ถ้าน้ำถูกปั๊มในกระบวนการที่เกิดขึ้นกลับไปกลับมา และมีการไหลสม่ำเสมอจากความดันต่ำไปหาความดันสูงจะถือว่า

$$\Delta KE = 0, \Delta PE = 0$$

$$W_p = -(\Delta h) = -(h_2 - h_1) = h_1 - h_2$$

เมื่อ

W_p = งานที่เข้าสู่วัฏจักร (จูล)

h = เอนทาลปี (จูล)

KE = พลังงานจลน์ (จูล)

PE = พลังงานศักย์ (จูล)

แต่คุณสมบัติของเอนทาลปีกำหนดไว้ว่า

$$dn = du + \frac{pdv}{J}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการประกอบการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= dQ + \frac{vdp}{J}$$

เมื่อการปั้มน้ำ กระทำในกระบวนการไอเซนทรอปิก $dQ = 0$

$$dh = \frac{vdp}{J} \text{ หรือ } Dh = \int \frac{vdp}{J}$$

$$W_P = -(Dh) = -\int \frac{vdp}{J}$$

เมื่อน้ำเป็นของไหลที่ไม่ยุบตัวตามแรงดัน ดังนั้น $V = \text{Constant}$

$$W_P = -V_3 \left(\frac{P_B - P_3}{J} \right) = -V_3 \left(\frac{P_1 - P_3}{J} \right)$$

และจะหาค่างานของปั้มได้

$$W_P = h_3 - h_B = -V \left(\frac{P_1 - P_3}{J} \right) \quad (2.4)$$

ในทางปฏิบัติจะหาประสิทธิภาพของปั้ม (Efficiency) ได้เป็น

$$W_P = \left(\frac{h_3 - h_1}{\text{Eff}_p} \right) \quad (2.5)$$

งานของปั้มที่หาได้นี้ จะเป็นค่าที่บอกว่าถ้าจะใช้เครื่องจักร, เครื่องยนต์ หรือ มอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขับปั้มน้ำเลี้ยงของหม้อไอน้ำ จะต้องใช้ขนาดเท่าไร

2.5.5 งานสุทธิของวัฏจักร

งานสุทธิของวัฏจักร (W_{net}) = ผลรวมของงานที่เข้าและออกจากวัฏจักร ($\sum W$)
= ผลรวมของความร้อนที่เข้าและออกจากวัฏจักร ($\sum Q$)

$$W_{net} = \sum W = \sum Q$$

$$\sum W = (h_1 - h_2) + (h_3 - h_b) = h_1 - h_2 + h_3 - h_b$$

$$\sum Q = (h_1 - h_b) + (h_3 - h_2) = h_1 - h_2 + h_3 - h_b$$

ดังนั้น

$$W_{net} = h_1 - h_2 + h_3 - h_b \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรไอน้ำ

$$Eff = \frac{W_{net}}{Q_{A_{net}}} = \frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_b}{h_1 - h_b}$$

แต่

$$W_p = h_3 - h_b$$

ดังนั้น

$$Eff = \frac{h_1 - h_2 + W_p}{h_1 - h_3 + W_p} \quad (2.7)$$

ซึ่งหม้อไอน้ำโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 70-80 ซึ่งหมายความว่าพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง 100 ส่วน สามารถให้ความร้อนกับน้ำได้ประมาณ 70-80 ส่วนเท่านั้น พลังงานส่วนที่เหลือ จะสูญเสียไปกับก๊าซร้อนที่ปล่อยทิ้งทางปล่องไอเสียของหม้อไอน้ำ, ผ่านพื้นผิวของหม้อไอน้ำ และน้ำที่ต้องระบายทิ้งเป็นระยะจากการควบคุมระดับน้ำที่ผิดพลาด [2]

2.5.7 ความดันเฉลี่ยและอัตราไอน้ำ ความดันเฉลี่ย (Mean Effective Pressure) นั้นสำหรับในวัฏจักรแรงคิน คืองานที่ออกจากวัฏจักรหารด้วยปริมาตรที่เปลี่ยนไป (Displacement Volume)

$$P_m = \frac{W}{V_D} = \frac{J(h_1 - h_2)}{V_2} \quad (2.8)$$

เมื่อ

$$V_D = \text{ปริมาตรที่เปลี่ยนไป (ลูกบาศก์เมตร)}$$

อัตราไอน้ำ (Steam Rate) คือ น้ำหนักไอน้ำที่ป้อนให้แก่เครื่องจักร ต่อหนึ่งหน่วยของงานที่เครื่องจักรผลิตได้

$$W = \frac{BTU / (h_p - h_r)}{BTU / (lb - Steam)} = \frac{lb - Steam}{h_p - h_r} \quad (2.9)$$

เมื่อ

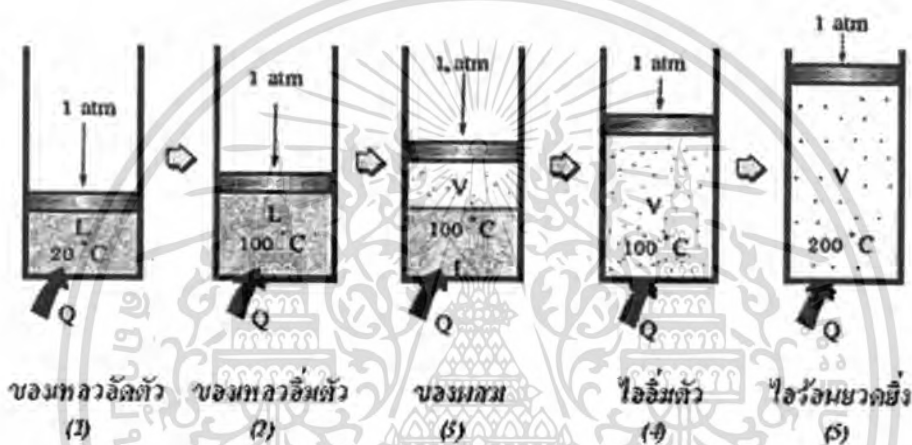
$$BTU = \text{ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้}$$

2.6 คุณสมบัติของน้ำและไอน้ำ (สารบริสุทธิ์)

ลักษณะของน้ำและไอน้ำซึ่งเป็นสารบริสุทธิ์มีลักษณะ คือ เป็นสารที่มีเนื้อเดียวกันตลอด และมีองค์ประกอบทางเคมีคงที่ (Fixed Chemical Composition) และองค์ประกอบทางเคมีนี้จะเหมือนกันในทุกๆเฟส (Phase) ที่เกิดขึ้น ซึ่งในแต่ละเฟสนั้นธาตุในองค์ประกอบจะอยู่ในปริมาณสัดส่วนเดียวกันเสมอ และน้ำหรือสารบริสุทธิ์ที่จะพิจารณานี้ถือเป็นสารอัดตัวได้เชิงเดี่ยว (Simple Compressible Substance) จะไม่คำนึงถึงผลทางพื้นผิว (Surface Effect) ที่เนื่องมาจากผล

ทางแม่เหล็กไฟฟ้า แต่จะคำนึงถึงผลของการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของสารอัดตัวได้เชิงเดียวเท่านั้น

2.6.1 การเปลี่ยนแปลงเฟสของสารบริสุทธิ์ เมื่อสารบริสุทธิ์เช่นน้ำ ได้รับความภายใต้ความดันคงที่ (1 บรรยากาศ) น้ำจะเปลี่ยนแปลงเฟสของมันเองดังแผนภาพ รูปที่ 2.3 จากสถานะเริ่มต้นของน้ำอยู่ที่ 20°C ที่ 1 บรรยากาศ (ของเหลวอัดตัว) ได้รับความร้อนในอัตราสม่ำเสมอ ทำให้เปลี่ยนแปลงเฉพาะอุณหภูมิจาก 20°C ไปเป็น 100°C หลังจากนั้นน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงเฟสจากของเหลวไปเป็นไอที่อุณหภูมิ 100°C จนกระทั่งน้ำกลายเป็นไอจนหมด (ไออิ่มตัว) และให้ความร้อนต่อไปจนไอน้ำมีอุณหภูมิสูงถึง 200°C (ไอร้อนยวดยิ่ง) [2]



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงเฟสของน้ำภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ [2]

2.6.2 คุณสมบัติอิสระของสารบริสุทธิ์ สำหรับน้ำหรือสารบริสุทธิ์แบบอัดตัวได้เชิงเดียวพบว่าสถานะต่างๆของสารนั้นสามารถกำหนดด้วยคุณสมบัติอิสระสองตัว เช่นที่สถานะหนึ่งของไอร้อนยวดยิ่ง จะกำหนดด้วยปริมาณจำเพาะและอุณหภูมิ ที่สถานะของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัวนั้นมีความดันและอุณหภูมิเดียวกัน จะพบว่าความดันและอุณหภูมิไม่เป็นคุณสมบัติอิสระของสารบริสุทธิ์ จึงใช้ระบุสถานะของสารนั้นไม่ได้ โดยจะใช้ความดันและปริมาณจำเพาะแทน

2.7 พื้นฐานของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ (Boiler Drum Level Control)

หน้าที่หลักคือรักษาระดับน้ำในหม้อไอน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ไม่มากหรือน้อยเกินไป ระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำแบบอัตโนมัตินี้อาศัยสัญญาณจากทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงค่าของระดับน้ำให้กลายเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อประมวลผลและควบคุมการจ่ายน้ำเข้าหรือปล่อยน้ำออกจากหม้อไอน้ำ

ทรานสมิตเตอร์นี้มีหลายชนิดซึ่งสามารถแบ่งได้ตามวิธีการแปลค่าระดับน้ำไปเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น ทรานสมิตเตอร์แบบลูกลอย (Floating Transmitter) อาศัยการเปลี่ยนไมวากรณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเทคนิคแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเงาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงของระดับน้ำผลักดันลูกลอยซึ่งต่อกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้เพื่อแปลงค่า, ทรานสมิตเตอร์แบบแท่งความนำไฟฟ้า (Conductivity Probe) ซึ่งอาศัยค่าความนำไฟฟ้าจากหัววัดความนำที่จุ่มลงไปในห้องไอน้ำเพื่อเปลี่ยนแปลงค่าเป็นระดับน้ำ หรือ ทรานสมิตเตอร์แบบความแตกต่างความดัน (Difference Pressure Transmitter) ที่ใช้ความแตกต่างของความดันจากส่วนบนและส่วนล่างของห้องไอน้ำมาเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อบอกค่าระดับน้ำ

การควบคุมรักษาระดับน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพนั้นจะส่งผลถึงการสิ้นเปลืองพลังงาน เช่น เมื่อเติมน้ำเกินความจำเป็น และเกินกว่าระดับที่กำหนด เมื่ออุณหภูมิในห้องไอน้ำสูงขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง อาจจะทำให้ระดับน้ำมีการกระเพื่อมจากการเดือดของผิวน้ำ แล้วทำให้ทรานสมิตเตอร์อ่านค่าผิดพลาด และต้องทำการปล่อยน้ำส่วนที่เกินนี้ออกไปโดยน้ำที่ปล่อยออกไปนั้นเป็นน้ำที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยเปล่าประโยชน์

นอกจากนี้การควบคุมระดับน้ำที่ผิดพลาดยังอาจสร้างความเสียหายให้แก่ห้องไอน้ำได้ เช่นระบบควบคุมอ่านค่ามากกว่าความเป็นจริงและไม่มีการเติมน้ำเพิ่มไปยังห้องไอน้ำ โดยที่ยังมีการเพิ่มความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงตามปกติ จะทำให้ห้องไอน้ำได้รับความร้อนสูงเกินและเกิดความเสียหายได้ ระบบควบคุมระดับน้ำสามารถแบ่งเป็นสองชนิด ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.8 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบเปิดปิด (On/Off Level Control)

ระบบควบคุมระดับน้ำแบบเปิดปิด เป็นแบบที่ง่ายที่สุดสำหรับการควบคุมระดับน้ำโดยอาศัยหลักการง่ายๆ โดยอาศัยเฉพาะสัญญาณของระดับน้ำเพียงอย่างเดียวเพื่อมาประมวลผลและควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำเลี้ยงเข้าห้องไอน้ำ ระบบควบคุมจะเปิดปั๊มน้ำเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าระดับล่างของระดับน้ำที่กำหนดไว้ และสั่งหยุดการทำงานของปั๊มน้ำเมื่อระดับน้ำสูงกว่าระดับบนของระดับน้ำที่กำหนดไว้ ส่วนมากในห้องไอน้ำแบบนี้จะใช้ ทรานสมิตเตอร์แบบแท่งความนำไฟฟ้า (Conductivity Probe) ในการวัดระดับน้ำเพราะต้องการทราบเพียงระดับน้ำมาก และระดับน้ำน้อยเท่านั้น

ระบบควบคุมระดับน้ำแบบเปิดปิดนี้มีใช้กันมากในห้องไอน้ำที่มีผลิตไอน้ำได้ต่ำกว่า 5,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากมีราคาถูก แต่อย่างไรก็ตามวิธีการควบคุมแบบนี้มีข้อเสียคือเมื่อปั๊มน้ำเลี้ยงถูกสั่งให้ทำงานจะทำให้ความดันในห้องไอน้ำลดลงเนื่องจากน้ำที่อุณหภูมิต่ำได้ถูกป้อนเข้าไปยังห้องไอน้ำ ระบบควบคุมการเผาไหม้ต้องเพิ่มหรือลดอัตราการเผาไหม้ตลอดเวลาตามการเปิดและปิดของปั๊มน้ำ เช่น ถ้าปั๊มน้ำทำการปั๊มน้ำเลี้ยงที่อุณหภูมิ 80°C อัตราการเผาไหม้ตอนเปิดปั๊มอาจจะมากกว่าตอนปิดปั๊มอยู่ถึง 40 เปอร์เซ็นต์

ระบบควบคุมแบบเปิดปิดนี้มีข้อเสียคือ อุณหภูมิของน้ำและไอน้ำจะเปลี่ยนแปลงขึ้นลง ความดันของไอน้ำไม่คงที่ ประสิทธิภาพของห้องไอน้ำต่ำ อัตราการผลิตและอัตราการไหลของ

ไอน้ำที่ได้จะเป็นรูปฟืนเลื้อย คือมีการแกว่งขึ้นแกว่งลงตลอดเวลา มีปริมาณการปล่อยน้ำทิ้งค่อนข้างมาก และหม้อไอน้ำแบบนี้โอกาสที่จะเกิดปัญหาระหว่างการดำเนินงานที่มีความต้องการไอน้ำมากได้สูง แต่ระบบควบคุมแบบนี้ ก็ยังมีใช้กันมากในหม้อไอน้ำขนาดเล็กถึงขนาดกลาง เนื่องจากราคาที่ถูกลง จากจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมีจำนวนน้อยขึ้น

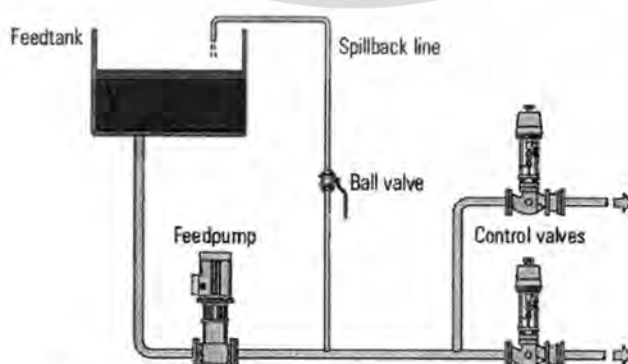
2.9 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบแปรผัน (Modulating Level Control)

ระบบควบคุมระดับน้ำแบบแปรผัน นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

2.9.1 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียว (Single Element Control) คือระบบควบคุมแบบแปรผันที่อาศัยสัญญาณเพียงอย่างเดียวมาใช้ในการควบคุมระดับน้ำ คือสัญญาณระดับน้ำในหม้อไอน้ำเพียงอย่างเดียว การควบคุมระดับน้ำชนิดนี้ปั๊มน้ำ (Feed Water Pump) จะทำงานตลอดเวลา แต่จะเป็นวาล์วเปิดปิดน้ำเลี้ยง (Control Valve) ที่จะถูกควบคุมจากระบบ (วาล์วที่อยู่ระหว่างปั๊มน้ำกับหม้อไอน้ำ) ซึ่งระบบควบคุมนี้สามารถกำหนดอัตราการไหลเข้าของน้ำเลี้ยงให้พอดีกับไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำได้ ระบบระดับน้ำแบบแปรผันตัวแปรเดียวที่ติดตั้งสามารถที่จะผลิตไอน้ำที่มีอัตราการไหลที่คงที่และหม้อไอน้ำมีความเสถียรของระดับน้ำได้

อุปกรณ์ที่ต้องมีเมื่อใช้ระบบควบคุมระดับน้ำแบบแปรผันตัวแปรเดียว คือ ทรานสมิตเตอร์แบบที่สามารถบอกค่าระดับน้ำแบบต่อเนื่องได้ เช่น ทรานสมิตเตอร์แบบลูกลอย (Floating Transmitter) หรือ แบบความแตกต่างความดัน (Difference Pressure Transmitter)

สิ่งที่จำเป็นต้องมีอีกอย่างหนึ่งสำหรับหม้อไอน้ำที่ใช้ระบบควบคุมแบบนี้ก็คือ ระบบไหลเวียนน้ำกลับ (Recirculation) เพื่อป้องกันการเสียหายของปั๊มน้ำเลี้ยงเมื่อวาล์วน้ำเลี้ยงปิดจากการควบคุมของระบบ น้ำที่ไหลจากความดันของปั๊มน้ำเลี้ยงสามารถมีที่ไปได้ด้วยระบบไหลเวียนกลับเข้าสู่ถังพักน้ำคั้น ไม่เช่นนั้นความดันจากปั๊มน้ำที่ดันไปยังวาล์วที่ปิดอาจสร้างความเสียหายแก่ปั๊มน้ำหรือวาล์วน้ำเลี้ยงได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ระบบไหลเวียนน้ำกลับ (Recirculation) [12]

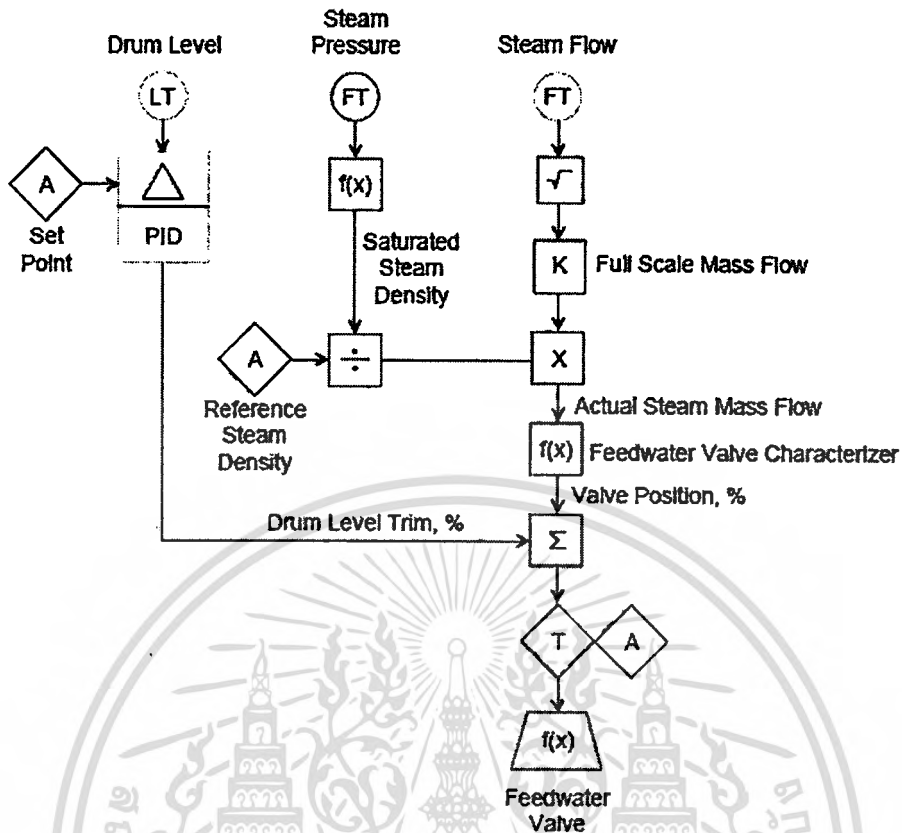
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

นอกจากนี้ระบบควบคุมระดับน้ำแบบแปรผันตัวแปรเดียวอีกแบบที่มีในปัจจุบันที่พบนั้น ระบบควบคุมระดับน้ำจะควบคุมปั้มน้ำเลี้ยงโดยตรงคล้ายกับระบบควบคุมแบบเปิดปิด แต่ต่างกันตรงที่ระบบสามารถควบคุมปั้มน้ำเลี้ยงน้ำให้ทำงานแบบแปรผันได้ คือมีเร็ว มีช้า โดยรับสัญญาณระดับน้ำมาจากทรานสมิตเตอร์แบบที่สามารถบอกค่าระดับน้ำแบบต่อเนื่องเพื่อควบคุมปั้มน้ำให้ทำงานไปในทิศทางเดียวกับระดับน้ำในขณะนั้น การควบคุมความเร็วของปั้มน้ำทำได้โดยระบบควบคุมส่งสัญญาณที่มีความถี่ที่แตกต่างกันและมีความดันไฟฟ้าแบบไฟกระแสสลับ โดยเมื่อหม้อไอน้ำต้องการน้ำมากปั้มน้ำจะถูกสั่งให้ทำงานเร็วขึ้น โดยระบบควบคุมแบบนี้จะเป็นแบบที่มีหรือไม่มี ระบบไหลเวียนน้ำกลับ (Recirculation) ก็ได้ขึ้นอยู่กับกรอกแบบ ซึ่งแบบที่มีระบบไหลเวียนน้ำกลับ ปั้มน้ำเลี้ยงมักจะถูกออกแบบให้ทำงานตลอดเวลา แต่ถ้าเป็นแบบที่ไม่มีระบบไหลเวียนน้ำกลับ เมื่อมีความต้องการน้ำน้อยมากปั้มน้ำจะถูกหยุดการทำงาน และการควบคุมปั้มน้ำนั้นต้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบุไว้ของปั้มน้ำ เช่นจังหวะการทิ้งเวลาเมื่อมีการหยุดปั้มน้ำแล้วจะทำกรเดินปั้มน้ำต่อ หรือการควบคุมความเร็วของปั้มน้ำนั้นต้องเริ่มจากความเร็วดำไปหาความเร็วสูง ไม่ควรเปลี่ยนความเร็วแบบทันทีทันใด เพราะจะทำให้ปั้มน้ำเสี่ยงเสียหายได้ ซึ่งระบบควบคุมแบบที่ควบคุมที่ปั้มน้ำนี้ข้อดีกว่า ระบบควบคุมแบบที่ควบคุมที่วาล์วน้ำเลี้ยงเพราะจะใช้พลังงานในการเดินปั้มน้ำน้อยกว่า แต่ด้วยราคาที่เพิ่มขึ้นของปั้มน้ำแบบควบคุมความเร็วที่ค่อนข้างมาก จึงต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าที่จะได้รับ ซึ่งส่วนใหญ่่นั้น ระบบควบคุมระดับน้ำแบบแปรผันตัวแปรเดียวแบบที่ควบคุมที่ปั้มน้ำนั้นจะใช้ในหม้อไอน้ำที่มีขนาดใหญ่มากกว่า

2.9.2 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบสองตัวแปร (Two Element Control) คือระบบควบคุมแบบแปรผันที่อาศัยสัญญาณสองสัญญาณมาใช้ในการควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ คือสัญญาณของระดับน้ำจากทรานสมิตเตอร์แบบที่สามารถบอกค่าระดับน้ำแบบต่อเนื่อง และสัญญาณอัตราการไหลของไอน้ำขาออกซึ่งวัดจากทรานสมิตเตอร์ที่ใช้แปลงอัตราการไหล (Flow Meter) ของไอน้ำโดยอาศัยความดันที่ไอน้ำวิ่งผ่านทรานสมิตเตอร์ชนิดนี้เข้าและออกมาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังระบบควบคุม และระบบควบคุมน้ำสัญญาณทั้งสองมาใช้ในการประมวลผล ควบคุมวาล์วน้ำเลี้ยงเพื่อรักษาระดับน้ำ ซึ่งอัตราการไหลของไอน้ำขาออกนี้สามารถทำให้การประมวลผลของระบบควบคุมระดับน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพราะสามารถทราบได้ว่าความต้องการ ไอน้ำที่สูงขึ้นย่อมหาความว่าหม้อไอน้ำนั้นก็ต้องการน้ำเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.8

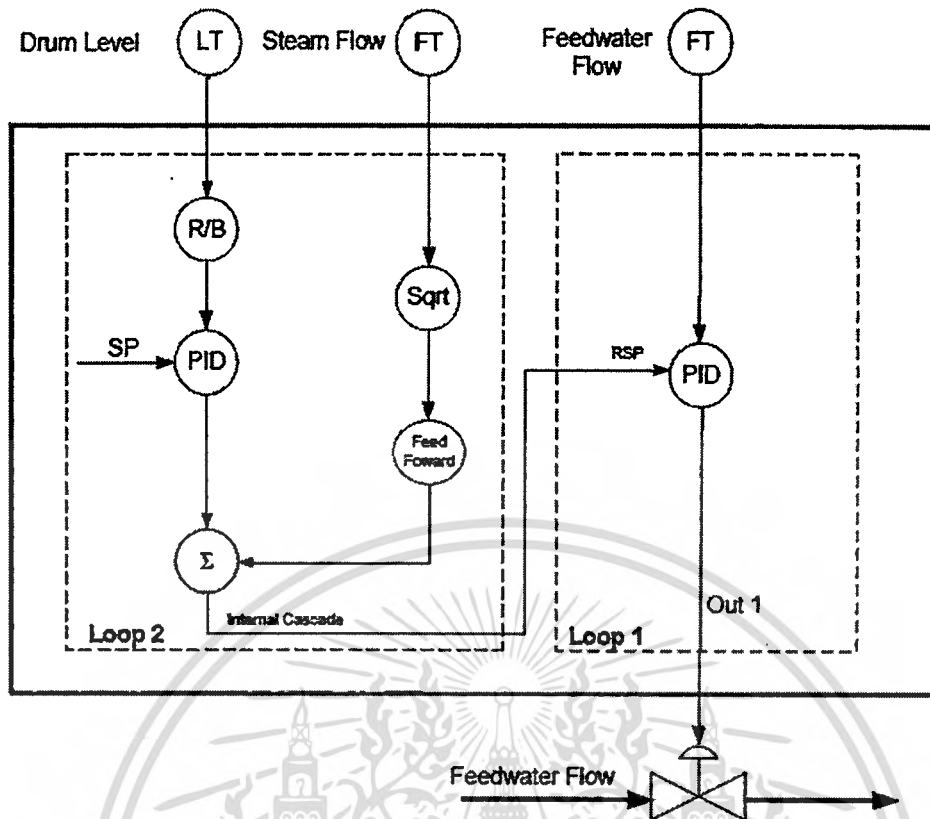
ระบบควบคุมแบบสองตัวแปรนี้เหมาะกับหม้อไอน้ำที่ใช้ในงานที่ความต้องการไอน้ำของภาระ (Load) นั้นเป็นแบบเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดและอัตราการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำมีขนาดใหญ่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้เชิงพาณิชย์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ระบบควบคุมแบบแปรผันสองตัวแปร (Two Element Control) [3]

2.9.3 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปร (Three Element Control) ระบบควบคุมแบบสามตัวแปรเกิดขึ้นจากการพัฒนา ระบบควบคุมระดับน้ำแบบสองตัวแปรซึ่งยังคงมีความผิดพลาดที่พบในการใช้งาน ซึ่งสัญญาณที่สามที่ใช้ในการควบคุมคือ สัญญาณของอัตราการไหลของน้ำเลี้ยงที่ป้อนเข้าไปยังหม้อไอน้ำ โดยอาศัยทรานสมิตเตอร์ที่ใช้แปลงอัตราการไหล (Flow Meter) ของน้ำเลี้ยง โดยอาศัยความดันที่น้ำเลี้ยงวิ่งผ่านทรานสมิตเตอร์ชนิดนี้เข้าและออกมาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังระบบควบคุม ระบบควบคุมน้ำสัญญาณทั้งสามมาใช้ในการประมวลผล ควบคุมวาล์วน้ำเลี้ยงเพื่อรักษาระดับน้ำ ทำให้การควบคุมระดับน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9

นอกจากนี้ระบบควบคุมแบบสามตัวแปรนี้ก็มีข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือสามารถออกแบบเพื่อใช้กับโรงงานที่มีหม้อไอน้ำหลายเครื่อง โดยใช้ปั้มน้ำเลี้ยงแบบใช้ร่วมกันได้เพราะอาศัยการควบคุมอัตราการไหลเข้าของน้ำเลี้ยงโดยระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปร เพราะฉะนั้นระบบควบคุมน้ำ (Pump Controller) จึงมีหน้าที่เพียงรักษาระดับแรงดันจากปั้มน้ำแบบใช้ร่วมกันในท่อน้ำเลี้ยงให้อยู่ในระดับที่กำหนดไว้ก็พอ



รูปที่ 2.9 ระบบควบคุมแบบแปรผันสามตัวแปร (Three Element Control) [3]

2.9.4 เปรียบเทียบการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ จากการศึกษา การทำงานและรูปแบบของระบบควบคุมแต่ละแบบนั้นยังไม่สามารถสรุปได้ว่าระบบควบคุมแบบใดดีที่สุด เพราะปัจจุบันการใช้งานระบบควบคุมรักษาระดับน้ำนั้น ยังคงมีการใช้งานระบบควบคุมอยู่ทั้งสามแบบ ดังที่จะได้ทำการศึกษาวิจัยว่า เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วข้อดีข้อเสีย และความเหมาะสมกับหม้อไอน้ำแต่ละชนิดนั้นเป็นอย่างไร

2.10 ระบบควบคุมอื่นๆที่ใช้งานในหม้อไอน้ำระบบอัตโนมัติ

สำหรับหม้อไอน้ำแบบอัตโนมัติยังมีระบบควบคุมที่สำคัญอื่นๆอีก ที่เมื่อรวมกันเข้าแล้วเรียกว่าระบบ Boiler Master Control เช่นระบบควบคุมการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Combustion Control System), ระบบควบคุมไอเสีย (Air Pollution Control System), ระบบควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำ (Steam Temperature Control) เป็นต้น

2.10.1 ระบบควบคุมการเผาไหม้ (Combustion Control System) หมายถึงระบบที่จัดการกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับหม้อไอน้ำ ซึ่งระบบนี้จะควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และได้ค่าความร้อนที่เหมาะสม โดยอัตรา การเผาไหม้จะต้องสัมพันธ์ไปกับการทำงานส่วนอื่นที่เกี่ยวข้องกัน เช่นเมื่อมีการป้อนน้ำเลี้ยงเข้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปยังหม้อไอน้ำ น้ำที่ป้อนเข้าไปน้ำจะถูกอุ่นให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง แต่เมื่อเทียบกับน้ำที่อยู่ในหม้อไอน้ำแล้วจะต่ำกว่ามาก และน้ำเลี้ยงส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้เมื่อถูกป้อนเข้าไปรวมกันกับน้ำในหม้อไอน้ำแล้วจะทำให้ผลรวมของอุณหภูมิของน้ำรวมกันลดลง

นอกจากนี้ยังส่งผลถึงความดันในหม้อไอน้ำก็ตกลงอีกด้วย ระบบควบคุมการเผาไหม้เมื่อรับสัญญาณมาประมวลผลแล้วจะเพิ่มอัตราการเผาไหม้ขึ้นตามค่าที่ตั้งไว้ เพื่อชดเชยความร้อนและทำให้สถานะของอุณหภูมิตะความดันในหม้อไอน้ำนี้กลับสู่สภาพที่พร้อมจะจ่ายไอน้ำแก่ภาระ (Load) ให้เร็วที่สุด

2.10.2 ระบบควบคุมไอเสีย (Air Pollution Control System) หมายถึงระบบที่จัดการกับมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) โดยจะมีอุปกรณ์วัดระดับสารพิษ (Gas Analyzer) ที่ถูกปล่อยออกมาไม่ว่าจะเป็น คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂), หรือไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ซึ่งสารพิษเหล่านี้จะพบมากเมื่อมีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเมื่อมีการเผาไหม้จะเกิดการทำปฏิกิริยาทางเคมี ได้พลังงานความร้อนและก๊าซอื่นๆออกมา นอกจากก๊าซที่เป็นสารพิษแล้ว ฝุ่นละอองหรือจีเถ้าที่ปลิวออกไปก็ถือเป็นมลพิษเช่นกัน ระบบควบคุมไอเสียจะมีอุปกรณ์และกรรมวิธีที่จะดักจับและลด มลพิษเหล่านี้ก่อนปล่อยออกสู่อากาศต่อไป ปัจจุบันมีกฎหมายที่บังคับใช้ให้ทุกโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยของเสียทางอากาศต้องมีระบบควบคุมไอเสีย

2.10.3 ระบบควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำ (Steam Temperature Control) การควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำออก มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากถ้าอุณหภูมิของไอน้ำสูงเกินไป อาจจะทำให้สร้างความเสียหายให้แก่วัสดุอุปกรณ์ของหม้อไอน้ำได้ หรือถ้าต่ำเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ลดลงโดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ต้องเคลื่อนที่จากไอน้ำที่ผลิตได้ เช่น กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เป็นต้น ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำสามารถทำได้โดยการ ฉีดละอองน้ำเพื่อลดอุณหภูมิของไอน้ำที่อุปกรณ์ที่เรียกว่า Desuperheater ซึ่งติดตั้งที่ทางออกของอุปกรณ์ผลิตไอร้อนยวดยิ่ง (Superheater)

3.1 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบความแตกต่างความดัน (Differential Pressure Transmitter)

อุปกรณ์วัดระดับน้ำหรือทรานสมิตเตอร์ชนิดนี้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างความดันระหว่างส่วนบนกับส่วนล่างของหม้อไอน้ำมาแปลงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วจึงส่งไปยังระบบควบคุม ข้อดีของการวัดระดับน้ำแบบนี้คือค่าความหนาแน่นของน้ำและไอน้ำที่เปลี่ยนไปเนื่องจากอุณหภูมิจะส่งผลถึงการวัดระดับน้อยเพราะของเหลวที่เป็นตัววัดระดับนี้อยู่ภายนอกหม้อไอน้ำทำให้ผลที่ได้ถูกต้องมากกว่า และโดยการศึกษาจากพื้นฐานถึงความดันของของเหลวและความดันของก๊าซจะสามารถอธิบายวิธีการทำงานของอุปกรณ์ชิ้นนี้ได้

3.1.1 แรงดันและความดัน (Force and Pressure) แรงดัน คือ แรงหรือน้ำหนักทั้งหมดที่กดลงบนพื้นที่ทั้งหมด ความดัน คือ แรงดันต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

P = ความดัน (นิวตัน / ตารางเมตร)

F = แรงกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ (นิวตัน)

A = พื้นที่รับแรงดัน (ตารางเมตร)

3.1.2 ความดันของของเหลว ของเหลวมีมวลและน้ำหนักเช่นเดียวกับของแข็ง ดังนั้นบริเวณใดที่ถูกของเหลวกดทับอยู่ จะถูกกดด้วยแรงเท่ากับน้ำหนักของของเหลวนั้น ซึ่งความดันของของเหลวที่ระดับความลึก h จะคำนวณได้จาก

$$P = pgh \quad (3.2)$$

P = ความดัน (นิวตัน / ตารางเมตร)

p = ความหนาแน่นของของเหลว (กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร)

g = ความเร่งจากแรงดึงดูด (เมตร/วินาที²)

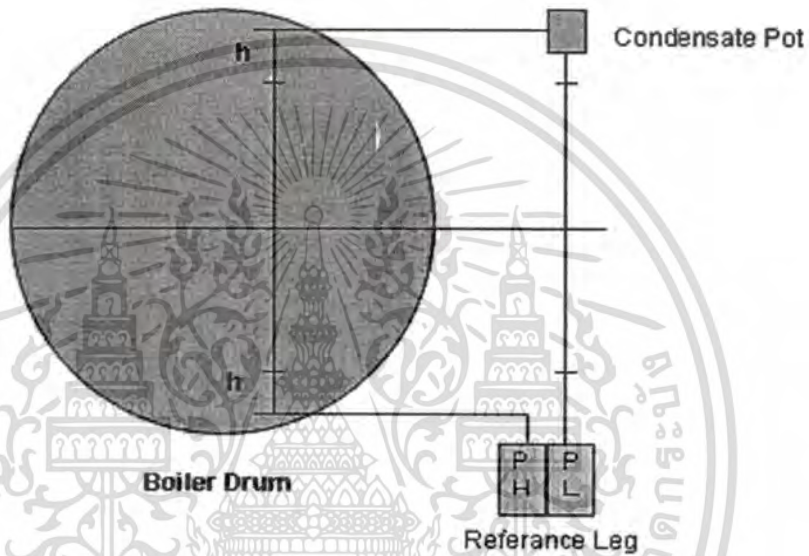
h = ความลึกของของเหลว (เมตร)

ซึ่ง ณ ตำแหน่งใดๆ ในของเหลว แรงดันของของเหลวนั้นมีทุกทิศทางรอบๆตำแหน่งนั้น และ ภายใต้สภาพแรงดึงดูดของโลก ความดันของของเหลว ณ ตำแหน่งใดๆ ขึ้นกับความลึกของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในนามของกรมการศึกษานอกโรงเรียน กระทรวงศึกษาธิการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P = pgh$ และเท่ากันทุกทิศทาง ซึ่งความดันของของเหลวภายใต้แรงดึงดูดของโลกจะขึ้นอยู่กับระดับที่วัดจากผิวของเหลวโดยไม่ขึ้นกับภาชนะเลย

3.1.3 การทำงานของอุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบความแตกต่างความดัน อุปกรณ์ชนิดนี้จะมีท่อที่ต่อจากส่วนบนของหม้อไอน้ำเพื่อวัดความดัน โดยจะเรียกความดันจุดที่ต่อมานี้ว่า จุดความดันต่ำ (P_L) และส่วนที่ต่อจากส่วนล่างของหม้อไอน้ำ โดยจะเรียกความดันจุดที่ต่อมานี้ว่า จุดความดันสูง (P_H) เพราะส่วนล่างของหม้อไอน้ำมีความดันมากกว่าส่วนบนของหม้อไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบความแตกต่างความดัน [13]

ซึ่งเมื่อทำการหาค่าความดันของแต่ละจุด จะสามารถคำนวณหาระดับน้ำในหม้อไอน้ำได้ ดังนี้ เริ่มจากการคำนวณหาค่าความดันที่จุดต่อความดันต่ำจากส่วนบนของหม้อไอน้ำ จะได้

$$P_L = P_1 + (H \times \gamma_0) = P_1 + (h_1 + h + h_2) \times \gamma_0 \quad (3.3)$$

เมื่อระดับน้ำอยู่ที่จุดต่ำสุด จุดต่อความดันสูงจากส่วนล่างของหม้อไอน้ำจะมีค่าความดันเท่ากับ P_H

$$P_{H_{Min}} = P_1 + (h_1 \times \gamma_w) + (h + h_2) \times \gamma_s \quad (3.4)$$

เมื่อระดับน้ำอยู่ที่จุดสูงสุด จุดต่อความดันสูงจากส่วนล่างของหม้อไอน้ำจะมีค่าความดันเท่ากับ P_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $P_{H_{Max}} = P_1 + (h_1 + h) \times \gamma_w + (h_2 \times \gamma_s) \quad (3.5)$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$P_1 = \text{ค่าความดันในหม้อไอน้ำ (กิโลกรัม / ตารางเมตร)}$$

$$\gamma_w = \text{ค่าความหนาแน่นของน้ำ} = 856.25 \text{ (กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร)}$$

$$\gamma_s = \text{ค่าความหนาแน่นของไอน้ำ} = 9.07 \text{ (กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร)}$$

$$\gamma_o = \text{ค่าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ } 50^\circ\text{C} = 988.83 \text{ (กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร)}$$

$$h_1 = \text{ค่าความสูงจากจุดต่อล่างถึงระดับน้ำล่างที่ต้องการวัด (เมตร)}$$

$$h_2 = \text{ค่าความสูงจากระดับน้ำบนที่ต้องการวัดถึงจุดต่อบน (เมตร)}$$

$$h = \text{ค่าความสูงจากระดับน้ำล่างถึงระดับน้ำบน (เมตร)}$$

$$H = \text{ค่าความสูงจากจุดต่อล่างถึงจุดต่อบน (เมตร)}$$

สมมติให้ ระดับน้ำที่ต้องการวัดจากกึ่งกลางเป็น ± 2 เมตร โดยที่ความสูงจากจุดต่อล่างถึงจุดต่อบน คือ 4 เมตร เพราะฉะนั้น จะคำนวณหาค่าความดันที่จุดต่ำสุดและจุดสูงสุดได้ดังนี้

ค่าความดันที่จุดต่ำสุดได้เป็น

$$\Delta P_o = abs [PH_{Min} - P_L] \quad (3.6)$$

เมื่อแทนค่าด้วยสมการ 4.3 และ 4.4 จะได้

$$\Delta P_o = abs [P_1 + (h_1 \times \gamma_w) + (h + h_2) \times \gamma_s - (P_1 + (h_1 + h + h_2) \times \gamma_o)]$$

เพราะฉะนั้น

$$\Delta P_o = abs [P_1 + (h_1 \times \gamma_w) + (h \times \gamma_s) + (h_2 \times \gamma_s) - P_1 + (h_1 \times \gamma_o) + (h \times \gamma_o) - (h_2 \times \gamma_o)]$$

จะได้ว่า

$$\Delta P_o = abs [h_1(\gamma_w - \gamma_o) + h(\gamma_s - \gamma_o) + h_2(\gamma_s - \gamma_o)] \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าที่กำหนดไว้คือ

$$\gamma_w = 856.25 \text{ (กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร)}$$

$$\gamma_s = 9.07 \text{ (กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร)}$$

$$\gamma_o = 988.83 \text{ (กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร)}$$

$$h_1 = 1 \text{ (เมตร)}$$

$$h_2 = 1 \text{ (เมตร)}$$

$$h = 2 \text{ (เมตร)}$$

$$\begin{aligned} \therefore \Delta P_o &= abs [1(856.25 - 988.83) + 2(9.07 - 988.83) + 1(9.07 - 988.83)] \\ &= abs [-132.58 - 1959.52 - 979.76] \\ &= 3071.86 \text{ กิโลกรัม / ตารางเมตร} \end{aligned}$$

ค่าความดันที่จุดสูงสุดได้เป็น

$$\Delta P_{100} = abs [PH_{Min} - P_L] \quad (3.8)$$

เมื่อแทนค่าด้วยสมการ 4.3 และ 4.4 จะได้

$$\begin{aligned} \Delta P_{100} &= abs [P_1 + (h_1 + h) \times \gamma_w + (h_2 \times \gamma_s) \\ &\quad - (P_1 + (h_1 + h + h_2) \times \gamma_o)] \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} \Delta P_{100} &= abs [P_1 + (h_1 \times \gamma_w) + (h \times \gamma_w) + (h_2 \times \gamma_s) \\ &\quad - P_1 + (h_1 \times \gamma_o) + (h \times \gamma_o) - (h_2 \times \gamma_o)] \end{aligned}$$

จะได้ว่า

$$\Delta P_{100} = abs [h_1(\gamma_w - \gamma_o) + h(\gamma_w - \gamma_o) + h_2(\gamma_s - \gamma_o)] \quad (3.9)$$

แทนค่าที่กำหนดไว้คือ

$$\gamma_w = 856.25 \text{ (กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร)}$$

$$\gamma_s = 9.07 \text{ (กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร)}$$

$$\gamma_o = 988.83 \text{ (กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร)}$$

$$h_1 = 1 \text{ (เมตร)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_2 = 1 \text{ (เมตร)}$$

$$h = 2 \text{ (เมตร)}$$

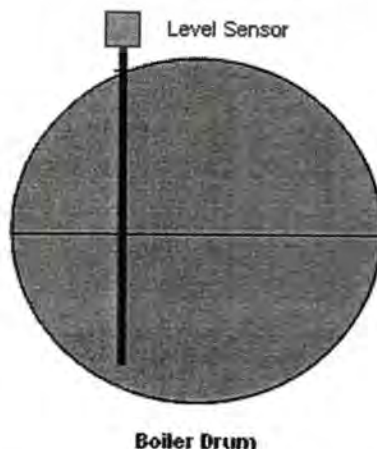
$$\begin{aligned} \therefore \Delta P_{100} &= abs [1(856.25 - 988.83) + 2(856.25 - 988.83) + 1(9.07 - 988.83)] \\ &= abs [-132.58 - 265.16 - 979.76] \\ &= 2224.68 \text{ กิโลกรัม / ตารางเมตร} \end{aligned}$$

จากการคำนวณหาความดันนี้จะได้ว่า ที่จุดระดับน้ำต่ำสุด (Low Level) มีค่าความดันที่อ่านค่าได้เท่ากับ 3,071.86 กิโลกรัม / ตารางเมตร และที่จุดระดับน้ำสูงสุด (High Level) มีค่าความดันที่อ่านค่าได้เท่ากับ 2,224.68 กิโลกรัม / ตารางเมตร ซึ่งเมื่อตัวทรานสมิตเตอร์รับค่าความดันระหว่างค่าสูงต่ำนี้ก็จะแปลงค่าจากความดันเป็นค่ากระแสไฟฟ้าแบบอนาลอก 4 – 20 mA ป้อนไปยังระบบควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมระดับน้ำต่อไป

3.2 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบอื่นที่มีใช้งาน

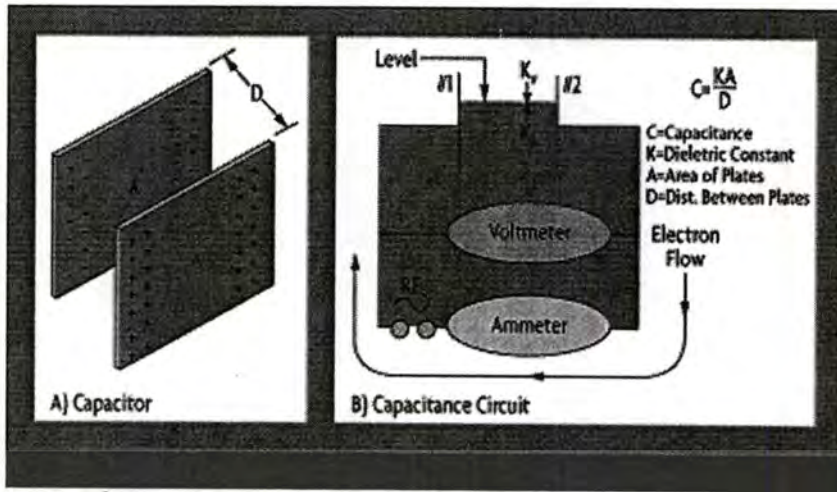
นอกจากทรานสมิตเตอร์แบบความแตกต่างความดันแล้ว ยังมีทรานสมิตเตอร์แบบอื่นที่ใช้หลักการที่แตกต่างกันออกไปในการแปลงค่าระดับน้ำเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

3.2.1 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบตัวเก็บประจุ (Capacitance Probe) ทรานสมิตเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าของความเก็บประจุของโลหะสองแผ่นที่จุ่มลงไป ในนี้ ซึ่งค่าความจุนี้จะขึ้นอยู่กับระดับน้ำในหม้อไอน้ำ แล้วจึงแปลงค่าความจุให้เป็นค่ากระแสไฟฟ้า แบบอนาลอก 4 – 20 mA ป้อนไปยังระบบควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมระดับน้ำต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบตัวเก็บประจุ [13]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของอุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบตัวเก็บประจุ [13]

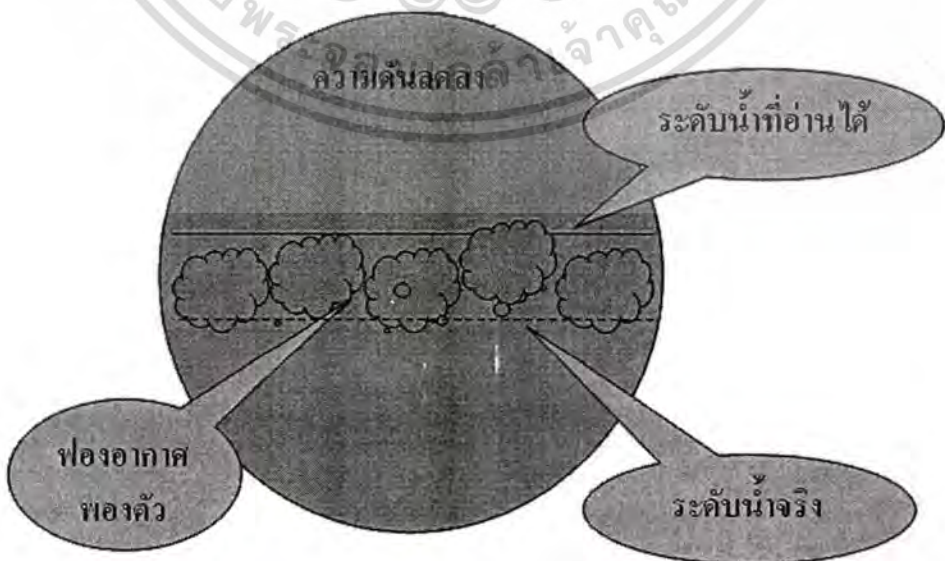
3.2.2 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบลุดลอย (Floating With Continuous Signal Output) ทรานสมิตเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการง่าย ๆ คือใช้ลุดลอย ลอยที่ระดับน้ำของหม้อไอน้ำ โดยมีขาที่ต่อกับลุดลอยนี้ไปยังตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ ซึ่งทรานสมิตเตอร์จะแปลงค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้านี้ให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้า แบบอนาล็อก 4 – 20 mA ป้อนไปยังระบบควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมระดับน้ำต่อไป

ปรากฏการณ์ที่ทำให้การวัดค่าระดับน้ำผิดพลาด

ในการวัดค่าระดับน้ำด้วยวิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ค่าความถูกต้องหรือผิดพลาดในการวัดนอกจากจะเกิดจากตัวอุปกรณ์และวิธีการแล้ว ยังมีอีกตัวแปรหนึ่งที่สามารถส่งผลกระทบต่อ การวัดค่าระดับน้ำในหม้อไอน้ำ ทำให้การวัดค่านั้นผิดพลาดและส่งผลถึงการควบคุมระดับน้ำของระบบอีกด้วย ปรากฏการณ์ที่จะกล่าวถึงต่อไป เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือเป็นสิ่งที่ป้องกันไม่ได้ แต่เมื่อรับรู้และศึกษาปรากฏการณ์เหล่านี้แล้ว จะเข้าใจและหาทางป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นกับการควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำได้อีกด้วย

4.1 การกระเพื่อมของฟองอากาศที่ผิวน้ำเดือด

ในขณะที่มีการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจากอุณหภูมิปกติ ไปจนถึงจุดเดือดของน้ำและกลายเป็นไอน้ำนั้น น้ำที่ได้รับความร้อนหรือพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้น จะเกิดการปั่นป่วนของน้ำ และเกิดฟองอากาศขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำได้รับพลังงานเข้ามาและเกิดการสั่นของอะตอม โดยส่วนที่จะเกิดการเดือดกระเพื่อมและกลายเป็นไอน้ำมากที่สุดจะอยู่ที่ระดับผิวน้ำของหม้อไอน้ำ น้ำที่ระดับผิวน้ำจะขยายตัวเป็นฟองอากาศ และพองตัวออกจนแตก และจะยังส่งผลรุนแรงเมื่อน้ำยังมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจากการเดือดและกระเพื่อมของน้ำนั่นเองที่เป็นสาเหตุที่ทำให้การวัดค่าระดับน้ำสูงเกินกว่าความเป็นจริง [2] ดังแสดงในรูปที่ 4.1

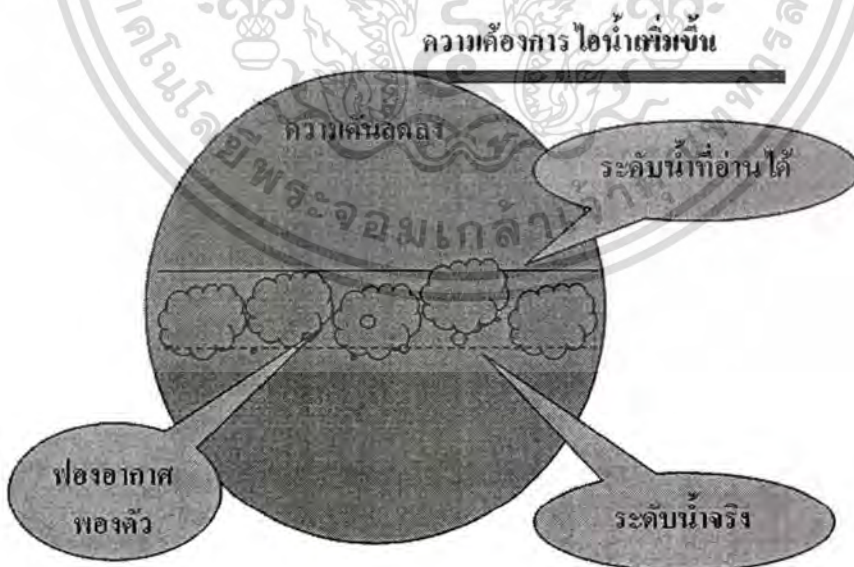


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 4.1 การกระเพื่อมของฟองอากาศที่ผิวน้ำเดือด [13] ห้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของการวัดระดับน้ำที่ผิดพลาดจากการกระเพื่อมของน้ำเค็มและฟองอากาศที่ฟองตัวนั้นคือระดับน้ำที่วัดได้นั้นสูงกว่าความเป็นจริง ทำให้ระบบควบคุมระดับน้ำไม่เติมน้ำเข้าในหม้อไอน้ำ หรือหากการกระเพื่อมและฟองอากาศที่ฟองตัวนั้นสูงเกินกว่าระดับน้ำขีดสูง (High Level) ซึ่งระบบควบคุมจะต้องปล่อยน้ำออก เพราะสัญญาณที่ได้รับนั้นคือระดับน้ำสูงเกินกว่าที่กำหนด ในความเป็นจริงนั้น ระหว่างที่เกิดการกระเพื่อมและฟองอากาศฟองตัวนี้ ระดับน้ำในหม้อไอน้ำจะลดลงเนื่องจากการเดือดของน้ำ และน้ำบางส่วนก็กลายเป็นไอน้ำไป และถ้าปล่อยไว้จนระดับน้ำที่แท้จริงนั้นลดลงถึงระดับน้ำขีดล่าง (Low Level) ความร้อนที่เพิ่มขึ้นให้กับหม้อไอน้ำอาจสร้างความเสียหายให้แก่ตัวหม้อไอน้ำเอง หรืออุปกรณ์ส่วนอื่นๆ ได้

4.2 ขยายตัวของฟองอากาศผิวน้ำเมื่อความต้องการไอน้ำเพิ่มขึ้น (Swell)

ขณะที่หม้อไอน้ำกำลังผลิตไอน้ำอยู่ในสถานะเสถียรนั้นเมื่อมีความต้องการไอน้ำเกิดขึ้น ค่าความดันไอน้ำที่ลดลงเนื่องจากการเปิดออกของวาล์วของท่อประธานเพื่อจ่ายไอน้ำไปยังเครื่องจักรหรือระบบที่ต้องการนั้น จะทำให้ฟองอากาศของน้ำที่กำลังเดือดนั้นขยายตัวขึ้นซึ่งเหตุการณ์แบบนี้เรียกว่า Swell ระดับน้ำที่วัดได้นั้นจะสูงกว่าความเป็นจริงมาก ซึ่งถ้าเกินกว่าระดับน้ำขีดสูงระบบควบคุมก็จะปล่อยน้ำออกจากหม้อไอน้ำ และการปล่อยน้ำที่อุณหภูมิสูงทิ้งในขณะที่มีความต้องการไอน้ำมีมากนั้น ทำให้ประสิทธิภาพการของหม้อไอน้ำต่ำลงมาก เนื่องจากการเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ [2] ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การขยายตัวของฟองอากาศผิวน้ำ (Swell) [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การหดตัวของฟองอากาศ (Shrink)

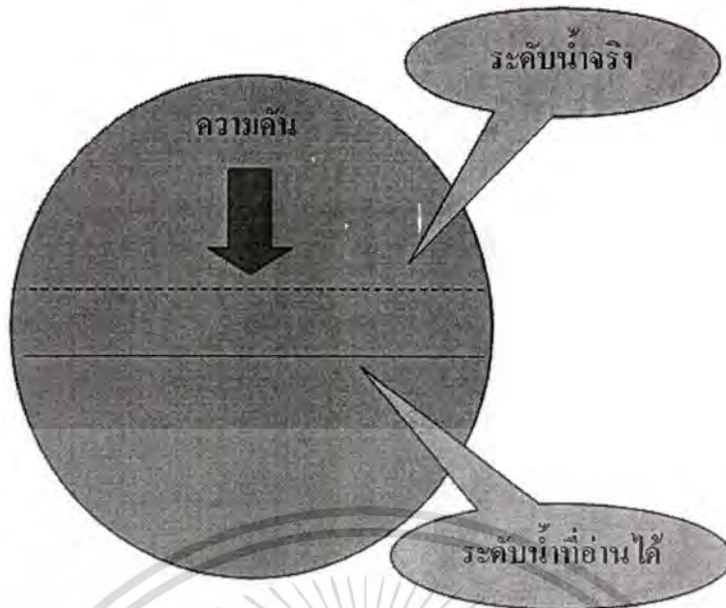
จากปรากฏการณ์การขยายตัวของฟองอากาศผิวน้ำเนื่องจากความต้องการไอน้ำที่เพิ่มขึ้น (Swell) หลังจากนั้นเมื่อเครื่องจักรหรือระบบที่ใช้ไอน้ำนั้นมีความต้องการไอน้ำที่ลดลงแล้ว วาล์วจ่ายไอน้ำของท่อประธานหรือปลดงในที่สุด จะทำให้ค่าความดันในหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นคืน ความดันในหม้อไอน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้จะไปกดตัวฟองอากาศที่ฟองตัวเนื่องจากการเดือดของน้ำให้หดตัวเล็กลง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Shrink และดูเหมือนว่าระดับน้ำกำลังลดลง ทั้งที่เวลานี้ค่าความต้องการไอน้ำได้ลดลงหรือไม่มีแล้ว การตอนน้ำเข้าหม้อไอน้ำจึงเป็นการควบคุมที่ผิดพลาดเนื่องจากปรากฏการณ์นี้ [2] ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การหดตัวของฟองอากาศ (Shrink) [13]

4.4 การวัดค่าระดับน้ำที่ผิดพลาดจากความดันที่เพิ่มขึ้น

เมื่อความดันในหม้อไอน้ำสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นของน้ำ ค่าความดันนี้มีผลต่อระดับน้ำ เนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นนี้จะไปกดระดับน้ำให้ต่ำกว่าความเป็นจริง ส่งผลให้ค่าที่ระบบควบคุมได้รับนี้ไม่ถูกต้อง ในการคำนวณระดับน้ำนี้จึงต้องมีการชดเชยค่าความดันในหม้อไอน้ำเพื่อจะได้ทราบปริมาณน้ำที่แท้จริงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การวัดค่าระดับน้ำที่ผิดพลาดจากความดันที่เพิ่มขึ้น[13]

4.5 การวัดค่าอัตราการไหลออกของไอน้ำที่ผิดพลาดจากอุณหภูมิและความดัน

อัตราการไหลออกของไอน้ำที่วัดจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบความแตกต่างความดันนั้นจะมีค่าความผิดพลาดที่แปรผันตามอุณหภูมิและความดันที่เพิ่มขึ้น การชดเชยความค่าอุณหภูมิและความดันเพื่อคำนวณหาอัตราการไหลออกที่ถูกต้องนั้น จึงมีความจำเป็นและสำคัญกับการวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำด้วย

การคำนวณค่าชดเชยค่าอัตราการไหลที่ถูกต้องนี้จะคิดคุณสมบัติของไอน้ำบนพื้นฐานของก๊าซในอุดมคติ ซึ่งวิธีการคำนวณค่าชดเชยนี้จะแบ่งเป็นสามแบบคือ

4.5.1 การชดเชยอัตราการไหลจากผลของอุณหภูมิ การคำนวณหาอัตราการไหลที่ถูกต้องโดยคิดถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิ ได้จากสมการ

$$F_o = \sqrt{\frac{T_b + 273.75}{T + 273.75}} \times F_i \quad (4.1)$$

โดยที่

F_i = อัตราการไหลที่วัดได้

F_o = อัตราการไหลชดเชยค่าอุณหภูมิแล้ว

T = ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)

T_b = ค่าอุณหภูมิอ้างอิง (องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การชดเชยอัตราการไหลจากผลของความดัน การคำนวณหาอัตราการไหลที่ถูกต้องโดยคิดถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความดัน ได้จากสมการ

$$F_o = \sqrt{\frac{P + 1.01325 \times 10^2}{P_b + 1.01325 \times 10^2}} \times F_i \quad (4.2)$$

โดยที่

F_i = อัตราการไหลที่วัดได้

F_o = อัตราการไหลชดเชยค่าอุณหภูมิแล้ว

P = ค่าความดันที่วัดได้ (กิโลปาสกาล)

P_b = ค่าความดันอ้างอิง (กิโลปาสกาล)

4.5.3 การชดเชยทั้งอัตราการไหลจากผลของอุณหภูมิและความดัน การคำนวณหาอัตราการไหลที่ถูกต้องโดยคิดถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิและความดัน ได้จากสมการ

$$F_o = \sqrt{\frac{P + 1.01325 \times 10^2}{P_b + 1.01325 \times 10^2}} \times \frac{T_b + 273.15}{T + 273.15} \times F_i \quad (4.3)$$

โดยที่

F_i = อัตราการไหลที่วัดได้

F_o = อัตราการไหลชดเชยค่าอุณหภูมิแล้ว

T = ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)

T_b = ค่าอุณหภูมิอ้างอิง (องศาเซลเซียส)

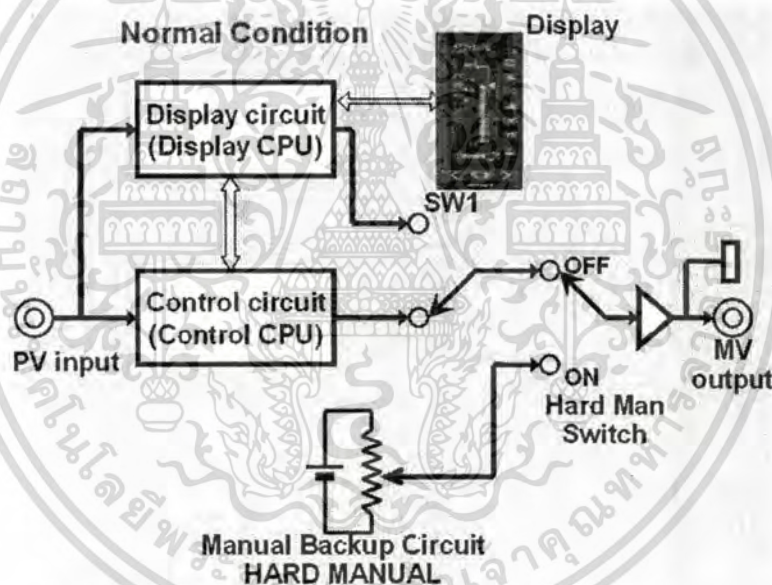
P = ค่าความดันที่วัดได้ (กิโลปาสกาล)

P_b = ค่าความดันอ้างอิง (กิโลปาสกาล)

จากรูปที่ 5.1 คือตัวอย่างของระบบควบคุมที่ใช้ซิงเกิลคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม โดยเริ่มจากการรับสัญญาณระดับน้ำ (Process Variable) เข้ามาแล้ว ซิงเกิลคอนโทรลเลอร์จะทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ (Set point) และคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ควบคุม (Manipulate Variable) แล้วส่งออกไปยังวาล์ว (Control Valve) เพื่อสั่งให้วาล์วเปิดปิดตามค่าที่ต้องการ

การออกแบบระบบควบคุมที่ใช้ซิงเกิลคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถใช้ ซิงเกิลคอนโทรลเลอร์มากกว่าหนึ่งตัวมาต่อเป็นระบบที่ใหญ่ขึ้นหรือต่อเป็นแบบ แคสเคด (Cascade) ได้ซึ่งจะเป็นการประยุกต์ใช้สำหรับระบบที่มีขนาดกลางแต่เลือกที่จะใช้ซิงเกิลคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม

ซิงเกิลคอนโทรลเลอร์นั้นมีข้อดีเรื่องความเสถียรของการควบคุมเนื่องจากว่าผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขโปรแกรมภายในตัวได้ แต่ข้อจำกัดของซิงเกิลคอนโทรลเลอร์ก็คือเมื่อออกแบบระบบควบคุมแล้วนั้น การแก้ไขโครงสร้างโปรแกรมการควบคุมของระบบจะทำได้ยุ่งยากคล้ายๆ กับการแก้ไขระบบควบคุมแบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Control) เลขที่เดียว



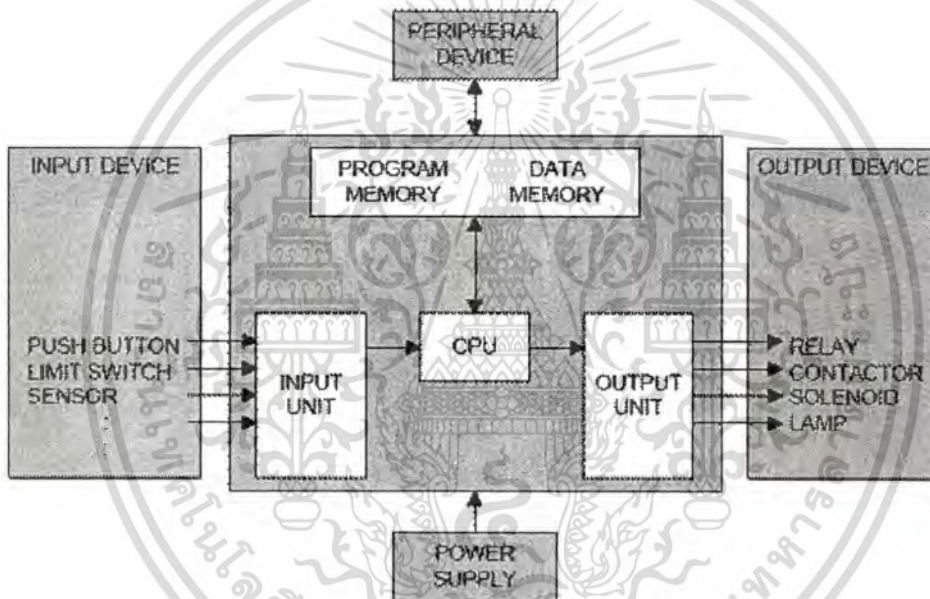
รูปที่ 5.2 โครงสร้างของ Single Controller [13]

รูปที่ 5.2 แสดงถึงโครงสร้างภายในของ ซิงเกิลคอนโทรลเลอร์รุ่นหนึ่ง ซึ่งแยกการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางเป็นสองหน้าที่คือ หน่วยประมวลผลกลางที่ทำหน้าที่ประมวลผลการควบคุม และหน่วยประมวลผลกลางที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ การแสดงค่าที่หน้าจอทำให้ค่าการควบคุมที่ได้นั้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีระบบฮอตสวอป (Hot Swap) คือเมื่อซิงเกิลคอนโทรลเลอร์มีปัญหา ผู้ใช้สามารถเลือกไปที่ระบบควบคุมด้วยตัวเอง (Manual Mode) แล้วทำการควบคุมค่าเปอร์เซ็นต์ควบคุม (Manipulate Variable) ด้วยตัวเองระหว่างที่ทำการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนตัวซิงเกิลคอนโทรลเลอร์ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 Programmable Controller (PC or PLC)

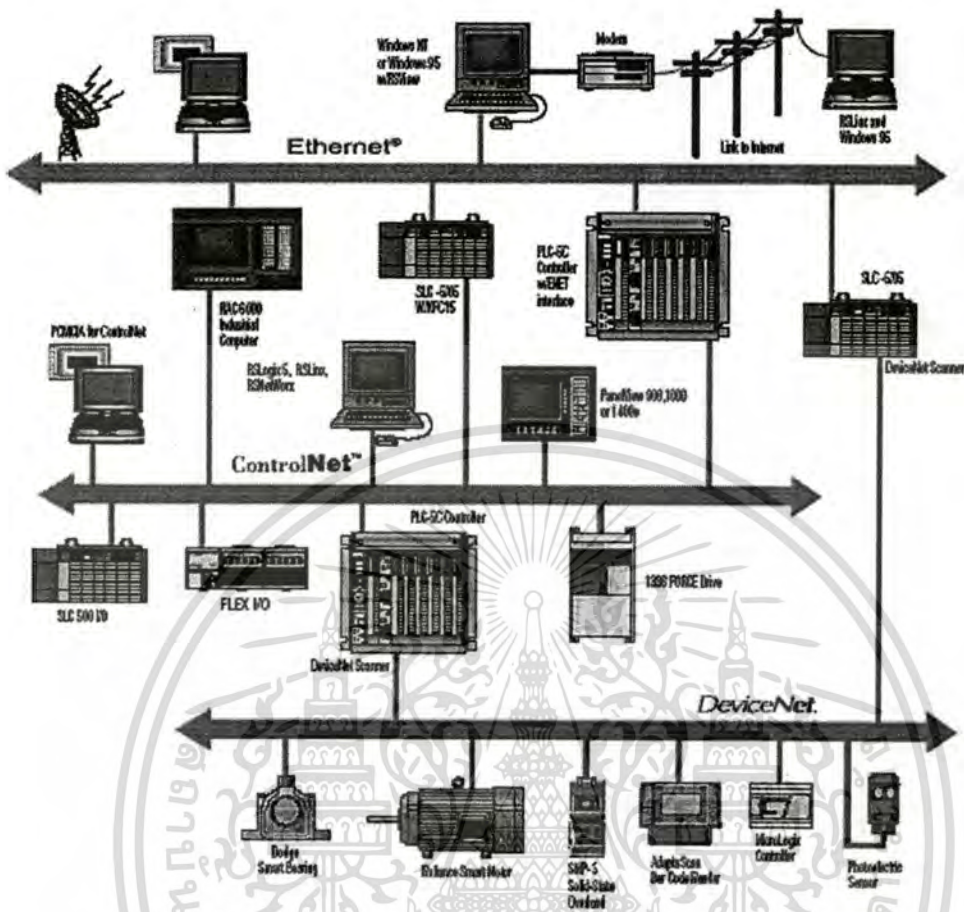
มีชื่อเรียกอย่างย่อว่าพีซี หรือ พีแอลซี (PC or PLC) มีลักษณะโครงสร้างที่แบ่งเป็น โมดูล (Module) หรือการ์ด (Card) ต่างๆมาต่อรวมกัน โดยมีโมดูลที่เรียกว่าหน่วยประมวลผลกลาง เป็นตัวจัดการการทำงานของแต่ละโมดูล และหน้าที่ของโมดูลอื่นๆเช่น โมดูลรับสัญญาณแบบ ดิจิตอล (Digital Input Module) โมดูลส่งสัญญาณออกแบบดิจิตอล (Digital Output Module) โมดูลรับสัญญาณเข้าแบบอนาลอก (Analog Input Module) โมดูลส่งสัญญาณออกแบบอนาลอก (Analog Output Module) หรือโมดูลแบบพิเศษอื่นๆเช่น โมดูลสำหรับสื่อสารแบบมอดบัส (Modbus Communication Module) โมดูลรับสัญญาณแบบจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอาร์ทีดี (RTD Input Module) ซึ่งโมดูลต่างๆนี้จะถูกเชื่อมต่อเข้ากันด้วยฐานหรือแบคโบน (Base or Backbone)



รูปที่ 5.3 โครงสร้างของ Programmable Controller [13]

การใช้งานพีแอลซีซึ่งมีโครงสร้างภายในดังแสดงในรูปที่ 5.3 นี้ผู้ใช้ต้องทำการออกแบบ และเขียนโปรแกรมที่เรียกว่าแลดเดอร์โปรแกรม (Ladder) แล้วป้อนเข้าไปยังพีแอลซีผ่านทาง เครื่องคอมพิวเตอร์หรือเครื่องควบคุมแบบมือถือ (Handheld) โดยพีแอลซีจะมีชุดคำสั่งให้ใช้งาน สำหรับระบบควบคุมมากมาย ซึ่งการสร้างหรือแก้ไขโปรแกรมนี้สามารถทำได้อย่างง่ายดาย และระบบพีแอลซีนี้สามารถใช้งานทดแทน ระบบควบคุมด้วยลม (Pneumatic Control) และระบบ ควบคุมแบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Control) ได้อย่างสิ้นเชิง

System Example



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างการใช้งาน Programmable Controller [13]

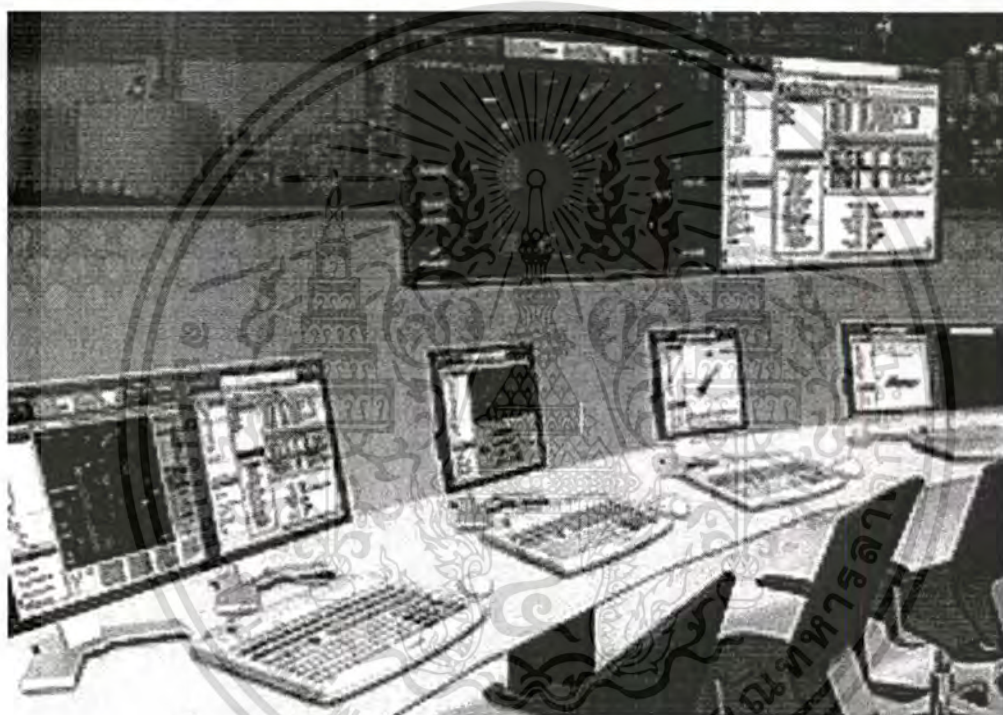
งานหรือระบบที่มีการใช้งานพีแอลซีส่วนใหญ่จะเป็นงานที่มีขนาดเล็กถึงกลาง เพราะถึงแม้ว่าพีแอลซีจะมีความสะดวกในการสร้างหรือแก้ไขโปรแกรมที่ค่อนข้างง่าย แต่เนื่องจากรูปแบบและลักษณะของการโปรแกรมนั้นยังมีข้อจำกัดอยู่บ้างทำให้การทำงานกับโปรแกรมที่ซับซ้อนมากๆ เป็นเรื่องลำบาก รูปที่ 5.4 แสดงการใช้งานพีแอลซีในระบบใหญ่

5.3 Distributed Control System (DCS)

ระบบควบคุมแบบกระจายส่วนหรือเรียกย่อว่า ดีซีเอส (DCS) เป็นระบบควบคุมที่นิยมใช้งานกันในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากการพัฒนาและออกแบบให้มีความเสถียร และง่ายต่อการออกแบบโปรแกรม รูปแบบของระบบดีซีเอสจะกระจายการประมวลผลการทำงานไปสู่ส่วนย่อยๆ เพื่อลดภาระของการประมวลผล จึงเป็นที่มาของชื่อ ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

ส่วนประกอบของดีซีเอสจะคล้ายกับพีแอลซีคือมี โมดูลที่เรียกว่าหน่วยประมวลผลกลาง เป็นตัวจัดการการทำงานของแต่ละ โมดูล โดยส่วนใหญ่ ดีซีเอสจะมีรูปแบบโครงสร้างการทำงานที่เรียกว่าการทำงานแบบรีดันแดนซี (Redundancy) คือมี หน่วยประมวลผลกลางสองตัวทำงานคู่

กัน คือตัวหนึ่งทำหน้าที่ประมวลผล อีกตัวจะเตรียมพร้อมรอที่จะทำงาน เมื่อหน่วยประมวลผลกลางตัวที่กำลังทำงานอยู่เกิดมีปัญหา หน่วยประมวลผลกลางตัวที่สองจะทำหน้าที่ประมวลผลต่อทันทีโดยไม่เกิดการสะดุดของการทำงาน ส่วนโมดูลที่ทำหน้าที่อื่นๆ เช่น โมดูลรับสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital Input Module) โมดูลส่งสัญญาณออกแบบดิจิทัล (Digital Output Module) โมดูลรับสัญญาณเข้าแบบอนาล็อก (Analog Input Module) โมดูลส่งสัญญาณออกแบบอนาล็อก (Analog Output Module) หรือโมดูลแบบพิเศษอื่นๆเช่น โมดูลสำหรับสื่อสารแบบมอดบัส (Modbus Communication Module) โมดูลรับสัญญาณแบบจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอาร์ทีดี (RTD Input Module)



รูปที่ 5.5 ห้องควบคุมการทำงานที่ใช้ระบบควบคุมแบบ DCS [13]

ในปัจจุบันนี้ ดีซีเอสมีลักษณะคล้ายพีแอลซีจนแทบบอกความแตกต่างไม่ได้ โดยความแตกต่างนั้นจะอยู่ที่รูปแบบการเขียนโปรแกรม, ขนาดโครงสร้างและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ซึ่งในหลายระบบที่ใช้งานก็มีการใช้ผสมกันทั้งดีซีเอสและพีแอลซี เนื่องจากพีแอลซีนั้นมีความเร็วในการประมวลผลมากกว่าพีแอลซี

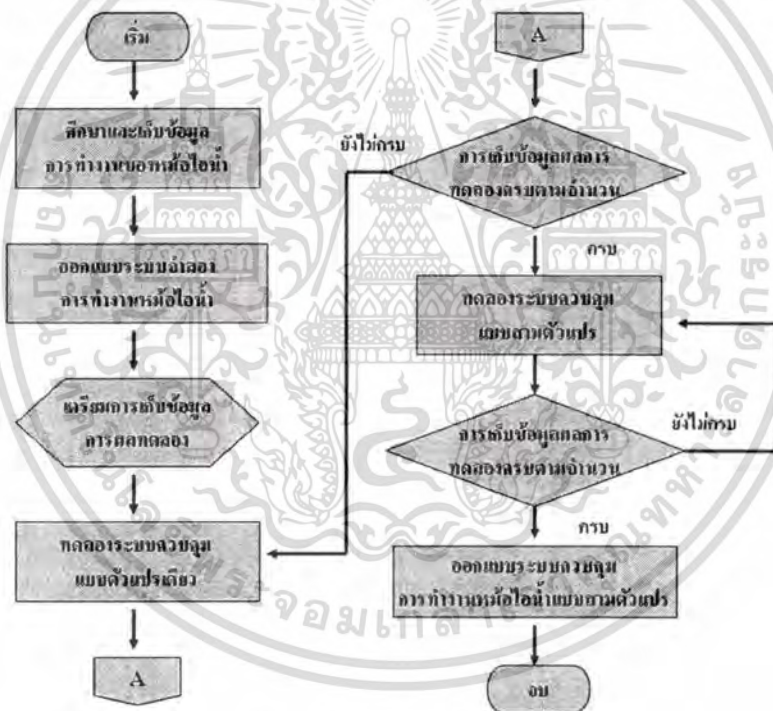
ระบบควบคุมระบบน้ำที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้โปรแกรมสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมดีซีเอสของ YOKOGAWA ที่ชื่อว่า CENTUM CS3000 ในการออกแบบ และทดลอง เพราะง่ายในการทดลองโปรแกรมทดลอง เพราะดีซีเอสมีฟังก์ชันที่เรียกว่า TEST FUNCTION สามารถประมวลผลการทำงานได้เหมือนการต่อกับดีซีเอสจริงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิธีการศึกษาระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำ (Boiler Drum Level Control Study Method)

ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิจัยการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำระบบอัตโนมัติแบบตัวแปรเดียว (Single Element Control) กับระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปร (Three Element Control) เพื่อทำการเปรียบเทียบ วิเคราะห์การตอบสนองของระบบทั้งสองว่าแตกต่างกันอย่างไร หรือข้อดีข้อเสียของระบบควบคุมแต่ละแบบคืออะไร โดยจะมีลำดับขั้นตอนของการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 6.1

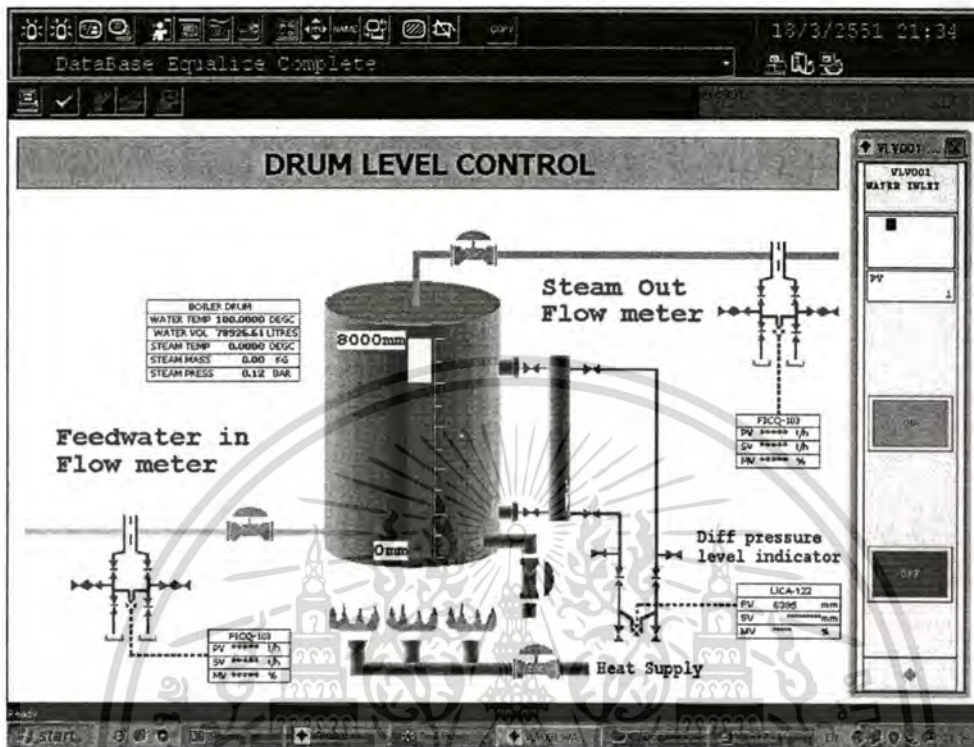


รูปที่ 6.1 ลำดับขั้นตอนของการศึกษาและวิจัย

6.1 วิธีการศึกษาการทำงานของระบบควบคุมโดยเปรียบเทียบ

การเปรียบเทียบระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียว (Single Element Control) กับระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปร (Three Element Control) ในการวิจัยนี้จะทำการจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำเพื่อเป็นแบบทดสอบระบบควบคุมทั้งสอง โดยในการทดลองนี้จะมีโปรแกรมสองส่วนคือส่วนที่เป็นแบบจำลองระบบการทำงานของหม้อไอน้ำกับส่วนที่เป็นระบบควบคุมหม้อไอน้ำที่จะทำการเปรียบเทียบ ซึ่งเพื่อที่จะให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง โปรแกรมไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำลองการทำงานของหม้อไอน้ำนี้จะต้องจำลองสถานะต่างๆของหม้อไอน้ำให้ใกล้เคียงกับหม้อไอน้ำที่ใช้งานจริงมากที่สุด



รูปที่ 6.2 กราฟฟิคจำลองการทำงานของระบบควบคุมหม้อไอน้ำ

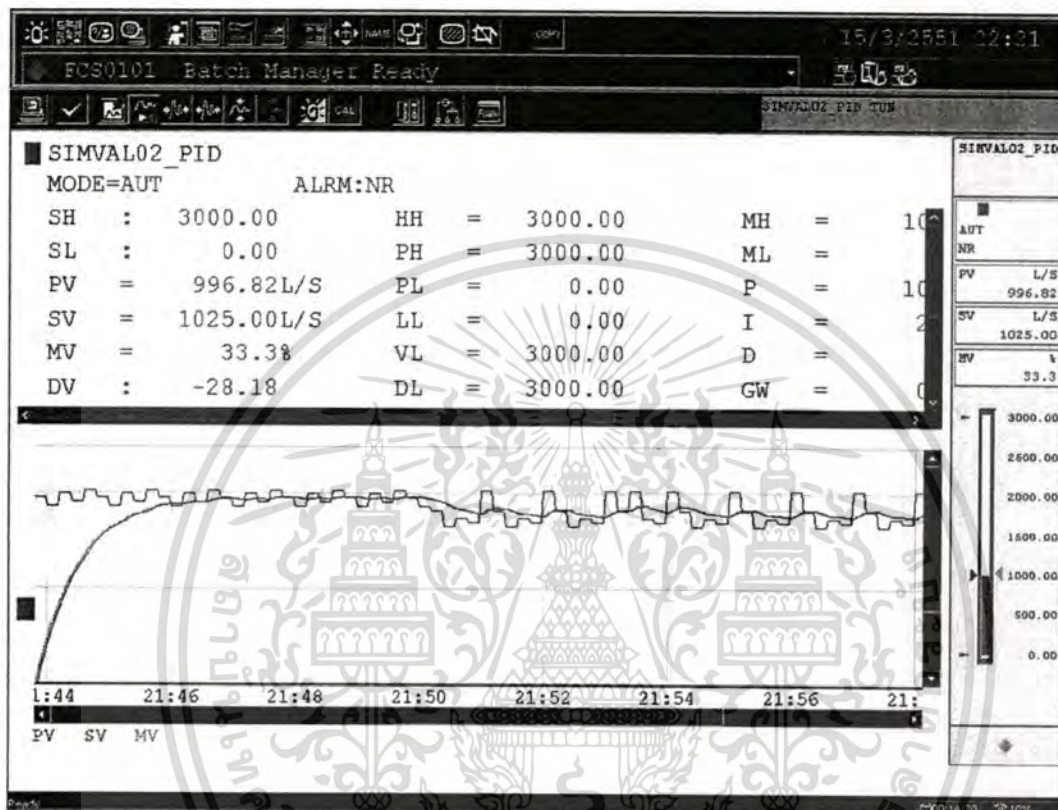
ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำที่เขียนขึ้นด้วยโปรแกรม CENTUM CS3000 ของ DCS ยี่ห้อ YOKOGAWA ซึ่งเป็น โปรแกรมที่ใช้สำหรับการทำ Software Engineering เพื่อควบคุมการทำงานของระบบต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรม โดยโปรแกรมนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือส่วนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ (Sequence Software) กับ ส่วนกราฟฟิค (Graphic) แสดงผลการทำงานเพื่อแสดงสถานะ (Status) ของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ควบคุม ให้ผู้ปฏิบัติงานทราบ ซึ่งในการทดลองนี้อาศัยฟังก์ชัน (Function) หนึ่งของโปรแกรมนี้อีกในการทดลองที่มีชื่อว่า Test Function มีหน้าที่จำลองการทำงานของโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปให้เสมือนต่อเข้ากับอุปกรณ์จริง ซึ่งมีประโยชน์คือใช้สำหรับหาจุดผิดของโปรแกรมก่อนที่จะใช้งานจริง (Debugging Software)

สำหรับโปรแกรมการทดสอบนี้จะแยกเป็นส่วนๆ ซึ่งเมื่อโปรแกรมจำลองการทำงานได้เริ่มทำงานแล้วแต่ละส่วนของโปรแกรมจะทำงานไปพร้อมกันและสัมพันธ์กัน โดยโปรแกรมที่ทำการจำลองนี้จะอยู่บนพื้นฐานตามหลักการทางฟิสิกส์และเคมี โดยเริ่มจากการศึกษาถึงการทำงานของหม้อไอน้ำดังแสดงในรูปที่ 6.2 และมีการอธิบายสรุปการจำลองต่างๆของหม้อไอน้ำในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การจำลองอัตราการไหลเข้าของน้ำ

ในการเติมน้ำเลี้ยงเข้าสู่หม้อไอน้ำนั้นจะมีปั๊มน้ำเป็นต้นกำเนิดความดันที่จะผลักดันน้ำที่อยู่ในท่อให้วิ่งเข้าสู่หม้อไอน้ำ โดยอัตราการไหลเมื่อปั๊มน้ำทำงานเข้านั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของอัตราการไหลในช่วงที่แตกต่างกันแต่ไม่มาก

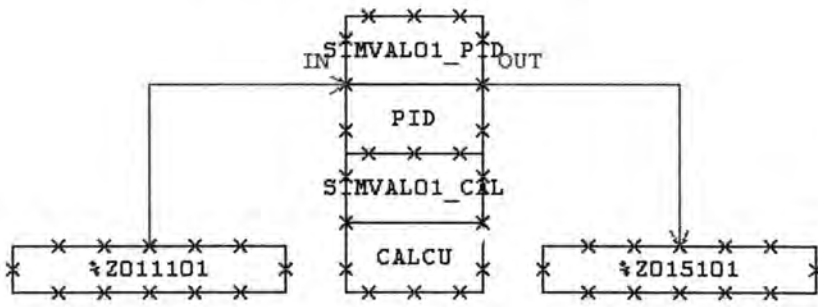


รูปที่ 6.3 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ

ในการเขียน โปรแกรมจำลองอัตราการไหลเข้านี้จึงต้องมีการแกว่งของอัตราการไหล ในช่วงที่ไม่กว้างนักตามจังหวะของปั๊มน้ำให้เหมือนเหตุการณ์จริง ในการทดลองนี้จะให้อัตราการไหลเข้าของน้ำเมื่อปั๊มน้ำทำงานและคอนโทรลวาล์วเปิด 100 เปอร์เซ็นต์ อยู่ที่ประมาณ 1,000 ลิตรต่อวินาที โปรแกรมจำลองอัตราการไหลเข้าของน้ำเลี้ยง โปรแกรมจำลองอัตราการไหลของน้ำจะใช้การทำงานของฟังก์ชันพีไอดี (PID Function) ดังแสดงในรูปที่ 6.4 ในการจำลองค่าอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำโดยสามารถกำหนดค่าอัตราการไหลที่ต้องการได้ (Set point) และจะมีอีกโปรแกรมย่อยซึ่งทำหน้าที่สุ่มค่า (Random) ซึ่งเปรียบเสมือนอัตราการไหลของน้ำที่ไม่คงที่จากแรงดันของปั๊มน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WATER INLET TEMPERATURE



รูปที่ 6.4 Loop Control ที่ใช้จำลองอัตราการไหลของน้ำเข้า

ซึ่งค่า Manipulate Value สามารถคำนวณได้จากสมการ (6.1)

$$MV(t) = \frac{100}{PB} \left\{ E(t) + \frac{1}{TI} \int E(t)dt + TD \frac{dE(t)}{dt} \right\} \dots\dots\dots (6.1)$$

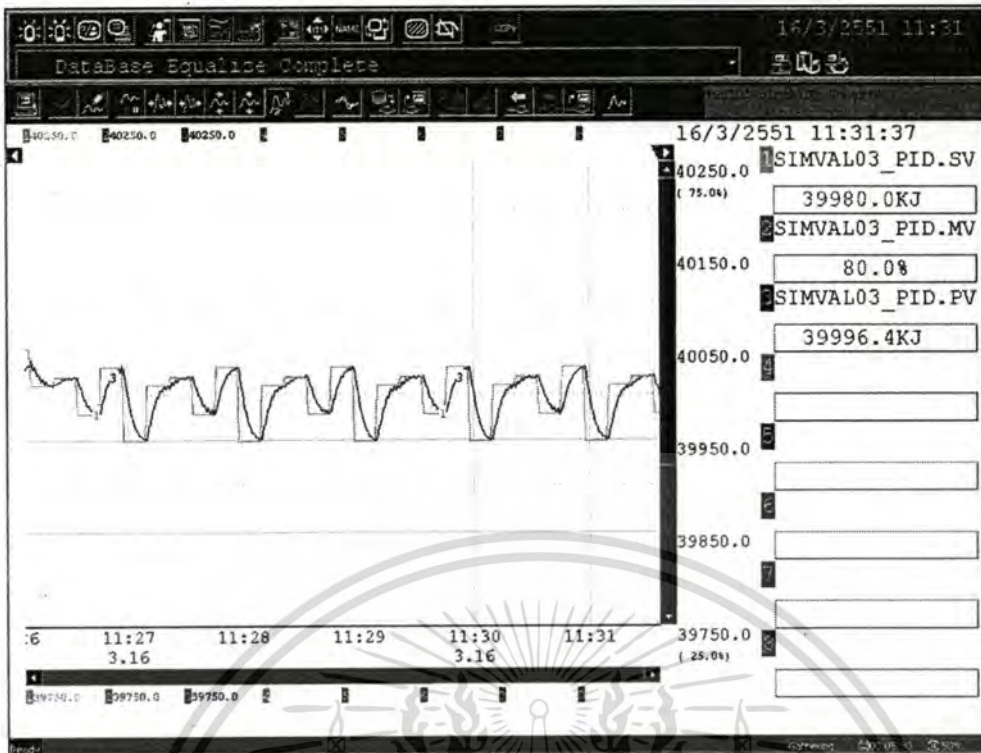
โดยที่

- MV(t) = ค่าสัญญาณควบคุม (Manipulated output)
- E(t) = ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณของระบบกับค่าที่ต้องการ
Deviation E(t) = PV(t) - SV(t)
- PV(t) = ค่าสัญญาณของระบบ (Process variable)
- SV(t) = ค่าที่ต้องการ(Setpoint value)
- PB = พรอปพอร์ชันนอลแบนด์(Proportional band (%))
- TI = อินทิกรัลทาม (Integral time)
- TD = เดริวาทีฟทาม (Derivative time)

6.3 การจำลองอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มความร้อนให้สู่ม้อไอน้ำ

การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในหม้อไอน้ำให้เดือดและกลายเป็นไอนั้นเกิดจากควบคุมการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้สัมพันธ์กับปริมาณความต้องการไอน้ำ และการป้อนน้ำเข้าหม้อไอน้ำ แต่เนื่องจากการทดลองนี้สนใจเฉพาะประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่เกิดจากการควบคุมระดับน้ำ จึงให้อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงคงที่ตลอดการผลิตไอน้ำ โดยจะมีการแกว่งของค่าความร้อนที่ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำเล็กน้อย โดยอัตราความร้อนที่ป้อนสู่หม้อไอน้ำจะอยู่ที่ประมาณ 40,000 กิโลจูลต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



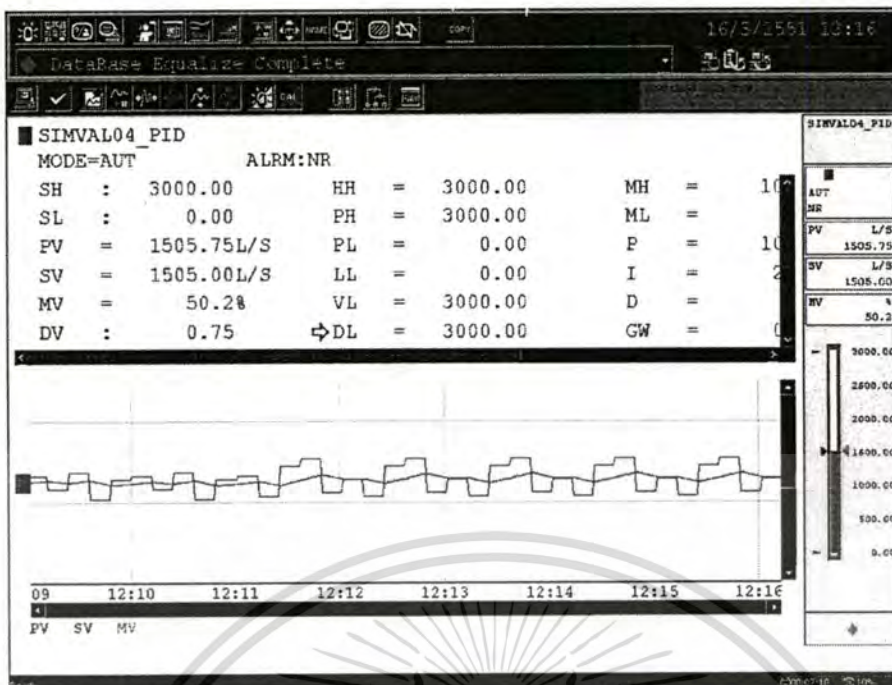
รูปที่ 6.5 กราฟแสดงอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงและความร้อนที่ป้อนสู่หม้อไอน้ำ

โปรแกรมจำลองอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงนี้จะใช้การทำงานของฟังก์ชันพีไอดี (PID Function) ในการจำลองค่าอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงเข้าสู่หม้อไอน้ำ โดยสามารถกำหนดค่าอัตราการเผาไหม้ที่ต้องการได้ (Set point) ซึ่งในที่นี้จะได้อัตราความร้อนที่ป้อนสู่หม้อไอน้ำที่ 40,000 กิโลจูลต่อวินาที และจะมีอีกโปรแกรมย่อยซึ่งทำหน้าที่สุ่มค่า (Random) ซึ่งเปรียบเสมือนอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่คงที่ เหมือนการจำลองอัตราการไหลเข้าของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 6.5

6.4 การจำลองอัตราการไหลออกของน้ำทิ้ง

เมื่อมีการเปิดวาล์วน้ำทิ้ง เพื่อปล่อยน้ำที่เกินจากความจำเป็นออกจากหม้อไอน้ำ ในกรณีทดลองนี้จะให้อัตราการไหลออกของน้ำทิ้งเป็นค่าคงที่แต่มีการแกว่งของอัตราการไหลเล็กน้อย โดยอัตราการไหลออกของน้ำจะอยู่ที่ ประมาณ 1,500 ลิตรต่อวินาที

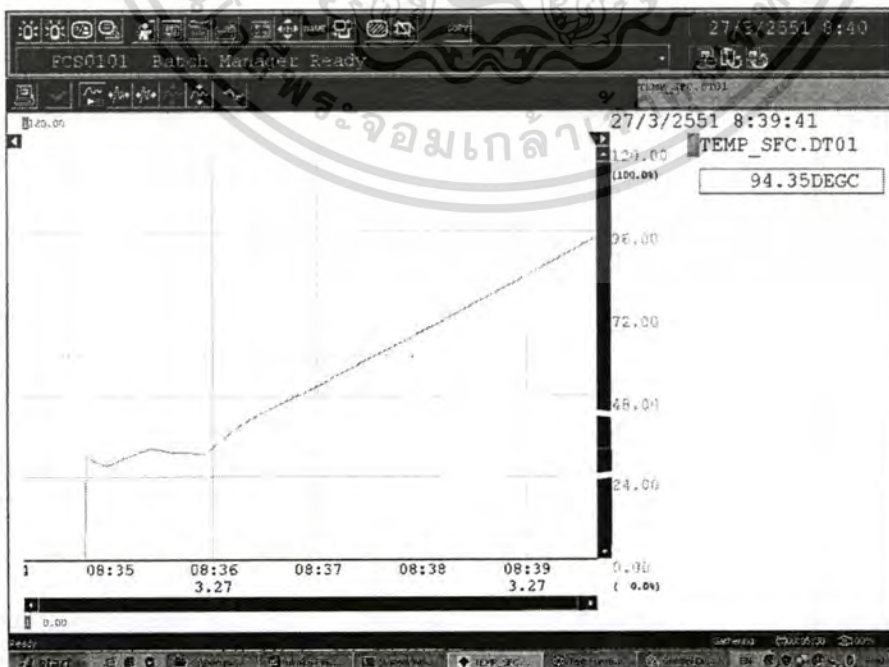
ซึ่งโปรแกรมจำลองอัตราการไหลออกของน้ำทิ้งนี้จะใช้การทำงานของฟังก์ชันพีไอดี (PID Function) ในการจำลองค่าอัตราการไหลของน้ำออกจากหม้อไอน้ำ โดยสามารถกำหนดค่าอัตราการไหลที่ต้องการได้ (Set point) และจะมีอีกโปรแกรมย่อยซึ่งทำหน้าที่สุ่มค่า (Random) ซึ่งเปรียบเสมือนอัตราการไหลออกของน้ำทิ้งที่ไม่คงที่



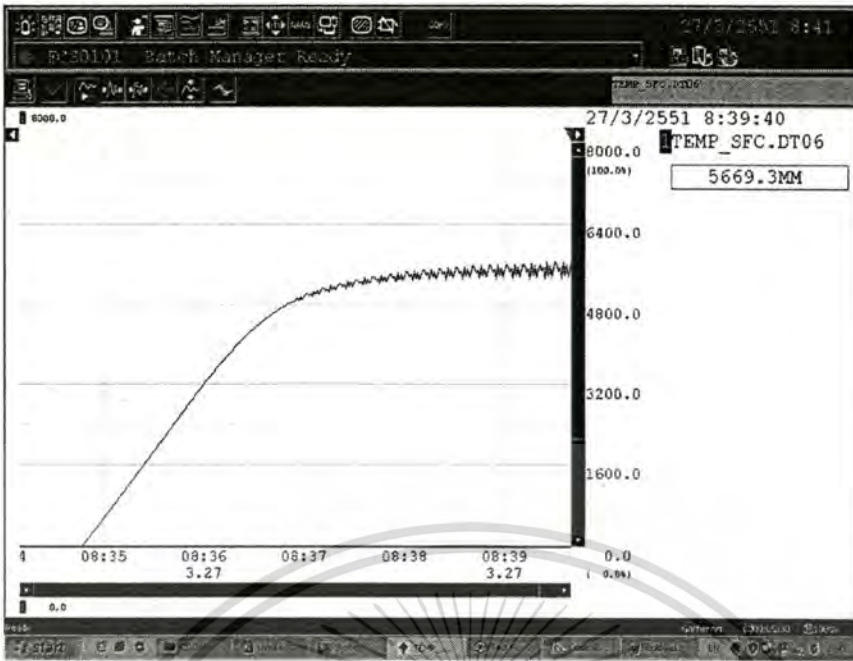
รูปที่ 6.6 กราฟแสดงอัตราการไหลออกของน้ำทิ้งจากหม้อไอน้ำ

6.5 การจำลองการเดือดของน้ำในหม้อไอน้ำ

เมื่อหม้อไอน้ำได้รับความร้อนจากการเผาไหม้จะทำให้ น้ำในหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น และโมเลกุลของน้ำที่เดือดนั้นจะเกิดการปั่นป่วนทำให้น้ำที่ระดับผิวกระเพื่อมขึ้นลงไม่คงที่ โดยในโปรแกรมแบบจำลองของหม้อไอน้ำนี้ อัตราการกระเพื่อมนี้จะแปรผันตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการกระเพื่อมจะสูงตามไปด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์รูปที่ 6.7 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในหม้อไอน้ำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงอัตราการกระเพื่อมของน้ำในหม้อไอน้ำที่อุณหภูมิสูง

จากรูปที่ 6.6 เส้นกราฟแสดงอุณหภูมิในหม้อไอน้ำที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ส่วนเส้นกราฟจากรูปที่ 6.7 แทนระดับน้ำที่วัดได้จากทรานสมิตเตอร์ จะสังเกตได้ว่าการแกว่งขึ้นลงตลอด และยังรุนแรงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งผลกระทบที่มีต่อการอ่านค่าระดับน้ำเนื่องจากอุณหภูมิมีค่าสูงสุดประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

6.6 การจำลองระดับน้ำที่ต่ำลงจากความเป็นจริงเนื่องจากความดัน

เมื่ออุณหภูมิในหม้อไอน้ำสูงขึ้นและปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ในหม้อไอน้ำมากขึ้น ความดันในหม้อไอน้ำจะสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความดันที่เพิ่มมากขึ้นนี้จะไปกดให้ระดับน้ำที่อ่านได้จากทรานสมิตเตอร์นั้นต่ำกว่าความเป็นจริง โดยในโปรแกรมแบบจำลองของหม้อไอน้ำนี้จะให้ระดับน้ำที่ต่ำกว่าความเป็นจริงนั้นแปรผันตามความดันในหม้อไอน้ำที่เพิ่มมากขึ้น โดยจะสามารถคำนวณค่าความดันที่เพิ่มขึ้นได้จากสมการ

$$PV = nRT$$

ดังนั้น

$$P = \frac{M}{18.015} \times 8.314 \times T \times \frac{1}{V} \dots\dots\dots (6.2)$$

โดยที่ P = ความดัน (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

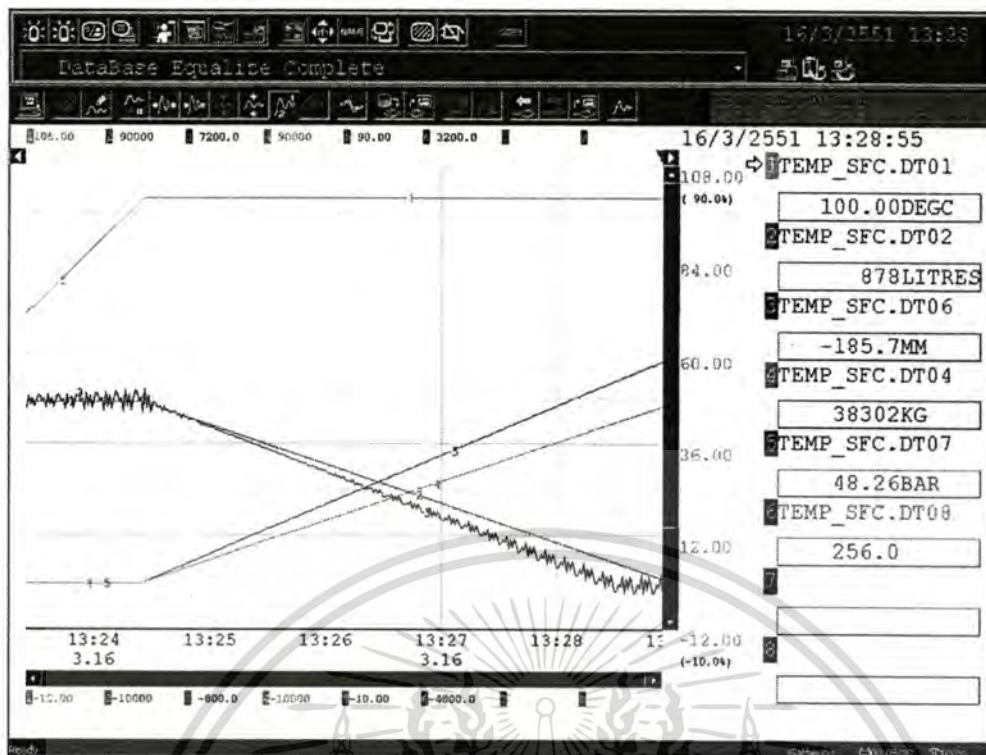
V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

T = อุณหภูมิ (เคลวิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกองกำลัง (เท่ากับมวลของก๊าซ/น้ำหนักโมลของก๊าซ) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการตีพิมพ์หรือการนำข้อมูลไปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R = ค่าคงที่โบลซ์มัน (8.314)



รูปที่ 6.9 กราฟแสดงผลกระทบของระดับที่ได้รับจากความดันที่เพิ่มขึ้นในหม้อไอน้ำ

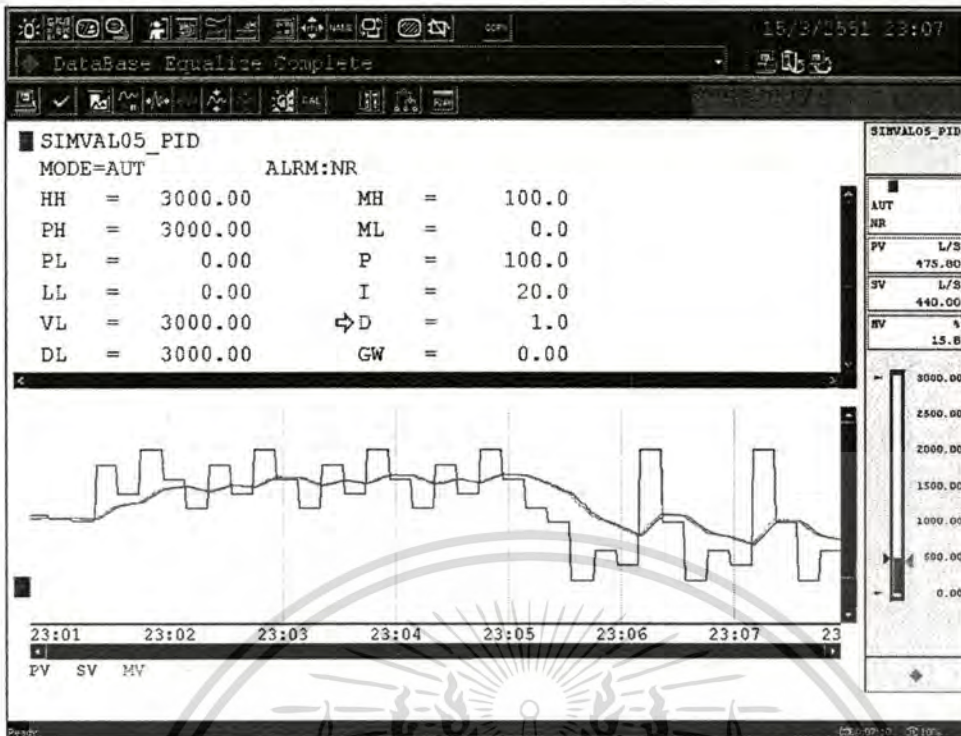
จากรูปที่ 6.6 เส้นกราฟหมายเลข 5 แทนความดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการผลิตไอน้ำได้มากขึ้นตามเวลา ส่วนเส้นกราฟหมายเลข 2 แทนระดับน้ำจริงในหม้อไอน้ำ และเส้นกราฟหมายเลข 3 แทนระดับน้ำที่ทรานสมิตเตอร์อ่านได้ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่ายิ่งความดันสูงขึ้นเท่าไรค่าระดับความผิดพลาดของการอ่านค่าระดับน้ำของระดับน้ำจริงในหม้อไอน้ำกับระดับน้ำที่อ่านได้ก็ยิ่งแตกต่างกันอีกทั้งยังมีการกระเพื่อมเนื่องจากการเดือดที่ผิวน้ำ ก็ยิ่งเพิ่มความผิดพลาดขึ้นไปอีก

6.7 การจำลองอัตราการไหลออกของไอน้ำ

เมื่อหม้อไอน้ำเริ่มผลิตไอน้ำได้ในระดับหนึ่งแล้ว ในการใช้งานจริงก็จะเริ่มจ่ายไอน้ำไปยังเครื่องจักรหรือระบบที่ต้องการใช้ไอน้ำ ซึ่งถ้าเครื่องจักรหรือระบบที่ต้องการใช้งานนั้นมีระบบเดียว หม้อไอน้ำเครื่องนี้จ่ายไอน้ำเข้าสู่ภาระ (Load) เดียวก็สามารถกำหนดหรือทำนายอัตราการใช้งานไอน้ำล่วงหน้าได้ ถึงแม้จะมีความแตกต่าง แต่ก็ไม่เกินกว่าที่คาดการณ์ไว้ แต่สำหรับหม้อไอน้ำที่ผลิตไอน้ำเพื่อจ่ายไปยังระบบหลายๆระบบหรือหลายๆเครื่องจักรอาจจะเกิดความต้องการไอน้ำที่เป็นไปได้ทั้งระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูงได้

โปรแกรมนี้ใช้สำหรับทดสอบทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำทั้งแบบตัวแปรเดียว (Single Element Control) กับ ระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปร (Three Element Control) จึงมีอัตราการไหลออกที่เปลี่ยนแปลงที่เหมือนกับมีความต้องการไอน้ำที่ไม่แน่นอน อีกทั้งยังรวมกับอัตราการไหลออกที่ไม่คงที่แบบเป็นจังหวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 โปรแกรมจำลองอัตราการไหลออกของไอน้ำ

6.8 การจำลองการควบคุมของไอน้ำที่อุณหภูมิลดลง

เมื่อมีการเติมน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ จะทำให้อุณหภูมิของน้ำในหม้อไอน้ำต่ำลง และไอน้ำบางส่วนควบแน่นกลับเป็นน้ำ โดยมีการคายความร้อนออกบางส่วน โดยแบบจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำนี้จะคำนึงถึงปริมาณไอน้ำที่ควบแน่นกลับกลายเป็นน้ำ และปริมาณความร้อนที่ไอน้ำคายออกมาว่าจะมีผลต่อน้ำในหม้อไอน้ำอย่างไร

6.9 การหาค่าอุณหภูมิผสมกันเมื่อเติมน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ

เมื่อมีการเติมน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ น้ำที่เติมที่มีอุณหภูมิต่ำจะเข้าไปผสมกับน้ำที่อุณหภูมิสูงในหม้อไอน้ำ ทำให้อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำที่ผสมกันนั้นต่ำลง โดยโปรแกรมจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำนี้จะคำนวณหาอุณหภูมิผสมสุดท้ายของน้ำที่อุณหภูมิต่างกัน ให้เหมือนกับหม้อไอน้ำที่มีการใช้งานอยู่จริง

อุณหภูมิผสมสามารถหาได้จากสมการ

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 \dots\dots\dots (6.1)$$

โดยที่

ΔQ_1 = ค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นของน้ำเข้า

ΔQ_2 = ค่าความร้อนที่ลดลงของน้ำในหม้อไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$\Delta Q_1 = m_1 c \Delta T$$

$$\Delta Q_1 = m_1 c (t_1 - T)$$

และ

$$\Delta Q_2 = m_2 c \Delta T$$

$$\Delta Q_2 = m_2 c (T - t_2)$$

ดังนั้น

$$m_1 c (t_1 - T) = m_2 c (T - t_2)$$

เพราะฉะนั้น

$$T = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} \dots \dots \dots (6.2)$$

จากสมการที่ 6.2 จะได้ค่าอุณหภูมิผสมของน้ำที่เดิมเข้าสู่หม้อไอน้ำกับน้ำในหม้อไอน้ำ

6.10 ปัญหาที่พบในการจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำ

จากโปรแกรมจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำ พบปัญหาในการเลียนแบบการทำงาน
ของหม้อไอน้ำ เมื่อเปรียบเทียบค่าต่างๆที่ได้จากการคำนวณกับการวัดค่าจากระบบจริง ซึ่งความ
ผิดพลาดนี้ส่วนหนึ่งมาจากการค่าตัวแปรที่ไม่ได้มีในการคำนวณเช่น ค่าความร้อนที่สูญเสียไป
ตามท่อหรือผิวของหม้อไอน้ำ หรือผลที่เกิดจากสิ่งสกปรกในหม้อไอน้ำ หรือ ท่อส่งไอน้ำ หรือ
ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ขี้เถ้า ทรายกรัน ที่ก้นของหม้อไอน้ำ และเกิดจากชนิดของทรานสมิต
เตอร์ที่ใช้ในการวัดค่านี้งานจริงมีช่วงการวัดค่าที่ไม่ได้เป็นรูปแบบเส้นตรงทุกค่าอุณหภูมิหรือ
ความดัน เป็นต้น

บทที่ 7

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

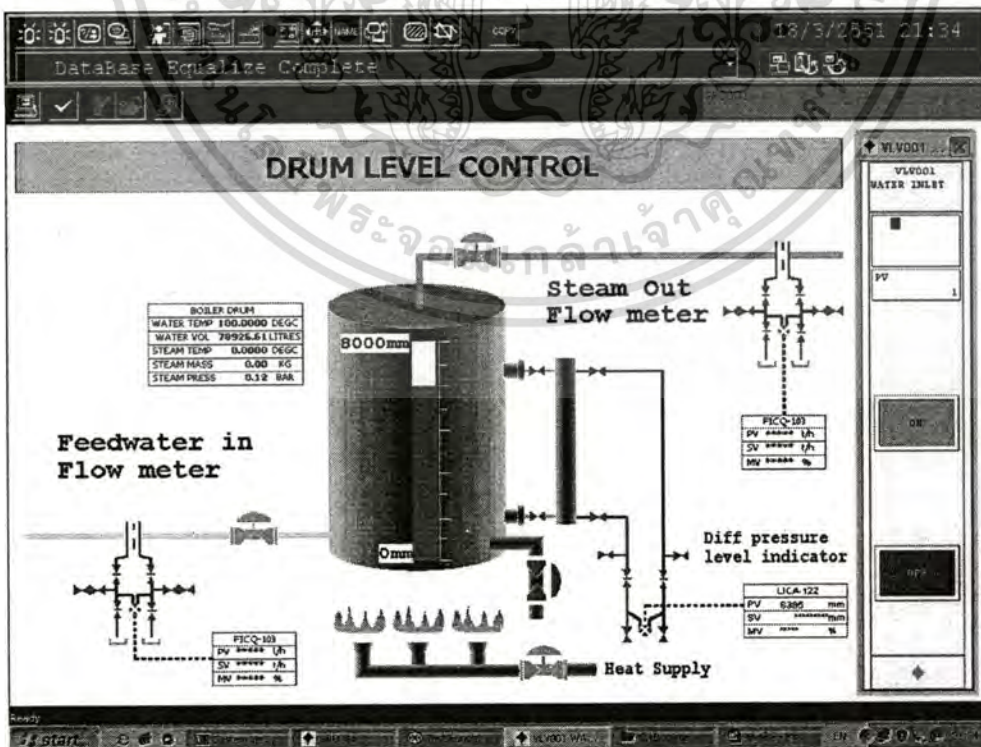
ระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำที่ใช้เปรียบเทียบการทำงานคือ ระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียว (Single Element Control) กับระบบควบคุมแบบสามตัวแปร (Three Element Control) ซึ่งจะใช้ควบคุมระบบจำลองหม้อไอน้ำที่จำลองขึ้น โดยส่วนประกอบของระบบที่มีแบ่งได้เป็น สัญญาณที่เป็น สัญญาณออก (Output Signal) กับสัญญาณเข้า (Input Signal) ดังนี้

รายการสัญญาณออก (Output Signal)

- 1 วาล์วป้อนน้ำเข้า (Feed Water Valve)
- 2 วาล์วป้อนควบคุมความร้อน (Control Valve)
- 3 วาล์วจ่ายไอน้ำออก (Steam Outlet Valve)
- 4 วาล์วปล่อยน้ำออก (Drain Water Valve)

รายการสัญญาณเข้า (Input Signal)

- 1 สัญญาณระดับน้ำ (Water Level)
- 2 สัญญาณอัตราการไหลออกไอน้ำ (Steam Outlet Flow)
- 3 สัญญาณอัตราการไหลเข้าน้ำ (Feed Water Flow)

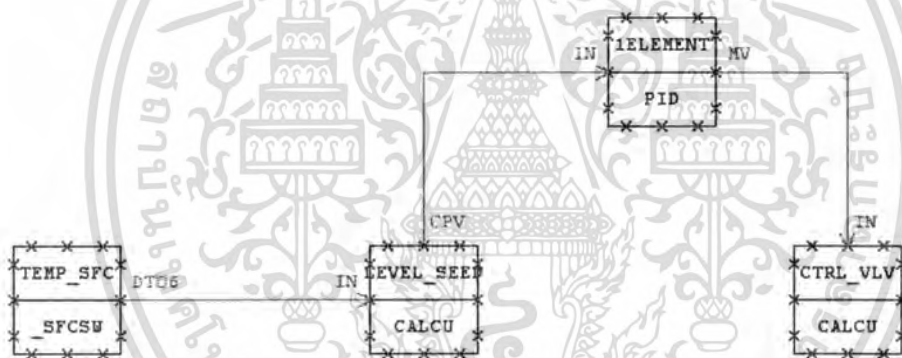


รูปที่ 7.1 ระบบควบคุมการทำงานของหม้อไอน้ำที่ใช้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1 การควบคุมระดับน้ำด้วยระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียว

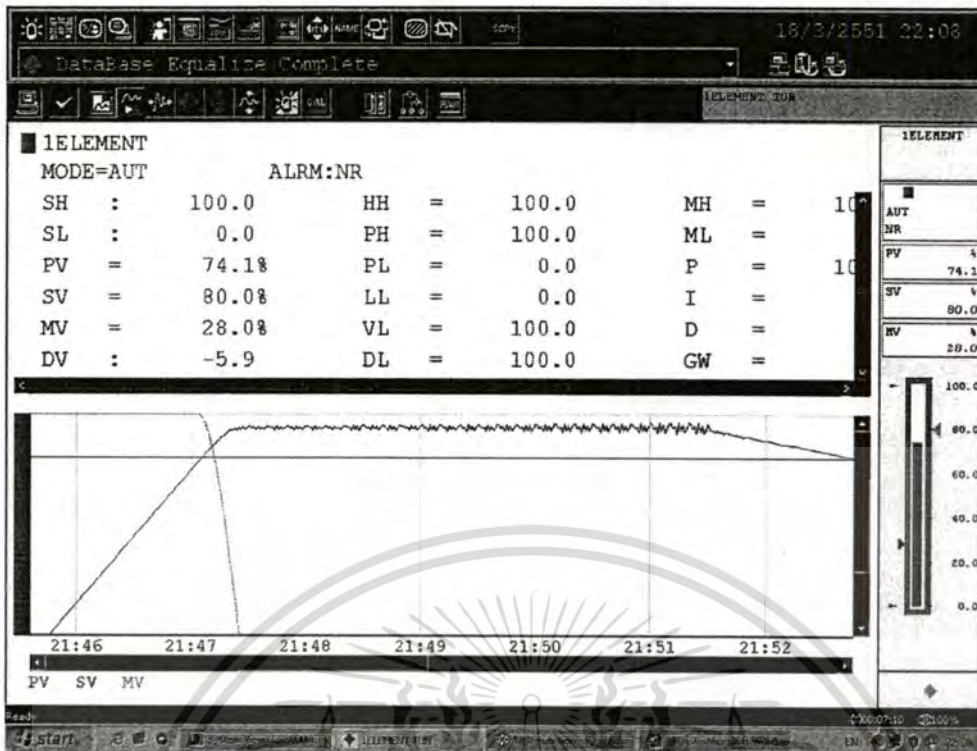
การทดลองควบคุมระดับน้ำในหม้อเริ่มจากการป้อนน้ำเข้าที่หม้อไอน้ำ โดยระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียวจะเป็นควบคุมการเปิดปิดวาล์วเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำเอง โดยระดับน้ำที่กำหนดไว้ที่ระบบควบคุมต้องรักษาระดับคือ 80 เปอร์เซ็นต์ของระดับน้ำเต็มถึง ประมาณ 6,400 มิลลิเมตรจากก้นถึง ดังที่กล่าวไว้แล้วว่าระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียวคือการรับค่าสัญญาณจากระดับน้ำมาใช้ในการควบคุมรักษาระดับน้ำ จากรูปที่ 7.2 สัญญาณระดับน้ำซึ่งเกิดจากการจำลองของระบบจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำส่งสัญญาณระดับน้ำเข้าไปเป็นอินพุต (Input Signal) ของ ตัวคำนวณค่าการควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) และจากตัวคำนวณค่านี้จะเปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำที่รับ (Process Value) ากับค่าระดับน้ำที่ต้องการ (Set Point) แล้วจึงส่งค่าควบคุม (Manipulate Value) ออกไป เพื่อควบคุมวาล์วน้ำเข้าและปริมาณน้ำที่จะเข้าสู่หม้อไอน้ำ



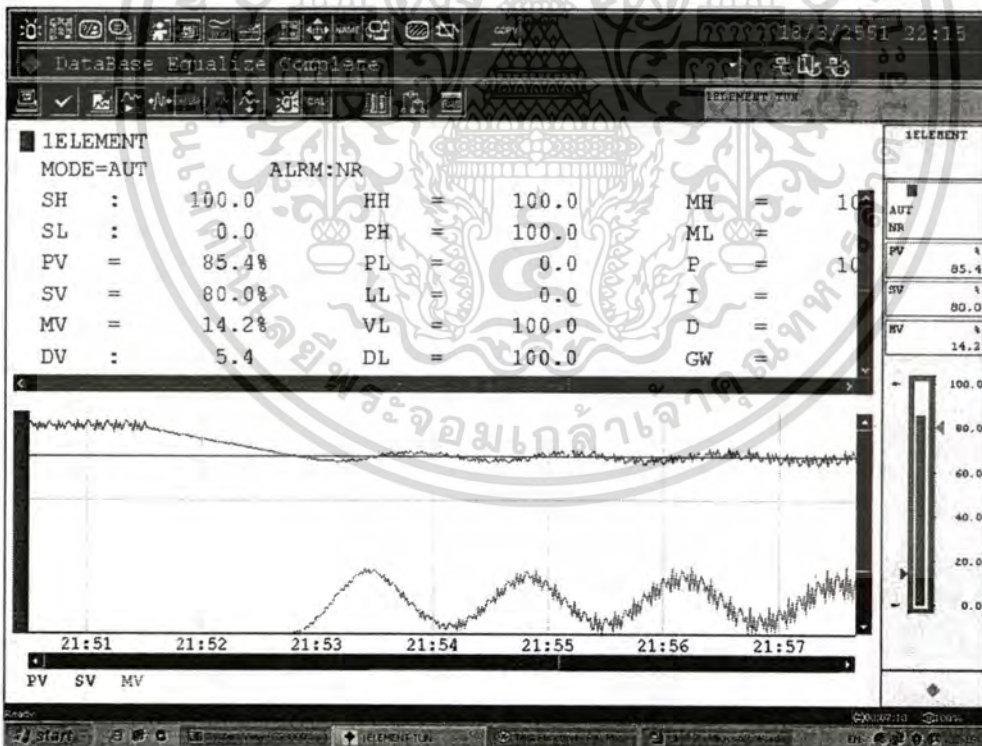
รูปที่ 7.2 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียวที่ใช้ทดสอบ

จากรูปที่ 7.3 แสดงถึงกราฟการทำงานของตัวคำนวณค่าการควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) เมื่อระดับน้ำสูงขึ้นจนเกือบถึงค่าระดับน้ำที่ต้องการแล้ว ตัวคำนวณค่าการควบคุมแบบพีไอดีจะส่งลดระดับการเปิดวาล์วลงจนถึงระดับ 0 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 7.4 แสดงถึงกราฟการทำงานของตัวคำนวณค่าการควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) ที่พยายามรักษาระดับน้ำให้คงที่ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของหม้อไอน้ำตลอดเวลา เพื่อชดเชยน้ำที่กลายเป็นไอน้ำ



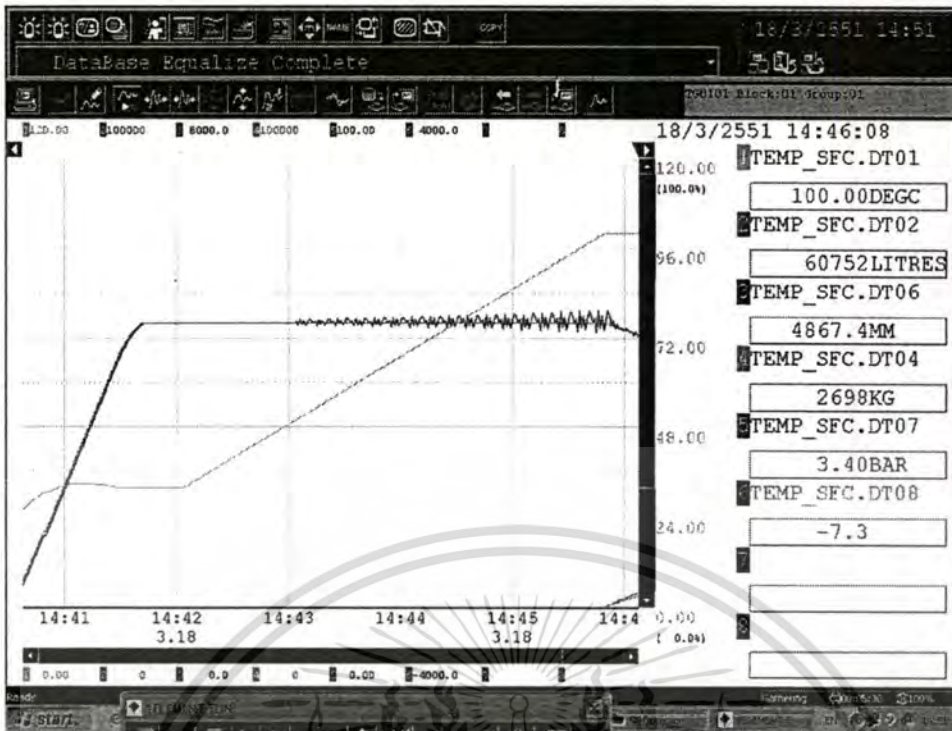
รูปที่ 7.3 กราฟการควบคุมของระบบควบคุมระดับน้ำเมื่อหม้อไอน้ำเริ่มต้นทำงาน



รูปที่ 7.4 กราฟแสดงการควบคุมของระบบควบคุมระดับน้ำที่พยายามรักษาระดับให้คงที่

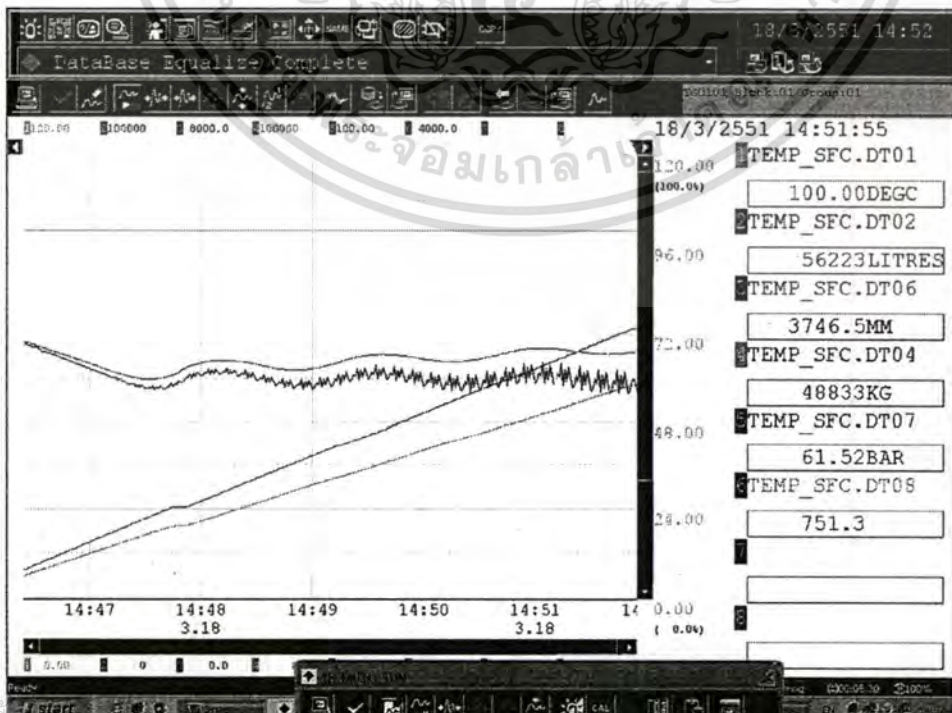
เมื่อมีการเติมน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำแล้ว ระบบจะทำการป้อนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ น้ำในหม้อไอน้ำ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น น้ำเริ่มเดือด จะเกิดการกระเพื่อมของน้ำที่ผิวน้ำ ทำให้การอ่านค่าระดับน้ำนั้นเปลี่ยนแปลงขึ้นลงไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.5 กราฟแสดงอุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มความร้อนสู่ม้อไอน้ำ

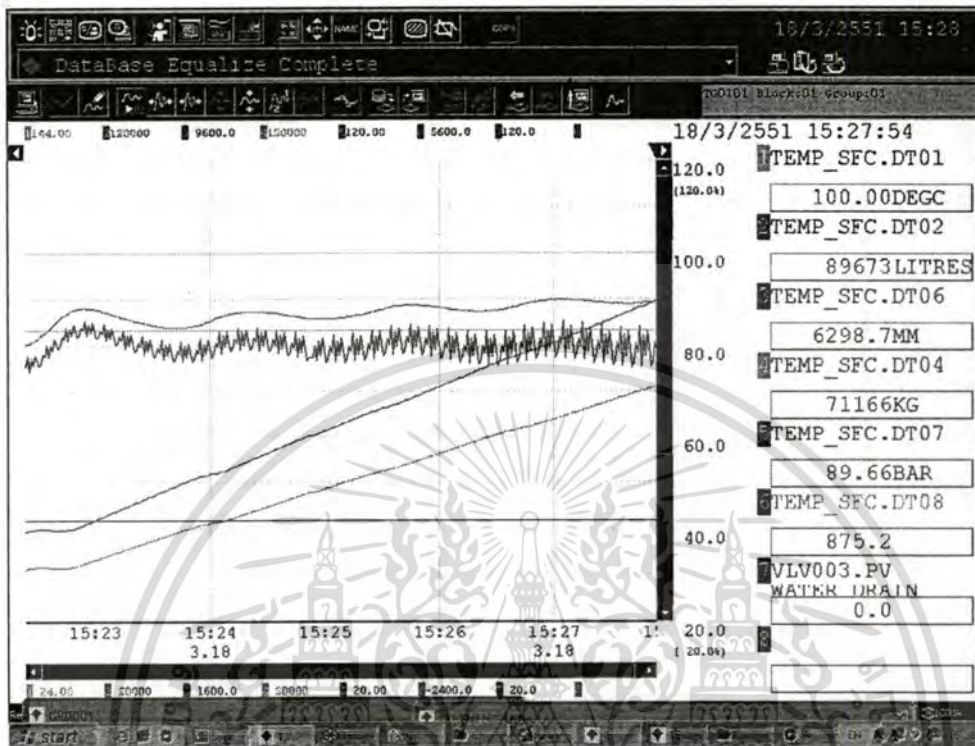
เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส น้ำจะกลายเป็นไอน้ำ ทำให้ระดับน้ำลดลงจากการเปลี่ยนเป็นไอน้ำ ความดันในหม้อไอน้ำสูงขึ้นและกกระด้นน้ำให้ต่ำลงกว่าค่าความเป็นจริง ยิ่งความดันสูงขึ้นมากเท่าไรค่าความผิดพลาดยิ่งสูงขึ้นมากเท่านั้น จากรูปที่ 7.6 ที่ความดันในหม้อไอน้ำประมาณ 61.52 บาร์ ทำให้อ่านค่าระดับน้ำต่ำกว่าความเป็นจริงประมาณ 700 มิลลิเมตร



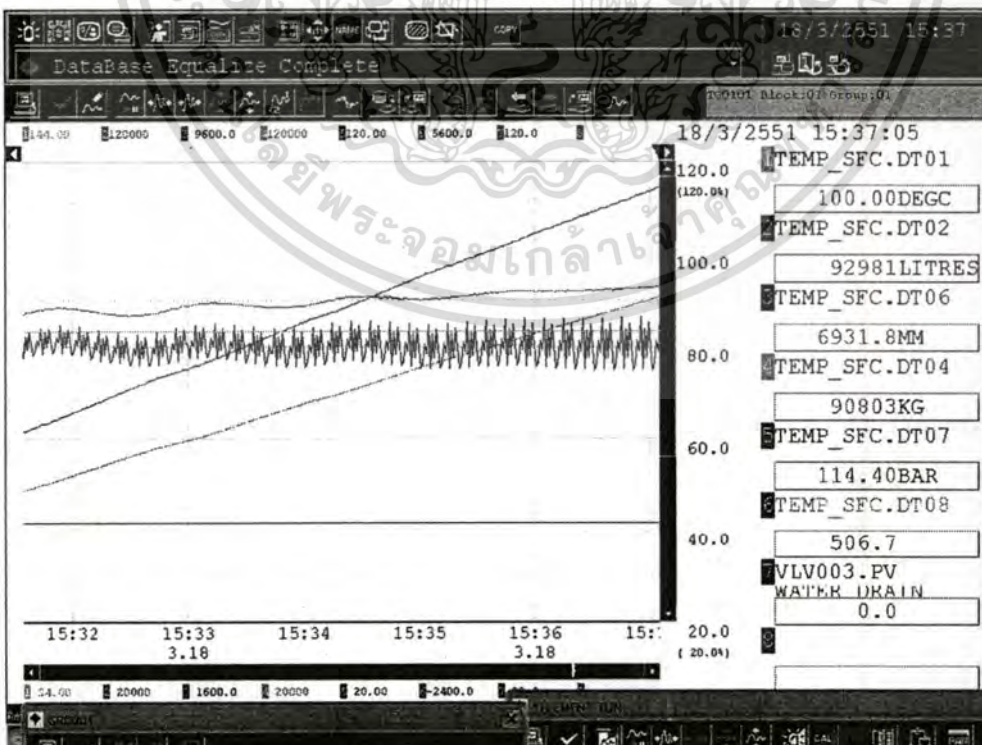
รูปที่ 7.6 กราฟแสดงระดับน้ำในหม้อไอน้ำที่ต่ำกว่าความเป็นจริงจากค่าความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีทีเอ็น จำกัด ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.7 และ รูปที่ 7.8 แสดงถึงความกราฟความดันในหม้อไอน้ำที่มีผลต่อระดับน้ำ ตั้งแต่ระดับความดันประมาณ 10 บาร์จนถึง ความดันประมาณ 110 บาร์

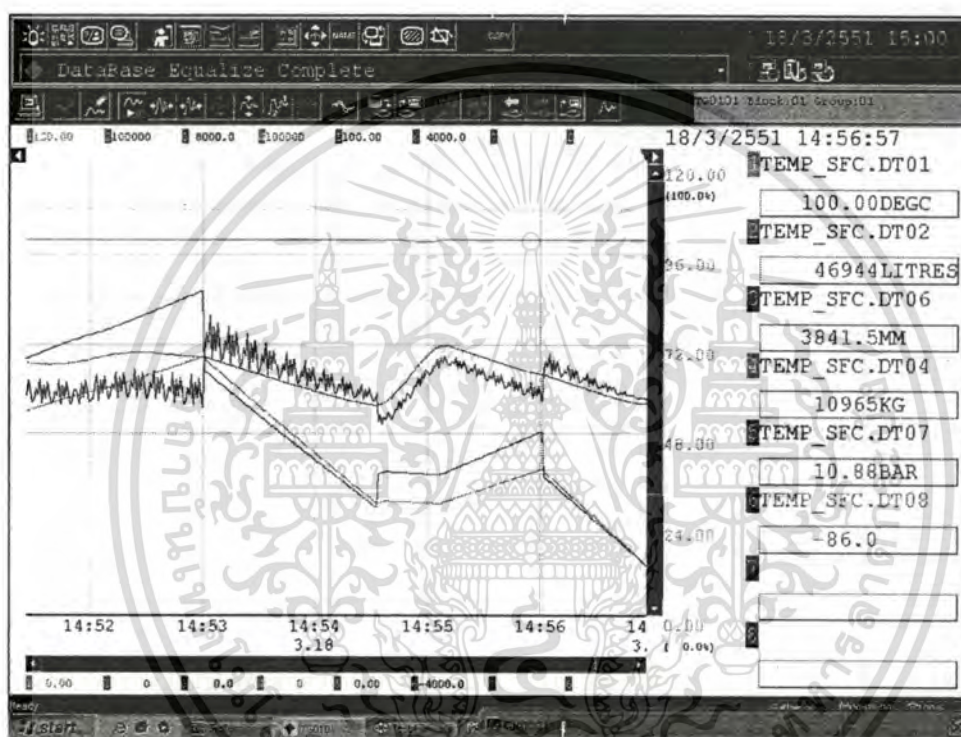


รูปที่ 7.7 กราฟความดันในหม้อไอน้ำที่มีผลต่อระดับน้ำ ตั้งแต่ช่วงความดัน 10 บาร์ถึง 110 บาร์ (1)



รูปที่ 7.8 กราฟความดันในหม้อไอน้ำที่มีผลต่อระดับน้ำ ตั้งแต่ช่วงความดัน 10 บาร์ถึง 110 บาร์ (2)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

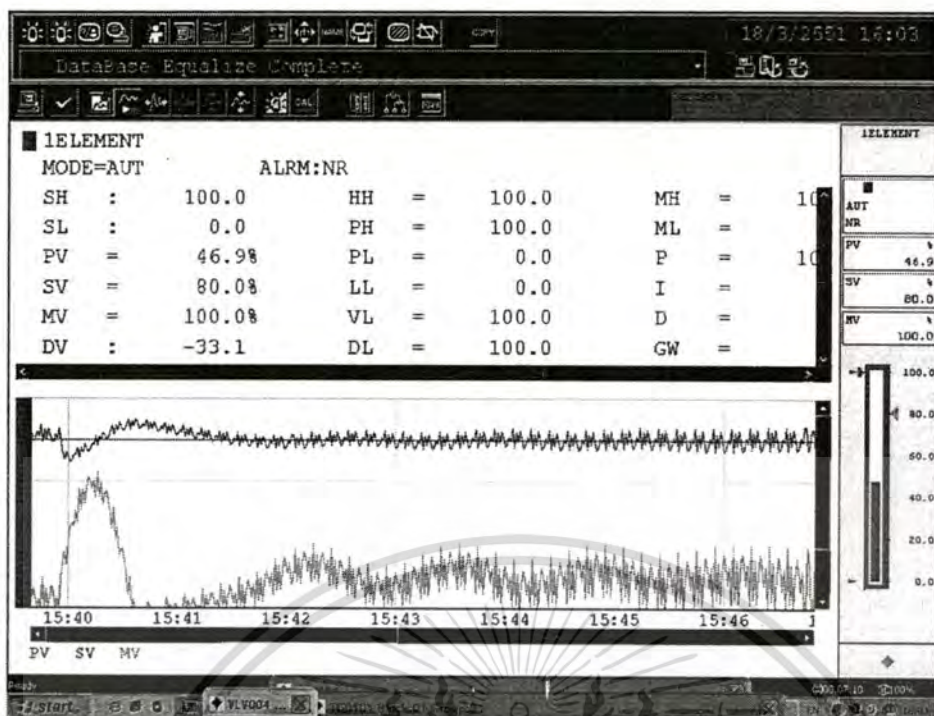
เมื่อหม้อไอน้ำผลิตไอน้ำได้ประมาณ 10,000 กิโลกรัมแล้ว จากนั้นระบบจำลองการทำงานของไอน้ำทำการจ่ายไอน้ำด้วยอัตรา 500 กิโลกรัมต่อวินาที จากกราฟรูปที่ 7.9 แสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ขยายตัวของฟองอากาศผิวน้ำเมื่อความต้องการไอน้ำเพิ่มขึ้น (Swell) ระดับน้ำที่อ่านค่าได้จากเดิมที่ถูกค่าความดันกคต่ำกว่าระดับน้ำจริง เมื่อความดันลดลงจากการจ่ายไอน้ำ ระดับน้ำจะพุ่งสูงขึ้นในขณะที่ระดับน้ำจริงกำลังลดระดับลง และระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียวยังไม่จ่ายน้ำเข้าเนื่องจากค่า ระดับน้ำที่อ่านได้จาก ทรานสมิตเตอร์ยังมากกว่าค่าที่ต้องการอยู่



รูปที่ 7.9 กราฟแสดงระดับน้ำในหม้อไอน้ำที่พุ่งสูงจากการจ่ายไอน้ำ

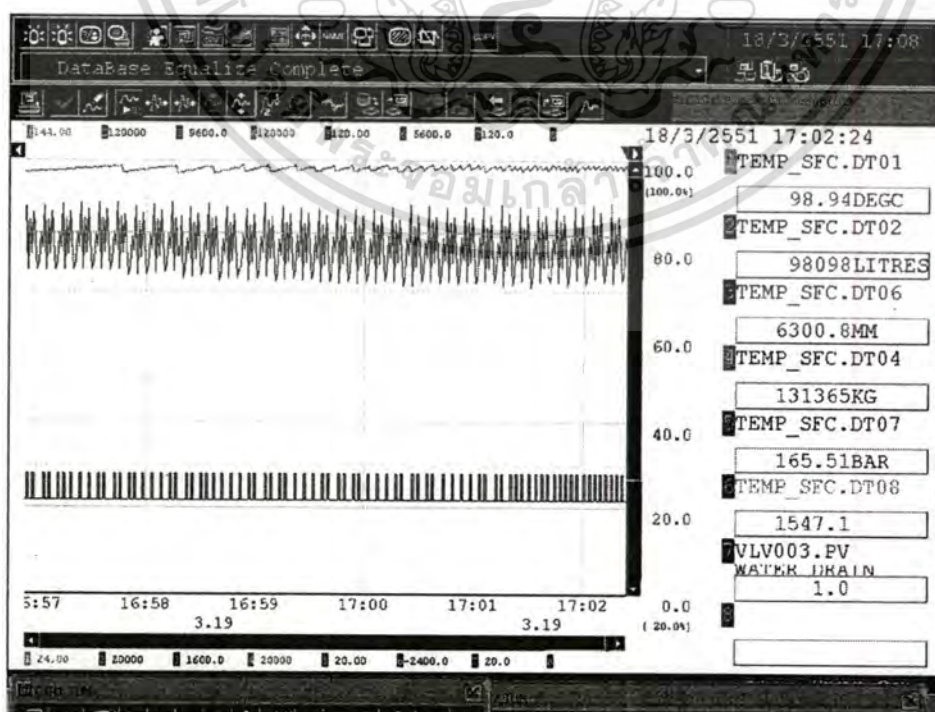
เมื่อระบบจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำสั่งหยุดการจ่ายไอน้ำแล้วระดับน้ำที่ทรานสมิตเตอร์อ่านได้ จะพุ่งต่ำกว่าค่าระดับน้ำจริง จากปรากฏการณ์การหดตัวลดลงของระดับน้ำและฟองอากาศ (Shrink) ระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียวจึงสั่งให้เติมน้ำเข้าหม้อไอน้ำอย่างรวดเร็ว ประมาณ 3,000 ลิตร แต่ไอน้ำที่จ่ายออกจากหม้อไอน้ำ และอัตราการกลายเป็นไอของน้ำนั้นมีแค่ประมาณ 500 ลิตร เท่านั้น ซึ่งจากกราฟรูปที่ 7.9 แสดงให้เห็นถึงระดับน้ำที่เติมเข้าเกินความจำเป็นและทำให้อุณหภูมิในหม้อไอน้ำตกลงจากจุดเดือดประมาณ 3 – 4 องศาเซลเซียส อัตราการผลิตไอน้ำ จึงต่ำลงตามไปด้วย

รูปที่ 7.10 แสดงถึงค่าเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วน้ำเข้า (Manipulate Value) ที่ถูกสั่งโดยระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียวที่ช่วงอุณหภูมิสูง ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเนื่องจากอัตราการกระเพื่อมของน้ำเดือดและการกลายเป็นไอน้ำ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

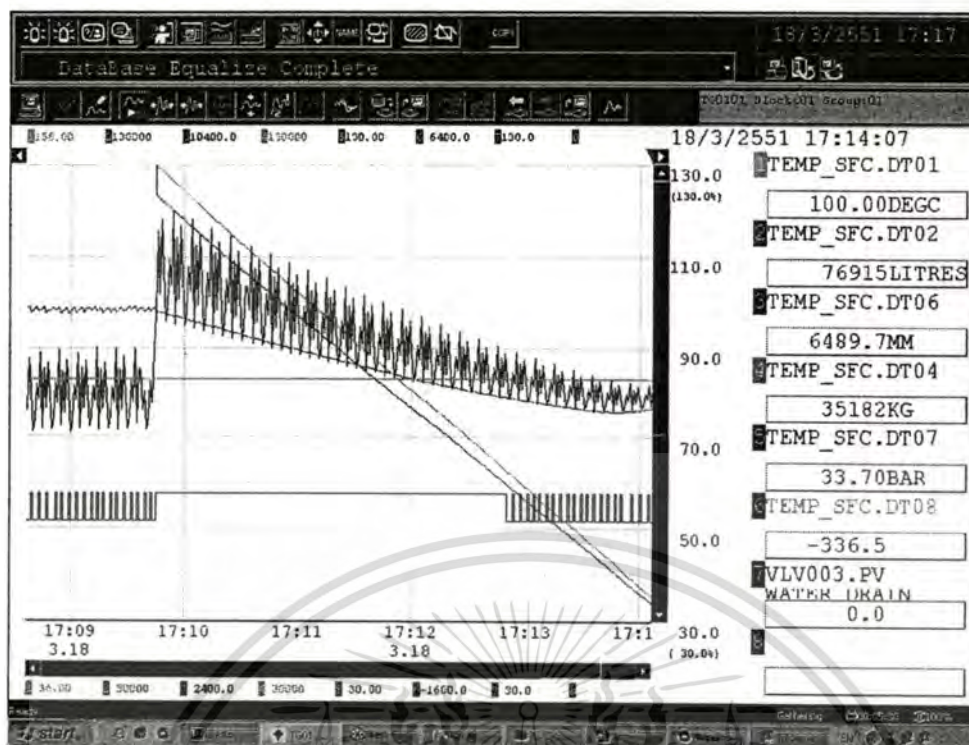


รูปที่ 7.10 กราฟแสดงการควบคุมของระบบควบคุมระดับน้ำในช่วงอุณหภูมิสูง

รูปที่ 7.11 ค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเนื่องจากการกระเพื่อมของน้ำเคือก โดยเส้นกราฟด้านล่างของ รูปที่ 7.11 คือการเปิดของวาล์วน้ำทิ้ง ซึ่งจะทำงานเมื่อระดับน้ำเกินกว่าระดับน้ำสูงมากที่กำหนดไว้ (High High Water Level) จากการทดลองเมื่อจ่ายไอน้ำและระดับน้ำพุ่งสูงขึ้นนั้น มีปริมาณการปล่อยน้ำที่มีค่าอุณหภูมิสูงทั้งถึง 3,276 ลิตร ภายในเวลา 2 นาที



เอกสารนี้รูปที่ 7.11 กราฟแสดงการทำงานของวาล์วน้ำทิ้งเนื่องจากการกระเพื่อมของน้ำเคือก โดยขั้นตอนการคำนวณการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.12 กราฟแสดงการทำงานของวาล์วน้ำทิ้งเนื่องจากการจ่ายไอน้ำ

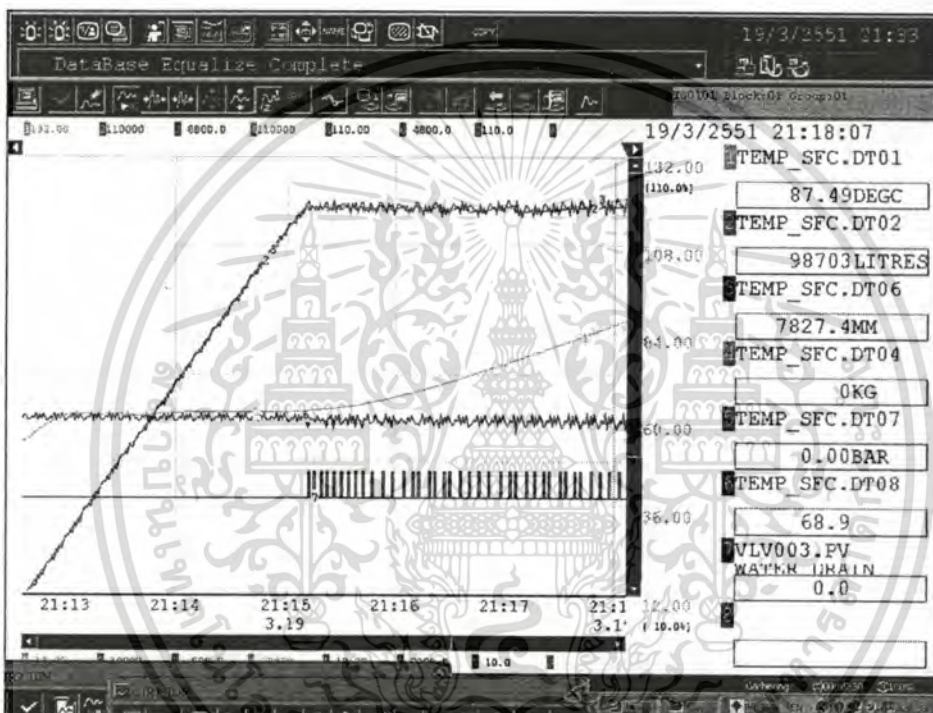
รูปที่ 7.12 แสดงให้เห็นการปล่อยน้ำทิ้งขณะที่มีการจ่ายไอน้ำ เพราะความดันที่ต่ำลงและทำให้วาล์วน้ำทิ้งทำงาน ซึ่งมีปริมาณน้ำอุณหภูมิสูงที่ถูกปล่อยทิ้งปริมาณมากถึง 12,764 ลิตร จากระบบจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำ

7.2 สรุปผลการควบคุมระดับน้ำด้วยระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียว

ระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียวหรือ Single Element Control สามารถควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำให้อยู่ในปริมาณที่กำหนดได้ดี ในช่วงเริ่มต้นการทำงานของหม้อไอน้ำคือตั้งแต่จ่ายน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ แล้วจ่ายความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในหม้อไอน้ำ ซึ่งผลตอบสนองจากการควบคุมของระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียวนั้น สามารถแสดงให้เห็นว่าสามารถทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพตามที่ควรจะเป็นได้ จนกระทั่งถึงช่วงกลางของแบบทดสอบจากการจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำ คือช่วงที่มีปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ในหม้อไอน้ำไม่มากนัก ประมาณ 5,000 กิโลกรัม ถึง 10,000 กิโลกรัม ซึ่งผลที่ส่งให้ระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียวมีการตอบสนองที่ผิดพลาดมากเกิดจากค่าความดันที่เกินกว่า 50 บาร์และเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จากการแกว่งของระดับน้ำที่ไม่คงที่อยู่ตลอดเวลา

อีกทั้งเมื่อมีการจ่ายไอน้ำที่มีอัตราสูงซึ่งส่งผลถึงค่าความดันในหม้อไอน้ำที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ระดับน้ำที่วัดค่าได้จากทรานสมิตเตอร์ สูงผิดไปจากความเป็นจริงมากเกิดการปล่อยน้ำออกจากหม้อไอน้ำปริมาณมาก ระดับน้ำจริงต่ำกว่าค่าที่ทรานสมิตเตอร์วัดได้มาก ซึ่งจากการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ตลอดจนน เกิดสัญญาณที่แสดงว่าระดับน้ำในหม้อไอน้ำต่ำกว่าระดับน้ำต่ำ (Low Level) ไม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลออกของไอน้ำ (Steam Outlet Flow) ที่แปลงค่าแล้ว ป้อนเข้าไปเป็นค่าอัตราการไหลของน้ำที่ต้องการ (Set Point) ของตัวควบคุมค่าการควบคุมแบบพีไอตัวที่สอง โดยที่ตัวควบคุมค่าการควบคุมแบบพีไอตัวที่สองจะรับสัญญาณอัตราการไหลของน้ำเลี้ยง (Feed Water Flow) เป็นสัญญาณอินพุท จากนั้นตัวควบคุมค่าการควบคุมแบบพีไอตัวที่สองจะคำนวณค่าควบคุมแล้วจึงส่งไปยังวาล์วน้ำเข้าเพื่อควบคุมอัตราการไหล และปริมาณน้ำที่จะเข้าสู่หม้อไอน้ำ โดยระดับน้ำที่กำหนดไว้ที่ระบบควบคุมต้องรักษาระดับคือ 80 เปอร์เซ็นต์ของระดับน้ำเต็มถึง ประมาณ 6,400 มิลลิเมตรจากก้นถัง



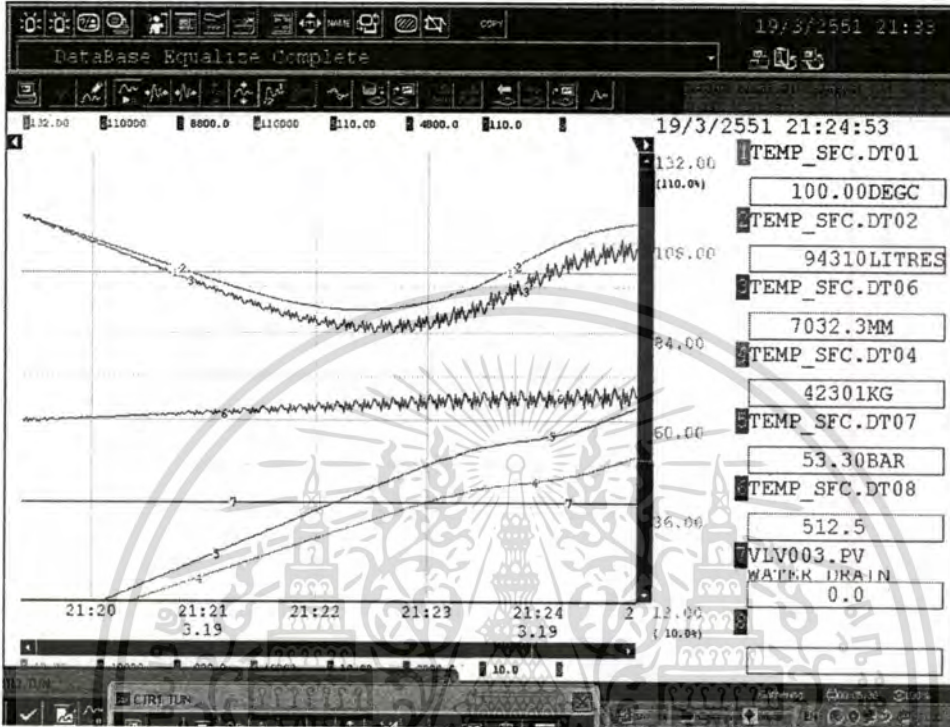
รูปที่ 7.14 กราฟแสดงการควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำแบบสามตัวแปรช่วงเริ่มทำงาน

รูปที่ 7.14 แสดงถึงการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปรที่ เริ่มตั้งแต่การป้อนน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ และการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อผลิตไอน้ำ จากเส้นกราฟที่แสดงจะเห็นได้ว่า มีน้ำบางส่วนถูกปล่อยทิ้งไปจากวาล์วน้ำทิ้ง เมื่อน้ำถูกเติมเข้าสู่หม้อไอน้ำจนอยู่ที่ระดับน้ำสูง

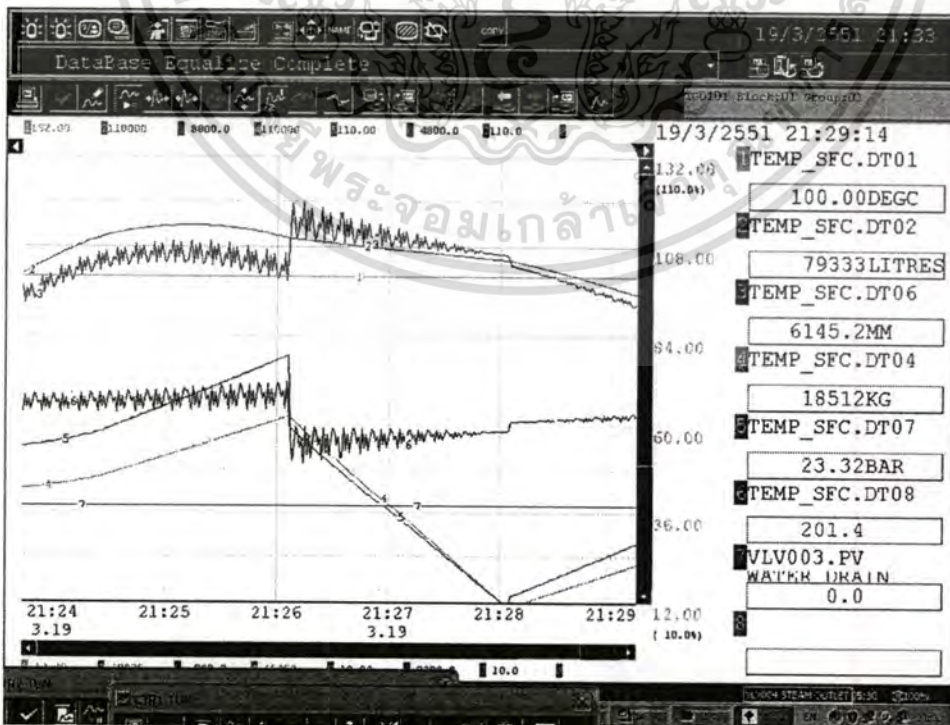
รูปที่ 7.15 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของระบบควบคุมการรักษาระดับน้ำแบบสามตัวแปรเมื่อระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงลดลงจากการกลายเป็นไอน้ำและ จากการระเหยของน้ำเดือด ที่ช่วงความดันตั้งแต่เริ่มต้นการทำงานของหม้อไอน้ำจนถึงความดันประมาณประมาณ 60 บาร์ ซึ่งระดับน้ำที่อ่านค่าได้กับระดับน้ำจริง เริ่มมีค่าความผิดพลาดมากขึ้น

เมื่อหม้อไอน้ำผลิตไอน้ำได้ประมาณ 20,000 กิโลกรัมแล้ว ระบบจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำ ได้ทดสอบระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปร โดยการจ่ายไอน้ำออก ซึ่งจากกราฟของรูปที่ 7.16 แสดงให้เห็นว่าค่าความดันในหม้อไอน้ำตกลงอย่างรวดเร็ว และระดับน้ำที่อ่านได้ไม่วากรณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

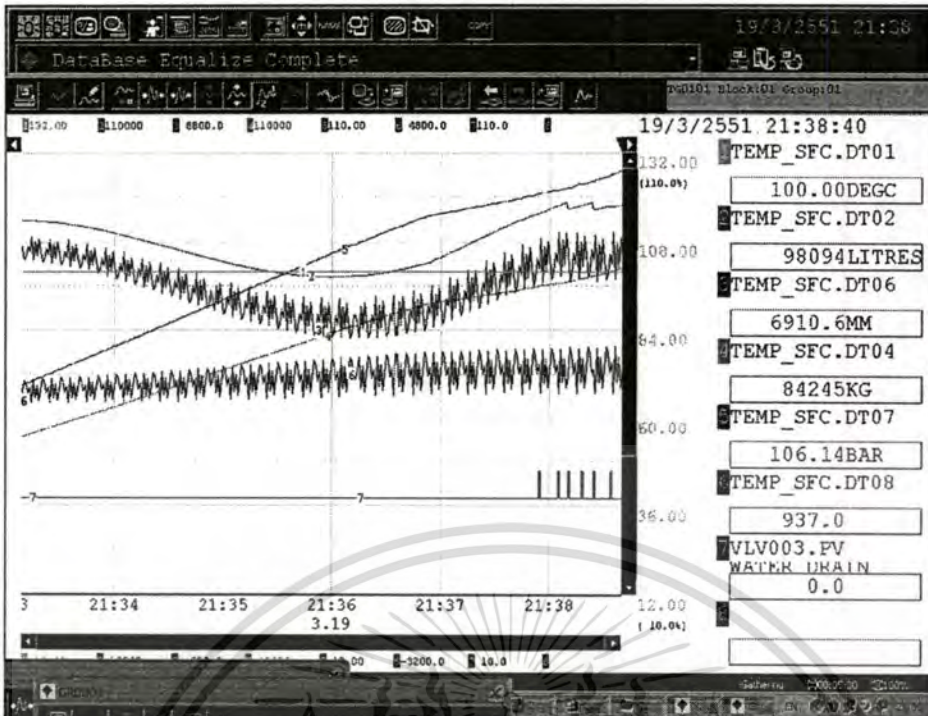
จากทรานสมิตเตอร์มีค่าสูงกว่าระดับน้ำจริง แต่ยังไม่เกินระดับน้ำสูง (High High Level) ที่กำหนด เมื่อระบบจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำหยุดจ่ายไอน้ำ ระบบควบคุมยังคงไม่มีการเติมน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ



รูปที่ 7.15 กราฟแสดงการควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำแบบสามตัวแปรช่วงความดันต่ำ

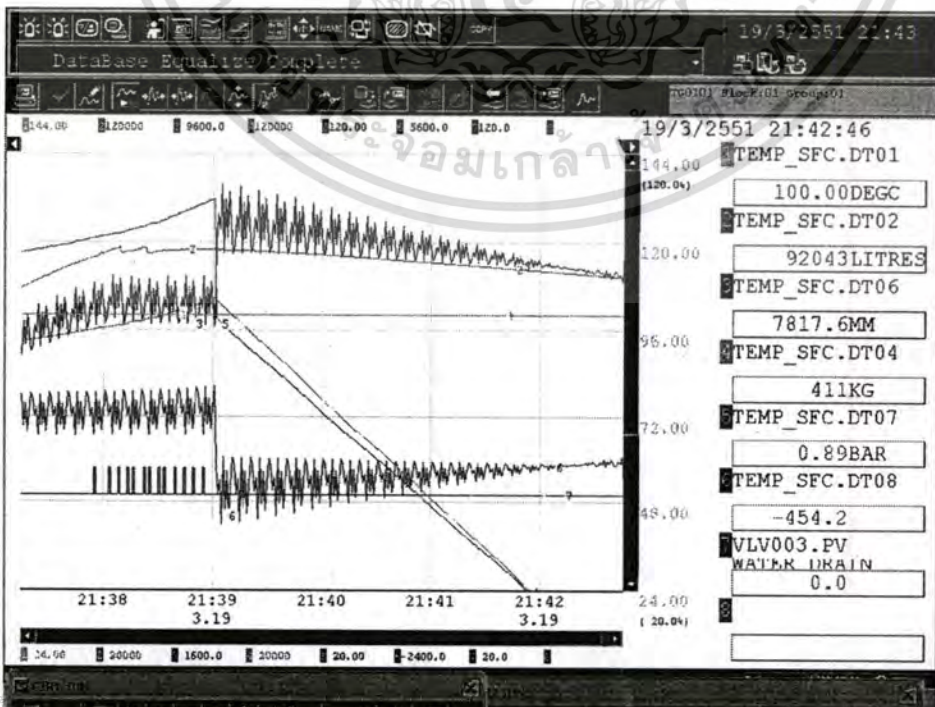


รูปที่ 7.16 กราฟแสดงการควบคุมรักษาระดับน้ำเมื่อมีการจ่ายไอน้ำจากหม้อไอน้ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



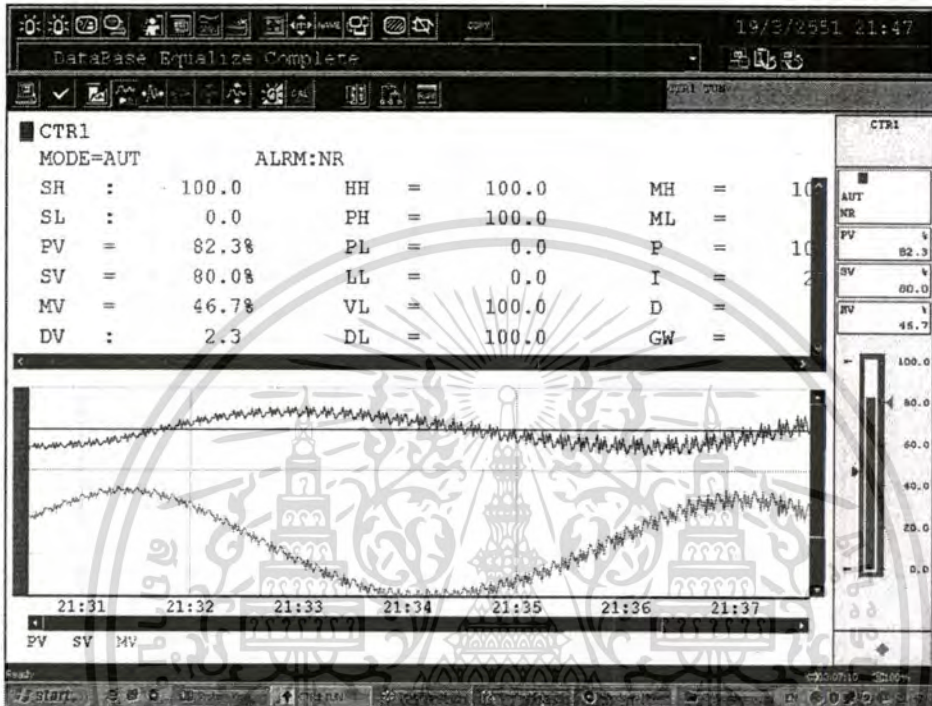
รูปที่ 7.17 กราฟแสดงการควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำแบบสามตัวแปรช่วงความดันสูง

จากกราฟรูปที่ 7.18 ที่สภาวะคงที่หม้อไอน้ำผลิตไอน้ำได้ปริมาณมาก และความดันในหม้อไอน้ำมีค่าสูง (ไอน้ำที่ผลิตได้ประมาณ 60,000 กิโลกรัม ค่าความดันประมาณ 110 บาร์) ระบบจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำทดสอบระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปร โดยการจ่ายไอน้ำออกอย่างต่อเนื่อง ซึ่งระบบควบคุมยังสามารถรักษาระดับน้ำได้

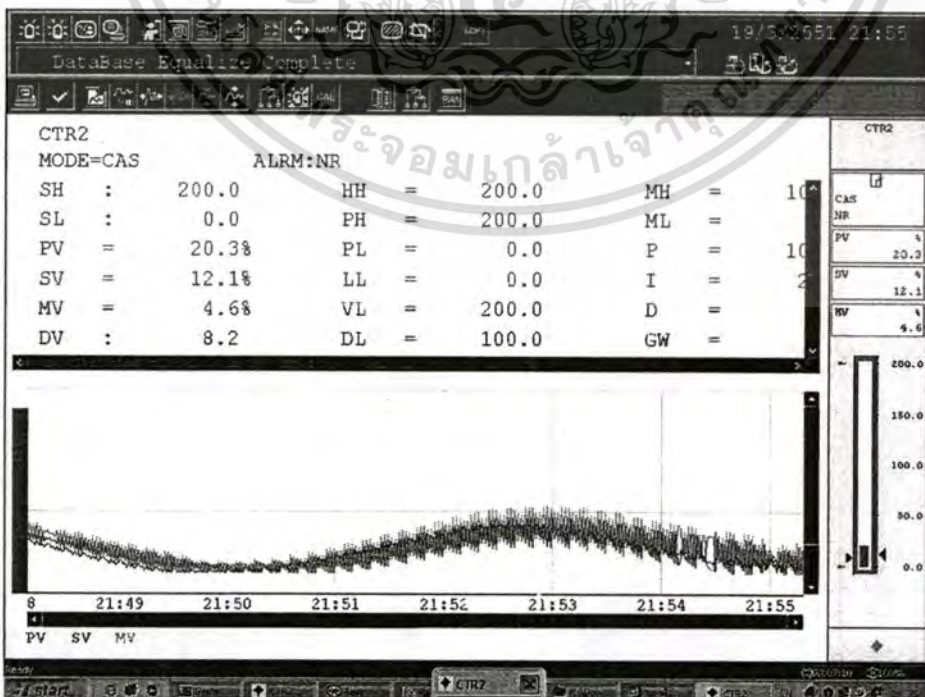


รูปที่ 7.18 กราฟแสดงการควบคุมรักษาระดับน้ำเมื่อมีการจ่ายไอน้ำออกอย่างต่อเนื่อง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.19 เป็นกราฟที่แสดงการทำงานของตัวควบคุมค่าการควบคุมแบบพีไอดีตัวที่หนึ่ง ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากระดับน้ำในหม้อไอน้ำมาเปรียบเทียบกับ ระดับน้ำที่ต้องการแล้วจึงส่งค่าควบคุมออกไปรวมกับค่าอัตราการไหลของไอน้ำออก ก่อนเข้าเป็นสัญญาณอินพุทของตัวควบคุมค่าการควบคุมแบบพีไอดีตัวที่สองในรูปที่ 7.20 ที่จะควบคุมวาล์วน้ำเข้าต่อไป



รูปที่ 7.19 กราฟแสดงทำงานของตัวควบคุมค่าการควบคุมแบบพีไอดีตัวที่หนึ่ง



รูปที่ 7.20 กราฟแสดงทำงานของตัวควบคุมค่าการควบคุมแบบพีไอดีตัวที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 สรุปผลการควบคุมระดับน้ำด้วยระบบควบคุมแบบสามตัวแปร

ระบบควบคุมแบบสามตัวแปร หรือ Three Element Control สามารถควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำให้อยู่ในปริมาณที่กำหนดได้ดี ในช่วงกลางของการทำงานของหม้อไอน้ำคือตั้งแต่หม้อไอน้ำเริ่มผลิตไอน้ำได้ ไปตลอดช่วงการทำงานของหม้อไอน้ำที่มีการผลิตและจ่ายไอน้ำ ซึ่งเป็นช่วงที่ผลการตอบสนองและประสิทธิภาพของระบบควบคุมแบบสามตัวแปรมีสูง เนื่องจากสามารถรักษาระดับน้ำในหม้อไอน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ และเมื่อสภาวะของหม้อไอน้ำอยู่ที่ระดับความดันสูง หรือเมื่อเจอการทดสอบจากระบบจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำที่จ่ายไอน้ำออกอย่างรวดเร็ว ระบบควบคุมก็ยังคงความเสถียรของการควบคุมไว้ได้เหมือนที่สภาวะการผลิตไอน้ำปกติ

แต่จากจุดเริ่มต้นการทำงานของหม้อไอน้ำนั้น ระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปรทำงานได้อย่างค่อนข้างช้า ซึ่งจากกราฟของรูปที่ 7.14 จะเห็นว่าค่าความความชันของระดับน้ำมีน้อย เป็นเพราะระบบควบคุมแบบสามตัวแปร มีตัวคำนวณค่าการควบคุมแบบพีไอคีสองตัวที่ทำงานต่อเนื่องกันการควบคุมว่าตัวน้ำเข้าจึงมีช่วงเวลาของการตอบสนองจากระบบควบคุมที่ค่อนข้างนาน

7.5 เปรียบเทียบผลการทดลองของระบบควบคุมทั้งสองแบบ

จากการผลของการทดลองระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียวและแบบสามตัวแปร แสดงให้เห็นถึงว่าการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียวว่าเหมาะสมสำหรับหม้อไอน้ำที่ผลิตไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิไม่สูงมากนัก เพราะสามารถควบคุมระดับน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพดี อัตราการสูญเสียน้ำที่ต่ำ และอัตราการเกิดระดับน้ำต่ำกว่าค่าที่กำหนดมีเกิดขึ้นน้อยครั้ง แต่เมื่อระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียวต้องทำการควบคุมระดับน้ำที่ค่าความดันในหม้อไอน้ำสูงเกินกว่า ประมาณ 60 บาร์ จะมีอัตราการผิดพลาดของการรักษาระดับน้ำเพิ่มขึ้น กล่าวคือ มีการปล่อยน้ำทิ้งโดยไม่จำเป็น จากการอ่านค่าระดับน้ำที่ผิด หรือมีอัตราการเกิดระดับน้ำต่ำกว่าค่าที่กำหนดบ่อยครั้ง ซึ่งในการใช้งานหม้อไอน้ำจริงนั้น การที่ระดับน้ำต่ำกว่าระดับน้ำที่กำหนดเพียงครั้งเดียวก็สร้างความเสียหายให้แก่หม้อไอน้ำได้แล้ว

สำหรับระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปรนั้นตอนเริ่มการทำงานของหม้อไอน้ำตั้งแต่การป้อนน้ำเข้า การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ ไปจนถึงเมื่อหม้อไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้นั้น ระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปรทำงานได้อย่างค่อนข้างช้า เนื่องจากการควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Control) แต่หลังจากนั้นระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปรสามารถควบคุมระดับน้ำได้อย่างดีและมีประสิทธิภาพ เพราะสามารถรักษาระดับน้ำเมื่อต้องจัดการกับแบบทดสอบจากระบบจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำ และทำให้หม้อไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้อย่างมีเสถียรภาพ โดยจากตารางในรูปที่ 7.21 จะเป็นตารางสรุปการเปรียบเทียบระบบควบคุมทั้งสองแบบที่เห็นภาพชัดเจนขึ้น

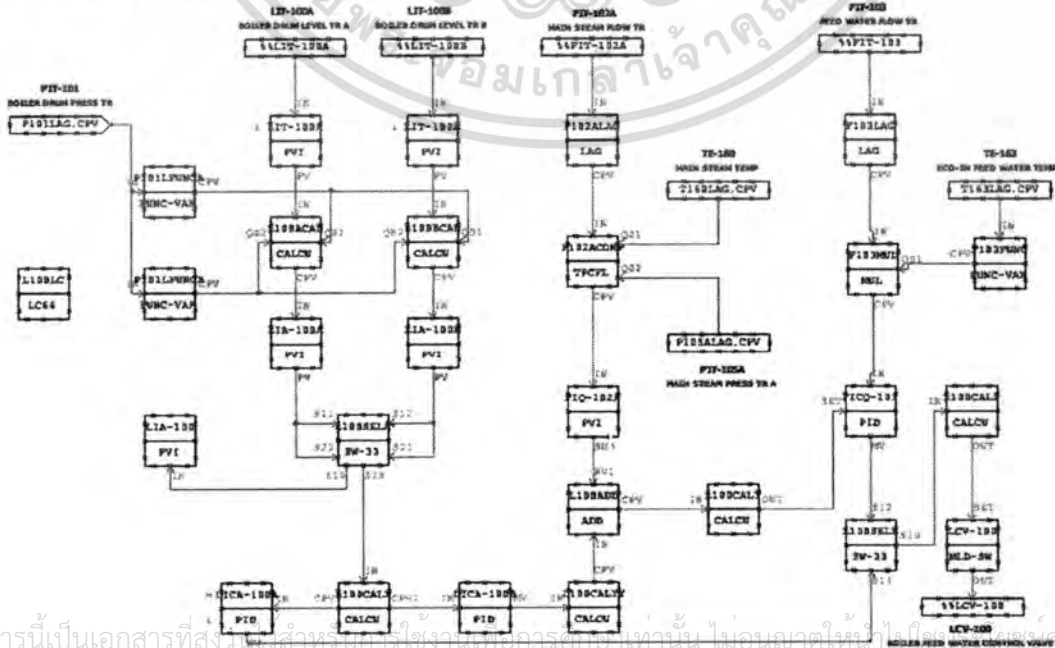
ลำดับ	รายละเอียด	One Element Control	Three Element Control
1	จำนวนครั้งของการ Trip ของระบบจากระดับน้ำที่ต่ำกว่า Low Low Level ที่ช่วงความดัน < 60 Bar (เฉลี่ยจากการทดสอบ 30 ครั้ง)	0.66	0.13
2	จำนวนครั้งของการ Trip ของระบบจากระดับน้ำที่ต่ำกว่า Low Low Level ที่ช่วงความดัน > 60 Bar (เฉลี่ยจากการทดสอบ 30 ครั้ง)	10.4	3.9
3	จำนวนครั้งของการการปล่อยน้ำออกจากหม้อไอน้ำ ที่ช่วงความดัน < 60 Bar (เฉลี่ยจากการทดสอบ 30 ครั้ง)	2.4	13.7
4	จำนวนครั้งของการการปล่อยน้ำออกจากหม้อไอน้ำ ที่ช่วงความดัน > 60 Bar (เฉลี่ยจากการทดสอบ 30 ครั้ง)	67.5	16.9
5	ปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยทิ้งเฉลี่ยจากระบบจ่ายลงหม้อไอน้ำแต่ละครั้ง (ลิตร)	14,943.55	3,741.42
6	ระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มดับปล่อยน้ำจำนวนน้ำถึงระดับที่กำหนด (นาที)	3.15	6.54

รูปที่ 7.21 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบควบคุมทั้งสองแบบ

7.6 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบผสมระหว่างแบบตัวแปรเดียวกับแบบสามตัวแปร

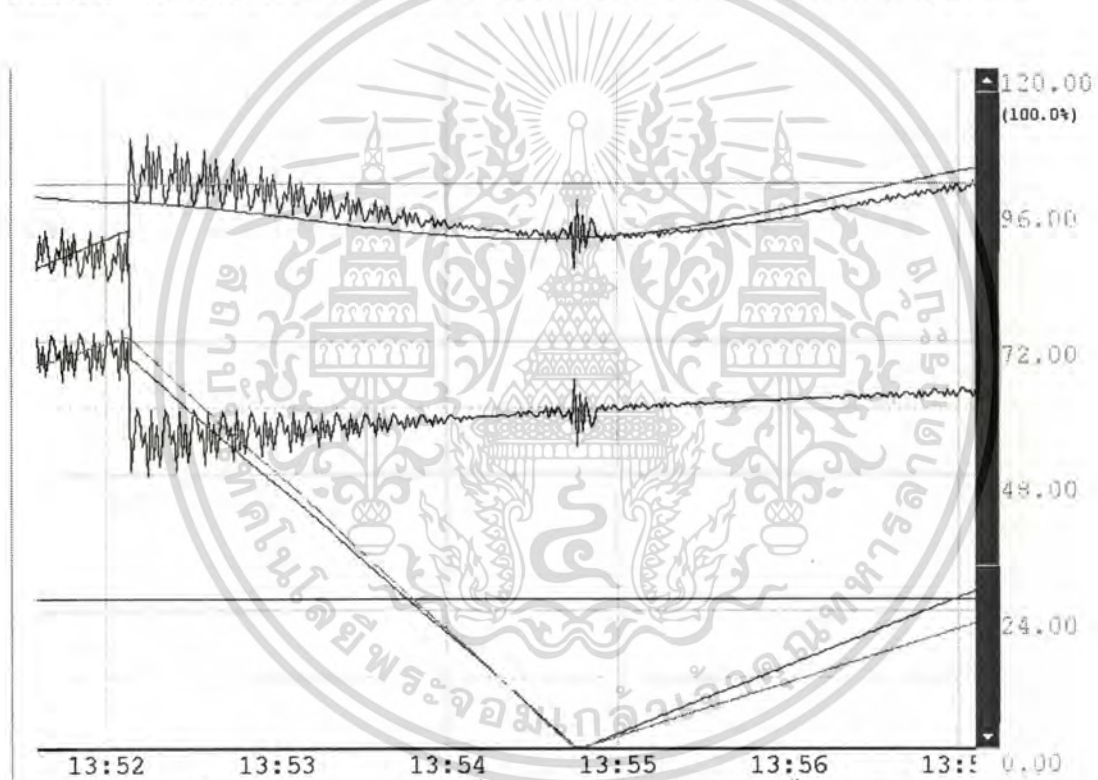
จากการเปรียบเทียบระบบควบคุมทั้งสองแบบนี้ สามารถนำข้อดีของระบบควบคุมทั้งสองแบบมารวมกันเป็น ระบบควบคุมแบบผสมระหว่างแบบตัวแปรเดียวกับแบบสามตัวแปร ดังแสดงในรูปที่ 7.22

BOILER DRUM LEVEL CONTROL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการฝึกอบรมเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากการค้า
ไม่ว่าการรูปที่ 7.22 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบผสมระหว่างแบบตัวแปรเดียวกับแบบสามตัวแปร นำมาใช้

โดยระบบควบคุมแบบผสมนี้เมื่อเริ่มต้นการทำงานของหม้อไอน้ำจะใช้ระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียวในการควบคุมว่าดัดน้ำเข้าเพราะสามารถที่จะทำงานได้อย่างรวดเร็ว และเมื่อหม้อไอน้ำเริ่มผลิตไอน้ำได้ และค่าความดันในหม้อไอน้ำเพิ่มสูงขึ้นถึง 60 Bar ระบบควบคุมจะเปลี่ยนไปใช้ระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปรในการจัดการกับระดับน้ำโดยอัตโนมัติ เพราะมีความเสถียรมากกว่า โดยระบบควบคุมแบบผสมจะเปลี่ยนรูปแบบการควบคุมเป็นตัวแปรเดียวเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าระดับน้ำต่ำ ประมาณ 60 % ของระดับน้ำ เพื่อให้การเติมน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับหม้อไอน้ำ ระบบควบคุมรักษาระดับน้ำแบบผสมจะเปลี่ยนการทำงานมาเป็นระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียว และเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างนี้ไปตลอดการทำงานของหม้อไอน้ำ ซึ่งจากรูปที่ 7.23 แสดงถึงการควบคุมระดับน้ำแบบผสมเมื่อมีการจ่ายไอน้ำอย่างต่อเนื่องที่สามารถรักษาระดับน้ำให้คงที่ได้อย่างต่อเนื่องเช่นกัน



รูปที่ 7.23 การควบคุมระดับน้ำแบบผสมเมื่อมีการจ่ายไอน้ำอย่างต่อเนื่อง

จากการทดลองความดันส่งผลกระทบต่อการทำงานของหม้อไอน้ำมากที่สุดจึงใช้เป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนรูปแบบการควบคุม เมื่อนำข้อดีของระบบควบคุมทั้งสองแบบมารวมกันเป็นระบบควบคุมแบบผสมสามารถที่จะทำงานได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง และมีความเสถียรมากกว่าการใช้ระบบควบคุมแบบใดแบบหนึ่งอย่างเดียว

บทที่ 8

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองระบบควบคุมรักษาระดับน้ำในหม้อไอน้ำเปรียบเทียบกับระหว่าง ระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียวกับระบบควบคุมแบบสามตัวแปร ซึ่งได้ข้อสรุปว่าระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียวว่าเหมาะสมสำหรับหม้อไอน้ำที่ผลิตไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิไม่สูงมากนัก ส่วนระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปรนั้นตอนเริ่มการทำงานของหม้อไอน้ำตั้งแต่การป้อนน้ำเข้า การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ ไปจนถึงเมื่อหม้อไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้นั้น ระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปรทำงานได้อย่างค่อนข้างช้า เนื่องจากการควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Control) แต่หลังจากนั้นระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปรสามารถควบคุมระดับน้ำได้อย่างดีและมีประสิทธิภาพ เพราะสามารถรักษาระดับน้ำเมื่อต้องจัดการกับแบบทดสอบจากระบบจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำ สามารถนำไปประยุกต์เป็นระบบควบคุมแบบผสมระหว่างระบบควบคุมแบบตัวแปรเดียวกับระบบควบคุมแบบสามตัวแปร ซึ่งนำข้อดีของระบบควบคุมแต่ละแบบมารวมกัน เพื่อให้เป็นระบบควบคุมสำหรับหม้อไอน้ำต่อไป

แต่เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้อาศัยการทดลองโดยการจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำขึ้นมาโดยการเขียนโปรแกรมเลียนแบบ การตอบสนองของหม้อไอน้ำกับระบบควบคุม ซึ่งเป็นข้อจำกัดของงานทดลองนี้ ที่ไม่สามารถทดลองระบบควบคุมระดับน้ำกับหม้อไอน้ำจริงจากข้อจำกัดเรื่องงบประมาณ ซึ่งผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตัวเลขของหม้อไอน้ำที่ใช้งานจริงอาจมีความแตกต่างกัน โดยผู้เขียนพยายามที่จะจำลองให้การทำงานของหม้อไอน้ำเสมือนการทำงานของหม้อไอน้ำที่ใช้งานจริงมากที่สุด แต่หม้อไอน้ำที่ใช้งานจริงนั้นย่อมมีตัวแปรอื่นๆอีกที่ ไม่ได้รวมเข้ามาในงานวิจัยชิ้นนี้ ผลการทดลองหรือกราฟการทดลองบางส่วนจึงคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง งานวิจัยนี้จึงอยากแสดงให้เห็นถึงผลการทดลองโดยรวมมากกว่าที่จะเจาะค่าผลการทดลองที่เป็นตัวเลข

ความคลาดเคลื่อนอีกอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้ ที่ไม่ได้เจาะลึกเพื่อศึกษาเนื่องจากเป็นตัวแปรควบคุมในการทดลอง คือการปรับค่าการควบคุมของตัวคำนวณค่าการควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) ซึ่งสามารถปรับแต่งค่า Proportional, Integral และ Derivative เพื่อให้ระบบควบคุมระดับน้ำทั้งสองแบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่านี้

ข้อเสนอแนะสำหรับงานทดลองในเรื่องแบบจำลองระบบการรักษาระดับน้ำในหม้อไอน้ำคือถ้ามีการเพิ่มเติม ปรับปรุงส่วนระบบควบคุมการเผาไหม้เข้าไปในการทดลองด้วยน่าจะทำให้ผลการทดลองมีความถูกต้องใกล้เคียงกับระบบการทำงานของหม้อไอน้ำได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Al Brandstatter, Howard Sawatzki, **New refractory concepts revive old boilers: control excess air for more efficient burning. : An article from: Food Processing**, 2002
- [2] David Lindsley, **Power-Plant Control and Instrumentation: The Control of Boilers and Hrsg Systems (IEE Control Engineering Series)**, 2004.
- [3] J. R. Abrial, **Formal Methods for Industrial Applications: Specifying and Programming the Steam Boiler Control (Lecture Notes in Computer Science)**, 1997.
- [4] Steven R. Warner, **Adaptive boiler controls market survey and appraisal of a prototype system (SuDoc D 103.53:FE-94/14)**, Sep 1994.
- [5] James Piper, **Boiler controls: A high-tech boost for performance: An article from: Maintenance Solutions**, May 2002.
- [6] The Japan Society of Mechanical Engineers, **JSME Steam**, 2004.
- [7] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE): **“Flash Tanks for Steam and Boiler Systems”** ASHRAE Journal, Atlanta, Ga., 1991.
- [8] American Society of Plumbing Engineers: **“Steam and Condensate Systems”** Data Book, Westlake, Calif., Chap. 38.
- [9] ASHRAE: **Fundamentals Handbook**, New York. 2002.
- [10] ITT Fluid Handling Division: **Training Manual TES 181, Hoffman Steam Heating Systems Design Manual and Engineering Data, Morton Grove, Ill. : Training Manual TES 582, High Temperature Condensate Return, Morton Grove, Ill.** National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors: **Recommendations for the Design and Construction of Boiler Blowoff Systems**, Columbus, Ohio, 1991.
- [11] Spirax-Sarco: **Design of Fluid Systems-Hook-ups**, Allentown, Pa., 1992.
- [12] Spirax-Sarco: **Design of Fluid Systems-Steam Utilization**, Allentown, Pa., 1991.
- [13] Yokogawa: www.yokogawa.com.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

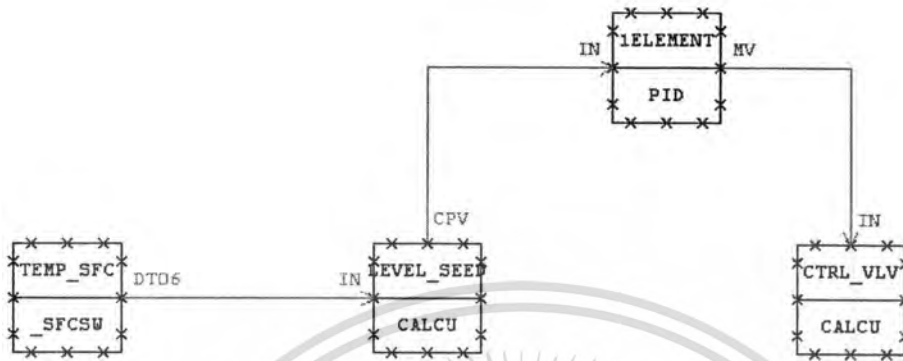


ภาคผนวก ก.

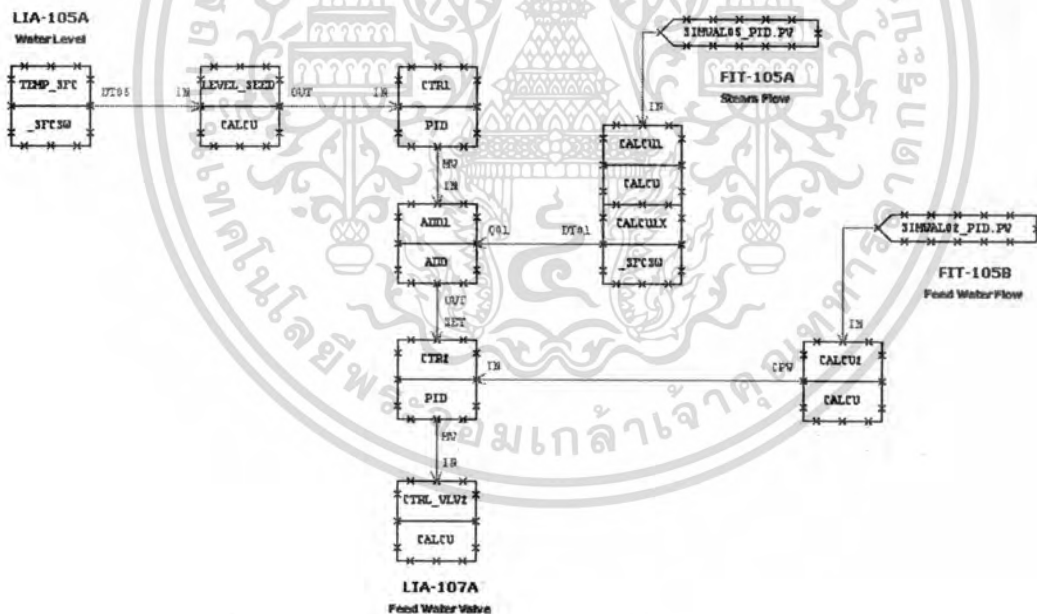
โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของหม้อไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control Loop Program for Boiler Simulation



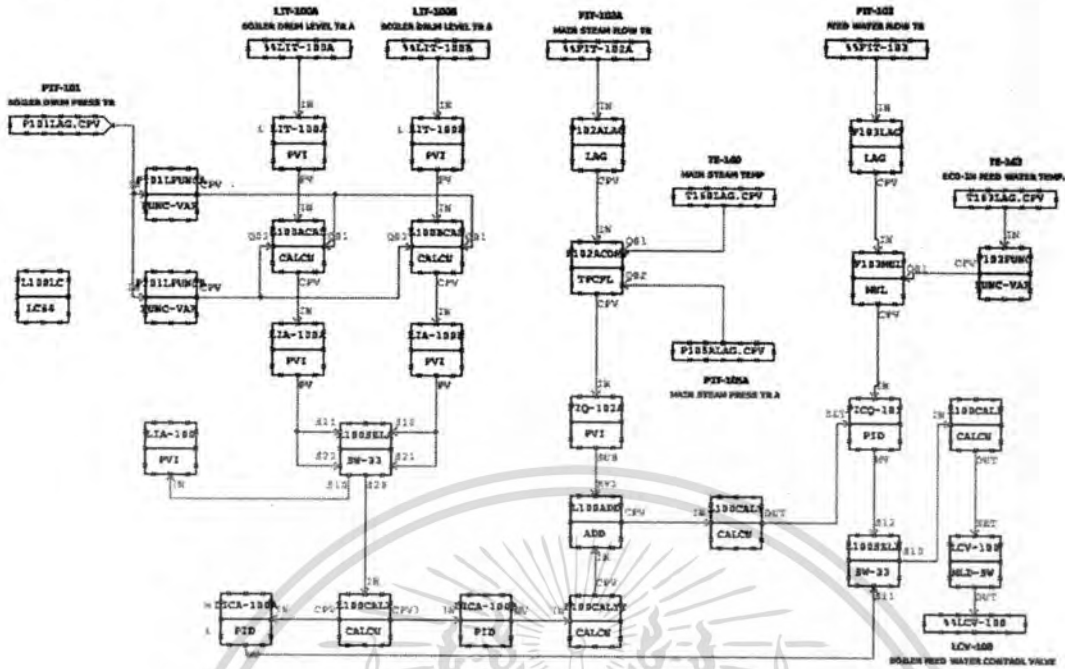
รูปที่ ก.1 โปรแกรมระบบควบคุมระดับน้ำแบบตัวแปรเดียว



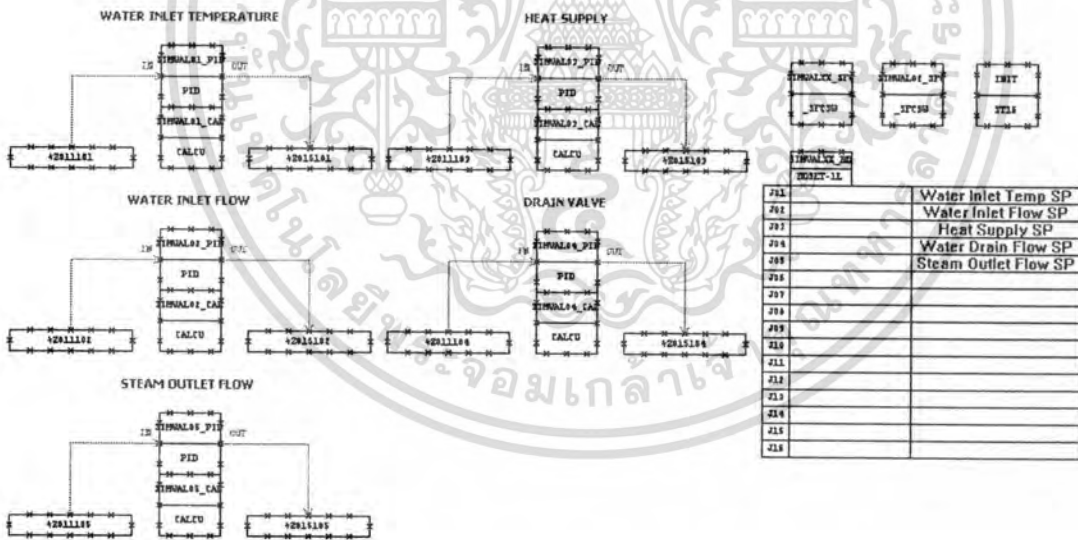
รูปที่ ก.2 โปรแกรมระบบควบคุมระดับน้ำแบบสามตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BOILER DRUM LEVEL CONTROL



รูปที่ ก.3 โปรแกรมระบบควบคุมระดับน้ำแบบผสม



รูปที่ ก.4 โปรแกรมจำลองค่าที่ไม่แน่นอนของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source code program Boiler Simulation

```

BLOCK SFC SIMVAL02_SFC
BLOCK %SW CTSW
BLOCK CALCU VALVE ALIAS CTRL_VLV
BLOCK PID INTEMP ALIAS SIMVAL01_PID
BLOCK PID INMASS ALIAS SIMVAL02_PID
BLOCK PID HEATSP ALIAS SIMVAL03_PID
BLOCK PID OUTMASS ALIAS SIMVAL04_PID
BLOCK PID OUTSTEAM ALIAS SIMVAL05_PID

BLOCK %SW VLV001, VLV002, VLV003, VLV004
FLOAT TEMP, TEMP2, BBRAT, FACT1

*****
!%.DT01 = WATER TEMP
!%.DT02 = WATER MASS
!%.DT03 = STEAM TEMP
!%.DT04 = STEAM MASS
!%.DT05 = HEAT CAPACITY
!%.DT06 = WATER LEVEL
!%.DT07 = STEAM PRESSURE
*****

CTSW.PV = 0
%.DT01 = 0                                !!INITIAL VALUE
%.DT02 = 0                                !!INITIAL VALUE
%.DT03 = 0                                !!INITIAL VALUE
%.DT04 = 0                                !!INITIAL VALUE
%.DT05 = 0                                !!INITIAL VALUE
%.DT06 = 0                                !!INITIAL VALUE
%.DT07 = 0                                !!INITIAL VALUE

VLV001.PV = 0                              !!INITIAL VALUE
VLV002.PV = 0                              !!INITIAL VALUE
VLV003.PV = 0                              !!INITIAL VALUE
VLV004.PV = 0                              !!INITIAL VALUE

```

LOOP:

```
IF (CTSW.PV = 0) AND (%.DT07 > 60) THEN
```

```
    CTSW.PV = 1
```

```
END IF
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

IF (CTSW.PV == 0) THEN
    %.DT00 = VALVE.RV          !ONE ELEMENT CONTROL
ELSE
    %.DT00 = VALVE.RV1       !THREE ELEMENT CONTROL
END IF

```

```

*****
*****

```

```
!001 WATER LEVEL CONVERSION
```

```
IF (%.DT02 > 0) THEN
```

```
    %.DT06 = (%.DT02/12500)*1000
```

```
END IF
```

```

*****
*****

```

```
!002 WATER LEVEL OVERFLOW
```

```
IF (%.DT06 > 7900) THEN
```

```
    VLV003.PV = 1
```

```
    %.DT02 = %.DT02-OUTMASS.PV    !DECREASE WATER IN TANK
```

```
ELSE
```

```
    VLV003.PV = 0
```

```
END IF
```

```

*****
*****

```

```
!MIXING WATER TEMPERATURE
```

```
IF (VLV001.PV == 1) AND (%.DT00 <> 0) THEN
```

```
    %.DT01 =
```

เอ (((((INMASS.PV*%.DT00)/100)*INTEMP.PV)+(%DT02*%.DT01))/(%DT02+((INMASS.PV*%.DT00)/100))

```
    %.DT02 = %.DT02+((INMASS.PV*%.DT00)/100)
```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขค่าเหล่านี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

END IF

!HEATING WATER

IF (VLV002.PV = 1) THEN

IF (%.DT01 < 100) AND (%.DT02 > 0) THEN

TEMP = ((HEATSP.PV*2)/(%.DT02*4.185))+ %.DT01

IF (TEMP >= 100) THEN

%.DT01 = 100

ELSE

%.DT01 = TEMP

END IF

END IF

IF (%.DT01 = 100) THEN

%.DT03 = 100

TEMP = (HEATSP.PV*8)/2256

TEMP2 = %.DT02 - TEMP

IF (TEMP2 > 0) THEN

%.DT02 = TEMP2

!UPDATE WATER MASS

%.DT04 = %.DT04 + TEMP

!UPDATE STEAM MASS

ELSE

%.DT01 = 0

%.DT02 = 0

END IF

END IF

END IF

!STEAM CONDENSE

IF (%.DT04 > 0) AND (VLV001.PV = 1) THEN

!IF STEAM MASS MORE THAN

ZERO

!AND VLV WATER INLET OPEN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*** STEAM MASS TO WATER MASS ***

```

TEMP = (((INMASS.PV*%.DT00)/100)*4185)*(%DT01-INTEMP.PV)/2256000
%.DT02 = %.DT02 + (TEMP/3)
TEMP2 = %.DT04 - (TEMP/3)
IF (TEMP2 < 0) THEN
    %.DT03 = 0
    %.DT04 = 0
ELSE
    %.DT04 = TEMP2
END IF

*** HEAT RELEASE FROM STEAM TO WATER ***

TEMP = (((INMASS.PV*%.DT00)/100)*(%DT01-INTEMP.PV))/(%.DT02*3)+%.DT01
IF (TEMP > 100) THEN
    %.DT01 = 100
ELSE
    %.DT01 = TEMP
END IF
END IF

*****
*****
!STEAM PRESSURE

!PV = nRT

IF (%.DT04 > 0) THEN          !IF STEAM MASS MORE THAN ZERO

    IF (VLV004.PV == 0) THEN  !IF VLV STEAM OUTLET CLOSE
        %.DT07 = ((%.DT04/18.015)*8.314*273)/100000
    ELSE
        %.DT07 = (((%.DT04/18.015)*8.314*273)/100000)*0.75
    END IF

END IF

*****
*****

!STEAM PRESS WATER LEVEL

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
!IF STEAM PRESS MORE THAN ZERO
```

```
!AND WATER LEVEL MORE THEN ZERO
```

```
IF (VLV004.PV == 0) THEN
```

```
    TEMP = %.DT06 - (%.DT07 *8)
```

```
ELSE IF (VLV004.PV == 1) THEN
```

```
    TEMP = %.DT06 + (%.DT07*8)
```

```
END IF
```

```
IF (TEMP < 0) THEN
```

```
    %.DT06 = 0
```

```
ELSE
```

```
    %.DT06 = TEMP
```

```
END IF
```

```
END IF
```

```
*****
*****
```

```
!BUBBLE ERROR
```

```
IF (%.DT01 > 50) AND (VLV002.PV == 1) THEN
```

```
!IF WATER TEMP MORE THAN 50
```

```
DEGREE
```

```
!AND HEAT SUPPLY VLV OPEN
```

```
IF (%.DT07 > 1) THEN
```

```
    BBRAT = ((%.DT01/30)*(%.DT01/30))-%.DT07
```

```
ELSE
```

```
    BBRAT = ((%.DT01/15)*(%.DT01/15))
```

```
END IF
```

```
IF (VLV004.PV == 1) THEN
```

```
    FACT1 = 2
```

```
ELSE
```

```
    FACT1 = 1
```

```
END IF
```

```
%.DT06 = %.DT06 +(SIMVAL02_SFC.DT99*BBRAT*FACT1)
```

```
END IF
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

*****
*****

!STEAM OUTLET

IF (VLV004.PV == 1) AND (%DT04 > 0) THEN

    TEMP = %DT04-OUTSTEAM.PV
    IF (TEMP > 0) THEN
        %DT04 = TEMP
    ELSE
        %DT03 = 0
        %DT04 = 0
    END IF
END IF

END IF

*****
*****

!DIFF LEVEL

%DT08 = ((%DT02/12500)*1000) - %DT06

*****
*****

DELAY 1000

GOTO LOOP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of Kasetsart University is a large, circular emblem in the background. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are two traditional Thai stupas (chedis) flanking a central decorative element. The entire emblem is surrounded by a circular border containing Thai text. The text at the top of the border reads 'มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์' (Mahavithayalai Kasetsart) and the text at the bottom reads 'พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (Phra Chomklao Chao Khan Thara Ladkrabang).

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. กิตติ ชนากรพิสูทธิ์, “หม้อไอน้ำระบบอัตโนมัติกับการอนุรักษ์พลังงาน (AUTOMATIC BOILER CONTROL AND ENERGY CONSERVATION)“, การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 44 ,31 มกราคม 2549 (The 44th Kasetsart University Annual Conference, 31 January 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อไอน้ำระบบอัตโนมัติกับการอนุรักษ์พลังงาน Automatic Boiler Control and Energy Conservation

ยศสิทธิ์ งามภักดิ์สิทธิ์ : อ.สุพรรณ ภูพานิชย์
Kitt Yanamolratol : Assoc. Prof. Supan Kapanich

บทคัดย่อ

หม้อไอน้ำหรือ Boiler เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญในโรงงานอุตสาหกรรม และมีการใช้ถึงกว่า ๑๖ ล้านเครื่องทั่วโลกในปัจจุบัน ดังนั้นจึงมีการนำระบบหม้อไอน้ำแบบอัตโนมัติหรือ Automatic Boiler โดยอัตโนมัติเข้ามาใช้ มีกรรมวิธี Automatic Boiler Control หรือ ABC เข้ามาช่วยในการควบคุม โดยใช้ Three-Element Control System ควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ ในหม้อไอน้ำแบบอัตโนมัติ ซึ่งได้แก่ การควบคุมระดับน้ำในถัง หรือ Drum Level Control และ การควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำ หรือ Steam Temperature Control นอกจากนี้ยังมีการควบคุมการปล่อยก๊าซออกซิเจนที่ปล่อย หรือ Nox gas oxygen control โดยคำนวณจากอัตราส่วน การใช้อากาศกับเชื้อเพลิงเมื่อมีการเผาไหม้สมบูรณ์ นอกจากนี้การทดสอบและเปรียบเทียบหม้อไอน้ำแบบเดิมที่มีเชื้อเพลิงและการใช้พลังงานลดลง จาก 1.8 หรือ 1.3 จะช่วยให้ลดการประหยัดต้นทุนได้มากกว่า 100,000 บาท ต่อปี ซึ่งระดับการประหยัดไอน้ำแบบอัตโนมัติในหม้อไอน้ำจะอยู่ที่ระดับร้อยละสามและ การประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น แต่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงสูงเกินไป และทำให้เป็นการประหยัดต้นทุนที่มากกว่าการใช้หม้อไอน้ำแบบธรรมดา

ABSTRACT

Steam Boiler is one of the most important equipment in the factory, and now added considerably the energy saving to the fuel consumption. Thus, the Automatic Boiler is presented. The operation of this boiler employs the Three-Element Control System to control drum level and the steam temperature. Besides, the calculation of air/fuel ratio in complete combustion process is applied to control flue gas oxygen. The results indicated that this boiler can save the money over 100,000 Baht/year when the fuel ratio is decreased from 1.8 to 1.3 (based on boiler operating at 10 T/hour at 60% load for one year and fuel cost is 20 Baht/kg.) Therefore, the automatic steam boiler has proven not only good for environment and energy saving but also to reduce the spending cost and generate annual saving greater than the original boiler.

Key word: automatic boiler, energy saving, complete combustion, three element control

Email address: kit.yanamolratol@itp.yokobondwa.com

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

INTRODUCTION

Automatic Boiler is a device which high-pressure and high-temperature steam is generated by burning fuel. The operation of this boiler is controlled by the Automatic Boiler Control or ABC which Three-Element Control System is applied to control the Drum Level and Steam Temperature. For Drum Level Control, the Three-Element Control System is employed to control the feed water flow to keep the water in drum level matching to the set point. For Steam Temperature Control, this control system is used to control the temperature of steam which has to match an appropriate value. Another significant part of boiler which has to be controlled is Combustion. The calculation of air/fuel ratio is utilised to control the air and fuel in boiler which have to be proportional for the complete combustion. The advantages of the Automatic Boiler are to reduce fuel consumption which can save the energy and the operation cost. Besides, the proper of air/fuel ratio causes the complete combustion which can reduce the air pollution such as fumes, smoke, etc.

METHODOLOGY

The Automatic Boiler has three main parts to control which are Drum Level control, Steam Temperature Control and Combustion Control. In the past, the Single Element Control Loop is applied to control this boiler but there are many disadvantages. Firstly, it is hardly to calculate an accurate measurement for heavy loads. Secondly, there are many errors in drum level. Lastly, when load changes, the response of controller is quite slow. There are many means to improve the control of the automatic boiler. First of all, feed forward; its advantage is quick response to feed water flow when the steam flow changes. Second of all, the feedback from feed water flow; a benefit is to get exactly feed water flow rate. Third of all, Three-Element Control System which combines with three single element control loops. Finally, the cascade control which composes of faster flow controller and slower level controller. The Three-Element Control Loop is emphasised on this study. The pros of Three-Element Control System are fast flow controller exactly matches feed water flow to steam flow, drum level does not change when steam load increases or decreases and slow level controller ensures that level remains at set point even if there are flow calibration errors and provides the excellent control. Besides, the flow measurements are accurate.

To control drum level of boiler by using Three-Element Control System; drum level computation, swelling and shrinkage compensation and feed water pressure variations. To calculate drum level, the compensation and the errors of raw data are required since at high pressure (more than 10 bars) the density of steam increases whereas the density of saturated water decreases. For shrinkage and

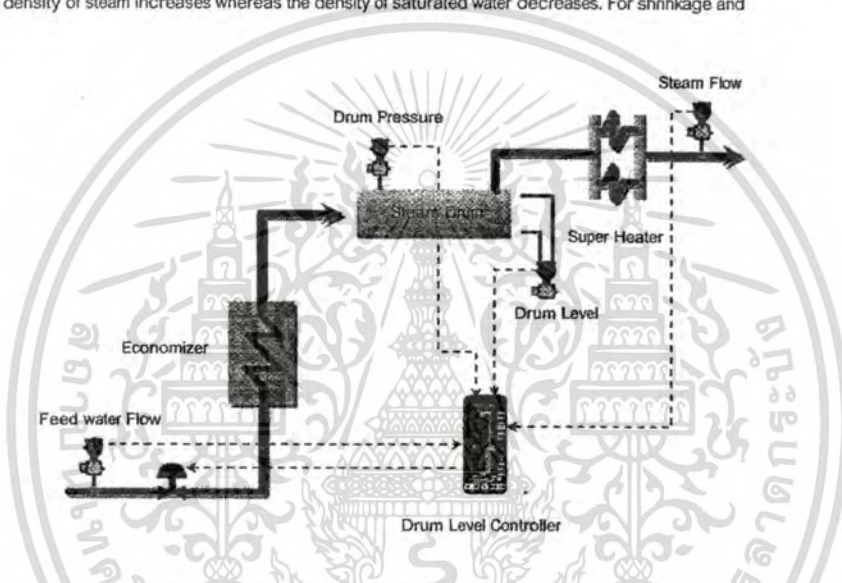


Figure 1 : The feed water process of boiler by using three element control method.

swell, the steam bubbles in boiler water tubes affects to drum water level. Swell is called when the load goes up suddenly, the pressure decreases and the temperature increases which cause the increase of drum level. Whereas shrinkage is called when the load goes down quickly, the pressure increases and the temperature decreases which cause the decrease of drum level. Besides, shrinkage is also called when cold feed water is rapidly increased; the steam is generated in decreasing rate. To minimize shrinkage and swell, the Three-Element Control System is applied to control the pressure and the flow rate of feed water.

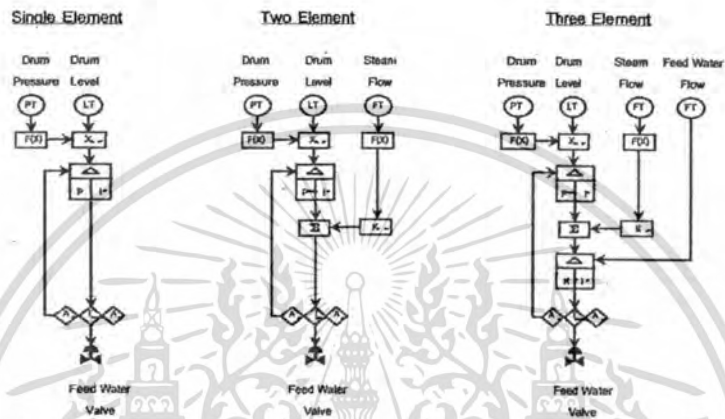


Figure 2 : The single element control loop, the second element control loop and the three element control loop.

Besides, the temperature of boiler is another significant factor to be considered. Many problems occur if the temperature control is neglected. For example, if the steam temperature is too high, the equipment will be damaged by the thermal. On the other hand, if the steam temperature is too low, the equipment efficiency is reduced, especially rotating machine such as steam turbine. To control temperature, feed forward from steam flow is applied in case of slow response due to long time constant whereas cascade loop is employed in case of quick response to change in spray flow.

The combustion control, combustion is the combination of fuel (H_2 Hydrogen and C Carbon) and air (O_2) with heat produced and carried by the mass of flue gas generated. Optimum combustion is maximum heat with minimum fuel consumption. The products of optimum combustion are Water, Steam (H_2O) and Carbon Dioxide (CO_2). Contrary, incomplete combustion is disproportionate amount of air and fuel which causes energy loss and pollution. The products of incomplete combustion are not only Water, Steam and Carbon Dioxide but also Carbon Monoxide (CO), Hydrogen (H_2), Aldehyde (CHO). If too much air is fed to combustion room, the heat is taken out and the air pollution is increased due to the NO_x formations.

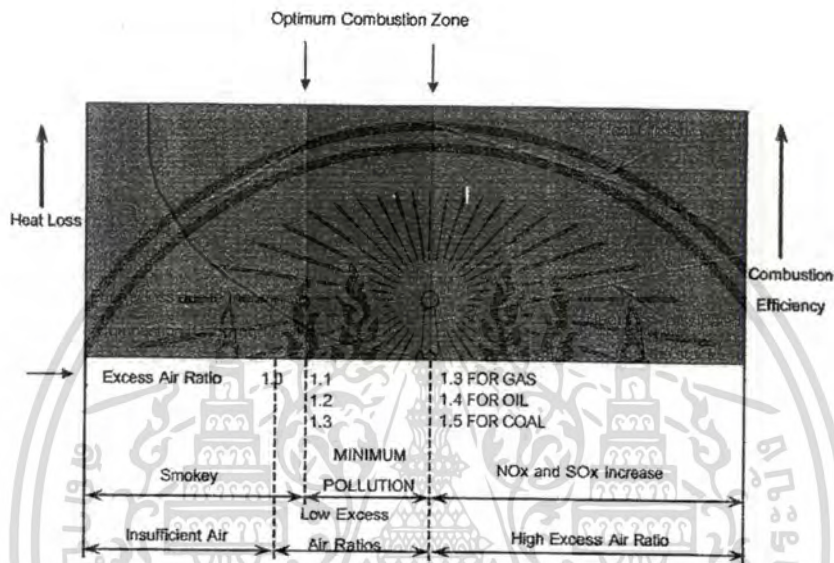


Figure 3 : The optimum combustion zone

In the past, the air flow control is measured by eye observation and then adjusted air to have a proportion with fuel. Too much air is spent and the cost of excess air is very high. Air flow set point is a function of fuel flow. Therefore, it is necessary to control air flow which matches with fuel usage. When air flow matches fuel with safety margin, the energy efficiency is improved.

The formula to calculate fuel cost reduction of boiler is as following;

$$E = P \times f \times W \times T \times q \dots 1$$

E stands for Fuel cost reduction amount per year (Baht/year), P stands for Fuel unit price (Baht/ litre)

f stands for Fuel spending amount (litre / ton), W stands for Boiler's steam amount (ton / h)

T stands for Operating hour per year (h / year) and q stands for Fuel reduction rate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fuel saving rate due to oxygen control is derived from

$$q = \frac{(m_1 - m_2) \cdot A \cdot C_g \cdot (t - t_a)}{HI} \dots 2$$

m_1, m_2 : air ratio with high and low excess air, A : ideal air required to burn 1 kg fuel, C_g : av specific heat of waste gas, t : waste gas temperature, t_a : ambient temperature, HI : heat content of fuel and this formula can be expressed graphically in figure 4.

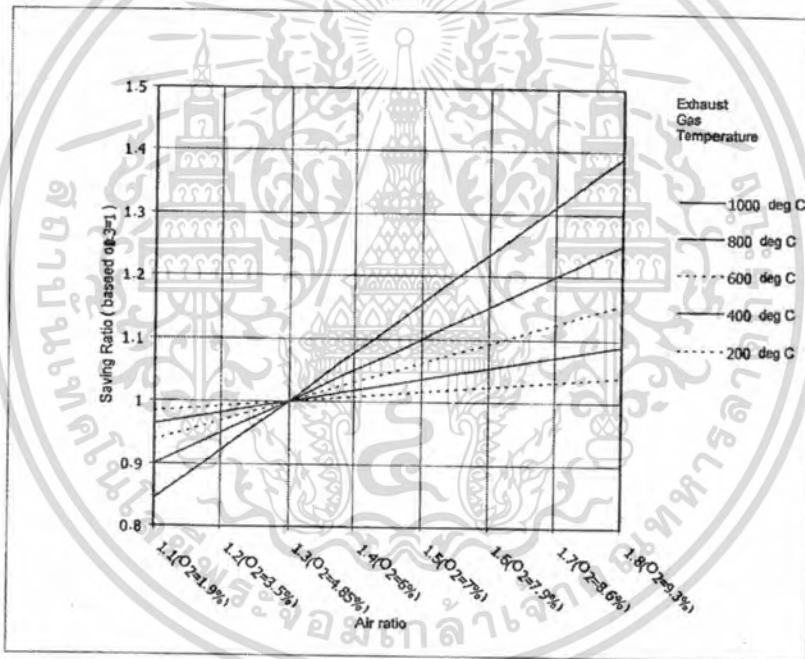


Figure 4 : Fuel saving ratio

From the figure 4, it is shown that when air fuel ratio is reduced from 1.8 to 1.3, the energy is saved around 4%, assumed flue gas temperature is 200°C. Besides, when the boiler operates for 10 T/hour at 80% load for 1 year, the annual cost is saved over 100,000 Baht; assumed fuel cost is 20 Baht/litre.

Focus on the plant which the boiler is a main part in the process and the conditions are the followings, flue gas temperature : $t=200$ (deg.C), Ambient temperature : $t_a=20$ (deg.C), Average specific heat at constant pressure of flue gas : $C_g=0.33$, C Heavy Oil No.2's theoretical air amount for combustion : $A_0=10.5$ (Nm³/Kg), C Heavy Oil No.2's lower calorific value : $HL=9710$ (Kcal / Kg), Fuel spending amount : $f=80$ (liter / ton), Boiler's steam amount : $W=10$ (ton / h), Average load of boiler =80 (%). Operating hour per year : $T=7000$ (h / year), O₂ concentration before O₂ control: O₂'=5 (%), O₂ concentration after O₂ control: O₂"=3 (%), Fuel price: $P= 20$ (Baht/ liter), Then 860,000 Baht per year fuel cost reduction is expected. (Assumed that flue gas temperature before and after O₂ control are stable.)

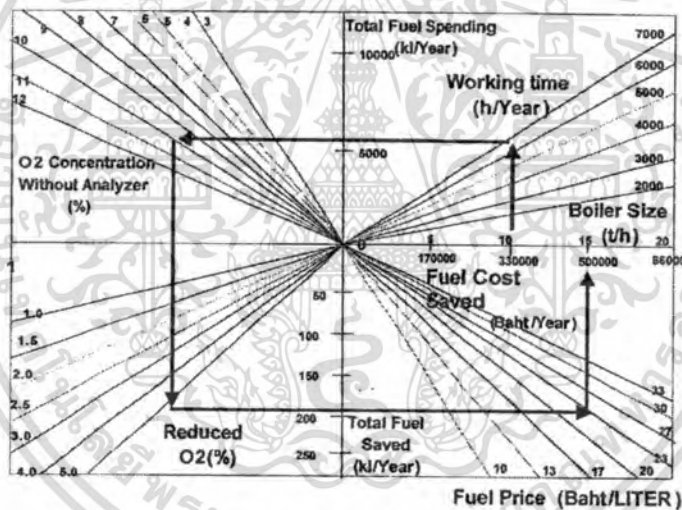


Figure 5 : Fuel cost saved by optimum O₂ control

From figure 5, it is shown that the optimum O₂ control can save energy cost. When the air fuel ratio reduces from 1.8 to 1.3, the annual cost is saved over 400,000 Baht, assumed the power of fan is 30 kW FD, electricity cost 0.5 Baht/kWh. It is concluded that the reduction of excess air is profitable and get the fast pay back of investment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CRITICISM

To save energy, the factory should be use an automatic steam boiler instead of the original one in the process. As mentioned above, not only to conserve the limited existing energy but to reduce the air pollution. However, This research is studied for a period of time perhaps are not completely enough. The more the study is developed, the more the energy saving is efficient.

CONCLUSION

To improve the efficiency of steam boiler, it is necessary to study the characteristic of each function. There are many methods which have studied like drum level control and steam temperature control with Three-Element control: Flue Gas Oxygen Control With the air adjusted to exactly the correct amount and the Oxygen probe ensures correct air for fuel to minimise heat wastage, "O₂" controller sets correct air/fuel ratio to avoid the problems of "too much" or "too little". When these means are applied to use with the automatic steam boiler, there are many advantages like more stable drum level, more stable steam pressure, more stable superheated steam temperature, more efficient and effective combustion, more efficient distribution of boiler loads, more efficient distribution of steam and large cost saving.

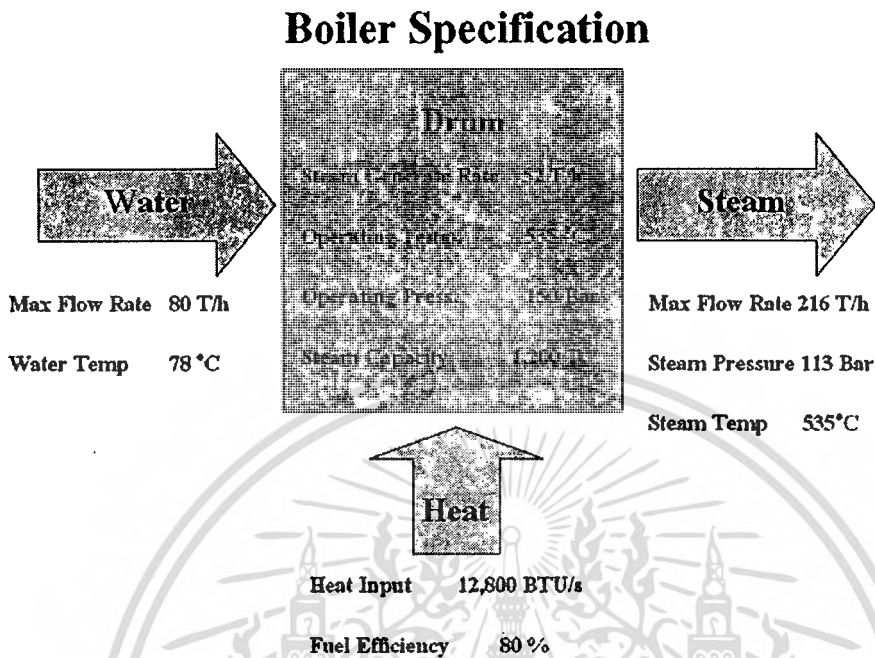
REFERENCES

1. New refractory concepts revive old boilers: control excess air for more efficient burning. : An article from: Food Processing by Al Brandstatter, Howard Sawatzki
2. Power-Plant Control and Instrumentation: The Control of Boilers and Hrsg Systems (IEE Control Engineering Series) by David Lindsley
3. Formal Methods for Industrial Applications: Specifying and Programming the Steam Boiler Control (Lecture Notes in Computer Science) by J. R. Abrial (Editor), et al (Paperback - February 1997)
4. Adaptive boiler controls market survey and appraisal of a prototype system (SuDoc D 103.53:FE-94/14) by Steven R. Warner
5. Boiler controls: A high-tech boost for performance: An article from: Maintenance Solutions by James Piper (Digital)



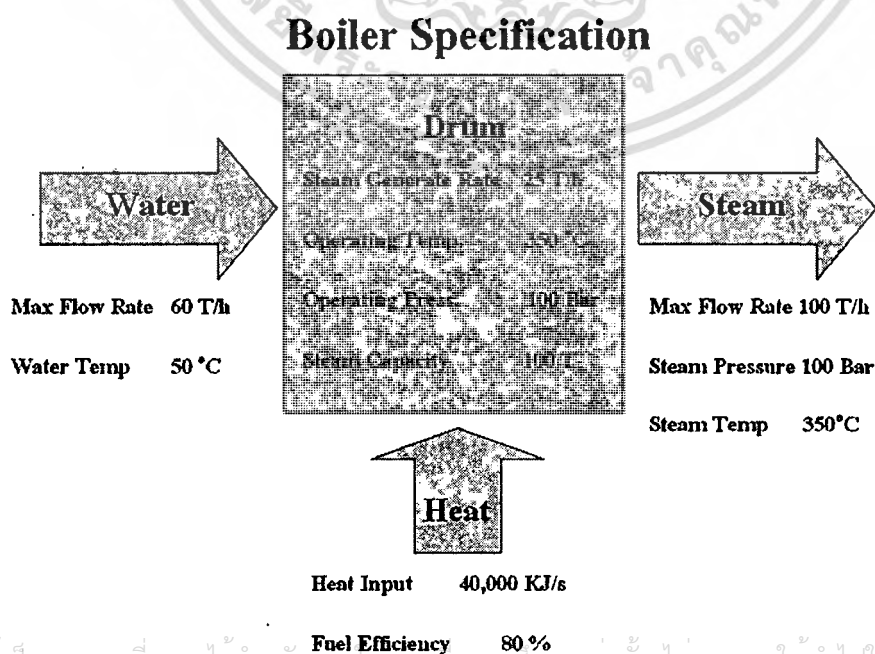
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Boiler Specification for Boiler at Khon Kean Sugar Power Plant



รูปที่ ค.1 Flow Chart แสดงพลังงานและปริมาณต่างๆที่เข้าและออกจากหม้อไอน้ำจริง (จากหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้าของโรงงานน้ำตาลจังหวัดขอนแก่น)

Boiler Specification for Simulation Boiler



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ารูปที่ ค.2 Flow Chart แสดงพลังงานและปริมาณต่างๆที่เข้าและออกจากหม้อไอน้ำจำลองที่นำมาใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

นายกิตติ ษนากรพิสุทธิ์

วัน เดือน ปีเกิด

23 พฤษภาคม พ.ศ.2523

ที่อยู่

20/47 ถ.มิตรภาพ ต.สูงเนิน

อ.สูงเนิน จ.นครราชสีมา 30170

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน

- 1.) ออกแบบระบบควบคุมด้วย PLC
- 2.) ออกแบบระบบควบคุมด้วย DCS

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

- 1.) บริษัท โยโกกาวา (ประเทศไทย) จำกัด YOKOGAWA THAILAND LTD.
ตำแหน่งวิศวกรระบบ (System Engineer)
ผลงานที่เคยรับผิดชอบ
 - ระบบควบคุมในโรงงานของบริษัท KAO Industrial Thailand
ในส่วนของ E-Plant
 - ระบบควบคุมหม้อไอน้ำสำหรับโรงไฟฟ้าของ
โรงงานน้ำตาลขอนแก่น (Khon Kean Sugar, KKS)
 - ระบบควบคุมส่วนจ่ายน้ำมันของบริษัท สตาร์ ปิโตรเลียม
(Star Petroleum and Refining Company, SPRC) และ โรงกลั่นระยอง
(Rayong Refining Company, RRC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้