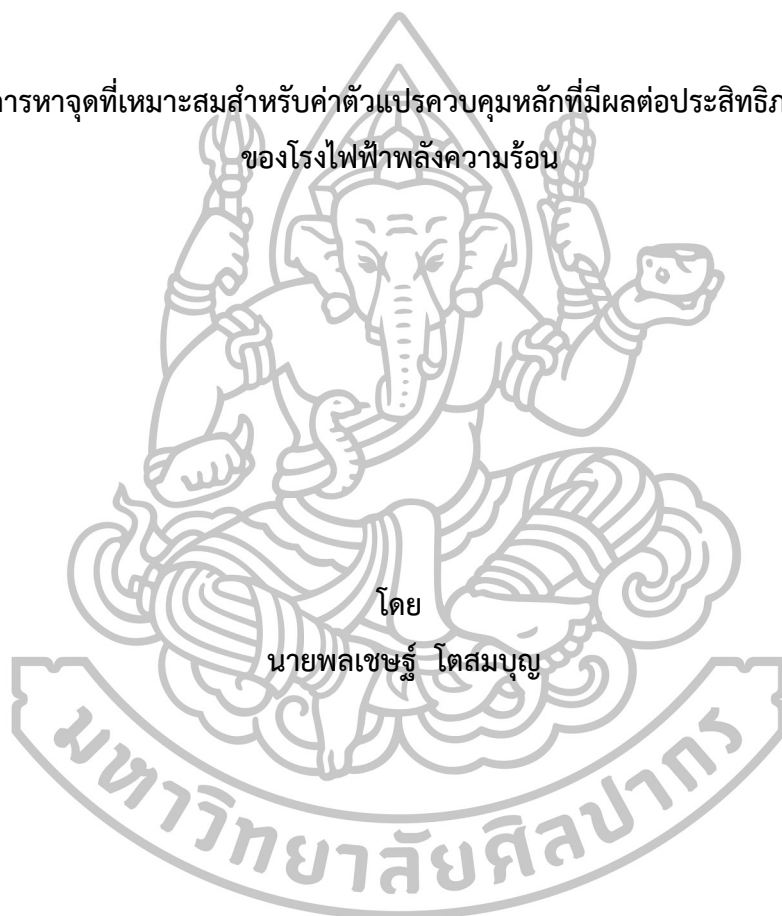




การหาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรควบคุมหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพ
ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน



โดย
นายพลเชษฐ์ โตสมบุญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การหาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรควบคุมหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพ
ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

OPTIMIZATION OF MAIN INFLUENTIAL CONTROL PARAMETERS ON
THE THERMAL POWER PLANT EFFICIENCY



By
Mr. Polachate Tosomboon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
Master of Engineering Program in Energy Engineering
Department of Mechanical Engineering
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2015
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การหาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรควบคุมหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ” เสนอโดย นายพลเชษฐ์ โตสมบุญ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศน์วงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทสพล เขตเจนการ

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระศักดิ์ หุดากร)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล)

...../...../.....

..... กรรมการ

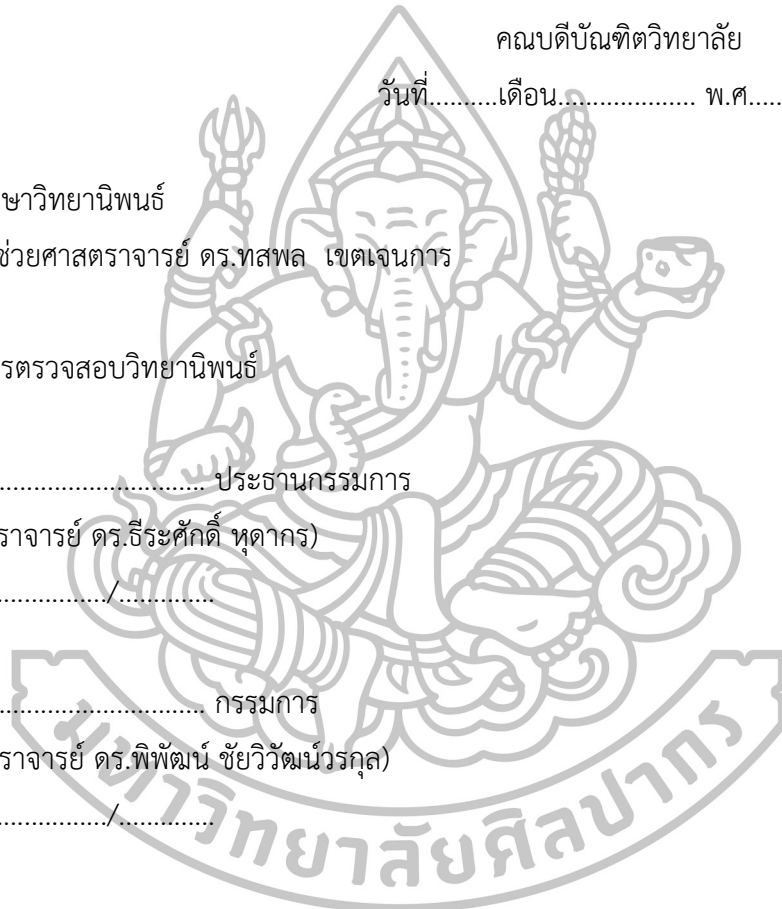
(อาจารย์ ดร.ณัฐ ธีษะพงษ์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทสพล เขตเจนการ)

...../...../.....



54406309 : สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า/การหาจุดที่เหมาะสม/ตัวแปรควบคุม/การวิเคราะห์เชิงตัวเลข

พลเชษฐ์ โตสมบุญ : การหาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรควบคุมหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.ทสพล เขตเจนการ. 108 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนตัวอย่างด้วยการปรับแต่งตัวแปรควบคุมกระบวนการทำงาน ซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขระหว่างประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ากับค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โดยในการวิเคราะห์จะทำการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์เพื่อทำนายหาจุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรควบคุมหลัก 4 ตัวแปร ที่จะทำให้โรงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุดที่ภาระกำลังการผลิตที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องอยู่เป็นประจำที่ 245 และ 300 MW แต่จากข้อจำกัดที่ไม่สามารถทดลองกับโรงไฟฟ้าจริงได้เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อค่าความพร้อมจ่ายของโรงไฟฟ้าและอาจมีผลกระทบทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ของโรงไฟฟ้าได้ งานวิจัยนี้จึงได้นำผลที่ได้จากสมการคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองของโรงไฟฟ้า ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าสูงสุดเมื่อเดินเครื่องโรงไฟฟ้าที่จุดเหมาะสมของค่าตัวแปรควบคุมหลัก 4 ตัวแปร ที่ภาระกำลังการผลิต 245 และ 300 MW ค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 38.67% และ 39.10% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปีพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าได้เท่ากับ 1.78% และ 1.49% ตามลำดับ คิดเป็นต้นทุนค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่โรงไฟฟ้าใช้เดินเครื่องใน 1 วันเท่ากับ 711,228 และ 746,952 บาทตามลำดับ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

54406309 : MAJOR : ENERGY ENGINEERING

KEY WORD : POWER PLANT EFFICIENCY/ OPTIMIZATION/ CONTROL PARAMETERS/
NUMERICAL ANALYSIS

POLACHATE TOSOMBOON : OPTIMIZATION OF MAIN INFLUENTIAL CONTROL
PARAMETERS ON THE THERMAL POWER PLANT EFFICIENCY. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. DR. THOSAPON KATEJANEKARN, D.Eng. 108 pp.

This research was an attempt to increase the power plant efficiency by adjusting the process control parameters resulted from numerical analysis of the power plant efficiency and its relevant operating parameters. The optimum values of the four main control parameters that would make the power plant run at the maximum efficiency were evaluated for two regular load levels of 245 and 300 MW. The optimum values from the model were validated against the plant simulator due to the fact that it was too risky to try with the real power plant. The results showed that if the plant was operated at the optimum combinations of the main control parameters, the efficiency of the plant at the load levels of 245 and 300 MW would be 38.59% and 39.35%, respectively. From the operating data during the last 2 years, the plant efficiency at these two load levels would be improved by 1.78% and 1.49% which is equivalent to natural gas cost savings of 711,228 Baht/day and 746,952 Baht/day, respectively.

Department of Mechanical Engineering

Graduate School, Silpakorn University

Student's signature

Academic Year 2015

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล เขตเจนการ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำตลอดจนถ่ายทอดประสบการณ์ความรู้ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัยและงานวิจัยในครั้งนี้ ส่งผลให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความถูกต้องครบถ้วนและสมบูรณ์

ขอขอบคุณคุณแม่และสมาชิกในครอบครัวที่คอยสนับสนุน ส่งเสริมและให้กำลังใจ ซึ่งช่วยเป็นพลังและแรงบันดาลใจให้ผู้วิจัยสามารถศึกษาและทำงานวิจัยครั้งนี้ได้สำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่ร่วมเรียนร่วมศึกษามาด้วยกัน ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจซึ่งกันและกันจนสามารถทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

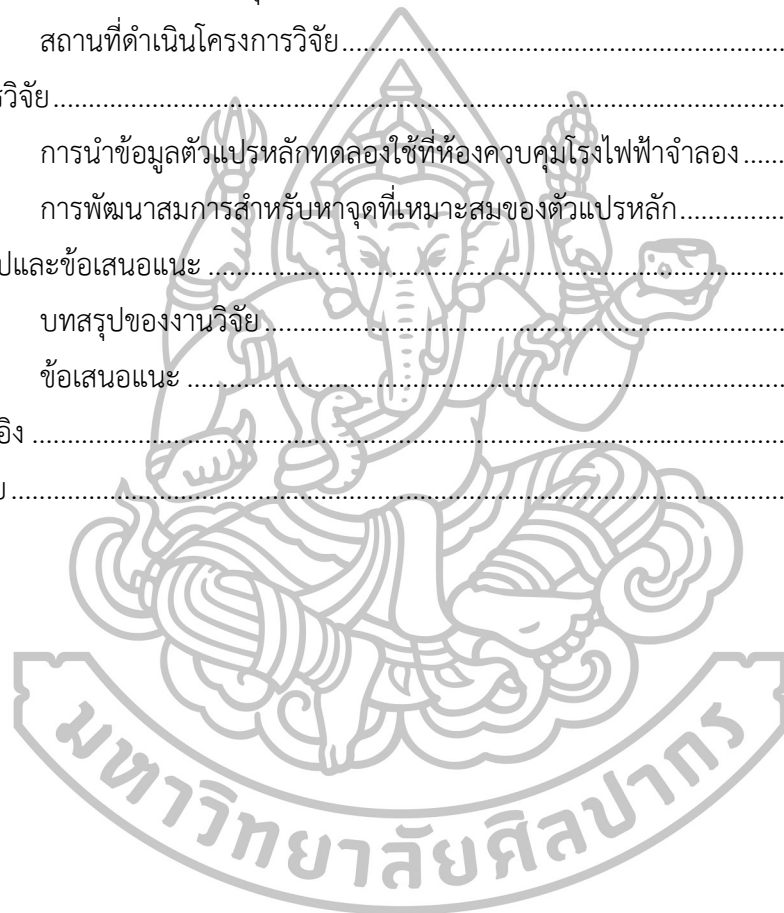
คุณค่าหรือประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อมบูชาแต่พระคุณบิดามารดา ครูอาจารย์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาและอบรมสั่งสอน แนะนำ ให้การสนับสนุนและกำลังใจอย่างดียิ่งเสมอมา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	9
แนวคิดของงานวิจัย.....	9
ขอบเขตของงานวิจัย.....	10
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	10
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	11
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	12
ประเภทของโรงไฟฟ้า.....	12
ส่วนประกอบหลักของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน	13
ประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อน.....	21
หลักการทำงานพื้นฐานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน.....	23
ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน.....	29
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	31
การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ.....	33
การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์.....	36
เครื่องมือทางสถิติที่ใช้เปรียบเทียบผลจากการตรวจวัดและผลจากแบบจำลอง	37
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ในงานวิจัย.....	38
ผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพจากการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรหลัก	40
3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	52
การวางแผนและการเตรียมการ.....	53
การศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	55
การรวบรวมและสรุปข้อมูลการะกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า.....	55

บทที่	หน้า
การพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า.....	56
การคัดเลือกและเก็บข้อมูลตัวแปรหลักที่กระทบกำลัการผลิตที่สรุปไว้.....	57
การนำข้อมูลตัวแปรหลักทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง.....	57
การพัฒนาสมการสำหรับหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลัก.....	57
การนำค่าจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลักทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง	58
การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	58
สถานที่ดำเนินโครงการวิจัย.....	59
4 ผลการวิจัย.....	60
การนำข้อมูลตัวแปรหลักทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง.....	61
การพัฒนาสมการสำหรับหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลัก.....	63
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	101
บทสรุปของงานวิจัย.....	101
ข้อเสนอแนะ.....	103
รายการอ้างอิง.....	104
ประวัติผู้วิจัย.....	108



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพและอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ ด้วยเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ	3
1.2 รายชื่องานวิจัยและวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพ	4
2.1 ข้อมูลค่าเอนทาลปีที่อุณหภูมิคงที่และที่ความดันต่างๆ ของไอน้ำยวดยิ่ง	41
2.2 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความดันของไอน้ำยวดยิ่ง	42
2.3 ข้อมูลค่าเอนทาลปีที่ความดันคงที่และที่อุณหภูมิต่างๆ ของไอน้ำยวดยิ่ง	42
2.4 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง	43
2.5 ข้อมูลค่าเอนทาลปีที่อุณหภูมิคงที่และที่ความดันต่างๆ ของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	43
2.6 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความดันของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	44
2.7 ข้อมูลค่าเอนทาลปีที่ความดันคงที่และที่อุณหภูมิต่างๆ ของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	45
2.8 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	45
2.9 ข้อมูลค่าปรับแก้ของอัตราการใช้ความร้อนเมื่ออัตราการไหลน้ำลดอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง	46
2.10 ข้อมูลแสดงค่าอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความดันในเครื่องควบแน่น	48
2.11 ข้อมูลค่าเอนทาลปีที่ความดันคงที่และที่อุณหภูมิต่างๆ ของน้ำป้อนสุดท้าย	49
2.12 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของน้ำป้อนสุดท้าย	50
2.13 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ	51
2.14 สรุปการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่อผลของประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน เมื่อกำหนดให้ค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าคงที่ ..	51
3.1 แผนการดำเนินงาน	54

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลกระทบต่อประสิทธิภาพเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร 1 หน่วย.....	60
4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าตัวแปรหลักระหว่างโรงไฟฟ้ากับห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง....	61
4.3 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW	63
4.4 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ของตัวแปรหลักที่ 245 MW	73
4.5 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ของตัวแปรที่มีนัยสำคัญที่ 245 MW	73
4.6 ค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW	74
4.7 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้า ของเครื่องกังหันไอน้ำและค่าความคลาดเคลื่อนสะสม.....	76
4.8 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนสะสม	79
4.9 ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพของระบบต่างๆ	80
4.10 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW.....	81
4.11 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ของตัวแปรหลักที่ 300 MW	91
4.12 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ของตัวแปรที่มีนัยสำคัญที่ 300 MW	91
4.13 ค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW	92
4.14 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้า ของเครื่องกังหันไอน้ำและค่าความคลาดเคลื่อนสะสมที่ 300 MW.....	93
4.15 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนสะสม	96
4.16 ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพของระบบต่างๆ	97
5.1 ค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW	102
5.2 ค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW	102

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 สถิติความต้องการไฟฟ้าสูงสุดปี 2533-2555	1
1.2 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าปี 2554-2555	2
2.1 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler).....	14
2.2 หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler).....	15
2.3 ส่วนประกอบหลักของเครื่องกำเนิดไอน้ำ	16
2.4 วงจรการไหลเวียนของน้ำและไอน้ำผ่านถังพักไอน้ำ	17
2.5 ลักษณะภายในถังพักไอน้ำ	18
2.6 ตัวถัง ใบพัดนิ่ง และใบพัดหมุน	20
2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	20
2.8 การเปลี่ยนสถานะของน้ำเมื่อได้รับความร้อน.....	24
2.9 โดมไอ (Vapor dome).....	24
2.10 วัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot cycle).....	25
2.11 วัฏจักรแรงคิน (Rankine cycle).....	25
2.12 การลดอุณหภูมิเครื่องควบแน่นในวัฏจักรแรงคิน	26
2.13 การเพิ่มอุณหภูมิไอน้ำที่เข้าเครื่องกังหัน	26
2.14 การเพิ่มความดันไอน้ำที่เข้าเครื่องกังหันโดยควบคุมให้อุณหภูมิสูงสุดคงที่	27
2.15 วัฏจักรแรงคินเหนือวิกฤต.....	27
2.16 วัฏจักรแรงคินที่มีการให้ความร้อนซ้ำ	28
2.17 วัฏจักรรีเจนเนอเรชันในอุดมคติ	28
2.18 ตัวอย่างวัฏจักรแรงคินมีเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบปิด	29
2.19 ส่วนประกอบโดยรวมโรงไฟฟ้าพลังความร้อน.....	30
2.20 แผนภาพแสดงตำแหน่งตัวแปรทั้ง 12 ตัวแปรในกระบวนการของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน.	40
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	53
3.2 โครงสร้างเครือข่ายระบบ PI system	56
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW	69
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันในเครื่องควบแน่นกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW	70

รูปที่	หน้า
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW	71
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกินกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW	72
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า ที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW	87
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันในเครื่องควบแน่นกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า ที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW	88
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า ที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW	89
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกินกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า ที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW	90



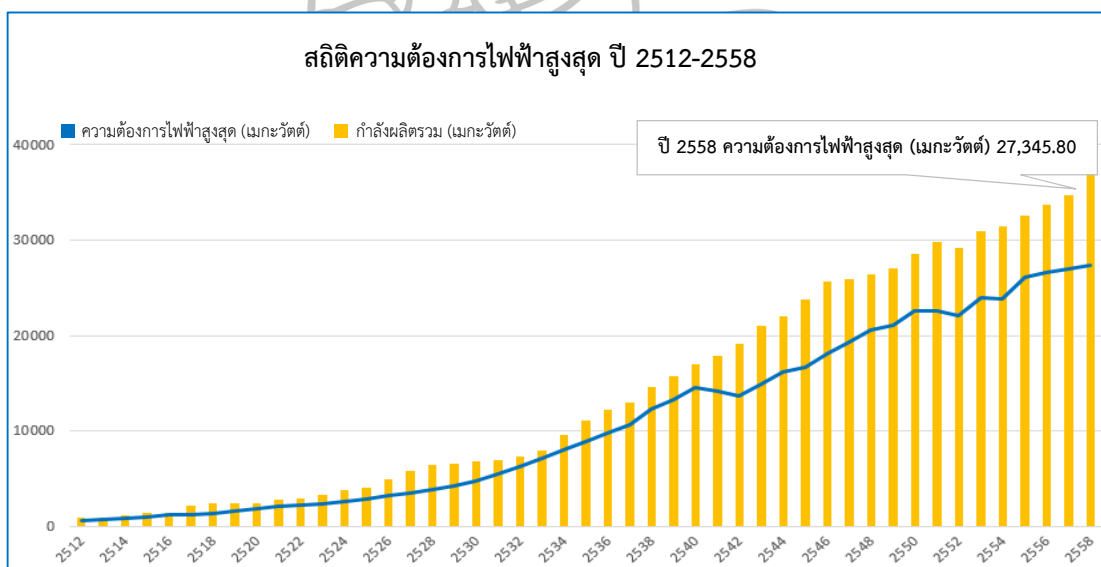
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน การใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากการบริโภคพลังงานที่มากขึ้นและแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นเชื้อเพลิงในการนำมาผลิตพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด รวมทั้งปัจจัยด้านต้นทุนพลังงานที่สูงขึ้นและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยมลภาวะที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตพลังงานที่มากขึ้น

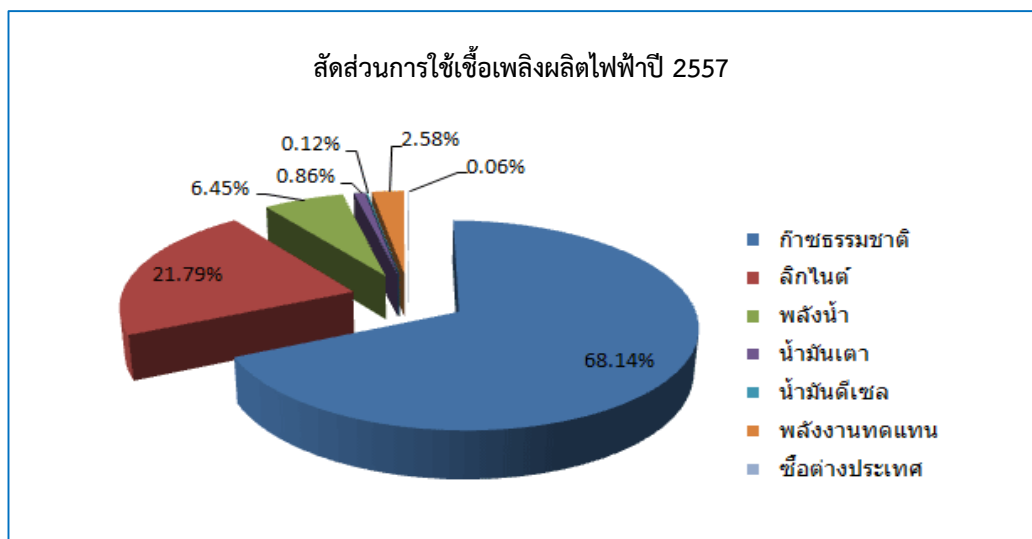
สำหรับประเทศไทย เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วพบว่ามีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในแต่ละปีเฉลี่ยประมาณ 4.3% [1] โดยพบว่าสถิติความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak demand) และกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมของประเทศระหว่างปี 2512-2558 ตามรูปที่ 1.1 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี [2] ทำให้ต้องมีการสร้างโรงไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้างดังกล่าว



รูปที่ 1.1 สถิติความต้องการไฟฟ้าสูงสุดปี 2512-2558 [2]

เมื่อพิจารณาข้อมูลสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยปี 2557 ในรูปที่ 1.2 พบว่ามีการใช้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลมากกว่าร้อยละ 80 ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยเชื้อเพลิงที่ถูก

นำมาใช้มากที่สุดคือก๊าซธรรมชาติมีสัดส่วน 68.14% โดยเป็นก๊าซธรรมชาติจากอ่าวไทยประมาณร้อยละ 60 และนำเข้าจากต่างประเทศร้อยละ 40 [2]



รูปที่ 1.2 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าปี 2557 [2]

พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของประเทศจะถูกผลิตจากโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ เช่น โรงไฟฟ้าพลังความร้อน โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้าชีวมวล โรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ เป็นต้น ทั้งนี้การสร้างโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ เพื่อตอบสนองการใช้ไฟฟ้าของประเทศนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยในหลายๆ ด้าน เช่น ปัจจัยด้านแหล่งเชื้อเพลิง ปัจจัยด้านสภาพความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศ ปัจจัยด้านพื้นที่และสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านความมั่นคงทางพลังงาน ปัจจัยด้านการยอมรับของชุมชน เป็นต้น

โรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ นั้นจะมีคุณลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทและเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการสร้างโรงไฟฟ้า โดยคุณลักษณะอย่างหนึ่งที่ถูกกล่าวถึงและนำมาเปรียบเทียบคือ ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Efficiency) หรือ อัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้า (Heat rate) ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดว่าโรงไฟฟ้านั้นๆ มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานตั้งต้นไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ดีเพียงใด โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึงโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลเป็นหลัก ซึ่งค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพและอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ เป็นดังนี้

ตารางที่ 1.1 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพและอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ ด้วยเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ [3]

ประเภทโรงไฟฟ้า	ประสิทธิภาพ (%)	อัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้า (Btu/kWh)
พลังความร้อน	34.77	10,354
กังหันก๊าซ	31.66	11,371
สันดาปภายใน	37.61	9,573
พลังความร้อนร่วม	46.95	7,667

จากตารางที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดที่ 46.95% เนื่องจากโรงไฟฟ้าประเภทนี้มีการนำความร้อนที่เหลือจากก๊าซไอเสียที่ได้มาจากเครื่องยนต์กังหันก๊าซ นำมาถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในเครื่องผลิตไอน้ำจากความร้อนทิ้ง (Heat recovery steam generator, HRSG) เพื่อผลิตไอน้ำและนำไปปั่นกังหันไอน้ำซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าอีกทอดหนึ่ง ส่วนโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในหม้อน้ำเพื่อผลิตไอน้ำจะมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพที่ 34.77% ขณะที่โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซธรรมชาติที่ไม่มีการนำความร้อนจากก๊าซไอเสียมาใช้จะมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพต่ำที่สุดที่ 31.66%

เนื่องจากโรงไฟฟ้าเป็นแหล่งที่มีการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าเป็นปริมาณมาก ซึ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพหรือการลดการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าให้ดีขึ้นแม้เพียงเล็กน้อยไม่ถึง 1% แต่เมื่อคิดเป็นมูลค่าของค่าพลังงานที่ลดลงได้แล้วมีมูลค่าอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างเช่น โรงไฟฟ้าพลังความร้อนขนาด 735 MW ที่มีประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ 34.77% มีอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 10,354 Btu/kWh [3] กรณีที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องเต็มกำลังการผลิตที่ 735 MW ตลอด 24 ชั่วโมง จะมีการใช้พลังงานความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 182,645 ล้าน Btu และกรณีโรงไฟฟ้าเดินเครื่องด้วยเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติโดยมีราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 327 บาท/ล้าน Btu [4] จะคิดเป็นค่าเชื้อเพลิงทั้งหมด 59,724,771 บาทต่อวัน โดยถ้าสามารถลดความสูญเสียความร้อนหรือเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าได้เพียง 1% จะสามารถลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงได้ 597,248 บาทต่อวัน หรือประมาณ 218 ล้านบาทต่อปี

ในปัจจุบันโรงไฟฟ้าสมัยใหม่ได้มีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความสูญเสียในส่วนต่างๆ ลง โดยปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีในการผลิต เช่น การปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ เช่น แฉงท่อไอน้ำยาวดิ่ง แฉงท่อให้ความร้อนซ้ำ ใบพัดหมุนเครื่องกังหันไอน้ำ เพื่อให้สามารถทนทานต่ออุณหภูมิและความดันที่สูงมากขึ้น การปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานของ

น้ำ-ไอน้ำให้ทำงานเหนือจุดวิกฤตในเครื่องกำเนิดไอน้ำผ่านรวดเร็ว (Once through boiler) การปรับปรุงระบบการควบคุมให้มีการตอบสนองต่อระบบไวมและแม่นยำมากขึ้น เป็นต้น

นอกจากประเภทของโรงไฟฟ้าและเทคโนโลยีที่ทำให้้อตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าแตกต่างกันออกไปแล้ว การควบคุมตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามที่ผู้ผลิตออกแบบไว้เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง แต่ถึงแม้ว่าโรงไฟฟ้าจะสามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ให้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้แล้วก็ตาม แต่ก็อาจพบความสูญเสียเกิดขึ้นได้ เนื่องจากในการออกแบบที่ผู้ผลิตได้คำนวณไว้อาจประเมินหรือใช้ข้อมูลที่สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไปจากสถานที่ก่อสร้างติดตั้งโรงไฟฟ้าจริง ดังนั้นจุดที่เหมาะสมในการเดินเครื่องสำหรับตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตอาจมีค่าแตกต่างกันไปจากที่ผู้ผลิตออกแบบไว้ในแต่ละสถานที่ ซึ่งสามารถทำการประเมิน เก็บข้อมูล และตรวจวัดได้ด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงประสิทธิภาพและแนวทางการปรับปรุงของโรงไฟฟ้าในส่วนต่างๆ โดยมีทั้งที่ต้องมีการลงทุนเพื่อปรับเปลี่ยนหรือติดตั้งอุปกรณ์และอีกแนวทางได้แก่วิธีการปรับแต่งกระบวนการซึ่งลงทุนน้อยกว่า

ตารางที่ 1.2 รายชื่องานวิจัยและวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพ

ลำดับ	งานวิจัย	วิธีการปรับปรุง	ประเภท	การวิเคราะห์	ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%)
1	Mandi and Yaragatti (2014). [5]	ปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์สนับสนุนต่างๆ	ปรับแต่งกระบวนการ	ตรวจวัดจริง	1.5-2.1
2	Kotowicz and Balick (2014). [6]	เพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้าถ่านหินลิกไนท์โดยการใช้หม้อไอน้ำแบบการเผาไหม้ชนิดถ่านหินลอยตัว หมุนเวียนขณะเผาไหม้และติดตั้งเครื่องแยกอากาศแบบแผ่นเยื่อบาง	ปรับเปลี่ยนหรือติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม	วิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง	3.3-4.0

ตารางที่ 1.2 รายชื่องานวิจัยและวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพ (ต่อ)

ลำดับ	งานวิจัย	วิธีการปรับปรุง	ประเภท	การวิเคราะห์	ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%)
3	Ghorbani and others (2015). [7]	ปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าโดยการปรับเปลี่ยนมุมของผนังปล่องและความลาดเอียงของตัวสะสมพลังงานความร้อน แสงอาทิตย์ในอุปกรณ์ ลูกผสมของห่อหล่อเย็นและปล่องแสงอาทิตย์	ปรับเปลี่ยนหรือติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม	วิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง	0.538
4	Wang and others (2014). [8]	ปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าถ่านหินโดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประหยัดเชื้อเพลิงความดันต่ำ	ปรับเปลี่ยนหรือติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม	วิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง	0.46
5	Anantharaman and Gundersen (2015). [9]	ปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าถ่านหินโดยการปรับปรุงกระบวนการทางความร้อนในการผลิตไอน้ำของวัฏจักรแรงดันโดยการอุ่นน้ำก่อนป้อนเข้าหม้อไอน้ำ	ปรับเปลี่ยนหรือติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม	ตรวจวัดจริง	0.5-0.6
6	Zandian and Ashjaee (2013). [10]	ปรับเปลี่ยนประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยการเปลี่ยนแปลงการออกแบบของห่อหล่อเย็นแบบลูกผสมกับหลักการของปล่องพลังแสงอาทิตย์	ปรับเปลี่ยนหรือติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม	ตรวจวัดจริง	0.37

ตารางที่ 1.2 รายชื่องานวิจัยและวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพ (ต่อ)

ลำดับ	งานวิจัย	วิธีการปรับปรุง	ประเภท	การวิเคราะห์	ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%)
7	Geete and Khandwawala (2013). [11]	ปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าโดยการทดลองปรับเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าของไอน้ำจาก 507.78 - 567.78 °C โดยควบคุมค่าความดันให้คงที่ที่ 124.61 bar	ปรับแต่งกระบวนการ	ตรวจวัดจริง	3.79
8	Han and others (2014). [12]	จำลองการศึกษาการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าถ่านหินโดยการรวมกระบวนการใช้ก๊าซเสียในการอบแห้งและการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่	ปรับแต่งกระบวนการ	วิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง	1.51
9	Siviter Montecucco and Knox (2015). [13]	เพิ่มประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินโดยใช้ Thermoelectric heat pumps (THPs) ในส่วนของกระบวนการของน้ำควบแน่น	ปรับเปลี่ยนหรือติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม	ตรวจวัดจริง	0.15
10	Xu and others (2015). [14]	ปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการหาจุดที่เหมาะสมของการนำไอน้ำที่แยกจากไอน้ำไปใช้งานในส่วนเครื่องกังหันไอน้ำของโรงไฟฟ้า	ปรับแต่งกระบวนการ	ตรวจวัดจริง	0.67
11	Mikulandrić and others (2013). [15]	ปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยการปรับปรุงระบบการควบคุมการเผาไหม้	ปรับแต่งกระบวนการ	ตรวจวัดจริง	1.69

ตารางที่ 1.2 รายชื่องานวิจัยและวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพ (ต่อ)

ลำดับ	งานวิจัย	วิธีการปรับปรุง	ประเภท	การวิเคราะห์	ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%)
12	Singh and Kaushik (2013). [16]	ปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมโดยการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ลงและปรับปรุงการนำพลังงานความร้อนไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพ	ปรับแต่งกระบวนการ	ตรวจวัดจริง	0.54
13	Adibhatla and Kaushik (2014). [17]	เปรียบเทียบผลการใช้งานหม้อไอน้ำระหว่างแบบความดันคงที่กับหม้อไอน้ำแบบความดันเลื่อนไหล โดยพบว่าหม้อไอน้ำแบบความดันเลื่อนไหลมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า	ปรับเปลี่ยนหรือติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม	ตรวจวัดจริง	3.07
14	Espatolero Romeo and Cortés (2014). [18]	ปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าถ่านหินโดยการออกแบบโครงข่ายของระบบเครื่องสูบน้ำป้อนให้เหมาะสม	ปรับเปลี่ยนหรือติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม	วิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง	0.70
15	Shieh and others (2010). [19]	ปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยปรับปรุงพัฒนาการป้อนข้อมูลประมาณการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำให้มีปริมาณที่เหมาะสม ของเชื้อเพลิงก๊าซเชื้อเพลิงเหลว และถ่านหิน	ปรับแต่งกระบวนการ	วิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง	1.94

ตารางที่ 1.2 รายชื่องานวิจัยและวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพ (ต่อ)

ลำดับ	งานวิจัย	วิธีการปรับปรุง	ประเภท	การวิเคราะห์	ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%)
16	Espatolero Cortés and Romeo (2010). [20]	ปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยการปรับปรุงกระบวนการและหาจุดที่เหมาะสมเพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากหม้อไอน้ำ	ปรับแต่งกระบวนการ	วิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง	0.71

จากตัวอย่างงานวิจัยข้างต้นจะพบว่าในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าสามารถทำได้ 2 แนวทางคือ 1.ทำการตรวจวัดและคำนวณค่าจริงตามวิธีการสมดุลทางความร้อนซึ่งจะได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำกว่า และ 2.วิเคราะห์จากตัวเลขแบบจำลองทางทฤษฎีซึ่งอาจจะได้ค่าที่ไม่เที่ยงตรงแต่มีความรวดเร็วกว่า

จากตัวอย่างงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าสามารถทำได้ในหลายวิธีและในหลายส่วนของอุปกรณ์ของโรงไฟฟ้า ซึ่งแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจคือ การหาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน เช่น ค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซึ่งโดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าดีขึ้นแต่เมื่อถึงจุดหนึ่งแล้วอาจทำให้มีการใช้น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนสูงมากขึ้นซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ค่าอุณหภูมิของน้ำป้อนสุดท้ายก่อนเข้าหม้อไอน้ำกรณีที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้หม้อไอน้ำมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงลดลงแต่จะทำให้เครื่องกังหันไอน้ำสูญเสียกำลังการผลิตมากขึ้น เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการทางสถิติรวบรวมข้อมูลและพัฒนาสมการขึ้น เพื่อใช้วิเคราะห์ทำนายจุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรหลัก ที่จะทำให้โรงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาจุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรหลักแบบอื่นๆ เช่น การสร้างสมการหรือสร้างแบบจำลองของโรงไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์ผลของค่าตัวแปรแต่ละตัวแปรจะพบว่าวิธีการดังกล่าวมีความซับซ้อนและจำเป็นต้องมีการตรวจวัดและป้อนข้อมูลหลายอย่างที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้สมการหรือแบบจำลองของโรงไฟฟ้าที่สมบูรณ์ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนที่สูงขึ้นตามความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ป้อนเข้า แต่สำหรับวิธีการที่งานวิจัยนี้เลือกใช้เป็นวิธีการทางสถิติ สามารถเลือกกำหนดกลุ่มตัวแปรหลักที่สนใจและมีนัยสำคัญนำมาพัฒนาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ทำนายจุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรหลักดังกล่าว โดยงานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนตัวอย่างในจังหวัดราชบุรี ซึ่งจากข้อมูลเบื้องต้นพบว่า

โรงไฟฟ้ามีการเดินเครื่องที่ภาระกำลังการผลิตน้อยกว่า 50% เป็นประจำทำให้ค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าต่ำ และจากข้อมูลค่าประสิทธิภาพและค่าตัวแปรหลักของโรงไฟฟ้ามีช่วงค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้วิธีการทางสถิติรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรหลักต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาหาจุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพหรืออัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

1.3 แนวคิดของงานวิจัย

1.3.1 เนื่องจากในการสร้างเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีความสลับซับซ้อนและมีองค์ประกอบหลายส่วนเข้าด้วยกันนั้น จำเป็นต้องมีการคำนวณและออกแบบเพื่อให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นๆ สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ทั้งยังควรต้องมีประสิทธิภาพและสมรรถนะที่ดีเพียงพอคุ้มค่าต่อการลงทุนโดยมีจุดเหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรต่างๆ ณ ค่าๆ หนึ่งตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งโรงไฟฟ้าเป็นสถานที่แห่งหนึ่งที่มีองค์ประกอบของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลายๆ ส่วนประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานในเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยในการก่อสร้างโรงไฟฟ้านั้น ผู้ผลิตจำเป็นต้องมีการคำนวณออกแบบองค์ประกอบต่างๆ ภายใต้สมมติฐานเงื่อนไขสถานะแวดล้อมอย่างหนึ่ง ซึ่งอาจมีความแตกต่างจากสถานะแวดล้อมของสถานที่ทำการก่อสร้างโรงไฟฟ้าขึ้นจริง ดังนั้นจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรต่างๆ ณ สถานที่ต่างๆ อาจมีค่าแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถทำการประเมินเพื่อหาค่าที่เหมาะสมนั้นๆ ได้ด้วยวิธีการต่างๆ กันออกไป เช่น ใช้วิธีการทางสถิติประเมินข้อมูลในอดีต การทดลองปรับแต่งค่าตัวแปรต่างๆ ขณะเดินเครื่องจริงและหาจุดที่เหมาะสม เป็นต้น

1.3.2 ภายหลังจากการก่อสร้างโรงไฟฟ้าแล้วเสร็จ ผู้ผลิตจะทำการทดสอบการเดินเครื่องและเก็บข้อมูลค่าตัวแปรต่างๆ ณ ที่สภาวะกำลังการผลิตคงที่ต่างๆ ซึ่งอาจทำได้ทั้งค่ากำลังการผลิตคงที่เพียง 2-3 ค่า ซึ่งโดยทั่วไปจะทดสอบที่ 50% 75% และ 100% ของกำลังการผลิตตามที่ได้ทำสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าไว้ (Power purchase agreement) จากนั้นจะนำข้อมูลค่าตัวแปรต่างๆ ที่ทดสอบได้และข้อมูลตามที่ได้ออกแบบไว้มากำหนดเป็นค่าเป้าหมายและกราฟค่าปรับแก้ไขของตัวแปรต่างๆ ซึ่งในสภาวะการเดินเครื่องจริง ค่ากำลังการผลิตที่โรงไฟฟ้าถูกสั่งการให้เดินเครื่องนั้น แตกต่างจากที่ทดสอบ ซึ่งจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรต่างๆ ที่สภาวะกำลังการผลิตที่แตกต่างไป อาจมีค่าที่ไม่ตรงกับที่ผู้ผลิตได้ทำการประเมินและคำนวณไว้ ซึ่งสามารถทำการประเมินเพื่อหาค่าที่เหมาะสมนั้นๆ ได้ด้วยวิธีการต่างๆ เช่นกัน

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการปรับปรุงค่าเป้าหมายของตัวแปรต่างๆ โดยจะคัดเลือกตัวแปรที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพหรืออัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าหลักๆ และเป็นตัวแปรที่สามารถปรับแต่งหรือเปลี่ยนแปลงได้ง่ายโดยผู้ควบคุมประจำหน้าเครื่องซึ่งจะใช้วิธีการวิเคราะห์ความไวในการตอบสนอง (Sensitivity analysis) ของตัวแปรในกลุ่มค่าตัวแปรหลักร่วมด้วย โดยจะทำการศึกษาที่สภาวะกำลังการผลิตจริงที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องเป็นประจำ ซึ่งวิธีการศึกษาจะใช้วิธีการทางสถิติโดยการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการเดินเครื่องจริงย้อนหลังของค่าตัวแปรที่ต้องการและนำชุดข้อมูลดังกล่าวมาหาสมการความสัมพันธ์กับค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการพัฒนาสร้างสมการคณิตศาสตร์ (Mathematic modeling) เพื่อหาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรนั้นๆ และจากนั้นจึงนำไปทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง (Power plant simulator) ของโรงไฟฟ้าที่ใช้สำหรับทดลอง ทดสอบ และฝึกปฏิบัติสำหรับผู้ควบคุมประจำหน้าเครื่อง ซึ่งการทำงานของห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองจะเลียนแบบการทำงานของโรงไฟฟ้าจริงโดยในส่วนของผลทางพลังงานและกายภาพ เช่น ค่าอุณหภูมิของน้ำและไอน้ำ ค่าความดัน ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง จะมีหน่วยประมวลผลทำหน้าที่คำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นตามหลักการของสมดุลพลังงาน ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าด้วยวิธีการนี้มีข้อดีคือ ในการดำเนินงานสามารถกระทำได้โดยไม่มีผลกระทบต่อค่าความพร้อมจ่ายของโรงไฟฟ้า สามารถทำการทดสอบเพื่อเป็นข้อมูลก่อนนำเข้าไปใช้ในโรงไฟฟ้าจริง ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง มีต้นทุนในการดำเนินงานต่ำ และมีความง่ายในการดำเนินการเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าด้วยวิธีการอื่นๆ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาดังต่อไปนี้

1.4.1 ศึกษาหาจุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรหลักดังนี้

1. ค่าอุณหภูมิของไอน้ำที่ให้ความร้อนซ้ำ (Reheat steam temperature)
2. ค่าความดันภายในเครื่องควบแน่น (Condenser vacuum)
3. ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (Excess oxygen)
4. ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (Final feed water temperature)

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรดังกล่าวส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพหรืออัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้า ณ ค่าอัตรากำลังการผลิตที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องเป็นประจำที่ 245 และ 300 MW

1.4.2 ศึกษาและทดลองโดยนำค่าของตัวแปรต่างๆ ที่จุดเหมาะสมใหม่ที่ศึกษาได้ นำไปทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองเพื่อหาผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงไปของค่าประสิทธิภาพหรืออัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาหาค่าตัวแปรหลักที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพหรืออัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้า โดยจะคัดเลือกตัวแปรที่สามารถปรับแต่งหรือเปลี่ยนแปลงได้ง่ายโดยผู้ควบคุมประจำหน้าเครื่อง ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ความไวในการตอบสนอง (Sensitivity analysis) ของกลุ่มตัวแปรหลักดังกล่าว

1.5.2 รวบรวมข้อมูลย้อนหลังของค่าตัวแปรหลักที่ได้คัดเลือกไว้ ณ ค่ากำลังการผลิตคงที่ที่โรงไฟฟ้าถูกสั่งการให้เดินเป็นประจำ

1.5.3 ศึกษาวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรหลักที่คัดเลือกไว้ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression analysis) และทดสอบกับสมการคณิตศาสตร์ (Mathematic model) ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อดูผลที่เปลี่ยนแปลงไปของค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า

1.5.4 ทดลองนำค่าของตัวแปรหลักที่คัดเลือกไว้ที่จุดเหมาะสมใหม่ที่ศึกษาได้ไปทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองเพื่อหาผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงไปของค่าประสิทธิภาพหรืออัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.6.1 สามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาทดลองไปประยุกต์ใช้ในโรงไฟฟ้าจริง เพื่อให้โรงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพหรืออัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าที่ดีขึ้น

1.6.2 สามารถนำไปประยุกต์หรือเป็นแนวทางในการปรับปรุงหาจุดที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบหรือกระบวนการต่างๆ ได้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยทำการหาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรหลักในการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าที่ภาระกำลังการผลิตหนึ่งๆ ที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องอยู่เป็นประจำ ซึ่งในเบื้องต้นต้องศึกษาถึงการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน รวมถึงการทำงานของส่วนประกอบหลักต่างๆ การประเมินประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression) การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (Statistical product and service solutions, SPSS) เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล เครื่องมือทางสถิติที่ใช้เปรียบเทียบผลการตรวจวัดและผลจากแบบจำลอง และการทดสอบสมมติฐานของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (กรณีทราบค่าความแปรปรวน) (Hypothesis test on differences in means, Variance known) ดังที่จะได้กล่าวในลำดับถัดไป

2.1 ประเภทของโรงไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ทางด้านเครื่องจักรกล ด้านไฟฟ้า และด้านการวัดคุม ประกอบรวมกันเป็นระบบต่างๆ ที่ทำงานเกี่ยวเนื่องกันเพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานในรูปต่างๆ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น พลังงานศักย์ของน้ำ พลังงานจลน์จากลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานเคมีในเชื้อเพลิงฟอสซิล เป็นต้น โดยสามารถแบ่งประเภทของโรงไฟฟ้าได้ตามประเภทเชื้อเพลิงที่ใช้และแบ่งตามกระบวนการผลิตไฟฟ้าได้ดังนี้ [21]

1. โรงไฟฟ้าพลังความร้อน (Thermal power plant) คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ในการทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง นำไปขับเคลื่อนเครื่องกังหันไอน้ำซึ่งถูกต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป โดยเนื้อหาในโครงการวิจัยนี้จะกล่าวถึงโรงไฟฟ้าพลังความร้อนเป็นหลัก ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าที่ผู้วิจัยใช้ในการดำเนินการโครงการวิจัยนี้
2. โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas turbine power plant) คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้เครื่องกังหันก๊าซซึ่งเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะถูกบดเข้าเครื่องกังหันก๊าซ ซึ่งจะถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้น 8 - 10 เท่าของความดันบรรยากาศ และถูกส่งเข้าห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) เพื่อทำปฏิกิริยาเผาไหม้กับเชื้อเพลิงซึ่งอาจเป็นก๊าซหรือน้ำมัน โดยปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดการขยายตัวของก๊าซร้อนที่มีอุณหภูมิและความดันสูงและก๊าซร้อนนี้จะถูกส่งต่อไปเพื่อขับเคลื่อนกังหันก๊าซซึ่งถูกต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

3. โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined cycle power plant) คือ โรงไฟฟ้าที่ประกอบด้วยโรงไฟฟ้า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน ได้แก่ โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและโรงไฟฟ้าพลังความร้อน โดยจุดเด่นของโรงไฟฟ้าประเภทนี้ คือ มีการนำความร้อนจากไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้และถูกส่งออกจากเครื่องกังหันก๊าซ ซึ่งยังคงมีอุณหภูมิสูงมาให้ความร้อนแก่น้ำภายในหม้อกำเนิดไอน้ำ (Heat recovery steam generation) แทนการเผาไหม้เชื้อเพลิง จึงทำให้โรงไฟฟ้าประเภทนี้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่าโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแบบธรรมดาทั่วไป
4. โรงไฟฟ้าดีเซล (Diesel power plant) คือ โรงไฟฟ้าที่มีเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการสันดาปภายใน ซึ่งโดยมากจะเป็นเครื่องยนต์ประเภทลูกสูบหรือโรตารี โดยเพลลาของเครื่องยนต์นั้นจะถูกต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โรงไฟฟ้าประเภทนี้โดยมากจะเป็นโรงไฟฟ้าขนาดเล็กและถูกใช้ในสถานที่ที่โครงข่ายของสายส่งไฟฟ้าเข้าไม่ถึง หรือถูกสั่งการให้เดินเครื่องเมื่อจำเป็นเท่านั้นเนื่องจากต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่สูง
5. โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานความร้อนจากปฏิกิริยานิวเคลียร์นำมาให้ความร้อนแก่น้ำเพื่อผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงนำไปขับเคลื่อนไอน้ำที่ถูกต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
6. โรงไฟฟ้าพลังน้ำ (Hydro power plant) คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้ประโยชน์จากพลังงานศักย์ของน้ำเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์นำไปขับเคลื่อนกังหันน้ำที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยโรงไฟฟ้าประเภทนี้ต้องตั้งอยู่ใกล้กับเขื่อนหรือสถานที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามธรรมชาติที่เพียงพอที่จะนำไปหมุนกังหันน้ำ
7. โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy power plant) คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นต้นกำเนิด ซึ่งจะมีชื่อเรียกตามแหล่งพลังงานที่ใช้แตกต่างกันไป เช่น โรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ (Solar power plant) โรงไฟฟ้าพลังงานลม (Wind power plant) โรงไฟฟ้าพลังความร้อนใต้พิภพ (Geothermal power plant) เป็นต้น

2.2 ส่วนประกอบหลักของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยทั่วไปมีระบบการทำงานหลักๆ อยู่ 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ระบบเครื่องกำเนิดไอน้ำหรือหม้อไอน้ำ ระบบเครื่องกังหันไอน้ำ และระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งนี้ยังไม่นับรวมระบบสนับสนุนหรือระบบบำบัดอื่นๆ เช่น ระบบการผลิตน้ำ ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ เป็นต้น โดยระบบหลักทั้ง 3 ส่วนมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 เครื่องกำเนิดไอน้ำหรือหม้อไอน้ำ

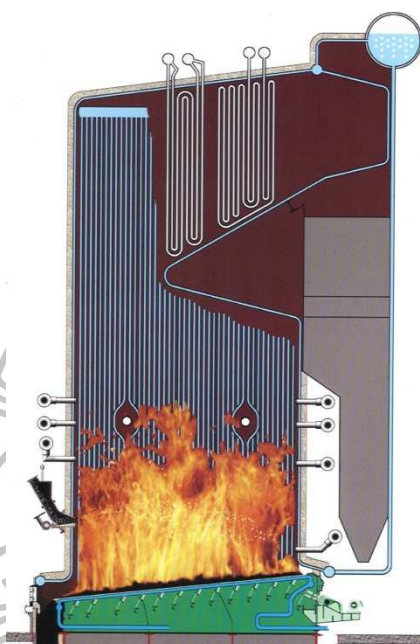
เครื่องกำเนิดไอน้ำหรือหม้อไอน้ำนั้นถูกนำมาอย่างแพร่หลายใช้งานในโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม และอาคารธุรกิจต่างๆ โดยทำหน้าที่ในการผลิตไอน้ำเพื่อนำไปใช้งานโดยตรงหรือนำไปใช้งานในระบบต่างๆ ซึ่งขนาดของหม้อไอน้ำนั้นมีอยู่หลายขนาดกำลังการผลิตและหลายความดัน ขึ้นอยู่ความต้องการนำไปใช้งาน เช่น หม้อไอน้ำแรงดันต่ำจะถูกนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในโรงแรม โรงพยาบาล เป็นต้น หรือหม้อไอน้ำที่มีแรงดันสูงและอัตราการผลิตไอน้ำสูงจะถูกนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า เป็นต้น

การแบ่งประเภทของหม้อไอน้ำนั้นยังสามารถแบ่งได้จากโครงสร้างหรือหลักการทำงานในการผลิตไอน้ำ โดยมีอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler) และหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler) [22] โดยหม้อไอน้ำแบบท่อไฟถูกคิดค้นและใช้งานมาตั้งแต่มีการนำไอน้ำมาใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรม แต่ด้วยข้อจำกัดในเรื่องของขนาดและความดันที่ถูกจำกัดโดยความเค้นดึง (Tensile stress) สูงสุดที่โลหะที่ใช้สร้างหม้อไอน้ำจะสามารถทนได้ ทำให้หม้อไอน้ำชนิดนี้มีขนาดเล็กและถูกนำมาใช้งานลดลง แต่ก็ยังมีข้อดีและมีความสำคัญสำหรับการใช้งานที่ต้องการความดันไอน้ำไม่เกิน 18 bar และกำลังการผลิตไอน้ำไม่เกิน 6.2 kg/s เนื่องจากราคาที่ไม่แพง มีความง่ายในการใช้งาน ง่ายในการดูแลรักษา และมีอัตราการตอบสนองที่รวดเร็วต่อความต้องการไอน้ำที่เปลี่ยนแปลง โดยในการทำงานก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้จะไหลอยู่ภายในท่อและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่นอกท่อซึ่งทั้งหมดถูกห้อมอยู่ภายในเปลือกของหม้อไอน้ำ โดยจะมีอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยเป็นวาล์วนิรภัยป้องกันความดันของไอน้ำไม่ให้สูงเกินจากที่ออกแบบไว้ โดยวาล์วนิรภัยจะเปิดออกเพื่อระบายและลดความดันลงในกรณีที่มีความดันภายในหม้อไอน้ำสูงเกินกว่าที่ออกแบบไว้



รูปที่ 2.1 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler) [22]

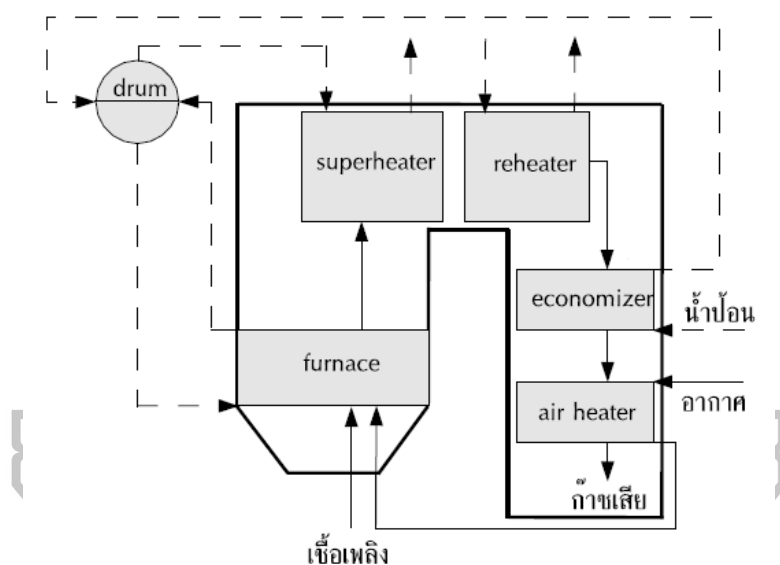
หม้อไอน้ำอีกประเภทหนึ่ง คือ หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ มีหลักการทำงานตรงกันข้ามกับหม้อน้ำแบบท่อไฟ โดยน้ำและไอน้ำที่ได้รับความร้อนจากการเผาไหม้จากไหลอยู่ภายในท่อ ซึ่งข้อดีและข้อได้เปรียบของหม้อไอน้ำชนิดนี้คือ สามารถผลิตไอน้ำที่มีความดันสูงและอัตราการไหลสูง จึงถูกนำมาใช้ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนทั่วไป



รูปที่ 2.2 หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler) [22]

หลักการทำงานของระบบหม้อไอน้ำในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยทั่วไปนั้นจะใช้น้ำเป็นสารทำงานในการรับความร้อนจากการเผาไหม้และนำพาพลังงานความร้อนเหล่านั้นไปใช้งาน น้ำที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนนั้นต้องเป็นน้ำที่มีการควบคุมคุณภาพโดยการกำจัดแร่ธาตุและปรับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ให้มีความเหมาะสม (Demineralized water) โดยจะถูกสูบเข้าสู่หม้อไอน้ำซึ่งมีการรักษาระดับน้ำในหม้อไอน้ำให้เหมาะสมต่อกำลังการผลิตขณะนั้น ความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ถูกป้อนและจุดภายในเตาจะถ่ายเทไปยังน้ำที่อยู่ภายในท่อรอบผนังเตา เมื่อน้ำในท่อผนังเตามีอุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการไหลเวียนตามธรรมชาติโดยน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะไหลขึ้นสู่ด้านบนของเตาและถูกแทนที่ด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า แต่ในการออกแบบอาจมีการติดตั้งปั๊มน้ำเพื่อเพิ่มอัตราการไหลเวียนให้สูงขึ้น น้ำที่ไหลเวียนภายในท่อผนังเตาจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็นไอน้ำไหลเข้าสู่แผงท่อไอน้ำเพื่อรับความร้อนจากก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอีกครั้งหนึ่งจนไอน้ำมีความดันและอุณหภูมิสูงมากพอที่จะนำไปใช้งานในการหมุนกังหันไอน้ำต่อไป

ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในเตาของหม้อไอน้ำนั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจะส่งผ่านไปยังน้ำในท่อผนังเตาด้วยการแผ่รังสี การนำ และการพาความร้อน จากนั้นก๊าซร้อนจะไหลผ่านแผงท่อไอน้ำยวดยิ่ง (Super heater coil) แผงท่อให้ความร้อนซ้ำ (Reheater coil) และแผงท่อน้ำเครื่องประหยัดเชื้อเพลิง (Economizer) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับไอน้ำและน้ำอีกครั้ง และในลำดับสุดท้ายจะถูกนำไปถ่ายเทความร้อนที่เครื่องอุ่นอากาศ (Air heater) เพื่ออุ่นอากาศที่ป้อนเข้าเตาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ โดยอุณหภูมิของก๊าซร้อนจะลดลงซึ่งมีข้อจำกัดและข้อควรระมัดระวังไม่ให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนลดลงต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (Dew point) ของกรดซัลฟูริกที่เกิดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อยู่ในก๊าซเสียจากการเผาไหม้รวมตัวกับความชื้นกลั่นตัวเป็นกรดซัลฟูริก ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายในเส้นทางผ่านของก๊าซเสียก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดยในส่วนของเครื่องกำเนิดไอน้ำหรือหม้อไอน้ำนั้น มีส่วนประกอบหลักซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้



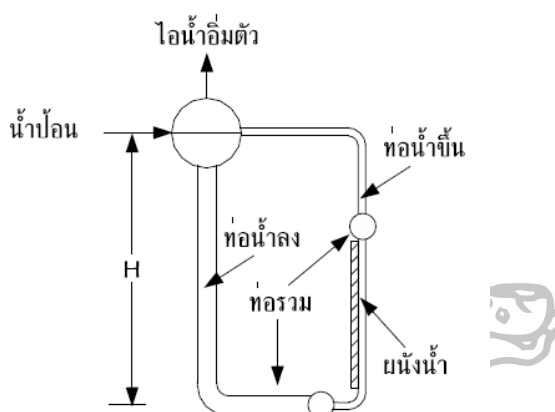
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบหลักของเครื่องกำเนิดไอน้ำ [23]

1. เตาเผา (Furnace)

เตาเผาทำหน้าที่ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน โดยความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยังน้ำในท่อผนังเตาด้วยการแผ่รังสี การนำ และการพาความร้อน นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ในการสะสมสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้ เช่น ขี้เถ้า ก่อนถูกนำออกจากเตา โครงสร้างของผนังเตาจะประกอบไปด้วยท่อโลหะขนาดเล็กวางเรียงและเชื่อมติดกันในแนวตั้งโดยรอบและมีน้ำไหลเวียนอยู่ภายในซึ่งมีชื่อเรียกว่าแผงท่อน้ำ (Water wall tube) แผงท่อน้ำเหล่านี้จะทำหน้าที่ในการเป็นเส้นทางไหลเวียนของน้ำเพื่อรับความร้อนภายในเตาและส่งไปยังถังพักไอน้ำต่อไป

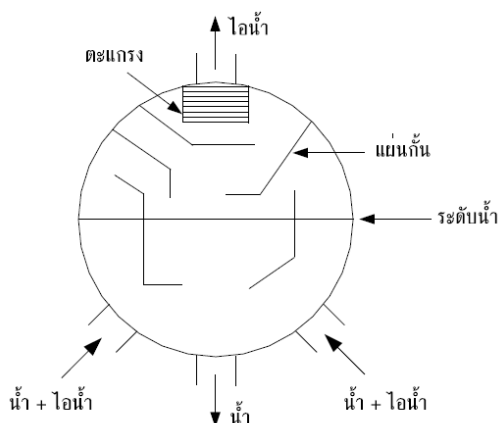
2. ถังพักไอน้ำ (Drum)

ถังพักไอน้ำเป็นอุปกรณ์ภาชนะความดัน (Pressure vessel) ทำหน้าที่แยกไอน้ำออกจากน้ำร้อนก่อนที่จะส่งไอน้ำไปยังเครื่องทำไอน้ำยวดยิ่ง โดยน้ำและไอน้ำที่ไหลเข้าสู่ถังพักน้ำเกิดจากการไหลเวียนของน้ำที่ได้รับความร้อนจากเตาไหลขึ้นเข้าสู่ท่อน้ำขึ้น (Riser) และพลัดดันน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไหลเข้าสู่ท่อน้ำลง (Down comer) โดยอาจมีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำเพื่อเพิ่มการไหลเวียน



รูปที่ 2.4 วงจรการไหลเวียนของน้ำและไอน้ำผ่านถังพักไอน้ำ [23]

ภายในถังพักไอน้ำจะติดตั้งแผ่นกั้น (Baffle) สำหรับการแยกไอน้ำออกจากน้ำในชั้นแรกและมีตะแกรง (Screen) เพื่อแยกไอน้ำเปียกออกจากไอน้ำแห้งในชั้นที่สอง โดยแผ่นกั้นทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการไหลของไอน้ำ ซึ่งจะทำให้ละอองน้ำที่มีความเฉื่อยสูงที่ลอยปะปนมากับไอน้ำชนกับแผ่นกั้นและไหลแยกตัวออกจากไอน้ำ ในส่วนของตะแกรงซึ่งประกอบด้วยตาข่ายลวดวางเรียงตัวกันหลายชั้น โดยลวดแต่ละเส้นจะตั้งจุดและขีดขวางการไหลของความชื้นในไอน้ำและจะเกิดการสะสมของน้ำที่ตะแกรงมากขึ้นจนกระทั่งรวมตัวกันไหลหยดลงกลับคืนสู่ถังพักไอน้ำ แต่ทั้งนี้ในกรณีที่ความดันในถังพักไอน้ำสูงมาก จะทำให้ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของไอน้ำอึดตัวและน้ำอึดตัวน้อยมาก ทำให้การแยกตัวของไอน้ำอึดตัวและน้ำอึดตัวทำได้ยากขึ้น ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เครื่องแยกแบบไซโคลน (Cyclone separator) ซึ่งใช้หลักการแรงหนีศูนย์กลางช่วยในการแยกไอน้ำอึดตัวและน้ำอึดตัวให้ดีขึ้น



รูปที่ 2.5 ลักษณะภายในถังพักไอน้ำ [23]

3. เครื่องทำไอน้ำยวดยิ่งและเครื่องให้ความร้อนซ้ำ (Super heater & reheater)

เครื่องทำไอน้ำยวดยิ่งและเครื่องให้ความร้อนซ้ำประกอบไปด้วยกลุ่มท่อที่มีไอน้ำไหลผ่านภายในท่อและมีก๊าซเสียไหลผ่านภายนอกท่อ โดยไอน้ำที่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีหรือการพาความร้อนจากก๊าซเสียที่มีอุณหภูมิสูงไหลผ่านท่อซึ่งทำด้วยโลหะที่สามารถนำความร้อนได้ดี เครื่องทำไอน้ำยวดยิ่งจะทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้ไอน้ำอิ่มตัวจากถังพักไอน้ำกลายเป็นไอน้ำยวดยิ่ง ส่วนเครื่องให้ความร้อนซ้ำจะทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้ไอน้ำที่สูญเสียเอนทาลปีบางส่วนไปในเครื่องกังหันไอน้ำก่อนไหลกลับเข้าไปยังเครื่องกังหันไอน้ำอีกครั้ง โดยเครื่องให้ความร้อนซ้ำถูกใช้ในโรงไฟฟ้าที่กำลังการผลิตมากกว่า 100 MW และไม่คุ้มค่าแก่การติดตั้งในโรงไฟฟ้าขนาดเล็กซึ่งจะมีเพียงเครื่องทำไอน้ำยวดยิ่งเท่านั้น

4. เครื่องประหยัดเชื้อเพลิง (Economizer)

ก๊าซเสียที่ออกจากเครื่องทำไอน้ำยวดยิ่งและเครื่องให้ความร้อนซ้ำนั้นยังคงมีอุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการอุ่นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น และจากการพิจารณาวัฏจักรแรงคิน จะพบว่าน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะลดการใช้เชื้อเพลิงในเตาของหม้อไอน้ำและส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้าดีขึ้น และนอกจากนี้ น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิสูงยังช่วยลดความแตกต่างของอุณหภูมิผิวภายในถังพักไอน้ำ ซึ่งเป็นการลดความเค้นเชิงความร้อน (Thermal stress) ของถังพักไอน้ำด้วยอีกทางหนึ่ง

5. เครื่องอุ่นอากาศ (Air heater)

เครื่องอุ่นอากาศเป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศก่อนที่จะถูกส่งเข้าสู่เตาเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับก๊าซเสียที่ไหลออกจากเครื่องประหยัดเชื้อเพลิงซึ่งยังคงมีอุณหภูมิสูง อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ที่ร้อนขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอน้ำเพิ่มขึ้น และความต้องการเชื้อเพลิงลดลง เครื่องอุ่นอากาศโดยมากถูกออกแบบให้เพิ่มอุณหภูมิของอากาศเป็น

280 – 400°C โดยที่ไม่ให้ก๊าซเสียมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 135-180°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดน้ำค้างของก๊าซเสียเพื่อหลีกเลี่ยงการควบแน่นของไอน้ำในก๊าซเสียที่ทำให้เกิดกรดซัลฟูริก

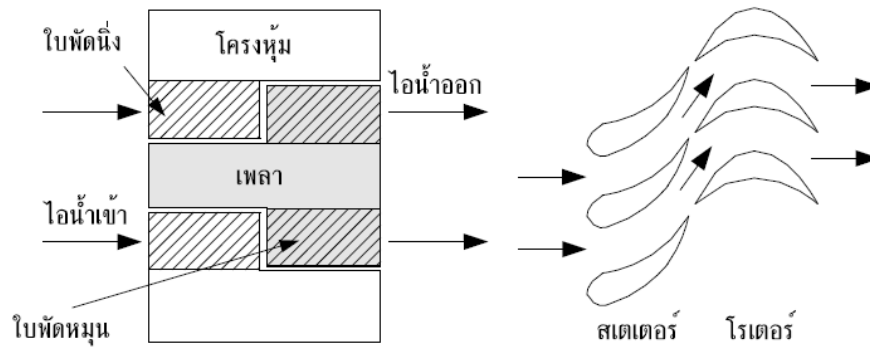
2.2.2 เครื่องกังหันไอน้ำ

เครื่องกังหันไอน้ำในแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบันถูกคิดค้นโดยวิศวกรชาวอังกฤษชื่อ เซอร์ ชาร์ล เฟอร์สัน (ระหว่างปี พ.ศ. 2398 – 2474) โดยใช้หลักการคือความดันที่สูงของไอน้ำส่งแรงกระทำต่อใบพัดของเครื่องกังหันไอน้ำซึ่งจะทำให้โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูงและเกิดการแปลงพลังงานของไอน้ำเป็นพลังงานกลจากการหมุนของเพลลา โดยเครื่องกังหันไอน้ำเครื่องแรกที่ เซอร์ ชาร์ล เฟอร์สันสร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2427 นั้น สามารถหมุนและขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 10 kW ได้ที่ความเร็ว 1,800 rpm แต่ในปัจจุบันโรงไฟฟ้าพลังความร้อนสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้กว่า 1,000 MW ที่ความเร็ว 3,000 rpm โดยมีอุณหภูมิไอน้ำ 540°C และความดันไอน้ำมากกว่า 200 kg/cm²

การทำงานของเครื่องกังหันไอน้ำ ไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงจากหม้อไอน้ำจะไหลเข้าสู่เครื่องกังหันไอน้ำผ่านทางวาล์วของระบบควบคุม (Governor system) เพื่อควบคุมการไหลของไอน้ำที่จะไปหมุนกังหันไอน้ำให้เหมาะสมกับความเร็วรอบหรือกำลังการผลิตที่ต้องการ จากนั้นไอน้ำจะไหลเข้าสู่ตัวกังหันไอน้ำ ซึ่งประกอบด้วยตัวถังที่มีใบพัดนิ่ง (Stationary blade) หรือสเตเตอร์ (Stator) ติดตั้งอยู่ สลับกับแฉกของใบพัดหมุน (Moving blade) หรือโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งติดตั้งอยู่บนเพลลาที่ถูกรองรับด้วยแบร์ริง (Bearing) เมื่อไอน้ำไหลเข้ามาในตัวกังหันไอน้ำ ความดันของไอน้ำจะลดลงและเกิดการขยายตัวของไอน้ำขึ้น การขยายตัวนี้จะทำให้ปริมาตรของไอน้ำเพิ่มขึ้น มีผลให้ความเร็วการไหลของไอน้ำในตัวกังหันสูงขึ้น ไอน้ำที่ความเร็วสูงนี้จะไปปะทะกับใบพัดหมุน ทำให้เกิดแรงผลักดันให้เพลลาของกังหันหมุน แต่เนื่องจากใบพัดในตัวกังหันไอน้ำได้ถูกออกแบบไว้เป็นชุดๆ จำนวนหลายชุดติดตั้งอยู่บนเพลลาหมุนเดียวกัน ดังนั้นไอน้ำที่ไหลผ่านจากใบพัดชุดแรก จะไหลผ่านใบพัดนิ่งที่ติดตั้งอยู่กับตัวถังและไปปะทะกับใบพัดหมุนชุดถัดไป ทำให้ได้พลังงานในรูปแบบพลังงานกลจากการหมุนของเพลลาทั้งกังหัน จากนั้นไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิลดลงจะไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่น เปลี่ยนสถานะเป็นน้ำอีกครั้ง โดยในขณะที่ไอน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำนั้น ปริมาตรของไอน้ำจะลดลงอย่างมากทำให้ความดันในเครื่องควบแน่นมีค่าต่ำกว่าบรรยากาศ ซึ่งจะช่วยให้การไหลของไอน้ำดีขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกังหันไอน้ำ ส่วนไอน้ำที่กลั่นตัวเป็นน้ำภายในเครื่องควบแน่นจะถูกสูบกลับเข้าหม้อไอน้ำอีกครั้งเป็นวัฏจักรต่อเนื่องกันไป โดยเครื่องกังหันไอน้ำจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ส่วนคือ

1. ระบบควบคุม (Governor system)
2. เพลลาและใบพัดหมุน (Rotor & moving blade)

3. ตัวถังและใบพัดนิ่ง (Casing & stationary blade)
4. เครื่องควบแน่น (Condenser)



รูปที่ 2.6 ตัวถัง ใบพัดนิ่ง และใบพัดหมุน [23]

2.2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะติดตั้งต่อเข้ากับเพลลาของเครื่องกังหันไอน้ำ หรือต่อเข้ากับชุดเฟืองที่ต่อจากเครื่องกังหันไอน้ำ โดยมากจะติดตั้งอยู่ในแนวและระดับเดียวกับเครื่องกังหันไอน้ำ เมื่อเครื่องกังหันไอน้ำหมุนจะส่งแรงผ่านเพลลาหรือเฟืองทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นประกอบด้วยขดลวดตัวนำที่พันอยู่รอบบนแกนเพลลา (Rotor) และขดลวดตัวนำที่พันอยู่รอบตัวถัง (Stator) โดยมีไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายเข้าที่ขดลวดตัวนำที่พันอยู่รอบบนแกนเพลลาหรือขดลวดตัวนำที่พันอยู่รอบตัวถังเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และเมื่อเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนขดลวดตัวนำจะตัดผ่านสนามแม่เหล็กเกิดการเหนี่ยวนำและเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดตัวนำนั้น โดยกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะถูกส่งเข้าหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อจ่ายให้กับสายส่งแรงสูงต่อไป



รูปที่ 2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า [23]

2.3 ประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ภายในเตาของหม้อไอน้ำสำหรับโรงไฟฟ้าพลังความร้อน โดยทั่วไปมีใช้อยู่ทั้ง 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันเตา และก๊าซธรรมชาติ ตามลำดับ โดยการเลือกใช้ชนิดของเชื้อเพลิงนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของโรงไฟฟ้าให้รองรับการใช้เชื้อเพลิงประเภทใดบ้าง และสถานที่ติดตั้งอยู่ใกล้แหล่งเชื้อเพลิงชนิดใดหรือสามารถรองรับการขนส่งเชื้อเพลิงชนิดใดได้บ้าง

2.3.1 ถ่านหิน

ถ่านหิน เป็นเชื้อเพลิงที่เกิดจากการทับถมของซากพืชและสัตว์เป็นเวลานานหลายล้านปี มีส่วนประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน กำมะถัน และแร่ธาตุบางชนิดสะสมอยู่ โดยการแบ่งชนิดของถ่านหินตามปกติจะแบ่งตามอายุของถ่านหินโดยการวัดจากปริมาณธาตุคาร์บอนในถ่านหิน ซึ่งจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามอายุของถ่านหิน โดยที่ปริมาณธาตุไฮโดรเจน ออกซิเจนและความชื้นจะลดลง ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของถ่านหินได้ดังนี้ [24]

1. พีต (Peat) เป็นชั้นแรกในกระบวนการเกิดถ่านหินประกอบด้วยซากพืชซึ่งบางส่วนได้สลายตัวแล้ว แต่บางส่วนยังสลายตัวไม่หมดสามารถมองเห็นเป็นลำต้น กิ่ง ใบ มีสีน้ำตาลถึงสีดำ มีปริมาณคาร์บอนต่ำประมาณ 50-60% โดยมวล มีปริมาณออกซิเจนและความชื้นสูงแต่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้
2. ถ่านหินลิกไนต์ (Lignite) เป็นถ่านหินที่ยังพอมีซากพืชเหลือปรากฏให้เห็นอยู่เล็กน้อย มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ มีปริมาณคาร์บอนค่อนข้างน้อย มีปริมาณกำมะถันสูงและปริมาณความชื้นสูงถึง 30-70% โดยส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแต่ถือว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำ
3. ถ่านหินซับบิทูมินัส (Sub-bituminous) มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ เนื้อถ่านหินจะมีความอ่อนตัวคล้ายขี้ผึ้งไม่แข็งมาก มีปริมาณคาร์บอนประมาณ 71-77% มีปริมาณกำมะถันต่ำ ถ่านหินประเภทนี้ส่วนมากถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ
4. ถ่านหินบิทูมินัส (Bituminous) เป็นถ่านหินเนื้อแน่น มีลักษณะแข็งและมักจะประกอบด้วยชั้นถ่านหินสีดำสนิทที่มีลักษณะเป็นมันวาว มีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่าถ่านหินแอนทราไซต์ ถ่านหินประเภทนี้สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 กลุ่ม ตามความสามารถในการระเหย ได้แก่ ประเภทที่มีความสามารถในการระเหยสูง กลาง และต่ำ ถ่านหินชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ในการถลุงโลหะหรืออาจใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและความสามารถในการระเหย

5. ถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) เป็นถ่านหินที่ถูกจัดอยู่ในลำดับสูงสุด ถือว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดีที่สุด มีลักษณะดำเป็นเงามัน มีความวาวสูง มีปริมาณคาร์บอนสูงถึงร้อยละ 90 ขึ้นไป มีปริมาณความชื้นต่ำมากและมีค่าความร้อนสูง มีวันน้อยแต่จุดไฟติดยาก ส่วนใหญ่มักใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนภายในบ้านและในอุตสาหกรรมแก๊วอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น

2.3.2 น้ำมันเตา

น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่เป็นผลผลิตมาจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมให้ค่าความร้อนและอุณหภูมิสูงเหมาะสำหรับใช้กับเตาของหม้อไอน้ำ โดยชนิดของน้ำมันเตาปัจจุบันแบ่งเป็น 5 เกรด [25] ดังนี้

1. น้ำมันเตาเบอร์ 1 เป็นน้ำมันเตาที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานกับหัวเผาในเตาของหม้อไอน้ำ มีสีอ่อนและค่อนข้างใส
2. น้ำมันเตาเบอร์ 2 เป็นน้ำมันเตาชนิดที่คุณภาพด้อยกว่าน้ำมันเตาเบอร์ 1 เหมาะกับการใช้งานกับเครื่องทำความร้อนภายในบ้านเรือน มีสีเหลืองอำพัน
3. น้ำมันเตาเบอร์ 3 ปัจจุบันถูกยกเลิกและนำออกจากมาตรฐาน
4. น้ำมันเตาเบอร์ 4 เป็นน้ำมันเตาที่ใช้กับหัวพ่นชนิดที่ไม่มีอุปกรณ์อุ่นน้ำมัน สีของน้ำมันชนิดนี้มีสีดำ
5. น้ำมันเตาเบอร์ 5 เป็นน้ำมันเตาที่ใช้กับอุปกรณ์ที่มีการอุ่นน้ำมัน เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีความหนืดมากจึงต้องทำการอุ่นให้ความร้อนก่อนนำไปใช้งานเพื่อความหนืดลดลง สีของน้ำมันชนิดนี้มีสีดำ
6. น้ำมันเตาเบอร์ 6 เป็นน้ำมันเตาที่มีความหนืดมากที่สุด การใช้งานจึงต้องนำไปใช้กับหัวพ่นน้ำมันที่มีอุปกรณ์อุ่นน้ำมันชนิดนี้โดยเฉพาะเท่านั้น สีของน้ำมันชนิดนี้มีสีดำ

2.3.3 ก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยพบสะสมอยู่ใต้ผิวพื้นดินที่เป็นช่องว่าง และโดยมากจะอยู่ใกล้กับสถานที่ที่พบน้ำมันดิบ [26] มีองค์ประกอบโดยทั่วไปเป็น มีเทน (CH_4) มากกว่า 70% ส่วนที่เหลือเป็น ก๊าซอีเทน (C_2H_6) และก๊าซต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และออกซิเจน เป็นต้น โดยองค์ประกอบย่อยอื่นๆจะมีปริมาณไม่แน่นอนเสมอไปขึ้นอยู่กับแหล่งของก๊าซธรรมชาตินั้นๆ ก๊าซธรรมชาติถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากก๊าซธรรมชาติให้ความร้อนที่สูง และมีสิ่งหลงเหลือจากการเผาไหม้น้อยทำให้มี

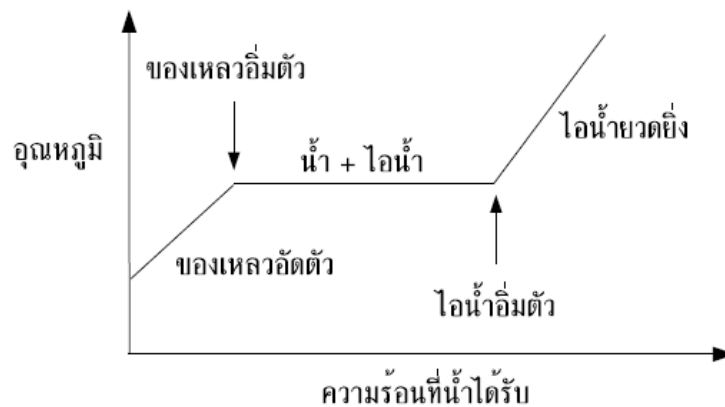
ความสะดวกและง่ายต่อการนำมาใช้งานมากกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ โดยก๊าซธรรมชาติทั่วไปมีอยู่ 2 สถานะ คือ สถานะของเหลวและสถานะก๊าซ

1. ก๊าซธรรมชาติที่เป็นของเหลว มีองค์ประกอบโดยทั่วไปประกอบด้วยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าโพรเพน เช่น บิวเทน และสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ก๊าซธรรมชาติชนิดนี้เมื่อทำการแยกสารที่เบากว่าโพรเพนออกแล้วจะได้ผลผลิตเป็นน้ำมันก๊าซโซลีนชนิดหนึ่ง แต่ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน เนื่องจากจะเกิดการน็อกของเครื่องยนต์ จึงต้องมีการเติมสารชนิดอื่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้งานต่อไป
2. ก๊าซธรรมชาติที่มีสถานะเป็นก๊าซ มีองค์ประกอบโดยทั่วไปประกอบด้วยมีเทนและอีเทน นิยมนำมาใช้ในบ้านเรือน และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ แต่จำเป็นต้องมีการกำจัดสารปนเปื้อนบางส่วนออกก่อนการใช้งานเช่น สารประกอบของกำมะถัน ความชื้นของเหลวที่ไม่ระเหย เป็นต้น

2.4 หลักการทำงานพื้นฐานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

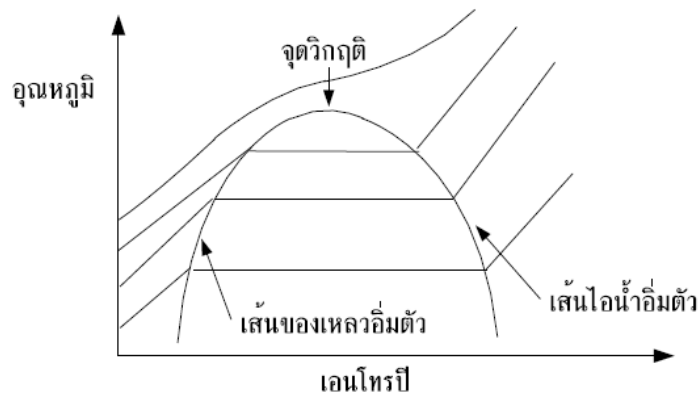
2.4.1 สมบัติของน้ำและไอน้ำ

น้ำในสภาวะปกติสถานะจะมีสถานะเป็นของเหลว และเมื่อได้รับความร้อนที่ความดันคงที่แล้วน้ำจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเดือดและจะกลายเป็นไอน้ำโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อน้ำกลายเป็นไอน้ำจนหมดไอน้ำก็จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดจะเรียกว่า ของเหลวอัดตัว (Compressed liquid หรือ Subcooled liquid) น้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดแต่ยังคงมีสถานะเป็นของเหลวเรียกว่า ของเหลวอิ่มตัว (Saturated liquid) ไอน้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดโดยไม่มีของเหลวปะปนเรียกว่า ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated vapor) ไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดเรียกว่า ไอร้อนยวดยิ่ง (Superheated vapor) และช่วงระหว่างของเหลวอิ่มตัวกับไอน้ำอิ่มตัวเป็นช่วงของของผสมระหว่างน้ำกับไอน้ำ โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงของน้ำเมื่อได้รับความร้อนที่ความดันหนึ่งๆ จะสามารถเขียนเป็นกราฟได้ตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนสถานะของน้ำเมื่อได้รับความร้อน [23]

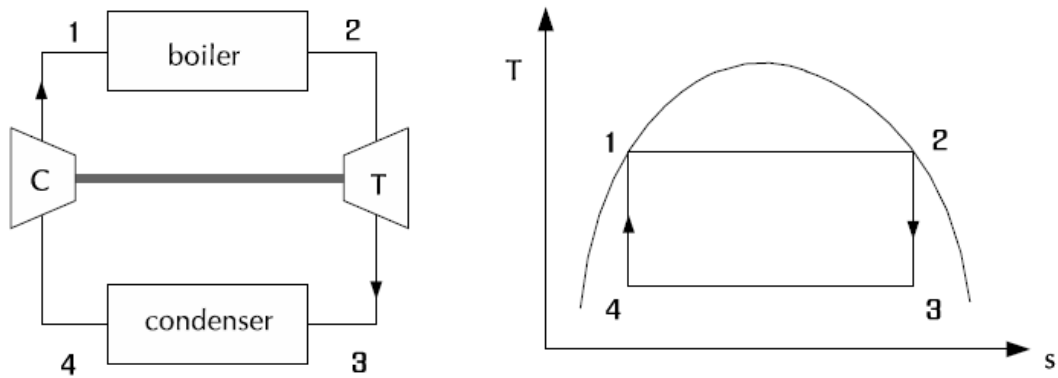
เมื่อนำกราฟกระบวนการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่ความดันต่างๆ มาเขียนรวมกันจะแสดงได้ตามรูปที่ 2.9 โดยจุดที่เส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไอน้ำอิ่มตัวบรรจบกันเรียกว่าจุดวิกฤตซึ่งมีอุณหภูมิ 374°C และความดัน 22 MPa โดยพื้นที่ใต้กราฟเส้นโค้งนี้เรียกว่าโดมไอ (Vapor dome) และพื้นที่เหนือโดมไอเป็นบริเวณที่น้ำอยู่ในสถานะที่ไม่ใช่ของเหลวหรือไออย่างชัดเจน



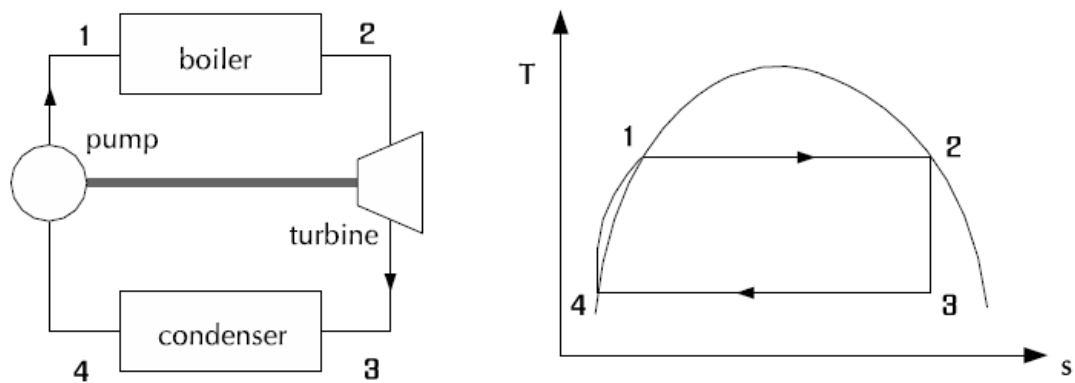
รูปที่ 2.9 โดมไอ (Vapor Dome) [23]

2.4.2 วัฏจักรแรงคิน

เครื่องจักรกลความร้อนจะทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำงานเป็นตามวัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot cycle) แต่จากการทำงานจริงมีข้อจำกัดในหลายๆ อย่าง ทำให้การทำงานของโรงไฟฟ้าจะเป็นไปตามวัฏจักรแรงคิน (Rankine cycle)



รูปที่ 2.10 วัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot cycle) [23]



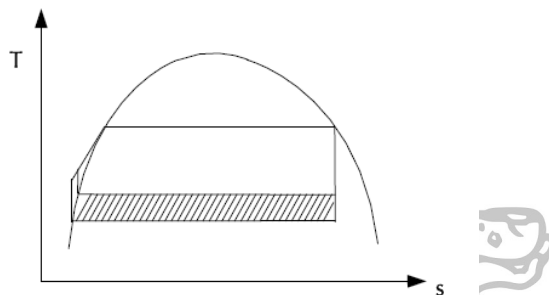
รูปที่ 2.11 วัฏจักรแรงคิน (Rankine cycle) [23]

โดยการทำงานประกอบไปด้วยกระบวนการดังนี้
 กระบวนการ 1-2 น้ำรับความร้อนในเครื่องกำเนิดไอน้ำ
 กระบวนการ 2-3 ไอน้ำขยายตัวในเครื่องกังหัน
 กระบวนการ 3-4 น้ำระบายความร้อนในเครื่องควบแน่นเพื่อ
 กระบวนการ 4-1 น้ำถูกอัดตัว

2.4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรในวัฏจักรแรงคิน

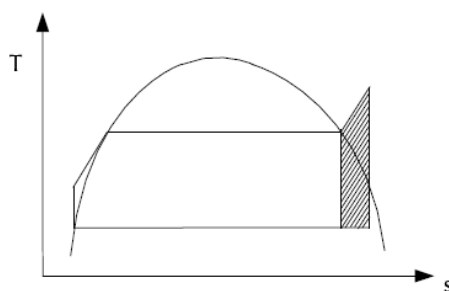
กระบวนการของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนเป็นไปตามวัฏจักรแรงคิน แต่ได้มีการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนหรือเพิ่มกระบวนการทำงานบางอย่างซึ่งทำให้ค่าตัวแปรบางตัวเปลี่ยนแปลงไปและทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยหลักๆ มีอยู่ 5 วิธีการได้แก่ 1) การลดความดันในเครื่องควบแน่น 2) การผลิตไอร้อนยวดยิ่งก่อนเข้าเครื่องกังหัน 3) การเพิ่มความดันในเครื่องกำเนิดไอน้ำ 4) การให้ความร้อนซ้ำ และ 5) กระบวนการรีเจนเนอเรชั่น โดยแต่ละวิธีการจะมีผลดังนี้

1. การลดความดันในเครื่องควบแน่น ทำให้อุณหภูมิของการควบแน่นลดลงตามไปด้วยผลที่ได้ คือ งานสุทธิที่ได้จากวัฏจักรเพิ่มขึ้น (ตามพื้นที่แรเงาในรูปที่ 2.12) โดยไม่เปลี่ยนความร้อนที่ต้องให้มากนัก แต่การลดอุณหภูมิการควบแน่นทำให้ต้องอาศัยแหล่งรับความร้อน (Heat sink) หรือแหล่งน้ำใกล้โรงไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของวิธีนี้ โดยผลเสียของการลดความดันควบแน่นคือ ไอน้ำที่ออกมาจากเครื่องกังหันจะมีความชื้นสูง โดยละอองน้ำที่เกิดขึ้นในเครื่องกังหันจะเป็นอันตรายต่อใบพัดของเครื่องกังหัน และทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันลดลง ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องกังหันจะถูกออกแบบให้ทำงานภายใต้สภาวะที่ไอน้ำมีความชื้นไม่เกิน 15%



รูปที่ 2.12 การลดอุณหภูมิเครื่องควบแน่นในวัฏจักรแรงคิน [23]

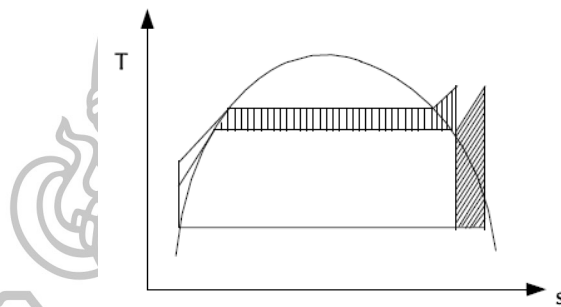
2. การผลิตไอร้อนยวดยิ่งก่อนเข้าเครื่องกังหัน จะเป็นการเพิ่มทั้งงานที่ได้จากเครื่องกังหันและความร้อนที่ให้กับเครื่องกำเนิดไอน้ำ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับวัฏจักรแรงคินแบบธรรมดาแล้ว พบว่างานที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มอุณหภูมิไอน้ำก่อนเข้าเครื่องกังหันมีค่ามากกว่าความร้อนที่ต้องให้แก่เครื่องกำเนิดไอน้ำ จึงทำให้ประสิทธิภาพของวัฏจักรเพิ่มสูงขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพอาจมองได้ว่าเป็นผลมาจากอุณหภูมิเฉลี่ยของการให้ความร้อนแก่วัฏจักรที่สูงขึ้น และนอกจากนี้ ยังมีผลดีอีกประการหนึ่ง คือ เป็นการลดปริมาณความชื้นในของไหลที่ออกจากเครื่องกังหันแต่ในการทำงานจริงอุณหภูมิของไอน้ำถูกจำกัดไม่ให้เกิน 650°C โดยประมาณเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงกว่านี้อาจทำให้ใบพัดของเครื่องกังหันซึ่งทำด้วยโลหะเสียหายได้



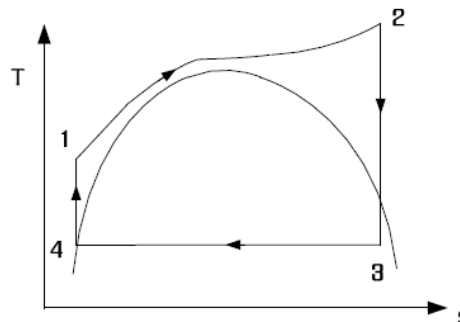
รูปที่ 2.13 การเพิ่มอุณหภูมิไอน้ำที่เข้าเครื่องกังหัน [23]

3. การเพิ่มความดันในเครื่องกำเนิดไอน้ำ จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของการให้ความร้อนแก่วัฏจักรสูงขึ้นซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของวัฏจักรสูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากงานที่ได้จากเครื่องกังหันไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (เปรียบเทียบพื้นที่แรงสองพื้นที่ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน) ในขณะที่ความร้อนที่ให้กับเครื่องกำเนิดไอน้ำจะลดลงอย่างชัดเจน แต่การปรับปรุงนี้ต้องมีการออกแบบเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ซับซ้อนขึ้นซึ่งจะทำให้ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น และนอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของปริมาณความชื้นในของไหลที่ออกจากเครื่องกังหันที่จะเพิ่มขึ้นตามความดันของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

ในกรณีที่เพิ่มความดันในเครื่องกำเนิดไอน้ำจนเกินความดันวิกฤต (22.1 MPa) และอุณหภูมิสูงสุดของวัฏจักรมีค่ามากพอ จะทำให้กระบวนการของวัฏจักรจะไม่ผ่านโดมไอ ซึ่งจะมีชื่อเรียกใหม่ว่าวัฏจักรแรงคินเหนือวิกฤต (Supercritical rankine cycle) โดยวัฏจักรนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวัฏจักรแรงคินแบบธรรมดาทั่วไป แต่ต้องแลกกับต้นทุนที่สูงขึ้นในการสร้างและออกแบบหม้อไอน้ำให้สามารถทำงานที่ความดันสูง และต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้ป้อนเข้าหม้อไอน้ำให้มีความบริสุทธิ์สูงเป็นน้ำที่ปราศจากแร่ธาตุและสิ่งเจือปน (Demineralized water)



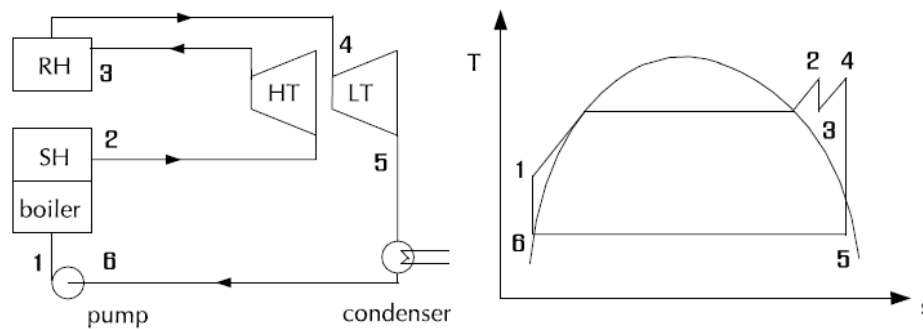
รูปที่ 2.14 การเพิ่มความดันไอน้ำที่เข้าเครื่องกังหันโดยควบคุมให้อุณหภูมิสูงสุดคงที่ [23]



รูปที่ 2.15 วัฏจักรแรงคินเหนือวิกฤต [23]

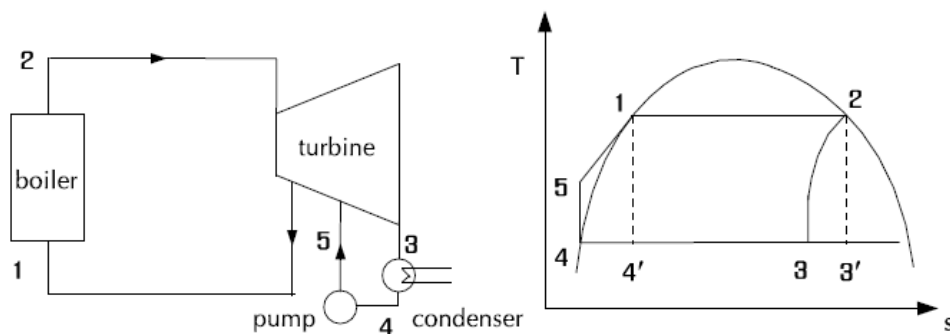
4. การให้ความร้อนซ้ำไอน้ำจากเครื่องกำเนิด จะทำหลังจากไอน้ำจะไหลผ่านเครื่องกังหันเครื่องแรกและจะไหลเข้าสู่เครื่องให้ความร้อนซ้ำ (Reheater) ซึ่งทำหน้าที่อุณหภูมิของไอน้ำให้สูงขึ้นเท่ากับหรือมากกว่าก่อนเข้าเครื่องกังหันเครื่องแรก และจะถูกส่งกลับเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำเครื่องที่

สองก่อนไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่น และมีข้อควรคำนึงถึงคือในการให้ความร้อนซ้ำถ้าความดันสูงเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพไม่เพิ่มมากนัก แต่ถ้าความดันต่ำเกินไป ประสิทธิภาพก็จะลดลงแทนที่จะเพิ่มขึ้น ซึ่งความดันที่เหมาะสมสำหรับการให้ความร้อนซ้ำจะมีค่าประมาณ 20% ของความดันไอน้ำในเครื่องกำเนิดไอน้ำ และการให้ความร้อนซ้ำโดยมากจะทำเพียงครั้งเดียวเนื่องจากประสิทธิภาพที่สูงขึ้นไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น



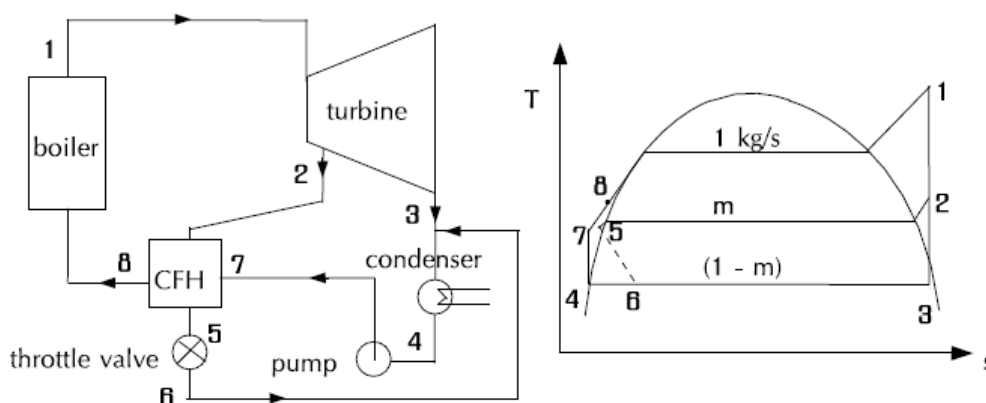
รูปที่ 2.16 วัฏจักรแรงคินที่มีการให้ความร้อนซ้ำ [23]

5. กระบวนการรีเจนเนอเรชัน เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในวัฏจักรระหว่างน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำกับไอน้ำที่ขยายตัวในเครื่องกังหัน ซึ่งในกรณีที่น้ำป้อนกับไอน้ำไหลสวนทางกันและมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกันโดยอุณหภูมิของน้ำป้อนกับไอน้ำแตกต่างกันน้อยมากผลที่ได้คือค่าเอนโทรปีเพิ่มขึ้นของน้ำป้อนจะเท่ากับเอนโทรปีของไอน้ำที่ลดลง ซึ่งจะทำให้วัฏจักรแรงคินที่มีรีเจนเนอเรชันในอุดมคติมีประสิทธิภาพเท่ากับวัฏจักรคาร์โนต



รูปที่ 2.17 วัฏจักรรีเจนเนอเรชันในอุดมคติ [23]

ในทางปฏิบัติวัฏจักรรีเจนเนอเรชันในอุดมคติไม่สามารถทำได้ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิ น้ำป้อนภายในเครื่องกังหันนั้นกระทำได้ยากและจะทำให้ไอน้ำมีความชื้นสูงซึ่งจะส่งผลให้เครื่องกังหันเสียหายหรือไม่สามารถทำงานได้ จึงได้มีแนวคิดในการดัดแปลงการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำป้อนดังกล่าว ด้วยวิธีการแยกเอาไอน้ำบางส่วนออกจากเครื่องกังหันมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำป้อนเครื่องกำเนิดไอน้ำภายนอกเครื่องกังหันด้วยเครื่องอุ่นน้ำป้อน (Feed water heater) โดยเครื่องอุ่นน้ำป้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบเปิด (Open feed water heater) และ แบบปิด (Closed feed water heater)



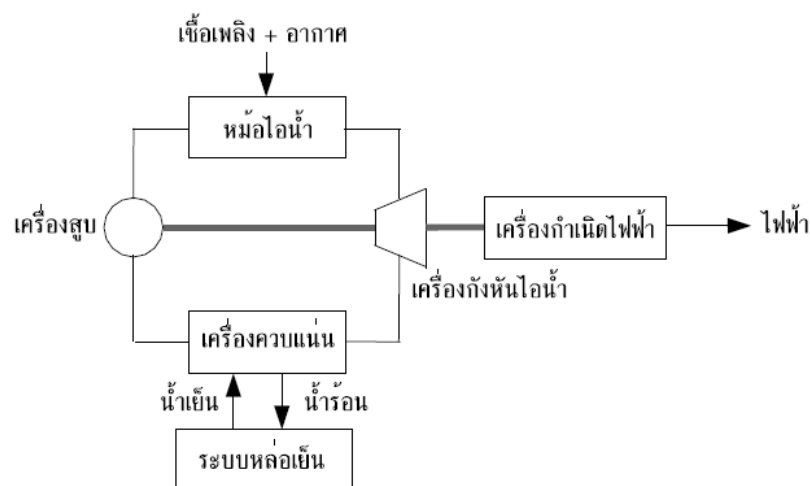
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างวัฏจักรแรงคินมีเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบปิด [23]

2.5 ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้านั้น สามารถทำได้ 2 แนวทางคือ 1. ทำการตรวจวัดและคำนวณค่าจริงตามวิธีการสมดุลทางความร้อนซึ่งจะได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ และ 2. วิเคราะห์จากตัวเลขแบบจำลองทางทฤษฎีซึ่งอาจจะได้ค่าที่ไม่เที่ยงตรงแต่มีความรวดเร็ว กรณีที่ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพตามแนวทางการตรวจวัดและคำนวณค่าจริงสามารถที่จะแสดงผังของส่วนประกอบโดยรวมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนอย่างง่ายได้ตามรูปที่ 2.19 ซึ่งประกอบไปด้วย หม้อไอน้ำ เครื่องกังหันไอน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องควบแน่น หอหล่อเย็น และเครื่องสูบน้ำ ซึ่งจะเห็นว่าพลังงานที่เข้าในระบบหรือวัฏจักรของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน คือ พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำและพลังงานที่ออก คือ พลังงานไฟฟ้า ดังนั้นประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจึงเท่ากับอัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้ากับค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ซึ่งแสดงได้ตามสมการดังนี้

$$\eta = \frac{P}{mf.HV} \times 100 \quad \text{มีหน่วยเป็น \%} \quad (2.1)$$

- โดยที่ P คือค่าพลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าผลิตได้
mf คืออัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
HV คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating value)
ซึ่งมีทั้งค่าความร้อนสูง (High heating value)
และค่าความร้อนต่ำ (Low heating value)



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบโดยรวมโรงไฟฟ้าพลังความร้อน [23]

ส่วนกรณีที่ทำกรวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าตามแนวทางการวิเคราะห์จากตัวเลขแบบจำลองทางทฤษฎีจะทำโดยรวบรวมข้อมูลตัวแปรของโรงไฟฟ้าที่สามารถวัดเก็บข้อมูลได้ และมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นกลุ่มตัวแปรส่วนหนึ่งจากตัวแปรทั้งหมด โดยนำตัวแปรเหล่านั้นมาหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์และสร้างเป็นแบบจำลองขึ้น เมื่อต้องการหาค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าก็ทำได้โดยการนำข้อมูลค่าตัวแปรแต่ละตัวในช่วงเวลาที่ต้องการมาใส่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น

การทำงานของโรงไฟฟ้านอกจากจะแสดงค่าประสิทธิภาพตามที่ได้กล่าวมาในข้างต้นแล้ว ยังสามารถระบุเป็นค่าความร้อนที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าปริมาณ 1 หน่วย หรือ 1 kWh ซึ่งถูกเรียกว่าค่าอัตราการใช้ความร้อน (Heat rate) โดยมีรูปแบบการคำนวณตามสมการดังนี้

$$HR = \frac{mf \cdot HV}{P \cdot \Delta t} \quad \text{มีหน่วยเป็น kJ/kWh} \quad (2.2)$$

โดยที่ Δt คือช่วงเวลาในการผลิตไฟฟ้า

ดังจะเห็นได้ว่าค่าอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้านั้นเป็นส่วนกลับของค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าคูณด้วยค่า Δt ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1 ชั่วโมงหรือ 3,600 วินาที ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าจากค่าประสิทธิภาพได้ตามสมการดังนี้

$$HR = \frac{3600}{\eta} \quad (2.3)$$

จากการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจะพบว่าในการปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าให้ดีขึ้นสามารถทำได้โดยการลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าและเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกโดยการลดการใช้ไฟฟ้าในระบบการผลิต (Station service) ซึ่งตามวิธีการข้างต้นอาจเกิดขึ้นจากการลงทุนปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงหรือติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในระบบผลิตไฟฟ้าและยังมีอีกแนวทางหนึ่งซึ่งลงทุนน้อยกว่า ได้แก่ วิธีการปรับแต่งค่าตัวแปรในกระบวนการผลิตไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมกับสภาพเครื่องและสภาวะแวดล้อมของโรงไฟฟ้านั้นๆ เป็นต้น

2.6 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำนั้นสามารถทำได้โดย 2 วิธีหลักๆ ด้วยกัน ได้แก่ วิธีที่ 1 แบบ Direct method หรือ Input-output method และวิธีที่ 2 แบบ Indirect method หรือ Heat loss method ซึ่งในส่วนวิธี Direct method หรือ Input-output method นั้น เป็นการหาประสิทธิภาพ โดยคำนวณจากปริมาณค่าพลังงานที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (Input) ต่อ ค่าพลังงานที่ออกจากหม้อไอน้ำ (Output) โดยค่าพลังงานที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำนั้นได้แก่ ค่าความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำโดยเชื้อเพลิงที่ใช้อาจเป็น ฟืน ไม้ ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น เพื่อใช้ในการต้มน้ำและนำไอน้ำไปใช้งาน ส่วนค่าพลังงานที่ออกจากหม้อไอน้ำนั้น คือ ค่าพลังงานความร้อนที่น้ำได้รับ โดยอยู่ในรูปของไอน้ำ หรือค่าเอนทาลปีของไอน้ำ ดังนั้น ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำสามารถแสดงได้ตามสมการดังนี้

$$\text{Boiler Efficiency} = \frac{\text{Heat output}}{\text{Heat input}} \times 100 \quad \text{มีหน่วยเป็น \%} \quad (2.4)$$

หรือสามารถแยกรายละเอียดออกได้เป็นตามสมการดังนี้

$$\text{Boiler Efficiency} = \frac{\text{Steam quantity} \times (\text{Steam enthalpy} - \text{Feed water enthalpy}) \times 100}{\text{Fuel consumption quantity} \times \text{Fuel calorific value}} \quad (2.5)$$

โดยที่ Steam quantity คือ ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลา

Steam enthalpy คือ ค่าพลังงานของไอน้ำต่อหน่วยมวล มีหน่วยเป็น Cal/kg หรือ J/kg

Feed water enthalpy คือ ค่าพลังงานของน้ำต่อหน่วยมวล มีหน่วยเป็น Cal/kg หรือ J/kg

Fuel consumption quantity คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อหน่วยเวลา

Fuel calorific value คือ ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ต่อหน่วยเวลา

ส่วนการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยใช้วิธีแบบ Indirect method หรือ Heat loss method นั้นสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า วิธีการสมดุลพลังงาน ซึ่งเป็นวิธีการรวมพลังงานทั้งหมดที่เข้าและออกจากหม้อไอน้ำ โดยพลังงานด้านออกนั้นจะพิจารณาคำนวณจากค่าความสูญเสียที่สามารถวัดค่าได้ เป็นค่าของความสูญเสียในส่วนต่างๆ ที่เกิดขึ้นนำมาหักลบจากค่าตั้งต้นซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 100% ทำให้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำจะสามารถพิจารณาค่าความสูญเสียได้ตรงจุดมากขึ้น โดยมีรูปแบบของสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$\text{Boiler efficiency} = 100 - (L1+L2+L3+L4+L5+L6+L7+L8) \quad (2.6)$$

โดยที่ L1 คือค่าความสูญเสียจากไอเสียแห้งที่ถูกปล่อยออกทางปล่องไอเสีย (Dry flue gas loss)

L2 คือค่าความสูญเสียจากความร้อนแฝงของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง

L3 คือค่าความสูญเสียจากความชื้นของเชื้อเพลิง (Moisture in fuel)

L4 คือค่าความสูญเสียจากความชื้นในอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ (Moisture in air)

L5 คือค่าความสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete combustion)

L6 คือค่าความสูญเสียจากความร้อนที่พื้นผิวหม้อไอน้ำ

L7 คือค่าความสูญเสียจากคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ในเถ้าลอย (Fly ash)

L8 คือค่าความสูญเสียจากคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ในเถ้าหนัก (Bottom ash)

เมื่อพิจารณาจากสมการข้างต้นจะพบว่าการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินเพื่อทำให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์ในเตาของหม้อไอน้ำนั้น ในกรณีที่มีการบ่อนอากาศส่วนเกินมากเกินไปจะทำให้เกิด

ความสูญเสียเพิ่มขึ้นในส่วนของค่า L1 หรือค่าความสูญเสียจากไอเสียแห่งที่ถูกปล่อยออกทางปล่องไอเสีย เนื่องจากมวลของอากาศที่เพิ่มมากขึ้นจะนำพาความร้อนออกจากเตาของหม้อไอน้ำได้มากขึ้นเช่นกัน

2.7 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุเป็นวิธีการทางสถิติวิธีหนึ่งที่ใช้ศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป [27] จุดประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอย คือ การประมาณค่าตัวแปรในรูปแบบหรือการหารูปแบบที่เหมาะสมกับข้อมูล โดยชนิดตัวแปรสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ชนิดแรกเป็นตัวแปรที่ขึ้นกับตัวแปรอื่นเรียกว่าตัวแปรตาม (Dependent variable หรือ Response variable) ส่วนตัวแปรอีกชนิดหนึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้ควบคุมหรืออธิบายตัวแปรตาม เรียกว่าตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (Independent variable หรือ Predictor variable) ตัวแปรอิสระนี้อาจเป็นตัวแปรที่ควบคุมหรือกำหนดค่า จำนวนตัวแปรอิสระอาจมีเพียงตัวเดียว หรือมากกว่า 1 ตัวแปรก็ได้ ถ้าตัวแปรอิสระมีเพียงตัวแปรเดียวเรียกว่า การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple regression) ในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีมากกว่าหนึ่งตัวเรียกว่า การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ถ้ากำหนดให้ Y เป็นตัวแปรตาม และ x_1, x_2, \dots, x_k เป็นตัวแปรอิสระ โดยมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นสมการแสดงความสัมพันธ์คือ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \quad (2.7)$$

โดย β_0 เป็นค่าของ y เมื่อ $x_j = 0$ ทุกค่าของ $j = 1, 2, \dots, k$

β_j เป็นตัวแปร และเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของ y เมื่อ x_j เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยตัวแปรอิสระอื่นๆ คงที่ ซึ่งเรียกค่าตัวแปรตัวนี้ว่า สัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วน

ϵ เป็นความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random error)

ในการหาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดมีข้อสมมติเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อน (ϵ) ดังต่อไปนี้

1. สำหรับแต่ละตัวแปรอิสระ ϵ_i เป็นตัวแปรสุ่มที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนคงที่ นั่นคือ $E(\epsilon_i) = 0$, $V(\epsilon_i) = \sigma^2$ ทุกค่า i

2. ค่าของ ϵ_i , ϵ_j ไม่มีสหสัมพันธ์กัน นั่นคือ $Cov(\epsilon_i, \epsilon_j) = 0$ ถ้า $i \neq j$ ซึ่งจะได้ว่า สำหรับแต่ละค่าของตัวแปรอิสระ $E(Y_i) = E(Y|X_k) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$, $V(Y_i) = \sigma^2$ และ $Cov(Y_i, Y_j) = 0$ ถ้า $i \neq j$

3. ϵ_i เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติ ค่าเฉลี่ย = 0 ความแปรปรวน = σ^2 นั่นคือ $\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ ภายใต้สมมติฐานนี้ ϵ_i, ϵ_j ไม่เพียงแต่จะไม่มีสหสัมพันธ์กันเท่านั้นแต่จะเป็นอิสระจากกันด้วย ซึ่งข้อสมมติฐานนี้ใช้ในการทดสอบสมมติฐานและหาช่วงเชื่อมั่น

ถ้าให้ b_0, b_1, \dots, b_k เป็นค่าประมาณของ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ การหาค่าประมาณของ b_0, b_1, \dots, b_k โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด มีแนวคิดและวิธีการ คือ สัมประสิทธิ์ชุดนี้จะต้องให้ค่าผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งทำได้โดยการหาอนุพันธ์ของ $\sum e_i^2$ เทียบกับ b_0, b_1, \dots, b_k แล้วกำหนดให้เท่ากับศูนย์ จะได้สมการปกติ (Normal equation) โดยจะอธิบายในรูปเมทริกซ์ ดังนี้

กำหนดให้ Y เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรตาม k ตัวแปร ขนาด $k \times 1$

X เป็นเมทริกซ์ของตัวแปรอิสระ ขนาด $n \times (k+1)$

β เป็นเวกเตอร์ของตัวแปร ขนาด $(k+1) \times 1$

ϵ เป็นเวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อนสุ่มขนาด $n \times 1$

ตัวแบบถดถอยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$Y = X\beta + \epsilon \quad (2.8)$$

โดย

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_k \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_k \end{bmatrix}$$

และ $E(\epsilon_i) = 0, V(\epsilon_i) = \sigma^2 I_n$ ซึ่งจะได้ว่าไม่มีสหสัมพันธ์กัน และ $E(Y) = X\beta$ ถ้าเพิ่มข้อจำกัดเรื่องการแจกแจงแบบปกติ ก็จะได้ว่า $\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2 I)$

ถ้าให้ B เป็นเวกเตอร์ของค่าประมาณของ β

e เป็นเวกเตอร์ของค่าประมาณของ ϵ

ตัวแบบถดถอยของตัวอย่าง

$$Y = XB + e \quad (2.9)$$

ให้ $e = Y - XB$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } e'e &= (Y-XB)'(Y-XB) \\ &= Y'Y - B'X'Y - Y'X'B + B'X'XB \end{aligned}$$

หาอนุพันธ์รวมของ $e'e$ เทียบกับ B

$$\frac{\partial e'e}{\partial B} = -2X'Y + 2X'XB = 0$$

และเขียนให้อยู่ในรูปของสมการปกติ (Normal equation)

$$X'XB = X'Y$$

ถ้า $X'X$ เป็นเมทริกซ์ที่ไม่ใช่เอกฐาน (Nonsingular matrix) นั่นคือสามารถหา $(X'X)^{-1}$ ได้

$$B = (X'X)^{-1}X'Y$$

คุณสมบัติของ B มี 2 ข้อดังนี้

1. B เป็นค่าประมาณของ β ซึ่งทำให้ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุด ไม่
ว่าความคลาดเคลื่อนจะมีการแจกแจงแบบใดก็ตาม

2. B เป็นผลบวกเชิงเส้นของ (y_1, y_2, \dots, y_n) เป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงของ β ซึ่ง
มีความแปรปรวนต่ำสุด ดังนั้น B จึงเป็นตัวประมาณค่าเชิงเส้นที่ไม่เอนเอียงที่ดีที่สุด ซึ่งเรียกว่า BLUE

ในเรื่องการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ สัมประสิทธิ์แห่งการกำหนดพหุคูณ (Multiple
coefficient of determinant) คือ

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2.10)$$

เป็นสัดส่วนของความผันแปรรอบค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามที่ได้อธิบายได้ด้วยสมการถดถอย
พหุคูณ R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1

ถ้า $R^2 = 0$ แสดงว่าสมการถดถอยไม่สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้เลย

$$\hat{Y}_i = \bar{Y} \quad (\text{หรือตัวแบบเป็น } Y_i = \beta_0 + \epsilon_i)$$

ถ้า $R^2 = 1$ แสดงว่าสมการถดถอยสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้อย่าง
สมบูรณ์ $\hat{Y}_i = Y_i$

ค่า $R = \sqrt{R^2}$ เรียกว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นค่าวัดสหสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง Y_i กับ \hat{Y}_i นั่นคือเป็นค่าวัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าสังเกตของตัวแปรตามกับค่าสังเกตของตัวแปรอิสระทุกตัวโดยรวม

แต่เนื่องจาก R^2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเสมอ เมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการ แม้ว่าตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปนั้นไม่มีอิทธิพลของตัวแปรตาม ดังนั้นจึงมีการปรับค่า R^2 ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นดังนี้

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{SSE / (n - k - 1)}{SST / (n - 1)}$$

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(n - 1)}{(n - k - 1)}$$

$$R_{adj}^2 = R^2 - \frac{k(1 - R^2)}{n - k - 1}$$

จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย ค่า R_{adj}^2 อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ เพราะทั้ง SSE และ $n - k - 1$ จะมีค่าลดลงก็ได้ ส่วน SST และ $n - 1$ มีค่าคงเดิม ดังนั้นเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย R_{adj}^2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้

สำหรับการเปรียบเทียบความผันแปรของตัวแบบค่า R_{adj}^2 จะไม่เหมือนกับค่า R^2 ในแง่ที่ว่าค่า R_{adj}^2 ไม่สามารถนำมาใช้ตีความหมายในประเด็นของความผันแปรทั้งหมดในตัวแปรตาม Y ที่ถูกอธิบายด้วยสมการถดถอย ซึ่งส่วนใหญ่จะเลือกใช้ R_{adj}^2 อันเนื่องมาจากการอธิบายความผันแปรที่ปรับค่าโดยสมบูรณ์

2.8 การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (Statistical product and service solutions, SPSS) เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล

การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (Statistical product and service solutions, SPSS) ในงานวิจัยนี้ ใช้เพื่อพิจารณาตัวแปรต้นที่มีนัยสำคัญ และสร้างสมการทำนายประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย [28]

วิธีการคัดเลือกตัวแปรของการวิเคราะห์การถดถอย

วิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการเพื่อให้สมการสามารถทำนายตัวแปรตามได้แม่นยำที่สุดมีวิธีการคัดเลือกตัวแปรดังนี้

1. วิธีการเลือกแบบก้าวหน้า (Forward selection)

วิธีการนี้จะเป็นการเลือกตัวแปรทำนายที่มีสหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าสมการก่อน ส่วนตัวแปรที่เหลือจะมีการคำนวณหาสหสัมพันธ์แบบแยกส่วน (Partial correlation) โดยเป็นความสัมพันธ์เฉพาะตัวแปรที่เหลือตัวนั้นกับตัวแปรตามโดยขจัดอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ ออก ถ้าตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กันสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็จะนำเข้าสมการต่อไป จะทำแบบนี้จนกระทั่งสหสัมพันธ์แบบแยกส่วนระหว่างตัวแปรอิสระที่ไม่ได้นำเข้าสมการแต่ละตัวกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ก็จะหยุดการคัดเลือก และได้สมการที่มีสัมประสิทธิ์การทำนายสูงสุด

2. วิธีการเลือกแบบถอยหลัง (Backward selection)

วิธีการนี้เป็นการนำตัวแปรทำนายทั้งหมดเข้าสมการ จากนั้นก็จะค่อยๆ ขจัดตัวแปรทำนายออกทีละตัว โดยจะหาสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่อยู่ในสมการแต่ละตัวกับตัวแปรตามเมื่อขจัดตัวแปรทำนายอื่นๆ ออกแล้ว หากทดสอบค่าสหสัมพันธ์แล้วพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ก็จะขจัดออกจากสมการ แล้วดำเนินการทดสอบตัวแปรที่เหลืออยู่ในสมการต่อไป จนกระทั่งสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายแต่ละตัวกับตัวแปรตามเมื่อขจัดตัวแปรอิสระอื่นๆ ออกแล้วพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ก็จะหยุดการคัดเลือก และได้สมการการทดสอบที่มีสัมประสิทธิ์การทำนายสูงสุด

3. วิธีการคัดเลือกแบบลำดับขั้น (Stepwise selection)

การคัดเลือกแบบนี้เป็นการผสมผสานระหว่างวิธีการคัดเลือกตัวแปรทำนายทั้งสองวิธีที่กล่าวมาแล้วเข้าด้วยกัน ในขั้นแรกจะเลือกตัวแปรทำนายที่มีสหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าสมการก่อน จากนั้นก็จะทดสอบตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในสมการว่าจะมีตัวทำนายตัวใดบ้างมีสิทธิ์เข้ามาอยู่ในสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบก้าวหน้า และขณะเดียวกันก็จะทดสอบตัวแปรที่อยู่ในสมการด้วยว่าตัวแปรทำนายที่อยู่ในสมการตัวแปรใดมีโอกาสที่จะถูกขจัดออกจากสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบถอยหลัง โดยจะกระทำการคัดเลือกผสมทั้งสองวิธีนี้ในทุกขั้นตอนจนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดที่ถูกคัดออกจากสมการ และไม่มีตัวแปรใดที่จะถูกนำเข้าสมการ กระบวนการก็จะยุติ และได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การทำนายสูงสุด ซึ่งวิธีการนี้ได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

2.9 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้เปรียบเทียบผลจากการตรวจวัดและผลจากแบบจำลอง

ตัวชี้วัดทางสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลจากการตรวจวัดกับแบบจำลองที่นิยมใช้กัน คือค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error, RMSE) และค่าความคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ย (Mean bias difference, MBD)

ค่า RMSE สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.11

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - E_i)^2}{N}} \quad (2.11)$$

ค่า MBD สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.12

$$MBD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - E_i) \quad (2.12)$$

เมื่อ M_i = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการ EUI หรือแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานนี้
 E_i = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัด
 N = จำนวนข้อมูล

ค่า RMSE จะมีค่าเป็นบวกเสมอ และจะแสดงให้เห็นถึงขนาดของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างผลจากการตรวจวัดและแบบจำลอง ส่วนค่า MBD จะเป็นได้ทั้งบวกและลบ โดยจะแสดงให้เห็นว่าผลจากแบบจำลองมักทำนายค่าสูงหรือต่ำกว่าผลจากการตรวจวัด ทั้งนี้แบบจำลองที่ดีควรมีค่า RMSE ต่ำและค่า MBD เข้าใกล้ค่า 0

2.10 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ในงานวิจัย

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีที่ตั้งอยู่ที่จังหวัดราชบุรี เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนหน่วยที่ 1 จากทั้งหมด 2 โรงไฟฟ้า มีขนาดกำลังการผลิต 735 MW ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก และน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสำรอง ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการวิจัยเฉพาะในส่วน of เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักเท่านั้น โรงไฟฟ้ามียูนิทหลักได้แก่

1. หม้อไอน้ำชนิดไหลผ่านรวดเร็ว (Once through boiler) จำนวน 1 เครื่อง
2. เครื่องกังหันไอน้ำ (Turbine) จำนวน 1 เครื่อง ซึ่งประกอบด้วยกังหันไอน้ำความดันสูง 1 ชุด กังหันไอน้ำความดันปานกลาง 1 ชุด และกังหันไอน้ำความดันต่ำ 2 ชุด
3. เครื่องควบแน่น (Condenser) จำนวน 1 เครื่อง ซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องควบแน่นความดันสูง 1 ชุด และเครื่องควบแน่นความดันต่ำ 1 ชุด

4. หอหล่อเย็น (Cooling tower) ประเภทไหลสวนทางจำนวน 1 เครื่อง ซึ่งมีหน่วยย่อยภายในทั้งหมด 20 ชุด
5. เครื่องอุ่นน้ำป้อนความดันต่ำ (Low pressure heater) จำนวน 4 เครื่อง
6. เครื่องอุ่นน้ำป้อนความดันสูง (High pressure heater) จำนวน 4 เครื่อง
7. เครื่องแยกอากาศ (Deaerator) จำนวน 1 เครื่อง
8. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) จำนวน 1 เครื่อง
9. เครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue gas desulfurization) จำนวน 1 เครื่อง

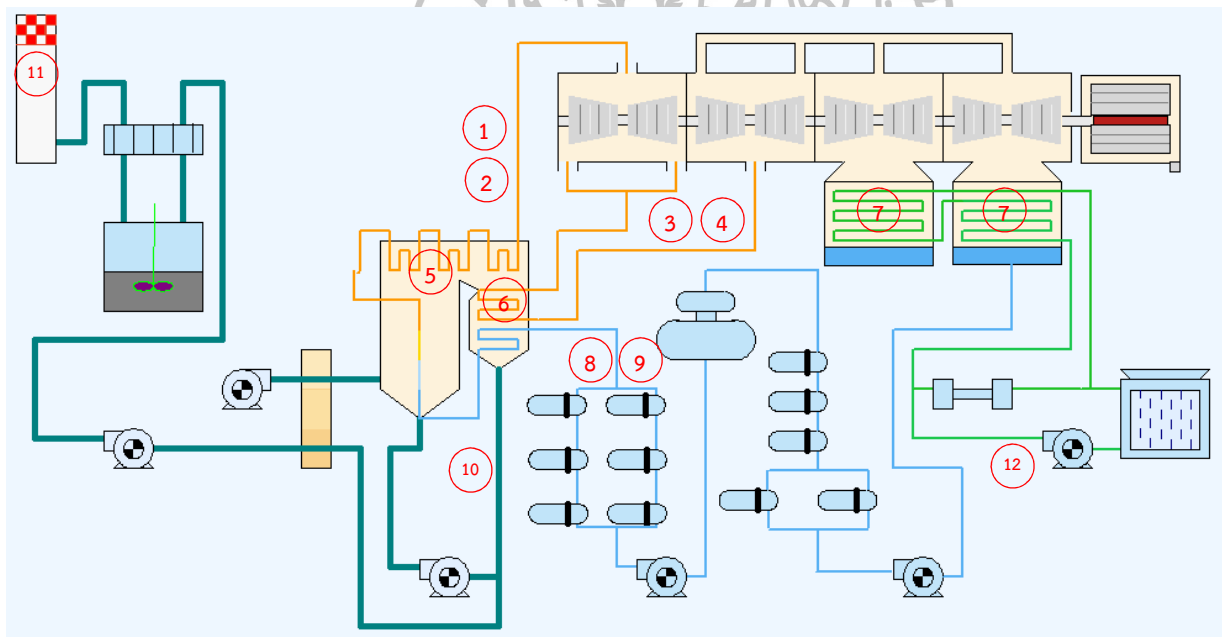
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนตัวอย่างนี้มีค่าสมมติฐานการออกแบบดังนี้ [29]

กำลังการผลิตไฟฟ้า	735	MW
อัตราการไหลไอน้ำยิ่งยวด	2,530	t/h
อัตราการไหลไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	2,004	t/h
ความดันไอน้ำยิ่งยวด	261	barg
ความดันไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	51.1	barg
อุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวด	540	°C
อุณหภูมิไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	568	°C
อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	294.2	°C
อุณหภูมิบรรยากาศ	27.5	°C
ค่าความชื้นสัมพัทธ์	75.1	%
ค่าความร้อนเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ	835-880	Btu/scf

ในการทำงานของโรงไฟฟ้านั้นเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ จะทำงานตามหน้าที่ของแต่ละตัว และเมื่อมองในภาพรวมจะเป็นการทำงานที่สอดคล้องประสานงานกัน ค่าตัวแปรในกระบวนการของโรงไฟฟ้าบางตัวอาจเกิดจากระบบหรืออุปกรณ์เพียงตัวเดียว เช่น ค่าอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นบางตัวแปรบางตัวอาจมีผลสืบเนื่องมาจากระบบหรืออุปกรณ์หลายตัว เช่น ค่าความดันในเครื่องควบแน่น และบางตัวแปรอาจไม่ขึ้นกับระบบหรืออุปกรณ์ของโรงไฟฟ้าใดๆ เลย เช่น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งแต่ละตัวแปรล้วนมีผลไม่ทางตรงก็ทางอ้อมต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า โดยโครงการวิจัยนี้จะทำการรวบรวมข้อมูลค่าตัวแปรหลักของโรงไฟฟ้าที่สามารถวัดและเก็บข้อมูลได้ซึ่งได้แก่

1. ค่าความดันของไอน้ำยวดยิ่ง (Superheat steam pressure)
2. ค่าอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง (Superheat steam temperature)

3. ค่าความดันของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ (Reheat steam pressure)
4. ค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ (Reheat steam temperature)
5. ค่าปริมาณการใช้น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง (Superheat spray water flow)
6. ค่าปริมาณการใช้น้ำลดอุณหภูมิของรับความร้อนซ้ำ (Reheat spray water flow)
7. ค่าความดันในเครื่องควบแน่น (Condenser vacuum)
8. ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (Final feed water temperature)
9. ค่าปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Feed water flow)
10. ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (Excess oxygen)
11. ค่าอุณหภูมิก๊าซเสียที่ปลายปล่อง (Stack temperature)
12. ค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (Circulating water temperature)



รูปที่ 2.20 แผนภาพแสดงตำแหน่งตัวแปรทั้ง 12 ตัวแปรในระบบของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน [30]

2.11 ผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพจากการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรหลัก

2.11.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความดันของไอน้ำยวดยิ่ง

การเปลี่ยนแปลงค่าความดันของไอน้ำยวดยิ่งจะมีผลทำให้ค่าเอนทาลปีของไอน้ำยวดยิ่งเปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อกำหนดให้ค่าอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งคงที่ เมื่อเพิ่มค่าความดันจะทำให้ค่าเอนทาลปีลดลง และในทางกลับกันเมื่อลดค่าความดันจะทำให้ค่าเอนทาลปีเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลค่าเอนทาลปีที่อุณหภูมิคงที่และที่ความดันต่างๆ ของไอน้ำยวดยิ่ง

ความดัน (bar)	อุณหภูมิ (°C)	เอนทาลปี (kJ/kg)
114	510	3,384.08
115	510	3,382.87
116	510	3,381.66
117	510	3,380.45
118	510	3,379.24
119	510	3,378.03
120	510	3,376.81

เมื่อนำค่าเอนทาลปีจากตารางที่ 2.1 แทนค่าในสมการสมดุลความร้อนของเครื่องกังหันไอน้ำ จะพบว่าเมื่อค่าความดันของไอน้ำยวดยิ่งสูงขึ้นทำให้ค่าเอนทาลปีลดลงซึ่งส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานความร้อนในการผลิตไฟฟ้าลดลงและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

$$\frac{SH_f \times SH_e + RH_f \times (RH_{e_out} - RH_{e_in}) - SH_f \times FW_e}{MW} \text{ มีหน่วยเป็น kJ/kWh} \quad (2.13)$$

โดยที่ SH_f คือ ค่าอัตราการไหลของไอน้ำยวดยิ่ง (Main steam flow, kg/s)

SH_e คือ ค่าเอนทาลปีของไอน้ำยวดยิ่ง มีหน่วยเป็น kJ/kg

RH_f คือ ค่าอัตราการไหลของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ มีหน่วยเป็น kJ/kg

RH_{e_out} คือ ค่าเอนทาลปีของไอน้ำรับความร้อนซ้ำขาออกห่อไอน้ำ มีหน่วยเป็น kJ/kg

RH_{e_in} คือ ค่าเอนทาลปีของไอน้ำรับความร้อนซ้ำขาเข้าห่อไอน้ำ มีหน่วยเป็น kJ/kg

FW_e คือ ค่าเอนทาลปีของน้ำป้อนเข้าห่อไอน้ำ มีหน่วยเป็น kJ/kg

MW คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าสุทธิ มีหน่วยเป็น MW

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความดันของไอน้ำยวดยิ่ง

เอนทาลปี (kJ/kg)	ประสิทธิภาพกังหันไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
3,384.08	38.59	86.89	33.54
3,382.87	38.61	86.89	33.55
3,381.66	38.63	86.89	33.56
3,380.45	38.64	86.89	33.58
3,379.24	38.66	86.89	33.59
3,378.03	38.68	86.89	33.61
3,376.81	38.69	86.89	33.62

จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าเมื่อความดันไอน้ำยวดยิ่งเปลี่ยนแปลงไป 1 บาร์ หรือคิดเป็น 0.86% ของค่าเฉลี่ยความดันไอน้ำยวดยิ่งที่ 116 บาร์ (ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW) จะมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง 0.01-0.02 %

2.11.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง

การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งจะมีผลทำให้ค่าเอนทาลปีของไอน้ำยวดยิ่งเปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อกำหนดให้ค่าความดันของไอน้ำยวดยิ่งคงที่ เมื่อเพิ่มค่าอุณหภูมิจะทำให้ค่าเอนทาลปีเพิ่มขึ้น และในทางกลับกันเมื่อลดค่าอุณหภูมิจะทำให้ค่าเอนทาลปีลดลง

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลค่าเอนทาลปีที่ความดันคงที่และที่อุณหภูมิต่างๆ ของไอน้ำยวดยิ่ง

ความดัน (bar)	อุณหภูมิ (°C)	เอนทาลปี (kJ/kg)
117	507	3,372.48
117	508	3,375.14
117	509	3,377.80
117	510	3,380.45
117	511	3,383.10
117	512	3,385.75
117	513	3,388.40

เมื่อนำค่าเอนทาลปีจากตารางที่ 2.3 แทนค่าในสมการสมดุลความร้อนของเครื่องกังหันไอน้ำ จะพบว่าเมื่อค่าอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งสูงขึ้นทำให้ค่าเอนทาลปีเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าลดลง

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง

เอนทาลปี (kJ/kg)	ประสิทธิภาพกังหันไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
3,372.48	38.75	86.89	33.67
3,375.14	38.72	86.89	33.64
3,377.80	38.68	86.89	33.61
3,380.45	38.64	86.89	33.58
3,383.10	38.61	86.89	33.55
3,385.75	38.57	86.89	33.52
3,388.40	38.54	86.89	33.48

จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งเปลี่ยนแปลงไป 1°C หรือคิดเป็น 0.2% ของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งที่ 510°C (ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW) จะมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง 0.03%

2.11.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความดันของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ

การเปลี่ยนแปลงค่าความดันของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ จะมีผลทำให้ค่าเอนทาลปีของไอน้ำรับความร้อนซ้ำเปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อกำหนดให้ค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำคงที่ เมื่อเพิ่มค่าความดันจะทำให้ค่าเอนทาลปีลดลง

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลค่าเอนทาลปีที่อุณหภูมิคงที่และที่ความดันต่างๆ ของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ

ความดัน (bar)	อุณหภูมิ (°C)	เอนทาลปี (kJ/kg)
14	505	3,485.58
15	505	3,484.51
16	505	3,483.44
17	505	3,482.36

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลค่าเอนทาลปีที่อุณหภูมิคงที่และที่ความดันต่างๆ ของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ (ต่อ)

ความดัน (bar)	อุณหภูมิ (°C)	เอนทาลปี (kJ/kg)
18	505	3,481.29
19	505	3,480.21
20	505	3,479.13

เมื่อนำค่าเอนทาลปีจากตารางที่ 2.5 แทนค่าในสมการสมดุลความร้อนของเครื่องกังหันไอน้ำ จะพบว่าเมื่อค่าความดันของรับความร้อนซ้ำสูงขึ้นทำให้ค่าเอนทาลปีลดลงซึ่งส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานความร้อนในการผลิตไฟฟ้าลดลงและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.6 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความดันของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ

เอนทาลปี (kJ/kg)	ประสิทธิภาพกังหันไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
3,485.58	38.61	86.89	33.55
3,484.51	38.62	86.89	33.56
3,483.44	38.63	86.89	33.57
3,482.36	38.65	86.89	33.58
3,481.29	38.66	86.89	33.59
3,480.21	38.67	86.89	33.60
3,479.13	38.68	86.89	33.61

จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าเมื่อความดันรับความร้อนซ้ำยังเปลี่ยนแปลงไป 1 บาร์ หรือคิดเป็น 5.88% ของค่าเฉลี่ยความดันไอน้ำยวดยิ่งที่ 17 บาร์ (ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW) จะมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง 0.01%

2.11.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ

การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ จะมีผลทำให้ค่าเอนทาลปีของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ เปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อกำหนดให้ค่าความดันของไอน้ำรับความร้อนซ้ำคงที่ เมื่อเพิ่มค่าอุณหภูมิจะทำให้ค่าเอนทาลปีเพิ่มขึ้น และในทางกลับกันเมื่อลดค่าอุณหภูมิจะทำให้ค่าเอนทาลปีลดลง

ตารางที่ 2.7 ข้อมูลค่าเอนทาลปีและความดันคงที่และที่อุณหภูมิต่างๆ ของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ

ความดัน (bar)	อุณหภูมิ (°C)	เอนทาลปี (kJ/kg)
17	502	3,475.77
17	503	3,477.97
17	504	3,480.16
17	505	3,482.36
17	506	3,484.56
17	507	3,486.76
17	508	3,488.95

เมื่อนำค่าเอนทาลปีจากตารางที่ 2.7 แทนค่าในสมการสมดุลความร้อนของเครื่องกังหันไอน้ำ จะพบว่าเมื่อค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำสูงขึ้น ทำให้ค่าเอนทาลปีเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าลดลง

ตารางที่ 2.8 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ

เอนทาลปี (kJ/kg)	ประสิทธิภาพกังหันไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
3,475.77	38.73	86.89	33.65
3,477.97	38.70	86.89	33.63
3,480.16	38.67	86.89	33.60
3,482.36	38.65	86.89	33.58
3,484.56	38.62	86.89	33.56
3,486.76	38.59	86.89	33.53
3,488.95	38.57	86.89	33.51

จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำเปลี่ยนแปลงไป 1°C หรือคิดเป็น 0.2% ของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งที่ 505°C (ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW) จะมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง 0.02-0.03%

2.11.5 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณการใช้ น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง

ตามกระบวนการของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนตัวอย่าง น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งจะถูกป้อนโดยแยกออกจากน้ำขาออกเครื่องประหยัดเชื้อเพลิง (Economizer) ซึ่งจะมีวาล์วควบคุมอัตราการไหลให้เหมาะสมตามสภาวะของไอน้ำยวดยิ่งเข้าสู่อุปกรณ์ลดอุณหภูมิไอน้ำยวดยิ่ง (Desuperheater) มีผลทำให้อุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งลดลงและอัตราการไหลเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น โดยกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นภายในหม้อไอน้ำ ทำให้การคำนวณผลกระทบต่ออัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าหรือประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้านั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อนเนื่องจากต้องเกี่ยวข้องกับข้อมูลพื้นฐานการออกแบบของหม้อไอน้ำนั้นๆ ซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะของผู้ผลิต ถ้าอธิบายตามกระบวนการที่เกิดขึ้นจะพบว่า น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งที่มีต้นทางจากน้ำขาออกของเครื่องประหยัดเชื้อเพลิง ไม่ได้ผ่านส่วนต่างๆ ภายในหม้อไอน้ำที่จะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเป็นไปตามลำดับซึ่งจะทำให้ น้ำค่อยๆ ได้รับความร้อนและเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำที่มีพลังงานสูงขึ้นตามลำดับ แต่น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งนั้นถูกส่งเข้าไปยังแผงท่อไอน้ำยวดยิ่งโดยตรงเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำยวดยิ่งในทันที ทำให้อุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งลดลงแต่เนื่องจากข้อจำกัดในการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซไอเสียเข้าสู่แผงท่อไอน้ำยวดยิ่ง ทำให้ก๊าซไอเสียบางส่วนซึ่งมีอุณหภูมิสูงไม่ได้ถ่ายเทความร้อนให้กับไอน้ำยวดยิ่ง จึงมีผลทำให้อัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าลดลง ทั้งนี้ผลกระทบต่ออัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้ามีค่าปรับแก้ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.14

$$y = 0.0002x^3 - 0.0022x^2 + 0.0571x - 0.0002 \quad (2.14)$$

โดยที่ y คือ ค่าปรับแก้อัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้า (%)

x คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของน้ำอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งต่อ
อัตราการไหลของไอน้ำยวดยิ่ง $\times 100$ (%)

ตารางที่ 2.9 ข้อมูลค่าปรับแก้ของอัตราการใช้ความร้อนเมื่ออัตราการไหลน้ำลดอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

อัตราการไหล น้ำลดอุณหภูมิ (t/h)	อัตราการไหล ไอน้ำยวดยิ่ง (t/h)	อัตราส่วนค่า x (%)	ค่าปรับแก้ (%)	อัตราการใช้ความ ร้อน (kJ/kWh)
0	806,460	0	0	10,723.86
8,064.60	806,460	1	0.054	10,729.65
16,129.20	806,460	2	0.107	10,735.34

ตารางที่ 2.9 ข้อมูลค่าปรับแก้ของอัตราการใช้ความร้อนเมื่ออัตราการไหลน้ำลดอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง
(ต่อ)

อัตราการไหล น้ำลดอุณหภูมิ (t/h)	อัตราการไหล ไอน้ำยวดยิ่ง (t/h)	อัตราส่วนค่า x (%)	ค่าปรับแก้ (%)	อัตราการใช้ความ ร้อน (kJ/kWh)
24,193.80	806,460	3	0.155	10,740.48
32,258.40	806,460	4	0.202	10,745.52
40,323.00	806,460	5	0.249	10,750.56

2.11.6 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณการใช้ น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ

ตามกระบวนการของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยทั่วไป น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำจะถูกป้อนจากปั๊มน้ำเข้าหม้อไอน้ำ โดยแยกจากน้ำที่ถูกอัดให้มีความดันสูงในช่วงกลางภายในปั๊มน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (Boiler feed pump) โดยน้ำส่วนนี้จะไม่ผ่านเครื่องอุ่นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ความดันสูง แต่จะเข้าสู่อุปกรณ์ลดอุณหภูมิไอน้ำรับความร้อนซ้ำ (Reheat de-superheater) โดยตรง มีผลทำให้อุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำลดลงและอัตราการไหลเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น

เมื่อคิดในแง่ของการใช้พลังงานแล้วจะพบว่าน้ำในส่วนนี้ไม่ผ่านเข้าเครื่องอุ่นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำความดันสูง ทำให้หม้อไอน้ำต้องใช้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้น้ำส่วนนี้กลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิสูง แต่ก็เป็นการลดการใช้ไอน้ำที่แยกมาจากกังหันไอน้ำ (Extraction steam) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิที่เครื่องอุ่นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ไอน้ำที่เกิดขึ้นในส่วนนี้จะไม่ถูกนำไปขับกังหันไอน้ำความดันสูงซึ่งเป็นส่วนต้นกำลังของกังหันไอน้ำคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 40% แต่จะถูกนำไปขับกังหันไอน้ำความดันปานกลาง และถูกส่งต่อไปขับกังหันไอน้ำความดันต่ำ ซึ่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีความซับซ้อนมากในการวิเคราะห์จึงไม่ขอกล่าวถึงใน ณ ที่นี้

2.11.7 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความดันในเครื่องควบแน่น

โดยทั่วไปค่าความดันในเครื่องควบแน่นจะถูกออกแบบมาให้ทำงานที่ค่าๆ หนึ่ง โดยเป็นค่าความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วการลดค่าความดันในเครื่องควบแน่นจะทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องควบแน่นหรืออุณหภูมิของน้ำอิมตัวลดลง ไอน้ำที่ผ่านเครื่องกังหันไอน้ำความดันต่ำสามารถควบแน่นเป็นน้ำได้ดีขึ้น ส่งผลให้งานสุทธิที่ได้จากวัฏจักรของกังหันไอน้ำเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันการเพิ่มความดันในเครื่องควบแน่นจะทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องควบแน่นหรืออุณหภูมิของน้ำอิมตัวเพิ่มขึ้น ไอน้ำที่ผ่านเครื่องกังหันไอน้ำความดันต่ำจะควบแน่นเป็นน้ำได้ยากขึ้น ส่งผลให้งานที่ได้จากวัฏจักรของกังหันไอน้ำลดลง ซึ่งสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของค่าความดันภายในเครื่องควบแน่น

นั้นมีได้จากหลายสาเหตุ เช่น การรั่วของเครื่องควบแน่นทำให้อากาศภายนอกไหลเข้าสู่ภายใน การทำงานผิดปกติของเครื่องดูดอากาศ (Exhauster pump) การระบายความร้อนของน้ำหล่อเย็น (Circulating water) ไม่เพียงพอ เป็นต้น

การคำนวณผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความดันในเครื่องควบแน่นสามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่าเอนทาลปีเมื่อค่าความดันในเครื่องควบแน่นเปลี่ยนแปลงไป คูณด้วยค่าอัตราการไหลของไอน้ำยวดยิ่ง (806,459 kg/h) ซึ่งประมาณว่าเป็นค่าอัตราการไหลของของไหลทำงานทั้งหมดในวัฏจักร และหารด้วยค่าการผลิตไฟฟ้าขณะนั้น (245 MW) จะได้ผลลัพธ์เป็นค่าอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยเปรียบเทียบกับค่าความดันในเครื่องควบแน่นที่ได้ ออกแบบไว้ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังความร้อนตัวอย่างได้ถูกออกแบบค่าความดันในเครื่องควบแน่นไว้ที่ 705 mmHg

ตารางที่ 2.10 ข้อมูลแสดงค่าอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความดันในเครื่องควบแน่น

ความดันสูญญากาศ (mmHg)	เอนทาลปี (kJ/kg)	อัตราการใช้ความร้อน ในการผลิตไฟฟ้า (kJ/kWh)	ร้อยละของ การเปลี่ยนแปลง (%)
735	108.37	356.73	2.22
730	121.40	399.60	1.73
725	132.65	436.64	1.30
720	142.58	469.33	0.93
715	151.49	498.65	0.59
710	159.57	525.27	0.28
705	166.99	549.68	0.00
700	173.85	572.24	-0.26
695	180.22	593.24	-0.50
690	186.19	612.89	-0.73
685	191.81	631.36	-0.94
680	197.11	648.81	-1.14
675	202.13	665.34	-1.33
670	206.90	681.06	-1.51
665	211.46	696.05	-1.69

ตารางที่ 2.10 ข้อมูลแสดงค่าอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความดันในเครื่องควบแน่น (ต่อ)

ความดันสุญญากาศ (mmHg)	เอนทาลปี (kJ/kg)	อัตราการใช้ความร้อน ในการผลิตไฟฟ้า (kJ/kWh)	ร้อยละของ การเปลี่ยนแปลง (%)
660	215.81	710.37	-1.85
655	219.98	724.10	-2.01
650	223.98	737.28	-2.16

2.11.8 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย

การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย จะมีผลทำให้ค่าเอนทาลปีของไอน้ำรับความร้อนเข้าเปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อกำหนดให้ค่าน้ำป้อนสุดท้ายคงที่ เมื่อเพิ่มค่าอุณหภูมิจะทำให้ค่าเอนทาลปีเพิ่มขึ้น และในทางกลับกันเมื่อลดค่าอุณหภูมิจะทำให้ค่าเอนทาลปีลดลง

ตารางที่ 2.11 ข้อมูลค่าเอนทาลปีที่ความดันคงที่และที่อุณหภูมิต่างๆ ของน้ำป้อนสุดท้าย

ความดัน (bar)	อุณหภูมิ (°C)	เอนทาลปี (kJ/kg)
127	225	966.84
127	226	971.50
127	227	976.17
127	228	980.84
127	229	985.52
127	230	990.21
127	231	994.91

เมื่อนำค่าเอนทาลปีจากตารางที่ 2.11 แทนค่าในสมการสมดุลความร้อนของเครื่องกังหันไอน้ำจะพบว่าเมื่อค่าอุณหภูมิของน้ำป้อนสุดท้ายสูงขึ้นทำให้ค่าเอนทาลปีเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าลดลง

ตารางที่ 2.12 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของน้ำป้อนสุดท้าย

เอนทาลปี (kJ/kg)	ประสิทธิภาพ กังหันไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพ หม้อไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
966.84	38.45	86.89	33.41
971.50	38.51	86.89	33.46
976.17	38.58	86.89	33.52
980.84	38.64	86.89	33.57
985.52	38.70	86.89	33.63
990.21	38.77	86.89	33.69
994.91	38.83	86.89	33.74

จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าเมื่อค่าอุณหภูมิของน้ำป้อนสุดท้ายเปลี่ยนแปลงไป 1°C หรือคิดเป็น 0.44% ของค่าเฉลี่ยค่าอุณหภูมิของน้ำป้อนสุดท้ายที่ 228°C (ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW) จะมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง 0.05-0.06%

2.11.9 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ

การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำจะส่งผลต่อปริมาณอัตราการผลิตไอน้ำยวดยิ่ง โดยมีผลไปตามกัน กล่าวคือ เมื่อลดปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำจะทำให้อัตราการผลิตไอน้ำยวดยิ่งลดลง และในทางกลับกันเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำจะทำให้การผลิตไอน้ำยวดยิ่งเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ในการคำนวณโดยตั้งสมมติฐานให้ค่าปริมาณน้ำป้อนทั้งหมดได้รับความร้อนและเปลี่ยนแปลงเป็นไอน้ำยวดยิ่งทั้งหมด เมื่อค่าปริมาณน้ำป้อนเปลี่ยนแปลงไป 1,000 kg/h ซึ่งคิดเป็น 0.12% ของค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำป้อนที่ 806,460 kg/h (ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW) เมื่อแทนค่าในสมการสมดุลความร้อนของเครื่องกังหันไอน้ำจะพบว่าเมื่อค่าปริมาณน้ำป้อนสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าลดลง และในทางกลับกันเมื่อค่าปริมาณน้ำป้อนลดลงจะส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานความร้อนในการผลิตไฟฟ้าลดลงหรือประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าประมาณ 0.03-0.04%

ตารางที่ 2.13 ข้อมูลค่าประสิทธิภาพกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่เอนทาลปีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ

ปริมาณน้ำป้อน (kg/h)	ประสิทธิภาพ กังหันไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพ หม้อไอน้ำ (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
803,460	38.76	86.89	33.68
804,460	38.72	86.89	33.65
805,460	38.68	86.89	33.61
806,460	38.64	86.89	33.57
807,460	38.60	86.89	33.54
808,460	38.56	86.89	33.50
809,460	38.52	86.89	33.47

2.11.10 สรุปผลของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า

จากข้อมูลในหัวข้อที่ผ่านมาจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรต้นจะส่งผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า โดยมีทั้งการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อตัวแปรต้นนั้นๆ มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ เมื่อตัวแปรต้นนั้นๆ มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าลดลง ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 สรุปการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่อผลของประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน
เมื่อกำหนดให้ค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าคงที่

ตัวแปร	การเปลี่ยนแปลง	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า
ค่าความดันของไอน้ำยวดยิ่ง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
ค่าอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ค่าความดันของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
ค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ค่าปริมาณน้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ค่าปริมาณน้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ค่าความดันในเครื่องควบแน่น	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ค่าปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ	เพิ่มขึ้น	ลดลง

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

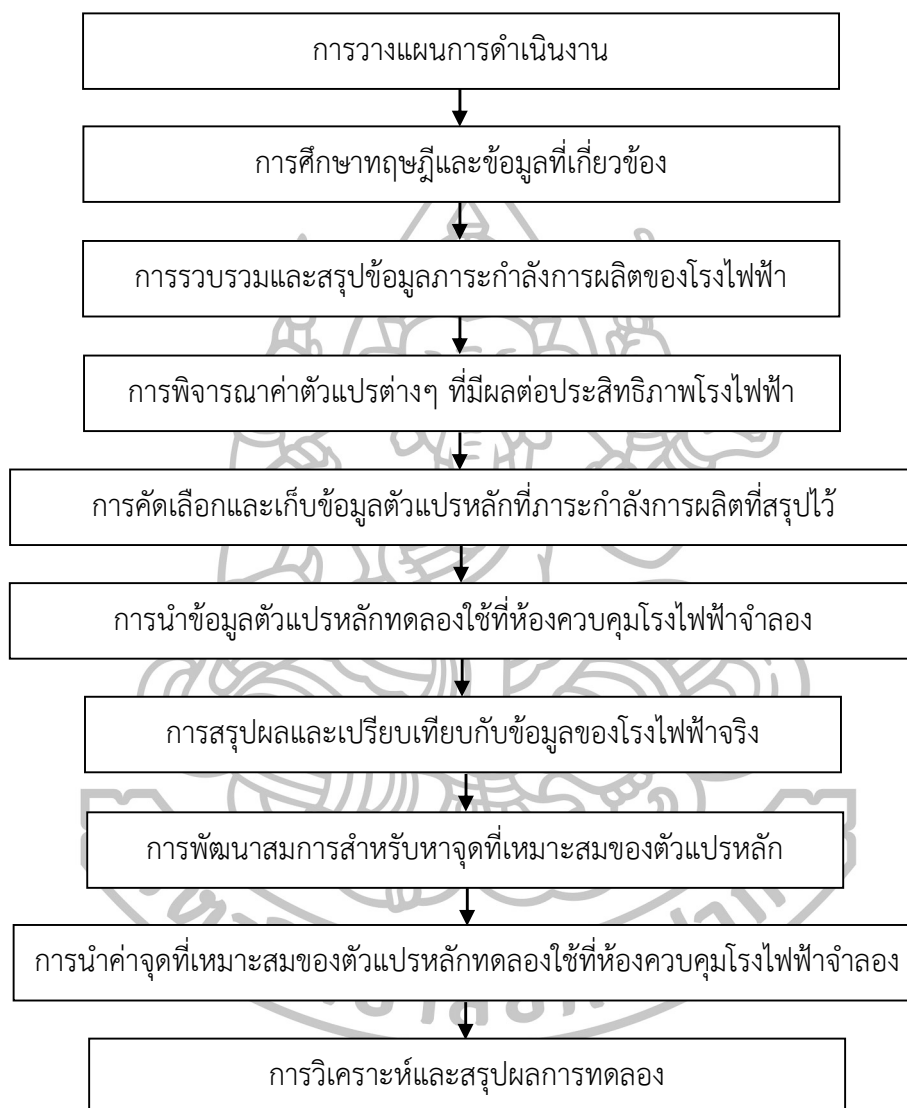
ขั้นตอนในการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้ แบ่งออกได้เป็น 10 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ การวางแผนการดำเนินงาน การศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การรวบรวมและสรุปข้อมูลภาระกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า การพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า การคัดเลือกและเก็บข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิตที่สรุปไว้ การนำข้อมูลตัวแปรหลักทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง การสรุปผลและเปรียบเทียบกับข้อมูลของโรงไฟฟ้าจริง การพัฒนาสมการสำหรับหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลัก การนำค่าจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลักทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง และการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้



3.1 การวางแผนและการเตรียมการ

3.1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้ สามารถแบ่งการดำเนินงานออกได้เป็น 10 ขั้นตอนหลัก ตามรูปที่ 3.1 ดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.2 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานของโครงการ แสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2556			พ.ศ. 2557								
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
ศึกษาทฤษฎีและ ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	██████████											
เสนอหัวข้อโครงการ			▼									
รวบรวมและสรุปข้อมูล ภาระกำลังการผลิตของ โรงไฟฟ้า	██████████											
พิจารณาค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพ โรงไฟฟ้า			██████████									
คัดเลือกและเก็บข้อมูล ตัวแปรหลัก				██████████								
สอบหัวข้อวิทยานิพนธ์												
นำข้อมูลตัวแปรหลัก ทดลองใช้ที่ห้องควบคุม โรงไฟฟ้าจำลอง						██████████						
สรุปผลและเปรียบเทียบกับข้อมูลของโรงไฟฟ้าจริง							██████████					

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน (ต่อ)

แผนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2556		พ.ศ. 2557										
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	
พัฒนาสมการสำหรับหาจุดเหมาะสมของตัวแปรหลัก													
นำค่าจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลักทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง													
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง													
จัดทำวิทยานิพนธ์													

3.2 การศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานโครงการวิจัยการหาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน มีทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่ต้องศึกษาดังนี้

- 3.2.1 การทำงานพื้นฐานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน
- 3.2.2 การคำนวณค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน
- 3.2.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression)
- 3.2.4 การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์

(Statistical product and service solutions, SPSS) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล

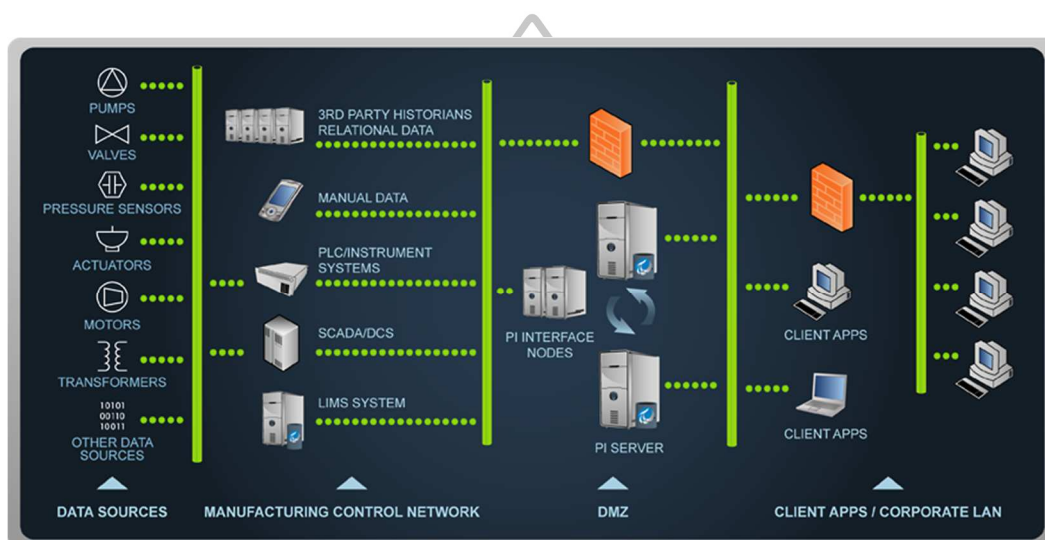
- 3.2.5 การใช้เครื่องมือทางสถิติเปรียบเทียบผลจากสมการที่พัฒนาขึ้นกับผลจากการทดลอง

3.3 การรวบรวมและสรุปข้อมูลการะกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า

การดำเนินงานโครงการวิจัยการหาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนนั้น จำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูลการะกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่จริง เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบของการะกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้านั้นๆ ซึ่งจะ

แตกต่างกันในแต่ละโรงไฟฟ้าและในแต่ละพื้นที่ โดยข้อมูลที่ได้นั้นจะสามารถนำไปหาจุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่เป็นประจำ

ส่วนการเก็บข้อมูลนั้นจะดำเนินการโดยเรียกใช้โปรแกรม PI Data Link ซึ่งเป็นโปรแกรม Add in ที่ติดตั้งฝังตัวในโปรแกรมประยุกต์ Excel เรียกข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายภายในโรงไฟฟ้าไปยังเครื่องแม่ข่าย PI Server ที่ทำหน้าที่รับและเก็บข้อมูลของโรงไฟฟ้า ตามที่ได้ระบุและกำหนดไว้ โดยโครงสร้างเครือข่ายของระบบ PI System แสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างเครือข่ายระบบ PI System [31]

3.4 การพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า

เนื่องจากโรงไฟฟ้าประกอบไปด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์หลายส่วนเป็นจำนวนมาก การทำงานที่ผิดพลาดหรือไม่สมบูรณ์ของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์บางตัว หรือแม้กระทั่งสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น อุณหภูมิของบรรยากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น เป็นต้น ล้วนมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า โดยโครงการวิจัยนี้จะพิจารณาข้อมูลค่าตัวแปรหลักที่สามารถวัดและเก็บข้อมูลได้ซึ่งได้แก่

1. ค่าความดันของไอน้ำยวดยิ่ง (Superheat steam pressure)
2. ค่าอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง (Superheat steam temperature)
3. ค่าความดันของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ (Reheat steam pressure)
4. ค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ (Reheat steam temperature)
5. ค่าปริมาณการใช้น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง (Superheat spray water flow)
6. ค่าปริมาณการใช้น้ำลดอุณหภูมิของรับความร้อนซ้ำ (Reheat spray water flow)
7. ค่าความดันในเครื่องควบแน่น (Condenser vacuum)

8. ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (Final feed water temperature)
9. ค่าปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Feed water flow)
10. ค่าปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess oxygen)
11. ค่าอุณหภูมิก๊าซเสียที่ปลายปล่อง (Stack temperature)
12. ค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (Circulating water temperature)

จากนั้นจะนำค่าตัวแปรดังกล่าวมาศึกษาผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าต่อไป โดยการรับ เก็บข้อมูล และการเรียกใช้ข้อมูลเป็นไปตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นในหัวข้อ 3.3

3.5 การคัดเลือกและเก็บข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิตที่สรุปไว้

จากที่ได้ทราบผลของค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า และทราบภาระกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่เป็นประจำที่ 245 และ 300 MW แล้วนั้น ในขั้นตอนนี้จะทำการคัดเลือกตัวแปรหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพสูงและความสามารถในการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรนั้นๆ ในขณะที่เดินเครื่องโดยเจ้าหน้าที่ประจำหน้าเครื่องโดยจะใช้วิธีการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) ของตัวแปรในกลุ่มค่าตัวแปรหลักดังกล่าวร่วมด้วย ซึ่งวิธีการเก็บข้อมูลจะกระทำโดยการเรียกใช้งานผ่านโปรแกรม PI DataLink ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นในหัวข้อ 3.3 โดยจะกำหนดช่วงของการเก็บข้อมูลที่ภาระกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าคงที่ที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องอยู่เป็นประจำย้อนหลังในปีพ.ศ. 2555 – 2556 และบันทึกไว้ในโปรแกรมประยุกต์ Excel

3.6 การนำข้อมูลตัวแปรหลักทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง

เพื่อเป็นการทดสอบหาข้อมูลความถูกต้องและความเสมือนจริงของห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง ค่าภาระกำลังการผลิตที่ได้เก็บข้อมูลไว้จะถูกนำมาเป็นเงื่อนไขในการทำงานของห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าตัวแปรหลักและผลของประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ากับข้อมูลที่ได้รวบรวมไว้ย้อนหลังจากการดำเนินงานในหัวข้อ 3.5 กรณีพบความแตกต่างหรือเบี่ยงเบนจากข้อมูลของโรงไฟฟ้าจริง จะทำการปรับการทำงานของห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองให้มีการตอบสนองให้เหมือนหรือใกล้เคียงข้อมูลของโรงไฟฟ้าจริง และจะเปรียบเทียบผลความแตกต่างในรูปของค่า RMSE (Root mean square error) และค่า MBD (Mean bias difference)

3.7 การพัฒนาสมการสำหรับหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลัก

สมการที่จะดำเนินการพัฒนาขึ้นนั้น เป็นสมการที่ใช้ในการทำนายหาค่าจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลักที่จะทำให้โรงไฟฟ้ามีค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ณ ภาระกำลังการผลิตที่ได้รวบรวมข้อมูลไว้ โดยจะเป็นภาระกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่เป็นประจำ

ซึ่งสมการที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้นจะใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression) โดยจะมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \eta = & a_0 + a_1A + a_2B + a_3C + a_4D + \dots \\ & + a_9AB + a_{10}AC + a_{11}AD + a_{12}BC + a_{13}BD + a_{14}CD + \dots \\ & + a_5A^2 + a_6B^2 + a_7C^2 + a_8D^2 + \dots \\ & + a_{15}A^2B + a_{16}A^2C + a_{17}A^2D + \dots \\ & + a_{18}B^2A + a_{19}B^2C + a_{20}B^2D + \dots \\ & + a_{21}C^2A + a_{22}C^2B + a_{23}C^2D + \dots \\ & + a_{24}D^2A + a_{25}D^2B + a_{26}D^2C + \dots \end{aligned}$$

โดย η คือ ค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า

A, B, C, D, ... คือ ค่าตัวแปรหลักของโรงไฟฟ้าที่ได้คัดเลือกไว้

$a_0, a_1, a_2, a_3, \dots$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ

โดยวิธีการสร้างสมการนั้นจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression) และพิจารณานำพจน์ของตัวแปรที่มีนัยสำคัญนำมาสร้างสมการต่อไป

3.8 การนำค่าจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลักทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง

ผลของค่าตัวแปรหลักที่ได้จากสมการที่พัฒนาขึ้นจะถูกนำไปใช้ในสมการคณิตศาสตร์ (Mathematic modeling) ที่ได้พัฒนาขึ้นในขั้นต้น จากนั้นจะถูกนำไปทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง โดยการปรับแต่งเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรหลักแต่ละตัวและศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นของค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า

3.9 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลจะนำค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองซึ่งได้ปรับแต่งเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรหลักแต่ละตัว มาเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพที่ได้จากสมการที่พัฒนาขึ้น และดูผลว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ โดยจะแสดงค่าความแตกต่างในรูปของค่า RMSE และค่า MBD และจะใช้วิธีการทางสถิติทำการทดสอบความแตกต่างระหว่าง

ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่ม เพื่อสรุปว่าผลของค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองต่างจากค่าที่ได้จากสมการที่พัฒนาขึ้นในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่

3.10 สถานที่ดำเนินโครงการวิจัย

สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินงานโครงการวิจัยการหาจุดที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน จะดำเนินการที่โรงไฟฟ้าพลังความร้อนราชบุรี ซึ่งตั้งอยู่ที่ ตำบลพิบูลทอง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นสถานที่ที่ผู้วิจัยปฏิบัติงานอยู่



บทที่ 4 ผลการวิจัย

จากการรวบรวมข้อมูลภาระกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนตัวอย่างพบว่า มีการเดินเครื่องเป็นประจำที่ภาระกำลังการผลิต 245 และ 300 MW คิดเป็น 33.33% และ 40.82% ของภาระกำลังการผลิตเต็มพิกัดที่ 735 MW ส่งผลให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ การเดินเครื่องที่ภาระกำลังการผลิตที่สูงกว่า โดยผู้วิจัยได้พิจารณาข้อมูลของค่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนทั้งหมด 12 ตัวตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 และคัดเลือกตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมสำหรับการเดินเครื่องที่ภาระกำลังการผลิต 245 และ 300 MW

ตารางที่ 4.1 ผลกระทบต่อประสิทธิภาพเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร 1 หน่วย

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ผลกระทบต่อประสิทธิภาพ (%)
1	ค่าความดันของไอน้ำยวดยิ่ง	barg	0.01 - 0.02
2	ค่าอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง	°C	0.03
3	ค่าปริมาณการใช้น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง	kg/s	0.01
4	ค่าความดันของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	barg	0.02 - 0.03
5	ค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	°C	0.05 - 0.06
6	ค่าปริมาณการใช้น้ำลดอุณหภูมิของรับความร้อนซ้ำ	kg/s	0.03 - 0.04
7	ค่าความดันในเครื่องควบแน่น	mmHg	0.001 - 0.002
8	ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย	°C	0.001 - 0.002
9	ค่าปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ	T/H	0.10 - 0.30
10	ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	%	0.01 - 0.02
11	ค่าอุณหภูมิก๊าซเสียที่ปลายปล่อง	°C	ไม่ประเมิน
12	ค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น	°C	ไม่ประเมิน

จากค่าตัวแปรหลักทั้ง 12 ตัวแปร ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมสำหรับการเดินเครื่องที่ภาระกำลังการผลิต 245 และ 300 MW จำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ 1) ค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ 2) ค่าความดันในเครื่องควบแน่น 3) ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายมี และ 4) ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน โดยพิจารณาจากผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าและความสามารถในการปรับแต่งหรือเปลี่ยนแปลงได้โดยผู้ควบคุมประจำหน้าเครื่อง ซึ่งจากการวิเคราะห์และการทดลองผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรไป 1 หน่วยของทั้ง 12 ตัวแปร ได้ผลเป็นไปตามตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของแต่ละตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปรจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงสูง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นๆ และเป็นตัวแปรที่ผู้ควบคุมประจำหน้าเครื่องสามารถปรับแต่งค่าได้โดยง่าย อีกทั้งยังสามารถวัดและจัดเก็บข้อมูลได้เพื่อนำมาวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรดังกล่าวในงานวิจัยต่อไป

4.1 การนำข้อมูลตัวแปรหลักทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง

จากข้อจำกัดที่ไม่สามารถทดสอบหรือทดลองผลที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรหลักที่ได้กำหนดไว้กับโรงไฟฟ้าจริงได้ เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อรายได้จากค่าความพร้อมจ่ายของโรงไฟฟ้าและเพื่อป้องกันผลความเสียหายต่ออุปกรณ์ของโรงไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงจะดำเนินการทดลองที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบเปรียบเทียบผลของค่าตัวแปรหลักระหว่างค่าที่ได้จากโรงไฟฟ้าจริงและค่าที่ได้จากห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานของห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองหรือปรับแก้ไขค่าที่ได้จากห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองให้มีค่าเบี่ยงเบนจากโรงไฟฟ้าจริงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งกำหนดให้มีค่าความแตกต่างได้ไม่เกิน 2% โดยอ้างอิงจากค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดของโรงไฟฟ้า โดยผลค่าความแตกต่างสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าตัวแปรหลักระหว่างโรงไฟฟ้ากับห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	โรงไฟฟ้า	ห้องควบคุมจำลองฯ	เปอร์เซ็นต์ผลต่าง
1	กำลังการผลิตไฟฟ้า	MW	245.10	245.00	0.04
2	ค่าความดันของไอน้ำยวดยิ่ง	barg	116.38	116.33	0.04
3	ค่าอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง	°C	508.17	508.00	0.03

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าตัวแปรหลักระหว่างโรงไฟฟ้ากับห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	โรงไฟฟ้า	ห้องควบคุม จำลองฯ	เปอร์เซ็นต์ ผลต่าง
4	ค่าปริมาณการใช้น้ำลดอุณหภูมิของ ไอน้ำยวดยิ่ง	kg/s	19.66	20.00	-1.73
5	ค่าความดันของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	barg	15.85	15.77	0.50
6	ค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	°C	505.49	504.90	0.12
7	ค่าปริมาณการใช้น้ำลดอุณหภูมิของ รับความร้อนซ้ำ	kg/s	0.00	0.00	0.00
8	ค่าความดันในเครื่องควบแน่น	mmHg	-725.00	-724.50	0.07
9	ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย	°C	227.41	227.00	0.18
10	ค่าปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิด ไอน้ำ	T/H	787.32	779.00	1.06
11	ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	%	5.83	5.89	-1.03
12	ค่าอุณหภูมิก๊าซเสียที่ปลายปล่อง	°C	80.69	81.54	-1.05
13	ค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น	°C	26.29	26.36	-0.27

จากตารางที่ 4.2 จะพบว่าเปอร์เซ็นต์ผลต่างสูงสุดที่เกิดขึ้นเป็นในส่วนของค่าปริมาณการใช้น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง ซึ่งมีผลต่างเท่ากับ -1.73% และเมื่อพิจารณาผลต่างของค่าตัวแปรหลักที่ได้คัดเลือกเพื่อนำไปพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ต่อไปแล้ว ซึ่งได้แก่ 1) ค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนซ้ำมีผลต่างเท่ากับ 0.12% 2) ค่าความดันในเครื่องควบแน่นมีผลต่างเท่ากับ 0.07% 3) ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายมีผลต่างเท่ากับ 0.18% และ 4) ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกินมีผลต่างเท่ากับ -1.03% ดังจะเห็นได้ว่าผลต่างของค่าตัวแปรหลักระหว่างโรงไฟฟ้าจริงกับห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองนั้น มีความแตกต่างอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ไม่เกิน 2% ซึ่งอยู่ในขอบเขตของค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถที่จะใช้ระบบและกระบวนการของห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองเป็นตัวแทนอ้างอิงและทดสอบผลจากการพัฒนาสมการสำหรับหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลักที่ได้คัดเลือกไว้แทนการทดลองที่โรงไฟฟ้าจริงได้

4.2 การพัฒนาสมการสำหรับหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลัก

จากข้อมูลตัวแปรหลักที่ได้คัดเลือกไว้ทั้ง 4 ตัวแปร ซึ่งได้แก่ 1) ค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนเข้า 2) ค่าความดันในเครื่องควบแน่น 3) ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย และ 4) ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน โดยผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลดังกล่าวจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนตัวอย่าง และได้นำข้อมูลของทั้ง 4 ตัวแปรมาพัฒนาหาสมการหาจุดที่เหมาะสมเพื่อให้โรงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพดีที่สุด ที่ภาระกำลังการผลิต 245 และ 300 MW ดังนั้นผลการวิจัยนี้จะทำการพัฒนาสมการสำหรับหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัว จำนวน 2 ชุดสมการที่ภาระกำลังการผลิต 245 และ 300 MW ซึ่งข้อมูลที่ได้รวบรวมเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW

ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นเข้า (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
1	246.40	506.89	0.0249	226.18	6.57	37.54
2	245.96	506.74	0.0251	226.18	6.61	37.86
3	246.95	506.59	0.0251	226.18	6.65	38.17
4	245.21	506.59	0.0248	226.18	6.62	37.40
5	245.41	506.68	0.0251	226.10	6.59	38.03
6	246.45	506.76	0.0251	226.13	6.57	37.72
7	245.70	506.85	0.0250	226.13	6.54	37.45
8	245.58	506.93	0.0250	226.13	6.56	37.62
9	246.15	506.83	0.0250	226.36	6.64	37.77
10	246.11	506.65	0.0250	226.14	6.61	38.04
11	245.66	506.71	0.0250	226.13	6.58	37.50
12	246.15	506.77	0.0250	226.14	6.55	38.03

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW (ต่อ)

ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้น (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
13	246.21	506.84	0.0250	226.04	6.53	37.10
14	245.36	506.90	0.0250	226.21	6.62	37.48
15	246.27	506.85	0.0251	226.14	6.53	38.07
16	247.25	506.83	0.0248	226.21	6.53	38.01
17	244.24	506.87	0.0249	226.21	6.53	37.43
18	246.77	506.87	0.0249	226.16	6.53	37.50
19	246.70	506.70	0.0248	226.19	6.53	37.94
20	245.85	506.60	0.0248	226.19	6.53	37.75
21	245.61	506.60	0.0247	226.17	6.53	37.36
22	246.45	506.61	0.0247	226.17	6.53	38.14
23	245.76	506.62	0.0248	226.17	6.53	37.53
24	245.28	506.64	0.0246	226.17	6.53	38.06
25	245.01	506.75	0.0249	226.17	6.58	37.25
26	244.91	506.94	0.0248	226.17	6.62	37.16
27	246.71	507.08	0.0247	226.41	6.65	37.75
28	245.08	507.08	0.0246	226.20	6.42	37.66
29	246.90	507.43	0.0246	226.20	6.64	37.96
30	245.96	507.43	0.0247	226.28	6.46	37.20
31	245.86	507.43	0.0247	226.17	6.64	38.11

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW (ต่อ)

ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้น (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
32	245.75	507.49	0.0249	226.16	6.52	37.84
33	245.18	507.46	0.0247	226.32	6.48	37.58
34	246.25	507.39	0.0246	226.27	6.44	37.79
35	246.50	507.26	0.0249	226.28	6.45	37.65
36	245.55	507.16	0.0247	226.23	6.57	37.55
37	245.75	507.19	0.0249	226.22	6.64	37.73
38	246.75	507.26	0.0250	226.27	6.61	38.14
39	246.21	507.28	0.0250	226.32	6.56	37.73
40	246.19	507.22	0.0253	226.32	6.51	37.67
41	246.49	507.17	0.0251	226.21	6.46	37.72
42	246.49	507.41	0.0253	226.32	6.42	37.41
43	246.68	507.38	0.0253	226.26	6.55	38.25
44	245.74	507.23	0.0252	226.22	6.57	37.42
45	245.30	507.11	0.0252	226.21	6.60	37.96
46	245.99	507.11	0.0252	226.22	6.62	37.64
47	245.87	507.11	0.0255	226.36	6.65	37.98
48	246.43	507.13	0.0255	226.35	6.59	37.69
49	245.77	507.21	0.0252	226.38	6.54	37.95
50	246.65	507.31	0.0254	226.24	6.58	37.04

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW (ต่อ)

ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้น (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
51	246.40	507.37	0.0255	226.56	6.61	37.55
52	245.75	507.36	0.0255	226.37	6.64	37.85
53	244.70	507.35	0.0256	226.37	6.64	37.78
54	244.66	507.34	0.0256	226.36	6.54	37.15
55	246.00	507.34	0.0257	226.36	6.54	37.43
56	246.21	507.34	0.0255	226.14	6.54	36.92
57	245.91	507.29	0.0254	226.38	6.54	37.45
58	245.91	507.23	0.0256	226.38	6.57	37.75
59	246.64	507.15	0.0255	226.25	6.62	37.44
60	245.42	507.06	0.0258	226.18	6.66	38.08
61	245.86	506.97	0.0256	226.39	6.59	37.36
62	246.21	506.94	0.0259	226.36	6.48	37.96
63	245.97	506.89	0.0260	226.17	6.50	37.63
64	246.01	506.75	0.0260	226.18	6.56	37.68
65	245.48	506.60	0.0259	226.30	6.59	37.86
66	244.33	506.63	0.0260	226.30	6.63	37.75
67	245.61	506.71	0.0261	226.25	6.66	37.55
68	246.21	506.80	0.0261	226.30	6.66	37.68
69	245.65	506.88	0.0261	226.30	6.66	37.32

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW (ต่อ)

ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้น (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
70	246.56	506.95	0.0265	226.29	6.66	37.92
71	246.10	506.97	0.0264	226.29	6.66	37.58
72	245.81	506.97	0.0265	226.30	6.66	37.25
73	245.78	506.89	0.0264	226.51	6.54	37.82
74	245.40	506.84	0.0266	226.32	6.57	37.70
75	245.96	506.80	0.0266	226.32	6.61	37.51
76	245.83	506.78	0.0268	226.32	6.64	37.86
77	246.27	506.80	0.0269	226.32	6.69	36.89
78	245.99	506.83	0.0269	226.41	6.76	37.38
79	245.11	506.83	0.0269	226.60	6.68	37.35
80	246.55	506.83	0.0270	226.41	6.54	37.98
81	245.36	507.01	0.0270	226.41	6.54	37.96
82	246.46	507.15	0.0271	226.44	6.54	37.96
83	246.11	507.04	0.0272	226.44	6.54	37.24
84	246.20	506.88	0.0273	226.47	6.52	37.37
85	246.07	506.90	0.0274	226.49	6.48	37.82
86	245.22	507.01	0.0274	226.41	6.43	37.83
87	245.64	507.13	0.0275	226.43	6.52	37.45
88	246.75	506.86	0.0276	226.35	6.58	37.38

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW (ต่อ)

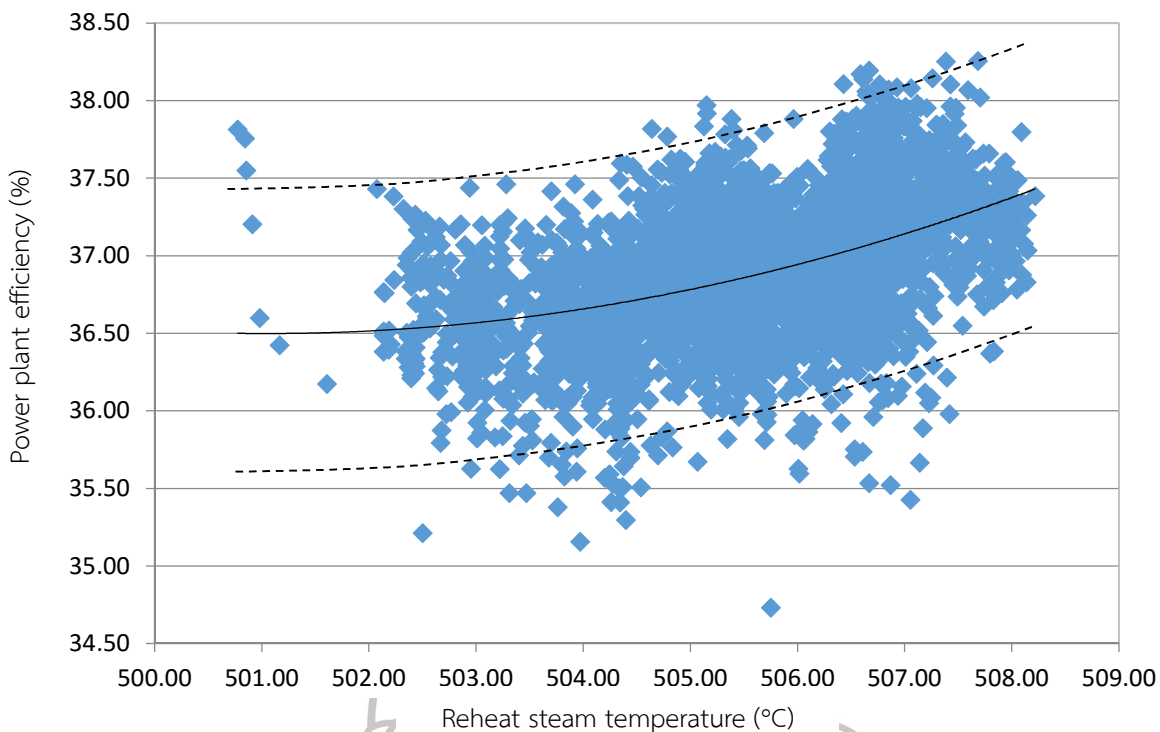
ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำ (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
89	246.67	506.86	0.0276	226.33	6.63	37.07
90	245.58	506.84	0.0275	226.52	6.52	37.11
91	246.69	506.82	0.0278	226.52	6.62	37.06
92	245.92	506.82	0.0278	226.50	6.53	37.61
93	246.24	506.82	0.0277	226.46	6.43	37.94
94	245.87	506.83	0.0277	226.46	6.46	37.68
95	246.81	506.84	0.0279	226.46	6.49	37.20
96	246.24	506.85	0.0280	226.48	6.52	37.50
97	245.12	506.88	0.0281	226.50	6.57	37.81
98	244.93	506.91	0.0282	226.56	6.62	36.90
99	246.05	506.92	0.0282	226.61	6.63	37.82
100	245.84	506.93	0.0282	226.54	6.41	37.69
เฉลี่ย	245.99	505.49	0.0453	227.41	5.80	36.89

หมายเหตุ จำนวนข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW มีทั้งหมด 3,872 ข้อมูล ข้อมูลส่วนที่เหลือสามารถดูได้จากเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ภายในแผ่นบันทึกข้อมูลท้ายเล่ม

4.2.1 การพัฒนาสมการสำหรับหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลตัวแปรหลักที่ได้คัดเลือกไว้ทั้ง 4 ตัวแปรที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW นำมาแสดงในกราฟและหาสมการตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนตัวอย่าง ซึ่งกราฟและสมการตัวแทนข้อมูลดังกล่าวแสดงได้ดังนี้

1) ค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า
ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำมาเขียนเป็นกราฟเพื่อ
พิจารณาความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.1 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความ
ชื้นซ้ำกับค่าประสิทธิภาพดังนี้

$$Y = 0.0179X^2 - 17.933X + 4575 \quad (4.1)$$

โดยที่ ค่า $R^2 = 0.1986$

ค่า MBD = 0.0234

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0234

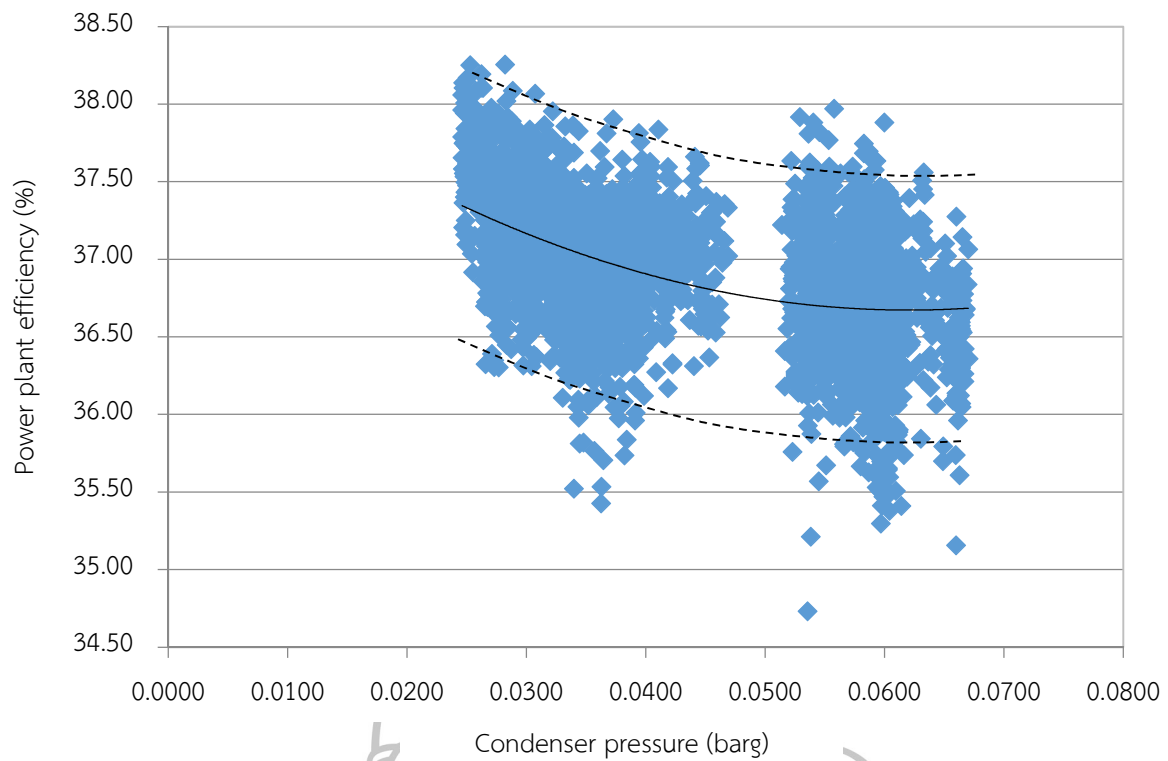
ค่า RMSE = 0.0143

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างกับค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0143

ค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างของข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ตาม

เส้นประบน รูปที่ 4.1

2) ค่าความดันในเครื่องควบแน่น



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันในเครื่องควบแน่นกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า
ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าและค่าความดันในเครื่องควบแน่นมาเขียนเป็นกราฟเพื่อ
พิจารณาความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.2 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันในเครื่อง
ควบแน่นกับค่าประสิทธิภาพดังนี้

$$Y = 480.77X^2 - 89.644X + 38.522 \quad (4.2)$$

โดยที่ ค่า $R^2 = 0.2414$

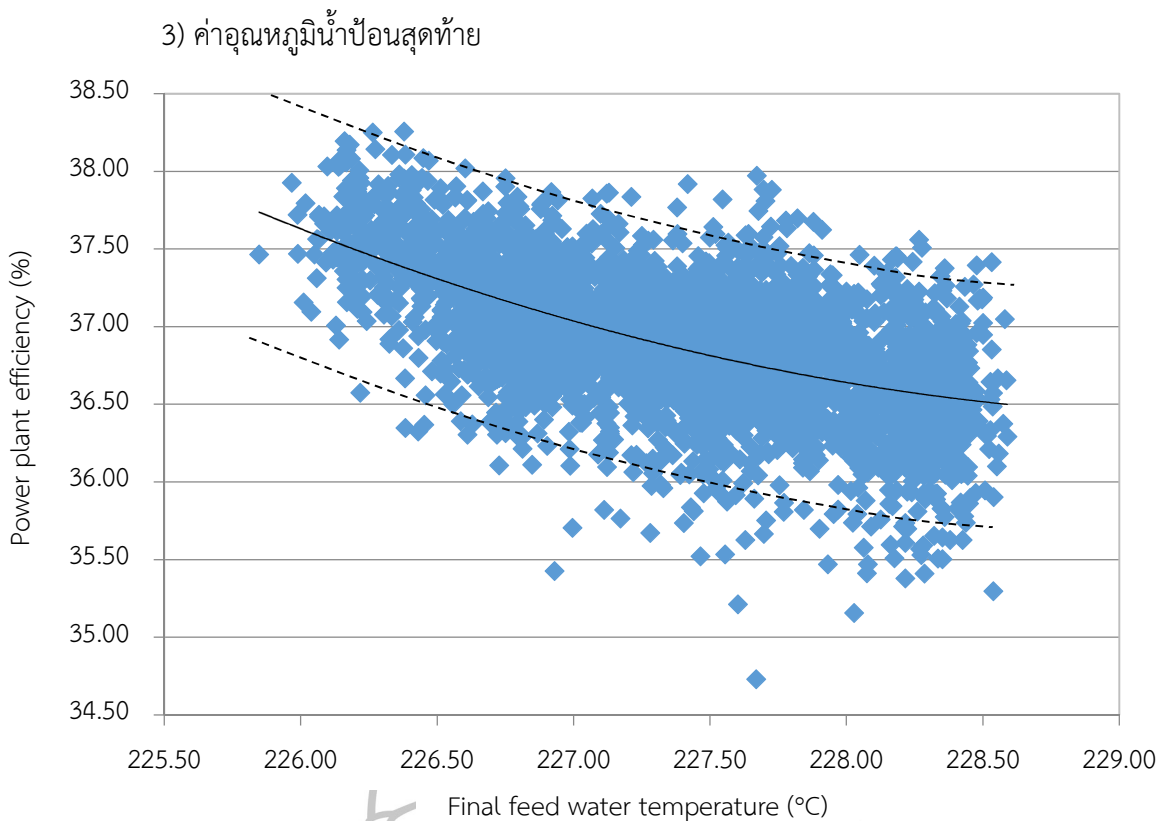
ค่า MBD = -0.1372

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ -0.1372

ค่า RMSE = 0.0142

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างกับค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0142

ค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างของข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ตาม
เส้นประบน รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า
ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายมาเขียนเป็นกราฟเพื่อ
พิจารณาความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.3 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย
กับค่าประสิทธิภาพดังนี้

$$Y = 0.0979X^2 - 45.381X + 5243.9 \quad (4.3)$$

โดยที่ ค่า $R^2 = 0.3478$

ค่า MBD = 0.0505

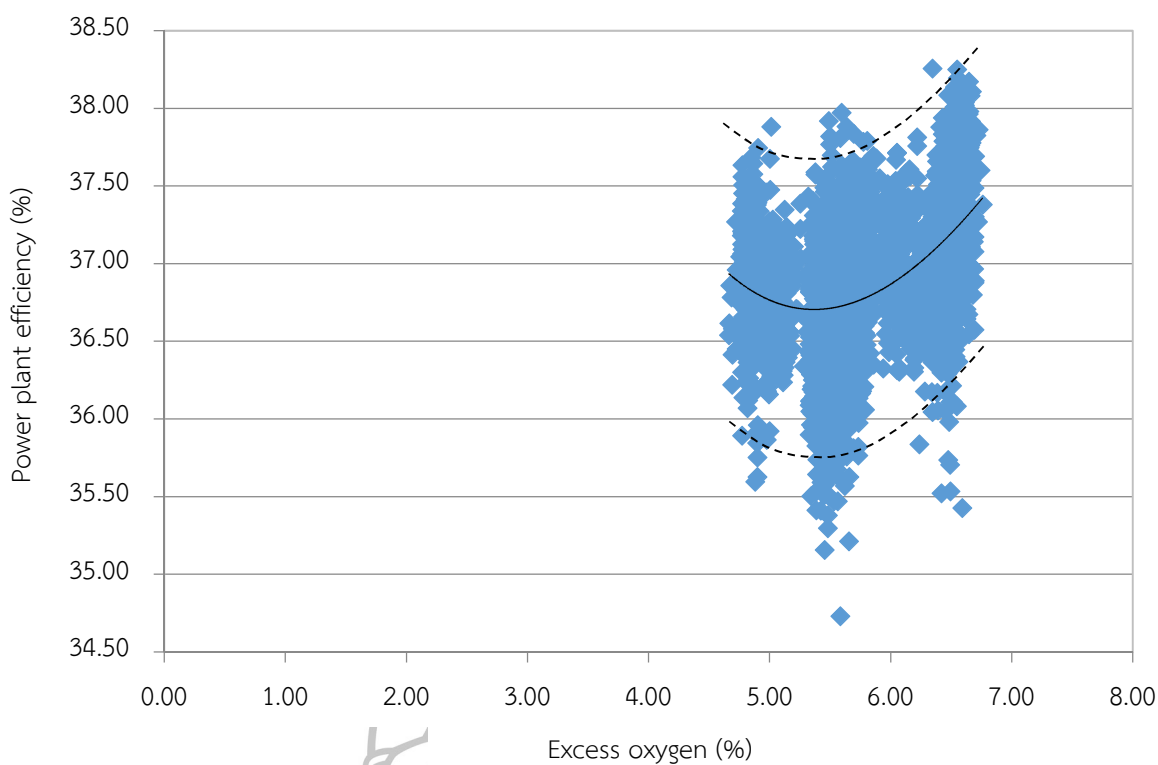
ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0505

ค่า RMSE = 0.0184

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างกับค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0184

ค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างของข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ตาม
เส้นประบน รูปที่ 4.3

4) ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกินกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า
ที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าและค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกินมาเขียนเป็นกราฟเพื่อ
พิจารณาความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.4 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณออกซิเจน
ส่วนเกินกับค่าประสิทธิภาพดังนี้

$$Y = -0.0445X^3 + 1.1725X^2 - 8.4647X + 56.285 \quad (4.4)$$

โดยที่ ค่า $R^2 = 0.2232$

ค่า MBD = -0.0565

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ -0.0565

ค่า RMSE = 0.0062

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างกับค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0062

ค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างของข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ตาม
เส้นประบน รูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ของตัวแปรหลักที่ 245 MW

ตัวแปร	X^3	X^2	X^1	X^0
ค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำ	-	0.0179	-17.933	4575
ค่าความดันในเครื่องควบแน่น	-	480.77	- 89.644	38.522
ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย	-	0.0979	- 45.381	5243.9
ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	-0.0445	1.1725	- 8.4647	56.285

เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (SPSS) เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้น (ตามวิธีการในบทที่ 3) ของแต่ละตัวแปร X (ทุกกำลังของทุกตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัว) ซึ่งรวมกับค่าสัมประสิทธิ์โดยคิดเป็น 1 พจน์ตัวแปร เช่น ค่าตัวแปร X กำลัง 2 ของค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำซึ่งเท่ากับ $0.0179X^2$ คิดเป็น 1 พจน์ตัวแปร นำมาเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจะพบว่าพจน์ของตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าจะเหลืออยู่ทั้งหมด 6 พจน์ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ของตัวแปรที่มีนัยสำคัญที่ 245 MW

ลำดับที่	ตัวแปร	ค่าพจน์ของตัวแปร	สัญลักษณ์
1	ค่า X ของอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำ	$- 17.933X$	X_R
2	ค่า X^2 ของค่าความดันในเครื่องควบแน่น	$480.77X^2$	X_C^2
3	ค่า X ของค่าความดันในเครื่องควบแน่น	$- 89.644X$	X_C
4	ค่า X^2 ของค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย	$0.0979X^2$	X_F^2
5	ค่า X^3 ของค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	$- 0.0445X^3$	X_O^3
6	ค่า X ของค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	$- 8.4647X$	X_O

โดยที่รูปแบบของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (SPSS) เป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y = & -0.0015 \times (-17.933 \times X_R) + & (4.6) \\
 & 0.2602 \times (480.77 \times X_C^2) + 0.1521 \times (-89.644 \times X_C) + \\
 & -0.0094 \times (0.0979 \times X_F^2) + \\
 & -0.2581 \times (-0.0445 \times X_O^3) + 0.1387 \times (-8.4647 \times X_O) + 76.2771
 \end{aligned}$$

เมื่อคุณค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ตัวแปรจะได้รูปแบบของสมการดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y = & 0.0275X_R + 125.1040X_C^2 - 13.6364X_C - 0.0009X_F^2 + & (4.7) \\
 & 0.0115X_O^3 - 1.1744X_O + 76.2771
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 4.7 นำมาวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าสูงสุด โดยการแทนค่าตัวแปรหลักครั้งละ 1 ตัวแปรและกำหนดให้ตัวแปรอื่นๆ มีค่าคงที่ (Univariate search method) จนพบค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุด จากนั้นจึงกำหนดให้ค่านั้นเป็นค่าคงที่ของตัวแปรนั้นๆ และดำเนินการแทนค่าตัวแปรถัดไป โดยทำการคำนวณซ้ำเช่นนี้จนครบทุกตัวแปร แล้วทำการคำนวณซ้ำในลักษณะเดิมตั้งแปรตัวแปรแรกจนถึงตัวแปรสุดท้ายวนกลับไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบว่าค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าสูงสุดคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง

จากการคำนวณหาจุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปรตามสมการที่ 4.7 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่สูงสุด พบว่าค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าสูงสุดที่ 38.59% โดยที่ค่าตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปรมีค่าดังตารางที่ 4.6 และเมื่อนำค่าตัวแปรหลักดังกล่าวนำไปทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง เมื่อกระบวนการต่างๆ เข้าสู่สถานะสมดุลพบว่าค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ได้จากห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองมีค่าเท่ากับ 38.67% ในขณะที่ค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจริงที่ภาระกำลังการผลิตเดียวกันมีค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี เท่ากับ 36.89 %

ตารางที่ 4.6 ค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW

ลำดับที่	ตัวแปร	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม
1	ค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	°C	508.22
2	ค่าความดันในเครื่องควบแน่น	barg	0.0246
3	ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย	°C	225.85
4	ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	%	4.66
5	ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี	%	36.89

ตารางที่ 4.6 ค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW (ต่อ)

ลำดับที่	ตัวแปร	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม
6	ค่าประสิทธิภาพจากสมการ	%	38.59
7	ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าจากห้องควบคุมฯ จำลอง	%	38.67
8	ผลต่างค่าประสิทธิภาพระหว่างห้องควบคุมฯ – ค่าเฉลี่ย	%	1.78
9	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	%	0.12
10	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	%	0.36

จากตารางที่ 4.6 จะพบว่าค่าที่เหมาะสมของค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความร้อนซ้ำมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของวัฏจักรสูงขึ้น งานที่ได้จากกังหันไอน้ำสูงขึ้นและประสิทธิภาพของวัฏจักรสูงขึ้น ในส่วนของค่าความดันในเครื่องควบแน่น ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายและค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกินมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี ซึ่งการลดลงของค่าความดันในเครื่องควบแน่นจะทำให้อุณหภูมิการควบแน่นลดลงส่งผลให้งานสุทธิที่ได้จากวัฏจักรเพิ่มขึ้น การลดลงของค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายจะเป็นการลดปริมาณของไอน้ำที่แยกจากเครื่องกังหันไอน้ำเพื่อนำมาถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำส่งผลให้งานที่ได้จากเครื่องกังหันไอน้ำเพิ่มสูงขึ้น และการลดค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกินจะช่วยทำให้ค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับก๊าซไอเสียลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสูงขึ้น

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์คำนวณหาความคลาดเคลื่อนสะสม (Error propagation) จากการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า และเนื่องจากค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากผลคูณของค่าประสิทธิภาพของเครื่องกังหันไอน้ำกับค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำทั้งหมดหารด้วย 100 แสดงได้ตามสมการที่ 4.8

$$\eta_{\text{โรงไฟฟ้า}} = \frac{\eta_{\text{กังหันไอน้ำ}} \times \eta_{\text{หม้อไอน้ำ}}}{100} \quad (4.8)$$

100

ดังนั้นในการหาความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจึงต้องทำการหาความคลาดเคลื่อนสะสมทั้งในส่วนของค่าประสิทธิภาพเครื่องกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ โดยในส่วนของเครื่องกังหันไอน้ำได้ทำการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนสะสมโดยวิธีการ

แบบ General formula [32] ตามสมการการหาอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกังหันไอน้ำซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าประสิทธิภาพดังสมการที่ 4.9

$$HR = \frac{m_{SH} \times H_{SH} + m_{RH} \times (H_{RH_Out} - H_{RH_In}) - m_{SH} \times H_{FW}}{E} \quad (4.9)$$

โดยที่	HR	คือ อัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น kJ/kWh
	m_{SH}	คือ ค่าอัตราการไหลของไอน้ำยวดยิ่ง มีหน่วยเป็น kg/h
	H_{SH}	คือ ค่าเอนทาลปีของไอน้ำยวดยิ่ง มีหน่วยเป็น kJ/kg
	m_{RH}	คือ ค่าอัตราการไหลของไอน้ำรับความร้อนซ้ำ มีหน่วยเป็น kg/h
	H_{RH_Out}	คือ ค่าเอนทาลปีของไอน้ำรับความร้อนซ้ำขาออกหม้อไอน้ำ มีหน่วยเป็น kJ/kg
	H_{RH_In}	คือ ค่าเอนทาลปีของไอน้ำรับความร้อนซ้ำขาเข้าหม้อไอน้ำ มีหน่วยเป็น kJ/kg
	H_{FW}	คือ ค่าเอนทาลปีของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ มีหน่วยเป็น kJ/kg
	E	คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าสุทธิ มีหน่วยเป็น MW

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกังหันไอน้ำและค่าความคลาดเคลื่อนสะสม

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
1	m_{SH}	kg/h	806,459.00
2	P_{SH}	barg	117.00
3	T_{SH}	°C	510.00
4	H_{SH}	kJ/kg	3,380.50
5	m_{RH}	kg/h	717,602.20
6	P_{RH_Out}	barg	17.00
7	T_{RH_Out}	°C	508.20
8	H_{RH_Out}	kJ/kg	3,489.40

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้า
ของเครื่องกังหันไอน้ำและค่าความคลาดเคลื่อนสะสม (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
9	P_{RH_In}	barg	17.00
10	T_{RH_In}	°C	284.00
11	H_{RH_In}	kJ/kg	2,996.20
12	P_{FW}	barg	228.00
13	T_{FW}	°C	225.90
14	H_{FW}	kJ/kg	976.50
15	E	kW	246,000.00
16	$\partial HR / \partial m_{SH}$	(kJ/kg)/kW	0.01
17	δm_{SH}	kg/h	2,000.00
18	$\partial HR / \partial H_{SH}$	(kg/h)/kW	3.30
19	δH_{SH}	kJ/kg	0.05
20	$\partial HR / \partial m_{RH}$	(kJ/kg)/kW	0.002
21	δm_{RH}	kg/h	2,000.00
22	$\partial HR / \partial H_{RH_Out}$	(kg/h)/kW	2.90
23	δH_{RH_Out}	kJ/kg	0.44
24	$\partial HR / \partial H_{RH_In}$	(kg/h)/kW	2.90
25	δH_{RH_In}	kJ/kg	0.46
26	$\partial HR / \partial H_{FW}$	(kg/h)/kW	3.30
27	δH_{FW}	kJ/kg	0.90
28	δHR	kJ/kWh	20.25

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกังหันไอน้ำและค่าความคลาดเคลื่อนสะสม (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
29	HR	kJ/kWh	9,240.66
30	ประสิทธิภาพเครื่องกังหันไอน้ำ	%	38.96
31	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	%	0.08
32	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	%	0.22

โดยขั้นตอนวิธีการคำนวณได้ดำเนินการโดยหาค่าต่างๆ ตามที่แสดงในตารางที่ 4.7 ดังนี้

$$\partial HR / \partial m_{SH} = (H_{SH} - H_{FW}) / E$$

$$\partial HR / \partial H_{SH} = m_{SH} / E$$

$$\partial HR / \partial m_{RH} = (H_{RH_Out} - H_{RH_In}) / E$$

$$\partial HR / \partial H_{RH_Out} = m_{RH} / E$$

$$\partial HR / \partial H_{RH_In} = -m_{RH} / E$$

$$\partial HR / \partial H_{FW} = m_{SH} / E$$

ในส่วนของตัวแปร δH_{SH} , δH_{RH_Out} , δH_{RH_In} และ δH_{FW} เป็นการหาค่าเอนทาลปีของแต่ละตัวแปรโดยกำหนดสภาวะกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะความดันคงที่และคิดค่าความคลาดเคลื่อนในส่วนของคุณสมบัติจากเครื่องมือวัดซึ่งเท่ากับ 0.2°C

$$\delta HR = [(\partial HR / \partial m_{SH} \times \delta m_{SH})^2 + (\partial HR / \partial H_{SH} \times \delta H_{SH})^2 + (\partial HR / \partial m_{RH} \times \delta m_{RH})^2 + (\partial HR / \partial H_{RH_Out} \times \delta H_{RH_Out})^2 + (\partial HR / \partial H_{RH_In} \times \delta H_{RH_In})^2 + (\partial HR / \partial H_{FW} \times \delta H_{FW})^2]^{1/2}$$

จากผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสะสมในส่วนของอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกังหันไอน้ำ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 0.08 % และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 0.22%

ในส่วนของคุณค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำได้ทำการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสะสมโดยวิธีการแบบ Step by step เนื่องจากจะช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณค่าทางคณิตศาสตร์ ซึ่งไม่ว่าจะคำนวณโดยวิธีแบบ General formula หรือ Step by step ผลลัพธ์จากการคำนวณจะมีค่าเท่ากันเสมอ โดยในการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีการแบบ Step by step ตามสมการหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำดังสมการที่ 4.5

$$\eta_{\text{Boiler}} = \frac{m_{\text{SH}} \times H_{\text{SH}} + m_{\text{RH_Out}} \times H_{\text{RH_Out}}}{m_{\text{Gas}} \times \text{HHV}_{\text{Gas}} + m_{\text{Air}} \times C_{p\text{Air}} \times T_{\text{Air}} + m_{\text{SH}} \times H_{\text{FW}} + m_{\text{RH_In}} \times H_{\text{RH_In}}} \quad (4.10)$$

- โดยที่ η_{Boiler} คือ อัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น %
- m_{SH} คือ ค่าอัตราการไหลของไอน้ำยวดยิ่ง มีหน่วยเป็น kg/h
- H_{SH} คือ ค่าเอนทาลปีของไอน้ำยวดยิ่ง มีหน่วยเป็น kJ/kg
- $m_{\text{RH_Out}}$ คือ ค่าอัตราการไหลของไอน้ำรับความร้อนซ้ำขาออก มีหน่วยเป็น kg/h
- $H_{\text{RH_Out}}$ คือ ค่าเอนทาลปีของไอน้ำรับความร้อนซ้ำขาออกหม้อไอน้ำ มีหน่วยเป็น kJ/kg
- m_{Gas} คือ ค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงก๊าซ มีหน่วยเป็น km^3/h
- HHV_{Gas} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซ มีหน่วยเป็น kJ/m^3
- m_{Air} คือ ค่าอัตราการไหลของอากาศ มีหน่วยเป็น kg/h
- $C_{p\text{Air}}$ คือ ค่าความจุความร้อนของอากาศ มีหน่วยเป็น $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$
- T_{Air} คือ ค่าอุณหภูมิอากาศ มีหน่วยเป็น $^\circ\text{C}$
- H_{FW} คือ ค่าเอนทาลปีของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ มีหน่วยเป็น kJ/kg
- $m_{\text{RH_In}}$ คือ ค่าอัตราการไหลของไอน้ำรับความร้อนซ้ำขาเข้า มีหน่วยเป็น kg/h
- $H_{\text{RH_In}}$ คือ ค่าเอนทาลปีของไอน้ำรับความร้อนซ้ำขาเข้าหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและค่าความคลาดเคลื่อนสะสม

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
1	m_{SH}	kg/h	806,459.00
2	H_{SH}	kJ/kg	3,380.50
3	m_{RH_Out}	kg/h	717,602.20
4	H_{RH_Out}	kJ/kg	3,482.40
5	m_{Gas}	km ³ /h	75
6	HHV_{Gas}	kJ/m ³	30,945.40
7	m_{Air}	kg/h	1,095.00
8	C_{pAir}	kJ/kg.°C	1.0048
9	T_{Air}	°C	34.50
10	H_{FW}	kJ/kg	976.50
11	m_{RH_In}	kg/h	717,602.20
12	H_{RH_In}	kJ/kg	2,996.20
13	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	%	86.15
14	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	%	0.25
15	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	%	0.29

ทั้งนี้จากข้อมูลข้างต้นเมื่อนำมาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจะพบว่ามีความคลาดเคลื่อนสะสมสัมบูรณ์เท่ากับ 0.12% และค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสัมพัทธ์เท่ากับ 0.36% ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพของระบบต่างๆ

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
1	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ กังหันไอน้ำ	%	0.08
2	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ กังหันไอน้ำ	%	0.22
3	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ หม้อไอน้ำ	%	0.25
4	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ หม้อไอน้ำ	%	0.29
5	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ โรงไฟฟ้า	%	0.12
6	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ โรงไฟฟ้า	%	0.36

จากค่าความคลาดเคลื่อนสะสมที่คำนวณได้พบว่ามีความสูงกว่าค่า MBD และ RMSE ของแต่ละสมการของค่าตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปร จึงสามารถสรุปได้ว่าสมการทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนั้น มีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และทำนายผลที่เกิดขึ้นได้

4.2.2 การพัฒนาสมการสำหรับหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลค่าตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปรที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW ดังตารางที่ 4.10 และนำข้อมูลดังกล่าวมาแสดงในกราฟและหาสมการตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนตัวอย่าง

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW

ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้น (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิไอน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
1	303.16	532.48	0.0489	236.82	5.40	37.08
2	301.14	532.48	0.0489	237.00	5.42	39.03
3	300.24	532.31	0.0485	236.64	5.42	37.45
4	300.51	531.59	0.0486	236.64	5.42	38.44
5	299.62	531.59	0.0491	236.64	5.42	37.03

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW (ต่อ)

ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้น (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
6	300.41	531.59	0.0491	236.44	5.39	38.24
7	300.89	531.59	0.0491	236.44	5.29	37.81
8	300.28	531.59	0.0492	236.44	5.29	37.37
9	300.15	531.54	0.0493	236.64	5.29	37.00
10	301.06	531.41	0.0495	236.44	5.29	38.51
11	300.54	531.38	0.0493	236.44	5.29	38.36
12	300.94	531.41	0.0493	236.44	5.25	38.28
13	300.83	531.57	0.0497	236.64	5.20	37.57
14	301.05	531.72	0.0501	236.64	5.19	37.13
15	300.73	531.88	0.0503	236.52	5.29	37.31
16	300.30	531.55	0.0501	236.57	5.29	37.70
17	300.17	531.44	0.0499	236.63	5.29	36.88
18	300.58	531.46	0.0501	236.63	5.29	37.24
19	300.86	531.55	0.0500	236.43	5.29	38.24
20	300.80	531.72	0.0500	236.43	5.34	37.35
21	300.63	531.89	0.0499	236.43	5.41	37.03
22	302.25	532.06	0.0502	236.63	5.54	38.10
23	302.57	532.00	0.0501	236.83	5.30	37.55
24	301.75	531.89	0.0501	236.65	5.30	37.16

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW (ต่อ)

ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำ (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
25	302.50	531.78	0.0501	236.63	5.27	38.31
26	301.05	531.68	0.0499	236.83	5.23	37.96
27	300.91	531.64	0.0499	236.63	5.26	38.25
28	301.45	531.64	0.0501	236.63	5.33	37.45
29	301.18	531.64	0.0500	236.63	5.33	37.10
30	301.14	531.64	0.0501	236.63	5.30	37.68
31	300.81	531.66	0.0501	236.63	5.28	37.54
32	302.90	531.85	0.0502	236.78	5.25	36.98
33	301.91	532.06	0.0502	236.83	5.23	38.51
34	301.28	532.33	0.0502	236.63	5.31	37.55
35	304.24	532.72	0.0502	236.81	5.19	37.35
36	302.53	532.75	0.0504	237.05	5.33	38.28
37	301.90	532.59	0.0505	236.84	5.31	37.21
38	302.98	532.64	0.0505	236.84	5.28	38.49
39	305.27	532.69	0.0507	236.84	5.26	36.68
40	304.05	532.74	0.0507	237.25	5.23	36.74
41	302.81	532.68	0.0510	237.11	5.41	37.14
42	302.50	532.37	0.0507	236.83	5.40	37.65
43	303.60	532.01	0.0511	236.83	5.35	37.86

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW (ต่อ)

ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้น (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
44	300.90	531.71	0.0510	236.83	5.32	37.88
45	300.20	531.57	0.0510	236.51	5.30	38.97
46	299.90	531.75	0.0509	236.43	5.27	37.23
47	300.76	532.21	0.0510	236.43	5.24	38.44
48	307.77	532.78	0.0509	236.61	5.24	37.21
49	304.91	533.19	0.0508	237.35	5.36	37.11
50	304.10	532.93	0.0511	237.47	5.39	38.44
51	300.81	532.58	0.0509	236.91	5.42	39.31
52	301.78	532.23	0.0510	236.71	5.45	38.54
53	301.24	531.88	0.0508	237.08	5.45	38.09
54	302.31	531.78	0.0510	236.88	5.33	37.75
55	303.03	531.78	0.0511	236.88	5.30	38.01
56	301.87	531.78	0.0509	237.00	5.27	36.52
57	301.46	531.56	0.0509	237.05	5.24	38.31
58	301.13	531.38	0.0510	236.86	5.23	37.48
59	301.61	531.47	0.0510	236.86	5.26	37.06
60	301.52	531.53	0.0511	236.86	5.28	37.46
61	301.05	531.68	0.0510	236.86	5.31	37.53
62	300.08	533.58	0.0453	236.53	5.30	37.10

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW (ต่อ)

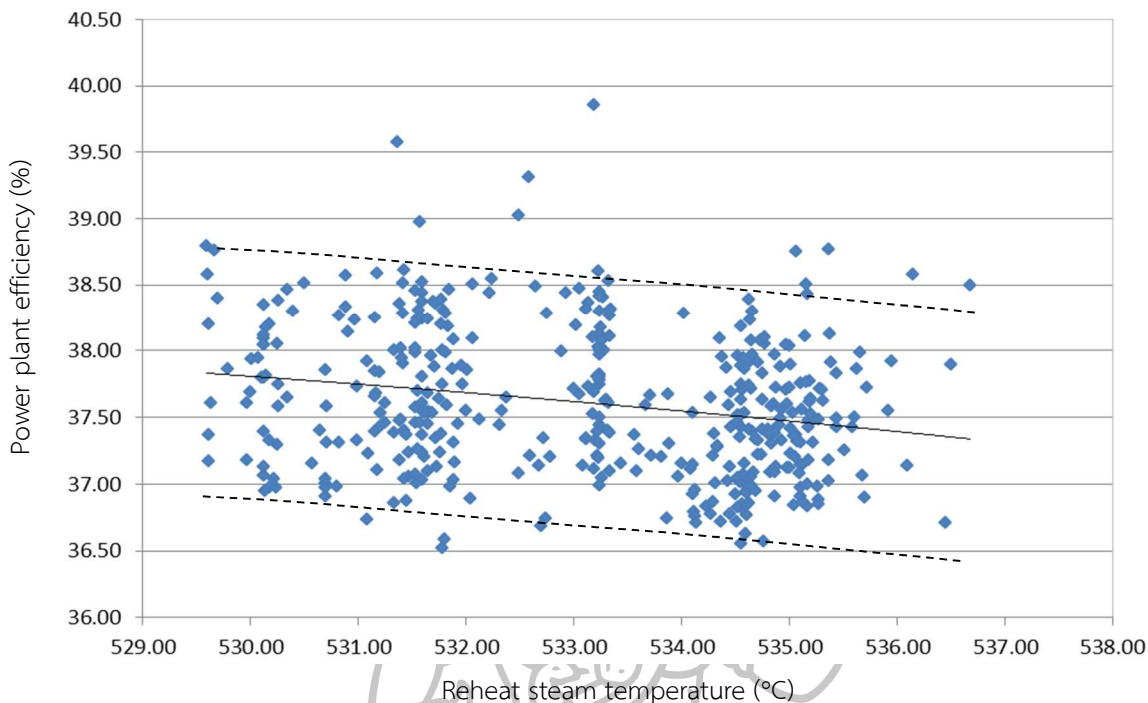
ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้น (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
63	301.23	533.66	0.0452	236.56	5.31	37.59
64	301.53	533.21	0.0452	236.56	5.32	37.21
65	300.77	533.22	0.0452	236.56	5.33	38.61
66	300.22	533.23	0.0453	236.56	5.33	38.00
67	301.22	533.23	0.0453	236.56	5.33	37.75
68	301.57	533.23	0.0453	236.56	5.33	37.44
69	300.82	533.24	0.0451	236.46	5.33	37.97
70	301.19	533.24	0.0452	236.46	5.33	38.13
71	300.71	533.24	0.0454	236.46	5.33	38.45
72	301.24	533.24	0.0451	236.46	5.33	38.30
73	301.49	533.23	0.0451	236.46	5.33	37.78
74	301.39	533.23	0.0453	236.46	5.33	37.50
75	300.89	533.23	0.0452	236.42	5.33	36.99
76	301.16	533.22	0.0455	236.39	5.31	38.11
77	301.37	533.20	0.0453	236.39	5.28	37.33
78	301.01	533.18	0.0452	236.39	5.25	37.69
79	300.41	533.13	0.0452	236.39	5.22	38.36
80	302.15	533.11	0.0450	236.39	5.25	37.34
81	302.05	533.11	0.0450	236.39	5.33	38.31

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW (ต่อ)

ลำดับ	ภาระกำลังการผลิต (MW)	อุณหภูมิไอน้ำรับความชื้น (°C)	ความดันในเครื่องควบแน่น (barg)	อุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย (°C)	ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (%)	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า (%)
82	301.56	533.11	0.0447	236.38	5.33	37.34
83	300.92	533.18	0.0449	236.38	5.33	37.53
84	300.68	533.27	0.0448	236.38	5.33	38.41
85	300.94	533.31	0.0451	236.38	5.33	37.40
86	301.50	533.24	0.0446	236.38	5.33	37.80
87	301.62	533.26	0.0443	236.38	5.33	37.05
88	301.07	533.29	0.0446	236.41	5.33	37.63
89	302.00	533.32	0.0443	236.43	5.33	38.53
90	301.38	533.34	0.0446	236.43	5.33	38.32
91	301.12	533.28	0.0442	236.43	5.22	38.00
92	301.44	533.24	0.0441	236.43	5.33	37.83
93	301.10	533.24	0.0443	236.43	5.33	37.31
94	301.38	533.24	0.0443	236.43	5.33	38.42
95	301.38	533.24	0.0443	236.22	5.33	38.02
96	300.89	533.23	0.0443	236.43	5.33	37.81
97	300.46	533.22	0.0444	236.43	5.34	37.19
เฉลี่ย	301.48	533.09	0.0523	236.69	5.09	37.61

หมายเหตุ จำนวนข้อมูลตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW มีทั้งหมด 427 ข้อมูล ข้อมูลส่วนที่เหลือสามารถดูได้จากเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ภายในแผ่นบันทึกข้อมูลท้ายเล่ม

1) ค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำ



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า
ที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำมาเขียนเป็นกราฟเพื่อ
พิจารณาความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.5 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความ
ชื้นซ้ำกับค่าประสิทธิภาพดังนี้

$$Y = -0.0019X^2 + 2.0074X - 478.96 \quad (4.11)$$

โดยที่ ค่า $R^2 = 0.0501$

ค่า MBD = 0.5722

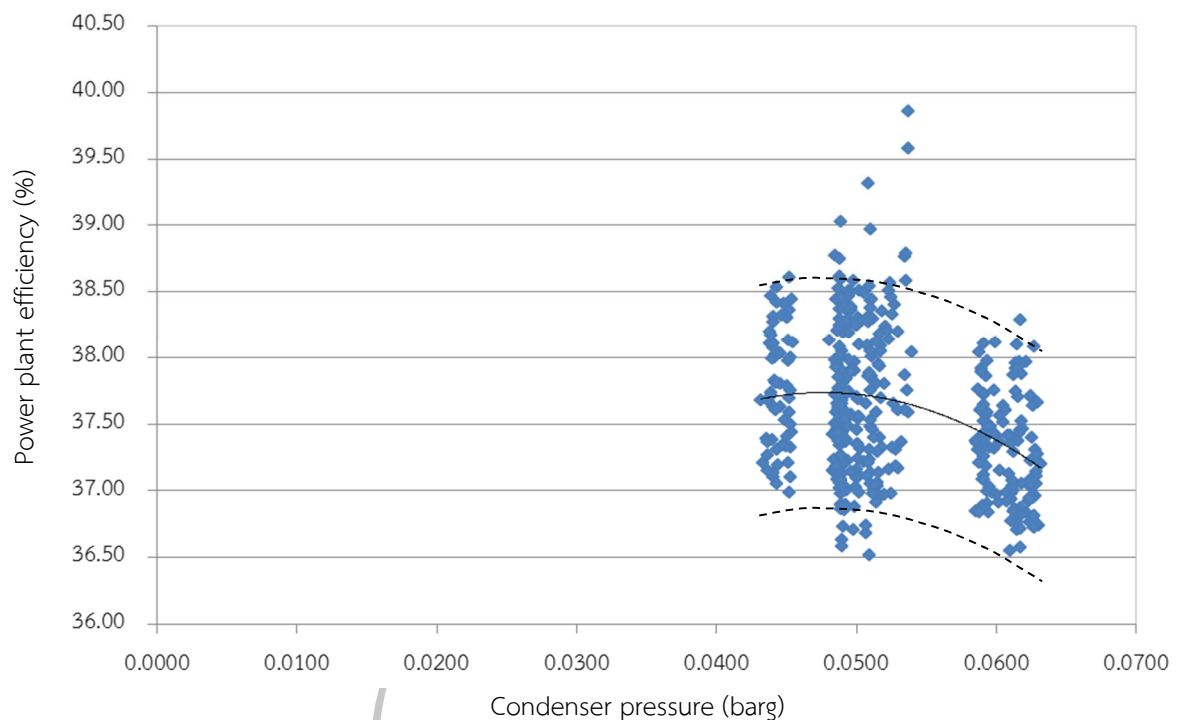
ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.5722

ค่า RMSE = 0.0377

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างกับค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0377

ค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างของข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ตาม
เส้นประบน รูปที่ 4.5

2) ค่าความดันในเครื่องควบแน่น



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันในเครื่องควบแน่นกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า
ที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าและค่าความดันในเครื่องควบแน่นมาเขียนเป็นกราฟเพื่อ
พิจารณาความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.6 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันในเครื่อง
ควบแน่นกับค่าประสิทธิภาพดังนี้

$$Y = -2349.3X^2 + 224.05X + 32.393 \quad (4.12)$$

โดยที่ ค่า $R^2 = 0.1107$

ค่า MBD = 0.0003

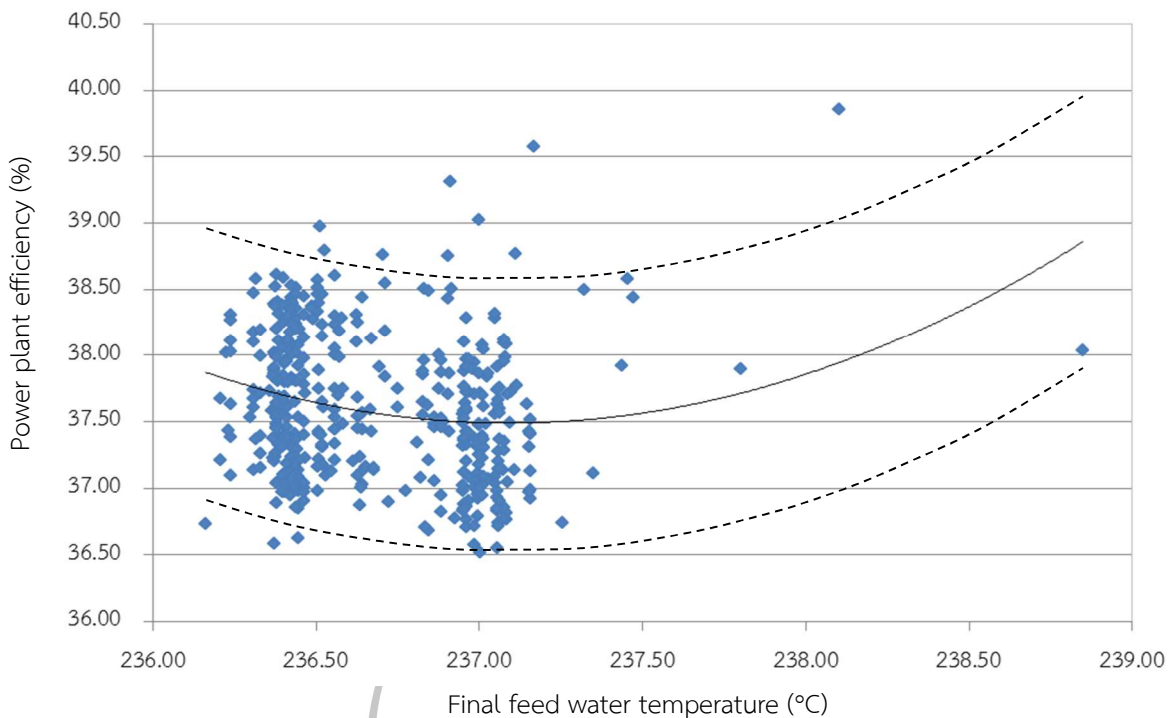
ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0003

ค่า RMSE = 0.0248

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างกับค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0248

ค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างของข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ตาม
เส้นประบน รูปที่ 4.6

3) ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า
ที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายมาเขียนเป็นกราฟเพื่อ
พิจารณาความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.7 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย
กับค่าประสิทธิภาพดังนี้

$$Y = 0.4426X^2 - 209.86X + 24915 \quad (4.13)$$

โดยที่ ค่า $R^2 = 0.0465$

ค่า MBD = -1.0831

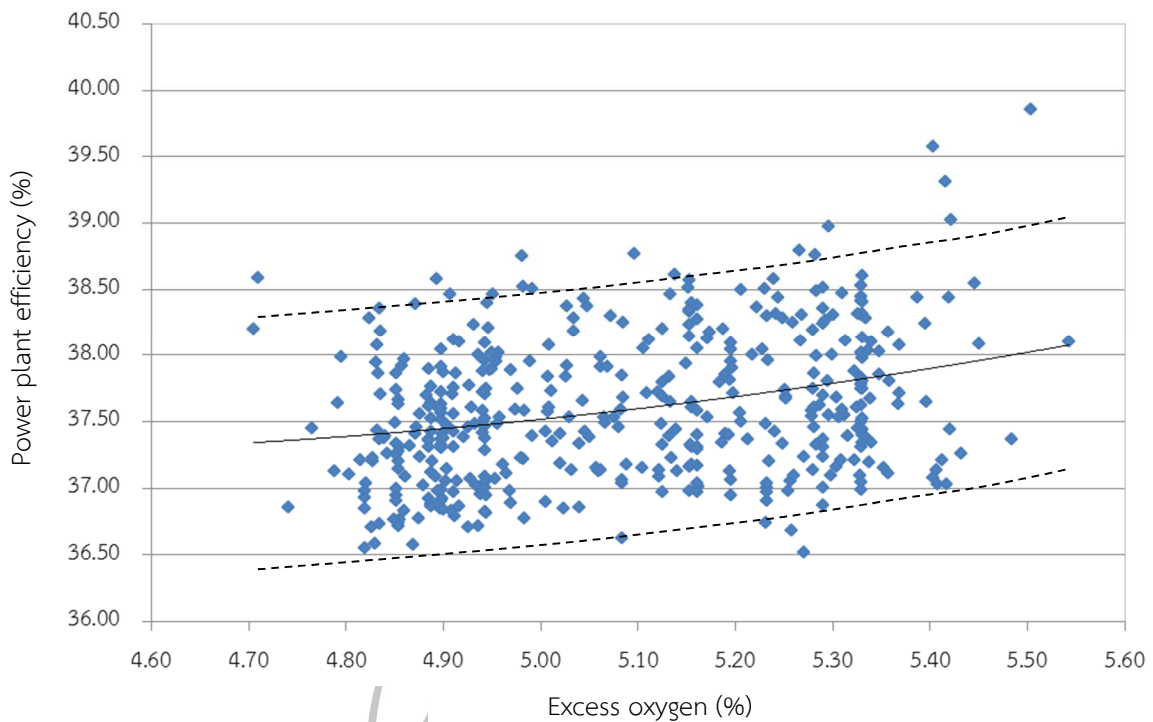
ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ -1.0831

ค่า RMSE = 0.0583

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างกับค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0583

ค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างของข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ตาม
เส้นประบน รูปที่ 4.7

4) ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกินกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า
ที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าและค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกินมาเขียนเป็นกราฟเพื่อ
พิจารณาความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.8 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณออกซิเจน
ส่วนเกินกับค่าประสิทธิภาพดังนี้

$$Y = 0.5199X^2 - 4.4537X + 46.788 \quad (4.14)$$

โดยที่ ค่า $R^2 = 0.0885$

ค่า MBD = 0.0005

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0005

ค่า RMSE = 0.0251

ผลลัพธ์จากสมการนี้มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างกับค่าของชุดข้อมูลอยู่ที่ 0.0251

ค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างของข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ตาม
เส้นประบน รูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.11 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ของตัวแปรหลักที่ 300 MW

ตัวแปร	X^3	X^2	X^1	X^0
ค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำ	-	-0.0019	2.0074	- 478.96
ค่าความดันในเครื่องควบแน่น	-	-2349.3	224.05	32.393
ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย	-	0.4426	- 209.86	24915
ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	-	0.5199	- 4.4537	46.788

เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (SPSS) เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้น (ตามวิธีการในบทที่ 3) ของแต่ละตัวแปร X (ทุกกำลังของทุกตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัว) ซึ่งรวมกับค่าสัมประสิทธิ์โดยคิดเป็น 1 พจน์ตัวแปร เช่น ค่าตัวแปร X กำลัง 2 ของค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำซึ่งเท่ากับ $-0.0019X^2$ คิดเป็น 1 พจน์ตัวแปร นำมาเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจะพบว่าพจน์ของตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าจะเหลืออยู่ทั้งหมด 6 พจน์ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ของตัวแปรที่มีนัยสำคัญที่ 300 MW

ลำดับที่	ตัวแปร	ค่าพจน์ของตัวแปร	สัญลักษณ์
1	ค่า X ของอุณหภูมิไอน้ำรับความชื้นซ้ำ	$2.0074X$	X_R
2	ค่า X^2 ของค่าความดันในเครื่องควบแน่น	$-2349.3X^2$	X_C^2
3	ค่า X ของค่าความดันในเครื่องควบแน่น	$224.05X$	X_C
4	ค่า X^2 ของค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย	$0.4426X^2$	X_F^2
5	ค่า X^2 ของค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	$0.5199X^2$	X_O^2
6	ค่า X ของค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	$-4.4537X$	X_O

โดยที่รูปแบบของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (SPSS) เป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y = & -0.0323 \times (2.0074 \times X_R) + & (4.15) \\
 & 0.3420 \times (-2349.3 \times X_C^2) + 0.2220 \times (224.05 \times X_C) + \\
 & 0.0023 \times (0.4426 \times X_F^2) + \\
 & 1.7405 \times (0.5199 \times X_O^2) + 2.039 \times (-4.4537 \times X_O) + 38.1421
 \end{aligned}$$

เมื่อคุณค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ตัวแปรจะได้รูปแบบของสมการดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y = & -0.0648X_R - 803.5306X_C^2 + 49.7317X_C + 0.0010X_F^2 + & (4.16) \\
 & 0.9049X_O^2 - 9.0821X_O + 38.1421
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 4.16 นำมาวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าสูงสุด โดยการแทนค่าตัวแปรหลักครั้งละ 1 ตัวแปรและกำหนดให้ตัวแปรอื่นๆ มีค่าคงที่ จนพบค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุด จากนั้นจึงกำหนดให้ค่านี้เป็นค่าคงที่ของตัวแปรนั้นๆ และดำเนินการแทนค่าตัวแปรถัดไป โดยทำการคำนวณซ้ำเช่นนี้จนครบทุกตัวแปร แล้วทำการคำนวณซ้ำในลักษณะเดิมตั้งแปรตัวแปรแรกจนถึงตัวแปรสุดท้ายวนกลับไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบว่าค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าสูงสุดคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง

จากการคำนวณหาจุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปรตามสมการที่ 4.16 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่สูงสุด พบว่าค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามีค่าสูงสุดที่ 39.35% โดยที่ค่าตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปรมีค่าดังตารางที่ 4.13 และเมื่อนำค่าตัวแปรหลักดังกล่าวนำไปทดลองใช้ที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง เมื่อกระบวนการต่างๆ เข้าสู่ภาวะสมดุลพบว่าค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ได้จากห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองมีค่าเท่ากับ 39.10% ในขณะที่ค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจริงมีค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี เท่ากับ 37.61 %

ตารางที่ 4.13 ค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW

ลำดับที่	ตัวแปร	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม
1	ค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	°C	529.58
2	ค่าความดันในเครื่องควบแน่น	barg	0.0432
3	ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย	°C	238.85
4	ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	%	5.54
5	ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี	%	37.61

ตารางที่ 4.13 ค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW (ต่อ)

ลำดับที่	ตัวแปร	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม
6	ค่าประสิทธิภาพจากสมการ	%	39.35
7	ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าจากห้องควบคุมฯ จำลอง	%	39.10
8	ผลต่างค่าประสิทธิภาพระหว่างห้องควบคุมฯ – ค่าเฉลี่ย	%	1.49
9	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	%	0.11
10	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	%	0.30

จากตารางที่ 4.13 จะพบว่าค่าที่เหมาะสมของค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความร้อนซ้ำและค่าความดันในเครื่องควบแน่นมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี ทั้งนี้ถึงแม้ว่าการเพิ่มค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความร้อนซ้ำจะทำให้งานที่ได้จากกังหันไอน้ำสูงขึ้นแต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปถึงจุดหนึ่งอาจทำให้ค่าปริมาณน้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่งและไอน้ำรับความร้อนซ้ำเพิ่มสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าลดลง ในส่วนของค่าความดันในเครื่องควบแน่นที่ลดลงจะทำให้อุณหภูมิการควบแน่นลดลงส่งผลให้งานสุทธิที่ได้จากวัฏจักรเพิ่มขึ้น ในส่วนของค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายและค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกินมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี โดยการเพิ่มของค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้ายคาดว่าจะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของเครื่องกังหันไอน้ำที่ลดลงแล้วมีความคุ้มค่ามากกว่าจึงทำให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ส่วนการเพิ่มค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกินจะช่วยทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีค่าสูงขึ้น

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาคำนวนหาค่าความคลาดเคลื่อนสะสม (Error propagation) จากการวัดและการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า และเนื่องจากค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากผลคูณของค่าประสิทธิภาพของเครื่องกังหันไอน้ำกับค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำทั้งหมดหารด้วย 100 แสดงได้ตามสมการที่ 4.8

ดังนั้นในการหาค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจึงต้องทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนสะสมทั้งในส่วนของค่าประสิทธิภาพเครื่องกังหันไอน้ำและประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ โดยในส่วนของเครื่องกังหันไอน้ำได้ทำการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสะสมโดยวิธีการแบบ General formula ตามสมการการหาอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกังหันไอน้ำซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าประสิทธิภาพดังสมการที่ 4.9

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้า
ของเครื่องกังหันไอน้ำและค่าความคลาดเคลื่อนสะสมที่ 300 MW

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
1	m_{SH}	kg/h	970,516.00
2	P_{SH}	barg	135.00
3	T_{SH}	°C	524.00
4	H_{SH}	kJ/kg	3,396.60
5	m_{RH}	kg/h	850,806.70
6	P_{RH_Out}	barg	19.00
7	T_{RH_Out}	°C	533.00
8	H_{RH_Out}	kJ/kg	3,542.10
9	P_{RH_In}	barg	19.00
10	T_{RH_In}	°C	292.00
11	H_{RH_In}	kJ/kg	3,008.60
12	P_{FW}	barg	234.00
13	T_{FW}	°C	236.70
14	H_{FW}	kJ/kg	1,025.80
15	E	kW	300,000.00
16	$\partial HR / \partial m_{SH}$	(kJ/kg)/kW	0.01
17	δm_{SH}	kg/h	2,000.00
18	$\partial HR / \partial H_{SH}$	(kg/h)/kW	3.20
19	δH_{SH}	kJ/kg	0.05
20	$\partial HR / \partial m_{RH}$	(kJ/kg)/kW	0.002
21	δm_{RH}	kg/h	2,000.00
22	$\partial HR / \partial H_{RH_Out}$	(kg/h)/kW	2.80

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกังหันไอน้ำและค่าความคลาดเคลื่อนสะสมที่ 300 MW (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
23	$\delta_{H_{RH_Out}}$	kJ/kg	0.44
24	$\partial HR / \partial H_{RH_In}$	(kg/h)/kW	2.80
25	$\delta_{H_{RH_In}}$	kJ/kg	0.46
26	$\partial HR / \partial H_{FW}$	(kg/h)/kW	3.20
27	$\delta_{H_{FW}}$	kJ/kg	0.90
28	δ_{HR}	kJ/kWh	16.56
29	HR	kJ/kWh	9,182.58
30	ประสิทธิภาพเครื่องกังหันไอน้ำ	%	38.96
31	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	%	0.07
32	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	%	0.18

โดยขั้นตอนวิธีการคำนวณได้ดำเนินการโดยหาค่าต่างๆ ตามที่แสดงในตารางที่ 4.14 ดังนี้

$$\partial HR / \partial m_{SH} = (H_{SH} - H_{FW}) / E$$

$$\partial HR / \partial H_{SH} = m_{SH} / E$$

$$\partial HR / \partial m_{RH} = (H_{RH_Out} - H_{RH_In}) / E$$

$$\partial HR / \partial H_{RH_Out} = m_{RH} / E$$

$$\partial HR / \partial H_{RH_In} = - m_{RH} / E$$

$$\partial HR / \partial H_{FW} = m_{SH} / E$$

ในส่วนของตัวแปร $\delta_{H_{SH}}$, $\delta_{H_{RH_Out}}$, $\delta_{H_{RH_In}}$ และ $\delta_{H_{FW}}$ เป็นการหาค่าเอนทาลปีของแต่ละตัวแปรโดยกำหนดสภาวะกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะความดันคงที่และคิดค่าความคลาดเคลื่อนในส่วนของอุณหภูมิจากเครื่องมือวัดซึ่งเท่ากับ 0.2 °C

$$\delta HR = [(\partial HR / \partial m_{SH} \times \delta m_{SH})^2 + (\partial HR / \partial H_{SH} \times \delta H_{SH})^2 + (\partial HR / \partial m_{RH} \times \delta m_{RH})^2 + (\partial HR / \partial H_{RH_Out} \times \delta H_{RH_Out})^2 + (\partial HR / \partial H_{RH_In} \times \delta H_{RH_In})^2 + (\partial HR / \partial H_{FW} \times \delta H_{FW})^2]^{1/2}$$

จากผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสะสมในส่วนของอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกังหันไอน้ำ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 0.07 % และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 0.18%

ในส่วนของคุณค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำได้ทำการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนสะสมโดยวิธีการแบบ Step by step เนื่องจากจะช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณค่าทางคณิตศาสตร์ ซึ่งไม่ว่าจะคำนวณโดยวิธีแบบ General formula หรือ Step by step ผลลัพธ์จากการคำนวณจะมีค่าเท่ากันเสมอ โดยในการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนสะสมของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีการแบบ Step by step ตามสมการหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำดังสมการที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและค่าความคลาดเคลื่อนสะสม

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
1	m_{SH}	kg/h	970,516.00
2	H_{SH}	kJ/kg	3,396.60
3	m_{RH_Out}	kg/h	850,807.00
4	H_{RH_Out}	kJ/kg	3,542.10
5	m_{Gas}	km ³ /h	91.00
6	HHV_{Gas}	kJ/m ³	30,945.40
7	m_{Air}	kg/h	1,340.00
8	Cp_{Air}	kJ/kg. °C	1.0048
9	T_{Air}	°C	34.50
10	H_{FW}	kJ/kg	1,025.80

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและค่าความคลาดเคลื่อนสะสม (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
11	m_{RH_In}	kg/h	850,807.00
12	H_{RH_In}	kJ/kg	3,008.60
13	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	%	88.95
14	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	%	0.22
15	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	%	0.24

ทั้งนี้จากข้อมูลข้างต้นเมื่อนำมาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจะพบว่ามีความคลาดเคลื่อนสะสมสัมบูรณ์เท่ากับ 0.11% และค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสัมพัทธ์เท่ากับ 0.30% ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพของระบบต่างๆ

ลำดับ	ตัวแปร	หน่วย	ค่าเฉลี่ย
1	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ กังหันไอน้ำ	%	0.07
2	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ กังหันไอน้ำ	%	0.18
3	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ หม้อไอน้ำ	%	0.22
4	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ หม้อไอน้ำ	%	0.24
5	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ โรงไฟฟ้า	%	0.11
6	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ โรงไฟฟ้า	%	0.30

จากค่าความคลาดเคลื่อนสะสมที่คำนวณได้พบว่ามีค่าสูงกว่าค่า MBD และ RMSE ของแต่ละสมการของค่าตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปร จึงสามารถสรุปได้ว่าสมการทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนั้น มีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และทำนายผลที่เกิดขึ้นได้

4.2.3 ผลประหยัดจากการเดินเครื่อง ณ จุดที่เหมาะสมที่ภาระกำลังการผลิต 245

จากผลการวิจัยค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปรที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW ซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 4.6 โดยจากการทดลองที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองพบว่าค่าประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 38.67% เพิ่มขึ้นจากค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปีที่ 36.89% เท่ากับ 1.78% โดยสามารถคิดเป็นผลประหยัดได้ดังนี้

1. หาค่าอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าจากสมการ

$$HR = \frac{3600}{\eta}$$

ค่าประสิทธิภาพจากห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง	38.67 %
คิดเป็นค่าอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ	9,309.54 kJ/kWh
ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี	36.89%
คิดเป็นค่าอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ	9,734.99 kJ/kWh
ดังนั้นผลต่างของอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ	425.45 kJ/kWh

2. หาปริมาณการใช้พลังงานความร้อนที่ลดลงที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW

ค่าอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้า	425.45 kJ/kWh
คิดเป็นปริมาณการใช้พลังงานความร้อนได้ดังนี้	

$$245 \times 10^3 \text{ kW} \times 425.45 \text{ kJ/kWh} = 104.24 \times 10^6 \text{ kJ/h}$$

กรณีเดินเครื่องที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW ตลอด 24 ชั่วโมง

$$104.24 \times 10^6 \text{ kJ/h} \times 24 \text{ h} = 2500.80 \times 10^6 \text{ kJ}$$

ทำการแปลงหน่วยจาก $1 \times 10^6 \text{ kJ} = 0.948 \text{ MMBtu}$

$$2500.80 \times 10^6 \text{ kJ} = 2370.76 \text{ MMBtu}$$

ดังนั้นปริมาณการใช้พลังงานความร้อนที่ไซ้ลดลงเท่ากับ 2370.76 MMBtu

3. คำนวณผลประหยัดจากการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ

จากราคาก๊าซธรรมชาติ 300 Baht/MMBtu

ปริมาณพลังงานความร้อนที่ไซ้ลดลง 2370.76 MMBtu

คิดเป็นราคาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติได้ดังนี้

$$300 \text{ Baht/MMBtu} \times 2370.76 \text{ MMBtu} = 711,228 \text{ Baht}$$

ดังนั้นผลประหยัดในการเดินเครื่องที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW ตลอด 24 ชั่วโมง จากการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ โดยการปรับแต่งค่าของตัวแปรหลักในการเดินเครื่องทั้ง 4 ตัวแปรให้อยู่ ณ จุดที่เหมาะสมสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องได้เป็นจำนวนเงิน 711,228 บาทต่อวัน

4.2.4 ผลประหยัดจากการเดินเครื่อง ณ จุดที่เหมาะสมที่ภาระกำลังการผลิต 300

จากผลการวิจัยค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปรที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW ซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 4.13 โดยจากการทดลองที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองพบว่าค่าประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 39.10% เพิ่มขึ้นจากค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปีที่ 37.61% เท่ากับ 1.49% โดยสามารถคิดเป็นผลประหยัดได้ดังนี้

1. หาค่าอัตราการไ้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าจากสมการ

$$HR = \frac{3600}{\eta}$$

ค่าประสิทธิภาพจากห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง 39.10 %

คิดเป็นค่าอัตราการไ้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 9,207.16 kJ/kWh

ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี 37.61 %

คิดเป็นค่าอัตราการไ้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 9,571.92 kJ/kWh

ดังนั้นผลต่างของอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 364.76 kJ/kWh

2. หาปริมาณการใช้พลังงานความร้อนที่ลดลงที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW

ค่าอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตไฟฟ้า 364.76 kJ/kWh

คิดเป็นปริมาณการใช้พลังงานความร้อนได้ดังนี้

$$300 \times 10^3 \text{ kW} \times 364.76 \text{ kJ/kWh} = 109.43 \times 10^6 \text{ kJ/h}$$

กรณีเดินเครื่องที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW ตลอด 24 ชั่วโมง

$$109.43 \times 10^6 \text{ kJ/h} \times 24 \text{ h} = 2626.32 \times 10^6 \text{ kJ}$$

ทำการแปลงหน่วยจาก $1 \times 10^6 \text{ kJ} = 0.948 \text{ MMBtu}$

$$2626.32 \times 10^6 \text{ kJ} = 2489.75 \text{ MMBtu}$$

ดังนั้นปริมาณการใช้พลังงานความร้อนที่ลดลงเท่ากับ 2489.75 MMBtu

3. คำนวณผลประหยัดจากการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ

จากราคาก๊าซธรรมชาติ 300 Baht/MMBtu

ปริมาณพลังงานความร้อนที่ลดลง 2489.75 MMBtu

คิดเป็นราคาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติได้ดังนี้

$$300 \text{ Baht/MMBtu} \times 2489.75 \text{ MMBtu} = 746,925 \text{ Baht}$$

ดังนั้นผลประหยัดในการเดินเครื่องที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW ตลอด 24 ชั่วโมง จากการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ โดยการปรับแต่งค่าของตัวแปรหลักในการเดินเครื่องทั้ง 4 ตัวแปรให้อยู่ ณ จุดที่เหมาะสมสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องได้เป็นจำนวนเงิน 746,925 บาทต่อวัน

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนด้วยวิธีการปรับแต่งกระบวนการทำงานและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยการศึกษาจุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรหลัก 4 ตัวแปร ได้แก่ 1.ค่าอุณหภูมิของไอน้ำรับความร้อนเข้า 2.ค่าความดันในเครื่องควบแน่น 3.ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย และ 4.ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน ซึ่งในการคัดเลือกตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปรนั้น ได้พิจารณาจากผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าและความสามารถในการปรับแต่งหรือเปลี่ยนแปลงได้โดยผู้ควบคุมประจำหน้าเครื่อง ซึ่งจากการวิเคราะห์และการทดลองผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรไป 1 หน่วยของทั้ง 12 ตัวแปร พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของแต่ละตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปรจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงสูง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นๆ และเป็นตัวแปรที่ผู้ควบคุมประจำหน้าเครื่องสามารถปรับแต่งค่าได้โดยง่าย อีกทั้งยังสามารถวัดและจัดเก็บข้อมูลได้เพื่อนำมาวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรดังกล่าวในงานวิจัยนี้

โดยในการปรับแต่งกระบวนการทำงานมีเป้าหมายที่จะทำให้โรงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุดที่ภาระกำลังการผลิตที่โรงไฟฟ้าถูกสั่งการให้เดินเครื่องเป็นประจำที่ 245 และ 300 MW แต่จากข้อจำกัดที่ไม่สามารถทดลองกับโรงไฟฟ้าจริงได้เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อค่าความพร้อมจ่ายของโรงไฟฟ้าและอาจมีผลกระทบทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ของโรงไฟฟ้าได้ งานวิจัยนี้จึงได้นำผลที่ได้จากสมการที่พัฒนาขึ้นไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองของโรงไฟฟ้า ซึ่งก่อนการทดสอบผลที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่างๆ ของห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองกับค่าจากโรงไฟฟ้าจริง โดยพบว่ามีความแตกต่างกันสูงสุด ได้แก่ ค่าปริมาณการใช้น้ำลดอุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง ซึ่งค่าที่ได้จากห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองมีค่าสูงกว่าค่าจากโรงไฟฟ้าจริงเท่ากับ 1.73% ซึ่งน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเครื่องมือวัดแต่ละตัวที่มีค่าประมาณ 2% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถใช้ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองเป็นตัวแทนในการทดสอบผลจากสมการที่พัฒนาขึ้นแทนโรงไฟฟ้าจริงได้

จากการทดลองที่ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองเมื่อทำการป้อนค่า ณ จุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรหลักทั้ง 4 ตัวแปร และรอให้กระบวนการทำงานเข้าสู่สภาวะคงที่ พบว่าค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW มีค่าเท่ากับ 38.67% ในขณะที่ค่าประสิทธิภาพที่คำนวณได้จากสมการที่พัฒนาขึ้นมีค่าเท่ากับ 38.59% โดยระบบมีค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสมบูรณ์

เท่ากับ 0.12% และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เท่ากับ 0.36% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสมบูรณ์มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดที่ 0.2%

ตารางที่ 5.1 ค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 245 MW

ลำดับที่	ตัวแปร	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม
1	ค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	°C	508.22
2	ค่าความดันในเครื่องควบแน่น	barg	0.0246
3	ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย	°C	225.85
4	ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	%	4.66
5	ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี	%	36.89
6	ค่าประสิทธิภาพจากสมการ	%	38.59
7	ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าจากห้องควบคุมฯ จำลอง	%	38.67
8	ผลต่างค่าประสิทธิภาพระหว่างห้องควบคุมฯ - ค่าเฉลี่ย	%	1.78
9	ค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์	%	0.12
10	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	%	0.36

ในส่วน of ค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ภาระกำลังการผลิตที่ 300 MW มีค่าเท่ากับ 39.10% ในขณะที่ค่าประสิทธิภาพที่คำนวณได้จากสมการที่พัฒนาขึ้นมีค่าเท่ากับ 39.35% โดยระบบมีค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสมบูรณ์เท่ากับ 0.11% และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เท่ากับ 0.30% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสมบูรณ์มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดที่ 0.2%

ตารางที่ 5.2 ค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW

ลำดับที่	ตัวแปร	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม
1	ค่าอุณหภูมิไอน้ำรับความร้อนซ้ำ	°C	529.58
2	ค่าความดันในเครื่องควบแน่น	barg	0.0432
3	ค่าอุณหภูมิน้ำป้อนสุดท้าย	°C	238.85
4	ค่าปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน	%	5.54
5	ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี	%	37.61
6	ค่าประสิทธิภาพจากสมการ	%	39.35
7	ค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าจากห้องควบคุมฯ จำลอง	%	39.10

ตารางที่ 5.2 ค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรหลักที่ภาระกำลังการผลิต 300 MW (ต่อ)

ลำดับที่	ตัวแปร	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม
8	ผลต่างค่าประสิทธิภาพระหว่างห้องควบคุมฯ – ค่าเฉลี่ย	%	1.49
9	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	%	0.11
10	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	%	0.30

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ทดลองได้จากห้องควบคุมโรงไฟฟ้า จำลองกับค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปีของโรงไฟฟ้า พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าได้เท่ากับ 1.78% และ 1.49% ที่ภาระกำลังการผลิต 245 และ 300 MW ตามลำดับ คิดเป็นต้นทุนค่าความร้อน จากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ประหยัดได้ในเวลาที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่อง 1 วัน เท่ากับ 711,228 และ 746,925 บาท ตามลำดับ (คิดที่ราคาก๊าซธรรมชาติ 300 Baht/MMBtu)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากในสภาวะการทำงานจริงของโรงไฟฟ้ายังคงมีตัวแปรอื่นๆ อีกหลายตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า เช่น ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ค่าอุณหภูมิแวดล้อม ค่าความชื้นในเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจริงอาจมีความแตกต่างจากค่าที่คำนวณและทดสอบได้ แต่จากหลักการและวิธีการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าด้วยวิธีเชิงตัวเลขตามงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อหาจุดที่เหมาะสมของระบบอื่นๆ ที่มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัวแปรทั้งที่เกี่ยวข้องกับโรงไฟฟ้าและไม่เกี่ยวข้องกับโรงไฟฟ้าได้ เช่น ระบบของน้ำและหอหล่อเย็น ระบบการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ระบบการผลิตน้ำไฮโดรเจน เป็นต้น

2. จากงานวิจัยนี้ได้ผลการทดลองมาจากห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลอง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลของค่าตัวแปรหลักระหว่างโรงไฟฟ้าจริงกับห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองแล้วพบว่ามี ความแตกต่างกันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ไม่เกิน 2% ซึ่งอยู่ในขอบเขตของค่าความคลาดเคลื่อนของ เครื่องมือวัดจึงสามารถใช้ห้องควบคุมโรงไฟฟ้าจำลองเป็นตัวแทนอ้างอิงและทดสอบผลแทนการ ทดลองที่โรงไฟฟ้าจริงได้ แต่ถ้ามีโอกาสและความเป็นไปได้ควรที่จะนำผลการทดลองนี้ไปทดลองใช้ กับโรงไฟฟ้าจริงเพื่อเปรียบเทียบผลว่ามีความใกล้เคียงกับผลจากงานวิจัยนี้หรือไม่ ซึ่งจะทำงานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). **ข้อมูลพลังงาน**. เข้าถึงเมื่อ 16 เมษายน. เข้าถึงได้จาก <http://www.eppo.go.th/info/index-statistics.html>
- [2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2558). **สถิติความต้องการไฟฟ้าสูงสุดปี 2512-2558. สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าปี 2557**. เข้าถึงเมื่อ 20 เมษายน. เข้าถึงได้จาก http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=76&Itemid=116
- [3] U.S. Energy Information Administration. (2015). **Average Tested Heat Rates by Prime Mover and Energy Source, 2007 - 2013**. เข้าถึงเมื่อ 26 กันยายน. เข้าถึงได้จาก http://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa_08_02.htm
- [4] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. (2558). **ราคาก๊าซธรรมชาติและค่าไฟฟ้า**. เข้าถึงเมื่อ 26 กันยายน. เข้าถึงได้จาก <http://www.pttplc.com/TH/Products-Services/Business/Natural-Gas-Product/pages/Natural-Gas-Product.aspx>
- [5] Mandi, Rajashekar P., and Yaragatti Udaykumar R. (2014). "Control of CO2 emission through enhancing energy efficiency of auxiliary power equipment in thermal power plant." **Electrical Power and Energy Systems**, 62: 744-752.
- [6] Janusz Kotowicz, and Adrian Balicki. (2014). "Enhancing the overall efficiency of a lignite-fired oxyfuel power plant with CFB boiler and membrane-based air separation unit." **Energy Conversion and Management**, 80: 20-31.
- [7] Babak Ghorbani, and others. (2015). "Electricity production with low grade heat in thermal power plants by design improvement of a hybrid dry cooling tower and a solar chimney concept." **Energy Conversion and Management**, 94: 1-11.
- [8] Chaojun Wang, and others. (2014). "Thermodynamic analysis of a low-pressure economizer based waste heat recovery system for a coal-fired power plant." **Energy**, 65: 80-90.
- [9] Chao Fu, Rahul Anantharaman, and Truls Gundersen. (2015). "Optimal integration of compression heat with regenerative steam Rankine cycles in oxy-combustion coal based power plants." **Energy**, 84: 612-622.

- [10] Arash Zandian, and Mehdi Ashjaee. (2013). "The thermal efficiency improvement of a steam Rankine cycle by innovative design of a hybrid cooling tower and a solar chimney concept." **Renewable Energy**, 51: 465-473.
- [11] Ankur Geete, and A.I. Khandwawala. (2013). "Thermodynamic analysis of 120 MW thermal power plant with combined effect of constant inlet pressure (124.61 bar) and different inlet temperatures." **Case Studies in Thermal Engineering**, 1: 17-25.
- [12] Xiaoqu Han, and others. (2014). "Simulation study on lignite-fired power system integrated with flue gas drying and waste heat recovery e Performances under variable power loads coupled with off-design parameters." **Energy**, 76: 406-418.
- [13] J. Siviter, A. Montecucco, and A.R. Knox. (2015). "Rankine cycle efficiency gain using thermoelectric heat pumps." **Applied Energy**, 140: 161-170.
- [14] Gang Xu, and others. (2015). "Optimum superheat utilization of extraction steam in double reheat ultra-supercritical power plants." **Applied Energy**, 160: 863-872.
- [15] Robert Mikulandric, and others. (2013). "Improvement of existing coal fired thermal power plants performance by control systems modifications." **Energy**, 57: 55-65.
- [16] Singh, Omendra Kumar, and Kaushik, Subhash C. (2013). "Reducing CO₂ emission and improving exergy based performance of natural gas fired combined cycle power plants by coupling Kalina cycle." **Energy**, 55: 1002-1013.
- [17] Sairam Adibhatla, and S.C. Kaushik. (2014). "Energy and exergy analysis of a super critical thermal power plant at various load conditions under constant and pure sliding pressure operation." **Applied Thermal Engineering**, 73: 51-65.
- [18] Sergio Espatolero, Luis M. Romeo, and Cristóbal Cortés. (2014). "Efficiency improvement strategies for the feedwater heaters network designing in supercritical coal-fired power plants." **Applied Thermal Engineering**, 73: 449-460.

- [19] Shyan-Shu Shieh, and others. (2010). “Statistical key variable analysis and model-based control for the improvement of thermal efficiency of a multi-fuel boiler.” *Fuel*, 89: 1141-1149.
- [20] Sergio Espatolero, Cristóbal Cortés, and Romeo, Luis M. (2010). “Optimization of boiler cold-end and integration with the steam cycle in supercritical units.” *Applied Energy*, 87: 1651-1660.
- [21] บริษัท ผลิตไฟฟ้า จำกัด. (2558). **รู้จักโรงไฟฟ้า**. เข้าถึงเมื่อ 18 มีนาคม. เข้าถึงได้จาก http://www.egco.com/th/energy_knowledge_about_powerplant.asp
- [22] Process and Control Today Ltd. (2015). **Industrial boiler**. เข้าถึงเมื่อ 22 มีนาคม. เข้าถึงได้จาก <http://www.pandct.com/media/shownews.asp?ID=29960>
- [23] สมชาติ ฉันทศิริวรรณ. (2554). **วิศวกรรมโรงไฟฟ้า**. เข้าถึงเมื่อ 17 เมษายน. เข้าถึง <http://somchart.me.engr.tu.ac.th/pplant.pdf>
- [24] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). **ความรู้เกี่ยวกับถ่านหิน**. เข้าถึงเมื่อ 25 มีนาคม. เข้าถึงได้จาก <http://www.eppo.go.th/coal/data.html>
- [25] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. (2558). **เชื้อเพลิงอุตสาหกรรม**. เข้าถึงเมื่อ 25 มีนาคม. เข้าถึงได้จาก <http://www.pttplc.com/TH/ProductsServices/Business/pages/industrial-fuel.aspx>
- [26] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2558). **ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas)**. เข้าถึงเมื่อ 26 มีนาคม. เข้าถึงได้จาก <http://www.deqp.go.th/knowledge/%E0%9E%E0%B8%A5>
- [27] สุดา ตระการเถลิงศักดิ์. (2553). **การวิเคราะห์การถดถอย**. นครปฐม: ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [28] ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์. **การใช้ SPSS เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล**. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาการประเมินผลและวิจัย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [29] Mitsubishi Heavy Industries, Ltd, and Mitsubishi Electric Corporation. (1999). **Ratchaburi Thermal Power Plant Instruction Manual**. Ratchaburi: Electricity Generating Authority of Thailand.
- [30] บริษัท ผลิตไฟฟ้าราชบุรี จำกัด และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2550). **Overview Thermal Power Plant on PI Processbook** [โปรแกรมคอมพิวเตอร์]. ราชบุรี: บริษัท ผลิตไฟฟ้าราชบุรี จำกัด.

[31] OSIssoft Co., Ltd. (2014). **PI System Architecture**. เข้าถึงเมื่อ 16 มกราคม. เข้าถึงได้จาก
<https://www.osisoft.com/software-support/what-is-pi/Architecture.aspx>

[32] John R. Taylor. (1997). **An Introduction to Error Analysis**. Second Edition. California:
University Science Books.



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายพลเชษฐ์ โตสมบุญ
ที่อยู่	4/11 หมู่ 8 ต.บางแถม อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
ที่ทำงาน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2543	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ.2554	ศึกษาต่อปริญญาโท สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ.2543 - 2544	บริษัท ดัชมิลล์ จำกัด อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม
พ.ศ.2544 – ปัจจุบัน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

