

การออกแบบค่าเป้าหมายแปรผันสำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
โดยรวมของกังหันแก๊ส LM6000PF+AERO

DYNAMICS SETPOINT DESIGN TO IMPROVE CYCLE POWER EFFICIENCY OF THE
LM6000PF+ AERO GAS TURBINE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-EN-M- 060-097

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DYNAMICS SETPOINT DESIGN TO IMPROVE CYCLE POWER EFFICIENCY OF THE
LM6000PF+ AERO GAS TURBINE



Wissanudech Tawangkan

THE THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE MASTER DEGREE OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023
KMUTL-2023-EN-M- 060-097

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบค่าเป้าหมายแปรผันสำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของกังหันแก๊ส LM6000PF+AERO
นักศึกษา	นายวิษณุเดช ทาหว่างกัน
รหัสประจำตัว	60601007
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ วิริยะ กองรัตน์

บทคัดย่อ

กังหันก๊าซแบบแอโร (Aero Gas Turbine) จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อ อุณหภูมิของห้องเผาไหม้สูงสุด เครื่องอัดอากาศ (compressor) ทำงานเต็มประสิทธิภาพ วาล์วระบายอากาศทุกตัวปิด (Bleed Valve)ต่ำ ระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซแบบอัตโนมัติ (Inlet Air Heating Systems) จึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรในสถานะการผลิตไฟฟ้าต่ำ โดยการเพิ่มอุณหภูมิอากาศเข้า เพื่อลดการระบายอากาศทิ้งจากเครื่องอัดอากาศ ช่วยเพิ่มอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ และอุณหภูมิขาออกจากเครื่องจักร และง่ายต่อการควบคุมในสถานะอุณหภูมิของอากาศและกำลังการผลิตของเครื่องจักรเปลี่ยนแปลง พบว่าระบบอัตโนมัติสามารถควบคุมอุณหภูมิขาออกของเครื่องอัดอากาศได้คงที่ โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องจักร ในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและกำลังการผลิต ช่วยให้วาล์วระบายอากาศปิด เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศในสถานะโหลดต่ำได้ประมาณ 3% ลดระยะเวลาการเริ่มเดินระบบ 15 นาที และปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมได้เฉลี่ย 100 BTU/kw.hr. สามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงเฉลี่ย 600,000 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ : Gas Turbine, Compressor, Combined Cycle Cower Plant (CCPP), Efficiency.

Thesis Title	Dynamics setpoint Design to improve cycle power efficiency of the LM6000PF+ aero
Student	Mr. Wissanudech Tawanglan
Student ID.	60601007
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Viriya Kongratana

ABSTRACT

The efficiency of the Aero Gas Turbine in a combine cycle power plant (CCPP) is maximum under the conditions that the combustion chamber temperature is highest, the compressor is working at full capacity and all bleed valves are closed. The Inlet Air Heating System is therefore used to improve the efficiency of the machines in low power generation conditions. To ensure stability in response to air temperature and machine capacity changes, this work thus proposes an optimization-based automation system designed to stabilize the CCPP. Results show that under changing conditions, the overall efficiency of the air compressors in low load conditions increases by 3%, shortening the system start time of 15 minutes and improving the efficiency of the combined cycle power plant by an average of 100 BTU / kw.hr. The average fuel cost is reduced by approximately 600,000 baht per month.

Key words : Gas Turbine, Compressor, Combined Cycle Power Plant (CCPP), Efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ เพราะได้รับคำปรึกษาและความกรุณาจาก รศ.วิริยะ กองรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้คำชี้แนะในการทำงานวิจัยนี้ ตลอดจนกระตุ้นเตือนและสอบถามถึงความคืบหน้าของงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ ผู้วิจัยรู้สึกทราบบังคับและขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในทุกๆ เรื่องที่ผ่านมา

ขอขอบคุณผู้บริหารและหัวหน้างาน บริษัท กัลฟ์ เอ็นซี จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออุปการณีสถานที่และข้อมูลที่ใช้ทำการวิจัยนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทจนสำเร็จการศึกษา ณ สถาบันฯ แห่งนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่เคารพรักอย่างสูง รวมทั้งภรรยา คู่ชีวิต และธิดา ซึ่งเป็นที่รัก ตลอดจนคุณครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา

วิษณุเดช ทาหว่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.5 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	5
1.7 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 กังหันก๊าซ (Gas Turbine).....	6
2.1.1 ส่วนประกอบหลักของ Gas Turbine.....	7
2.1.2 หลักการทำงานของ Gas Turbine.....	11
2.2 กังหันก๊าซ LM6000PF+.....	16
2.3 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combine Cycle Power Plant).....	26
2.3.1 หน่วยผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine: GT).....	28
2.3.2 หน่วยผลิตไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator: HRSG).....	28
2.3.3 หน่วยผลิตไฟฟ้าเครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine).....	29
2.4 ระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ (Inlet air heating systems).....	33
2.5 การทดสอบระบบควบคุม.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 การออกแบบโดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมของตัวควบคุมและอัลกอริธึมรังผึ้งเทียม (Optimization-based Algorithm Controller Design).....	44
บทที่ 3 การออกแบบค่าเป้าหมายแปรผันสำหรับระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems).....	48
3.1 โครงสร้างของกระบวนการและการออกแบบ.....	48
3.2 การปรับปรุงระบบควบคุม.....	50
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	56
4.1 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าด้วยการใช้งานระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems).....	56
4.2 ทดสอบการควบคุมและการตอบสนองต่ออุณหภูมิเป้าหมาย.....	57
4.3 ทดสอบการควบคุมและการตอบสนองในสถานะที่กำลังการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง,..	59
4.4 ทดสอบการใช้งานแบบอัตโนมัติและเปรียบเทียบกับระบบดั้งเดิม.....	60
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	62
5.1 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา.....	63
5.2 แนวทางการพัฒนา.....	63
บรรณานุกรม.....	64
ประวัติผู้เขียน.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณไอร้อนจากเครื่องกังหันก๊าซ และพลังงาน ที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำ.....	28
3.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน.....	54
4.1 ตารางแสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าด้วยการใช้งาน ระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems).....	57
4.2 ตารางแสดงผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป้าหมาย.....	58
4.3 ตารางแสดงผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิต.....	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนผังแสดงการทำงานของ Gas Turbine	7
2.2 แสดงทิศทางการไหลและส่วนประกอบของเครื่องอัดอากาศแบบอัดตามแนวแกน.....	8
2.3 แสดงส่วนประกอบของห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber).....	9
2.4 แสดงปริมาณอากาศที่ใช้ในห้องเผาไหม้.....	10
2.5 แสดงลักษณะใบพัดและแนวการเปลี่ยนแปลงพลังงานของใบพัดของเครื่องกังหันก๊าซ.....	11
2.6 แสดงกระบวนการทำงานเป็นไปตามวัฏจักรเบรย์ตันจริง (Actual Brayton cycle).....	12
2.7 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอากาศและกำลังการผลิต.....	14
2.8 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศและอัตราส่วนของกำลังการผลิต.....	15
2.9 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศและความหนาแน่นของอากาศ.....	15
2.10 แสดงส่วนประกอบและชุดควบคุมปริมาณอากาศ ของเครื่องกังหันก๊าซ LM6000PF+.....	17
2.11 แสดงการควบคุมและความสัมพันธ์ของ วีไอจีวี และอุณหภูมิอากาศ.....	17
2.12 แสดงการเปิดปิดของ วีไอจีวี.....	18
2.13 แสดงการควบคุมและความสัมพันธ์ของ วีบีวี และอุณหภูมิอากาศ.....	18
2.14 แสดงลักษณะของ วีบีวี.....	19
2.15 แสดงการทำงานและความสัมพันธ์ของวีเอสวี (VSV) วีไอจีวี (VIGV) วีบีวี (VBV) และความเร็รรอบของเครื่องจักร.....	19
2.16 แสดงการทำงานและความสัมพันธ์ของวีเอสวี (VSV) วีไอจีวี (VIGV) วีบีวี (VBV) ความเร็รรอบของเครื่องจักร กำลังการผลิต.....	20
2.17 แสดงการควบคุมและความสัมพันธ์ของสเตจ 8 บลีด (ST8) ซีดีพีบลีด (CDP) และปริมาณอากาศส่วนเกินของห้องเผาไหม้.....	21
2.18 แสดงการควบคุมการไหลของก๊าซ.....	21
2.19 แสดงเงื่อนไขการควบคุมการไหลของก๊าซ.....	22
2.19 แสดงกำหนดค่ากำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องจักรตามอุณหภูมิอากาศขาเข้า.....	22
2.20 แสดงเงื่อนไขการควบคุมการไหลของก๊าซ.....	23
2.21 แสดงส่วนประกอบและชุดควบคุมปริมาณอากาศของเครื่องกังหันก๊าซ LM6000PF+.....	24
2.22 แสดงวัฏจักรของเครื่องกังหันก๊าซ.....	25
2.23 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมแบบวัฏจักรผสม.....	27
2.24 เครื่องกำเนิดไอน้ำแบบคู่ความร้อน.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 ส่วนประกอบหลักของเครื่องกังหันไอน้ำ.....	30
2.26 วัฏจักรแรงคินที่ใช้ในการผลิตกำลังงานในโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ.....	30
2.27 ระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ.....	33
2.28 แผนภาพระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ.....	34
2.29 แสดงแผนแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ (HE1).....	35
2.30 แสดงแผนแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำและน้ำ (HE2).....	36
2.31 แสดงข้อมูลการออกแบบและวัสดุของแผนแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำและน้ำ (HE2).....	36
2.32 แสดงผังการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำและน้ำ (HE2).....	37
2.33 การควบคุมโดยการป้อนค่าด้วยผู้ควบคุม.....	38
2.34 แสดงการควบคุมอุณหภูมิโดยกำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลง.....	39
2.35 แสดงย่านการวัดและควบคุมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	41
2.36 แสดงการเริ่มต้นระบบควบคุมโดยการป้อนค่าด้วยผู้ควบคุม.....	42
2.37 แสดงการควบคุมโดยการป้อนค่าด้วยผู้ควบคุม.....	42
2.38 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเครื่องกังหันก๊าซและอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง.....	43
2.38 การตอบสนองของระบบควบคุม.....	44
3.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศ.....	49
3.2 แผนภาพระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ.....	50
3.3 แสดงแผนภาพพารามิเตอร์ของการควบคุม.....	51
3.4 แสดงแผนภาพรวมโครงสร้างของการออกแบบค่าเป้าหมายแปรผันและอุปกรณ์ควบคุม.....	55
3.5 แสดงแผนภาพรวมโครงสร้างของการออกแบบค่าเป้าหมายแปรผัน.....	55
4.1 แสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าด้วยการใช้งานระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems).....	57
4.2 แสดงผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป้าหมาย.....	58
4.3 แสดงผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิต.....	59
4.4 แสดงการเริ่มต้นเพิ่มอุณหภูมิของอากาศด้วยผู้ควบคุม.....	60
4.5 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิอากาศด้วยผู้ควบคุม.....	60
4.6 แสดงการเริ่มต้นเพิ่มอุณหภูมิของอากาศด้วยระบบอัตโนมัติ.....	61
4.7 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิอากาศด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โลกมีทรัพยากรที่จำกัดดังนั้นเราควรที่จะใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ไฟฟ้าก็เป็นอีกหนึ่งทรัพยากรที่มีการผลิตโดยผู้ผลิตและการจ่ายมาสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ โดยผู้ผลิตแต่ละรายจะมีวิธีการผลิตกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน แต่ผู้ผลิตทุกรายทำเหมือนกันคือการผลิตที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าและเป็นการลดต้นทุนการผลิต ก๊าซธรรมชาติถือเป็นเชื้อเพลิงหลักชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยประเทศไทยมีโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติสูงถึง 61.75% [1] โดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Combine cycle Systems) ซึ่งการควบคุมกระบวนการผลิตให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงนั้นเป็นการลดต้นทุนเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้า ซึ่งต้นทุนเชื้อเพลิงถือเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงถึง 75% ของทั้งหมดตลอดอายุเครื่องจักร [2] ทำให้เกิดการศึกษาค้นคว้าเครื่องจักรและรูปแบบการเดินเครื่องที่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

กังหันก๊าซ (Gas Turbine) ถือเป็นเครื่องจักรต้นกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบความร้อนร่วม (Combine cycle Systems) ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้โดย การเพิ่มอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ การพัฒนาระบบทำความเย็น และการพัฒนาคุณสมบัติการทนอุณหภูมิของวัสดุ[3] อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของ กังหันก๊าซ (Gas Turbine) การลดอุณหภูมิอากาศส่งผลต่อผลผลิตทางไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และการเพิ่มอุณหภูมิต่อผลผลิตทางไฟฟ้าที่ลดลง และมีผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักร เครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเดินเครื่องให้เต็มประสิทธิภาพ หากลดกำลังการผลิตลง จะมีการลดอัตราส่วนของอากาศจากเครื่องอัดอากาศ (compressor) ส่งผลให้ประสิทธิภาพของ เครื่องอัดอากาศ (compressor) และ กังหันก๊าซ (Gas Turbine) ลดลง[4]

กังหันก๊าซแบบแอโร (Aero Gas Turbine) จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อ อุณหภูมิของห้องเผาไหม้สูงสุด เครื่องอัดอากาศ (compressor) ทำงานเต็มประสิทธิภาพ วาล์วระบายอากาศทุกตัวปิด (Bleed Valve) ประสิทธิภาพของเครื่องจักรจะต่ำลงเมื่อ เครื่องจักรเดินในสถานะไม่เต็มประสิทธิภาพ หรือมีการผลิตที่ต่ำลง เนื่องจากวาล์วระบายอากาศ (Bleed Valve) เปิด เพื่อลดปริมาณอากาศที่เข้าสู่เครื่องจักร และ อุณหภูมิขาออกจากเครื่องจักร (Exhaust Temperature) ต่ำลง เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรในช่วงกำลังการผลิตต่ำ ระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้า กังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) จึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะไหลต่ำ โดยการเพิ่มอุณหภูมิอากาศเข้า เพื่อลดการระบายอากาศทิ้งจากเครื่องอัดอากาศ ช่วยเพิ่มอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ และอุณหภูมิขาออกจากรีจอร์ (Exhaust Temperature) ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม (Combine cycle Systems) ดีขึ้น [5]

อุณหภูมิอากาศเข้ามีความสำคัญอย่างมากในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกังหันก๊าซ (Gas Turbine) สิ่งที่เกิดขึ้นต่างจากมุมมองดั้งเดิมคือ เมื่อเครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) มีกำลังการผลิตต่ำลง อุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสมเพื่อให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงสุดจะสูงขึ้น [10] ระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซคงที่โดยผู้ควบคุมเครื่องจักร ผู้ควบคุมจะเพิ่มอุณหภูมิอากาศเพื่อลดความหนาแน่นของอากาศให้ได้ปริมาณอากาศที่เหมาะสมกับเครื่องจักร ไม่มีการระบายอากาศทิ้ง วาล์วควบคุมอากาศเข้า (Inlet Guide Vane) จะยังคงเปิดเต็มที่ ด้วยเหตุนี้จึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับความดันลดลงก่อนขั้นตอนของการอัดอากาศ เพื่อให้เครื่องอัดอากาศ (Compressor) ทำงานในช่วงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด [10]. แต่เป็นเรื่องยากและต้องตรวจตราระบบอยู่อย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศ และกำลังการผลิตของเครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มีการศึกษาความพยายามในการพัฒนาระบบควบคุมเพื่อทำให้ โรงไฟฟ้ามีเสถียรภาพได้รับการศึกษาในเอกสาร Eslami et al. [8] ใช้อัลกอริธึมรีจิ่งฟังก์ชัน (ABC) เพื่อออกแบบตัวกรองความถี่ต่ำแบบใช้ PID ที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าก๊าซ นอกจากนี้ยังมีการเสนอตัวควบคุม PID ลำดับเศษส่วนในการอ้างอิง [9] เพื่อเพิ่มการตอบสนองต่ออุณหภูมิและประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้า งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการควบคุมค่าเป้าหมายแปรผันปรับให้เหมาะสมสำหรับระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของกังหันแก๊ส LM6000PF + aero และโรงไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานการออกแบบค่าเป้าหมายแปรผันสำหรับระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของกังหันแก๊ส LM6000PF + aero ในสภาวะการผลิตไฟฟ้าต่ำ อุณหภูมิของอากาศ และกำลังการผลิตของเครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ด้วยการควบคุมอุณหภูมิขาออกของเครื่องอัดอากาศให้คงที่ ณ อุณหภูมิที่เครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมด้วยการออกแบบค่าเป้าหมายแปรผันสำหรับระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) โดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.1 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในสภาวะการผลิตไฟฟ้าต่ำอุณหภูมิของอากาศ และกำลังการผลิตของเครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยควบคุมอุณหภูมิขาออกของเครื่องอัดอากาศให้คงที่ ณ อุณหภูมิที่เครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศ

1.2.2 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าโดยระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) แบบค่าเป้าหมายแปรผันและแบบค่าเป้าหมายคงที่

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การควบคุมอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซแบบอัตโนมัติ โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศเพื่อรักษาอุณหภูมิอากาศขาออกให้คงที่ ณ อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในสภาวะการผลิตไฟฟ้าต่ำ

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซแบบอัตโนมัติ โดยใช้อัลกอริธึมรังผึ้งเทียม (ABC) ในการ เพื่อออกแบบตัวกรองความถี่ต่ำแบบใช้ PID และตัวควบคุม PID ลำดับเศษส่วน เพื่อเพิ่มการตอบสนองต่ออุณหภูมิและประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศแบบอัตโนมัติ โดยคำนวณจาก อุณหภูมิขาเข้าและขาออกของเครื่องอัดอากาศ อุณหภูมิของน้ำร้อนและอุณหภูมิของอากาศ เพื่อรักษาอุณหภูมิอากาศขาออกให้คงที่ ณ อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในสภาวะการผลิตไฟฟ้าต่ำ สำหรับ กังหันแก๊ส LM6000PF + aero ณ โรงไฟฟ้านนทรี

1.5 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

กังหันก๊าซแบบแอโร (Aero Gas Turbine) จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อ อุณหภูมิของห้องเผาไหม้สูงสุด เครื่องอัดอากาศ (compressor) ทำงานเต็มประสิทธิภาพ วาล์วระบายอากาศทุกตัวปิด (Bleed Valve) ประสิทธิภาพของเครื่องจักรจะต่ำลงเมื่อ เครื่องจักรเดินในสถานะไม่เต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพหรือมีการผลิตที่ต่ำลง เนื่องจากวาล์วระบายอากาศ (Bleed Valve) เปิด เพื่อลดปริมาณอากาศที่เข้าสู่เครื่องจักร ส่งผลให้เครื่องอัดอากาศและเครื่องจักรมีประสิทธิภาพต่ำลง ระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) จึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรในสภาวะโหลดต่ำ โดยการเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า เพื่อลดการระบายอากาศทิ้งจากเครื่องอัดอากาศ ช่วยเพิ่มอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ และอุณหภูมิขาออกจากเครื่องจักร (Exhaust Temperature) ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม (Combine cycle Systems) ดีขึ้น อุณหภูมิอากาศขาเข้า บ่งบอกถึงความหนาแน่นของอากาศ มีผลต่อ อุณหภูมิขาออกของเครื่องอัดอากาศและห้องเผาไหม้ จึงมีความสำคัญอย่างมากในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกังหันก๊าซ เมื่อเครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) มีกำลังการผลิตต่ำลง พบว่าอุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสมเพื่อให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงสุดจะสูงขึ้น ในสภาวะการผลิตไฟฟ้าต่ำอุณหภูมิของอากาศ และกำลังการผลิตของเครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การควบคุมอุณหภูมิขาออกของเครื่องอัดอากาศให้คงที่ ณ อุณหภูมิที่เครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมจะส่งผลให้เครื่องจักรผลิตไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

การควบคุมค่าเป้าหมายแปรผันปรับให้เหมาะสมสำหรับระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของกังหันแก๊ส LM6000PF + aero และโรงไฟฟ้าโดยใช้อัลกอริธึมรังผึ้งเทียม (ABC) ในการออกแบบตัวกรองความถี่ต่ำแบบใช้ PID และตัวควบคุม PID ลำดับเศษส่วน เพื่อเพิ่มการตอบสนองต่ออุณหภูมิและประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศแบบอัตโนมัติ โดยคำนวณจาก อุณหภูมิขาเข้าและขาออกของเครื่องอัดอากาศ อุณหภูมิของน้ำร้อนและอุณหภูมิของอากาศ เพื่อรักษาอุณหภูมิอากาศขาออกให้คงที่ เพื่อประสิทธิภาพสูงสุด

ทำการทดสอบระบบควบคุมโดยการเพิ่มและลดกำลังการผลิตของกังหันก๊าซ X MW และบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของเครื่องอัดอากาศรวมถึงเก็บข้อมูลในสถานะที่กำลังการผลิตคงที่ แต่อุณหภูมิของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมโดยอัตราการเปลี่ยนแปลงและอุณหภูมิสูงสุดต้องไม่สูงเกินกว่าขอบเขตการใช้งานของอุปกรณ์และเครื่องจักร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ควบคุมประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในสภาวะการผลิตไฟฟ้าต่ำอุณหภูมิของอากาศ และกำลังการผลิตของเครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลงแบบอัตโนมัติ

1.6.2 ควบคุมเครื่องจักรด้วยระบบอัตโนมัติลดโอกาสการเกิดข้อผิดพลาดจากปัจจัยด้านบุคคล

1.7 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการวิจัยและนำเสนอการควบคุมค่าเป้าหมายแปรผันปรับให้เหมาะสมสำหรับระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของกังหันแก๊ส LM6000PF + aero และโรงไฟฟ้าโดยใช้อัลกอริธึมรังผึ้งเทียม (ABC) ในการออกแบบตัวกรองความถี่ต่ำแบบใช้ PID และตัวควบคุม PID ลำดับเศษส่วน เพื่อเพิ่มการตอบสนองต่ออุณหภูมิและประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศแบบอัตโนมัติซึ่งวิทยานิพนธ์ประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา, ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา, สมมติฐานของการศึกษา, ขอบเขตการวิจัย, ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์, ประโยชน์ที่ได้รับ, และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 การควบคุมระดับน้ำในหม้อต้มไอน้ำความดันสูงโดยใช้การควบคุมพีไอดีแบบคาสแคดสามตัวแปร ร่วมกับวิธีการแบ่งค่าตัวแปรควบคุมพีไอดี

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของกังหันก๊าซ และเครื่องอัดอากาศ (Compressor) กังหันก๊าซ LM6000PF+ หลักการทำงานและปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักร โรงไฟฟ้าความร้อนร่วม (Combine cycle power plant) การแลกเปลี่ยนของพลังงานจากเชื้อเพลิงหลักมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าและผลกระทบของอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า หลักการทำงานของระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ (Inlet air heating systems) หน้าที่และความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ในระบบควบคุมและการแก้ปัญหาการควบคุม โดยความมุ่งหมายของการออกแบบค่าเป้าหมายแปรผันสำหรับระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของกังหันแก๊ส LM6000PF + aero และโรงไฟฟ้า ในสภาวะการผลิตไฟฟ้าต่ำอุณหภูมิของอากาศ และกำลังการผลิตของเครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยการควบคุมปริมาณความร้อนจากไอน้ำที่มาแลกเปลี่ยนกับอากาศ ก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องกังหันก๊าซให้เหมาะสมมากที่สุดโดยที่กังหันก๊าซและโรงไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพดังนี้

- 2.1 กังหันก๊าซ (Gas Turbine).
- 2.2 กังหันก๊าซ LM6000PF+.
- 2.3 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combine Cycle Power Plant).
- 2.4 ระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ (Inlet air heating systems).
- 2.5 การทดสอบระบบควบคุม
- 2.6 การออกแบบโดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมของตัวควบคุมและอัลกอริธึมรังผึ้งเทียม

(Optimization-based Algorithm Controller Design)

2.1 กังหันก๊าซ (Gas Turbine).

เครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) เป็นเครื่องจักรที่มีระบบการเผาไหม้แบบสันดาปภายใน (Internal combustion engine) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากมีข้อดีคือมีความน่าเชื่อถือและ ความยืดหยุ่นในระบบการผลิตไฟฟ้าที่ดี ตลอดจนสามารถตอบสนองต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจาก Gas Turbine สามารถ start up เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

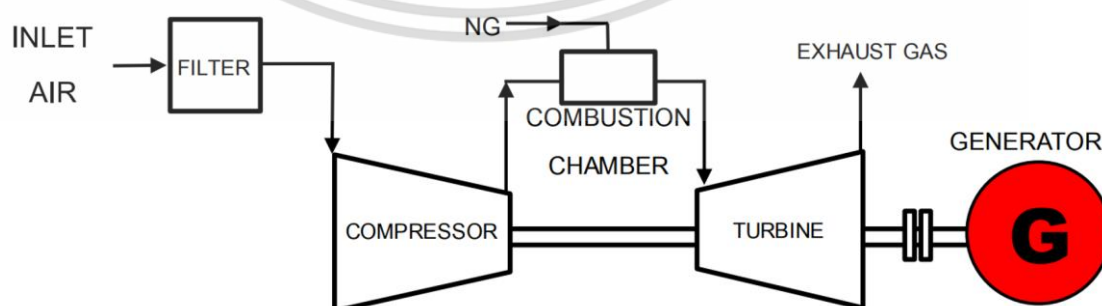
เครื่องจักรได้อย่างรวดเร็ว ใช้เชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ได้ทั้งก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล การออกแบบชิ้นส่วนภายในห้องเผาไหม้และใบพัดกังหันก๊าซ จะถูกออกแบบให้สามารถทนต่ออุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูง โดยจะทำให้ Gas Turbine มีสมรรถนะการทำงานสูงขึ้นด้วย ในปัจจุบัน Gas Turbine มีการพัฒนาด้านวัสดุให้สามารถทนทานต่อความร้อนของก๊าซร้อน ในกระบวนการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 1600 C การพัฒนาด้านความสามารถในการเพิ่มปริมาณอากาศในการเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานรวมของ Gas Turbine มีค่าสูงกว่า 40% ปัจจุบัน Gas Turbine ได้ถูกออกแบบให้มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยมากขึ้น โดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้าที่สูงขึ้นกว่าในอดีตมาก และสามารถลดการปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศลดลง โดย Gas Turbine สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้ามีบริษัทผู้ผลิตจำนวนมาก ซึ่งแต่ละบริษัทมีเทคโนโลยีที่เป็นลักษณะเด่นแตกต่างกัน

2.1.1 ส่วนประกอบหลักของ Gas Turbine

Gas Turbine มีอุปกรณ์หลัก 3 ส่วน คือ

- 1.) เครื่องอัดอากาศ (Compressor)
- 2.) ห้องเผาไหม้ (Combustion chamber)
- 3.) กังหันก๊าซ (Turbine)

เพลลาหมุนของเครื่องอัดอากาศและเพลลาหมุนของกังหันก๊าซ มีการเชื่อมต่อกันเป็นเพลลาหมุนเดียว ซึ่งเรียกว่า Gas Turbine แบบเพลลาเดียว (Industrial Gas Turbine หรือ Heavy Duty Industrial Gas Turbine) โดย Gas Turbine แบบเพลลาเดียวรายละเอียดของส่วนประกอบหลักสำหรับ Gas Turbine มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงการทำงานของ Gas Turbine

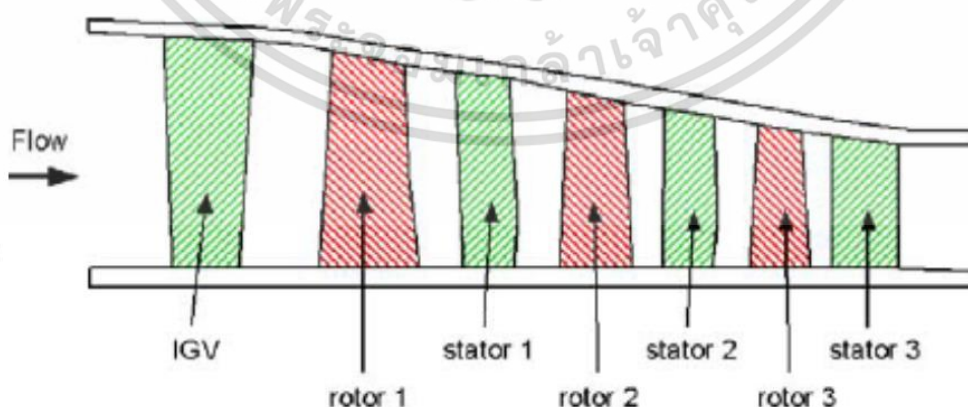
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 เครื่องอัดอากาศ (Compressor)

เครื่องอัดอากาศเป็นอุปกรณ์หลักของ Gas Turbine ทำหน้าที่สูบน้ำอากาศจากภายนอกเข้ามาผ่านระบบกรองอากาศเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกและเพิ่มแรงดันให้แก่อากาศ ก่อนส่งเข้าไปสู่ห้องเผาไหม้ พลังงานกลจากการหมุนที่เพลลาของ Gas Turbine ประมาณ 55-60% จะใช้ในการขับเคลื่อนของเพลลาของเครื่องอัดอากาศ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเครื่องกังหันก๊าซจะเลือกใช้เครื่องอัดอากาศแบบอัดตามแนวแกน ภายในประกอบด้วยใบพัด 2 แบบ คือ

- 1.) ใบพัดส่วนที่หมุน (Rotating airfoils หรือ Rotor blade) ซึ่งเป็นใบพัดส่วนที่ยึดติดอยู่กับเพลลาหมุน (Rotor)
- 2.) ใบพัดส่วนที่อยู่กับที่ (Stationary blade) ซึ่งเป็นใบพัดส่วนที่ไม่หมุน และยึดติดอยู่กับ stator หรือ Casing

โดยใบพัดทั้งสองแบบนี้ จะติดตั้งสลับแฉกกัน เรียงกันไปตามทิศทางการไหลของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งปกติเครื่องอัดอากาศแบบอัดตามแนวแกนนี้ จะประกอบด้วยใบพัดจำนวนหลายแถว และช่องทางผ่านของอากาศที่ใบพัด ตำแหน่งต่างๆ จะมีปริมาตรลดลงเรื่อยๆ หลักการทำงานของเครื่องอัดอากาศมีดังนี้ เมื่อเพลลาของเครื่องอัดอากาศถูกขับเคลื่อนให้หมุน ใบพัดส่วนที่หมุนจะทำหน้าที่สูบน้ำอากาศจากภายนอก เข้ามายังภายในเครื่องอัดอากาศ เมื่ออากาศไหลผ่านไปยังใบพัดส่วนที่หมุนและใบพัดส่วนที่อยู่กับที่ จะทำให้ความเร็วและแรงดันของอากาศเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ที่ด้านขาเข้าของเครื่องอัดอากาศ จะมีใบพัดแบบควบคุมมุมมองการเปิดหรือปิดได้ (Inlet Guide Vanes หรือ IGV) โดยเป็นใบพัดแบบอยู่กับที่ และติดตั้งที่ตำแหน่งแถวแรกของเครื่องอัดอากาศ ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมปริมาณการไหลของอากาศ ที่จะเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเพื่อทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้



รูปที่ 2.2 แสดงทิศทางการไหลและส่วนประกอบของเครื่องอัดอากาศแบบอัดตามแนวแกน

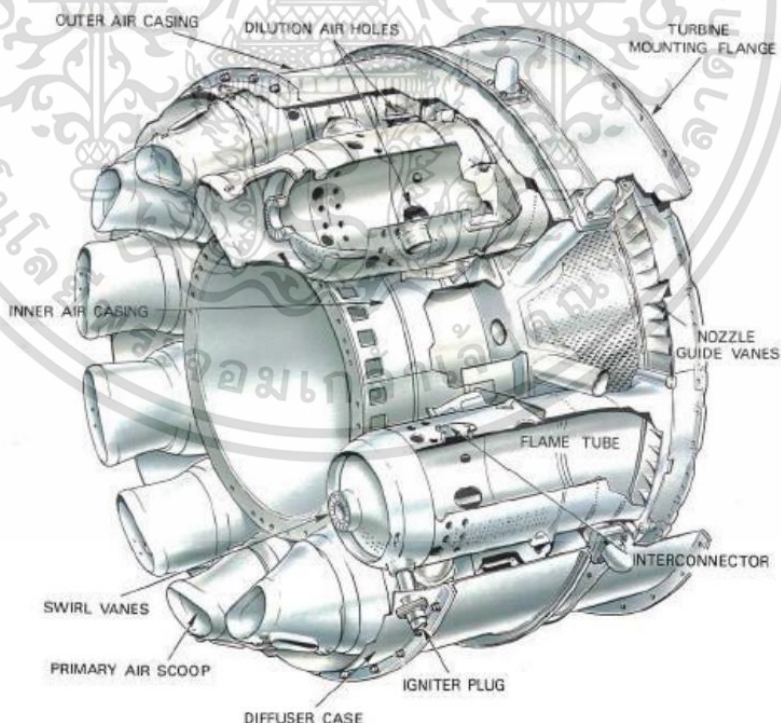
2.1.1.2 ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Combustion Chamber มีส่วนประกอบหลักในกระบวนการเผาไหม้ 3 ส่วน คือ

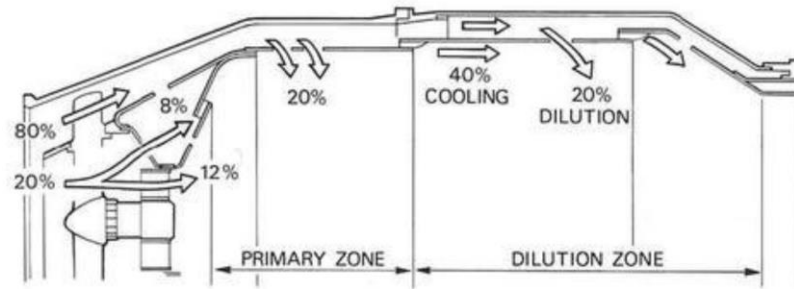
- 1.) ห้องเผาไหม้ (Combustion chamber)
- 2.) หัวเทียนจุดระเบิด (Igniter plugs)
- 3.) หัวฉีดเชื้อเพลิง

(Fuel Nozzles) โดยส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอากาศถูกจุดระเบิดด้วยหัวเทียนจุดระเบิด และทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ขึ้นภายในห้องเผาไหม้ ทำให้ได้ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ ซึ่งมีพลังงานความร้อนสูงไหลไปขับเคลื่อนใบพัดกังหันก๊าซ (Turbine) โดยอุณหภูมิของก๊าซร้อนจะถูกควบคุมไม่ให้เกินขีดจำกัดความทนทานต่อความร้อนของชิ้นส่วนใบพัดกังหันก๊าซ ห้องเผาไหม้ที่ใช้ใน Gas Turbine ประกอบด้วยอากาศอัดที่ไหลออกจากเครื่องอัดอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. อากาศอัดส่วนแรก (Primary air) จะผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้ผ่านชิ้นส่วน Chamber liner ที่ถูกออกแบบไว้ ซึ่งจะมีปริมาณประมาณ 25% ของอากาศอัดที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ จากนั้นอากาศอัดส่วนนี้ จะผสมกับเชื้อเพลิงผ่านหัวฉีดเชื้อเพลิง และเกิดการจุดระเบิดภายในห้องเผาไหม้ ได้ก๊าซร้อนออกไปขับเคลื่อนใบพัดกังหันก๊าซ 2. อากาศอัดสำหรับการระบายความร้อน (Secondary air) ซึ่งจะมีปริมาณ 75% ของอากาศอัดที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ อากาศส่วนนี้จะใช้ในการระบายความร้อนที่ใบพัดกังหันก๊าซแถวแรก และผนังห้องเผาไหม้



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber)

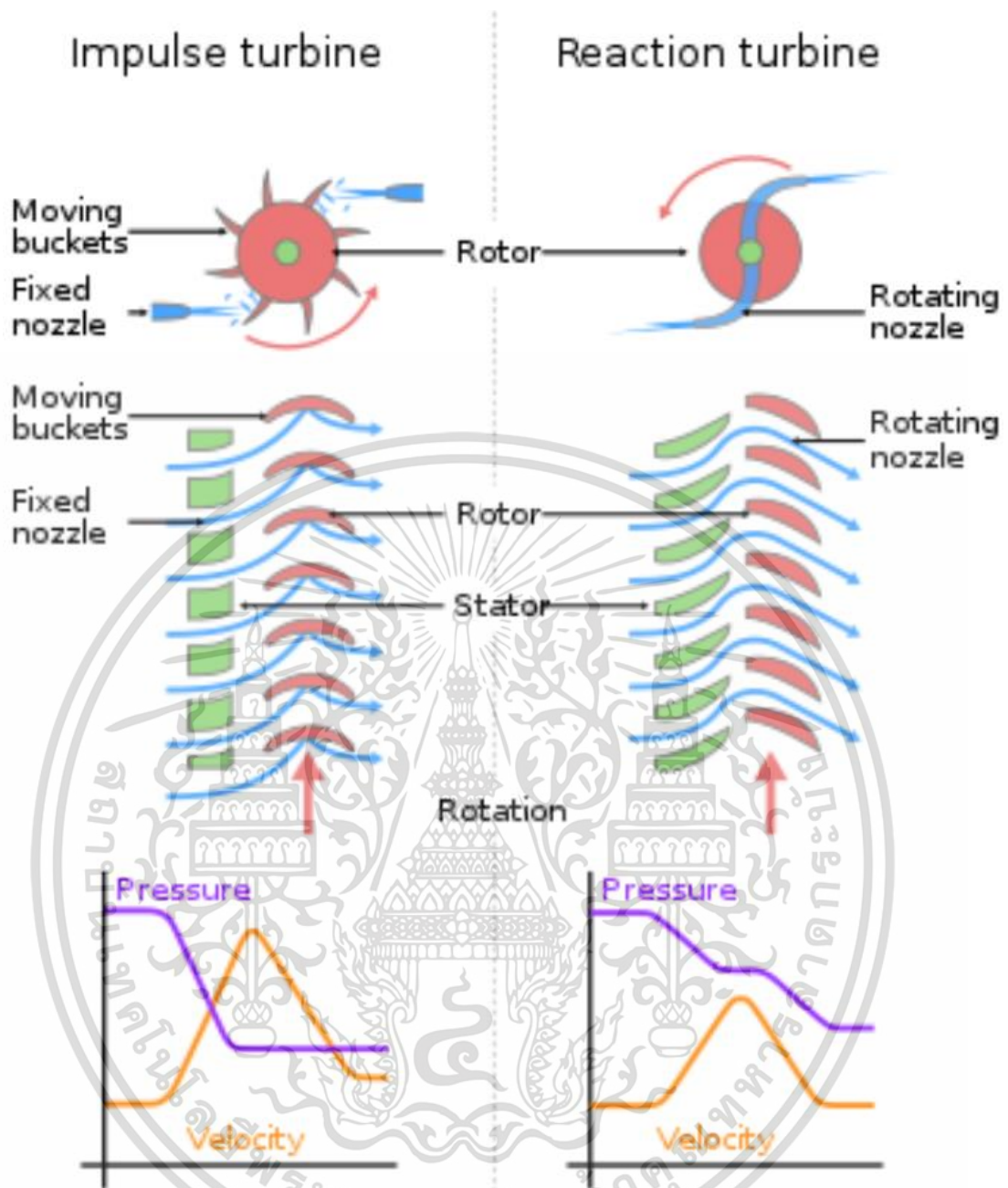
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงปริมาณอากาศที่ใช้ในห้องเผาไหม้

2.1.1.3 กังหันก๊าซ (Turbine or Expander section)

กังหันก๊าซที่ใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้า ส่วนใหญ่เป็นกังหันก๊าซประเภทไหลตามแนวแกน (Axial-flow type) มักจะประกอบด้วยใบพัดจำนวนหลายแถว (Stage) โดยแบ่งประเภทของใบพัดกังหันก๊าซได้ 2 แบบ คือ 1.) ใบพัดส่วนที่หมุน (Rotating Blade) ซึ่งจะมีการติดตั้งยึดติดกับเพลาหมุน 2.) ใบพัดส่วนที่อยู่กับที่ (Stationary vanes) เป็นใบพัดส่วนที่ยึดติดอยู่กับ Casing ซึ่งใบพัดทั้งสองแบบนี้ จะถูกติดตั้งสลับแถวกัน และใบพัดแต่ละแถวทำหน้าที่เป็น Impulse blade และ Reaction blade สำหรับใบพัดแถวแรกมักจะเป็น Impulse blade และเป็นใบพัดที่ยึดอยู่กับที่ ซึ่งเมื่อก๊าซร้อนไหลผ่านใบพัดนี้ จะทำให้มีความเร็วเพิ่มขึ้น หรือทำหน้าที่เป็น Nozzle ให้แกใบพัดแถวถัดไป ซึ่งเป็นใบพัดส่วนที่ยึดติดกับเพลาหมุน โดยอาจจะมีการออกแบบให้เป็นใบพัดแบบ Reaction blade หรือ Impulse blade ใบพัดแถวนี้จะรับแรงกระทำของก๊าซร้อน จากใบพัดแถวก่อนหน้า ซึ่งจะทำให้เพลาเกิดการหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 กังหันก๊าซมีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนของก๊าซร้อน จากปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ เปลี่ยนเป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อนกังหันก๊าซ (Shaft Horsepower) ซึ่งงานที่ได้ทั้งหมด (Turbine Work) จะถูกแบ่งออก เพื่อนำไปใช้ในการหมุนเครื่องอัด (Compressor Work) และกำลังงานส่วนที่เหลือ จะเป็นงานใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Work) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและจ่ายเข้าสู่ระบบผลิตไฟฟ้าต่อไป



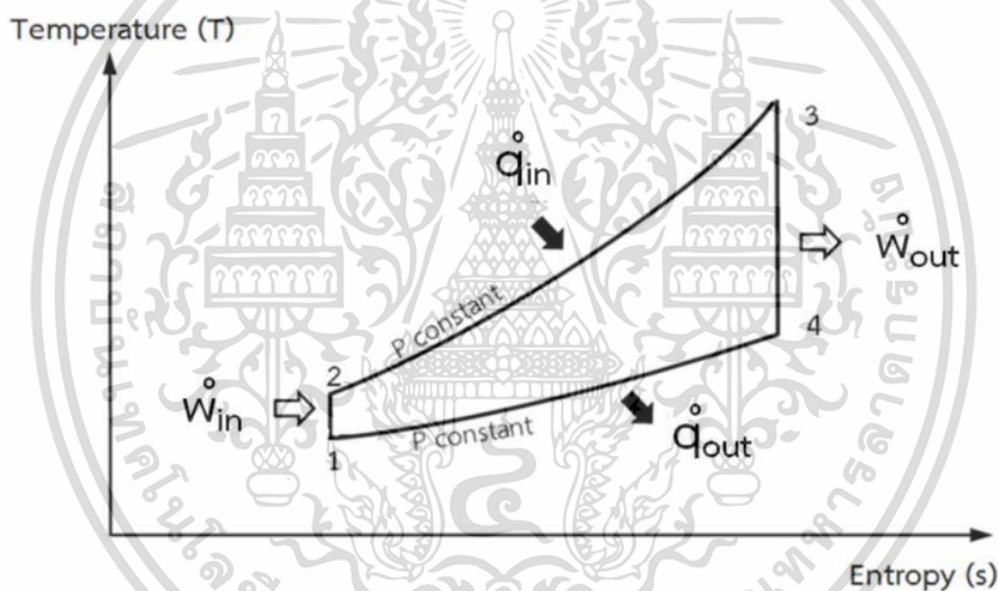
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะใบพัดและแนวการเปลี่ยนแปลงพลังงานของใบพัดของเครื่องกังหันก๊าซ

2.1.2 หลักการทำงานของ Gas Turbine

Gas Turbine เป็นอุปกรณ์สำคัญในกระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยมีหลักการทำงานที่สำคัญดังนี้ เครื่องอัดอากาศทำหน้าที่ดูดอากาศ ณ สภาพแวดล้อมขณะนั้น (Ambient Condition) ผ่านชุดกรองอากาศ (Air Filter) และจากนั้นเครื่องอัดอากาศ จะทำหน้าที่อัดอากาศให้มีแรงดันสูงขึ้น ก่อนส่งเข้าไปภายในห้องเผาไหม้โดยมีใบพัดแฉกแรกของเครื่องอัดอากาศ (Inlet Air Guide Vane; IGV) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณอากาศเข้า จากนั้นอากาศอัดจะผสมกับเชื้อเพลิง และเกิดปฏิกิริยาการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหม้ภายในห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) จนกระทั่งได้ก๊าซร้อน จากนั้นก๊าซร้อนที่ได้จะเข้าไปขับเคลื่อนกังหันก๊าซ (Turbine) โดยก๊าซร้อนที่ไหลเข้ามาขับเคลื่อนกังหันก๊าซ จะถูกควบคุมให้อุณหภูมิมีค่าไม่เกินขีดจำกัด ของความสามารถในการทนต่อความร้อนของใบพัดกังหัน และทำให้เกิดงานในรูปของการหมุนที่เพลลา ซึ่งเพลลามีการต่อเชื่อมกับเพลลาหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเปลี่ยนพลังงานกลจากการหมุนเป็นพลังงานไฟฟ้า และส่งกระแสไฟฟ้าจ่ายออกไปสู่ภาคประชาชน โดยประสิทธิภาพของการผลิตงานของ Gas Turbine นี้ เป็นไปตามวัฏจักรเบรย์ตัน (Brayton cycle) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในสภาวะการทำงานจริงของ Gas Turbine จะมีกระบวนการทำงานเป็นไปตามวัฏจักรเบรย์ตันจริง (Actual Brayton cycle) เนื่องจากเครื่องอัดอากาศและกังหันก๊าซมีการสูญเสียความร้อนขณะทำงาน และอากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศที่ไหลผ่านห้องเผาไหม้แล้ว จะทำให้มีแรงดันตก Pressure drop ซึ่งจะทำให้วัฏจักรการทำงานของ Gas Turbine ไม่เป็นวัฏจักรแบบอุดมคติ



รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการทำงานเป็นไปตามวัฏจักรเบรย์ตันจริง (Actual Brayton cycle)

วัฏจักรเบรย์ตันใช้อธิบายการทำงานของ Gas Turbine โดยจากแผนผัง T-s Diagram (ในรูปที่ 2.12) แสดงวัฏจักรเบรย์ตันแบบอุดมคติ ซึ่งมีการไหลของอากาศแบบ closed loop ซึ่งกระบวนการทำงานในวัฏจักรเบรย์ตันแบบอุดมคติ ประกอบด้วย 4 กระบวนดังต่อไปนี้

- (1) กระบวนการที่ 1-2 เป็นกระบวนการอัดอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศ หรือ Isentropic compression process ($s_1 = s_2$) ซึ่งจะต้องให้งานเข้าไปแก่เครื่องอัดอากาศ (W-Compressor) เพื่อใช้สำหรับการขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศ

(2) กระบวนการที่ 2-3 เป็นกระบวนการรับความร้อน (q_{in}) ด้วยความดันคงที่ หรือ Isobaric process ($P_2 = P_3$) โดยพลังงานความร้อนเกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของสารผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศภายในห้องเผาไหม้

(3) กระบวนการที่ 3-4 เป็นกระบวนการขยายตัวของก๊าซร้อน ที่ความดันคงที่ หรือ Isentropic expansion ($s_3 = s_4$) ซึ่งเกิดจากการที่ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ เข้ามาขับเคลื่อนใบพัดกังหันก๊าซ และทำให้เกิดงานในรูปของการหมุนที่เพลา ($w_{Turbine}$) ซึ่งงานเกิดขึ้นเป็นงานรวมของวัฏจักร และจะถูกแบ่งไปใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศ และงานที่เหลือ จะเป็นงานสุทธิสำหรับการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator output)

(4) กระบวนการที่ 4-1 เป็นกระบวนการคายความร้อน ที่เกิดจากก๊าซไอเสียที่เหลือจากการขับเคลื่อนกังหันก๊าซ เกิดการถ่ายเทความร้อน (q_{out}) ออกสู่บรรยากาศที่ความดันคงที่ หรือ Isobaric process ($P_4 = P_1$) หรือก๊าซไอเสียอาจจะมีการถ่ายเทให้กับน้ำที่เครื่องผลิตไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator, HRSG) เพื่อให้ก๊าซไอเสียเย็นตัวลงและนำไปใช้งานต่อไป

ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยเกิดขึ้นเมื่อมีเชื้อเพลิง ทำการออกซิเดชันกับอากาศ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.1 ต่อไปนี้



ก๊าซธรรมชาติมีส่วนประกอบหลัก คือ มีเทน (Methane) มีสูตรทางเคมี คือ CH_4 ดังนั้นการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติ จึงสามารถแสดงด้วยปฏิกิริยาการเผาไหม้ของก๊าซมีเทนกับอากาศ โดยทั่วไปการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วน เนื่องจากมีความสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก แต่จะใช้อากาศแทน ซึ่งการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิง จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีปริมาณของออกซิเจนหรืออากาศเพียงพอ ที่จะทำให้อุณหภูมิในเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้จนหมดสิ้นพอดีปริมาณอากาศดังกล่าวเรียกว่า ปริมาณอากาศทางทฤษฎี และอัตราส่วนระหว่างมวลของอากาศทางทฤษฎีกับมวลเชื้อเพลิง เรียกว่า Stoichiometric Ratio และปกติในอากาศจะประกอบด้วย ปริมาณของออกซิเจน 23% และไนโตรเจน 77% โดยมวล หรือประกอบด้วยปริมาณของออกซิเจน 21% และไนโตรเจน 79% โดยปริมาตร โดยสมการการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของก๊าซมีเทนกับอากาศ เป็นดังสมการที่ 2.2 ต่อไปนี้

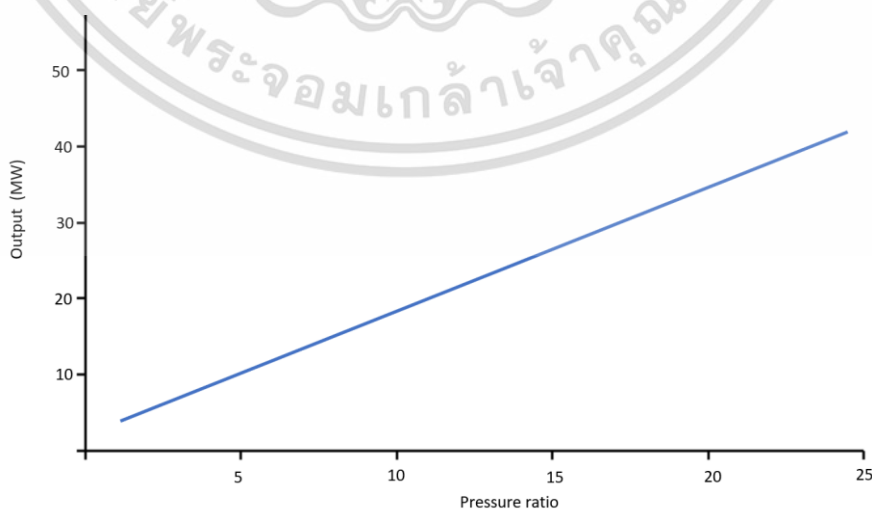


จากสมการข้างต้น อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air/Fuel Ratio หรือ A/F) สำหรับก๊าซมีเทน สามารถหาได้ดังนี้ $[(2)(32) + (2)(3.76)(28)] / (12 + 4) = 17.16$ ดังนั้น จะต้องป้อนปริมาณมวลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศเท่ากับ 17.6 kg ผสมกับก๊าซมีเทน เท่ากับ 1 kg เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ สำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ กรณีต้องการให้เกิดปฏิกิริยาที่ดี และเป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ หรือเกือบสมบูรณ์ จะต้องควบคุมสถานะการเกิดปฏิกิริยาให้มีความเหมาะสม ซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญ 4 ประการ ดังนี้

1. ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต้องนานเพียงพอ เพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้หมด โดยไม่ถูกอากาศส่วนเกินนำพาออกทางด้านปล่องคว้นไอเสีย
2. อุณหภูมิในการเผาไหม้ต้องมีค่าสูง เพื่อที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง
3. การผสมผสานระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ต้องอยู่ในลักษณะของการไหลผสมแบบปั่นป่วน
4. เพื่อที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง อย่างสมบูรณ์ในทางปฏิบัติ จึงต้องใช้การเพิ่มปริมาณอากาศเข้าไปจนเพียงพอ ทำให้อากาศที่ใช้มากกว่าความต้องการทางทฤษฎีอากาศส่วนที่เกินไปนี้ เรียกว่า ปริมาณอากาศเกิน (Excess air) ซึ่งมักจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณอากาศทางทฤษฎีเช่น ถ้าใช้อากาศจริงในปริมาณ 1.5 เท่าของอากาศพอดีซึ่งคิดเป็น 150% ของอากาศทฤษฎีซึ่งบางครั้ง เรียกว่า 50% อากาศเกินพอดี (50% excess) เป็นต้น

โดยภาพรวมเครื่องกังหันก๊าซต้องการพลังงานจากอากาศและเชื้อเพลิงเพื่อทำปฏิกิริยาเผาไหม้ ซึ่งต้องการปริมาณก๊าซและอากาศที่เหมาะสม การที่เครื่องจักรสามารถเพิ่มปริมาณอากาศได้ โดยการพัฒนาประสิทธิภาพและการออกแบบของเครื่องอัดอากาศ จะส่งผลให้เครื่องจักรสามารถรับเชื้อเพลิงและผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้สูงขึ้นดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอากาศ(บ่งชี้ด้วยอัตราส่วนแรงดัน หรือ pressure ratio) พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องจักรสามารถผลิตได้ โดยมี VIGV คอยควบคุมปริมาณอากาศให้เหมาะสมกับปริมาณเชื้อเพลิงซึ่งควบคุมด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล

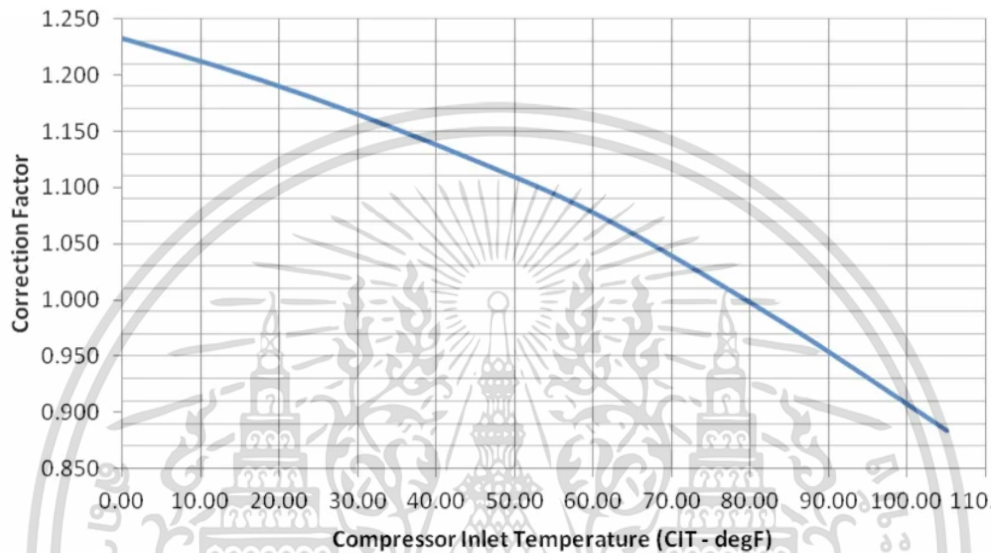


รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอากาศและกำลังการผลิต

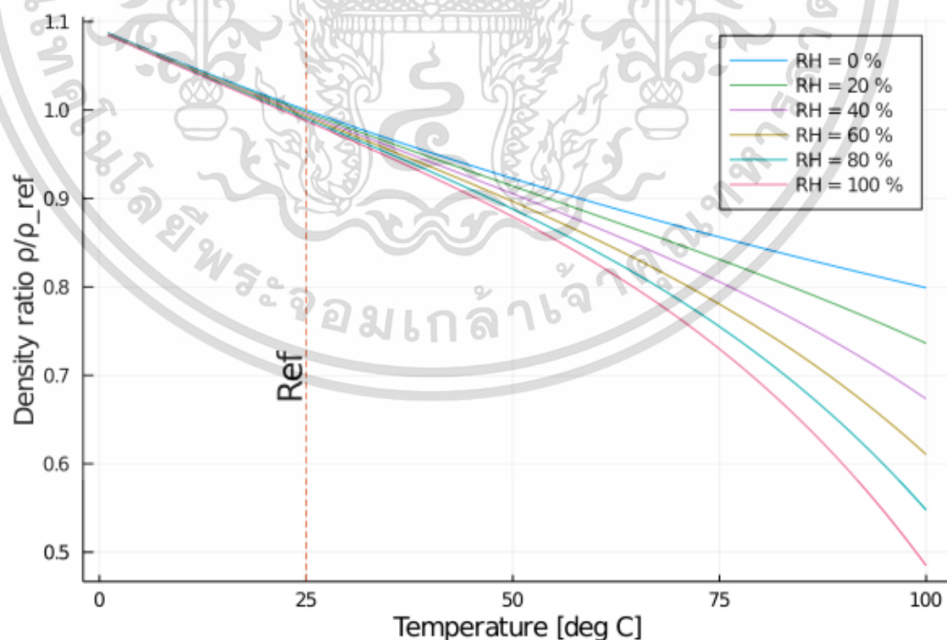
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของอากาศเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่ออัตราการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศส่งผลต่อความหนาแน่นของอากาศเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ความหนาแน่นของอากาศจะลดลง ส่งผลต่อปริมาณอากาศสูงสุดที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้ลดลง เพื่อรักษาสมดุลของอากาศและเชื้อเพลิงเครื่องจักรจำเป็นต้องลดปริมาณเชื้อเพลิงส่งผลให้กำลังการผลิตของเครื่องลดลงดังรูปที่ 2.8 และ 2.9

Output Correction Factor vs. CIT



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศและอัตราส่วนของกำลังการผลิต



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศและความหนาแน่นของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กังหันก๊าซ LM6000PF+

LM6000PF+ เป็นรุ่นเครื่องกังหันก๊าซที่ผลิตโดยบริษัท General Electric (GE) สำหรับใช้ในการสร้างพลังงานไฟฟ้า รุ่นนี้เป็นส่วนหนึ่งของตระกูล LM6000 ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ รวมถึงโรงงานผลิตไฟฟ้า โรงไฟฟ้าชุมชน และอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ มีการทำงานโดยเริ่มต้นด้วยการดูดลมจากสภาพแวดล้อมเข้าสู่เครื่องอัดอากาศผ่านระบบกรองอากาศ ลมจะถูกกรองเพื่อเอาสิ่งสกปรกที่อาจทำให้เกิดความเสียหายกับองค์ประกอบของเครื่องจักร ลมที่เข้ามาจะถูกบีบอัดโดยเครื่องอัดอากาศ การบีบอัดจะเพิ่มความดันและอุณหภูมิของลมให้พร้อมสำหรับกระบวนการเผาไหม้ จากนั้นลมที่ถูกบีบอัดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่มีการฉีดเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงจะผสมกับลมที่ถูกบีบอัดและเกิดการเริ่มเชื้อเพลิง สร้างกระบวนการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง ก๊าซร้อนที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้จะขยายตัวและไหลผ่านส่วนใบพัดที่หมุน ก๊าซที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงจะทำให้ใบพัดของเครื่องกังหันก๊าซหมุนและส่งกำลังสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ก๊าซที่ไหลออกจากเครื่องกังหันก๊าซจะถูกปล่อยออกจากระบบเพื่อใช้ประโยชน์สำหรับการผลิตไอน้ำต่อไป โดยมีโดยระบบควบคุมที่คอยปรับให้เกิดการทำงานประสานงานที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้า ควบคุมการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ ตรวจสอบพารามิเตอร์ต่างๆ และให้การทำงานที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ และมีคุณสมบัติเด่นคือ

2.1.1 มีกำลังการผลิตโดยประมาณ 46-52 เมกะวัตต์ (MW) และสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้โดยเผาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติหรือเชื้อเพลิงของเหลว

2.1.2 มีประสิทธิภาพสูง มีประสิทธิภาพจำนวนวงจรรวมประมาณ 54% หรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าและเงื่อนไขการทำงาน

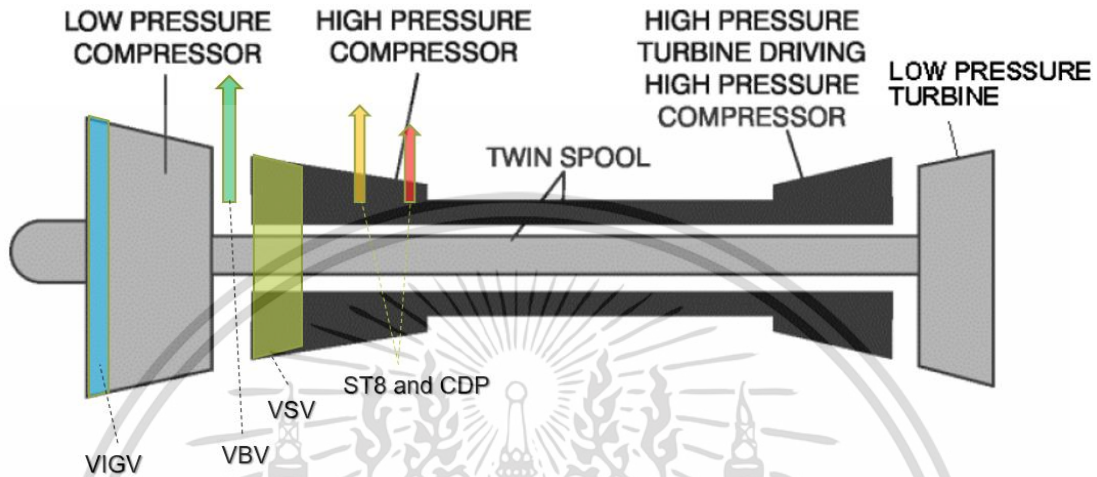
2.1.3 มีความยืดหยุ่นและเร็วในการเริ่มต้นทำงาน ช่วยให้สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในการต้องการพลังงานไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว

2.1.4 ระบบการเผาไหม้ Dry Low Emissions (DLE) จาก GE, LM6000PF+ ลดการปล่อยไอออกซิเดชันไนโตรเจน (NOx) ซึ่งช่วยให้โรงงานผลิตไฟฟ้าประหยัดตามข้อกำหนดเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวด นอกจากนี้ยังมีระดับการปล่อยสารอื่นๆ ต่ออากาศเช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารอนุภาค (PM) ที่ต่ำ

จุดเด่นทางโครงสร้างของเครื่อง LM6000 ประกอบไปด้วยเพลลา 2 ชั้นซ้อนกัน โดยเพลลาชั้นในจะทำหน้าที่ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเครื่องอัดอากาศแรงดันต่ำ (low pressure compressor) จำนวน 5 สเตจหลังจากเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าความเร็วรอบจะถูกกำหนดให้คงที่ตามความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ 50 Hz โดยการเพิ่มลดปริมาณลมจะทำได้โดยการปรับมุมการชนของ วีไอจีวี (VIGV) เพลลาชั้นนอกทำหน้าที่ขับชุดควบคุมน้ำมัน และเครื่องอัดอากาศแรงดันสูง (high pressure compressor) จำนวน 14 ชุดเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศได้อย่างอิสระตามความเร็วรอบที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงไป โดยมีอุปกรณ์ควบคุมปริมาณอากาศเพื่อเข้าสู่ห้องเผาไหม้ให้เหมาะสมและป้องกันการเกิดความเสียหายของเครื่องอัดอากาศทั้งหมด 5 ชั้น คือ วีไอจีวี (VIGV) วีบีวี (VBV) วีเอสวี (VSV) สเตจ 8 บลีด (ST8) ซีดีพีบลิ็ด (CDP) ดังภาพที่ 2.10 และวาล์วควบคุมการไหลของก๊าซรูปที่ 2.18



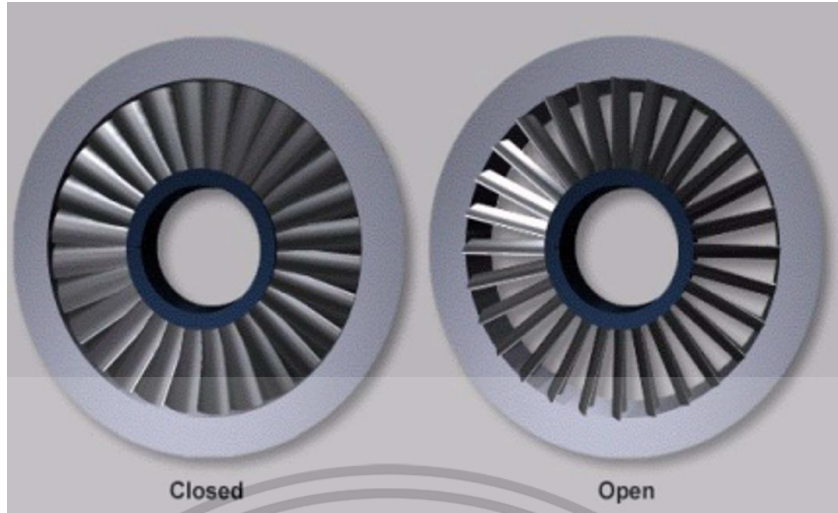
รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบและชุดควบคุมปริมาณอากาศ ของ เครื่องกังหันก๊าซ LM6000PF+

โดย วีไอจีวี (VIGV) ทำหน้าที่เปิดปิดเพื่อ ปรับเปลี่ยนมุมการชน เพื่อเพิ่มลดปริมาณอากาศที่ของเครื่องอัดอากาศแรงดันต่ำ (low pressure compressor) เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ความหนาแน่นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลง วีไอจีวี (VIGV) จะรักษาสมดุลของปริมาณอากาศโดยจะเปิดเพิ่มขึ้นเพื่อปรับมุมการชนของเครื่องอัดอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้นดังรูปที่ 2.11

	X(IPS3QA (psi)	Y(TZRTE (de	Z(IIGVDMD (
TableT_H2OESJ	45	50	59	70	80	90	100	110	120	130	140									
TableT_H2OHUM	-7.855286	-6.862429	-5.208143	-2.701143	1.618857	5.870571	8.700143	9.077714	7.134714	4.937571	3.546571									
TableT_HOFT	-2.712571	-1.719714	-0.065286	2.441714	6.761714	11.01343	13.843	14.22057	12.27743	10.08029	8.689429									
TableT_HPTNOZJ	186	2.430286	3.423143	5.077571	7.584571	11.90457	16.15629	18.98586	17.42029	15.22314	13.83229									
TableT_HTOTMP	204	7.573143	8.566	10.22043	12.72743	17.04743	21.29314	24.12871	24.50629	22.56314	20.366									
TableT_IIGVPG5	222	12.716	13.70886	15.36329	17.87029	22.19029	26.442	29.27157	29.64914	27.706	25.50886									
TableT_IIGVPG11	240	17.85886	18.85171	20.50614	23.01314	27.33314	31.58486	34.41443	34.792	32.84886	30.65171									
TableT_IIGVPG22	258	23.00171	23.99457	25.649	28.16586	32.47586	36.72771	39.56729	39.93486	37.99171	35.79457									
TableT_IIGVPGUL	276	28.14457	29.13743	30.79186	33.29871	37.61871	41.87057	44.70014	45.07771	43.13457	40.93743									
TableT_INRAGJ	294	33.28743	34.28028	35.93472	38.44157	42.76157	47.01343	49.843	50.22057	48.27743	46.08028									
TableT_INRDGJ	312	38.43029	39.42314	41.07757	43.58443	47.90443	52.15614	54.98586	55.36329	53.42028	51.22314									
TableT_INRSLP	330	43.57314	44.566	46.22043	48.72729	53.04729	57.299	60.12872	60.50614	58.56314	56.366									
TableT_LIQFTL	348	48.716	49.70886	51.36329	53.87014	58.19014	62.44186	65.27157	65.649	63.706	61.50886									
	366	53.85886	54.85172	56.50614	59.013	63.333	67.58472	70.41443	70.79186	68.84886	66.65171									
	384	59.00171	59.99457	61.64886	64.15586	68.47586	72.72768	75.56723	75.93473	73.99168	71.79454									
	402	64.14457	65.13743	66.79172	69.29871	73.61874	77.87043	80.70009	81.07757	79.13454	76.9374									
	420	69.28743	70.28029	71.93462	74.4416	78.7616	83.01327	85.84294	86.22041	84.27739	82.08025									
	438	74.43024	75.4231	77.07745	79.58444	83.90444	88.15611	90.9858	91.36326	89.42024	87.2231									
	456	79.57309	80.56594	82.22031	84.7273	89.0473	93.29896	96.12864	96.5061	94.56309	92.36594									
	474	84.71594	85.70879	87.36316	89.87016	94.19016	98.4418	101.2716	101.649	99.70594	97.5088									
	492	89.85879	90.85165	92.506	95.013	99.333	103.5847	106.4144	106.7919	104.8489	102.6517									
	510	95.00164	95.9945	97.64886	100.1559	104.4759	108.7274	111.5571	111.9346	109.9916	107.7944									
	528	100.1444	101.1373	102.7917	105.2987	109.6187	113.8703	116.7	117.0774	115.1344	112.9373									
	546	105.2873	106.2801	107.9346	110.4416	114.7616	119.0131	116.7	117.0774	115.1344	112.9373									
	564	110.4301	111.423	113.0774	115.5844	119.9013	116.7	117.0774	115.1344	112.9373	110.6897									
	582	115.573	116.5659	118.2203	115.5844	114.7616	119.0131	116.7	117.0774	115.1344	112.9373									
	600	115.573	116.5659	118.2203	115.5844	114.7616	119.0131	116.7	117.0774	115.1344	112.9373									

รูปที่ 2.11 แสดงการควบคุมและความสัมพันธ์ของ วีไอจีวี และอุณหภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



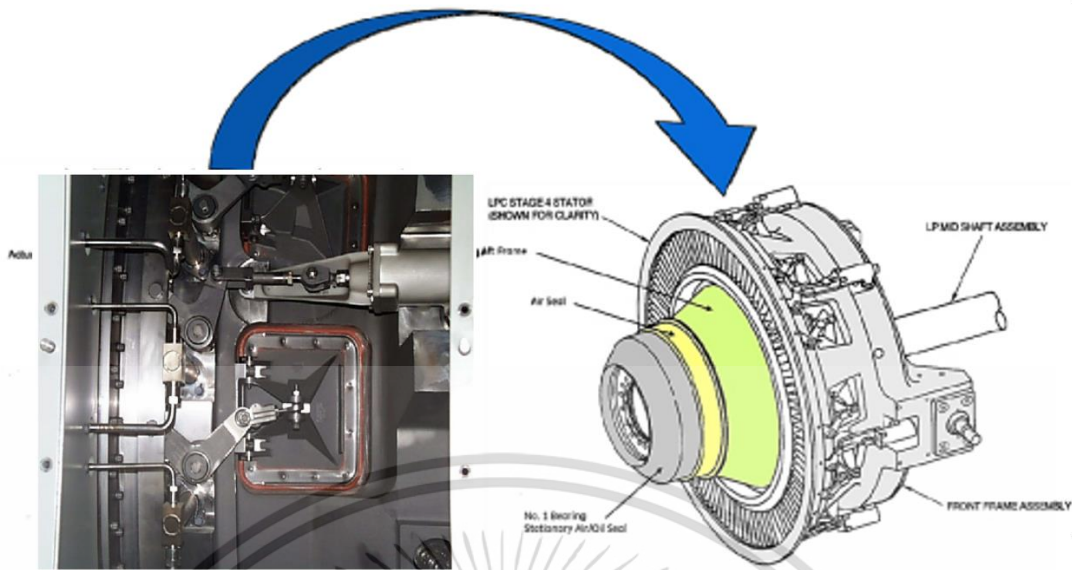
รูปที่ 2.12 แสดงการเปิดปิดของ วีไอวีวี

วีบีวี (VBV) ทำหน้าที่เปิดปิดเพื่อ ความคุมปริมาณอากาศให้เหมาะสมจากเครื่องอัดอากาศแรงดันต่ำ (low pressure compressor) ไปสู่เครื่องอัดอากาศแรงดันสูง (high pressure compressor) เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ความหนาแน่นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลง วีบีวี (VBV) จะรักษาสมดุลของปริมาณอากาศโดยจะปิดวาล์วเพิ่มขึ้นเพื่อลดการระบายลมออกจากเครื่องอัดอากาศขึ้นดังรูปที่ 2.13

Table	X(N25R2 (rpm))	Y(T2RTE (deg F))	Z(VBPGMN)	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	
TableT_TQPSF0	8000	97.1182	96.8668	95.9289	94.2694	92.6912	91.3069	90.3326	89.0846	87.849	86.6737	85.3952	84.53.97	82.0087	81.5369	80.5274	79.9061	77.4325	76.1595	75.1674	73.8439	72.4459	71.0536	69.7394
TableT_VBPMN11	8806.5	70.8096	70.2673	69.2221	67.6709	66.293	64.9185	63.8055	62.2633	60.6587	59.0511	57.5187	9077.49	60.8324	60.1971	58.9711	56.9716	55.2005	53.6094	52.2233	50.53	48.9445	47.2087	46.2887
TableT_VBPMX5	9153.84	57.2732	56.567	55.2341	53.2057	51.2255	50.2035	49.7701	48.4848	47.0512	45.2348	44.4717	9314.84	49.3107	49.769	48.4976	47.5747	46.5111	45.5728	44.776	43.4599	42.106	40.615	39.6321
TableT_VBPMX22	9421.11	45.9618	45.9941	45.1762	44.1719	42.783	41.6455	40.7696	39.7177	38.9547	37.9836	37.5969	9568.77	41.3028	40.9103	40.3909	39.5955	39.5449	37.9726	37.2566	36.2478	34.9858	33.434	32.7677
TableT_VBSKH3	9645.59	38.2581	39.1633	38.749	37.8424	36.6946	35.4583	33.9242	32.6916	31.6327	30.6885	29.8174	9750	36.8946	36.4688	35.2047	33.9212	32.1295	31.3061	30.2591	28.8908	26.9265	23.5191	21.0485
TableT_VBVDMD	9872.96	32.2452	32.0833	31.6637	30.4363	29.7301	29.7713	25.694	22.7199	22.7199	13.7071	8.22985	9850	30.4154	30.0705	29.5712	28.3063	26.3774	23.2817	21.6857	18.7958	13.712	4.32928	-1.7978
TableT_VBVKKJ	10034.1	28.5593	28.2694	27.33	24.64	21.8846	19.988	17.7015	17.1751	4.19578	-6.6008	-12.7303	10076.7	27.3371	26.7619	25.457	22.7584	19.7023	17.6911	13.2735	6.40085	-1.23172	-12.0073	-18.1381
TableT_VBVRTNJ	10150	24.0573	23.2992	21.8891	19.8463	15.9399	11.0252	3.61831	-3.26309	-10.9255	-21.5638	-27.7967	10249.5	19.2497	18.3983	16.7849	15.4816	9.14934	4.60763	-9.36481	-16.2042	-23.9072	-38.5933	-40.7311
TableT_VBVSCH	10279.8	17.5972	16.7058	15.8125	14.1743	8.70975	3.49711	-13.3185	-20.1451	-27.8604	-38.5332	-44.6599	10335.5	15.1519	14.9155	13.7322	12.3112	6.28538	0.6252	-20.6864	-27.3896	-35.1275	-45.7723	-51.9106
TableT_VBPMN22	10428.4	12.3037	12.118	7.83349	2.28098	-5.76887	-4.47011	-32.7083	-39.4723	-47.248	-57.8461	-62.0823	10497.8	8.65791	4.9954	-1.17518	-6.69711	-14.7625	-8.2765	-41.7639	-48.4986	-56.3026	-66.8656	-73.0087
TableT_VBPMN22	10567.6	-0.439397	-4.10609	-10.2205	-15.7269	-23.808	-12.1045	-50.8717	-57.5769	-65.4093	-75.9372	-82.0823	10634.2	-9.14814	-17.79	-18.8511	-24.3428	-32.4388	-15.7577	-59.5619	-66.239	-74.0885	-84.5929	-90.7399
TableT_VBPMN22	10710.6	-19.1384	-22.7517	-28.7517	-34.2264	-42.3397	-19.948	-69.5308	-76.1757	-84.0663	-94.5222	-100.672	10753.3	-24.7219	-28.3193	-34.2882	-39.7904	-47.8732	-22.29	-75.1025	-81.7294	-89.6373	-100.072	-106.222
TableT_VBPMN22	10850	-37.3666	-40.9278	-46.8164	-52.2602	-60.4047	-27.5937	-87.7202	-94.3063	-102.254	-112.639	-118.793	10908.5	-45.0162	-48.5556	-54.3974	-59.8282	-67.9859	-30.8022	-96.3535	-101.915	-109.896	-120.242	-126.397
TableT_VBPMN22	10965.9	-52.5219	-56.0399	-61.8358	-67.2539	-75.4244	-33.9505	-102.843	-109.381	-117.375	-127.702	-133.859	11019.6	-59.5438	-63.0417	-68.7947	-74.2009	-82.3835	-36.8958	-109.85	-116.365	-124.381	-134.681	-140.84
TableT_VBPMN22	11200	-83.1333	-86.5638	-92.1726	-97.5388	-105.762	-46.7902	-133.389	-139.828	-147.918	-158.127	-164.291												

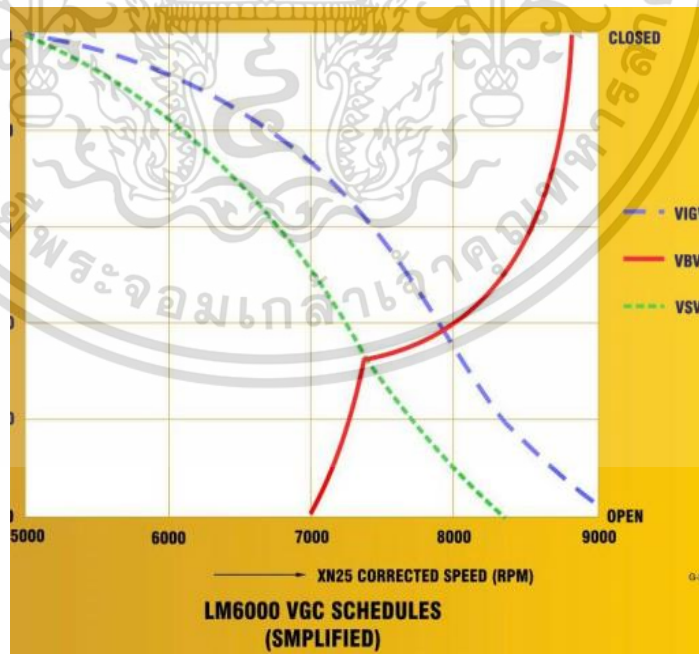
รูปที่ 2.13 แสดงการควบคุมและความสัมพันธ์ของ วีบีวี และอุณหภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



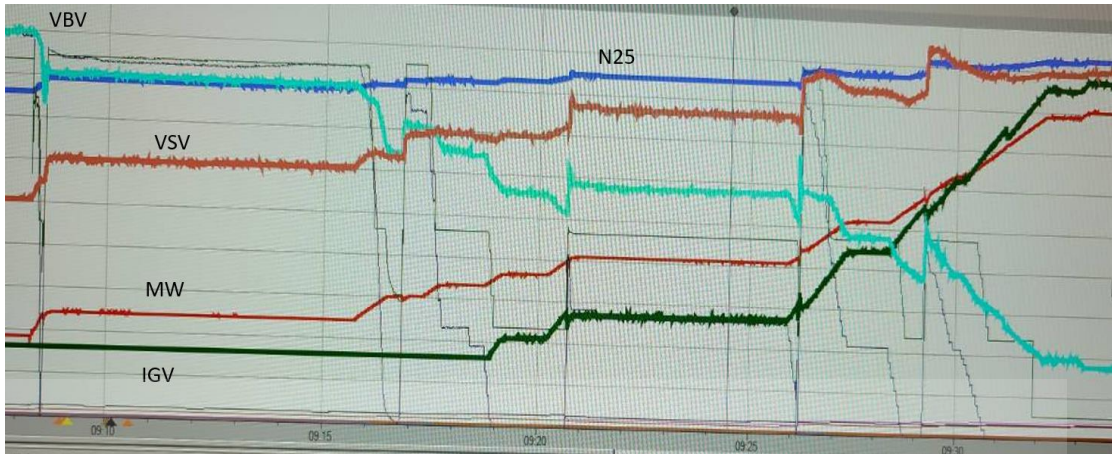
รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของ วีบีวี

วีเอสวี (VSV) ทำหน้าที่เปิดปิดเพื่อ ปรับเปลี่ยนมุมการชน เพื่อเพิ่มลดปริมาณอากาศของ เครื่องอัดอากาศแรงดันสูง (high pressure compressor) เมื่อเครื่องจักรได้รับพลังงานสูงขึ้น การ หมุนของเครื่องอัดอากาศจะสูงขึ้น วีเอสวี (VSV) ทำหน้าที่เปิดเพื่อให้ปริมาณอากาศเข้าสู่เครื่องจักร มากขึ้นเพื่อให้อากาศและเชื้อเพลิงมีปริมาณที่เหมาะสม โดยจะทำงานร่วมกับ วีไอจีวี (VIGV) และ วีบี วี (VBV) ดังรูปที่ 2.15 และ 2.16



รูปที่ 2.15 แสดงการทำงานและความสัมพันธ์ของวีเอสวี (VSV) วีไอจีวี (VIGV) วีบีวี (VBV) และ ความเร็วรอบของเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงการทำงานและความสัมพันธ์ของวีเอสวี (VSV) วีไอจีวี (VIGV) วีบีวี (VBV) ความเร็วรอบของเครื่องจักร กำลังการผลิต

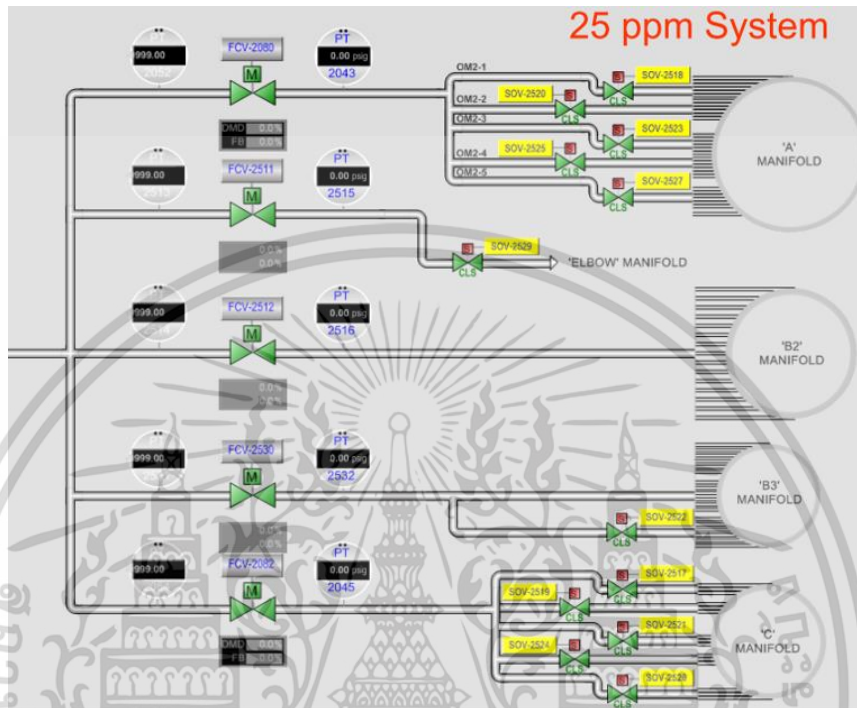
จากรูปที่ 2.16 เมื่อเครื่องจักรมีการเพิ่มกำลังการผลิต (MW) จำเป็นต้องเพิ่มพลังงานในห้องเผาไหม้โดยการเพิ่มปริมาณอากาศและเชื้อเพลิง เครื่อง LM6000เมื่อห้องเผาไหม้ได้รับพลังงานสูงขึ้นส่งผลให้ความเร็วรอบของเพลาคความเร็วสูง (N25) เพิ่มขึ้น กลุ่มวาล์วควบคุมปริมาณอากาศขาเข้าได้แก่ (VSV) วีไอจีวี (VIGV) จะเปิดเพิ่มขึ้นและวาล์วระบายอากาศขาออก ได้แก่ วีบีวี (VBV) จะลดการระบายอากาศทิ้ง เพื่อให้อากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นเป็นการรักษาสมดุลของเชื้อเพลิงและอากาศของเครื่องกังหันก๊าซ

สเตจ 8 บลิต (ST8) ซีดีพีบลิต (CDP) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณอากาศให้เหมาะสมกับการเผาไหม้ของเครื่องจักร เป็นชุดควบคุมอากาศชุดสุดท้าย ทำหน้าที่ระบายอากาศออกจากเครื่องอัดอากาศเมื่อมีปริมาณของอากาศมากเกินไปจนความจำเป็น หรือเกิดความเสี่ยงที่จะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และเกิดไฟดับในห้องเผาไหม้ เมื่ออุณหภูมิและความสมบูรณ์ของเปลวเพลิงในห้องเผาไหม้มีเสถียรภาพเพียงพอวาล์วจะหลิและเปิดลงเพื่อนำลมเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 100%

X(WB27Q (-)) - down	Y(N25SEL (rpm)) - top	Z(XB27DMD (%Stroke))	9000	10000	11000
0	0	0	0	0	0
0.00036	6.6365	6.9446	7.2369	7.5449	7.8616
0.00764	13.6332	13.927	14.2329	14.5438	14.8377
0.02	21.0616	22.0742	23.0974	24.1635	25.2275
0.04	31.3049	34.8145	36.5591	38.2944	40.0553
0.06	42.9747	45.4349	47.9035	50.4134	53.2231
0.08	54.9151	56.789	60.01	63.6089	67.7075
0.09	64.6086	65.2946	69.8424	77.091	85.819
0.1	74.3021	73.8001	79.6747	90.57	103.93
0.13	103.38	99.32	109.17	131.02	158.27

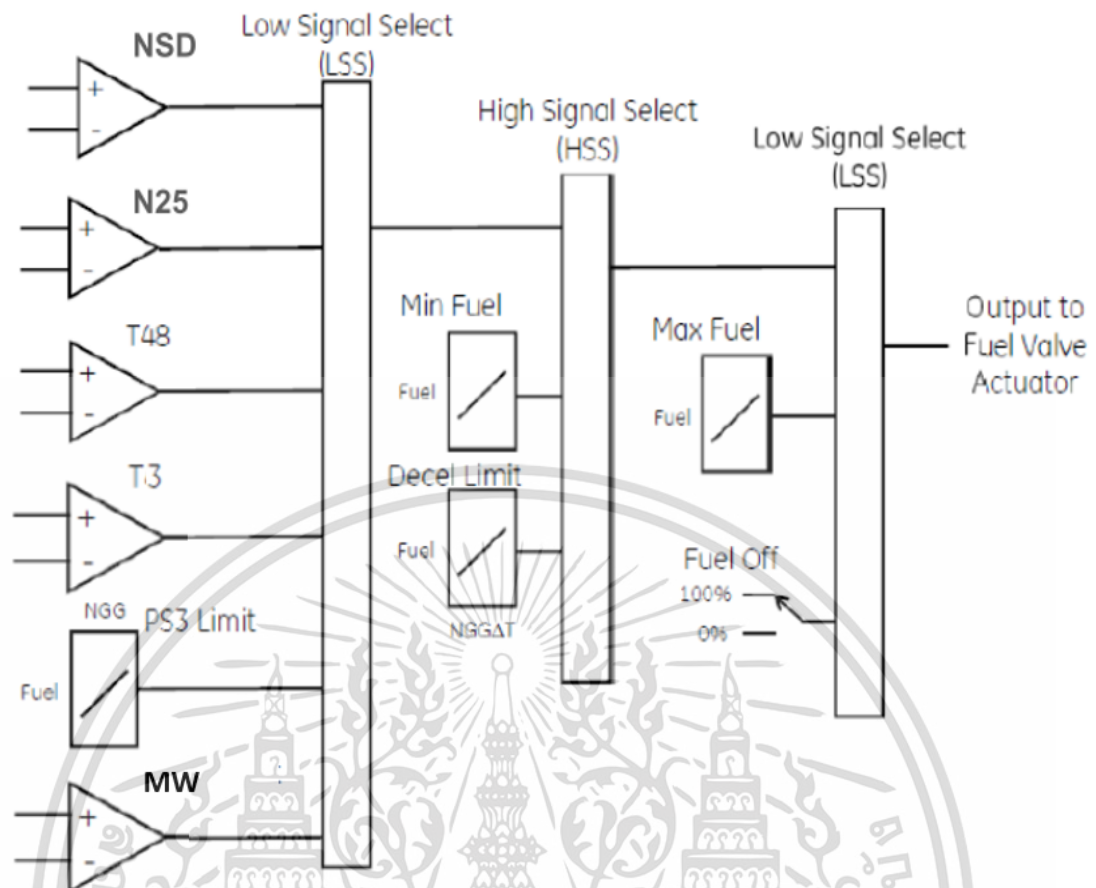
รูปที่ 2.17 แสดงการควบคุมและความสัมพันธ์ของสเตจ 8 บลิต (ST8) ซีดีพีบลิต (CDP) และปริมาณอากาศส่วนเกินของห้องเผาไหม้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วาล์วควบคุมการไหลของก๊าซประดัววาล์วควบคุม 5 ตัวทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพของการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้รวมทั้งควบคุมกลไกการทำงาน การควบคุมความเร็วรอบและควบคุมการเผาไหม้ให้อยู่ในโซนที่ปกติไม่เกินช่วงใช้งานของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ในการผลิต โดยเงื่อนไขการควบคุมเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.18 แสดงการควบคุมการไหลของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงเงื่อนไขการควบคุมการไหลของก๊าซ

จากรูปที่ 2.19 ประกอบด้วยระบบควบคุมดังต่อไปนี้

ระบบควบคุมความเร็วของเพลาแรงดันต่ำ (LP Rotor Speed Control: NSD) ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบของเพลาไม่ให้เกิดเกิน 10% ของ ความเร็วการหมุนที่ 50 Hz จะเข้ามาทำงานในช่วงที่เครื่องจักรต้องการควบคุมความเร็วให้คงที่แม่นยำก่อนทำการขนานเครื่องเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าและคุมการหมุนให้คงที่เพื่อให้ได้กำลังการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มของสนามแม่เหล็กและรักษาความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ 50Hz

ระบบควบคุมความเร็วของเพลาแรงดันสูง (HP Rotor Speed Control: N25) ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบของเพลาไม่ให้เกิดเกิน 10% ของ ความเร็วการหมุนสูงสุดที่ 10800 รอบต่อนาที จะเข้ามาทำงานในช่วงที่เครื่องจักรต้องการควบคุมความเร็วรอบการหมุนให้แม่นยำ รวมถึงควบคุมอัตราเร่งของเครื่องจักรในช่วงเริ่มเดินเครื่องและการไต่ระดับความเร็วไปสู่ความเร็วสูงสุด

ระบบควบคุมอุณหภูมิใบพัดกังหัน (LP Turbine Inlet Temp: T48) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงไม่ให้อุณหภูมิของใบพัดเกินกว่าค่าควบคุมทางการออกแบบด้านวัสดุที่ 950 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมอุณหภูมิเครื่องอัดอากาศขาออก (Compressor Outlet Temp: T3) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงไม่ให้อัดอากาศมีอุณหภูมิอากาศขาออกเกินกว่าค่าควบคุมทางการออกแบบด้านวัสดุที่ 573 C

ระบบควบคุมแรงดันเครื่องอัดอากาศขาออก (Compressor Outlet Pressure: PS3) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงเพื่อรักษาอัตราการเพิ่มและลดแรงดันขาออกของเครื่องอัดอากาศไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วเกินกำหนดและป้องกันการเกิดแรงดันเกินค่าควบคุม

ระบบควบคุมกำลังการผลิต (MW Control) ทำหน้าที่ควบคุมกำลังการผลิตให้เป็นไปตามแผนการเดินเครื่องและการซื้อขายไฟตามสัญญาของโรงไฟฟ้าแต่ละแห่ง โดยจะมีค่าควบคุมที่กำหนดค่ากำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องจักรตามอุณหภูมิอากาศขาเข้าดังรูปที่ 2.20

Hardware	Software	Dynamic Data Recorders	EGD	Modbus Slave
		Table\T_MNRTCJ	-65	55
		Table\T_MWBASJ	-60	55
		Table\T_MWBASLJ	-50	54.77
		Table\T_MWESJ	-40	54.54
		Table\T_MWESLJ	-30	54.31
		Table\T_MWGNJ	-20	54.08
		Table\T_MWLOJ	-10	53.85
		Table\T_MWMDMODJ	0	53.62
		Table\T_MWMODJ	10	53.39
		Table\T_MWPOCJ	20	53.16
		Table\T_MXFFGN	30	52.93
		Table\T_MXRTAJ	40	52.7
		Table\T_MXRTCJ	50	51
		Table\T_N2MDGN	59	49
		Table\T_N2MDLB	70	47
		Table\T_N2OSAJ	80	44.7
		Table\T_N2OSLJ	90	42.1
		Table\T_N2OSPDJ	100	40.1
		Table\T_N2PPGN	110	37.2
		Table\T_N2PGLB	120	33.1
			130	30.9
			140	29.1

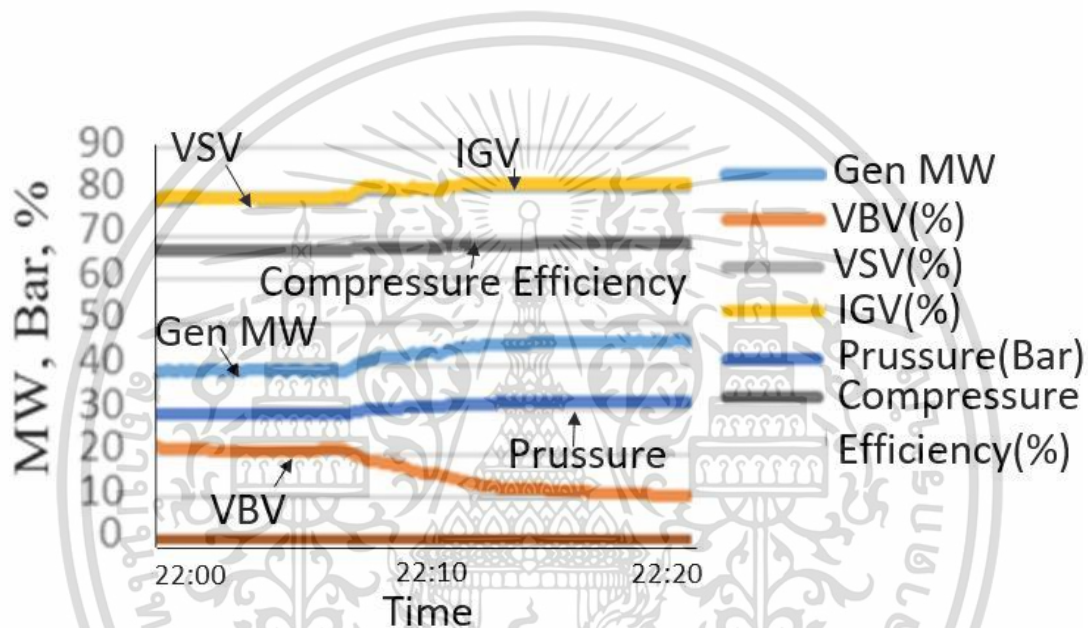
รูปที่ 2.20 แสดงกำหนดค่ากำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องจักรตามอุณหภูมิอากาศขาเข้า

ระบบควบคุมต่างๆจะสลับการทำงานตามความเหมาะสมและเงื่อนไขการเลือกเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด โดยหลักการคือเมื่อระบบใดมีการตรวจพบค่าใช้งานเข้าใกล้หรือมีโอกาสที่จะเกินค่าควบคุมระบบนั้นจะสั่งลดปริมาณเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์และควบคุมเครื่องจักรให้อยู่ในกรอบการเดินเครื่องที่ปลอดภัย โดยช่วงการเริ่มเดินเครื่องและไต่ระดับความเร็วจะใช้การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อการวิจัยและพัฒนา เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเสร็จรับเงินแล้ว กรุณา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบควบคุม N25 และ N25 Accel หลังจาก LP Rotor สามารถทำความเร็วได้เท่ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ 50 Hz ระบบจะเปลี่ยนมาควบคุมความเร็วการหมุนของ LP Rotor หลังจากขนานเครื่องเข้าระบบจะเป็นการควบคุมในโหมด MW Control ตามกำลังการผลิตที่ต้องการและมี T48 T3 และ PS3 เป็นค่าควบคุม หากค่าใดมีการเพิ่มถึงค่าที่กำหนดไว้ระบบควบคุมจะไม่ยอมให้เพิ่มเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันการเดินเครื่องในย่านที่เกินกว่าค่าควบคุม

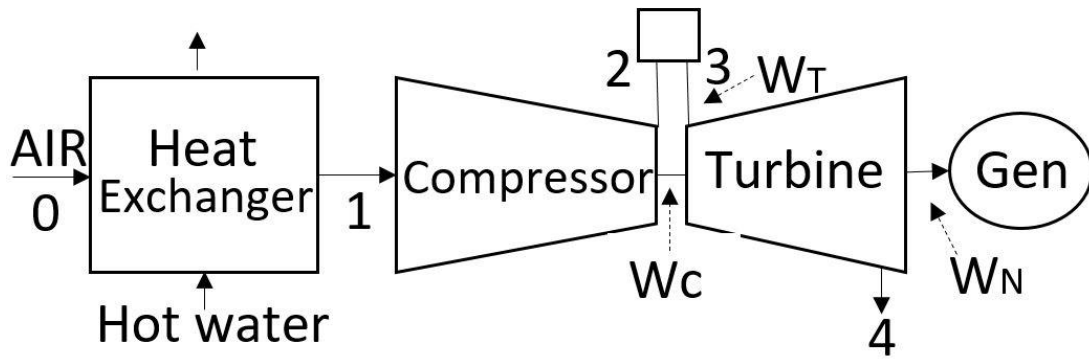
หลังจากระบบควบคุมผ่านการเลือกค่าตามเงื่อนไขค่าต่ำสุด จะถูกกำหนดด้วยเงื่อนไขปริมาณเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในย่านสูงและย่านต่ำ (Min/Max Fuel Limit) เพื่อรักษาเสถียรภาพและอัตราส่วนของเชื้อเพลิงและอากาศให้เหมาะสม



รูปที่ 2.21 แสดงการทำงานของชุดควบคุมปริมาณอากาศและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

ในช่วงที่เครื่องจักรต้องการกำลังการผลิตสูง จะต้องใช้อากาศเป็นจำนวนมากเข้าสู่ห้องเผาไหม้ วีไอจีวี (VIGV) วีเอสวี (VSV) จะเปิดเพิ่มมากขึ้น และ วีบีวี (VBV) จะเปิดน้อยลง สเตจ 8 บลีด (ST8) ซีดีพีบลีด (CDP) จะค่อยๆปิดลงจนสุดเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศ ส่งผลให้ เครื่องอัดอากาศทำงานได้เต็มประสิทธิภาพโดยมีอุณหภูมิอากาศขาออก 567-570 องศาเซลเซียส และมีประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศอยู่ที่ 91% แต่เมื่อเครื่องจักรต้องการลดกำลังการผลิต จะต้องมีการลดปริมาณอากาศสำหรับการเผาไหม้ วีบีวี (VBV) จะเปิดเพิ่มขึ้น สเตจ 8 บลีด (ST8) ซีดีพีบลีด (CDP) กลับมาเปิดอีกครั้ง ซึ่งการเปิดมากขึ้นนั้นถือเป็นการระบายพลังงานอากาศทิ้งสู่บรรยากาศโดยไม่ได้เข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ มีการอัดอากาศด้วยอัตราการทำงานที่ต่ำลง ส่งผลต่อให้ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศต่ำลงที่สภาวะการผลิตต่ำโดยมีอุณหภูมิอากาศขาออก 530-540 องศาเซลเซียส และมีประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศอยู่ที่ 85-88 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงวัฏจักรของเครื่องกังหันก๊าซ

เครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) ทำงานโดยการอัดอากาศจากบรรยากาศ (0) ผ่านระบบกรองอากาศ (01) ผ่านเครื่องอัดอากาศ (Compressor) จะได้อากาศที่มีแรงดันและ อุณหภูมิสูง (02) จากนั้นนำอากาศและเชื้อเพลิงมาทำการเผาไหม้ โดยพลังงานที่ได้ (03) นำไปขับกังหันก๊าซ (Turbine) โดยได้แก๊สร้อนที่เหลือจากการขับกังหันก๊าซ (04) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางความร้อนได้ต่อ จากภาพจะเห็นว่า กังหันก๊าซ (Turbine) นั้นต่ออยู่ในเพลาดียวกับเครื่องอัดอากาศ (Compressor) และมีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) โดยสามารถหางานสุทธิที่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) จะได้รับดังสมการที่ 3. และประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องจักรได้ดังสมการที่ 4.

$$W_N = W_T - W_C \quad (3.)$$

$$\frac{W_n}{W_t} = 1 - \frac{W_c}{W_t} \quad (3.1)$$

$$EFF = 1 - \frac{W_c}{W_t} \quad (4.)$$

W_N คืองานสุทธิที่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) จะได้รับ W_T คืองานสุทธิที่ ที่กังหันก๊าซ (Turbine) ได้รับจากการเผาไหม้ W_C คืองานสุทธิที่ใช้ในการขับเครื่องอัดอากาศ (Compressor) EFF คือประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องจักร จากสมการจะเห็นว่า ถ้าเครื่องอัดอากาศ (Compressor) มีประสิทธิภาพดีจะใช้งานสุทธิในการขับน้อยลงเพื่อให้ได้ปริมาณอากาศเท่าเดิมจึงส่งผลให้ ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องจักรดีขึ้น โดยประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ (Compressor) คำนวณได้จากสมการที่ 5.

$$N = \frac{T_2' - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{(P_2/P_1)^{\frac{Y-1}{Y}} - 1}{\frac{T_2}{T_1} - 1} \quad (5.)$$

โดยที่ T คืออุณหภูมิของอากาศ P คือความดันของอากาศ Y คืออัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศ มีค่า 1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combine Cycle Power Plant)

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า มีการทำงาน 2 ระบบร่วมกัน คือระบบโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine: GT) ที่ผลิตกำลังงานโดยใช้วัฏจักรเบรย์ตัน (Brayton Cycle) และกังหันไอน้ำ (Steam Turbine: ST) ที่ผลิตกำลังงานโดยใช้วัฏจักรแรงคิน (Rankine Cycle) เข้าเป็นระบบเดียวกัน โดยการนำเอาก๊าซร้อนที่ออกจากเครื่องกังหันก๊าซป้อนเข้าสู่หม้อต้มความดันไอน้ำ เพื่อต้มน้ำให้เกิดไอน้ำแล้วนำไอน้ำนั้นไปขับเครื่องกังหันไอน้ำเพื่อให้เกิดการทำงานขึ้น ซึ่งการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะสอดคล้องกับวัฏจักรผสม ดังรูปที่ 2.23 โดยความร้อนที่ออกจากวัฏจักรเบรย์ตันจะใช้ในวัฏจักรแรงคินโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องกำเนิดไอน้ำแบบกู้ความร้อน (Heat Recovery Steam Generator: HRSG)

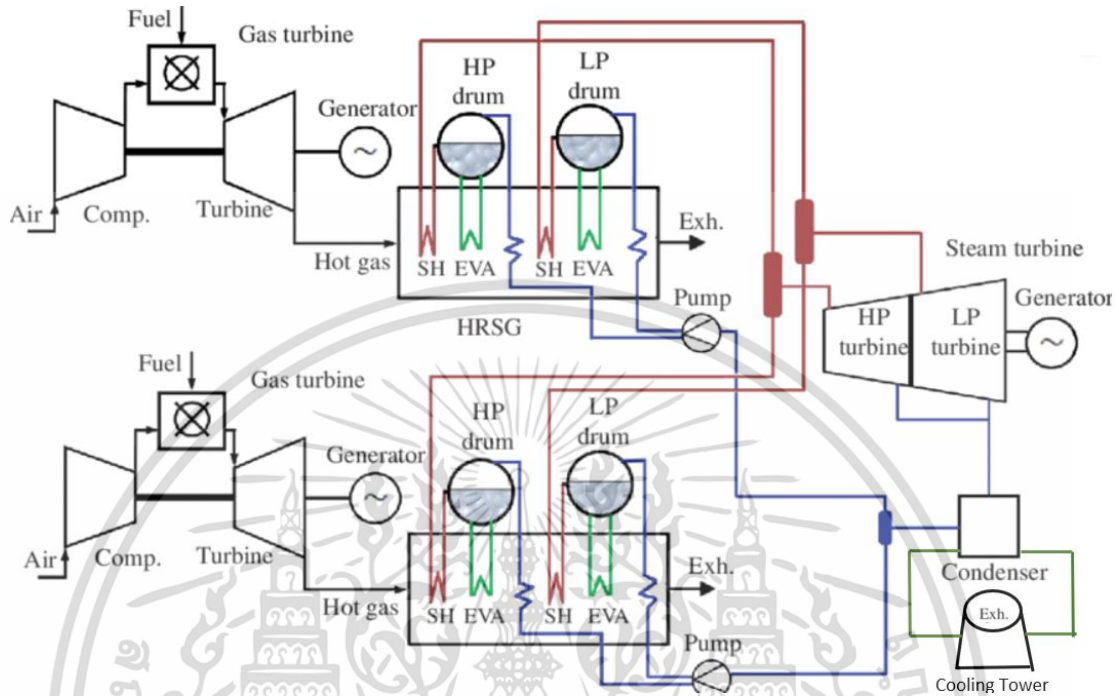
การกำเนิดไฟฟ้าด้วยคอมไบน์ไซเคิล (Combined Cycle) เป็นวิธีที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนได้อย่างมาก ในขณะที่การเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนด้วยการเพิ่มอุณหภูมิและความดันเริ่มเข้าใกล้ขีดจำกัดเข้าไปเรื่อยๆ ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยีข้างต้นจึงแพร่หลายอย่างรวดเร็ว ในฐานะที่เป็นเทคโนโลยีที่สามารถตอบสนองความต้องการของยุคสมัยได้ ปัจจุบันกลายเป็นวิธีหลักในการผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนแล้ว กล่าวคือ ประสิทธิภาพความร้อนของคอมไบน์ไซเคิลนั้นแม้จะใช้ก๊าซเทอร์ไบน์เต็มๆ แบบ Simple open cycle ที่มีอุณหภูมิก๊าซเข้าเทอร์ไบน์ $1,100^{\circ}\text{C}$ ก็ยังมีประสิทธิภาพประมาณ 43% หากใช้ก๊าซเทอร์ไบน์ประสิทธิภาพสูงอุณหภูมิ $1,350^{\circ}\text{C}$ จะมีประสิทธิภาพสูงได้ถึงประมาณ 48% ยิ่งกว่านั้นปัจจุบันกำลังมีการพัฒนาก๊าซเทอร์ไบน์รุ่นใหม่ 1,500°C ซึ่งจะทำให้ไซเคิลมีประสิทธิภาพสูงถึง 53%

นอกจากนี้ปัจจุบัน ยังมีแนวคิดที่จะนำเครื่องจักรเจ็ตสำหรับเครื่องบินมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าอีกด้วย แต่เดิมก๊าซเทอร์ไบน์สำหรับเครื่องบินแต่เดิมเคยนำมาใช้สำหรับรองรับภาระสูงสุดเป็นระยะเวลาสั้น ๆ หรือใช้ในกรณีฉุกเฉิน อย่างไรก็ตาม เครื่องบินซึ่งต้องการแรงขับดันอย่างมากนั้นเป็นเครื่องจักรที่มีอัตราส่วนความดันสูงถึง 30 เท่า และเครื่องจักรเดี่ยวเองก็มีประสิทธิภาพสูงถึง 37-40% ในอนาคตเครื่องจักรเดี่ยวๆ จะมีประสิทธิภาพ 40-44 % ซึ่งเมื่อนำมาใช้ในคอมไบน์ไซเคิลจะทำให้ได้ประสิทธิภาพถึง 50-55% ขึ้นไป จึงมีโครงการที่จะนำมาใช้ และยิ่งไปกว่านั้น ในโรงไฟฟ้าคอมไบน์ไซเคิลประสิทธิภาพสูงเหล่านี้ ยังถูกคาดหวังว่าอนาคตจะไปใช้ร่วมกับโรงไฟฟ้าแบบ Coal gasification กลายเป็นระบบกำเนิดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงและสะอาด

เมื่อมีภาระไม่เต็มพิกัด ปริมาณโอเสียของก๊าซเทอร์ไบน์จะลดลง อัตราความสิ้นเปลืองความร้อนของโรงไฟฟ้าคอมไบน์ไซเคิลจึงลดลงอย่างมาก แต่ถ้าโรงไฟฟ้าประกอบด้วยก๊าซเทอร์ไบน์หลายตัว แล้วใช้วิธีควบคุมจำนวนเครื่องจะมีข้อดีคือสามารถรักษาประสิทธิภาพสูงขณะที่มีภาระไม่เต็มพิกัดได้ ปัจจุบันวิธีกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมไบน์ไซเคิลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ 1. แบบเพลาเดี่ยว ซึ่งก๊าซเทอร์ไบน์จะต่อกับกังหันไอน้ำโดยตรงบนเพลาเดียวกัน แต่นำมาเรียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายๆ ชุด ในการตรวจซ่อมกังหันไอน้ำจะไม่สามารถกำเนิดไฟฟ้าได้ เหมาะสำหรับเดินเครื่องรับ Base load และ 2.แบบหลายเพลลาซึ่งประกอบด้วยก๊าซเทอร์ไบน์หลายตัวกับกังหันไอน้ำ 1 ตัว สามารถตรวจซ่อมแต่ละเพลลาได้โดยไม่ต้องหยุดโรงไฟฟ้า เหมาะสำหรับเดินเครื่องรับโหลดค่ากลางๆ



รูปที่ 2.23 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมแบบวัฏจักรผสม

โรงไฟฟ้าประกอบไปด้วย กังหันก๊าซ 2 เครื่องและเครื่องกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง โดยพลังงานความร้อนจากแก๊สธรรมชาติ ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกังหันก๊าซ จากนั้นความร้อนที่เหลือใช้เป็นพลังงานในการผลิตไอน้ำเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าที่กังหันไอน้ำ โดยมีการสูญเสียความร้อนที่ปล่อยระบายอากาศของหม้อไอน้ำและหอหล่อเย็นที่ใช้สำหรับการควบแน่นไอน้ำจากการผลิตไฟฟ้าเพื่อนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ โดยการเพิ่มอุณหภูมิของไอน้ำจากเครื่องกังหันก๊าซ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตไอน้ำได้มากขึ้น ทำให้กังหันไอน้ำสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึง 1.9% ดังตารางที่ 2.1 [6]. อีกทั้งการเพิ่มอุณหภูมิของไอน้ำก่อนเข้ากังหันไอน้ำ ส่งผลให้เกิดวัฏจักรมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถประหยัดเชื้อเพลิง 8 BTU/kw.hr. [7]

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณไอร้อนจากเครื่องกังหันก๊าซ และพลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำ

[GNS Block 2] ST load considered after IGV Closing		Before IGV Closing	After IGV Closing
Date	dd/mm/yy	19-Nov-16	21-Mar-17
Ambient Dry Bulb Temperature	Deg.C	32.2	32.0
Ambient Relative Humidity	%	54.2	57.4
Barometric Pressure	hPa	1008.2	1010.6
Ambient Wet Bulb Temperature	Deg.C	29.8	29.8
GTs Load (Average)	MW	147.0	147.1
GTs Exhaust Temperature (Average)	Deg.C	599.5	611.8
ST load	MW	199.8	203.5

2.3.1 หน่วยผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine: GT)

อุปกรณ์หลักประกอบด้วยเครื่องกังหันก๊าซและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ทำงานโดยอาศัยก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นตัวขับเคลื่อนใบพัดของเครื่องกังหันก๊าซให้หมุน (Gas Turbine Blade) โดยเนื้อหาส่วนใหญ่ถูกกล่าวถึงในข้อ 2.1 และ 2.2

2.3.2 หน่วยผลิตไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator: HRSG)

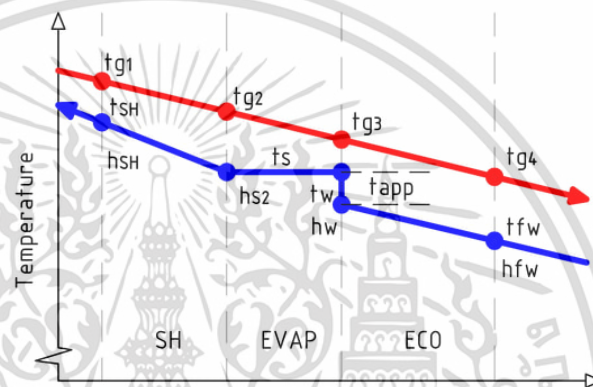
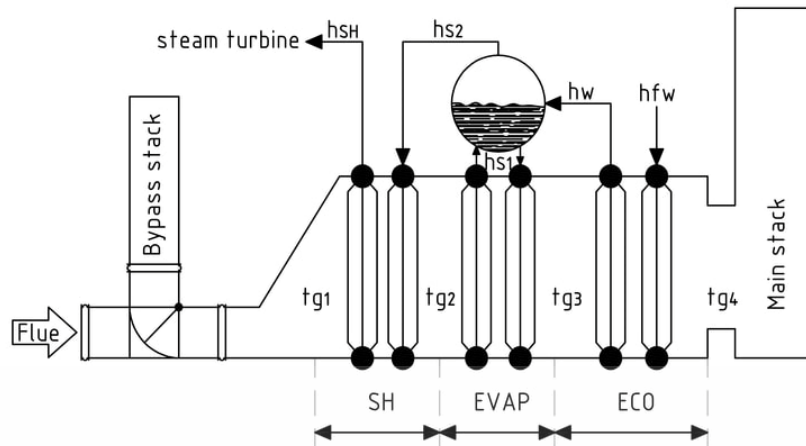
หน่วยผลิตไอน้ำหรือ เครื่องกำเนิดไอน้ำแบบกู้ความร้อนทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำเป็นไอน้ำยิ่งยวดเพื่อส่งผ่านพลังงานเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไอน้ำ โดยใช้ความร้อนจากก๊าซเสียที่ได้จากเครื่องกังหันก๊าซ โดยเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบกู้ความร้อน โครงสร้างประกอบขึ้นจากโครงเหล็กที่แข็งแรงประกอบกันเป็นชุดๆ ลักษณะคล้ายกับแผงแลกเปลี่ยนความร้อนหลายๆชุด ซึ่งเป็นทางผ่านของก๊าซเสียจากเครื่องกังหันก๊าซที่ปล่อยเข้ามาในหม้อต้ม น้ำ และไอน้ำจะไหลเวียนเข้ามารับความร้อนภายในท่อ ภายนอกหม้อน้ำจะเชื่อมปิดหมดเพื่อไม่ให้ก๊าซร้อนรั่วออก ทิศทางการไหลของก๊าซร้อนในหม้อน้ำอาจจะบังคับด้วยพัดลมชนิดดูดหรือเป่า หรือปล่อยให้ไหลตามธรรมชาติลอยขึ้นเบื้องบน แล้วออกทางปล่อง ขึ้นกับการออกแบบอุปกรณ์แต่ละชนิด ประกอบไปด้วย

2.3.2.1 อีโคโนไมเซอร์ (Economizer) มีหน้าที่สำหรับอุ่นน้ำ ก่อนเข้าระบบเพื่อที่จะให้ efficiency ของระบบสูงขึ้นโดยโคโนไมเซอร์ (Economizer) จะประกอบไปด้วย ชุดท่อในระบบที่วางเรียงตัวกัน ถัดจากชุดอีเวปอเรเตอร์ (Evaporator)

2.3.2.2 อีเวปอเรเตอร์ (Evaporator) คือส่วนหลักในการดูดซับความร้อนเพื่อทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำอิ่มตัวที่มีการแยกชั้นใน ตรี้ม

2.3.2.3 ซุปเปอร์ฮีเตอร์ (Superheater) คือส่วนที่มีหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของ ไอน้ำให้กลายเป็นไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดซึ่งเป็นส่วนที่มีพลังงานสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

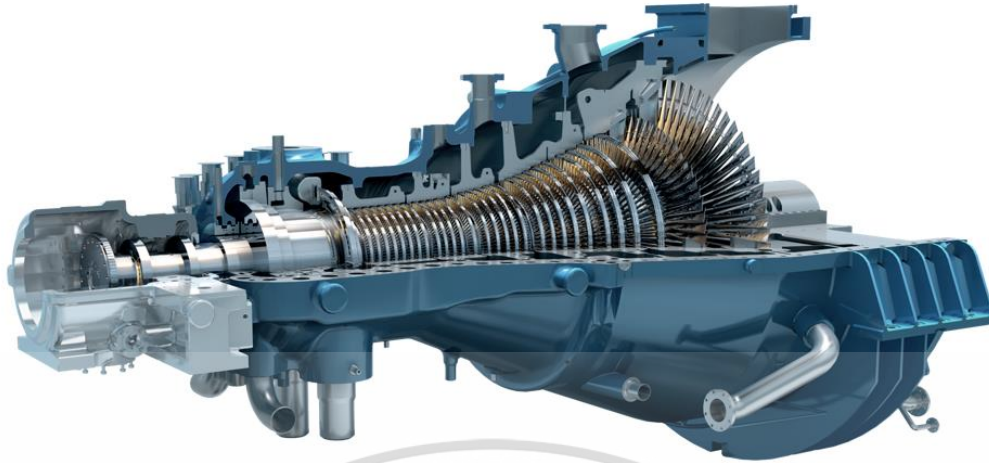


รูปที่ 2.24 เครื่องกำเนิดไอน้ำแบบกึ่งความร้อน

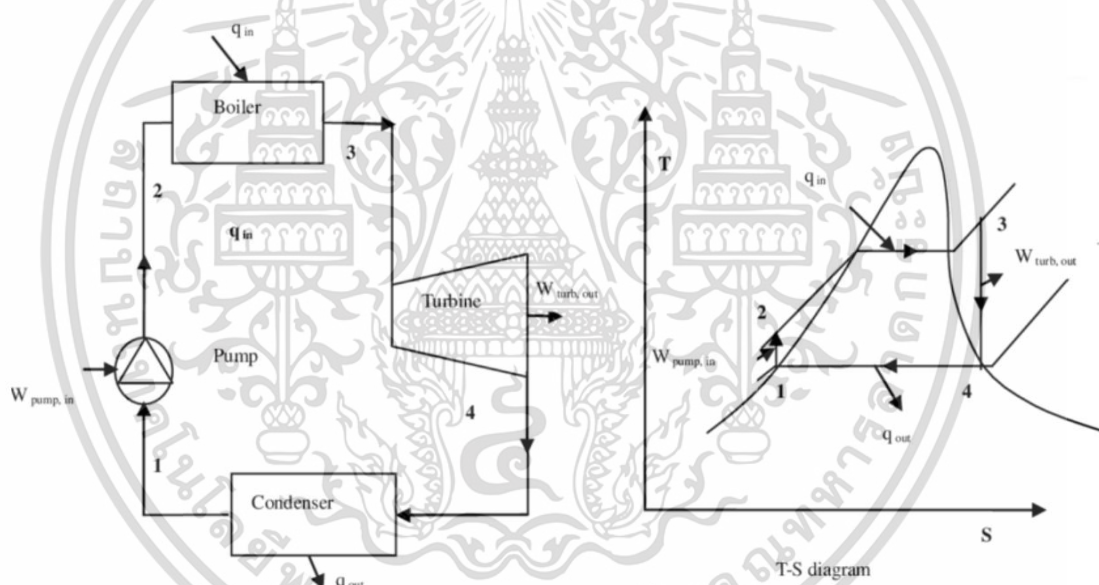
2.3.3 หน่วยผลิตไฟฟ้าเครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)

เครื่องกังหันไอน้ำโดยทั่วไปมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีการหมุน ได้แก่ กรอบนอก (Casing) ซึ่งเป็นเปลือกนอกที่ห่อหุ้มชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องกังหันไอน้ำ และส่วนหมุนเป็นส่วนที่มีการหมุนโดยมีเพลลาเป็นแกนกลางและมีใบพัดหลายชุดยึดติดอยู่บนเพลลา เมื่อไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงฉีดมาปะทะใบพัดก็ผลักดันให้เกิดการหมุน ดังรูปที่ 2.25 เครื่องกังหันไอน้ำจะมีสอง 2 ส่วน คือความดันสูง (HP Turbine) และความดันต่ำ (LP Turbine) ซึ่งสอดคล้องกับการออกแบบวงจรผลิตและการไหลเวียนของไอน้ำที่ผลิตกำลังงานโดยใช้วัฏจักรแรงคิน ดังรูปที่ 2.26 ไอน้ำความดันสูงและความดันต่ำจะไหลเข้ากังหันความดันสูงและกังหันความดันต่ำตามระดับ และรวมกันออกด้านล่างเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) โดยที่ระบบวัฏจักรแรงคินจะกล่าวถึงกระบวนการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำซึ่งการเปลี่ยนแปลงจากน้ำเป็นไอน้ำนั้นจะแปรผันกับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และ ค่าเอนโทรปี ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}^{-1}$) โดยที่ระดับแรงดันไอน้ำที่ได้จะแปรผันตามแผนภาพอุณหภูมิและเอนโทรปี (Temperature-entropy diagram: T-S Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบหลักของเครื่องกังหันไอน้ำ



รูปที่ 2.26 วัฏจักรแรงคินที่ใช้ในการผลิตกำลังงานในโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ

การนำเอาเทคโนโลยีของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและเครื่องกังหันไอน้ำมาทำงานเป็นระบบร่วมกัน โดยการนำไอเสียจากโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ ซึ่งมีความร้อนสูง ประมาณ 500-550 องศาเซลเซียส ไปผ่านหม้อน้ำ (Heat Recovery Steam Generator) และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ ทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอ เพื่อขับกังหันไอน้ำที่ต่อตรงไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป

2.3.4 ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combine Cycle Power Plant Efficiency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานความร้อนร่วม (Combined Cycle Power Plants - CCGT) ถูกออกแบบให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ประสิทธิภาพของพลังงานความร้อนร่วมเป็นปัจจัยที่สำคัญเนื่องจากมีผลต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพของพลังงานความร้อนร่วมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น

ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine Efficiency) ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันก๊าซมีความสำคัญเนื่องจากเป็นขั้นตอนแรกของวงจรพลังงานความร้อนร่วม ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงจะทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากพลังงานของเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอน้ำในการกู้คืนความร้อน (Heat Recovery Steam Generator - HRSG Efficiency) HRSG ทำหน้าที่กู้คืนความร้อนที่เกิดขึ้นจากก๊าซออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันและแปลงเป็นความร้อนในรูปของไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไอน้ำ ประสิทธิภาพของ HRSG ทำให้ความร้อนที่สูญหายน้อยลง

ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไอน้ำ (Steam Turbine Efficiency) ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไอน้ำกำหนดว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแปลงความร้อนจากไอน้ำเป็นการเคลื่อนไหวยังมีประสิทธิภาพขึ้นเพื่อสร้างไฟฟ้าขึ้น

อัตราการความร้อน (Heat Rate) คือปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้งานต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า อัตราการความร้อนที่ต่ำกว่าจะหมายความว่าประสิทธิภาพสูงโดย สภาพการทำงาน of พลังงานความร้อนร่วมมีผลต่อประสิทธิภาพ เช่น อุณหภูมิในสภาพแวดล้อม ความดัน และการต้องการพลังงาน

ประโยชน์ของพลังงานความร้อนร่วมที่มีประสิทธิภาพสูงมากมีหลายอย่าง เช่น การใช้เชื้อเพลิงน้อยลง ประสิทธิภาพสูงแปลว่าต้องใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่าเพื่อผลิตไฟฟ้าในปริมาณเท่ากัน นำไปสู่การประหยัดค่าใช้จ่ายและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคาร์บอนไดออกไซด์ และส่งเสริมให้ใช้พลังงานหมุนเวียนและพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยสรุปประสิทธิภาพของพลังงานความร้อนร่วมเป็นปัจจัยที่สำคัญในอุตสาหกรรมพลังงาน พลังงานความร้อนร่วมส่งผลให้สามารถตอบสนองความต้องการไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมกับลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมให้มีพลังงานที่ยั่งยืนและมีสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้นอีกด้วย

การคำนวณ Heat Rate ของพลังงานความร้อนร่วม (Combined Cycle Power Plant - CCGT) เป็นวิธีในการวัดประสิทธิภาพและแสดงถึงปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้เพื่อผลิตหน่วยงานไฟฟ้าหนึ่ง (โดยทั่วไปจะนับเป็นหน่วย BTU หรือ British Thermal Units) ในพลังงานความร้อนร่วม ค่า Heat Rate ยิ่งต่ำเท่าไร แสดงถึงประสิทธิภาพที่สูงของ CCGT ในการแปลงเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยสูตรในการคำนวณ Heat Rate ของ CCGT คือ

Heat Rate (BTU/kWh) = (ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่นำเข้าไป CCPP เป็นหน่วย BTU) / (พลังงานไฟฟ้าที่นำออกมาทั้งหมดเป็นหน่วย kWh)

ในการคำนวณ Heat Rate กำหนดตัวแปรดังนี้

ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่นำเข้าไป (Total Heat Input - THI): ปริมาณพลังงานความร้อนที่เชื้อเพลิงให้กับ CCPP ทั้งหมด เป็นหน่วย BTU ซึ่งรวมถึงความร้อนที่นำเข้าสู่วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบก๊าซและไอน้ำ

พลังงานไฟฟ้าที่นำออกมาทั้งหมด: ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจาก CCPP ทั้งหมด เป็นหน่วย kWh

ขั้นตอนในการคำนวณ Heat Rate ของ CCPP

ขั้นตอนที่ 1: กำหนดค่าปริมาณความร้อนทั้งหมดที่นำเข้าไป (THI)

สำหรับวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบก๊าซ (Gas Turbine Cycle): คำนวณปริมาณความร้อนที่นำเข้าสู่วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบก๊าซโดยการคูณอัตราการใช้งานเชื้อเพลิงธรรมชาติ (ในหน่วยฟุตละครั้งหรือเทอร์ม) ด้วยค่า Higher Heating Value (HHV) ของเชื้อเพลิงธรรมชาติ (ในหน่วย BTU ต่อฟุตหรือ BTU ต่อเทอร์ม)

สำหรับวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไอน้ำ (Steam Turbine Cycle): คำนวณปริมาณความร้อนที่นำเข้าสู่วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไอน้ำโดยใช้อัตราการใช้งานไอน้ำ (ในหน่วยปอนด์หรือกิโลกรัม) และค่า Higher Heating Value (HHV) ของไอน้ำ (ในหน่วย BTU ต่อปอนด์หรือ BTU ต่อกิโลกรัม)

ขั้นตอนที่ 2: กำหนดค่าพลังงานไฟฟ้าที่นำออกมาทั้งหมด

หากซึ่งข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ CCPP จากบันทึกการผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือระบบติดตาม แล้วคำนวณให้ได้ค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นทั้งหมด (ในหน่วย kWh)

ขั้นตอนที่ 3: คำนวณ Heat Rate

หาราคาปริมาณความร้อนทั้งหมดที่นำเข้าไป (THI) ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ด้วยพลังงานไฟฟ้าที่นำออกมาทั้งหมด (ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2) เพื่อคำนวณ Heat Rate ของ CCPP ซึ่งจะแสดงเป็นหน่วย BTU/kWh

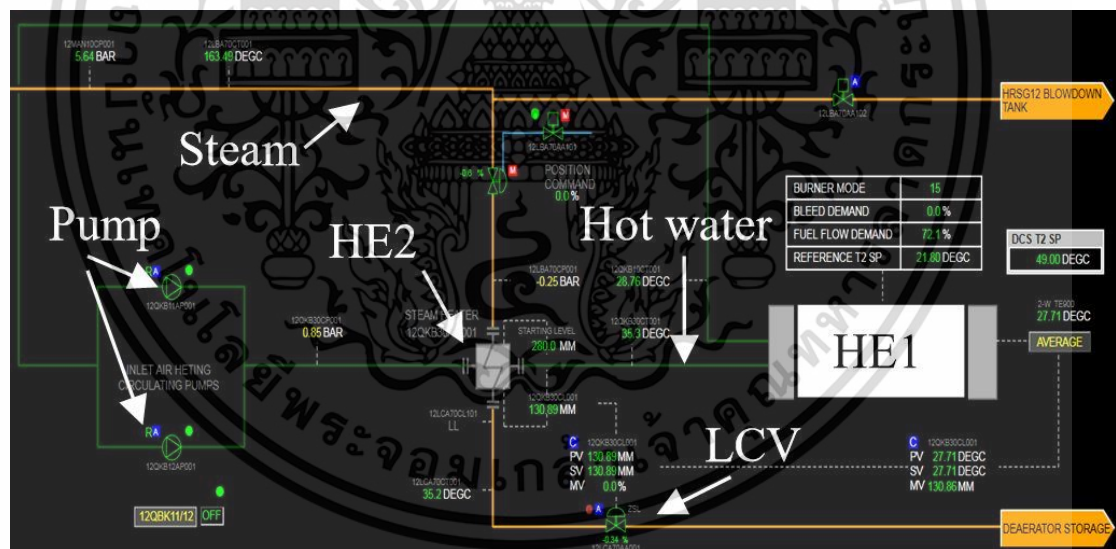
การเฝ้าดูแลตัวชี้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทำให้ Heat Rate เปลี่ยนแปลง เช่น เงื่อนไขการทำงาน การบำรุงรักษา และความต้องการโหลดของ CCPP การลดค่า Heat Rate ของ CCPP เป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพและลดการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อยก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนไดออกไซด์ ผู้ให้บริการโรงงานไฟฟ้าต้องควบคุมตลอดเวลาที่จะปรับพารามิเตอร์การทำงาน และวิธีการบำรุงรักษาเพื่อให้ได้ Heat Rate ที่ต่ำกว่าและเพิ่มประสิทธิภาพของ CCPP โดยรวม

2.4 ระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ (Inlet air heating systems)

ระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ ถูกออกแบบมาใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้า กังหันก๊าซ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรในสภาวะโหลดต่ำ โดยการเพิ่มอุณหภูมิอากาศขา เข้า เพื่อลดการระบายอากาศทิ้งจากเครื่องอัดอากาศ ช่วยเพิ่มอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ และอุณหภูมิ ขาออกจากเครื่องจักร ประกอบไปด้วยแผงแลกเปลี่ยนความร้อน 2 ชุด ได้แก่ แผงแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ(HE1) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศจากน้ำร้อนโดยมีปั๊มเป็นตัวควบคุม อัตราการไหลของน้ำในระบบปิดที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อน และแผงแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำและน้ำ(HE2) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้นด้วยไอน้ำโดยมีวาล์ว(LCV)ควบคุมระดับน้ำในแผง แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลของไอน้ำผ่านและปริมาณความร้อนในระบบ โดยการเปิดวาล์วจะระบายน้ำในแผงและเปลี่ยนความร้อนออก ทำให้พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างแผงและไอน้ำมีมากขึ้น ระบบจะได้ปริมาณความร้อนที่สูงขึ้น ดังภาพที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แสดงระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 แผงแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ (HE1)

แผงแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศเป็นการออกแบบลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนประสานกัน มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 85% ถึง 95% โดยทั่วไปการออกแบบอุณหภูมิของน้ำร้อนจะสูงกว่าค่าเป้าหมายอยู่ไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส เพื่อให้การแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพดี ใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า โดยติดตั้งอยู่ด้านในห้องกรองอากาศก่อนเข้าเครื่องกันหันก๊าซเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและน้ำร้อนซึ่งแสดงแผนภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปที่ 2.28 และแสดงการติดตั้งในรูปที่ 2.29 โดยสามารถคำนวณพลังงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดังนี้

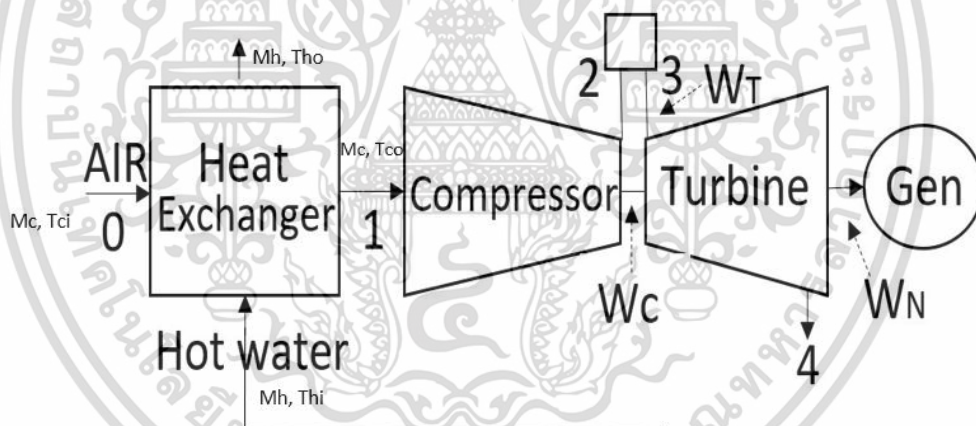
$$q = U A \Delta T_m \quad (6)$$

โดย q คือพลังงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (W)

U คือสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน

A คือพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (M^2)

ΔT_m คือผลต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (K)



รูปที่ 2.28 แสดงแผนภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน HE1

จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกในการนี้ที่ไม่มีการสูญเสียพลังงาน

$$q = (mcp)h(T_{h,i} - T_{h,o}) = (m \& cp)c(T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (7)$$

โดย cp คือสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน (W/K)

m อัตราการไหลของของไหล (kg/s)

A คือพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (M^2)

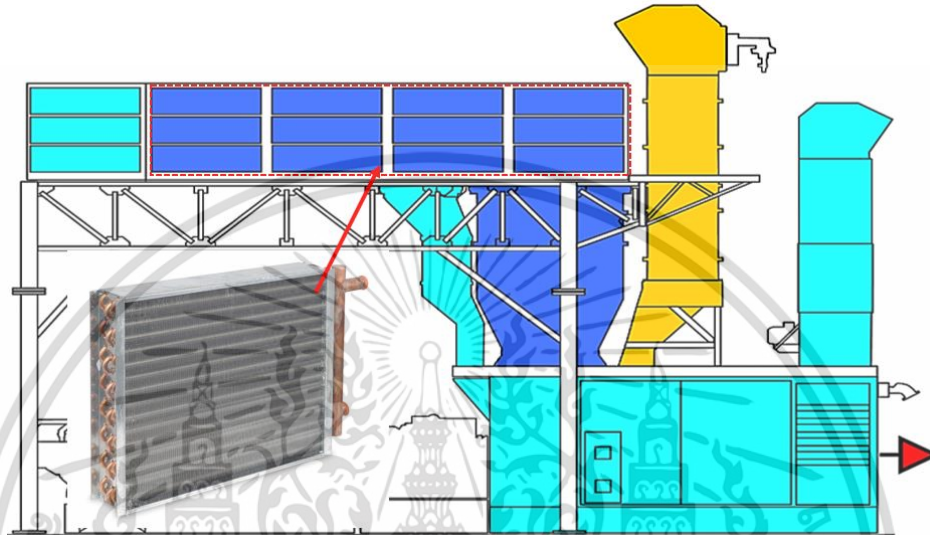
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thi คือผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้า (K)

Tho คือผลอุณหภูมิน้ำร้อนขาออก (K)

Tci คือผลอุณหภูมิอากาศขาเข้า (K)

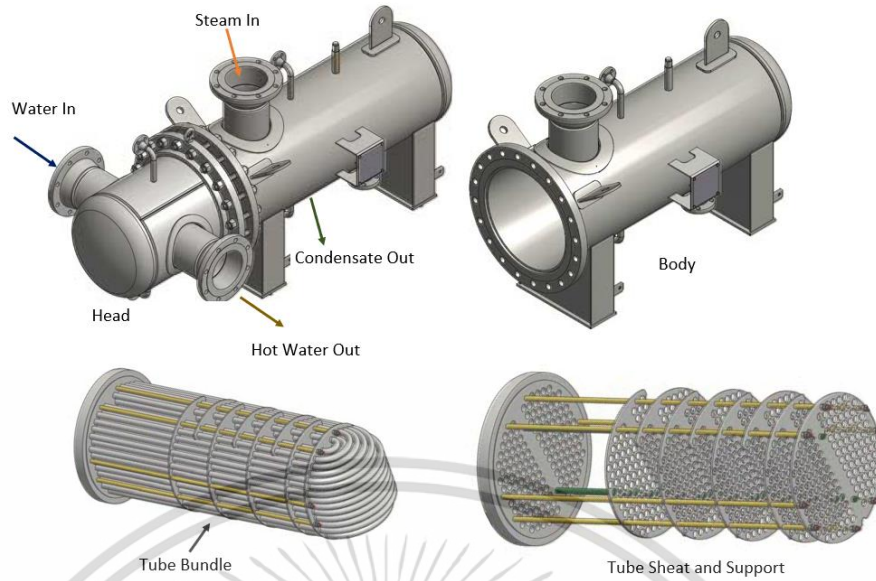
Tco คือผลอุณหภูมิอากาศขาออก (K)



รูปที่ 2.29 แสดงแผงแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ (HE1)

2.4.2 แผงแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำและน้ำ (HE2)

ชุดแผงแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำและน้ำ ลักษณะโครงสร้างเป็นปลอกทรงการบอ ท่อหุ้มท่อขนานเล็ก (Shell and Tube) ได้รับพลังงานความร้อนผ่านไอน้ำเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนโดยไอน้ำจะอยู่ด้านนอกท่อส่วนน้ำที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิอากาศจะวิ่งอยู่ด้านในท่อ โดยมีท่อเล็กๆเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ไอน้ำที่ควบแน่นจะกลั่นตัวกลายเป็นน้ำและถูกระบายออกด้านล่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยมีวาล์วควบคุมระดับน้ำเพื่อคุมพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนของไอน้ำ โดยโครงสร้างของแผงแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำและน้ำ (HE2) แสดงดังรูปที่ 2.30 และข้อมูลการออกแบบและวัสดุแสดงดังรูปที่ 2.31

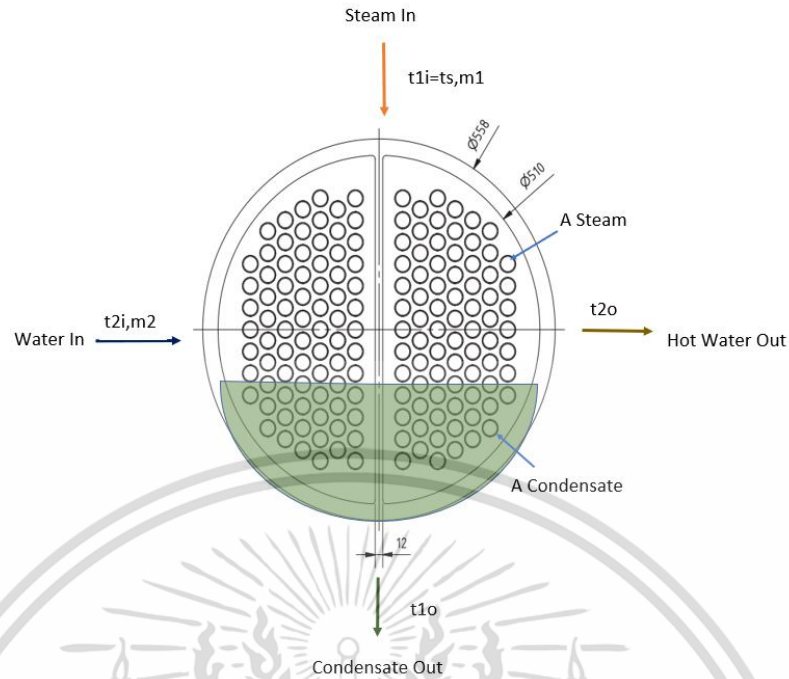


รูปที่ 2.30 แสดงแผนแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำและน้ำ (HE2)

Customer		TEC Project Services Corporation / Gulf MP		Job No.	case 3.	
Project		Gulf MP 12SPP Projects		Reference No.	OF 16/00/0832	
Plant Location		Sahapat Industrial Park, Kabinburi		Date	07.02.2017 Rev as build	
Service of Unit		GT Inlet Air Heating Steam Water Heater		Item No.	11QKB30AC001 / 12QKB30AC001	
Size		508 x 1 200 mm		Type	BEU Horizontal	
Surf/Unit (Gross/Eff)		14.703 / 14.09 m ²		Shell/Unit	1	
				Connected In	1 Parallel 1 Series	
				Quantity	2 heaters per plant	
PERFORMANCE OF ONE UNIT						
Fluid Allocation		Shell Side		Tube Side		
Fluid Name		Steam		Water		
Fluid Quantity, Total		4 500.3		285 584		
Vapor (In/Out)		4 500.3		285 584		
Liquid		4 500.3		285 584		
Steam		4 500.3		285 584		
Water		4 500.3		285 584		
Noncondensables						
Temperature (In/Out)		244.20		54.21 63.00		
Specific Gravity		0.9187		0.9867 0.9823		
Viscosity		0.1870		0.5105 0.4461		
Molecular Weight, Vapor						
Molecular Weight, Noncondensables						
Specific Heat		2.0797		4.1797 4.1832		
Thermal Conductivity		0.0382		0.6452 0.6538		
Latent Heat		2110.3				
Inlet Pressure		490.00		521.33		
Velocity		11.23		2.72		
Pressure Drop, Allow/Calc		4.000		2.963 20.000 19.623		
Fouling Resistance (min)		0.000086		0.000086		
Heat Exchanged		2 917 433 W		MTD (Corrected) 95.8 C		
Transfer Rate, Service		2 160.8 W/m ² -K		Clean 3 811.8 W/m ² -K Actual 2 241.8 W/m ² -K		
CONSTRUCTION OF ONE SHELL				Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)		
		Shell Side		Tube Side		
Design/Test Pressure		828 & F.V. / 12 400		700 & F.V. / 10 500		
Design Temperature		268.00		70.00		
No Passes per Shell		1		2		
Corrosion Allowance		3.000		0.000		
Connections		1 @ DN200		1 @ DN200		
Size & Rating		1 @ DN50		1 @ DN200		
		@		@		
Tube No.		78U		Pitch 32.000 mm		
Tube Type		Plain		Material 316 Stainless steel Tube pattern Triangular 30°		
Shell		Carbon steel		ID 495.40 OD 508.00 mm		

รูปที่ 2.31 แสดงข้อมูลการออกแบบและวัสดุของแผนแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำและน้ำ (HE2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 แสดงผังการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำและน้ำ (HE2)

การแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำและน้ำ (HE2) ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของไอน้ำที่ควบแน่นเพื่อเปลี่ยนแปลงพลังงานและพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนดังนี้

$$\text{SUM } q = q_s + q_c$$

$$q_s = U A_s \Delta T_{ms}$$

$$q_c = U A_c \Delta T_{mc}$$

$$t_{2o} = (\text{SUM } q / (m_2 c_p 20)) + t_{2i} \quad (8)$$

โดย q คือพลังงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด (W)

q_s คือพลังงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำ (W)

q_c คือพลังงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำที่กลั่นตัว (W)

U คือสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน

A คือพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (M^2)

ΔT_m คือผลต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (K)

c_p คือสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนสามร้อน (W/K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m อัตราการไหลของของไหล (kg/s)

s คือไอน้ำ

c คือไอน้ำที่กลั่นตัว

T1i คืออุณหภูมิไอน้ำขาเข้า (K)

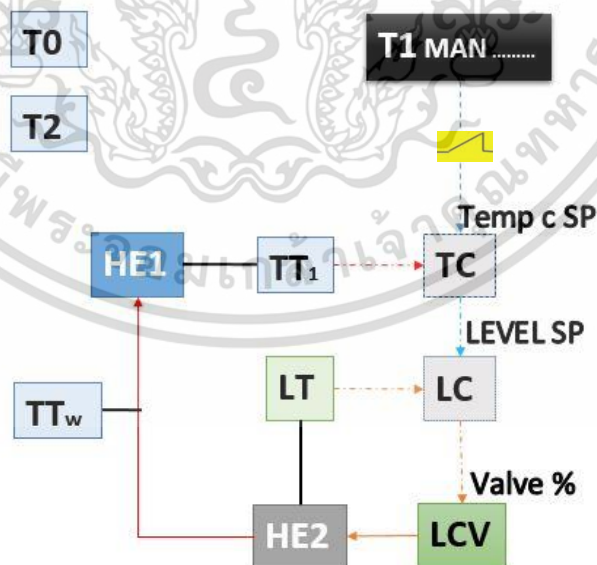
T1o คืออุณหภูมิไอน้ำกลั่นตัวขาออก (K)

T2i คืออุณหภูมิไอน้ำขาเข้า (K)

T2o คืออุณหภูมิไอน้ำขาออก (K)

2.4.3 การควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ

การควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศนั้นทำได้โดยการป้อน อุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซที่ต้องการ (T1MAN) จากนั้นระบบควบคุมอุณหภูมิ(TC)จะทำการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศปัจจุบัน(TT1) เพื่อหาปริมาณความร้อนที่เหมาะสมสำหรับระบบแล้วส่งเป็นค่าระดับน้ำในแผงแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม ให้กับระบบควบคุมระดับน้ำ(LC)ปรับตำแหน่งวาล์วควบคุม(LCV)ให้มีปริมาณความร้อนในระบบที่เหมาะสม โดยเป็นการควบคุมแบบแคสเคด โดยการป้อนค่าอุณหภูมิด้วยผู้ควบคุม ดังภาพที่ 2.33

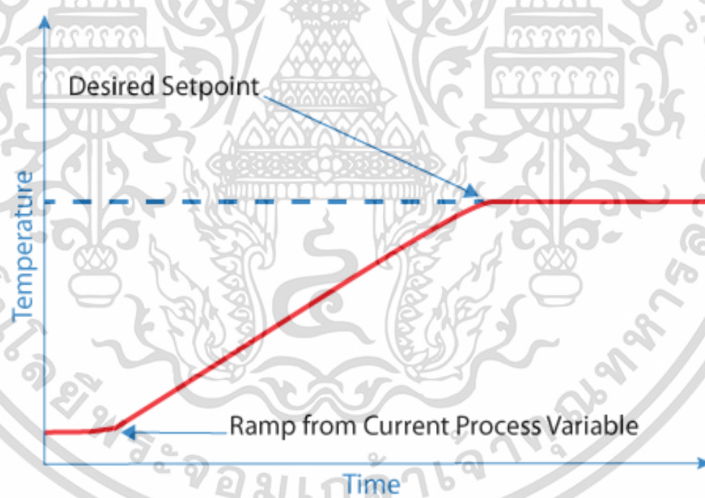


รูปที่ 2.33 แผนภาพระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.1 อุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซที่ต้องการ (T1MAN)

เป็นการควบคุมด้วยผู้ควบคุมแบบคงที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตลอดเวลา ผู้ควบคุมจำเป็นต้องมีการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเครื่องจักรและปรับค่าให้เหมาะสม โดยการเปลี่ยนแปลงค่าควบคุมจะมีการกำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลง (Ramp Rate) เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่เร็วเกินค่าการออกแบบของวัสดุ โดยมีการกำหนดค่าที่ 2 องศาเซลเซียสต่ออนาทีโดยมีกรอบการควบคุมอยู่ที่ 25 ถึง 60 องศาเซลเซียส ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลง (Ramp rate control) เป็นส่วนสำคัญที่มีความสำคัญ หมายถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งค่าอุณหภูมิอย่างช้าๆ ในระหว่างเวลาที่กำหนด จนกว่าอุณหภูมิเป้าหมายที่ต้องการจะถึง การเปลี่ยนแปลงอย่างช้าเหล่านี้ช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่กระทันหันและช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ควบคุมได้แม่นยำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วอาจมีผลกระทบที่ไม่เป็นที่พึงพอใจในบางกรณีแนวคิดของการควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ และแอปพลิเคชันอื่นๆ ที่ต้องการ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่แม่นยำและต้องการควบคุมอย่างแม่นยำ แสดงถึงความสำคัญเกี่ยวกับการควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลง (Ramp rate control) ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 แสดงการควบคุมอุณหภูมิโดยกำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลง

2.4.3.2. ระบบควบคุมอุณหภูมิ(TC)

เป็นการออกแบบโดยใช้ระบบควบคุมสะสม (Cascade Control) สำหรับควบคุมกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องการความแม่นยำ วิธีการนี้มีักถูกนำมาใช้ในการควบคุมระบบที่มีลักษณะความหน่วงสูงและต้องการการปรับปรุงอย่างรวดเร็วในการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งต้น (setpoint) หรือความถี่ (frequency) ที่ต้องการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการควบคุมสะสมทำงานโดยการมีระบบควบคุมย่อย (sub-control loop) ที่ต่อเข้ากับระบบควบคุมหลัก (main control loop) โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้:

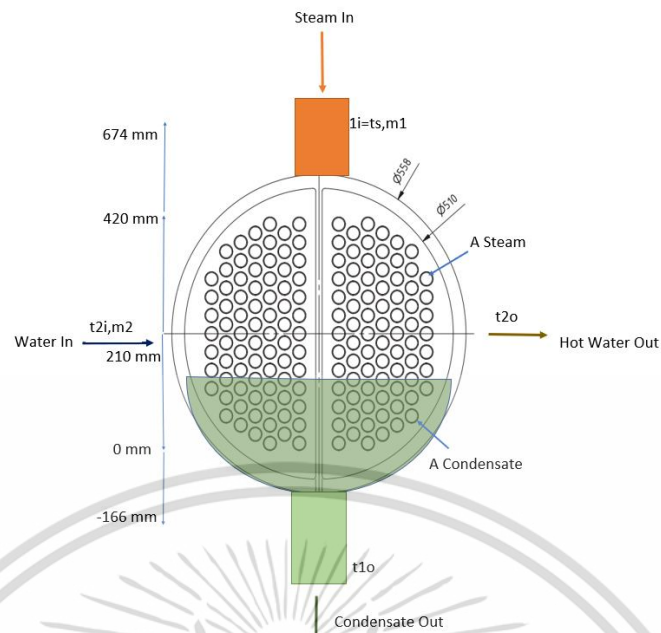
Sub-Control Loop (เส้นควบคุมย่อย) แบ่งประเภทของระบบที่ต้องการควบคุมออกเป็นสองส่วน ส่วนเสริมที่ควบคุมความหนักหน่วงสูงของกระบวนการ และส่วนเสริมที่ควบคุมระบบที่ต้องการให้เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของกระบวนการนั้น สามารถเรียกส่วนที่ควบคุมความหนักหน่วงสูงว่า "เส้นควบคุมย่อยภายใน" (inner loop) และส่วนที่ควบคุมระบบที่ต้องการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วว่า "เส้นควบคุมย่อยภายนอก" (outer loop) ในระบบควบคุมนี้หมายถึง ระบบควบคุมระดับน้ำ (LC)ปรับตำแหน่งวาล์วควบคุม (LCV)

Main Control Loop (เส้นควบคุมหลัก) เส้นควบคุมหลักควบคุมกระบวนการที่ต้องการควบคุมและปรับปรุงค่าของเส้นควบคุมย่อยภายนอก เส้นควบคุมหลักใช้ผลตอบรับจากเส้นควบคุมย่อยภายในเพื่อปรับปรุงและควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามค่าตั้งต้นที่ต้องการ โดยงานวิจัยนี้กล่าวถึงระบบควบคุมอุณหภูมิโดยมีการรับค่าคำสั่งอุณหภูมิเป้าหมายและตรวจวันอุณหภูมิของอากาศ ณ เวลานั้นโดยมีย่านการวัดอยู่ที่ 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส และส่งค่าควบคุมออกเป็นปริมาณระดับน้ำในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมให้กับ Sub-Control Loop (เส้นควบคุมย่อย)คือระบบควบคุมระดับน้ำ (LC)ปรับตำแหน่งวาล์วควบคุม (LCV)

การส่งสัญญาณควบคุมจากเส้นควบคุมหลักจะถูกส่งไปยังเส้นควบคุมย่อยภายนอก เส้นควบคุมย่อยภายนอกจะปรับปรุงค่าตั้งต้น (setpoint) ของเส้นควบคุมย่อยภายใน ซึ่งจะทำให้เส้นควบคุมย่อยภายในสามารถปรับปรุงและควบคุมกระบวนการให้สอดคล้องกับค่าตั้งต้นที่ต้องการ

2.4.3.3 ระบบควบคุมระดับน้ำ (LC)

เป็นระบบควบคุมย่อยที่ทำหน้าที่ส่งเสริมระบบควบคุมหลักใช้หลักการควบคุมโหมตปิด (Closed-Loop Control) เป็นเทคนิคของระบบควบคุมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการควบคุม โดยจะมีการวัดผลลัพธ์ของระบบและเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าที่ต้องการ (Setpoint) หลังจากนั้นระบบควบคุมจะใช้สัญญาณข้อผิดพลาดนี้ในการปรับการควบคุมเพื่อให้ผลลัพธ์ของระบบเข้าใกล้ค่าที่ต้องการมากขึ้น กระบวนการวัดผลลัพธ์ ตัวเปรียบเทียบ และปรับค่าควบคุมนี้สร้างลูปรีเทิร์นแบบต่อเนื่อง (Feedback Loop) ในเนื้อหาของงานวิจัยนี้คือระดับน้ำของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังรูปที่ 2.35 โดยมีย่านการวัดอยู่ที่ -166 ถึง 674 มิลลิเมตร โดยจะควบคุมไม่ให้ระดับน้ำต่ำกว่า 0 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันความร้อนเกินและระดับน้ำต้องไม่สูงเกินกว่า 450 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันความเสียหายที่ท่อส่งไอน้ำ



รูปที่ 2.35 แสดงย่านการวัดและควบคุมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ในการควบคุมโหมดปิด ตัวควบคุมจะตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบอย่างต่อเนื่องและทำการแก้ไขในเวลาที่เกิดขึ้น จึงทำให้ระบบสามารถปรับรูปร่างความแม่นยำของการควบคุมให้เป็นไปตามค่าที่ต้องการได้ ระบบนี้ได้รับการนำไปใช้ในหลากหลายแวดวง เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมความเร็ว การควบคุมระดับ และกระบวนการอุตสาหกรรมอื่นๆ

ควบคุมโหมดปิดใช้ตัวควบคุมระบบคำนวณชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการอัตโนมัติและระบบควบคุมอุตสาหกรรม ชื่อ "PID" มาจากคำว่า Proportional-Integral-Derivative ซึ่งแทนแต่ละส่วนของตัวควบคุม ตัวควบคุม PID คำนวณการกระทำควบคุมโดยใช้สัญญาณข้อผิดพลาด ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างค่าอ้างอิงและค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) และปรับการกระทำควบคุมในรูปแบบสัดส่วน อินทิกรัล และดิเรวาทีฟ เพื่อควบคุมระบบ

อัตราส่วน (Proportional, P): ส่วนอัตราส่วนจะสร้างสัญญาณผลลัพธ์ที่สัมพันธ์ตรงกับสัญญาณข้อผิดพลาด หมายความว่า ค่าข้อผิดพลาดมีค่ามากขึ้น การกระทำที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มข้นมากขึ้น อัตราส่วนช่วยลดความผิดพลาดในสถานะที่มีความคงที่และนำระบบใกล้เข้าหาค่าที่ต้องการ

อินทิกรัล (Integral, I): ส่วนอินทิกรัลนำเอาผลรวมของความผิดพลาดในอดีตในช่วงเวลา มาปรับปรุงการกระทำควบคุม ช่วยลดความผิดพลาดในสถานะคงที่ในระยะยาว อินทิกรัลมีประโยชน์ในระบบที่มีความรบกวนหรือมีผลข้างเคียงคงที่

ดิเรวาทีฟ (Derivative, D): ส่วนดิเรวาทีฟให้ค่านิ่งถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด ช่วยในการคาดการณ์ความผิดพลาดในอนาคตโดยการวิเคราะห์ความเร็วของความผิดพลาด

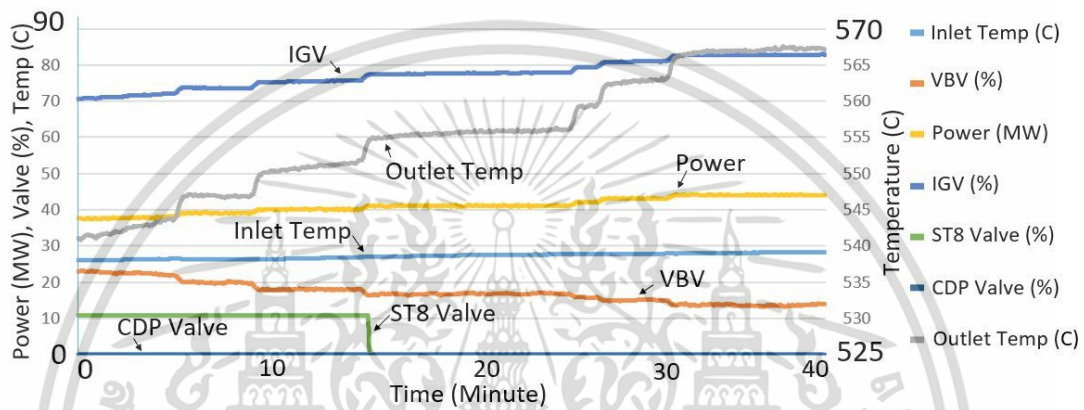
ส่วนควบคุมดิเรวาทีฟช่วยลดการเกิดการเกินและการสั่นของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

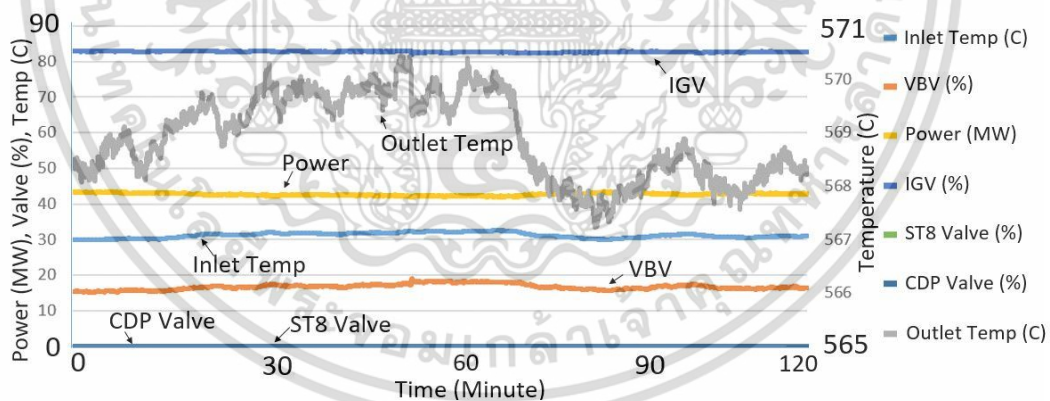
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.4 การใช้งานและข้อจำกัดของระบบควบคุม

ระบบควบคุมถูกออกแบบให้ป้อนค่าด้วยผู้ควบคุม ระบบสามารถคุมอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซให้อยู่ในช่วงควบคุมได้ แต่อุณหภูมิขาออกของเครื่องอัดอากาศจะเปลี่ยนแปลงเมื่อเครื่องมีการเพิ่มลดกำลังการผลิต หรืออุณหภูมิของอากาศมีการเปลี่ยนแปลง ไม่สามารถติดเครื่องให้เกิดประสิทธิภาพ ณ จุดอุณหภูมิขาออกของเครื่องอัดอากาศสูงสุดได้ ดังภาพที่ 2.36 อีกทั้งในช่วงเริ่มต้นระบบยังใช้เวลานาน เนื่องจากผู้ควบคุมต้องเพิ่มอุณหภูมิอย่างระมัดระวังดังภาพที่ 2.37



รูปที่ 2.36 แสดงการเริ่มต้นระบบควบคุมโดยการป้อนค่าด้วยผู้ควบคุม

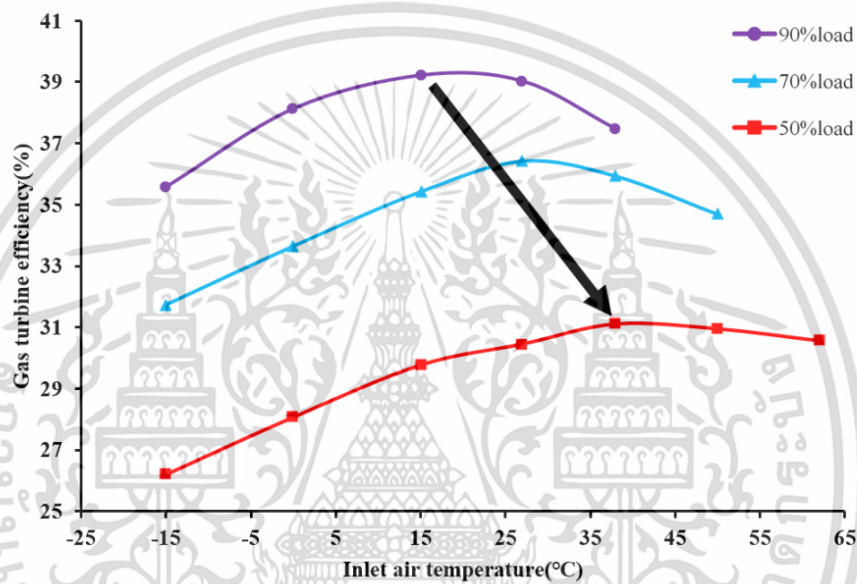


รูปที่ 2.37 แสดงการควบคุมโดยการป้อนค่าด้วยผู้ควบคุม

มีการนำเสนอเทคโนโลยีการทำความร้อนแบบใหม่เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการทำความร้อนอากาศเข้าห้องเผาไหม้ต่อประสิทธิภาพของกังหันก๊าซในสถานะที่ทำงานที่ไม่เต็มพิกัด โดยเทคโนโลยีนี้ใช้ความร้อนที่เป็นของเสียจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ เช่น ความร้อนจากไอน้ำ โดยใช้โมเดลการคำนวณของจุดทำงานสมดุลสำหรับภาระงานที่กำหนดและเส้นโค้งลักษณะของเครื่องบีบอัดอากาศและเครื่องเปลี่ยนพลังงานเพื่อศึกษาผลกระทบของเทคโนโลยีการทำความร้อนอากาศเข้าห้องเผาไหม้ จากนั้นจึงคำนวณและวาดเส้นทางการทำงานสมดุลสำหรับเครื่องบีบอัดอากาศและเครื่องเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานบนเส้นโค้งลักษณะ ผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกังหันก๊าซจะถูกพิจารณาโดยใช้เส้นทางการทำงานสมมูลที่คำนวณได้ ผลลัพธ์แสดงว่าการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศเข้าห้องเผามีศักยภาพมากในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกังหันก๊าซ นี้เกิดจากการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องบีบอัดอากาศ ผลลัพธ์นี้แตกต่างจากมุมมองที่เป็นที่รับรู้ในทางเดิม ในเวลาเดียวกัน แต่ละภาระงานจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำความร้อนเฉพาะ เมื่อภาระงานลดลง อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำความร้อนจะสูงขึ้นดังภาพที่ 2.38 [10]

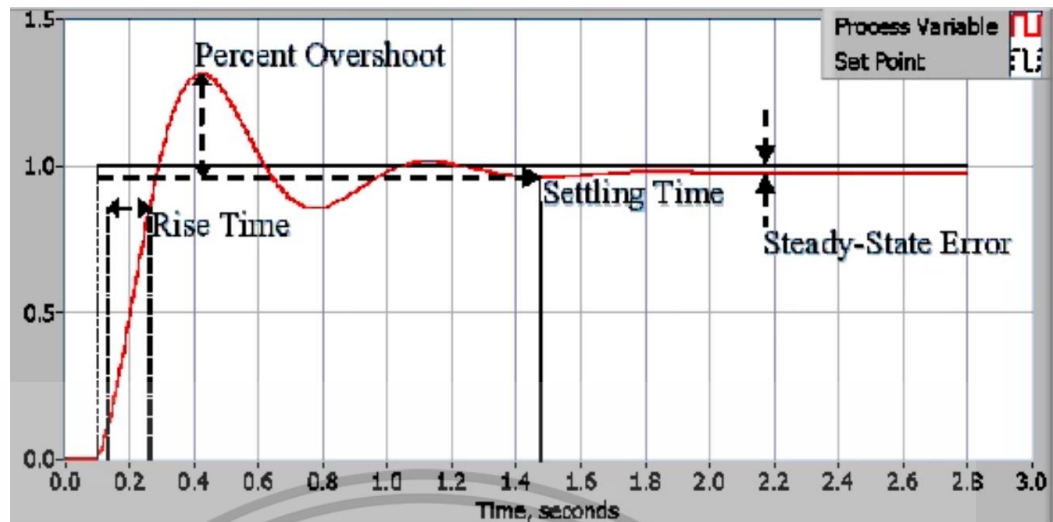


รูปที่ 2.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเครื่องกังหันก๊าซและอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง

2.5 การทดสอบระบบควบคุม

การออกแบบและการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพต้องมีความเข้าใจชัดเจนเกี่ยวกับความต้องการทางประสิทธิภาพ งานวิจัยมุ่งเน้นการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญที่สี่ของระบบควบคุม ได้แก่ Rise Time (เวลาขึ้น), Percent Overshoot (ร้อยละของการเกินค่า), Settling Time (เวลาการนิ่ง), และ Steady-State Error (ความคลาดเคลื่อนในสถานะคงที่) ดังรูปที่ 2.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 แสดงการตอบสนองของระบบควบคุม

2.5.1 Rise Time (เวลาขึ้น): เป็นระยะเวลาที่ระบบใช้ในการเปลี่ยนจากค่าเริ่มต้น 10% ไปยัง 90% ของค่าสถานะนิ่ง (ค่าสุดท้าย) ในการตอบสนองต่อสัญญาณขั้นก้าวกระโดด (step input)

2.5.2 Percent Overshoot (พิเศษเปอร์เซ็นต์ต์): เป็นค่าความต่างสูงสุดของตัวแปรกระบวนการ (process variable) จากค่าสถานะนิ่ง ที่แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ต์ของค่าสถานะนิ่ง

2.5.3 Settling Time (เวลาที่คงที่): เป็นเวลาที่ต้องใช้ในการถึงและคงอยู่ในระยะเวลาที่กำหนด (โดยทั่วไปใช้เป็นร้อยละ 5%) ของค่าสถานะนิ่งหลังจากที่มีการใช้สัญญาณขั้นก้าวกระโดด (step input)

2.5.4 Steady-State Error (ค่าความผิดพลาดในสถานะนิ่ง) เป็นค่าต่างสุดท้ายระหว่างตัวแปรกระบวนการและตัวกำหนดที่ต้องการเมื่อระบบได้เข้าสู่สถานะนิ่งหลังจากที่เครื่องมือหรือระบบได้รับการปรับปรุง

2.5 การออกแบบโดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมของตัวควบคุมและอัลกอริทึมรังผึ้งเทียม (Optimization-based Algorithm Bee Colony)

อัลกอริทึมการคำนวณตัวแก้ปัญหาแบบ Bee Colony (BCA) หรือที่เรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า อัลกอริทึม Artificial Bee Colony (ABC) เป็นอัลกอริทึมที่ถูกแรงบันดาลใจจากพฤติกรรมกรหาอาหารของผึ้ง ในธรรมชาติผึ้งนำการตัดสินใจร่วมกันเพื่อหาแหล่งอาหารที่ดีที่สุด อย่างเช่นกัน BCA จำลองพฤติกรรมนี้เพื่อแก้ปัญหาการค้นหาค่าที่เหมาะสม BCA ประกอบด้วยผึ้งประเภทหลักที่สามารถประเภท ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผึ้งทำงาน (Employed Bees): แทนด้วยแนวทางแก้ปัญหา แต่ละผึ้งทำงานกำลังค้นหาคำตอบใหม่ในบริบทของตำแหน่งปัจจุบัน
2. ผึ้งมอง (Onlooker Bees): ผึ้งมองเข้าสังเกตการณ์ผึ้งทำงานและเลือกคัดลอกคำตอบของผึ้งทำงานบางตัวโดยพิจารณาคุณภาพของคำตอบ คำตอบที่ดีกว่าจะมีโอกาสถูกเลือกมากขึ้น
3. ผึ้งตวาด (Scout Bees): ผึ้งตวาดรับผิดชอบในการสำรวจคำตอบใหม่ๆ โดยทิ้งคำตอบปัจจุบันและค้นหาคำตอบที่สุ่มในพื้นที่ที่ยังไม่เคยค้นหา

อัลกอริทึม BCA ทำการค้นหาในลำดับของกระบวนการสำรวจและการนำไปใช้ ในช่วงการสำรวจ ผึ้งทำงานและผึ้งตวาดค้นหาคำตอบใหม่ ในขณะที่ในช่วงการนำไปใช้ ผึ้งมองเลือกคำตอบที่ดีที่สุดตามค่าความเหมาะสมของคำตอบ การปรับปรุงปัญหาให้ดีขึ้นโดยใช้อัลกอริทึม Artificial Bee Colony (ABC) สามารถปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดปัญหา กำหนดปัญหาการค้นหาที่ต้องการปรับปรุงอย่างชัดเจน รวมถึงฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการปรับปรุงและข้อจำกัดที่ต้องปฏิบัติ
2. เตรียมผึ้ง สร้างกลุ่มผึ้งแทนคำตอบที่เป็นไปได้ของปัญหา ทำการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของผึ้งทำงานไว้ในพื้นที่ค้นหาทั้งหมด
3. ประเมินความเหมาะสม คำนวณความเหมาะสมของแต่ละผึ้งทำงานด้วยการประเมินฟังก์ชันเป้าหมายที่ตรงกับตำแหน่งของพวกเขา
4. ช่วงการทำงานของผึ้งทำงาน ในช่วงการทำงานนี้ ผึ้งทำงานจะค้นหาพื้นที่ค้นหาใหม่ๆ โดยการปรับตำแหน่งของพวกเขาโดยพิจารณาตำแหน่งของคำตอบใกล้เคียง
5. ช่วงการทำงานของผึ้งมอง ผึ้งมองจะเลือกคำตอบจากผึ้งทำงานตามความเหมาะสม คำตอบที่มีความเหมาะสมมากขึ้นจะมีโอกาสถูกเลือกมากขึ้น ผึ้งมองยังสามารถค้นหาพื้นที่ค้นหาใหม่ๆ
6. ช่วงการทำงานของผึ้งตวาด ผึ้งตวาดรับผิดชอบในการค้นหาคำตอบใหม่ๆ ในพื้นที่ที่ยังไม่เคยค้นหา ถ้าคำตอบไม่ได้มีความคืบหน้าเป็นเวลาหนึ่ง ผึ้งตวาดจะแทนคำตอบดังกล่าวด้วยคำตอบใหม่ที่สุ่ม
7. อัปเดตคำตอบที่ดีที่สุด จดบันทึกคำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นพบจนถึงตอนนี้ หากคำตอบใหม่ที่มีความเหมาะสมมากขึ้นถูกค้นพบ อัปเดตคำตอบที่ดีที่สุดตามนั้น
8. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 7 ทำการทำซ้ำในลำดับของการประมวลผลตามจำนวนรอบที่กำหนดหรือจนกว่าจะเกิดเงื่อนไขการหยุดตามที่กำหนด
9. การสิ้นสุด กระบวนการปรับปรุงจบลงเมื่อเกิดเงื่อนไขการหยุดตามที่กำหนด เช่น ครบจำนวนรอบสูงสุดหรือได้รับคำตอบที่น่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ผลลัพธ์ คำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นพบถูกพิจารณาเป็นคำตอบที่เหมาะสมของปัญหา คินค่า คำตอบที่ดีที่สุดพร้อมกับค่าความเหมาะสมของมัน

ในการปรับปรุงปัญหาด้วยอัลกอริทึม Artificial Bee Colony (ABC) สามารถทดลองดูผลลัพธ์ด้วยการปรับปรุงพารามิเตอร์ การใช้การค้นหาในพื้นที่ใกล้เคียง (Local Search) การควบคุมแบบไดนามิกและการปรับแต่งที่เกี่ยวข้องกับปัญหาเฉพาะทาง ควรให้ความสำคัญในการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและปรับแต่งอัลกอริทึมให้เหมาะกับลักษณะของปัญหาที่ต้องการแก้ เพื่อให้บรรลุผลลัพธ์ที่มีคุณภาพสูงและสามารถสำรวจพื้นที่ค้นหาในลักษณะที่เป็นใกล้ถึงคำตอบที่เหมาะสม

อัลกอริทึมการคำนวณตัวแก้ปัญหาแบบ Bee Colony (BCA) เป็นเครื่องมือการค้นหาคำตอบที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพ โดยการนำเอาความเคลื่อนไหวของผึ้งในการหาอาหารในธรรมชาติ เพื่อสมมติการค้นหาที่เป็นปัญหาความสามารถในการหลบหนีพื้นที่ ที่มีค่าและค้นหาพื้นที่ใหม่ของอัลกอริทึมเป็นหนึ่งในความแข็งแกร่งที่สำคัญของ BCA โดยใช้ผึ้งที่มีหน้าที่แตกต่างกันอย่างมีเหมือนมีเสมอ ทำให้อัลกอริทึมคงความสมดุลระหว่างการขยายสิ่งที่ใกล้ตัว (Exploitation) และการสำรวจสิ่งใหม่ (Exploration) ที่ช่วยให้มีโอกาสค้นหาคำตอบที่มีคุณภาพสูงอย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของ BCA ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าพารามิเตอร์และลักษณะของปัญหาที่ต้องการแก้ การปรับความเหมาะสมของพารามิเตอร์และการเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะกับการแก้ปัญหาเป็นสิ่งสำคัญ อย่างนอกเหนือจากนี้ BCA อาจต้องใช้จำนวนการทำซ้ำที่มาก

ในตัวอย่างนี้เราจะพิจารณาถึงการควบคุมอุณหภูมิที่ซับซ้อนของเครื่องจักรไอเสียโดยใช้ อัลกอริทึม Artificial Bee Colony (ABC)

รายละเอียดปัญหา

ในเครื่องจักรไอเสีย การรักษาอุณหภูมิภายในในช่วงที่กำหนดเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้การทำงานปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในการทำงาน ระบบควบคุมอุณหภูมิต้องปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและการรับอากาศ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเครื่องจักรและคงอยู่ในช่วงเป้าหมายที่กำหนดไว้

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของระบบควบคุมอุณหภูมิคือควบคุมอุณหภูมิของเครื่องจักรให้อยู่ในช่วงเป้าหมายที่กำหนดไว้ พร้อมกับลดความเคลื่อนไหวและรักษาการทำงานอยู่ในสภาพที่เสถียร

พารามิเตอร์ของการควบคุม

อัตราการไหลของเชื้อเพลิง อัตราการฉีดเชื้อเพลิงลงในห้องเผา การรับอากาศ ปริมาณอากาศที่เครื่องจักรรับเข้ามา

การปรับปรุงด้วย ABC:

1. เตรียมตัวเลือก: สร้างกลุ่มฝั่งทำงานที่มีคำตอบต่างๆ ที่เป็นไปได้ของพารามิเตอร์ต่างๆ โดยอยู่ภายในขอบเขตของพารามิเตอร์ที่กำหนด
2. การประเมินความเหมาะสม: คำนวณความเหมาะสมของแต่ละคำตอบของฝั่งทำงานโดยจำลองประสิทธิภาพของเครื่องจักรด้วยการตั้งค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและการรับอากาศ ความเหมาะสมสามารถกำหนดจากความใกล้เคียงของอุณหภูมิของเครื่องจักรกับช่วงเป้าหมายที่กำหนดไว้ พร้อมกับการรักษาความเสถียร
3. ช่วงการทำงานของฝั่งทำงาน: ฝั่งทำงานปรับคำตอบ (อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและการรับอากาศ) โดยการสำรวจคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียง ตัวอย่างเช่นสามารถเพิ่มหรือลดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและการรับอากาศเล็กน้อยเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น
4. ช่วงการทำงานของฝั่งมอง: ฝั่งมองเลือกคำตอบตามค่าความเหมาะสมของพารามิเตอร์ ฝั่งที่มีความเหมาะสมสูงสุดจะมีโอกาสเป็นอันดับแรกในการเลือกเป็นฝั่งมอง ฝั่งมองยังสามารถค้นหาคำตอบใหม่ๆ
5. ช่วงการทำงานของฝั่งवाद: หากคำตอบ (อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและการรับอากาศ) ไม่มีการปรับปรุงความเหมาะสมในระยะเวลาหนึ่ง ฝั่งवादจะแทนคำตอบดังกล่าวด้วยคำตอบใหม่ที่สุ่ม
6. การอัปเดตคำตอบที่ดีที่สุด: ติดตามคำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นพบจนถึงตอนนี้ ซึ่งแสดงถึงคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของผลการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงเป้าหมายที่กำหนดไว้
7. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 6: ดำเนินการทำซ้ำในลำดับของการค้นหาตามจำนวนรอบที่กำหนดหรือจนกว่าระบบควบคุมอุณหภูมิจะคลี่คลายเพื่อให้อยู่ในสภาพที่พึงพอใจ
8. สิ้นสุดการทำงาน: กระบวนการปรับปรุงสิ้นสุดลงเมื่ออุณหภูมิของเครื่องจักรที่ต้องการถูกคงอยู่ในช่วงเป้าหมายที่กำหนดไว้ หรือมีจำนวนการทำซ้ำสูงสุดถึงจำนวนที่กำหนด

ผลลัพธ์

ผลลัพธ์ของกระบวนการปรับปรุงคือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด(อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและการรับอากาศ) ที่ทำให้ระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถคงอยู่ในช่วงเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยมีการแปรผันของอุณหภูมิน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

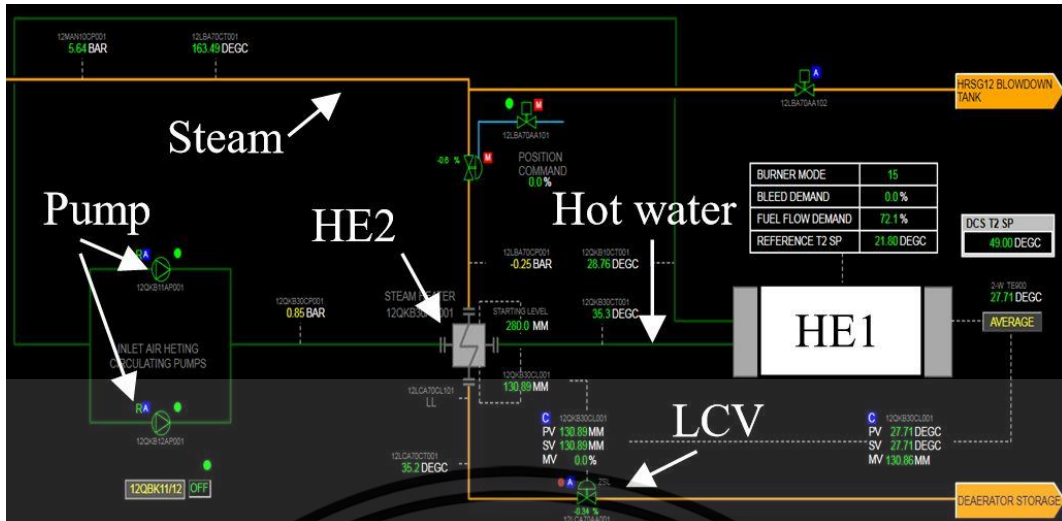
บทที่ 3

การออกแบบค่าเป้าหมายแปรผันสำหรับระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems Dynamics Setpoint Design)

ในบทนี้เป็นการนำความรู้พื้นฐานจากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เพื่อใช้ในการออกแบบการควบคุมค่าเป้าหมายแปรผันสำหรับระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems Dynamics Setpoint Design) โดยใช้ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและออกของเครื่องกังหันก๊าซ อุณหภูมิของอากาศ และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนมาพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ ที่สามารถควบคุมและรักษาอุณหภูมิอากาศขาออกจากเครื่องกังหันก๊าซให้มีค่าที่เหมาะสมเพื่อให้เครื่องจักรและโรงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถรองรับกำลังการผลิตของเครื่องจักรและอุณหภูมิของอากาศที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

3.1 โครงสร้างและการออกแบบระบบควบคุม

จากหัวข้อ 2. ที่ผ่านมาได้มีการกล่าวถึงระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศของเครื่องกังหันก๊าซ LM6000 PF+ ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและออกของเครื่องกังหันก๊าซ อุณหภูมิของอากาศ และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนโดย ระบบทำความร้อนอากาศที่เข้าสู่เครื่องกังหันก๊าซถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าสู่เครื่องกังหันก๊าซเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องในเงื่อนไขโหลดปิดต่ำโดยการเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่เครื่องเพื่อลดอากาศที่ออกจากคอมเพรสเซอร์อากาศ เพิ่มอุณหภูมิห้องเผาไหม้และอุณหภูมิส่งออกของเครื่อง ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ทำความร้อน 2 ชุด เครื่องทำความร้อนน้ำ-อากาศ (HE1) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศจากน้ำร้อน พร้อมปั๊มเพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำในระบบอุปกรณ์ทำความร้อนปิด และเครื่องทำความร้อนไอน้ำ-น้ำ (HE2) ซึ่งมีวาล์ว (LCV) เพื่อปรับระดับน้ำในเครื่องทำความร้อนเพื่อควบคุมปริมาณการไหลของน้ำและปริมาณความร้อนที่พร้อมใช้งานในระบบ การเปิดวาล์วจะระบายน้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อนและเปลี่ยนแปลงพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอุปกรณ์ทำความร้อนและไอน้ำ ระบบจะได้รับปริมาณความร้อนที่สูงขึ้นตามที่แสดงในภาพที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศ

การควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศถูกกำหนดการแก้ปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\min \int_0^T |T_{gas,d} - T_{air}| dt \quad (9)$$

ซึ่งมีข้อจำกัดดังนี้

$$0 < u_{heat}(t) < u_{heat,max}$$

โดย $T_{gas,d}$ แสดงอุณหภูมิของอากาศที่เครื่องกังหันก๊าซต้องการ

T_{air} แสดงอุณหภูมิของอากาศ ณ เวลาปัจจุบัน

$u_{heat}(t)$ แสดงปริมาณความร้อนที่ต้องการในการรักษาอุณหภูมิของอากาศ

ความร้อนที่ต้องการจะถูกควบคุมโดยการปรับตำแหน่งวาล์วควบคุม ซึ่งแก้ปัญหการปรับตำแหน่งวาล์วควบคุมออนไลน์ดังนี้

$$\min \int_0^T |Q_{req} - Q_{air}| dt \quad (10)$$

ซึ่งมีข้อจำกัดดังนี้

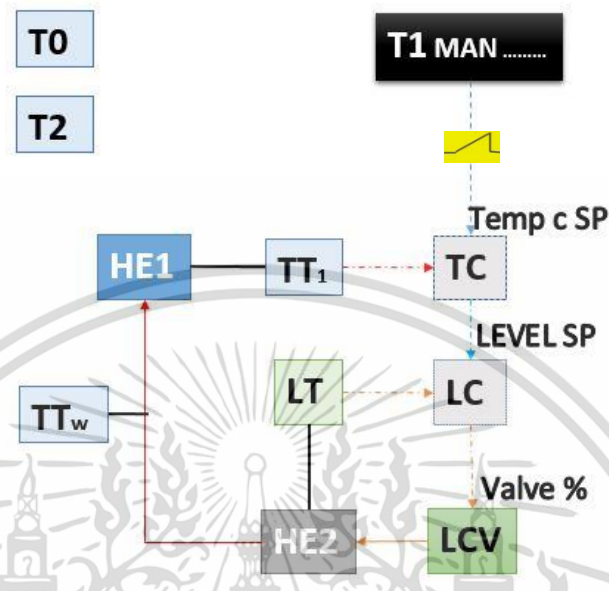
$$0 < u_{valve}(t) < u_{valve,max}$$

โดย Q_{req} แสดงความร้อนที่ต้องการ

u_{valve} แสดงตำแหน่งวาล์วควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำไปใช้งาน วิศวกรจะป้อนระบบควบคุมแบบกระจาย (Distributed Control System; DCS) ระดับอุณหภูมิที่ต้องการของเครื่องกังหันก๊าซ (T1MAN) และอุณหภูมิของอากาศปัจจุบัน (TT1) เข้าสู่ระบบ การตั้งค่าเพิ่มเติมรวมถึงตำแหน่งวาล์วควบคุม (LCV) แสดงในภาพที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ

3.2 การปรับปรุงระบบควบคุม

ระบบควบคุมที่ออกแบบไว้สามารถควบคุมอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าสู่เครื่องกังหันก๊าซให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิอากาศที่ออกจากคอมเพรสเซอร์จะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตหรืออุณหภูมิของอากาศ นั้นหมายความว่าเครื่องจะไม่สามารถรักษาอุณหภูมิที่มีที่เหมาะสมสูงได้ ผลกระทบสำคัญหนึ่งในสถานการณ์นี้คือควบคุมต้องเพิ่มอุณหภูมิอย่างรอบคอบ เพื่อให้อุณหภูมิเข้าสู่เป้าหมายและไม่เกินย่านควบคุมของเครื่องจักร โดยอุณหภูมิของอากาศขาออกต้องไม่เกิน 573 องศาเซลเซียส และอัตราการเปลี่ยนแปลงของอากาศขาเข้าต้องไม่เกิน 2 องศาต่อนาที ปัญหาสามารถจัดการและแก้ไขโดยใช้อัลกอริทึม Artificial Bee Colony (ABC)

3.2.1 รายละเอียดของปัญหา

1. การป้อนค่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพเครื่องจักรและโรงไฟฟ้า
2. การเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิตและอุณหภูมิของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

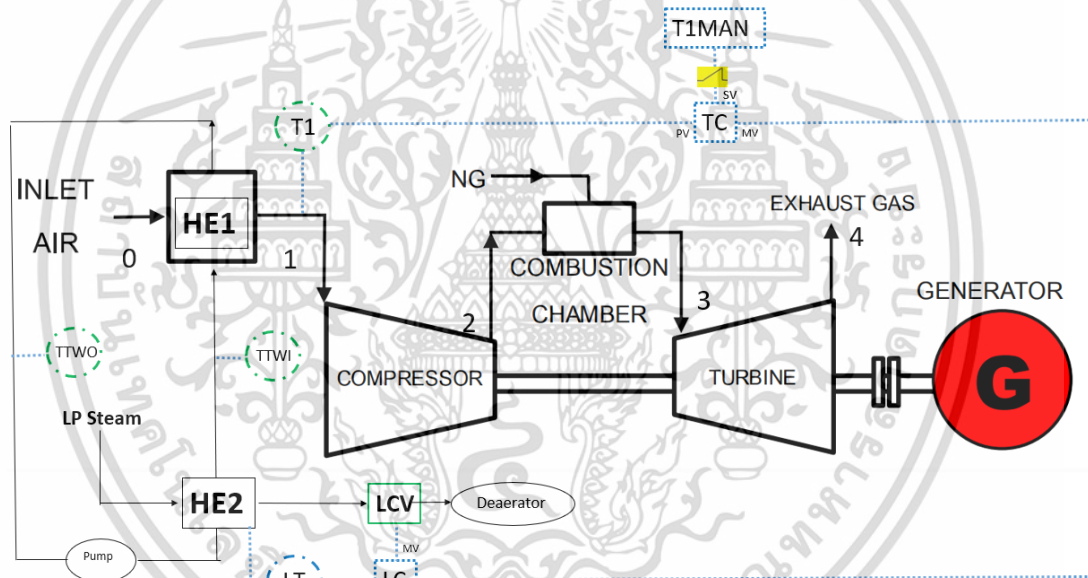
3.2.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของระบบควบคุมอุณหภูมิคือควบคุมอุณหภูมิของเครื่องจักรให้อยู่ในช่วงเป้าหมายที่กำหนดไว้และรักษาการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

3.2.3 พารามิเตอร์ของการควบคุม

1. อุณหภูมิอากาศเข้ากังหันก๊าซ (T1)
2. อุณหภูมิของน้ำใช้ในการและเปลี่ยนความร้อน (TTWI)
3. ปริมาณความร้อน พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน และการปรับอัตราการไหลของวาล์วควบคุมระดับน้ำ

โดยสามารถสรุปแผนภาพและพารามิเตอร์ของการควบคุมได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงแผนภาพพารามิเตอร์ของการควบคุม

จากภาพรวมของข้อมูลเครื่องจักรและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความหนาแน่นของอากาศรวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ว่า การเพิ่มของอุณหภูมิอากาศส่งผลต่อความหนาแน่นของอากาศที่ลดลง เพื่อควบคุมสมดุลของอากาศและเชื้อเพลิง ชุดควบคุมลม ได้แก่ วีไอจีวี (VIGV) วีเอสวี (VSV) จะเปิดเพิ่มขึ้นทำให้มุมไบพัดของเครื่องอัดอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น วีบีวี (VBV) จะลดการระบายอากาศทิ้งเพื่อให้อากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เหมาะสมกับปริมาณเชื้อเพลิง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศเข้า (T1) ยังส่งผลให้อุณหภูมิอากาศขาออกของเครื่องอัดอากาศ (T2) และอุณหภูมิของห้องเผาไหม้สูงขึ้น (T3) รวมถึงอุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่หม้อไอน้ำ (T4) สูงขึ้น ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อลดปัญหาดังกล่าวอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบการตั้งค่าแปรผันถูกใช้งาน ระบบนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถป้องกันค่าควบคุมอุณหภูมิอากาศเข้าไปอ้าพดค่าอุณหภูมิโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ (T2) เพื่อให้เครื่องทำงานในระดับที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดตลอดการทำงาน โดยรักษาอุณหภูมิอากาศขาออก (T2) ให้อยู่ในย่านที่กำหนด โดยทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศขาเข้า (T1) ให้เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิอากาศเข้า ($\Delta T1$) จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศออก ($\Delta T2$) ซึ่งจะให้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\Delta T1 \rightarrow \Delta T2$$

$$T1_{set} = T2_{set} - T2(t) + T1(t) \quad (11)$$

ด้วยระบบตั้งค่าแบบแปรผันใช้งานอยู่ ระบบควบคุมจะแก้ปัญหาการปรับตัวอย่างต่อไปนี้

$$\min \int_0^{T_r} |T_{1,set} - T_1| dt$$

ซึ่งเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$T_{1,set} = T_{2,set} - T_2 + T_1$$

$$\text{Limit } TTWI(t) - T1_{set} \quad (-2,2)$$

โดยมีเงื่อนไขและข้อจำกัดดังนี้

อุณหภูมิอากาศขาออกเป้าหมาย (T2set) ต้องมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับการเดินเครื่องจักรอย่างเต็มประสิทธิภาพ และไม่เกินค่าควบคุมของเครื่องจักร โดยกำหนดย่านการป้องกันค่าอยู่ที่ 567 ถึง 571 องศาเซลเซียส โดยเครื่องจักรมาค่าควบคุมสูงสุดอยู่ที่ 573 องศาเซลเซียส

เมื่อ อุณหภูมิอากาศขาออก (T2) เข้าใกล้เป้าหมายอยู่ในย่าน 0.2 องศาเซลเซียส จากค่าเป้าหมายตัวควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า (T1 ramp) จะหยุดการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อให้ค่าควบคุมอยู่ในย่านที่กำหนด

อุณหภูมิอากาศขาเข้าแปรผัน (T1set(t)) จะต้องไม่เพิ่มอุณหภูมิสูงเกินกว่าเงื่อนไขในภาพที่ 2.20 เพื่อให้เครื่องจักรสามารถเพิ่มและลดกำลังการผลิตได้

อุณหภูมิของน้ำร้อน TTWI จะต้องไม่สูงเกินอุณหภูมิ เป้าหมาย ในย่าน 2 องศาเซลเซียสตามประสิทธิภาพของแผงแลกเปลี่ยนความร้อน HE1 ที่กล่าวในบทที่ 2 แก้ปัญหาโดยการควบคุมระดับน้ำในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (LC limit) ต้องมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับสมดุลพลังงานความร้อน เพื่อให้ระบบควบคุมเกิดความแม่นยำและป้องกันความเสียหายจากสถานะอุณหภูมิเกินค่า

ควบคุม หรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบฉับพลัน จากบทที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนและปริมาณความร้อนในระบบซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

$$TTWI = (SUMq / (mw \cdot cpwi)) + TTWO \quad (12)$$

$$TTWI = U(AsTms + AcTmc) / (mw \cdot cpwi) + TTWO$$

โดยที่ $As = f_x(LT, t)$ ตามตารางที่ 3.1

$$Ac = 14 - As$$

$$As = \left(\frac{(TTWI - TTWO) \times (mw \cdot cpwi)}{U} - 14Tmc \right) \times \frac{1}{Tms - Tmc} \quad (13)$$

โดย TTWI คืออุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้า HE1

TTWO คืออุณหภูมิน้ำขาออก HE1

U คือสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน

As คือพื้นที่และเปลี่ยนความร้อนของไอน้ำ

Ac คือพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของไอน้ำที่กลั่นตัว

A_{all} คือพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด

ΔTm คือผลต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (K)

cp คือสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน (W/K)

m อัตราการไหลของของไหล (kg/s)

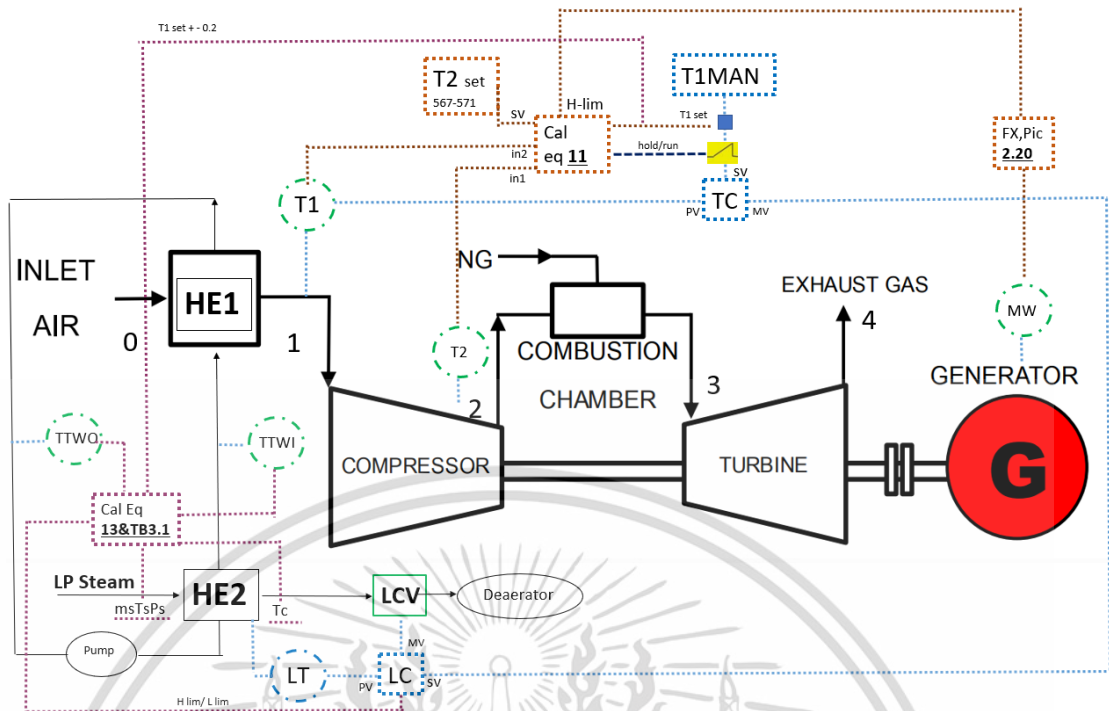
s คือไอน้ำ

c คือไอน้ำที่กลั่นตัว

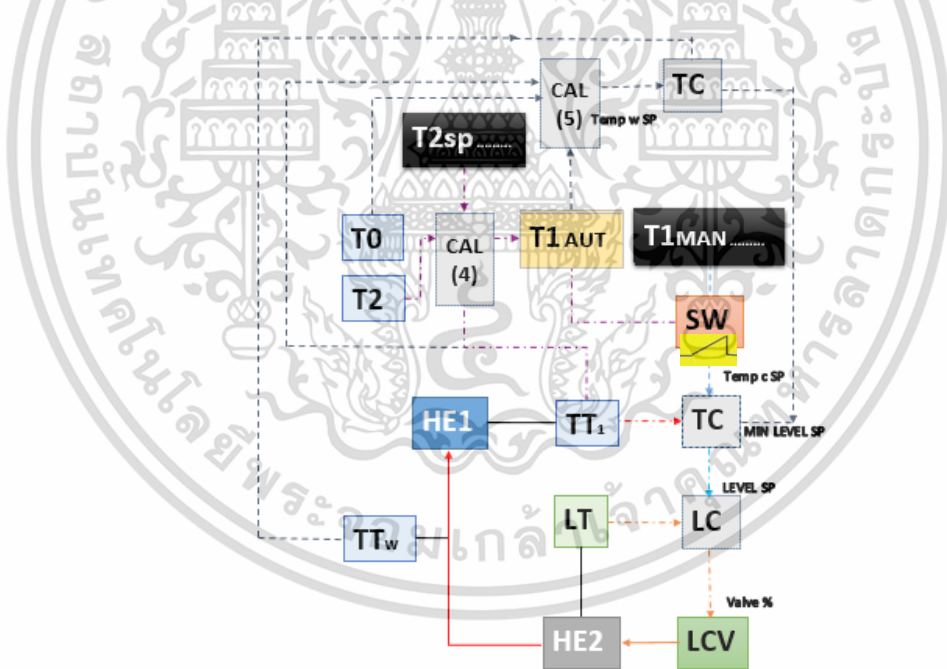
ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน

ระดับน้ำ (mm)	จำนวนท่อในน้ำ	พื้นที่ท่อในน้ำ(M2)	พื้นที่ท่อในไอน้ำ(M2)
-105	0	0.00	14.00
0	0	0.00	14.00
105	13	2.33	11.67
210	39	7.00	7.00
315	65	11.67	2.33
420	78	14.00	0.00
450	78	14.00	0.00

จากการออกแบบระบบป้อนค่าแปรผันกล่าวโดยสรุปคือการประยุกต์ใช้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องกังหันก๊าซเพื่อรักษาอุณหภูมิของอากาศขาออกให้มีค่าคงที่ตามค่าเป้าหมายดังสมการที่ 11 โดยที่ค่าเป้าหมายแปรผัน อุณหภูมิอากาศขาเข้าแปรผัน ($T_{1set}(t)$) จะต้องไม่เพิ่มอุณหภูมิสูงเกินกว่าเงื่อนไขในภาพที่ 2.20 เพื่อให้เครื่องจักรสามารถเพิ่มและลดกำลังการผลิตได้ การควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน(TTWI) ปริมาณความร้อน พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน และการปรับอัตราการไหลของวาล์วควบคุมระดับน้ำ มีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อน TTWI จะต้องไม่สูงเกินอุณหภูมิเป้าหมาย ในย่าน 2 องศาเซลเซียสตามประสิทธิภาพของแผงแลกเปลี่ยนความร้อน HE1 โดยใช้ความสัมพันธ์ทางสมดุลความร้อนตามสมการที่ 12 เพื่อหาพื้นที่และเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม และตารางที่ 3.1 ในการแทนค่าตัวแปรเพื่อแก้ปัญหาโดยการควบคุมระดับน้ำในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (LC limit) ต้องมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับสมดุลพลังงานความร้อน เพื่อให้ระบบควบคุมเกิดความแม่นยำและป้องกันความเสียหายจากสภาวะอุณหภูมิเกินค่าโดยสรุปภาพรวมของการออกแบบค่าเป้าหมายแปรผันได้ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5



รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพรวมโครงสร้างของการออกแบบค่าเป้าหมายแปรผันและอุปกรณ์ควบคุม



รูปที่ 3.5 แสดงแผนภาพรวมโครงสร้างของการออกแบบค่าเป้าหมายแปรผัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

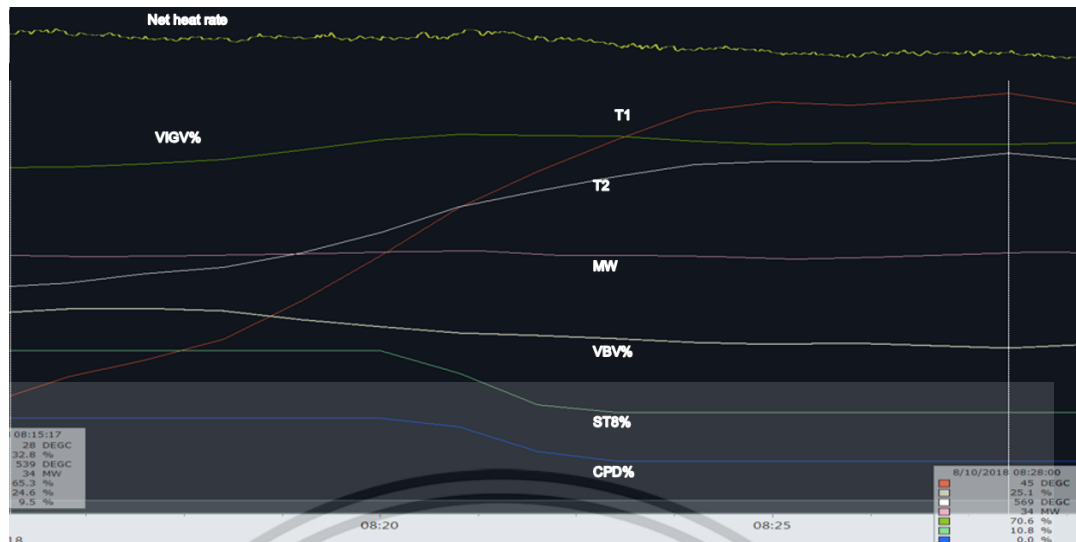
ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบควบคุมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานการออกแบบค่าเป้าหมายแปรผันสำหรับระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของกังหันแก๊ส LM6000PF + aero ในสภาวะการผลิตไฟฟ้าต่ำอุณหภูมิของอากาศ และกำลังการผลิตของเครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมีจุดมุ่งหมายคือ

1. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าด้วยการใช้งานระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems)
2. ทดสอบการควบคุมและการตอบสนองต่ออุณหภูมิเป้าหมาย
3. ทดสอบการควบคุมและการตอบสนองในสภาวะที่กำลังการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง
4. ทดสอบการใช้งานแบบอัตโนมัติและเปรียบเทียบกับระบบดั้งเดิม

4.1 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าด้วยการใช้งานระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems)

การทดลองทำการศึกษาโดยการเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาออกของเครื่องกังหันก๊าซไปที่ 569 องศาเซลเซียส โดยที่กำลังการผลิตไม่เปลี่ยนแปลง

ผลการทดลองพบว่าเมื่อมีการปรับค่าเป้าหมายของอุณหภูมิอากาศขาออกเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิอากาศขาเข้ามีค่าสูงขึ้น 17 องศาเซลเซียส วาล์วควบคุมปริมาณอากาศมีการเปิดเพิ่มขึ้น (VIGV) และวาล์วระบายอากาศส่วนเกินมีการลดการระบายอากาศออก (VBB, ST8, CDP) อุณหภูมิอากาศขาออกเพิ่มขึ้น 30 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศดีขึ้น 3% อุณหภูมิไอร้อนที่เข้าสู่เครื่องผลิตไอน้ำสูงขึ้น 15 องศาเซลเซียสและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงภาพรวมของโรงไฟฟ้าออนไลน์ลดลง 143 BTU/kW.hr ดังรูปที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าด้วยการใช้งานระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้าด้วยการใช้งานระบบเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems)

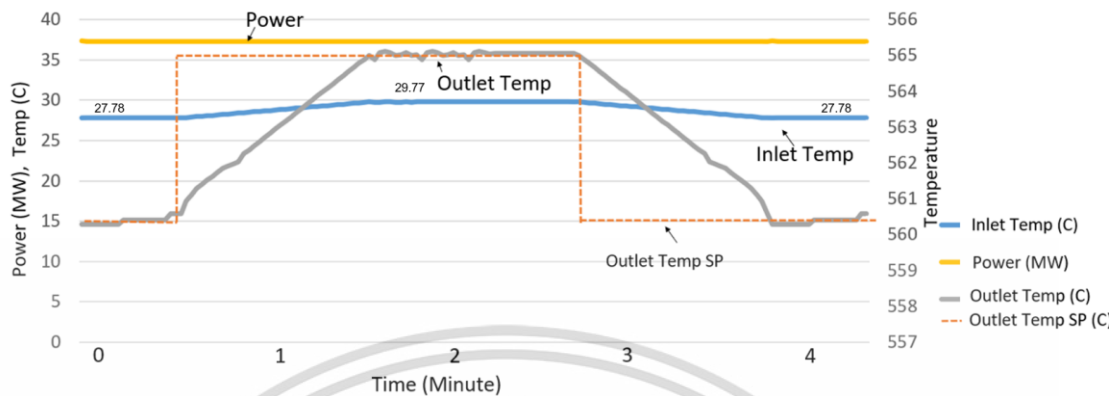
Parameter	Before	After	Variation
Heat rate (BTU/kW)	8491	8348	-143
VIGV (%)	65.3	70.6	5.3
VBV (%)	32.8	25.1	-7.7
ST8 (%)	24.6	10.8	-13.8
CPD (%)	9.5	0	-9.5
Power (MW)	34	34	0
T1 (Degree c)	28	45	17
T2 (Degree c)	539	569	30
Compressor Eff (%)	88	91	3
HRSO Temp. Inlet (Degree c)	508	523	15

4.2 ทดสอบการควบคุมและการตอบสนองต่ออุณหภูมิเป้าหมาย

การทดลองทำการศึกษาโดยการเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาออกเป้าหมายของเครื่องกังหันก๊าซ

5 องศาเซลเซียส จาก 560 เป็น 565 องศาเซลเซียสในสถานะที่กำลังการผลิตที่ 37 MW เมื่อระบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ตามเป้าหมายทำการลดค่าอุณหภูมิเป้าหมายลง 5 องศาเซลเซียส จาก 560 เป็น 565 องศาเซลเซียสในสเพื่อทดสอบการตอบสนองของระบบควบคุม



รูปที่ 4.2 แสดงผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป้าหมาย

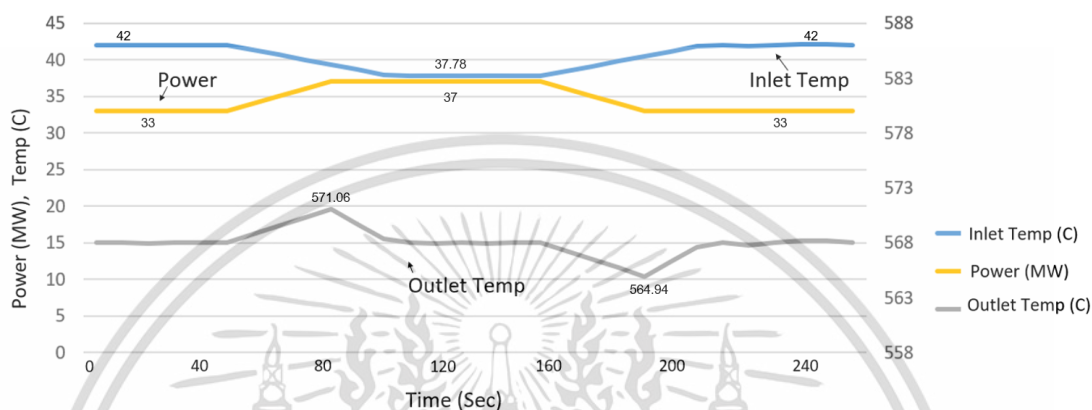
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป้าหมาย

ตัวแปร	อุณหภูมิขาขึ้น	อุณหภูมิขาลง
เวลาขึ้น (Rise Time, s)	53.6	53.6
โอเวอร์ชูท (Overshoot,%)	2	2.4
เวลาที่คงที่ (Settling Time, s)	60	60
ค่าความผิดพลาดในสถานะนิ่ง (Steady-State Error, c)	0.1	0.12

จากการทดลองพบว่าเมื่อปรับค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นระบบควบคุมจะเพิ่มอุณหภูมิของอากาศขาเข้าด้วยอัตรา 2 องศาต่อนาที จาก 27.78 ไปสู่ 29.77 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิขาออกมีค่าสูงขึ้นโดยใช้เวลา 60 วินาทีในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย มีค่าเวลาขึ้น 53.6 วินาที โอเวอร์ชูท 2 เปอร์เซ็นต์ และค่าความผิดพลาดนิ่งอยู่ที่ 0.1 องศาเซลเซียส เมื่อปรับค่าเป้าหมายลดลงระบบควบคุมจะลดอุณหภูมิของอากาศขาเข้าด้วยอัตรา 2 องศาต่ออนาที จาก 29.78 ไปสู่ 27.77 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิขาออกมีค่าลดลงโดยใช้เวลา 60 วินาทีในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย มีค่าเวลาขึ้น 53.6 วินาที โอเวอร์ชูท 2.4 เปอร์เซ็นต์ และค่าความผิดพลาดนิ่งอยู่ที่ 0.12 องศาเซลเซียส

4.3 ทดสอบการควบคุมและการตอบสนองในสถานะที่กำลังการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง

การทดลองทำการศึกษาโดยการตั้งค่าอุณหภูมิอากาศขาออกให้คงที่ 568 องศาเซลเซียสและทำการทดลองเพิ่มกำลังการผลิต 4 MW ด้วยอัตรา 3 MW/min จาก 33 เป็น 37 MW และติดตามผลการตอบสนองของระบบควบคุม จากนั้นทำการลดกำลังการผลิต 4 MW ด้วยอัตรา 3 MW/min จาก 37 เป็น 33 MW และติดตามผลการตอบสนองของระบบควบคุม



รูปที่ 4.3 แสดงผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิต

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิต

ตัวแปร	กำลังการผลิตขาขึ้น	กำลังการผลิตขาลง
โอเวอร์ชูท (Overshoot, C)	3.04	3.06
เวลาที่คงที่ (Settling Time, s)	100	100
ค่าความผิดพลาดในสถานะนิ่ง (Steady-State Error, c)	0.12	0.11

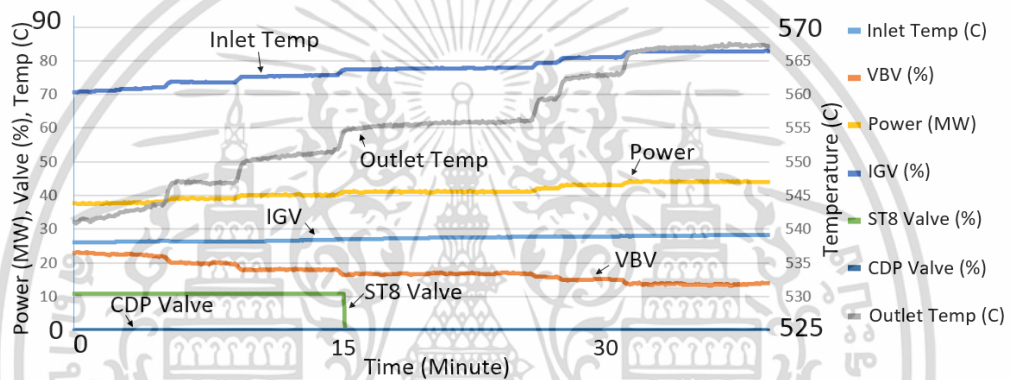
จากการทดลองพบว่าเมื่อกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นอุณหภูมิอากาศขาออกของเครื่องกังหันก๊าซจะสูงขึ้น ระบบควบคุมจะลดอุณหภูมิของอากาศขาเข้าด้วยอัตรา 2 องศาต่อวินาที จาก 42.00 ไปสู่ 37.78 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศขาออกกลับเข้าสู่ค่าเป้าหมายโดยใช้เวลา 100 วินาที โอเวอร์ชูท 3.04 องศาเซลเซียส และค่าความผิดพลาดนิ่งอยู่ที่ 0.12 องศาเซลเซียส เมื่อกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นอุณหภูมิอากาศขาออกของเครื่องกังหันก๊าซจะต่ำลง ระบบควบคุมจะเพิ่มอุณหภูมิของอากาศขาเข้าด้วยอัตรา 2 องศาต่อวินาที จาก 37.78 ไปสู่ 42.00 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศขาออกกลับเข้าสู่ค่าเป้าหมายโดยใช้เวลา 100 วินาที โอเวอร์ชูท 3.06 องศาเซลเซียส และค่าความผิดพลาดนิ่งอยู่ที่ 0.11 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

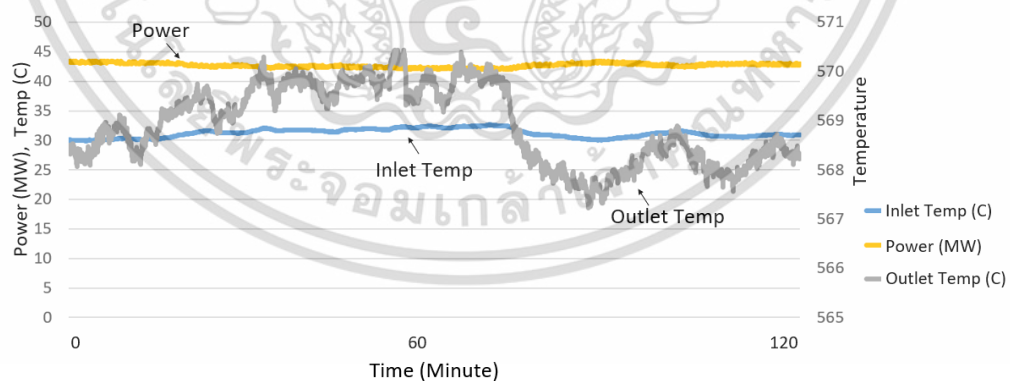
4.4 ทดสอบการใช้งานแบบอัตโนมัติและเปรียบเทียบกับระบบดั้งเดิม

การทดลองทำการศึกษาโดยใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติในการเริ่มต้นเดินระบบและเก็บข้อมูลการเดินเครื่องที่อุณหภูมิเป้าหมาย 569 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 120 นาทีเพื่อเปรียบเทียบการทำงานของระบบอัตโนมัติและการควบคุมด้วยผู้ควบคุม

จากผลการทดลองพบว่า การเริ่มต้นเพิ่มอุณหภูมิของอากาศให้เข้าสู่เป้าหมายด้วยผู้ควบคุมใช้เวลาทั้งหมด 30 นาทีดังรูปที่ 4.4 และช่วงค่าความผิดพลาดอยู่ ลบ 1.5 ถึง 1.5 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.5 ระบบควบคุมอัตโนมัติใช้เวลาทั้งหมด 15 นาทีดังรูปที่ 4.6 และช่วงค่าความผิดพลาดอยู่ ลบ 0.5 ถึง 0.5 องศาเซลเซียสและสามารถลดการป้อนค่าด้วยผู้ควบคุมจาก 21 ครั้งเหลือ 1 ครั้งดังรูปที่ 4.7

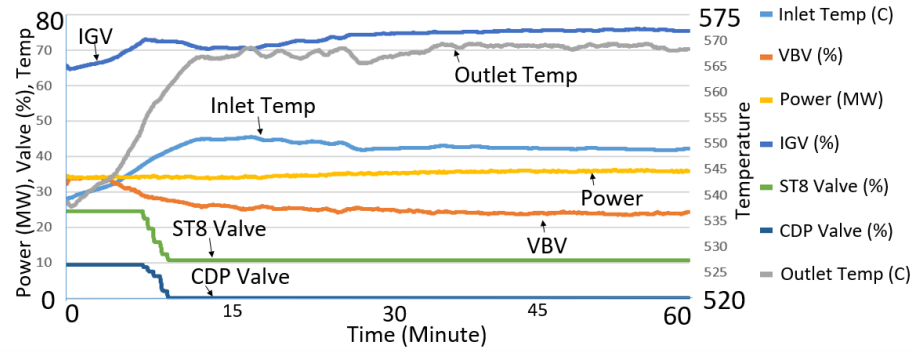


รูปที่ 4.4 แสดงการเริ่มต้นเพิ่มอุณหภูมิของอากาศด้วยผู้ควบคุม

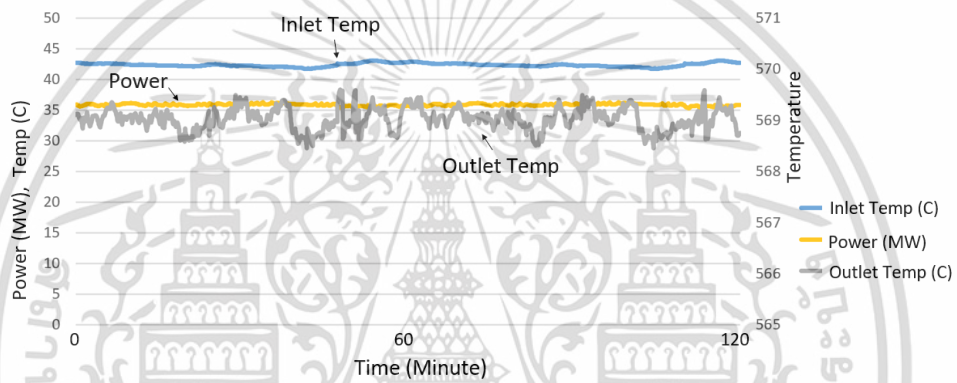


รูปที่ 4.5 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิอากาศด้วยผู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการเริ่มต้นเพิ่มอุณหภูมิของอากาศด้วยระบบอัตโนมัติ



รูปที่ 4.7 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิอากาศด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการควบคุมค่าเป้าหมายอัตโนมัติปรับให้เหมาะสมสำหรับระบบควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้ากังหันก๊าซ (Inlet Air Heating Systems) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของกังหันแก๊ส LM6000PF + aero และโรงไฟฟ้า โดยใช้ อัลกอริธึมรังผึ้งเทียม (ABC) ในการ เพื่อออกแบบค่าควบคุมเป้าหมายแปรผัน เพื่อเพิ่มการตอบสนองต่ออุณหภูมิและประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศแบบอัตโนมัติ โดยคำนวณจาก อุณหภูมิขาเข้าและขาออกของเครื่องอัดอากาศ อุณหภูมิของน้ำร้อนและอุณหภูมิของอากาศ เพื่อรักษาอุณหภูมิอากาศขาออกให้คงที่ ณ อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรและโรงไฟฟ้า

ระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถเริ่มให้ความร้อนให้เข้าสู่ของเขตเป้าหมาย เร็วกว่าการป้อนค่าด้วยผู้ควบคุม 15 นาที ลดการป้อนค่าเป้าหมายโดยผู้ควบคุมเฉลี่ย 10 ครั้งต่อชั่วโมง ในช่วงที่เครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลงการผลิต หรืออุณหภูมิของอากาศมีการเปลี่ยนแปลง ระบบควบคุมจะรักษาอุณหภูมิขาออกของเครื่องอัดอากาศให้คงที่โดยทำการเปลี่ยนแปลงการให้ความร้อนเพื่อให้ อุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างเหมาะสม โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิขาออกเครื่องอัดอากาศอยู่ไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิอากาศหรือกำลังการผลิตเปลี่ยนแปลงระบบจะปรับอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องกังหันก๊าซอัตโนมัติ ด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิสูงสุด 2 องศาเซลเซียสต่อนาทีตามข้อจำกัดของอุปกรณ์ส่งผลให้ระบบเกิดความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศหรือเครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเกินกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของระบบควบคุม การเพิ่มอุณหภูมิอากาศในช่วงที่มีกำลังการผลิตไม่เต็มพิกัดจะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักรและภาพรวมของโรงไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่อความหนาแน่นของปริมาณอากาศ ชุดอุปกรณ์ควบคุมลมจะลดการระบายอากาศส่วนเกินออก ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศดีขึ้น 3% ห้องเผาไหม้และเครื่องผลิตไอน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลดีต่อภาพรวมในเชิงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าดีขึ้น 100 BTU/kW.hr เพิ่มความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิและลดโอกาสการเกิดข้อผิดพลาดจากปัจจัยด้านบุคคล

ระบบอัตโนมัติสามารถควบคุมอุณหภูมิขาออกของเครื่องอัดอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงสุดได้ตามขอบเขตเป้าหมายของวิทยานิพนธ์ โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณอยู่ที่เว็บไซต์นี้ หมายความว่า คุณเห็นด้วยที่จะปฏิบัติตามเงื่อนไขการใช้งานของเรา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและกำลังการผลิต ช่วยให้วาล์วระบายอากาศปิดเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศในสภาวะโหลดปิดต่ำได้ประมาณ ลดระยะเวลาการเริ่มเดินระบบ และปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า

5.1 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา

อุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิด โอเวอร์ชูท และมีความเสี่ยงที่จะเกินขอบเขตของเครื่องจักร วิธีแก้ไขปัญหาคือการตั้งค่าอุณหภูมิเป้าหมายให้ยืดหยุ่น ห่างจากขอบเขตของเครื่องจักร 3-5 องศาเซลเซียส และนำตัวแปรอุณหภูมิอากาศเข้ามาร่วมเป็นตัวแปรในการควบคุมอุณหภูมิ

5.2 แนวทางการพัฒนา

ปรับปรุงประสิทธิภาพและการตอบสนองของระบบควบคุมโดยใช้ข้อมูลสมดุลความร้อนและวาล์วคุมอัตราการไหลมาควบเป็นหลัก และใช้ระบบ พีไอดี หรือ พีซีซี มาช่วยปรับปรุงเพิ่มเติมในขอบเขตที่เหมาะสม

บรรณานุกรม

- [1] Electricity Generating Authority of Thailand, 2019, capacity in the power system, retrieved from <https://www.egat.co.th/index>.
- [2] Boyce. M, 2002, Gas Turbine Engineering Handbook (2nd edition), Texas: Gulf.
- [3] S. O. Oyedepo, O. Kilanko. 2014, Thermodynamic Analysis of a Gas Turbine Power Plant Modeled with an Evaporative Cooler, Covenant University, Ota, Nigeria.
- [4] Kamal N. Abdalla, Zuhair A. M. Adam, Received Nov. 2005, accepted after revision March. 2006.
- [5] R. Hosseini, A. Beshkani, M. Soltani, Performance improvement of gas turbines of Fars (Iran) combined.
- [6] Gulf Energy Development, 2018, Performance Heat Rate Improvement by IGV Optimization, Gulf Technical Seminar.
- [7] Chuck Kooistra, Planning & Scheduling Best practices, BIC Magazine. 2014.
- [8] Eslami M, Shayesteh MR, Pourahmadi M. Optimal design of PID-based lowpass filter for gas turbine using intelligent method. IEEE Access 2018; 15335-45.
- [9] Haji Haji, V. and Monje, CA. Fractional order fuzzy-PID control of a combined cycle power plant using Particle Swarm Optimization algorithm with an improved dynamic parameters selection. Appl. Soft Comp. (2017). 58:256-264.
- [10] ZhiTan Liu, XiaoDong Ren. 2019, Effect of Inlet Air Heating on Gas Turbine efficiency under Partial Load, Guodian Science and Technology Research Institute, Nanjing 210023, China

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายวิษณุเดช ทาหว่างกัน
 วัน เดือน ปีเกิด 9 ธันวาคม 2535 ที่จังหวัดตาก
 รหัสนักศึกษา 60601007
 ที่อยู่ 166/1 หมู่ 2 ต.แม่ระมาด อ.แม่ระมาด
 จ.ตาก 63140 โทร 094-5459625

ประวัติการศึกษา

มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนจุฬาราชวิทยาลัย
 พิษณุโลก

มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนจุฬาราชวิทยาลัย
 พิษณุโลก

ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา
 การวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
 เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน มิ.ย 2558 – มิ.ย 2566 Engineer ที่ บริษัท GULF Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้