

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาค่าความร้อนและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

ปริญญานิพนธ์
ของ
จิรวุฒิ ศรีเหรา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กันยายน 2551

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาค่าความร้อนและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

ปริญญานิพนธ์

ของ

จิรวุฒิ ศรีहरา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

กันยายน 2551

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาค่าความร้อนและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า พลัง
ความร้อนร่วม

บทคัดย่อ
ของ
จิรวุฒิ ศรีเหรา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กันยายน 2551

จิรวุฒิ ศรีเหรา.(2551). การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาค่าความร้อนและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.ปริญญาานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.คณะกรรมการควบคุม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมมงคล, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ

งานวิจัยนี้นำเสนอ ผลการทดสอบสมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม(Combined Cycle Power Plant) ประกอบด้วยโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ 2 หน่วยผลิตและโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ 1 หน่วยผลิต ได้ทำการเชื่อมต่อข้อมูล (Online) จากโรงไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PI ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เพื่อหาอัตราความร้อน (Heat Rate) และหาประสิทธิภาพ (Efficiency) ของข้อมูลในช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริงที่มีการทำงานจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม เพื่อนำมาคำนวณค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิง(Fuel Gas Flow) กำลังการผลิต (Power Output) , อุณหภูมิเชื้อเพลิงก๊าซ,อุณหภูมิอากาศขาเข้าและค่าที่ต้องปรับค่า(Corrected)ปรับค่าไปที่อุณหภูมิและความดันที่อากาศมาตรฐาน (Iso-Condition) การเดินเครื่องของ โรงไฟฟ้าใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ โดยการทดสอบจะทำการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องกับโปรแกรม การคำนวณตามมาตรฐานASME PTC 22สำหรับโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและ ASME PTC 46 สำหรับโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ ซึ่งพบว่าผลการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASME PTC 22,46

คำสำคัญ (Keywords): อัตราความร้อน / โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม / ประสิทธิภาพ

DEVELOPING OF COMPUTER PROGRAM FOR COMBINE CYCLE POWER PLANT HEAT
REAT AND EFFICIENCY

AN ABSTRACT

BY

CHIRAWUT SRIHERA

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwiroj University

September 2008

Chirawut Srihera.(2008). *Developing Of Computer Program For Combine Cycle Power Plant Heat Rate And Efficiency*. Master thesis, M.Eng.(Mechanical Engineering).Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University.
Advisor Committee: Asst. Prof. Dr. Pichai Asadamongkon, Asst. Prof. Dr. Jutarat Kurujareon

The purpose of this investigation is to demonstrates the combined cycle power plant performance test results. The test results shown here consists of 2 units of gas turbine performance test and 1 unit of steam turbine performance test The power plants used in the study are operated with natural gas. The performance test was processed using PI program by EGAT to connect online data from power plants and using power plant real time heat rate and efficiency values to calculate fuel gas flow, power output, fuel gas temperature, air inlet temperature to ISO condition temperature and pressure corrected point. The calculating results had been compared with ASME PTC22 standard test codes for gas turbine power plant and ASME PTC 46 for steam turbine power plant to assure the accuracy values. The testing result indicated that the testing values were conform with the ASME PTC22 and ASME PTC46 standards.

Keywords: Heat Rate / Combined cycle power plant / Efficiency

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาค่าความร้อนและประสิทธิภาพของ
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม
ของ
ชีรุติ ศรีहरา

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ เดือน พ.ศ. 2551

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล)

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ไพศาล นาผล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ)

..... กรรมการ
(พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง)

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล ประธานกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ กรุณาเป็นอย่างยิ่งในการที่ให้คำปรึกษาแนะนำทุกๆด้าน ชี้แนะแนวทางจนปริญญานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ และขอบพระคุณ อาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ กรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ กรุณาให้คำปรึกษา รวมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์จาก กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าที่ได้สอนวิชาการ ในหลายวิชา รวมทั้งฝึกความอดทน ตลอดจนให้คำแนะนำในการทำวิจัย

ขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ให้การสนับสนุนข้อมูลของโรงไฟฟ้าและโปรแกรมการคำนวณที่ใช้ในงานวิจัย

ท้ายสุดที่ขาดไม่ได้เลยผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอนและสนับสนุน รวมทั้งครอบครัวผู้วิจัยที่ทำให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือที่ดีเสมอมา

จิรวิภา ศรีเหรา

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	1
ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎีพื้นฐานวัฏจักรกังหันก๊าซ.....	4
วัฏจักรเบรย์ตัน.....	5
กังหันก๊าซแบบ 2 ชั้นทำงาน.....	17
กังหันก๊าซแบบ 2 เฟลา.....	18
หลักการพื้นฐานของ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมและอุปกรณ์หลัก	
ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	18
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	21
ทฤษฎีของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
บทปริทัศน์วรรณกรรม.....	28
3 การออกแบบและวิธีการทดลอง.....	32
ออกแบบโปรแกรม.....	34
การสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้าเพื่อใช้คำนวณค่าอัตราความร้อนและ	
ประสิทธิภาพ.....	36
วิธีทำการทดสอบ.....	46
การคำนวณค่าอัตราความร้อนของกังหันก๊าซและพลังความร้อนร่วม.....	47

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดสอบ.....	51
กรณีศึกษา.....	51
การคำนวณตามมาตรฐาน ASME.....	51
ผลการทดสอบ.....	56
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
สรุปผลการวิจัย.....	61
ข้อเสนอแนะ.....	62
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก.....	65
อภิธานศัพท์.....	96
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	98

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงสภาวะมาตรฐานขององค์กรต่างๆ.....	26
2 ผลการทดสอบตาม กรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2 ที่กำลังผลิตสูงสุด.....	56
3 ผลการทดสอบตามมาตรฐาน ASME PTC 22และ ASME PTC 46.....	57
4 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบตามกรณีศึกษาที่ 1 กรณีศึกษาที่ 2 กับผลทดสอบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำวิจัย.....	57

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 เครื่องกั้นก๊าซแบบเพลาดียวในระบบเปิด.....	4
2 แผนภาพT-S และP-V ของวัฏจักรเบรย์ตัน.....	5
3 กั้นก๊าซแบบ 2 ชั้นการทำงาน.....	17
4 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	19
5 ไลอะแกรมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	20
6 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	21
7 โปรแกรมสำเร็จรูปเกทไซเคิล.....	27
8 ซุคเซิร์ฟเวอร์ (Server).....	33
9 ซุคโปรแกรมเชื่อมต่อข้อมูลขณะที่เกิดขึ้นจริงกับโรงไฟฟ้า.....	33
10 โปรแกรมคำนวณอัตราความร้อนและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม...	34
11 แผนผังการสร้างโปรแกรมการคำนวณอัตราความร้อน และประสิทธิภาพ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	35
12 ไฟล์คำสั่งแปลเพื่อสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้า.....	37
13 กำหนดตัวช่วยหรือสัญลักษณ์ตัวอักษรภาพเพื่อสะดวกในการสร้างแบบจำลอง	37
14 กำหนดขนาดตัวสัญลักษณ์อักษรภาพเพื่อความเหมาะสม.....	38
15 การเลือกอุปกรณ์จากกรอบภาพสัญลักษณ์อักษรภาพ	38
16 เพิ่มอุปกรณ์ลงในหน้าที่เตรียมไว้พร้อมทั้งกำหนดชื่อของอุปกรณ์.....	39
17 เพิ่มอุปกรณ์ให้ครบในระบบ เพื่อให้ระบบทำงานได้.....	39
18 กำหนดทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์.....	40
19 เชื่อมต่อสัญญาณและการทำงานของแต่ละอุปกรณ์.....	40
20 กำหนดทางออกของระบบที่อุปกรณ์สุดท้ายของระบบ.....	41
21 ทำการประมวลผลของระบบ.....	41
22 เพิ่มอุปกรณ์ปั๊มแรงดันสูงและกำหนดชื่ออุปกรณ์.....	42
23 ใส่อุณหภูมิและแรงดันที่ออกจากหม้อกำเนิดไอน้ำ.....	42
24 กำหนดทางแยกของไอน้ำใช้งานที่ฮีตเตอร์เพื่ออุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำ.	43

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
25 กำหนดอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ทางเข้าและทางออกของกังหัน แรงดันสูงและแรงดันต่ำ.....	43
26 ทดสอบการประมวลผลของระบบ.....	44
27 แสดงผลของระบบ.....	44
28 แบบจำลองที่สมบูรณ์ของโรงไฟฟ้าที่เลือกทำการวิจัย.....	45
29 กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	58
30 ค่าอัตราความร้อนโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	58
31 ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	59

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	1
ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎีพื้นฐานวัฏจักรกังหันก๊าซ.....	4
วัฏจักรเบรย์ตัน.....	5
กังหันก๊าซแบบ 2 ชั้นทำงาน.....	17
กังหันก๊าซแบบ 2 เฟลา.....	18
หลักการพื้นฐานของ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมและอุปกรณ์หลัก	
ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	18
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	21
ทฤษฎีของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
บทปริทัศน์วรรณกรรม.....	28
3 การออกแบบและวิธีการทดลอง.....	32
ออกแบบโปรแกรม.....	34
การสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้าเพื่อใช้คำนวณค่าอัตราความร้อนและ	
ประสิทธิภาพ.....	36
วิธีทำการทดสอบ.....	46
การคำนวณค่าอัตราความร้อนของกังหันก๊าซและพลังความร้อนร่วม.....	47

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดสอบ.....	51
กรณีศึกษา.....	51
การคำนวณตามมาตรฐาน ASME.....	51
ผลการทดสอบ.....	56
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
สรุปผลการวิจัย.....	61
ข้อเสนอแนะ.....	62
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก.....	65
อภิธานศัพท์.....	96
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	98

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงสภาวะมาตรฐานขององค์กรต่างๆ.....	26
2 ผลการทดสอบตาม กรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2 ที่กำลังผลิตสูงสุด.....	56
3 ผลการทดสอบตามมาตรฐาน ASME PTC 22และ ASME PTC 46.....	57
4 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบตามกรณีศึกษาที่ 1 กรณีศึกษาที่ 2 กับผลทดสอบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำวิจัย.....	57

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 เครื่องกั้นก๊าซแบบเพลาดียวในระบบเปิด.....	4
2 แผนภาพWT-S และP-V ของวัฏจักรเบรย์ตัน.....	5
3 กังหันก๊าซแบบ 2 ชั้นการทำงาน.....	17
4 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	19
5 ไดอะแกรมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	20
6 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	21
7 โปรแกรมสำเร็จรูปเกทไซเคิล.....	27
8 ซุคเซิร์ฟเวอร์ (Server).....	33
9 ซุคโปรแกรมเชื่อมต่อข้อมูลขณะที่เกิดขึ้นจริงกับโรงไฟฟ้า.....	33
10 โปรแกรมคำนวณอัตราความร้อนและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม...	34
11 แผนผังการสร้างโปรแกรมการคำนวณอัตราความร้อน และประสิทธิภาพ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	35
12 ไฟล์คำสั่งเปล่าเพื่อสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้า.....	37
13 กำหนดตัวช่วยหรือสัญลักษณ์ตัวอักษรภาพเพื่อสะดวกในการสร้างแบบจำลอง	37
14 กำหนดขนาดตัวสัญลักษณ์อักษรภาพเพื่อความเหมาะสม.....	38
15 การเลือกอุปกรณ์จากกรอบภาพสัญลักษณ์อักษรภาพ	38
16 เพิ่มอุปกรณ์ลงในหน้าที่เตรียมไว้พร้อมทั้งกำหนดชื่อของอุปกรณ์.....	39
17 เพิ่มอุปกรณ์ให้ครบในระบบ เพื่อให้ระบบทำงานได้.....	39
18 กำหนดทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์.....	40
19 เชื่อมต่อสัญญาณและการทำงานของแต่ละอุปกรณ์.....	40
20 กำหนดทางออกของระบบที่อุปกรณ์สุดท้ายของระบบ.....	41
21 ทำการประมวลผลของระบบ.....	41
22 เพิ่มอุปกรณ์ปั๊มแรงดันสูงและกำหนดชื่ออุปกรณ์.....	42
23 ใส่อุณหภูมิและแรงดันที่ออกจากหม้อกำเนิดไอน้ำ.....	42
24 กำหนดทางแยกของไอน้ำใช้งานที่ฮีตเตอร์เพื่ออุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำ.	43

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
25 กำหนดอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ทางเข้าและทางออกของกังหัน แรงดันสูงและแรงดันต่ำ.....	43
26 ทดสอบการประมวลผลของระบบ.....	44
27 แสดงผลของระบบ.....	44
28 แบบจำลองที่สมบูรณ์ของโรงไฟฟ้าที่เลือกทำการวิจัย.....	45
29 กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	58
30 ค่าอัตราความร้อนโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	58
31 ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	59

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล ประธานกรรมการ
ควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ กรุณาเป็นอย่างยิ่งในการที่ให้คำปรึกษาแนะนำทุกๆด้าน ชี้แนะแนวทาง
จนปริญญานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ และขอบพระคุณ อาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ
กรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ กรุณาให้คำปรึกษา รวมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์จาก กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าที่
ได้สอนวิชาการ ในหลายวิชา รวมทั้งฝึกความอดทน ตลอดจนให้คำแนะนำในการทำวิจัย

ขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ให้การสนับสนุนข้อมูลของโรงไฟฟ้าและ
โปรแกรมการคำนวณที่ใช้ในงานวิจัย

ท้ายสุดที่ขาดไม่ได้เลยผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอนและ
สนับสนุน รวมทั้งครอบครัวผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือที่ดีเสมอมา

จิรวิภา ศรีเหรา

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาค่าความร้อนและประสิทธิภาพของ
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม
ของ
ชีรุติ ศรีहरา

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวិชากรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ เดือน พ.ศ. 2551

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล)

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ไพศาล นาคผล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ)

..... กรรมการ
(พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง)

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	1
ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎีพื้นฐานวัฏจักรกังหันก๊าซ.....	4
วัฏจักรเบรย์ตัน.....	5
กังหันก๊าซแบบ 2 ชั้นทำงาน.....	17
กังหันก๊าซแบบ 2 เฟลา.....	18
หลักการพื้นฐานของ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมและอุปกรณ์หลัก	
ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	18
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	21
ทฤษฎีของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
บทปริทัศน์วรรณกรรม.....	28
3 การออกแบบและวิธีการทดลอง.....	32
ออกแบบโปรแกรม.....	34
การสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้าเพื่อใช้คำนวณค่าอัตราความร้อนและ	
ประสิทธิภาพ.....	36
วิธีทำการทดสอบ.....	46
การคำนวณค่าอัตราความร้อนของกังหันก๊าซและพลังความร้อนร่วม.....	47

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดสอบ.....	51
กรณีศึกษา.....	51
การคำนวณตามมาตรฐาน ASME.....	51
ผลการทดสอบ.....	56
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
สรุปผลการวิจัย.....	61
ข้อเสนอแนะ.....	62
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก.....	65
อภิธานศัพท์.....	96
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	98

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงสภาวะมาตรฐานขององค์กรต่างๆ.....	26
2 ผลการทดสอบตาม กรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2 ที่กำลังผลิตสูงสุด.....	56
3 ผลการทดสอบตามมาตรฐาน ASME PTC 22และ ASME PTC 46.....	57
4 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบตามกรณีศึกษาที่ 1 กรณีศึกษาที่ 2 กับผลทดสอบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำวิจัย.....	57

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 เครื่องกั้นก๊าซแบบเพลาดียวในระบบเปิด.....	4
2 แผนภาพWT-S และP-V ของวัฏจักรเบรย์ตัน.....	5
3 กังหันก๊าซแบบ 2 ชั้นการทำงาน.....	17
4 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	19
5 ไดอะแกรมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	20
6 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	21
7 โปรแกรมสำเร็จรูปเกทไซเคิล.....	27
8 ซุคเซิร์ฟเวอร์ (Server).....	33
9 ซุคโปรแกรมเชื่อมต่อข้อมูลขณะที่เกิดขึ้นจริงกับโรงไฟฟ้า.....	33
10 โปรแกรมคำนวณอัตราความร้อนและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม...	34
11 แผนผังการสร้างโปรแกรมการคำนวณอัตราความร้อน และประสิทธิภาพ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	35
12 ไฟล์คำสั่งเปล่าเพื่อสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้า.....	37
13 กำหนดตัวช่วยหรือสัญลักษณ์ตัวอักษรภาพเพื่อสะดวกในการสร้างแบบจำลอง	37
14 กำหนดขนาดตัวสัญลักษณ์อักษรภาพเพื่อความเหมาะสม.....	38
15 การเลือกอุปกรณ์จากกรอบภาพสัญลักษณ์อักษรภาพ	38
16 เพิ่มอุปกรณ์ลงในหน้าที่เตรียมไว้พร้อมทั้งกำหนดชื่อของอุปกรณ์.....	39
17 เพิ่มอุปกรณ์ให้ครบในระบบ เพื่อให้ระบบทำงานได้.....	39
18 กำหนดทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์.....	40
19 เชื่อมต่อสัญญาณและการทำงานของแต่ละอุปกรณ์.....	40
20 กำหนดทางออกของระบบที่อุปกรณ์สุดท้ายของระบบ.....	41
21 ทำการประมวลผลของระบบ.....	41
22 เพิ่มอุปกรณ์ปั๊มแรงดันสูงและกำหนดชื่ออุปกรณ์.....	42
23 ใส่อุณหภูมิและแรงดันที่ออกจากหม้อกำเนิดไอน้ำ.....	42
24 กำหนดทางแยกของไอน้ำใช้งานที่ฮีตเตอร์เพื่ออุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำ.	43

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
25 กำหนดอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ทางเข้าและทางออกของกังหัน แรงดันสูงและแรงดันต่ำ.....	43
26 ทดสอบการประมวลผลของระบบ.....	44
27 แสดงผลของระบบ.....	44
28 แบบจำลองที่สมบูรณ์ของโรงไฟฟ้าที่เลือกทำการวิจัย.....	45
29 กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	58
30 ค่าอัตราความร้อนโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	58
31 ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม.....	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

กระบวนการในการผลิตไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานความร้อน(ซึ่งได้จากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง) ให้เป็นพลังงานกล (การหมุนของกังหัน เพื่อขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้า) ซึ่งในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องคำนึงถึงค่าอัตราความร้อน (Heat Rate) และประสิทธิภาพ (Efficiency) ของโรงไฟฟ้า เพื่อควบคุมค่าอัตราความร้อนให้มีค่าน้อยจำเป็นต้องควบคุมความสูญเสีย (Loss) ทางด้านพลังงานและต้องควบคุมความสูญเสียเหล่านี้ให้มีน้อยที่สุดแล้วจะทำให้ค่าอัตราความร้อนลดลงและประสิทธิภาพจะสูงขึ้น

ปัจจุบันการทดสอบ(Plant Performance Test) เพื่อหาค่าอัตราความร้อนและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจะทำต่อเมื่อมีแผนซ่อมใหญ่ (Major Overhaul) โดยทำการทดสอบก่อนงานและหลังงานซ่อมใหญ่ การทดสอบก่อนงานซ่อมใหญ่นำเอาข้อมูลที่ได้จากการหาค่าสมรรถนะของโรงไฟฟ้ามาประมวลผลเพื่อหาสาเหตุของการใช้พลังงานที่ผิดไปจากเดิม โดยให้สามารถวิเคราะห์และจำแนกได้ว่าความสูญเสียนั้นๆ ได้มีสาเหตุเนื่องมาจากกระบวนการเดินเครื่องหรือความบกพร่องของเครื่องจักรอุปกรณ์ และให้ทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความสูญเสียนั้นๆรวมทั้งสามารถระบุได้ว่า ความสูญเสียนั้นๆมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด สำหรับการใช้อัตราความร้อนที่ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ทำสัญญากับกระทรวงการคลัง (Performance Agreement-PA) ไว้ที่ 9296.10kJ/kWh (ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี 2551)

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้นำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณค่าอัตราความร้อนหรือค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า เพื่อเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจของสมรรถนะโรงไฟฟ้าและควบคุมประสิทธิภาพให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดีอยู่ตลอด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อต้องการคำนวณหาค่าอัตราความร้อนและประสิทธิภาพในช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริงของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

1.2.2 เพื่อต้องการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้งานที่ศูนย์สมรรถนะ (Performance Center) ที่ ฝ่ายประสิทธิภาพการผลิต การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเพื่อให้ระบบเดินโดยมีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดเวลา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้ทฤษฎีตามข้อกำหนดมาตรฐาน ASME PTC22 และ ASME PTC 46 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพ และค่าอัตราความร้อนในช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริง (Real Time) ของอุปกรณ์ต่อไปนี้

- โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ
- โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

1.3.2 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเกทไซเคิลในการคำนวณเพื่อหาค่าประสิทธิภาพและอัตราความร้อนไว้ใช้งานที่ศูนย์สมรรถนะ ฝ่ายประสิทธิภาพการผลิต การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อเป็นการศึกษาระบบการทำงานอย่างต่อเนื่องได้จัดแนวทางดำเนินงานตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1.4.1 การออกแบบเบื้องต้น (Conceptual design) ศึกษาทฤษฎีของระบบโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซร่วมกับโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ) และงานวิจัยต่างๆ และรวบรวมพื้นฐานทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและสรุปแนวทางที่น่าสนใจสำหรับใช้แก้ไขปัญหาในการดำเนินงานวิจัย

1.4.2 ออกแบบชุดทดสอบการศึกษารายละเอียด (Detail study) และทำการศึกษาในรายละเอียดของเนื้อหา ดำเนินการแก้ปัญหา โดยวิธีการคำนวณผลตาม Standard Test Code ASME PTC 22 สำหรับโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ และ ASME PTC 46 สำหรับ โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ Steam Turbine เพื่อการประมวลผลในทางทฤษฎี

1.4.3 การพัฒนา (Development) รวบรวมข้อมูลจากข้อมูลของโรงไฟฟ้าจริง แล้วดำเนินการสร้างและพัฒนาโปรแกรม

1.4.4 การทดสอบความสมบูรณ์ของโปรแกรม โดยดำเนินการวิจัยกับโปรแกรมและใช้ข้อมูลในช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริงจากการเชื่อมต่อข้อมูลโรงไฟฟ้าเข้ากับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เทียบกับการคำนวณตามมาตรฐาน ASME PTC 22,46 โดยใช้ร่วมกับไมโครซอฟต์ เอ็กเซล (Microsoft Excel) และเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องของแต่ละอุปกรณ์และแก้ไขรายละเอียดข้อบกพร่อง

1.4.5 ปรับปรุงความแม่นยำของโปรแกรม (Program Improving) ปรับปรุงความถูกต้องของโปรแกรมและทดลองเปรียบเทียบซ้ำ

1.4.6 สรุปและจัดทำรายงาน (Summary)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.5.1 โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ตลอดเวลา

1.5.2 สามารถวางแผนบำรุงรักษาได้อย่างเหมาะสม

1.5.3 ทำให้โรงไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือ (Reliability)

1.5.4 เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งสำหรับการเปลี่ยนรูปแบบงานบำรุงรักษาจากการบำรุงรักษาตามระยะเวลา (Time Based Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Base Maintenance) หรือ งานบำรุงรักษาโดยมีความเชื่อมั่นเป็นแกน (Reliability Centered Maintenance)

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

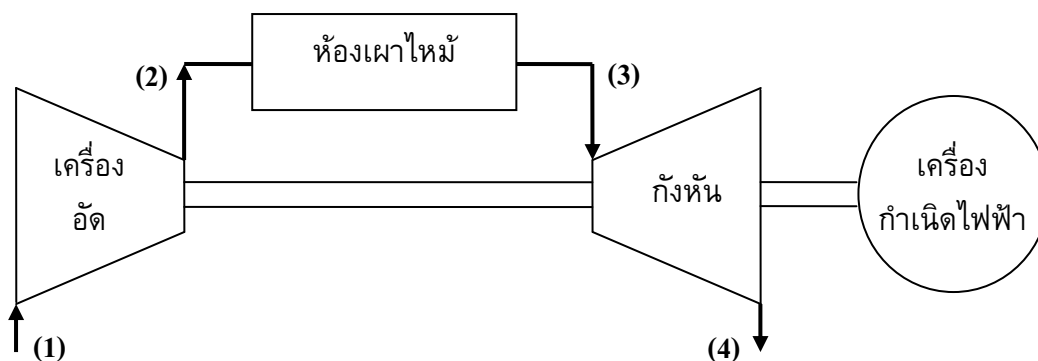
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ทฤษฎีคือ

- ทฤษฎีของโรงไฟฟ้า
- ทฤษฎีของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1 ทฤษฎีพื้นฐานวัฏจักรกังหันก๊าซ

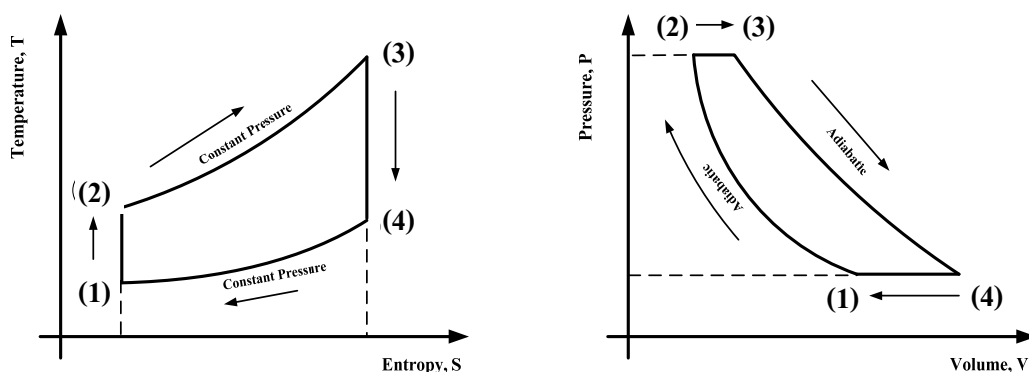
วัฏจักรกังหันก๊าซอย่างง่ายแบบเพลาดัดงภาพประกอบ 1 ที่สถานะที่ (1) อากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ (Compressor) อากาศแบบไหลตามแนวแกน อากาศจะถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นโดยไม่เพิ่มความร้อนเข้าไป แต่อากาศจากการอัดเครื่องอัดอากาศทั้งอุณหภูมิและความดันทางออกจะจะมีค่าสูงขึ้น สถานะที่ (2) อากาศความดันสูงจากเครื่องอัดอากาศ จะถูกอัดจะเข้าไปในห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) เข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ ที่ฉีดมาจากหัวฉีด (Fuel Nozzle) ในสถานะความดันคงที่ จะเกิดการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้อากาศเกิดการขยายตัวจะเข้าสู่ สถานะที่ (3) พลังงานจากก๊าซร้อนจะเปลี่ยนเป็นงาน ซึ่งประกอบด้วยการทำงาน เมื่อผ่านใบกังหันที่อยู่กับที่ (Stationary Blade) ก๊าซร้อนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ และช่วงที่ผ่านใบกังหันที่หมุน (Moving Blade) พลังงานจลน์จะเปลี่ยนเป็นงาน งานจากกังหันมากกว่า 50% ใช้ไปในการขับเครื่องอัดอากาศ ส่วนที่เหลือใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



ภาพประกอบ 1 เครื่องกังหันก๊าซแบบเพลาดัดในระบบเปิด

2.1.2 วัฏจักรเบรย์ตัน (Brayton Cycle)

วัฏจักรกังหันก๊าซในอุดมคติ เรียกว่า วัฏจักรเบรย์ตัน ดังภาพประกอบที่ 2 ได้แสดงความสัมพันธ์ของความดันกับปริมาตร (P-V Diagram) และอุณหภูมิกับเอนโทรปี (T-S Diagram) สำหรับตัวเลขที่กำกับมีความสัมพันธ์กันคือการเปลี่ยนแปลงจาก สภาวะ(1) ไปยังสภาวะ (2) เป็นการอัดอากาศจากเครื่องอัดอากาศ จาก สภาวะ(2) ไปยังสภาวะ (3) เป็นการเผาไหม้ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่ความดันคงที่จากสภาวะ(3) ไปยังสภาวะ (4) ก๊าซร้อนขยายตัวผ่านกังหัน วัฏจักรที่ใช้จริงจะเป็น วัฏจักรเปิด สภาวะ (4) ไปยังสภาวะ (1) จึงไม่มี



ภาพประกอบ 2 แผนภาพ T-S และแผนภาพ P-V ของวัฏจักรเบรย์ตัน

ช่วงการทำงานที่แสดงด้วยแผนภาพ P-V และแผนภาพ T-S อธิบายได้ดังนี้

กระบวนการ 1 – 2 : การอัดอากาศด้วย เครื่องอัดอากาศ ปริมาตรลดลงและอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราส่วนความดัน (Compression Ratio) หมายถึงอัตราส่วนกำลังอัดจากเครื่องอัดอากาศต่อความดันอากาศที่เข้าสู่เครื่องอัดอากาศ

กระบวนการ 2 – 3 : พลังความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงขณะความดันคงที่ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและปริมาตรเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของการเผาไหม้ หรืออุณหภูมิก๊าซร้อนของทางเข้ากังหัน เป็นอุณหภูมิที่ร้อนที่สุดของวัฏจักร

กระบวนการ 3 – 4 : การขยายตัวของก๊าซร้อนผ่าน ใบกังหัน ปริมาตรเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิ
ลดลง ($T_3 = \text{Turbine Inlet Temperature}$)

กระบวนการ 4 – 1 : ก๊าซร้อนที่ออกจากกังหันแล้วออกสู่บรรยากาศที่ความดันคงที่
($T_4 = \text{Exhaust Gas Temperature}$)

กระบวนการวิเคราะห์กังหันก๊าซ ต้องพิจารณาถึงสารตัวกลางที่มีอัตราการไหลอย่างต่อเนื่อง
และเท่ากันตลอดเวลา จึงต้องใช้หลักการที่มีการไหลสม่ำเสมอ (Steady Flow) วิเคราะห์ได้ดังนี้

กระบวนการ 1 – 2

จากสมการอนุรักษ์พลังงาน

พลังงานเข้า = พลังงานออก

$$PE_1 + KE_1 + P_1 V_1 + U_1 + U_{12} = PE_2 + KE_2 + P_2 V_2 + U_2 + W_{12}$$

เมื่อ $H = U + PV$ (เอนทาลปี = พลังงานภายใน + พลังงานจากการไหล)

กำหนดค่าที่ เครื่องอัดอากาศ

พลังงานศักย์ที่ (1) และ (2) มีค่าเท่ากับ ($\Delta PE = 0$)

พลังงานจลน์ที่ (1) และ (2) มีค่าเท่ากับ ($\Delta KE = 0$)

เนื่องจากกระบวนการอัดเป็นกระบวนการอัดแบบเอนทาลปีคงที่ เอนทาลปีไม่มีความร้อนเข้าหรือออกจาก
ระบบ ($Q_{12} = 0$)

$$\text{ดังนั้นสมการ } W_{12} = H_1 - H_2$$

$$(\Delta H = m C_p \Delta T) = m C_p (T_1 - T_2)$$

$$W_{12} = W_c = -W$$

กระบวนการ 2 – 3

จากสมการอนุรักษ์พลังงาน

$$\text{พลังงานเข้า} = \text{พลังงานออก}$$

$$PE_2 + KE_2 + H_2 + Q_{23} = PE_3 + KE_3 + H_3 + W_{23}$$

กำหนดค่าที่ ห้องเผาไหม้

พลังงานจลน์ที่ (2) และ(3) มีค่าเท่ากับ ($\Delta PE=0$)

เนื่องจากกระบวนการเผาไหม้แบบต่อเนื่องจึงไม่เกิดงานในกระบวนการนี้ ($W_{23} = 0$)

$$\text{ดังนั้นสมการ} \quad Q_{23} = H_3 - H_2$$

$$(\Delta H = mC_p \Delta T) = mC_p (T_3 - T_2)$$

$$Q_{23} = Q_A$$

กระบวนการ 3 – 4

จากสมการอนุรักษ์พลังงาน

$$\text{พลังงานเข้า} = \text{พลังงานออก}$$

$$PE_3 + KE_3 + H_3 + Q_{34} = PE_4 + KE_4 + H_4 + W_{34}$$

กำหนดค่าที่ กังหัน

พลังงานศักย์ที่ (3) และ(4) มีค่าเท่ากับ ($\Delta PE=0$)

พลังงานจลน์ที่ (3) และ(4) มีค่าเท่ากับ ($\Delta PE=0$)

เนื่องจากกระบวนการขยายตัวแบบเอดิเยเบติกไม่มีความร้อนเข้าหรือออกจากระบบ ($Q_{34} = 0$)

$$\text{ดังนั้นสมการ } W_{34} = H_3 - H_4$$

$$(\Delta H = mC_p \Delta T) = mC_p (T_3 - T_4)$$

$$W_{34} = W_t = W$$

กระบวนการ 4 – 1

จากสมการอนุรักษ์พลังงาน

$$\text{พลังงานเข้า} = \text{พลังงานออก}$$

$$PE_4 + KE_4 + H_4 + Q_{41} = PE_1 + KE_1 + H_1 + W_{41}$$

กำหนดค่าที่ บรรยากาศ

$$\text{พลังงานศักย์ที่ (4) และ (1) มีค่าเท่ากับ } (\Delta PE = 0)$$

$$\text{พลังงานจลน์ที่ (4) และ (1) มีค่าเท่ากับ } (\Delta KE = 0)$$

เนื่องจากกระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบความดันคงที่และไม่มีการเกิดขึ้น ($W_{41} = 0$)

$$\text{ดังนั้นสมการ } Q_{41} = H_1 - H_4$$

$$(\Delta H = mC_p \Delta T) = mC_p (T_4 - T_1)$$

$$Q_{41} = Q_R$$

จากแผนภาพ T – S ในส่วนพลังงานความร้อนจะได้สมการดังนี้

ความร้อนที่เข้าสู่ระบบ

$$Q_A = mC_p (T_3 - T_2)$$

ความร้อนทิ้งหรือออกจากระบบ

$$Q_A = mC_p (T_4 - T_1)$$

จากกฎข้อที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์ จะได้

$$\text{ผลรวมของความร้อนที่ให้ } (\Sigma Q) = \text{ผลรวมของงานที่ได้ } (\Sigma W)$$

ในทางปฏิบัติจะต้องการสูญเสียของความร้อนจากระบบ

$$\text{งานที่ได้สุทธิ} = \text{ความร้อนที่ให้สุทธิ} - \text{ความร้อนสูญเสีย}$$

ดังนั้น

$$\text{ประสิทธิภาพของวัฏจักร} = \frac{\text{งานสุทธิ}}{\text{ความร้อนที่ให้}}$$

หรือ

$$\text{ประสิทธิภาพของวัฏจักร} = \frac{\text{ความร้อนที่ให้} - \text{ความร้อนสูญเสีย}}{\text{ความร้อนที่ให้}}$$

$$= \frac{Q_A - Q_R}{Q_A}$$

$$= \frac{mC_p (T_3 - T_2) - mC_p (T_4 - T_1)}{mC_p (T_3 - T_2)}$$

$$\text{ประสิทธิภาพของวัฏจักร} = 1 - \frac{T_4 - T_3}{T_3 - T_2}$$

จากกระบวนการ(1) ไป (2)

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{(k-1)}$$

ดังนั้นจะได้

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} = r^P \frac{(k-1)}{k}$$

และ

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} = r^P \frac{(k-1)}{k}$$

ดังนั้น

$$T_3 = T_4 \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} = T_4 \cdot r^P \frac{(k-1)}{k}$$

และ

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} = T_1 \cdot r^P \frac{(k-1)}{k}$$

$$= 1 - \left(\frac{T_4 - T_1}{r_P^{\frac{(k-1)}{k}} (T_4 - T_1)} \right)$$

$$= 1 - \left(\frac{1}{r_P} \right)^{\frac{(k-1)}{k}}$$

จะได้ประสิทธิภาพทางความร้อน

$$\eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{r_p} \right)^{\frac{(k-1)}{k}}$$

จากแผนภาพ P – V ได้ว่า

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4}$$

และ

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

เมื่อ $r_v =$ อัตราส่วนกำลังอัด

$$r_v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

เมื่อกระบวนการ (1) – (2) และ (3) – (4) เป็นกระบวนการอัดและขยายตัวแบบปริมาตรคงที่

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{(k-1)} = r_v^{(k-1)}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3} \right)^{(k-1)} = r_v^{(k-1)}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad T_2 = T_1 \cdot r_v^{(k-1)}$$

$$\text{และ} \quad T_3 = T_4 \cdot r_v^{(k-1)}$$

แทนค่าในสมการหาประสิทธิภาพจะได้

$$\text{ประสิทธิภาพของวัฏจักร} = 1 - \left(\frac{T_4 - T_1}{T_4 r_v^{(k-1)} - T_1 r_v^{(k-1)}} \right)$$

$$= 1 - \left(\frac{T_4 - T_1}{r_p^{(k-1)} (T_4 - T_1)} \right)$$

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{1}{r_p} \right)^{\frac{(k-1)}{k}}$$

ประสิทธิภาพรวมของกังหันก๊าซหาได้จากงานสุทธิที่ได้จริงจากกังหันก๊าซหารด้วยความร้อนที่ให้กับเครื่องยนต์(ความร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิงที่ใช้ในห้องเผาไหม้)

ความร้อนที่ให้อยู่ในช่วงกระบวนการจาก(2) ไป (3) คือ (Q_A)

$$\text{ดังนั้น} \quad Q_A = mC_p (T_1 - T_2)$$

ความร้อนสูญเสียจากกระบวนการ (4) ไป (1)

$$Q_R = mC_p (T_4 - T_1)$$

$$\begin{aligned} \eta_t &= \left(\frac{Q_A - Q_R}{Q_A} \right) \\ &= \frac{mC_p (T_3 - T_2) - mC_p (T_4 - T_1)}{mC_p (T_3 - T_2)} \\ &= \frac{(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \end{aligned}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_1)}$$

$$\text{ประสิทธิภาพรวมของกังหันก๊าซ} = \frac{\text{ความร้อนที่ให้} - \text{ความร้อนที่สูญเสีย}}{\text{ความร้อนที่ให้}}$$

$$\text{งานสุทธิที่ได้} = \text{งานที่ได้จากกังหัน} - \text{งานที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศ}$$

$$W_{\text{Net}} = W_T - W_C$$

$$W_{\text{Net}} = \text{งานสุทธิ}$$

$$W_T = \text{งานที่ได้จากกังหัน}$$

$$W_C = \text{งานที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศ}$$

สำหรับความร้อนที่ให้ เป็นความร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิง ในกระบวนการ
(2) ไป(3) การหาปริมาณความร้อนอาศัยการเปลี่ยนแปลงความร้อนหรืออุณหภูมิสารตัวกลางที่
เปลี่ยนไปคือ

$$\text{จาก } Q_{23} = H_3 - H_2 = Q_A$$

$$\text{เนื่องจาก } \Delta H = mC_p \Delta T$$

$$\text{ดังนั้น } Q_{23} = mC_p (T_3 - T_2)$$

$$W_T = mC_p (T_3 - T_4)$$

$$W_C = mC_p (T_2 - T_1)$$

$$\text{ประสิทธิภาพรวมของกังหันก๊าซ} = \left(\frac{W_t - W_c}{W_A} \right)$$

ในการหาประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักร โดยเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่
ให้กับความร้อนที่สูญเสีย สามารถเขียนในรูปสมการคือ

$$\text{ประสิทธิภาพทางความร้อน} = \frac{\text{ความร้อนที่ให้} - \text{ความร้อนที่สูญเสีย}}{\text{ความร้อนที่ให้}}$$

ซึ่งความร้อนที่ให้อยู่ในช่วงกระบวนการจาก (2) ไป (3) ก็คือ (Q_A)

$$\text{ดังนั้น} \quad Q_A = mC_p (T_3 - T_2)$$

และความร้อนสูญเสียจากกระบวนการ (4) ไป (1) ก็คือ

$$Q_R = mC_p (T_4 - T_1)$$

2.1.3 วัฏจักรการทำงานของกังหันก๊าซ

การทำงานในวัฏจักรเชิงทฤษฎี (Ideal cycle) ของกังหันก๊าซถือเป็นพื้นฐานเบื้องต้นในการทำงานและทำให้ง่ายแก่การเข้าใจ ซึ่งในวัฏจักรการทำงานจริง จะมีความแตกต่างออกไปและกระบวนการต่างๆก็ไม่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขของวัฏจักรเชิงทฤษฎี คือในกระบวนการจาก (1) ไป (2) และ(3) ไป (4) ไม่เป็นกระบวนการแอดิแบตริก คือยังมีการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากระบบ หรือมีการสูญเสียความร้อนในระบบการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้กระบวนการ (2) ไป (3) มีการสูญเสียความดัน จึงไม่เป็นการสันดาปแบบความดันคงที่ อีกทั้งมวลของสารตัวกลางที่ไหลผ่านเครื่องอัดอากาศและกังหันที่ไม่เท่ากันเพราะต้องนำอากาศไประบายความร้อนที่ใบกังหันจะได้ทนต่อความร้อนที่เกิดจากการสันดาปได้จึงมาให้อากาศที่ไหลผ่านเครื่องอัดอากาศและกังหันไม่เท่ากัน ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องคงค่าตัวแปรบางตัวเพื่อง่ายต่อการแก้ปัญหา หรือถือว่าตัวแปรดังกล่าวมีผลน้อยมาก เพื่อเห็นความแตกต่างที่ชัดเจนจึงสรุปลักษณะของวัฏจักรกังหันก๊าซทำงานจริง เมื่อเทียบกับวัฏจักรอุดมคติ ดังนี้

กระบวนการทุกกระบวนการไม่สามารถย้อนกลับได้ เนื่องจากระบบมีความฝืดการไหลของสารทำงานไม่ได้คงที่สม่ำเสมอการไหลเป็นแบบไม่คงที่ ซึ่งแต่ละอุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพ 100 เปอร์เซ็นต์

ค่าความร้อนจำเพาะมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงและคุณลักษณะของสารทำงานที่เปลี่ยนไป เช่น จากอากาศเป็นส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศและไอเสียที่ได้จากการสันดาป เป็นต้น

จำนวนสารทำงานในระบบมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่หรือการไหลไม่ต่อเนื่อง

เกิดการสูญเสียความร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิงอาจเกิดจากการที่สันดาปที่ไม่สมบูรณ์หรือการสันดาปไม่ได้เป็นไปตามกระบวนการความดันคงที่

เกิดการสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม การอัดอากาศจากเครื่องอัดอากาศและการขยายตัวของก๊าซร้อนที่กักกันก๊าซไม่ได้เป็นไปตามกระบวนการแอดิยาบตริก มีการสูญเสียความร้อนออกจากระบบ และสูญเสียความร้อนออกจากห้องเผาไหม้

เนื่องจากวัฏจักรเชิงทฤษฎี การอัดอากาศของเครื่องอัดอากาศและการขยายตัวของก๊าซร้อนที่กักกันเป็นกระบวนการแอดิยาบตริก(ไม่มีความร้อนเข้าหรือออกจากระบบ) นั่นคือเอนโทรปี (S) มีค่าคงที่แต่ในทางปฏิบัติจะมีความร้อนการสูญเสียออกนอกระบบอย่างเลี่ยงไม่ได้ กระบวนการอัดตัวและขยายตัวในวัฏจักรการทำงานจริง เมื่อเปรียบเทียบกับวัฏจักรทางทฤษฎี

จากการอัดอากาศของเครื่องอัดอากาศจะทำให้อากาศจากการทำงานจริงสูงกว่าวัฏจักรเนื่องจากในทางปฏิบัติจริงเครื่องอัดอากาศต้องมีความฝืดถึงมีน้ำมันหล่อลื่นแล้วก็ตามจะทำให้อุณหภูมิภายหลังการอัดอากาศสูงขึ้น หรือจะกล่าวว่างานจากเครื่องอัดอากาศจากการทำงานจริงจะมากกว่าทางทฤษฎีเสมอ เมื่อกำหนด (T) เป็นอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศเชิงทฤษฎี และ(T) เป็นอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศของวัฏจักรการทำงานจริง

ดังนั้น ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ

$$\eta_c = \frac{\text{งานจากเครื่องอัดอากาศทางทฤษฎี}}{\text{งานจากเครื่องอัดอากาศจริง}}$$

หรือ

$$\eta_c = \frac{\text{งานจากเครื่องอัดอากาศกระบวนการแอดิยาบตริก}}{\text{งานจากเครื่องอัดอากาศจริง}}$$

$$\text{งานจากเครื่องอัดอากาศเชิงทฤษฎี} = mC_p (T_2 - T_1)$$

$$\text{งานจากเครื่องอัดอากาศจากวัฏจักรจริง} = mC_p (T_2 - T_1)$$

$$\eta_c = \frac{mC_p (T_2 - T_1)}{mC_p (T_2 - T_1)}$$

$$\eta_c = \frac{(T_2 - T_1)}{(T_2 - T_1)}$$

$$\eta_c = \frac{(H_2 - H_1)}{(H_2 - H_1)}$$

ในการทำงานเดียวกันกังหันในวัฏจักรทำงานจริงก็มีค่าไม่ถึง 100 % จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ออกจากกังหันของวัฏจักรทำงานจริงสูงกว่าวัฏจักรเชิงทฤษฎีเมื่อกำหนดให้ (T) เป็นอุณหภูมิที่ออกจากกังหันเชิงทฤษฎี และ (T) เป็นอุณหภูมิที่ออกจากกังหันในวัฏจักรทำงานจริง

ดังนั้น ประสิทธิภาพของกังหัน

$$\eta_t = \frac{\text{งานที่ได้จากวัฏจักรทำงานจริง}}{\text{งานจากวัฏจักรทำงานทางทฤษฎี}}$$

หรือ

$$\eta_t = \frac{\text{งานที่ได้จากวัฏจักรทำงานจริง}}{\text{งานกังหันในกระบวนการเอนเดียบาตริก}}$$

$$\text{งานจากกังหันเชิงทฤษฎี} = mC_p (T_3 - T_4)$$

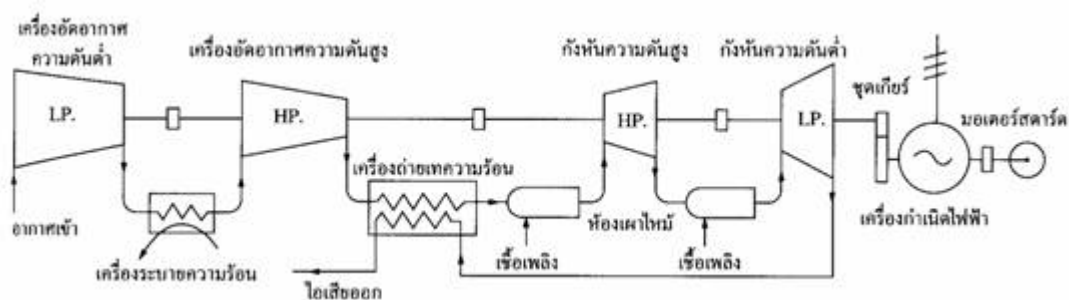
$$\text{งานจากกังหันจากวัฏจักรจริง} = mC_p (T_3 - T_4)$$

$$\eta_t = \frac{mC_p (T_3 - T_4)}{mC_p (T_3 - T_4)}$$

$$\eta_t = \frac{(T_3 - T_4)}{(T_3 - T_4)}$$

$$\eta_t = \frac{(H_3 - H_4)}{(H_3 - H_4)}$$

2.1.3 กังหันก๊าซแบบ 2 ขั้นทำงาน (Two Stage Gas Turbine)



ภาพประกอบ 3 กังหันก๊าซแบบ 2 ขั้นการทำงาน

โดยทั่วไป กังหันก๊าซจะมีเพียงหนึ่งชุดประกอบอยู่ร่วมกับเครื่องอัดอากาศและห้องเผาไหม้เรียกว่า เครื่องกังหันก๊าซแบบตอนเดียว (Simple Cycle Gas Turbine) แต่เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและกำลังงานในระบบ ก็จะเพิ่มจำนวนกังหันก๊าซและเครื่องอัดอากาศขึ้นอีกอย่างละชุด รวมเป็น 2 ชุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานขึ้นอีก ซึ่งจะเรียกว่าเครื่องกังหันก๊าซแบบสอง 2 ขั้นการทำงานหรือถ้าต้องการประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้นก็เพิ่มจำนวนกังหันก๊าซและเครื่องอัดอากาศขึ้นไปได้อีก

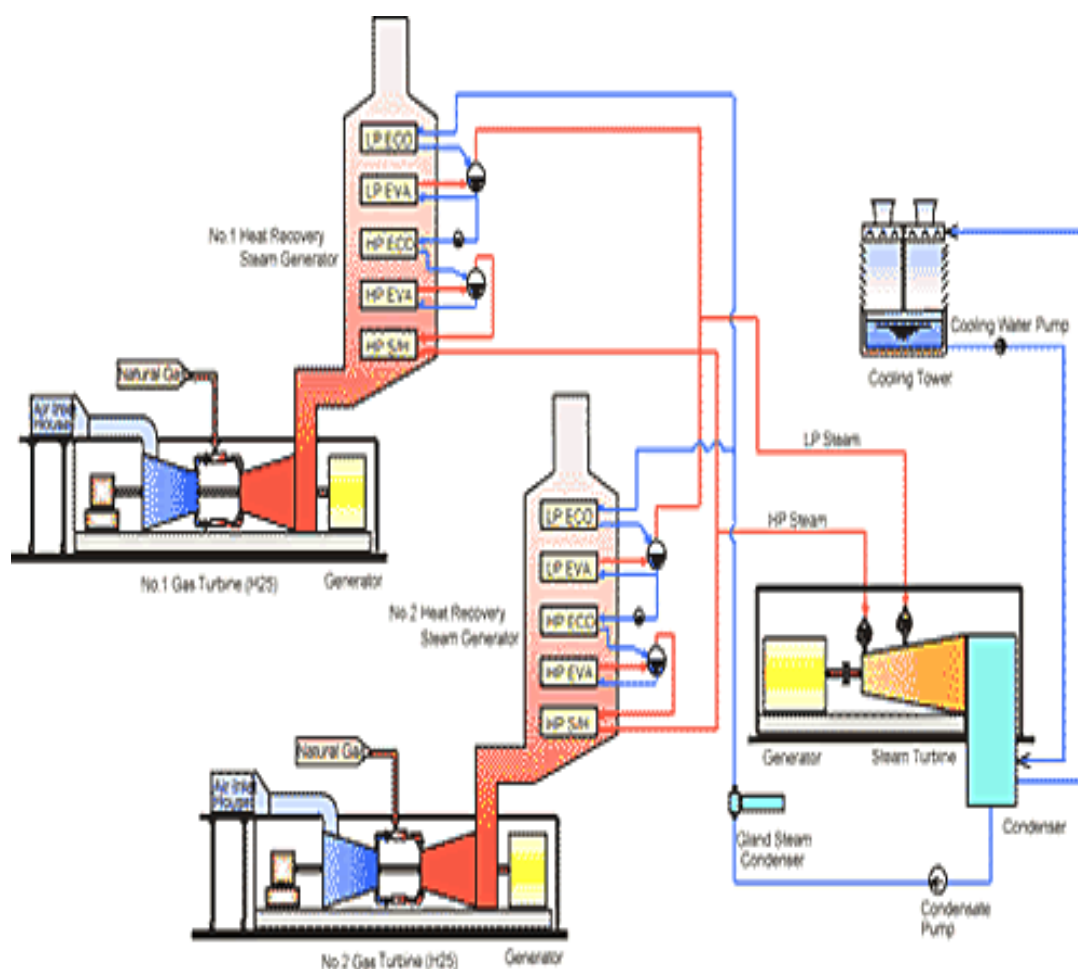
จากภาพประกอบ 3 การทำงานของกังหันก๊าซแบบ 2 ขั้นการทำงาน คือ เริ่มจากเครื่องอัดอากาศความดันต่ำดูดอากาศจากภายนอกเข้ามาทำการอัดอากาศจากปกติให้มีความดันมากขึ้น แต่ยังคงเป็นความดันต่ำอยู่ อากาศอัดจำนวนนี้จะมีความร้อนอยู่ในตัวจึงต้องผ่านเครื่องระบายความร้อนให้อุณหภูมิลดลง โดยยังมีความดันเท่าเดิมส่งผ่านไปยังเครื่องอัดอากาศที่มีความดันสูงอัดอากาศให้สูงขึ้นมากกว่าอากาศปกติ 8 – 10 เท่า และผ่านเข้าห้องถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังห้องเผาไหม้เพื่อช่วยให้การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดการขยายตัว มีความร้อนและอุณหภูมิสูง ส่งเข้าไปขับเคลื่อนกังหันความดันสูงชุดแรก ทำให้กังหันหมุน อุณหภูมิของก๊าซร้อนนี้จะผ่านออกมาจากกังหันก๊าซความดันสูงและผ่านเข้าห้องเผาไหม้ชุดที่ 2 เกิดความร้อนอุณหภูมิสูงขยายตัวส่งออกไปขับเคลื่อนกังหันก๊าซความดันต่ำอีกเครื่องหนึ่งที่อยู่บนเพลาดียวกันกับกังหันชุดแรกขับเคลื่อนให้มีกำลังหมุนเร็วขึ้น ซึ่งจะมีความเร็วรอบประมาณ 3000 rpm โดยผ่านชุดควบคุมความเร็ว ซึ่งจะควบคุมความเร็วรอบให้คงที่และส่งกำลังไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ความเร็วรอบคงที่ คือ 3000 rpm เพื่อผลิตความถี่ให้ได้ 50 Hz ส่งกำลังไฟฟ้าออกไปโดยมีฟิสิกส์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์

2.1.4 กังหันก๊าซแบบ 2 เฟลา (Two Shafts Open-Cycle Gas Turbine)

กังหันก๊าซวงจรแบบ 2 เฟลา โดยตอนเริ่มเดินเครื่องจะใช้มอเตอร์ เป็นต้น กำลังขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศ ให้ทำงานโดยอัดอากาศจากภายนอก ให้มีความดันสูง และเพิ่มอุณหภูมิที่ส่งไปยังห้องเผาไหม้โดยผ่านเครื่องถ่ายเทความร้อน อากาศความดันสูงนี้จะเข้าไปช่วยสันดาปในห้องเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซหรือน้ำมันดีเซลเกิดการขยายตัวเข้าไปขับเคลื่อนกังหัน ให้หมุนซึ่งต่ออยู่บนเพลาร่วมกับเครื่องอัดอากาศ และเครื่องอัดอากาศก็จะหมุนตามโดยตัวจรมอเตอร์สตาร์ทออกและอากาศความดันสูงอีกส่วนหนึ่งที่ผ่านเครื่องถ่ายเทความร้อน และแยกตัวมาจากห้องเผาไหม้ชุดที่หนึ่งจะถูกส่งเข้าไปยังห้องเผาไหม้ชุดที่ 2 ช่วยสันดาปเชื้อเพลิงให้ลุกไหม้มีอุณหภูมิและความดันสูงเกิดการขยายตัวของก๊าซร้อนจำนวนมากไปขับเคลื่อนกังหัน ที่มีเพลาร่วมกับชุดหนึ่งที่ต่อเข้ากับเฟืองขับ ที่ควบคุมความเร็วให้คงที่ เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าให้หมุน กำเนิดแรงดันไฟฟ้าออกไปใช้งาน ส่วนก๊าซร้อนที่ขับเคลื่อนแล้วก็จะลดอุณหภูมิและความดันส่งออกไปถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศความดันสูงที่มาจากเครื่องอัดอากาศ และกลายเป็นไอเสียส่งออกไปทางปล่องไอเสีย กังหันก๊าซแบบ 2 เฟลา มีข้อดีคือ สามารถขับเคลื่อนได้เป็นอิสระกับส่วนที่เป็นกังหันก๊าซความดันต่ำ เมื่อมีกำลังขับเคลื่อนจากกังหันและเครื่องอัดอากาศความดันสูงเพียงพอที่จะต่อเพลาร่วมกับเครื่องอัดอากาศความดันต่ำเพื่อเพิ่มกำลังการอัดอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ส่งความดันไปหมุนกังหันซึ่งต่ออยู่บนเพลาร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตแรงดันไฟฟ้าออกไป หลังจากนั้น ความดันและอุณหภูมิจะลดลงและถูกระบายความร้อนด้วยน้ำ อากาศส่วนนี้ก็จะถูกส่งไปยังเครื่องอัดอากาศความดันต่ำต่ออยู่อีกเพลาร่วมหนึ่ง ซึ่งจะถูกขับเคลื่อนโดยชุดของกังหันและเครื่องอัดอากาศชุดแรก และจะใช้อากาศที่อัดเป็นความดันแล้วส่งเข้าห้องเผาไหม้อีกทางหนึ่ง

2.1.5 หลักการพื้นฐานของ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมและอุปกรณ์หลักในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม เป็นการนำเอาโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ มาทำงานร่วมกับโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ โดยใช้ก๊าซร้อนที่ออกจากเครื่องกังหันก๊าซ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงและปริมาณมากพอผ่านเข้าไปยังหม้อกำเนิดไอน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูงไปขับ กังหันไอน้ำ ในการผลิตไฟฟ้าอีกทอดหนึ่ง ผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกจากกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำ มีค่ามากขึ้น โดยใช้เชื้อเพลิงที่ตัวกังหันก๊าซ เท่าเดิม หมายความว่า ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมีค่าเพิ่มขึ้น ปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 40 – 50% ซึ่งสูงกว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อนทั่วไปที่มีความสามารถเดินเครื่องได้ประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 33 – 43%

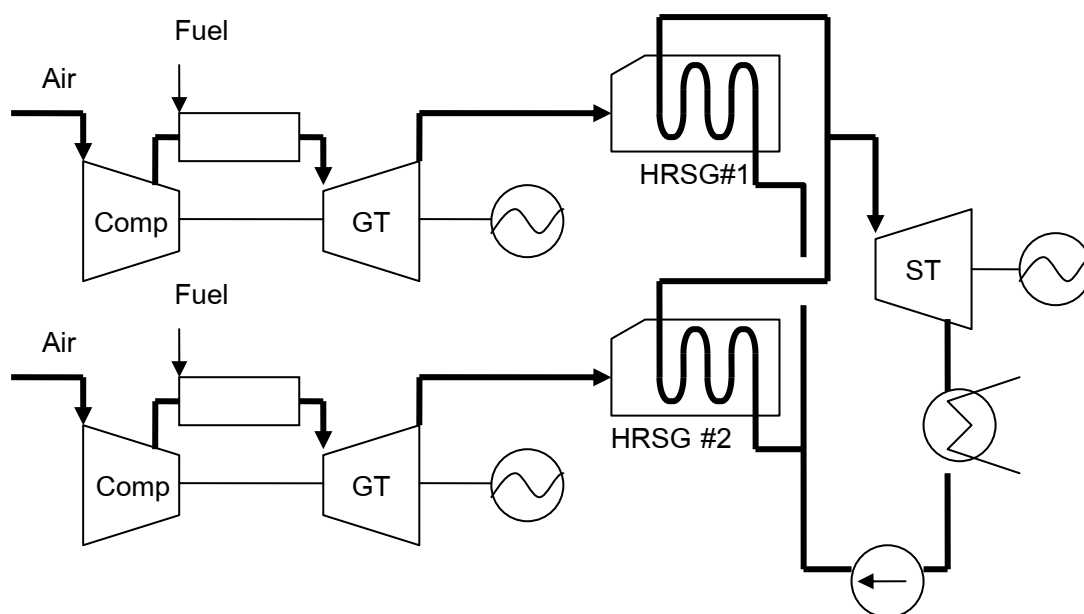


ภาพประกอบ 4 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

จากภาพประกอบ 4 หม้อกำเนิดไอน้ำที่ใช้งานในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมี 2 ลักษณะ คือ ประเภทแรกใช้ความร้อนจาก ก๊าซร้อนของเครื่อง กังหันก๊าซทั้งหมดในการผลิตไอน้ำเท่านั้น ประเภทที่สองจะมีเพิ่มความร้อนให้กับก๊าซร้อนอีกครั้ง โดยการติดตั้งชุดหัวฉีดที่อยู่ในช่องทางที่เชื่อมต่อระหว่างกังหันก๊าซกับหม้อกำเนิดไอน้ำ เพื่อเพิ่มปริมาณความร้อนให้แก่หม้อกำเนิดไอน้ำ จะมีความสามารถผลิตไอน้ำได้มากขึ้น หัวฉีดสามารถจุดเชื้อเพลิงติดโดยอาศัยปริมาณออกซิเจน ส่วนที่เหลือใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งมีค่าออกซิเจนอยู่ประมาณ 15 – 17 % ของหม้อกำเนิดไอน้ำ โดยโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ทำการวิจัยเป็นแบบแรกไม่มีการเพิ่มความร้อนให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำ

กังหันก๊าซที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม สามารถแยกเดินเครื่องอิสระจากวงจรร่วม โดยปล่อยก๊าซร้อนหลังผ่านกังหัน ออกสู่บรรยากาศผ่านทางปล่องไอเสียไม่ให้เข้าหม้อกำเนิดไอน้ำ ได้ ในกรณีที่มีการตรวจสอบหม้อกำเนิดไอน้ำ หรือ กังหันไอน้ำ โดยที่ยังสามารถเดินเครื่องกังหันก๊าซ

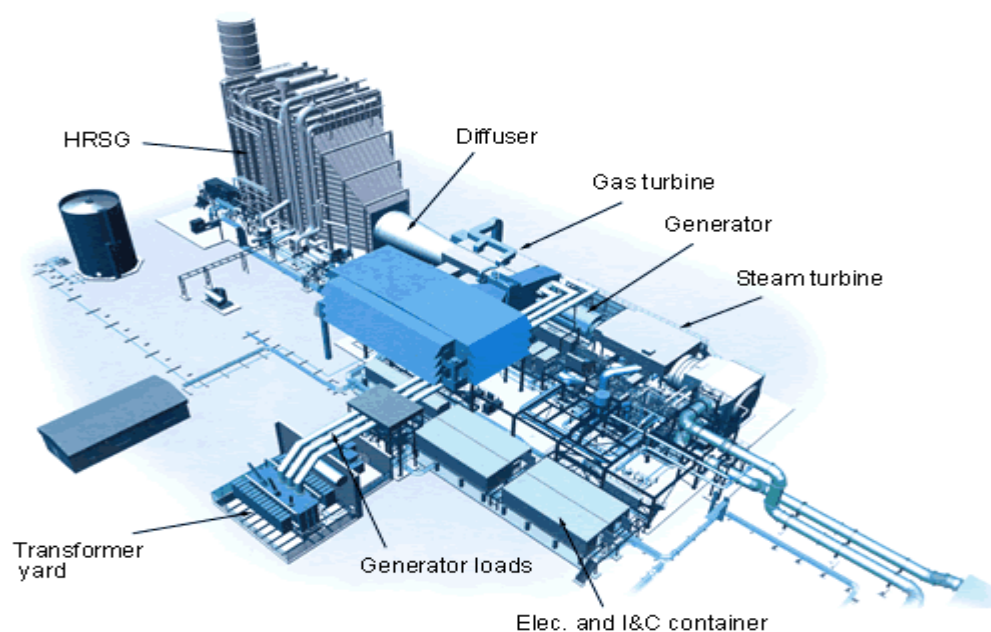
เพียงอย่างเดียวเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเต็มที่สั้นกว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อนทั่วไป การเดินเครื่องกังหันก๊าซ โดยแยกอิสระได้



ภาพประกอบ 5 ไลอะแกรมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

จากภาพประกอบ 5 อธิบายการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม เมื่อกังหันก๊าซเริ่มหมุน อากาศจะถูกดูดผ่านเข้าไปในเครื่องอัดอากาศโดยเครื่องอัดอากาศ แบบอัดอากาศตามแนวแกนมีใบพัด 17 แถวซึ่งอากาศนี้จะกรองฝุ่นละอองโดยกรองอากาศ ซึ่งอยู่ด้านหน้า เพื่อป้องกันการเกิด การ สะเทือนขณะเริ่มการทำงาน ในระหว่างเริ่มการทำงานอากาศที่ถูกอัดจากแถวที่ 11 จะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยผ่านวาล์วทิ้งขณะเดียวกัน อากาศขาเข้าก็ถูกปรับให้อากาศมีปริมาตรตามการออกแบบ โดย อินเล็ท ไกด์ เวน(Inlet Guide Vane) จะอยู่ในตำแหน่งปิด เมื่อความเร็วรอบขึ้นไปถึง 95% ของความเร็วสูงสุด อินเล็ท ไกด์ เวน จะถูกเปิดอยู่ในตำแหน่งเดินเครื่องปกติ จากนั้นอากาศที่ถูกอัดจากเครื่องอัดอากาศผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ซึ่งติดตั้งอยู่รอบ ตัวกังหันก๊าซ ตามแนวเส้นรอบวง และผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้

2.1.6 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined Cycle Power Plant)



ภาพประกอบ 6 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแสดงในภาพประกอบ 6 เป็นการนำเอาการทำงานของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ และโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ มาใช้เป็นระบบร่วมกันโดยการนำไอเสียจากโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ ซึ่งมีความร้อนสูง (ประมาณ 500 องศาเซลเซียส) ไปผ่านหม้อกำเนิดไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator) และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ ทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอ เพื่อขับกังหันไอน้ำสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อไป โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะประกอบด้วยเครื่องกังหันก๊าซ 1 – 4 หน่วยผลิตร่วมกับกังหันไอน้ำ 1 หน่วยผลิต

2.1.7 ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ เครื่องกังหันก๊าซ (เช่นเดียวกับโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ) หม้อกำเนิดไอน้ำ เครื่องกังหันไอน้ำ (เช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1.7.1 กังหันก๊าซ (Gas Turbine) กังหันก๊าซมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน

เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องอัดอากาศแบบการไหลตามแนวแกน เครื่องอัดอากาศแบบนี้มีใบพัดแบบอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่หลายๆ ชุดต่อเนื่องกันใบชุดอยู่กับที่จะติดอยู่กับเครื่อง ส่วนใบพัดชุดเคลื่อนที่ติดอยู่ที่แกนเพลามีเพลารอบตัว ใบกังหันชุดเคลื่อนที่นั้นก็มีลักษณะคล้ายใบพัดลมหลายๆ อันประกอบเข้าเป็นชุดเดียวกันใบพัดเหล่านี้จะช่วยส่งอากาศให้ผ่านเข้าเครื่องอัดอากาศ มุมของใบพัดทุกชุดจะจัดไว้พอดีก็ทำให้อากาศผ่านจากใบพัดชุดหนึ่งได้อย่างราบเรียบ อากาศจะวิ่งผ่านตามแนวแกนที่มีความเร็วสูงประมาณ 3000 rpm ใช้อัดอากาศในปริมาณมากๆ มีอัตราส่วนความดันถึง 10 : 1 หรือมากกว่า ซึ่งเครื่องอัดอากาศแบบนี้จะนำไปใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) ห้องเผาไหม้เป็นโลหะรูปทรงกระบอกมีสองชั้นประกอบซ้อนกันอยู่ ชั้นนอกเป็นช่องทางเข้าของอากาศความดันสูงที่ถูกอัดเข้ามาจากเครื่องอัดอากาศ ชั้นในเป็นท่อโลหะซ้อนกันอยู่โดยเจาะรูเล็กๆ ไว้เป็นระยะๆ เพื่อให้อากาศความดันสูงเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงทำให้เกิดการลุกไหม้ขยายตัวมีอุณหภูมิและความดันสูงส่งเข้าไปขับเคลื่อนกังหัน โดยมีท่อส่งผ่านจากห้องเผาไหม้ไปยังกังหันเมื่อมีการซ่อมบำรุงท่อส่งผ่านก๊าซร้อนนี้จะถูกถอดออกมาตรวจสอบและบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด โดยการทำทำความสะอาดที่ท่อซึ่งอาจมีสิ่งสกปรก เช่น เศษเขม่า หรือเศษผงสะสมตกค้างอยู่ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้อีกวิธีหนึ่ง ห้องเผาไหม้นี้ส่วนมากจะติดตั้งอยู่ตรงกลางระหว่างเครื่องอัดอากาศและกังหันตรงส่วนหัวของห้องเผาไหม้จะมีหัวฉีดเชื้อเพลิง (ก๊าซหรือน้ำมันดีเซล) ซึ่งห้องเผาไหม้จะมีหัวฉีดเชื้อเพลิงตั้งแต่ 6 ถึง 18 หัว และจะมีหัวฉีดเชื้อเพลิงให้ลุกไหม้โดยควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ เป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

กังหัน (Turbine) เครื่องกังหันก๊าซ มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ

ใบกังหันส่วนที่อยู่กับที่ (Stationary Blade) เป็นส่วนของกังหันที่ไม่มีการหมุนได้แก่ ใบกังหันที่ประกอบติดกับกรอบนอก (Casing) ซึ่งเป็นเปลือกนอกที่ห่อหุ้มชิ้นส่วนต่างๆ ของใบกังหัน

ส่วนที่หมุน (Rotating Blade) เป็นส่วนของกังหันที่มีการหมุน โดยมีเพลารอบแกนกลางและมีใบกังหันหลายชุดยึดติดอยู่บนเพลารอบแกน เมื่อก๊าซร้อนที่มีอุณหภูมิและความดันสูงมาปะทะใบกังหันก็ผลักดันให้เกิดการหมุน

2.1.7.2 หม้อกำเนิดไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator -HRSG)

เนื่องจากเป็นหม้อกำเนิดไอน้ำที่ใช้ก๊าซเสียจากเครื่องกังหันก๊าซเป็นตัวให้ความร้อนจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เวสต์ฮีทบอยเลอร์ (Waste Heat Boiler) โครงสร้างประกอบขึ้นจากโครงเหล็กที่แข็งแรง ภายในติดตั้งชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนหลาย ๆ ชุด ซึ่งเป็นทางผ่านของก๊าซเสียจากเครื่องกังหันก๊าซที่ปล่อยเข้ามาในหม้อน้ำ น้ำและไอน้ำจะไหลเวียนเข้ามารับความร้อนภายในท่อ ภายนอกหม้อน้ำขณะเชื่อมปิดหมดเพื่อไม่ให้ก๊าซร้อนรั่วออก ทิศทางการไหลของก๊าซร้อนในหม้อน้ำอาจจะบังคับด้วยพัดลมชนิดดูดหรือเป่า หรือปล่อยให้ไหลตามธรรมชาติลอยขึ้นเบื้องบน แล้วออกทางปล่อง ขึ้นกับการออกแบบ ชุดท่อต่าง ๆ ในหม้อน้ำมีหน้าที่และเฉพาะ ดังนี้

เครื่องทวีความร้อน (Super Heater) เป็นชุดท่อห้อยแขวนไว้ในหม้อกำเนิดไอน้ำแต่ละปลายและต่อเข้ากับท่อร่วมที่เรียกว่า เฮดเดอร์ (Header) จากเฮดเดอร์ด้านหนึ่งจะยึดแน่นเข้ากับหม้อกำเนิดไอน้ำ อีกปลายหนึ่งจะยึดตายตัว แต่จะปล่อยให้ขยับตัวได้เพื่อการขยายตัวเมื่อท่อร้อน จากเฮดเดอร์ด้านนี้จะต่อไปยังกังหันไอน้ำเพื่อส่งไอน้ำไปขับเคลื่อน ปกติแล้ววงจรการขับเคลื่อนกังหันไอน้ำจะมี 2 วงจร วงจรแรกเป็นวงจรที่มีความดันไอน้ำสูงกว่า (High Pressure Steam) จะเข้าไปรับความร้อนที่เครื่องทวีความร้อนความดันสูงและส่งไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำที่กังหันความดันสูงอีกวงจรหนึ่ง มีความดันไอน้ำต่ำกว่า ซึ่งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องจะมีชื่อขึ้นต้นด้วยคำว่า โลว์เพรสเชอร์

อีแวปอเรเตอร์ (Evaporator) เป็นชุดท่อที่รับความร้อนจากก๊าซร้อน โดยมีปั๊มแรงดันสูง (Boiler Feed Pump) เป็นตัวขับเคลื่อนเข้ามาในหม้อน้ำ น้ำในท่อของอีแวปอเรเตอร์จะต้องไม่แห้งเป็นไอน้ำทั้งหมด เนื่องจากชุดท่อนี้ไม่สามารถทนความร้อนได้สูง ภายในท่อจะให้คงสภาพน้ำผสมไอน้ำไหลอยู่ในท่ออีแวปอเรเตอร์และไหลกลับสู่ดรัม ที่ซึ่งจะแยกน้ำและไอน้ำออกจากกันโดยไอน้ำจะถูกแยกไปเข้าเครื่องทวีความร้อน ขณะที่น้ำจะถูกปั๊มน้ำส่งเข้าหม้อน้ำอีกครั้งหนึ่ง

แผงท่อรับความร้อน (Economizer) เป็นชุดท่อให้ความร้อนแก่น้ำที่มาจากระบบสูบน้ำ น้ำที่มาจากระบบนี้ได้กลั่นตัวจากไอน้ำผสมกับน้ำที่เดิมเข้าไปในระบบที่เครื่องควบแน่นหม้อกำเนิดไอน้ำแต่ละตัว จะรับก๊าซเสียจากเครื่องกังหันก๊าซผ่านทางช่องทางเดินของก๊าซร้อน ก่อนเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำต้องผ่านบานประตูปิด - เปิด บานประตูนี้จะปิดไม่ให้เข้าหม้อน้ำ หากต้องหยุดซ่อมหม้อน้ำ หรือหยุดเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า และก๊าซร้อนจะถูกปล่อยออกทางปล่อง (Bypass Stack) ในกรณีที่ต้องการก๊าซร้อนเข้ามาใช้งานในหม้อกำเนิดไอน้ำ บานประตูดังกล่าวจะปิดปล่อง แต่จะเปิดให้ก๊าซเข้าหม้อน้ำแทน

ถังพักไอน้ำ (Steam Drum) เป็นอุปกรณ์หลักของหม้อกำเนิดไอน้ำ ขนาดของถังจะต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะสะสมน้ำตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะ ในขณะเดียวกันต้องควบคุมระดับน้ำไม่ให้ต่ำจนเกิดอันตราย โดยน้ำที่ป้อนเข้าระบบจะต้องผ่านการควบคุมคุณภาพและหม้อกำเนิดไอน้ำจะต้องทำความสะอาดเป็นบางครั้งโดยใช้น้ำยาเคมีเข้าทำความสะอาดภายในท่อน้ำเพื่อกำจัดตะกอนที่

ติดอยู่ภายในอาจจะทำความเสียหายต่อไปยังกันได้ การทำงานที่สำคัญคือการแยกไอน้ำออกจากน้ำและไอน้ำอิ่มตัว วิธีการแยกคือการแยกโดยธรรมชาติที่อาศัยแรงดึงดูดของโลก ถ้าไอน้ำปนกับน้ำแล้วมีความเร็วมากพอก็จะทำแยกตัวโดยธรรมชาติ แต่ถ้าการแยกตัวโดยธรรมชาติไม่เพียงพอที่จะมีแผ่นซวีล (Swirl Plate) จะทำให้ไอน้ำหมุนวนส่วนที่เป็นไอน้ำจะติดอยู่ที่แผ่นซวีลและตกลงสู่ถังส่วนที่เป็นไอน้ำก็จะผ่านไปยังเครื่องทรีความร้อนแล้วเข้าสู่ถังต่อไป

2.1.7.3 เครื่องกังหันไอน้ำ เครื่องกังหันไอน้ำ มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ

ส่วนที่อยู่กับที่ (Stationary Part) เป็นส่วนที่ไม่มีการหมุน ได้แก่ ใบกังหันไอน้ำที่ประกอบติดกับกรอบนอก (Casing) ซึ่งเป็นเปลือกนอกที่ห่อหุ้มชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกังหัน

ส่วนหมุน (Rotating Part) เป็นส่วนที่มีการหมุน โดยมีเพลเป็นแกนกลางและมีใบกังหันหลายชุดยึดติดอยู่บนเพล เมื่อไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงฉีดมาปะทะใบพัดก็ผลักดันให้เกิดการหมุน

เครื่องกังหันไอน้ำจะมีสองส่วน คือ ความดันสูงและความดันต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการออกแบบวงจรผลิตและการไหลเวียนของไอน้ำ ไอน้ำความดันสูงและความดันต่ำที่ออกจากเครื่องทรีความร้อนจะไหลเข้ากังหันความดันสูงและกังหันความดันต่ำตามระดับ และรวมกันออกด้านล่างเข้าสู่เครื่องควบแน่น

หลักการเบื้องต้นของเครื่องกังหันไอน้ำ คือ กังหันไอน้ำจะหมุนได้โดยมีแรงดันไอน้ำออกจากหัวฉีดไปกระทบกับใบกังหัน ทำให้เพลหมุนและสามารถต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขั้วปั๊ม และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันให้มากขึ้นจึงทำให้กังหันมีหลาย ๆ แฉกเมื่อผ่านกังหันแรงดันสูงก็นำไอน้ำไปผ่านหม้อไอน้ำอีกครั้งเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของไอน้ำแล้วเข้ากังหันแรงดันต่ำเมื่อผ่านกังหันแรงดันต่ำแล้วจึงเข้าสู่เครื่องควบแน่นไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นน้ำเพื่อเข้าสู่หม้อไอน้ำอีกครั้ง

2.1.7.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่

โรเตอร์ เป็นเพลหมุน โดยปลายข้างหนึ่งจะต่อกับปลายเพลของกังหันไอน้ำเพื่อหมุนไปด้วยกัน ด้านในจะถูกเซาะร่องเพื่อฝังขดลวดสนามแม่เหล็ก

สเตเตอร์ เป็นส่วนที่อยู่กับที่ ด้านในประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางเคลือบฉนวนรูปวงแหวนเรียงซ้อน ๆ กันแล้วอัดแน่นจนเป็นทรงกระบอกกลวงตลอดความยาวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เรียกว่า แกนใน (Stator) ซึ่งให้โรเตอร์สอดเข้าไปได้ ตลอดความยาวของแกนในจะมีร่องสำหรับขดลวดซึ่งเป็นตัวผลิตไฟฟ้า เมื่อเพลหมุน ขดลวดที่ฝังในเพลจะถูกป้อนกระแสไฟฟ้าเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้หมุนตัดกับขดลวดในสเตเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า

ไหลออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเราเป็นกระแสไฟฟ้าสลับ มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จึงต้องมีการควบคุมความเร็วในการหมุนของเครื่องให้คงที่ 3,000 รอบต่อนาที เป็นผลทำให้ความถี่ของกระแสไฟฟ้าคงที่ตามไปด้วย

ไอน้ำที่ผ่านทางเครื่องกังหันไอน้ำแล้วจะมีความดันและอุณหภูมิลดลง จะถูกทำให้กลั่นตัวกลายเป็นน้ำที่ควบแน่น น้ำที่ผ่านเครื่องควบแน่นจะถูกสูบด้วยปั๊มน้ำไปยังอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนเพื่อรับความร้อนที่หม้อไอน้ำต่อไป

การถ่ายเทความร้อนออกจากไอน้ำเพื่อให้กลายเป็นน้ำที่เครื่องควบแน่นนั้น จะใช้น้ำสูบขึ้นจากแหล่งน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำผ่านเข้าไปในท่อถ่ายเทความร้อนเพื่อดูดความร้อนจากไอน้ำที่ผ่านเครื่องกังหันไอน้ำแล้วน้ำที่ร้อนนี้ขึ้นจะนำไประบายความร้อนออกที่หอระบายความร้อนอีกต่อหนึ่ง แล้วนำกลับมาใช้งานในวงจรระบายความร้อนต่อไป

หอระบายความร้อนทำงานโดยอาศัยหลักการพาความร้อนออกไปด้วย อากาศ น้ำที่ได้รับความร้อนจากเครื่องควบแน่นจะถูกฉีกให้เป็นฝอยที่ส่วนบนของหอระบายความร้อน แล้วตกลงมายังส่วนล่างของหอระบายความร้อน สวนกับอากาศเย็น และถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่ต่อกับเครื่องกังหันก๊าซและเครื่องกังหันไอน้ำ จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับหม้อแปลงไฟฟ้า ก่อนส่งผ่านสายส่งเพื่อนำพลังงานไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าต่อไป

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมากเนื่องจากก๊าซเสีย ที่ปล่อยออกจากปล่องของโรงไฟฟ้าไม่มีฝุ่นละอองและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งต้องควบคุมให้อยู่ในระดับที่มาตรฐานกำหนดตามธรรมชาติแล้วในโตรเจนออกไซด์ จะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของเครื่องกังหันก๊าซเกิน 1,200–1300°C การควบคุมจึงทำให้ได้ง่ายโดยการฉีดละออง (Water Injection) น้ำเข้าไปในห้องเผาไหม้เพื่อลดอุณหภูมิไม่ให้เกิน 1,200°C ตลอดเวลาที่มีการเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าการที่หน่วยเท่านั้นทำให้ประสิทธิภาพรวมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมสูงถึง 50 % เมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนโดยทั่วไปซึ่งมีค่าประมาณ 40 %

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม สามารถตอบสนองความต้องการหลายประการ กล่าวคือ ทำการก่อสร้างได้เร็วกว่าโรงไฟฟ้าชนิดอื่น มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย และพลังงานจากเชื้อเพลิงถูกใช้อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้น ก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงไม่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

การเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งคลัตช์ต่อเชื่อมกับเพลาคือเป็นตัวขับเคลื่อนให้หมุนมอเตอร์ไฟฟ้าจะหยุดและคลัตช์จะถูกปลดออกเมื่อกังหันก๊าซเดินเครื่องเองได้แล้วปลายเพลาก็ด้านหนึ่งจะต้องเพื่อจุดให้หมุนเพลารอเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อหมุนจ่ายกระแสไฟฟ้าก๊าซร้อนที่ถูกทิ้งออกจาก

เครื่องกังหันก๊าซจะมีอุณหภูมิประมาณ 500°C (ลดลงจาก $1,100^{\circ}\text{C}$ ขณะเผาไหม้) เนื่องจากก๊าซดังกล่าวยังมีพลังงานความร้อนเหลืออยู่จึงถูกส่งยังหน่วยผลิตไฟฟ้ากังหันไอน้ำเพื่อใช้งาน

การทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมเป็นการทำงานระหว่างกังหันก๊าซกับกังหันไอน้ำ ซึ่งมีการทำงานดังนี้คือ เชื้อเพลิงก๊าซจะถูกส่งเข้าไปยังห้องเผาไหม้ โดยมีอากาศที่ถูกอัดด้วยความดันสูง 8-10 เท่าจากเครื่องอัดอากาศมาช่วยเผาไหม้ ทำให้เกิดการขยายตัวของก๊าซร้อนดันและอุณหภูมิสูงส่งเข้าไปขับเคลื่อนกังหันก๊าซ ขับเคลื่อนและจุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่บนเพลาเดียวกัน ส่วนก๊าซร้อนที่ขับเคลื่อนกังหันก๊าซ และถูกส่งออกไปยังห้องเผาไหม้ อีกครั้งหนึ่ง และนำความร้อนนี้ไปต้มน้ำที่หม้อน้ำ น้ำที่ถูกต้มจะกลายเป็นไอน้ำความดันสูงไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนไอน้ำที่ขับเคลื่อนกังหันไอน้ำแล้ว ส่วนที่ยังคงมีความดันสูงอยู่จะไหลผ่านวาล์วความดันได้ ไอน้ำส่วนนี้จะขับเคลื่อนกังหันอีกครั้งหนึ่ง ส่วนไอน้ำความดันลดลงก็จะถูกส่งเข้าไปยังเครื่องควบแน่น ซึ่งจะระบายความร้อนของไอน้ำด้วยน้ำ ไอน้ำจะถูกควบแน่นเป็นน้ำ ปั๊มส่งไปยังถังพักน้ำ เพื่อส่งไปต้มน้ำต่อไปยังหม้อต้มน้ำ

สภาวะมาตรฐานสำหรับวัฏจักรกังหันก๊าซและวัฏจักรกังหันไอน้ำ ซึ่งบรรยากาศทั่วไปอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามวันเวลาและสถานที่ตั้ง ในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงต้องเปรียบเทียบกับสภาวะมาตรฐานสำหรับวัฏจักรกังหันก๊าซและวัฏจักรกังหันไอน้ำ ดังตารางนี้

ตาราง 1 แสดงสภาวะมาตรฐานขององค์กรต่างๆ

Parameter	CIMAC	ASME	NERA	ISO
อุณหภูมิ	15	80	80	59
ความดันบรรยากาศ	1.03mbar	14.17	14.17	14.7
ความชื้นสัมพัทธ์	60%	50		60

CIMAC = International Council on Combustion Engines

ASME = The American Society of Mechanical Engineers

NERA = National Electrical Manufacturers Association

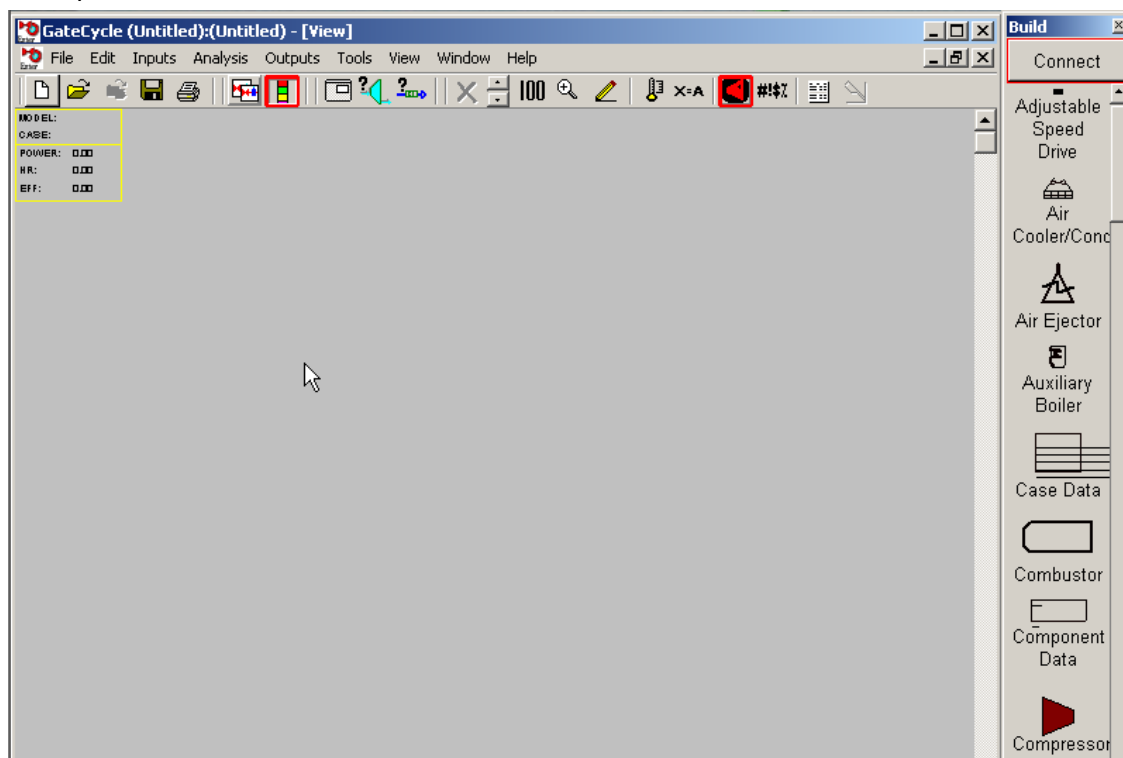
ISO = International Organization for Standardization

2.2 ทฤษฎีของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

โปรแกรมเกทไซเคิล (Gate Cycle) เป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่มีความสามารถในการประเมินและวิเคราะห์สถานการณ์ต่างๆของโรงไฟฟ้า โดยการสร้างแบบจำลองทางสมดุลทางความร้อน และมีคุณสมบัติในการสร้างการสมดุลความร้อนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนหรือระบบต่างๆที่มีการใช้พลังงาน ในสถานะที่ออกแบบ และสถานะอื่นๆที่นอกเหนือจากที่ออกแบบไว้

โปรแกรมเกทไซเคิลตามภาพประกอบ 7 เปิดโอกาสให้สร้างแบบจำลองต่างๆตามความต้องการของแบบทำงานจริงหรือระบบที่ความซับซ้อน ให้อยู่ได้ในชุดซอฟต์แวร์เดียว จากการทำงานที่มีการคำนวณและตารางเพื่อจำลองสถานการณ์ของวงจรการทำงานของระบบที่มีการควบคุมและเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรในการทำงานจริงและสามารถวิเคราะห์การถดถอยของโรงไฟฟ้าได้ โปรแกรมเกทไซเคิลเป็นเครื่องมือใช้ในการออกแบบให้ได้จุดสูงสุด หรือจำลองสถานการณ์การเดินเครื่องโรงไฟฟ้าที่มีอยู่ ภายใต้เงื่อนไขการเดินเครื่องที่หลากหลายได้

การกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบแบบจำลองเพื่อทำการจำลองสถานการณ์ได้หลายกรณี และครอบคลุมความหลากหลายของตัวแปรที่มีผลต่อการเดินเครื่อง เมื่อนำแบบจำลองมาใช้งาน มีกระบวนการคิดแบบตามลำดับก่อนหลัง ช่วยแก้ปัญหาความวุ่นวายและสมดุลพลังงานทั้งแบบโดยรวมโรงไฟฟ้าและแบบเป็นส่วนประกอบย่อยๆ การรายงานอย่างละเอียดโดยอัตโนมัติ ถ้าเงื่อนไขอุปกรณ์ไม่สามารถจะทำการสมดุลความร้อนได้ระบบจะสร้างเป็นไฟล์ที่เกิดความผิดพลาด ช่วยให้ผู้ใช้งานหาสาเหตุข้อผิดพลาดและแก้ไขแบบจำลองได้



ภาพประกอบ 7 โปรแกรมสำเร็จรูปเกทไซเคิล [ที่มา:Gate Cycle Manual]

2.2.1 ปรับรูปแบบสภาพแวดล้อมการทำงาน

การแสดงผลข้อมูลและคุณสมบัติของอุปกรณ์ ตามแบบจำลองโรงไฟฟ้าในสถานการณ์จริงสามารถแสดงผ่านหน้าจอแบบ วินโดว์ (Window) และสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างแบบจำลองได้ การค้นหาอุปกรณ์ที่ไม่ครบถ้วนของแบบจำลองได้อย่างรวดเร็วด้วยการจัดลำดับ เครื่องหมายอุปกรณ์จะถูกจัดกลุ่มตามชนิดโรงไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการตรวจสอบแบบจำลองถึงความถูกต้องและยังสามารถจัดกลุ่มได้เอง การสร้างแบบจำลองด้วยรูปภาพตามต้องการสามารถสร้างแบบจำลองได้เหมือนกับการสร้างแผนภูมิในแผ่นงานนำเสนอ ด้วยการเลือกชิ้นส่วนของอุปกรณ์จากกล่องเครื่องมือลากชิ้นส่วนนั้นลงในแบบจำลองและเชื่อมต่อแต่ละชิ้นส่วนด้วยการ ลากสัญลักษณ์เชื่อมต่อลงในแบบจำลอง การใส่ข้อมูลลงในแบบจำลองประจำอุปกรณ์ทำได้โดยการตัดต่อ สร้างสำเนา ตัดแปะ ยกเลิก และทำซ้ำ ได้ในแบบจำลองเดียวกันหรือข้ามระหว่างแบบจำลองต่างๆ มีเครื่องมือช่วยในการกรอกข้อมูลลงในแบบจำลอง โดยการแสดงช่องที่ต้องการกรอกข้อมูลที่ซึ่งมีข้อมูลแรกเริ่มให้ (ซอฟต์แวร์จะมีข้อมูลเบื้องต้นที่เหมาะสมให้ในหลายช่องข้อมูล) ระบบจะมีการตอบสนองให้ใช้ได้ทั้งระบบหน่วยแบบ SI และแบบอังกฤษ หรือแม้กระทั่งหน่วยอื่นๆที่กำหนดเอง และยังมีระบบช่วยนำการกรอกข้อมูลและระบบช่วยเหลือที่ง่ายต่อการใช้งาน ช่วยสนับสนุนการสร้างแบบจำลอง

เพื่อเพิ่มความสามารถในการแสดงผลซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์เอ็กเซล (Microsoft Excel) และแสดงผลที่ไมโครซอฟต์เอ็กเซลได้

2.2.2 คุณสมบัติของโปรแกรมเกทไซเคิล

- ผสมผสานการวิเคราะห์แบบหลากหลายเช่นการวิเคราะห์ที่ไม่ใช่การออกแบบอย่างสมบูรณ์ หรือออกแบบอุปกรณ์ใหม่ตามต้องการ
- เพื่อเป็นเครื่องมือในการตรวจรับโรงไฟฟ้า (Acceptant Performance Test)
- สามารถสร้างตารางและคำสั่งอัตโนมัติของแบบจำลองสถานการณ์ที่ต้องควบคุม
- รวมข้อมูลแบบจำลองเป็นไฟล์เดียวและจัดกลุ่มข้อมูลทุกๆแบบจำลองที่จำเป็นรวมอยู่ในไฟล์เดียวเพื่อง่ายต่อการประมวลผล
- สามารถใช้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์การถดถอยโรงไฟฟ้าเมื่อเดินเครื่องสูงสุด
- สามารถคาดการณ์ของการเดินเครื่อง

2.3 บทปริทัศน์วรรณกรรม (Literature Review)

จากการสืบค้นหาข้อมูลและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้เป็นการทบทวนผลงานวิจัยของบุคคลต่าง ๆ ที่ผ่านมามีลักษณะคล้ายคลึงทั้งส่วนภายในประเทศและต่างประเทศมีบุคคลที่ได้ศึกษาทำวิจัยดังนี้

ขรรค์ชัย สิริรัชตพงษ์⁽¹⁾ ได้ทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม น้ำ พอง ประกอบด้วยแบบจำลองย่อยของกังหันก๊าซ เครื่องกำเนิดไอน้ำความร้อนร่วม กังหันไอน้ำ เครื่อง ควบแน่น และหอผึ่งลม ได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อประเมินสมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่สภาวะ ต่างๆ และได้รับการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการทำงานจริง พบว่ามีความแม่นยำสูงส่วนผลของการประเมินสมรรถนะการทำงานของโรงไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ ด้วย แบบจำลองที่สร้างขึ้น พบว่าอุณหภูมิอากาศทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันก๊าซ มีผลอย่างมากต่อ พลังงานไฟฟ้าและอัตราการใช้ความร้อนของโรงไฟฟ้า เมื่ออุณหภูมิอากาศเข้าลดลงจาก 33 °C เป็น 5 °C ทำให้พลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 6.8%และอัตราการใช้ความร้อนเพิ่มขึ้น 1.4%ส่วนอัตรา การไหลของน้ำหล่อเย็น(ระหว่าง17,000-31,000m³/h) และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ(ระหว่าง 11.51-21 °C) พบว่ามีผลน้อยต่อสมรรถนะของโรงไฟฟ้า

วุฒิพงษ์ จันทรศรี⁽²⁾เป็นงานวิจัยเพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้า พลังงาน ความร้อนร่วม เมื่อพิจารณาถึง ประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย และมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการเดินเครื่อง โรงไฟฟ้าในช่วงโหลดไฟฟ้าที่ผลิตได้รวม 37.24, 47.38, 57.40, 60.28 และ 63.16 MW โดยที่แต่ละ ค่าโหลดได้ตรวจวัดข้อมูลที่ตำแหน่งต่างๆ ของแต่ละอุปกรณ์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการ วิเคราะห์และประเมิน ค่าต่างๆข้างต้น โดยในการประเมินค่าใช้จ่ายจะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าต่อชั่วโมงการทำงาน และค่าใช้จ่ายที่ต้องชดเชยให้ กับสังคม เนื่องจากการปล่อยมลภาวะต่อชั่วโมงการทำงาน ทั้งนี้ค่าโหลดที่ให้ผลรวม ของต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำสุด จะเป็นจุดที่เหมาะสมสำหรับการเดินเครื่อง ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องต่อชั่วโมง ประกอบด้วย ต้นทุน แปรผัน และ ต้นทุนคงที่ โดยต้นทุนแปรผันประกอบด้วย ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง ต้นทุนค่าน้ำ หมุนเวียนใน ระบบการผลิตไอน้ำ และต้นทุนที่เกิดจากการซ่อมบำรุงเครื่องจักร สำหรับต้นทุนคงที่เนื่องจากไม่ สามารถล่วงรู้ข้อมูลจริงได้ จึงใช้ข้อมูลอ้างอิง โดยกำหนดให้มีค่าเป็น 15.675 % ของเงินลงทุนในครั้ง แรกตลอดอายุการใช้งาน จาก การศึกษาตามกรรมวิธีข้างต้นพบว่า ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดเกิดขึ้นที่โหลด 63.16 MW และสูงสุดที่ค่าโหลด 37.24 MW

นราพงศ์ พองพรหม⁽³⁾ศึกษาและพัฒนาเทคนิคในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะที่มีผล ต่อระบบกังหันก๊าซของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมพระนครใต้ชุดที่ 1 ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ สภาวะอากาศด้านเข้าเครื่องอัดอากาศ คุณสมบัติของเชื้อเพลิง และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ต่างๆ อาทิเช่น เครื่องกรองอากาศ เครื่องอัดอากาศ และเครื่องกังหันก๊าซ เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ปัจจัย ดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงต่อสมรรถนะของระบบที่ทำการศึกษา งานวิจัยนี้ยังได้ทำการพัฒนา โมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบกังหันก๊าซเพื่อใช้ในการคำนวณสมรรถนะของระบบ ตลอดจน การศึกษาหาจุดเหมาะสมในการเดินเครื่อง ซึ่งแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้สามารถทำนาย สมรรถนะของระบบกังหันก๊าซของโรงไฟฟ้าร่วมอื่นๆได้

ชัชวาล เขียวละลิม⁽⁴⁾ ได้ศึกษาทางด้านการแลกเปลี่ยนความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่มีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นทำให้เราจำเป็นต้องมีการศึกษาและวิจัยเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น สำหรับโรงงานนี้เป็นการศึกษาแฟกเตอร์ต่างๆ ที่มีผล เช่น การติดครีป การใส่สปริงและการใส่แผ่นบีด ที่จะส่งผลถึงประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะทำการศึกษาโดยจะทำการเปลี่ยนคุณลักษณะการไหลของท่อทางด้านในเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการไหล ในท่อทางด้านในเพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างการไหลในท่อทางด้านในที่จะส่งผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อน อีกทั้งยังมีอิทธิพลให้เกิดการลดลงของความดัน (Pressure Drop) ซึ่งเราต้องการการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีแต่การลดลงของความดันต่ำสุด จากนั้นนำผลซึ่งก็คือ อุณหภูมิและความดันที่ลดลงเปรียบเทียบกับท่อเรียบปกติ ซึ่งผลสรุปโดยรวมปรากฏว่าที่อัตราการไหลต่ำท่อสปริงจะดีกว่าท่อแผ่นบีดและที่อัตราการไหลสูง ท่อแผ่นบีดจะดีกว่าท่อสปริง

สวรรยา แยมสกุลณา⁽⁵⁾ งานวิจัยด้านชีวมวลซึ่งเป็นแหล่งพลังงานซึ่งได้รับความสนใจเนื่องจากมีปริมาณมากมายและราคาถูก ชีวมวลถูกนำมาใช้ในการผลิตพลังงานในรูปแบบที่ต้องการ เช่น นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยการเผาชีวมวลรวมกับถ่านหิน และส่งผ่านความร้อนไปให้กับน้ำเพื่อผลิตไอน้ำและพลังงานจากไอน้ำถูกใช้ไปในการขับเคลื่อนกังหัน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นการใช้ชีวมวลรูปแบบหนึ่งให้เกิดประโยชน์ในการลดต้นทุนในการผลิตไอน้ำ บทความนี้มุ่งประเด็นที่การจำลองสถานการณ์ ของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม กระบวนการประกอบด้วยหม้อไอน้ำฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน 2 เครื่อง ท่อรวมไอน้ำ กังหันและเครื่องผลิตไฟฟ้า 2 เครื่อง โดยศึกษาผลกระทบของชนิดเชื้อเพลิงชีวมวล ต่อผลการผลิตไอน้ำและการกระจายภาระงานให้แก่หม้อไอน้ำ และกังหันผลิตไฟฟ้าที่ภาวะภาระงานต่างๆ โดยใช้ข้อมูลจากโรงงานกระดาษสยามคราฟท์อุตสาหกรรมจำกัด ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อไอน้ำและกังหันผลิตไฟฟ้า พร้อมทั้งศึกษาความไวต่อความคลาดเคลื่อน ของข้อมูลที่ใช้ในการจำลองภาวะ จากการศึกษาพบว่าทางเลือกใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไอน้ำขึ้น กับราคาและค่าความร้อน ส่วนการกระจายภาระงานให้แก่กังหันไอน้ำ เครื่องที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ต่ำกว่าจะได้รับมอบภาระที่น้อยกว่า โดยยังสามารถผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณเท่าเดิม แต่มีพลังงานความร้อนเหลือใช้ในกระบวนการน้อยลง

Thomas Baumgart⁽⁶⁾ ได้ทำการศึกษารื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก ศึกษาโดยใช้ชิ้นส่วนไบพัดคอมเพรสเซอร์วิลของเครื่องเทอร์โบชาร์จเจอร์ รุ่น “3K – Warner KP31” ซึ่งเป็นเครื่องเทอร์โบชาร์จเจอร์ที่มีขนาดเล็กที่สุดของยนตร์ในปัจจุบันโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอมเพรสเซอร์วิลเพียง 33 mm. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไบพัดเทอร์ไบน์เพียง 31 mm. เป็นแนวความคิดในการสร้างเครื่องยนต์กังหันก๊าซที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยใช้โรเตอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันมาเป็นส่วนประกอบอย่างใดก็ตามอาจจะเป็นการยากเกินไปที่จะออกแบบ

เครื่องยนต์ให้เป็น Compressor Wheel อันเล็ก ๆ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดดังนั้นอุปกรณ์ชนิดนี้จึงไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ขับเคลื่อนแต่สามารถใช้เป็นตัวเลือกในการเป็นต้นกำลังในด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าได้

Jurgen Stempf⁽⁷⁾ ได้ทำการศึกษาเรื่อง การออกแบบ Mold SDM เพื่อการคิดค้นชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีความซับซ้อนของเซรามิกในการใช้งานด้านต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น เป็นส่วนประกอบของเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก สำหรับเป็นองค์ประกอบของเครื่องยนต์และชิ้นส่วนเซรามิกจะต้องไม่เพียงแต่แข็งแรงทนทานเท่านั้น แต่ต้องมีขนาดที่ถูกต้องและมีคุณภาพของผิวงานที่ดีเลิศ เครื่องยนต์กังหันแก๊สนั้นกำลังเป็นที่สนใจเนื่องจากจะเป็นเครื่องยนต์ที่มีกำลังมากขึ้น แต่ขนาดของเครื่องจะเล็กลง ความหนาแน่นของพลังงานจะเป็นอัตราส่วนกับแรงขับเคลื่อนน้ำหนัก อย่างไรก็ตามเมื่อขนาดของเครื่องยนต์ลดลงนั้นประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ก็อาจจะลดลงเช่นกัน ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานทางผู้ทำการวิจัยจึงเลือกใช้วัสดุ Si_3N_4 ซึ่งจัดเป็นวัสดุที่ดีที่สุดสำหรับการนำไปใช้ทำเทอร์ไบน์ของเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็กเนื่องจากมีความหนาแน่นที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่นๆ และยังมีคุณสมบัติทางความร้อนที่ดีกว่า

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าผู้ดำเนินงานวิจัยได้แบ่งแนวทางออกเป็น 2 แนวทาง คือ การออกแบบและสร้างเครื่องทดลองต้นแบบ และ การทดสอบประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม แนวทางที่น่าสนใจโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดสอบประสิทธิภาพ หลังจากการสร้างเครื่องได้นำเครื่องมือวัดหลาย ๆ ประเภทมาช่วยวิเคราะห์ปัญหาของค่าตัวแปรและปัจจัยของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่คาดว่าอาจมีแนวโน้มทำให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ และได้พบว่าวัสดุที่ทนความร้อนสูง ๆ จะทำให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและใช้ค่าความร้อนที่น้อยลงได้

บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

สำหรับการออกแบบและการคำนวณค่าประสิทธิภาพ ค่าความร้อนของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ และโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมนั้นมีหลักการและองค์ประกอบของขั้นตอนที่สำคัญหลายส่วนที่ใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการคำนวณ เช่น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ อัตราการใช้เชื้อเพลิง การสิ้นเปลืองความร้อน และค่าความร้อนของกังหันก๊าซ ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกโรงไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อสัญญาณข้อมูลมายัง ศูนย์สมรรถนะโรงไฟฟ้า ของฝ่ายประสิทธิภาพการผลิต การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเพื่อเป็นแนวทางของการออกแบบและการคำนวณ โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้การทำงานวิจัยดังนี้

- ชุดเซิร์ฟเวอร์ (Server) ตามภาพประกอบ 8
- ชุดโปรแกรมเชื่อมต่อข้อมูลกับโรงไฟฟ้าตามภาพประกอบ 9
- ชุดโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบจำลองโรงไฟฟ้าตามภาพประกอบ 10

ชุดเซิร์ฟเวอร์ มีหน้าที่จัดเก็บข้อมูลการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้า ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่มีการเชื่อมต่อสัญญาณจากโรงไฟฟ้ามายังศูนย์ประสิทธิภาพและแสดงผลการเดินเครื่องของช่วงเวลาที่ผ่านมา เพื่อตรวจสอบติดตามข้อมูลต่างๆของโรงไฟฟ้าและดูแนวโน้มของข้อมูลการเดินเครื่องสำหรับอุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบเป็นพิเศษ

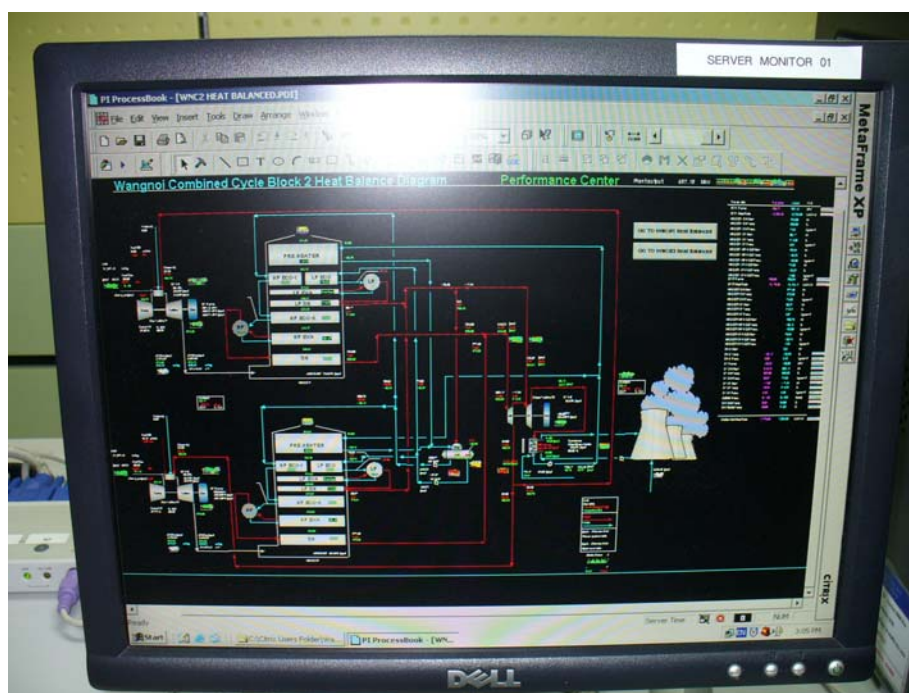
ชุดโปรแกรมเชื่อมต่อข้อมูลกับโรงไฟฟ้า ทำหน้าที่นำข้อมูลจากโรงไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อสัญญาณมายังชุดเซิร์ฟเวอร์และสามารถดูข้อมูลการเดินเครื่องขณะที่มีการเดินเครื่องจริง

ชุดโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบจำลองโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ทำหน้าที่คำนวณอัตราความร้อนและคำนวณประสิทธิภาพ โดยการนำเอาข้อมูลจากชุดเชื่อมต่อข้อมูลเชื่อมต่อเข้ากับโปรแกรมเพื่อใช้คำนวณและแสดงผลเป็นผลการคำนวณของอัตราความร้อนและประสิทธิภาพ ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมในขณะที่เกิดขึ้นจริง ถ้าใช้ข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์จะเป็นการคำนวณผลที่ได้ผ่านมาแล้ว

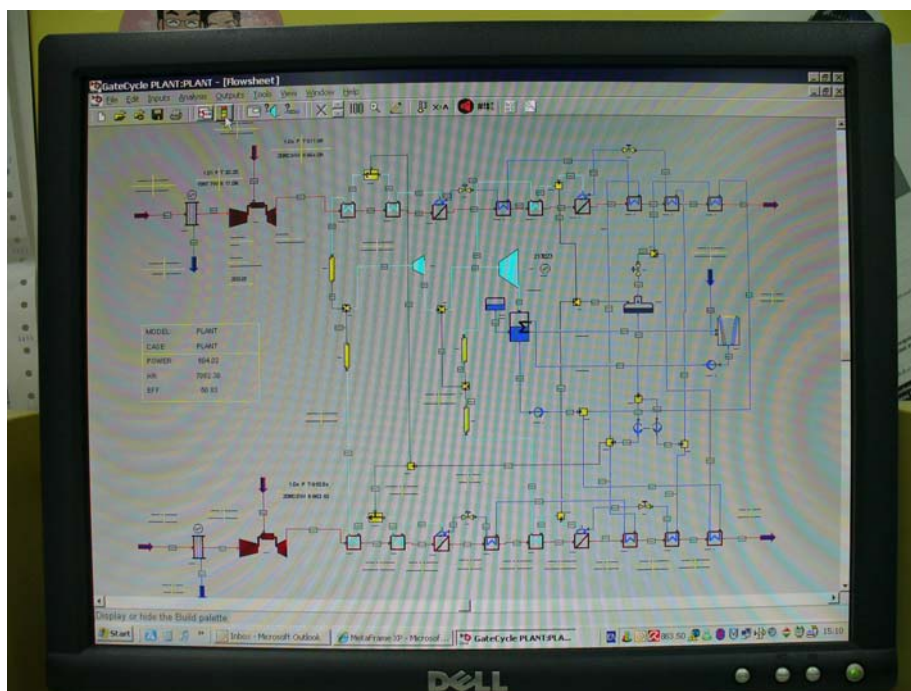
จากหลักการเบื้องต้นนี้ได้นำมาใช้เป็นการทำงานของระบบการคิดคำนวณขณะที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้ข้อมูลจากชุดเชื่อมต่อข้อมูลตรง หากต้องการคำนวณค่าย้อนหลังก็ใช้ค่าจากเซิร์ฟเวอร์มาคำนวณอัตราความร้อนและประสิทธิภาพ



ภาพประกอบ 8 ชุดเซิร์ฟเวอร์ (Server)



ภาพประกอบ 9 ชุดโปรแกรมเชื่อมต่อข้อมูลสถานะที่เกิดขึ้นจริงกับโรงไฟฟ้า



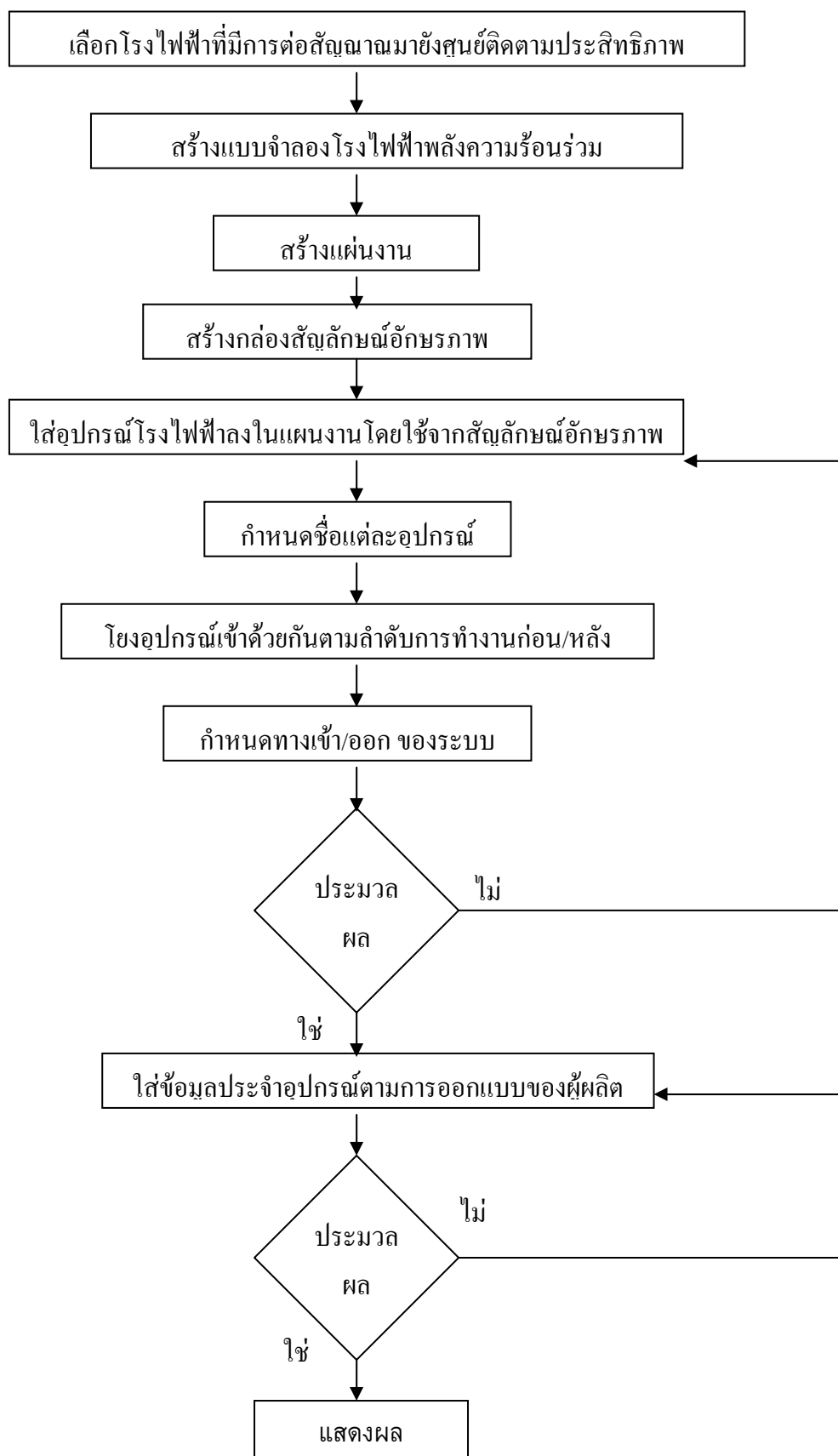
ภาพประกอบ 10 โปรแกรมคำนวณอัตราความร้อนและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม

3.1 การออกแบบโปรแกรม

การออกแบบโปรแกรมคำนวณอัตราความร้อนและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมต้องวางแผนการทำงานของโปรแกรมและที่มาของแหล่งข้อมูลและแบบจำลองให้เหมือนกับโรงไฟฟ้าต้นแบบทุกประการแล้วใส่ข้อมูลประจำอุปกรณ์ตามผู้ผลิตออกแบบไว้ เมื่อประมวลผลแล้วได้ผลลัพธ์จะเปรียบเทียบกับการทำงานตามมาตรฐาน ASME

- นำโปรแกรมของเกทไซเคิลมาออกแบบเพื่อสร้างแบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (กังหันก๊าซ 2 หน่วยผลิตและกังหันไอน้ำ 1 หน่วยผลิต)

- เลือกโรงไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อสัญญาณมายังศูนย์ตรวจติดตามประสิทธิภาพ
- สร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้าที่ได้เลือกไว้
- ใส่ข้อมูลของอุปกรณ์ภายในโรงไฟฟ้าทั้งหมด
- เชื่อมต่อสัญญาณจากโรงไฟฟ้าเข้าโปรแกรมที่สร้างไว้
- ทำการคำนวณค่าอัตราความร้อน และ ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า
- ตรวจสอบความถูกต้อง
- เปรียบเทียบผลกับการคำนวณตามข้อกำหนดของ ASME PTC22 และ 46



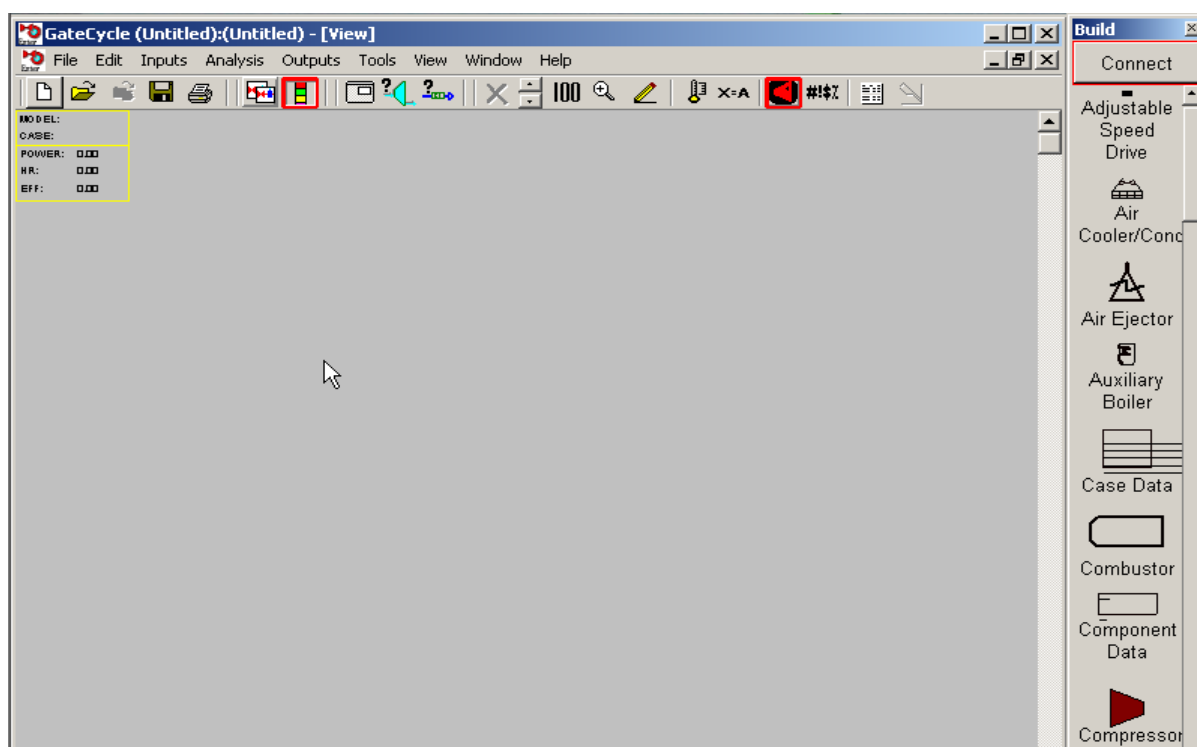
ภาพประกอบ 11 แผนผังการสร้างโปรแกรมการคำนวณประสิทธิภาพและอัตราความร้อน โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

3.2 การสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้าเพื่อใช้คำนวณค่าอัตราความร้อนและประสิทธิภาพ

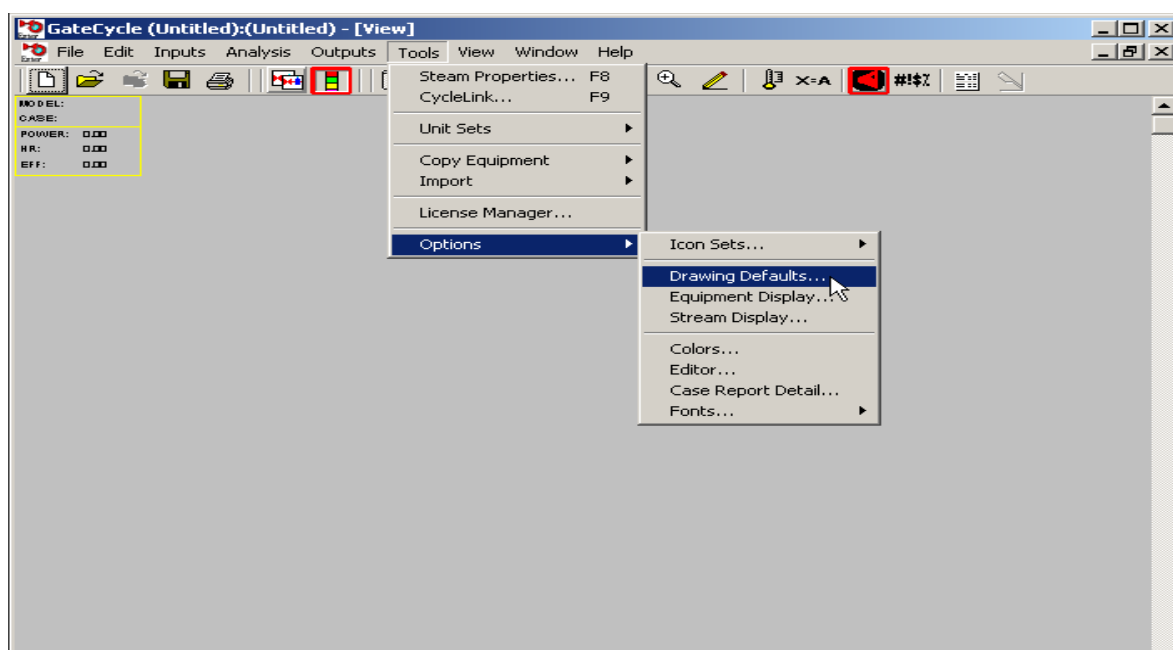
การสร้างแบบจำลองเพื่อทำการคำนวณผลที่เป็นแบบที่เกิดขึ้นจริงและแบบการคำนวณผลย้อนหลังจะต้องสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้าโดยใส่อุปกรณ์ครบทั้งโรงไฟฟ้าแล้วตรวจสอบถูกต้องของโปรแกรมโดยการสร้างโปรแกรกดังนี้

- 1 เลือกไฟล์คำสั่งเปล่าเพื่อสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้า ตามภาพประกอบ 12
- 2 เลือกตัวช่วยหรือสัญลักษณ์ตัวอักษรภาพเพื่อสะดวกในการสร้างแบบจำลองตามภาพประกอบ 13 โดยเข้าเมนูเครื่องมือ เลือก ครออิง ดีฟอลท(Drawing Defaults)
- 3 กำหนดขนาดรูปแบบและตัวสัญลักษณ์อักษรภาพตามภาพประกอบ 14 เพื่อเลือกขนาดของอุปกรณ์ต่างๆให้เหมาะสมกับจำนวนอุปกรณ์ทั้งหมด
- 4 เลือกอุปกรณ์ของโรงไฟฟ้าตามตัวสัญลักษณ์อักษรภาพจากกรอบสัญลักษณ์อักษรภาพตามภาพประกอบ 15 เพื่อสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้า
- 5 เพิ่มอุปกรณ์ลงในหน้าที่เตรียมไว้พร้อมทั้งกำหนดชื่อของอุปกรณ์ตามภาพประกอบ 16
- 6 เพิ่มอุปกรณ์ให้ครบในระบบ เพื่อให้ระบบทำงานได้ ตามภาพประกอบ 17 โดยเลือกอุปกรณ์จากตัวสัญลักษณ์อักษรภาพให้ครบในแต่ละระบบ เพื่อระบบนั้นๆจะสามารถทำงานได้
- 7 กำหนดทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์หรือระบบ ตามภาพประกอบ 18
- 8 เชื่อมต่อสัญญาณและการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ ตามภาพประกอบ 19
- 9 กำหนดทางออกของระบบที่อุปกรณ์สุดท้ายของระบบ ตามภาพประกอบ 20
- 10 ทดลองการประมวลผลของระบบ ตามภาพประกอบ 21
- 11 เพิ่มอุปกรณ์ ป้อนแรงดันสูงและกำหนดชื่ออุปกรณ์ ตามภาพประกอบ 22 เมื่อประมวลผลแล้วพบว่าระบบไม่สามารถทำงานได้ ในระบบยังขาดป้อนแรงดันสูง
- 12 ใส่อุณหภูมิและแรงดันที่ออกจากหม้อกำเนิดไอน้ำตามภาพประกอบ 23 กำหนดค่าอุณหภูมิและแรงดันตามการออกแบบของผู้ผลิต
- 13 กำหนดทางแยกของไอน้ำไปใช้งานที่ฮีตเตอร์เพื่ออุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำ ตามภาพประกอบ 24
- 14 กำหนดอุณหภูมิและแรงดันไอน้ำที่ทางเข้าและทางออกของกังหันแรงดันสูงและแรงดันต่ำ ตามภาพประกอบ 25
- 15 ทดสอบการประมวลผลของระบบ ตามภาพประกอบ 26
- 16 แสดงผลการทำงานของระบบ ตามภาพประกอบ 27 การแสดงผลจะแสดงผลที่กรอบการแสดงผลหน้าจอ

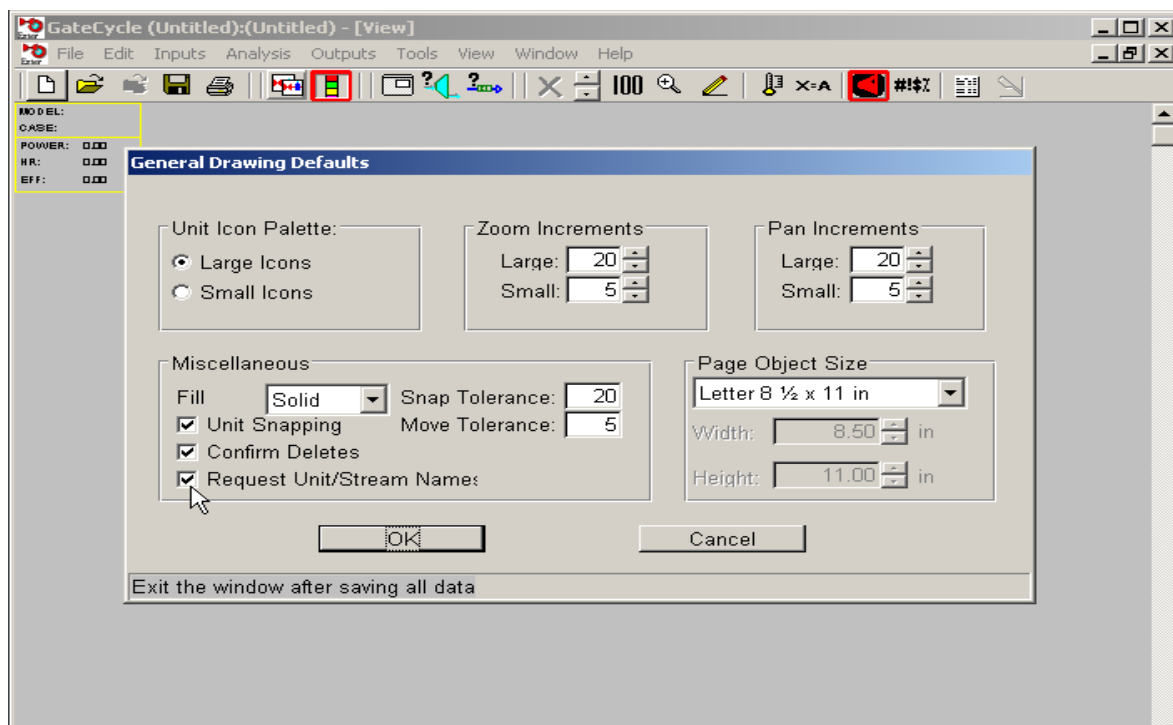
การสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้าเพื่อใช้คำนวณค่าอัตราความร้อนและประสิทธิภาพ



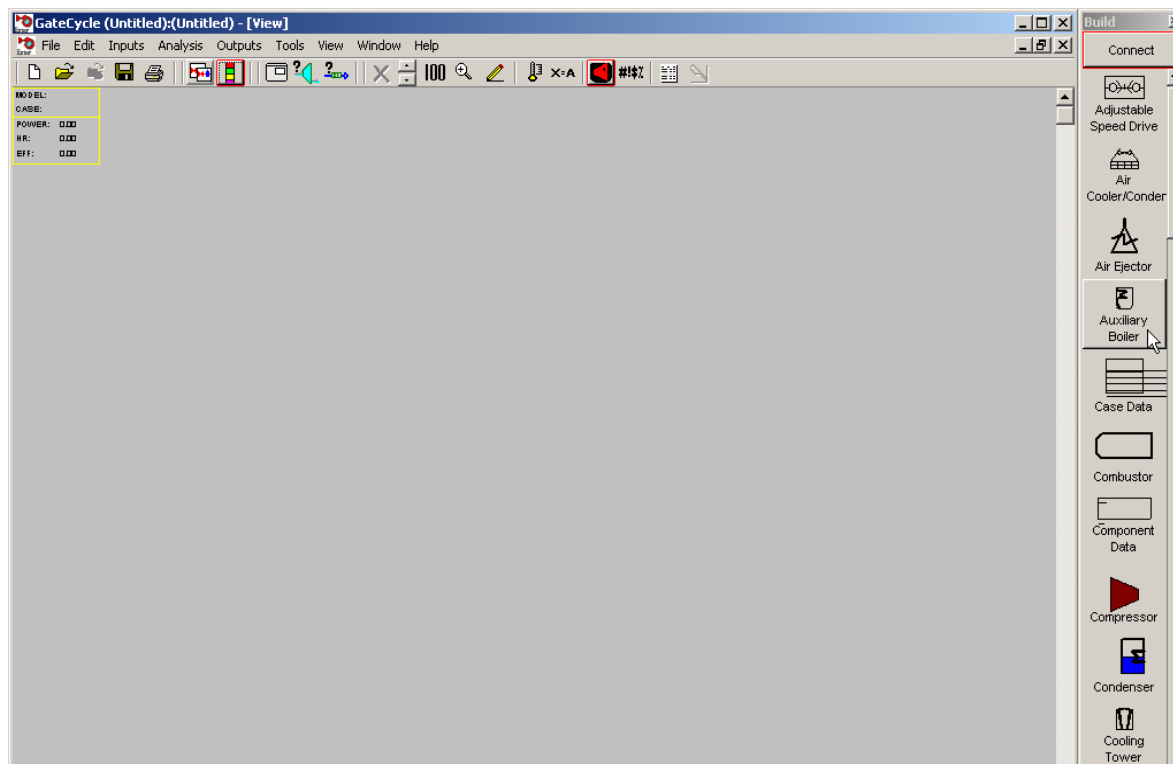
ภาพประกอบ 12 ไฟล์คำสั่งเปล่าเพื่อสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้า



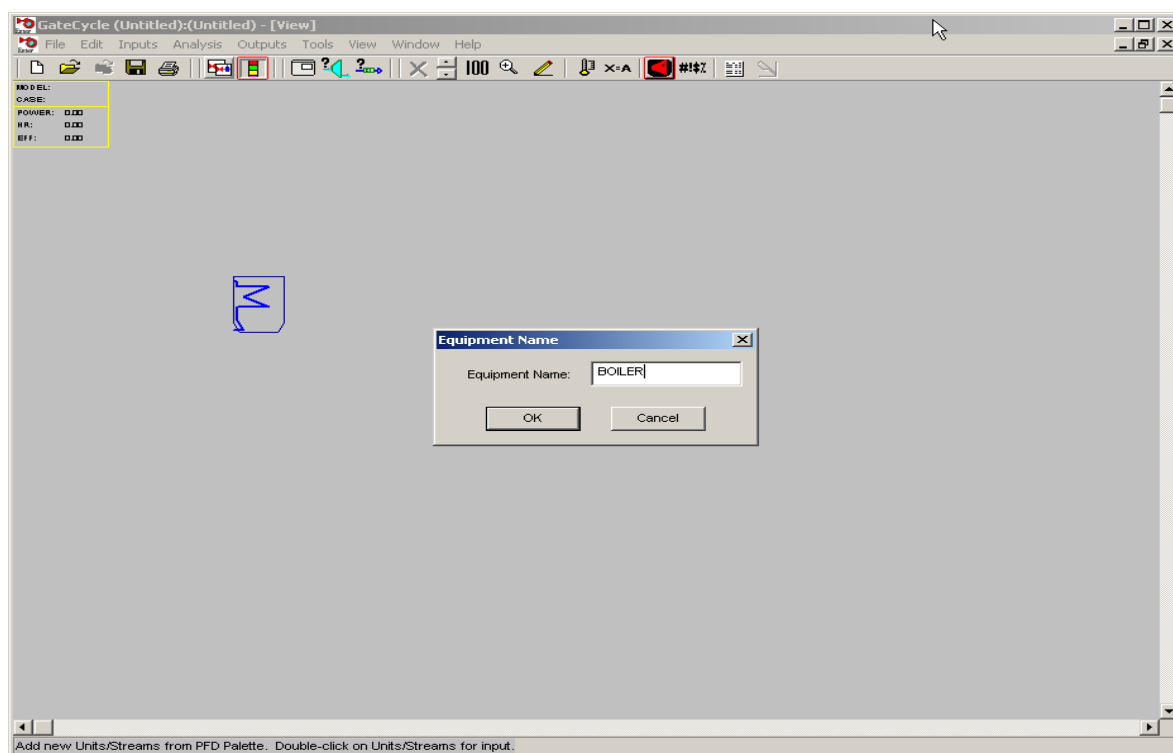
ภาพประกอบ 13 กำหนดตัวช่วยหรือสัญลักษณ์ตัวอักษรภาพเพื่อสะดวกในการสร้างแบบจำลอง



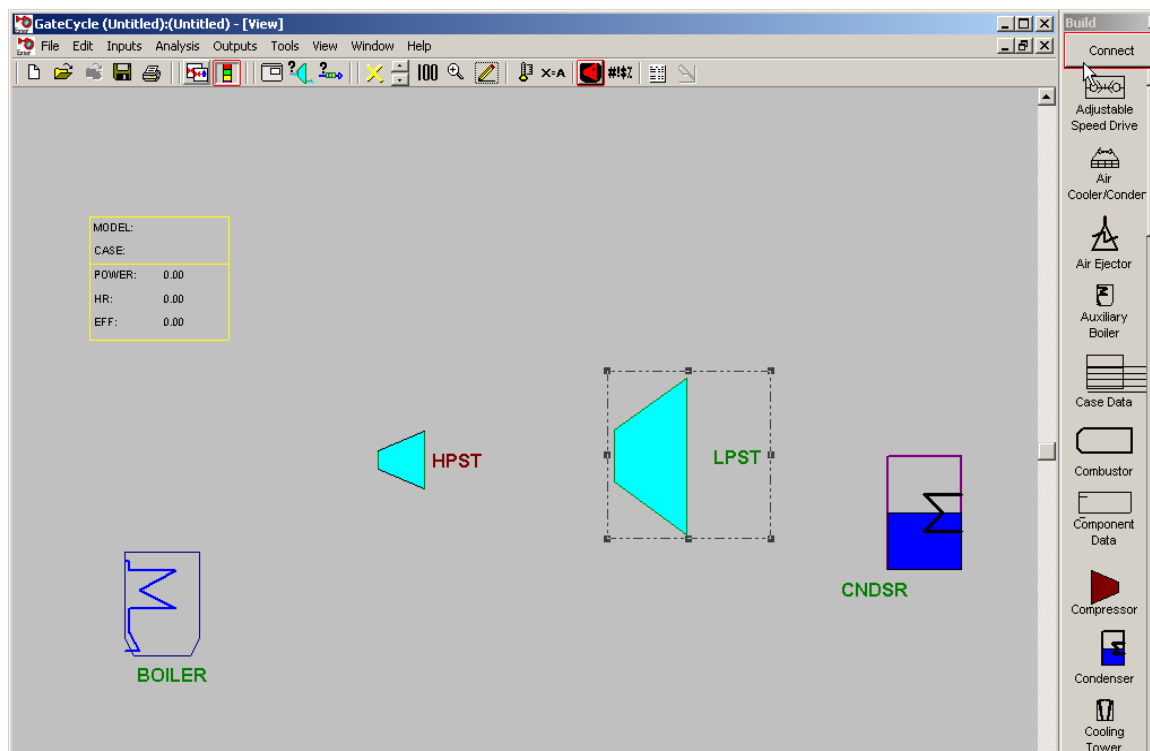
ภาพประกอบ 14 กำหนดขนาดตัวสัญลักษณ์อักษรภาพเพื่อความเหมาะสม



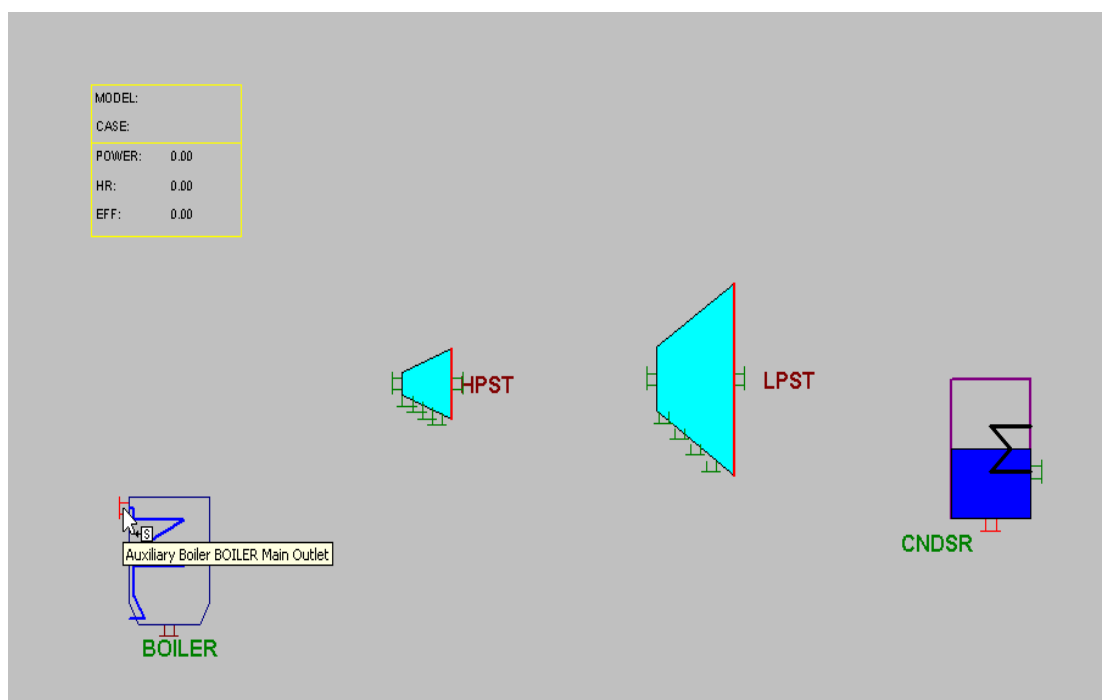
ภาพประกอบ 15 การเลือกอุปกรณ์จากกรอบภาพสัญลักษณ์อักษรภาพ



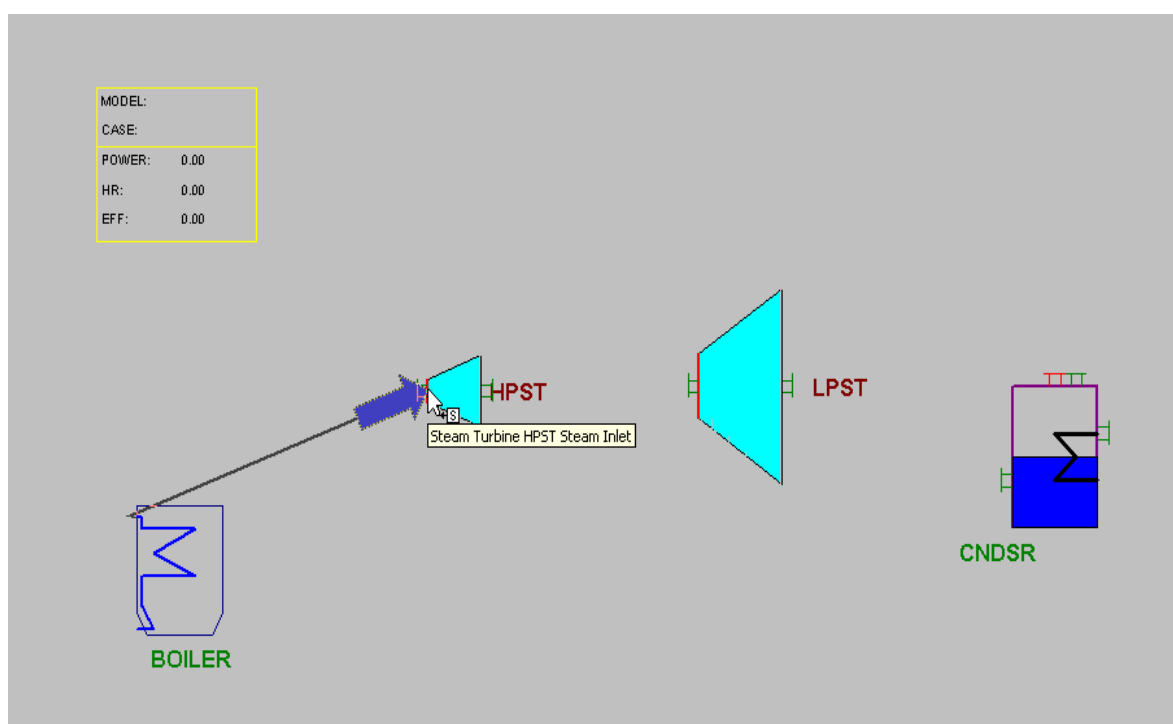
ภาพประกอบ 16 เพิ่มอุปกรณ์ลงในหน้าเตรียมไว้พร้อมทั้งกำหนดชื่อของอุปกรณ์



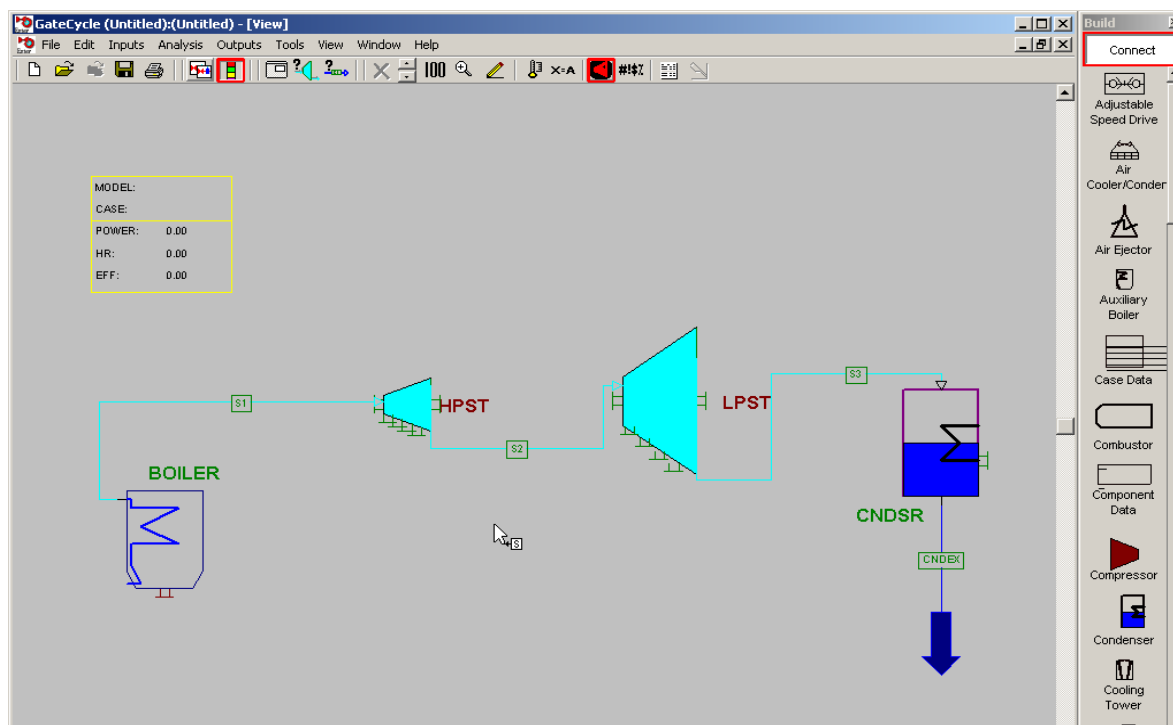
ภาพประกอบ17 เพิ่มอุปกรณ์ให้ครบในระบบ เพื่อให้ระบบทำงานได้



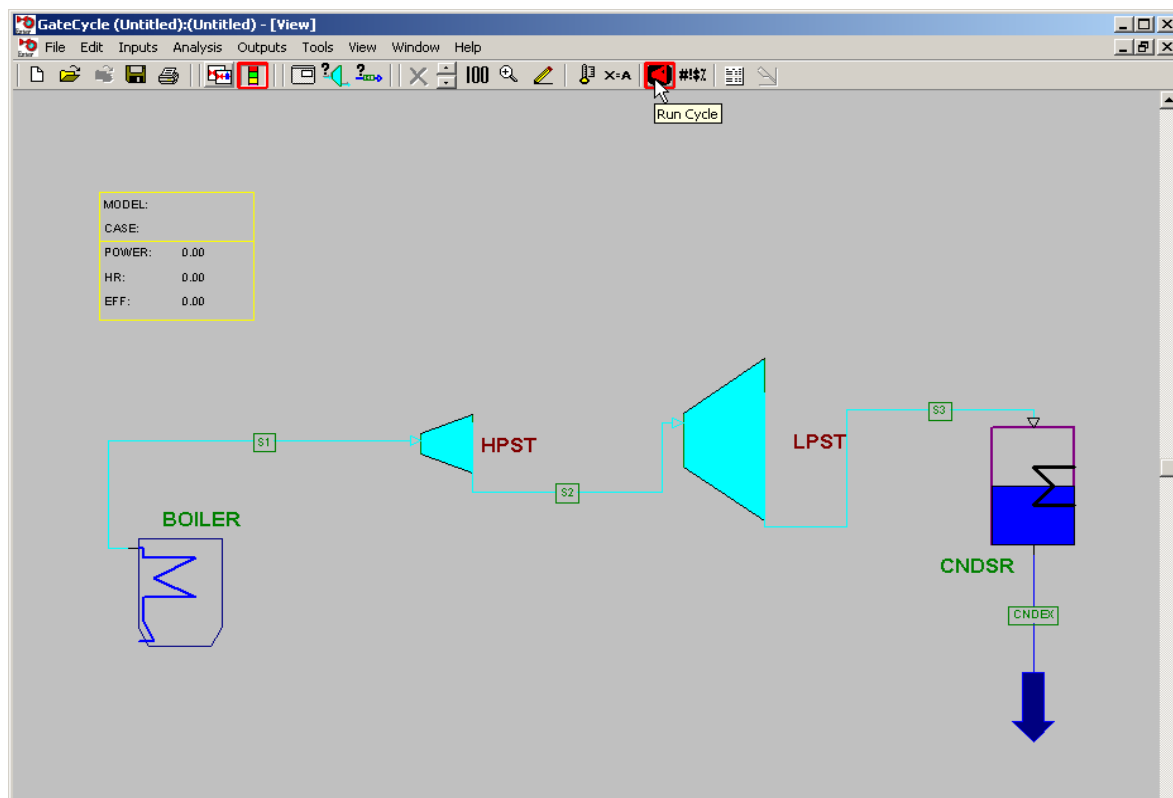
ภาพประกอบ 18 กำหนดทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์



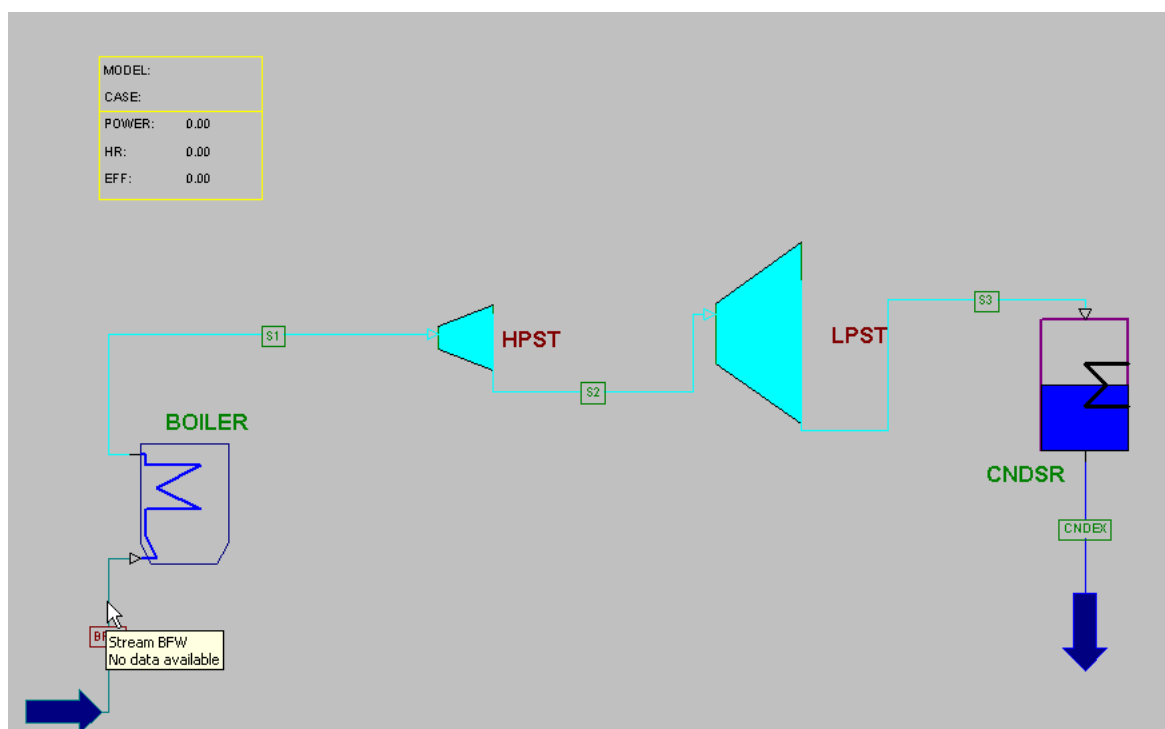
ภาพประกอบ19 เชื่อมต่อสัญญาณและการทำงานของแต่ละอุปกรณ์



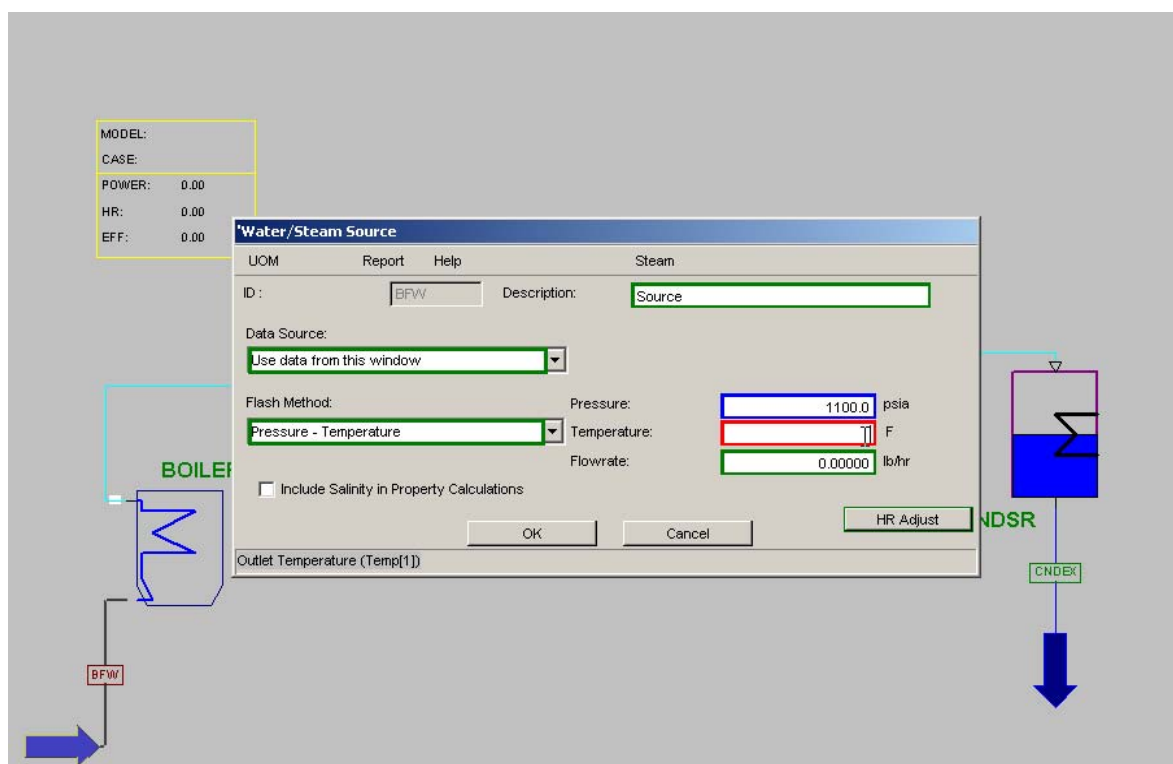
ภาพประกอบ 20 กำหนดทางออกของระบบที่อุปกรณ์สุดท้ายของระบบ



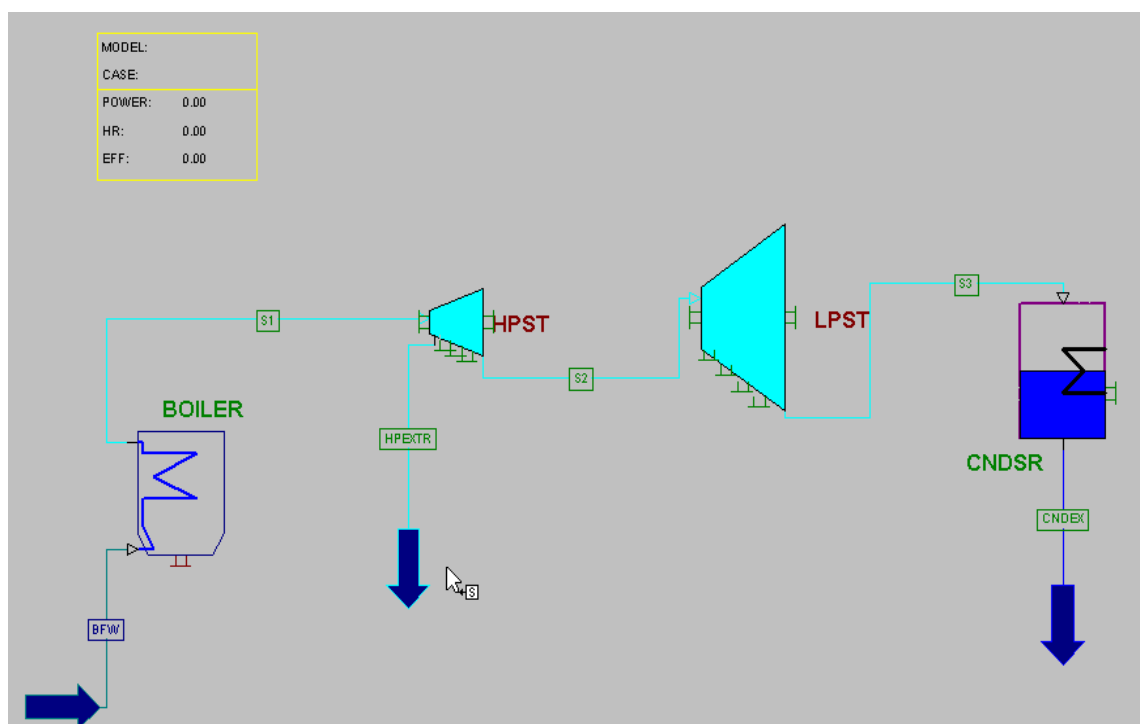
ภาพประกอบ 21 ทำการประมวลผลของระบบ



ภาพประกอบ 22 เพิ่มอุปกรณ์ปั๊มแรงดันสูงและกำหนดชื่ออุปกรณ์



ภาพประกอบ 23 ใส่อุณหภูมิและแรงดันที่ออกจากหม้อกำเนิดไอน้ำ



ภาพประกอบ 24 กำหนดทางแยกของไอน้ำใช้งานที่สเตอร์เพื่ออุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อกำเนิดไอน้ำ

Steam Turbine - Inlet/Exit Pressure Settings

UOM Define Help Steam

ID : ST1 Description: Steam Turbine

Inlet Pressure Method:
Throttle Pressure Set Upstream

Exit Pressure Method:
No Exit Pressure Drop

psia

Inlet 1469.2

Inlet or Control Valve DP: 0.020000 fraction

Bowl

Expansion Line End

Outlet

Stream ID
STEAM

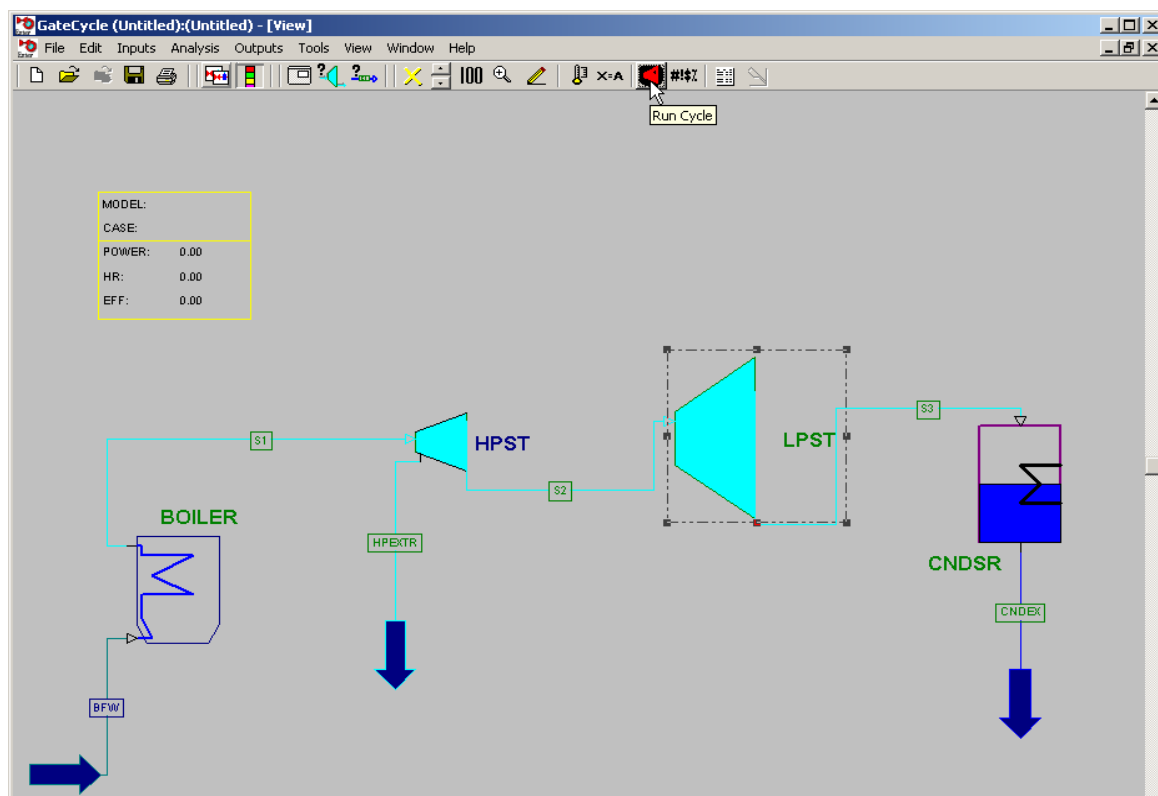
STEXIT

P-Ctrl Trigger

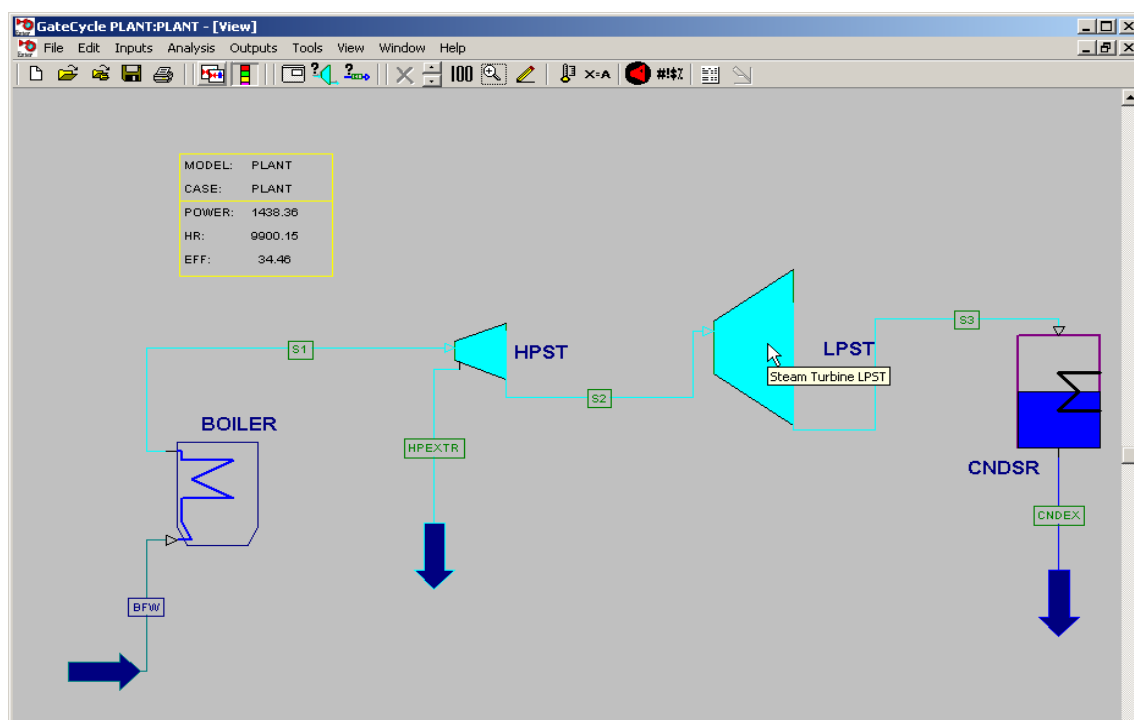
OK Cancel

Main Outlet Pressure (Pres[1])

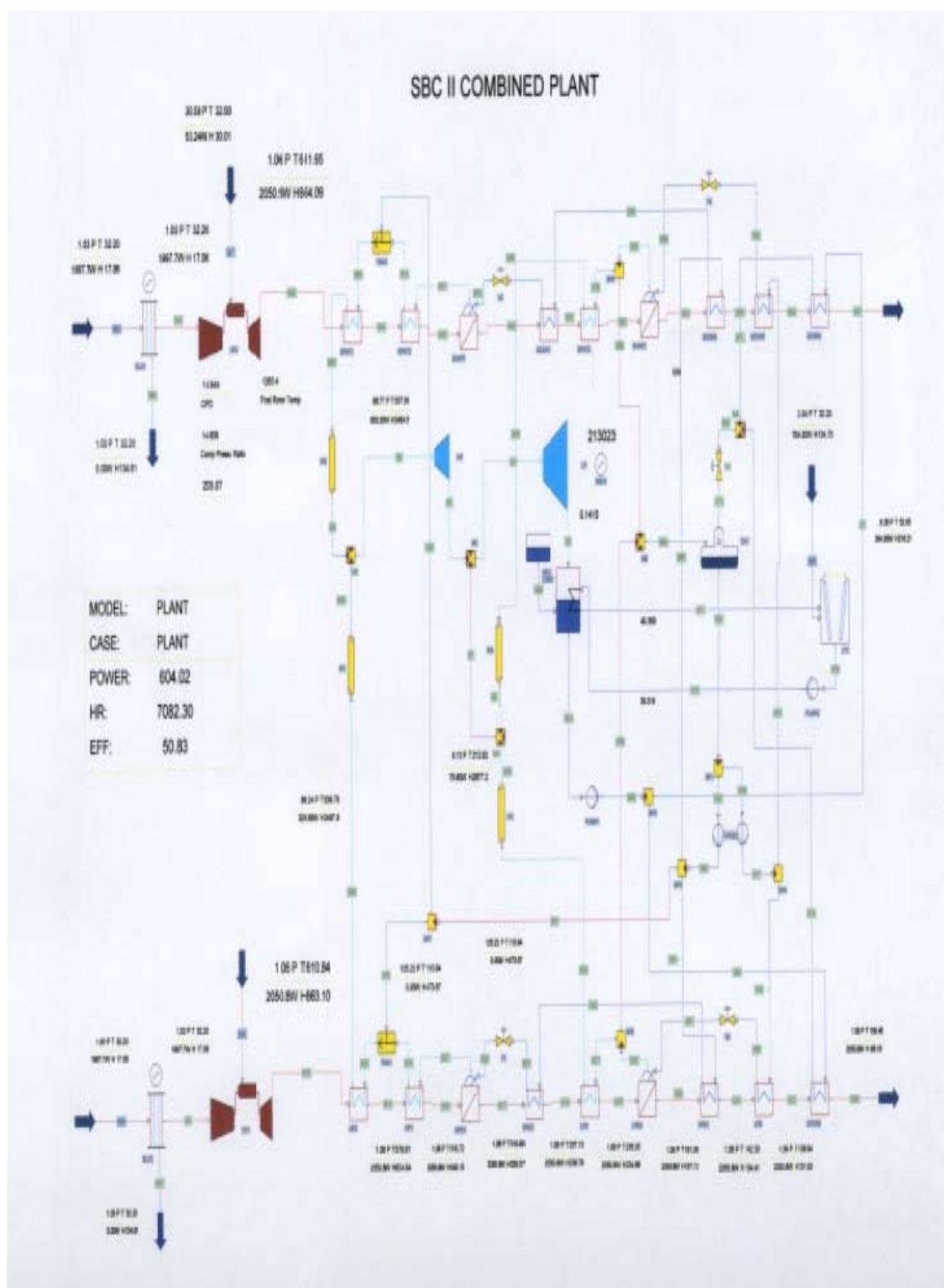
ภาพประกอบ 25 กำหนดอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ทางเข้า/ออกของกังหันแรงดันสูงและแรงดันต่ำ



ภาพประกอบ 26 ทดสอบการประมวลผลของระบบ



ภาพประกอบ 27 แสดงผลของระบบ



ภาพประกอบ 28 แบบจำลองที่สมบูรณ์ของโรงไฟฟ้าที่เลือกทำการวิจัย

3.3 วิธีทำการทดสอบ

เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ ASME PTC22 และ ASME PTC46 จะต้องเตรียมความพร้อมของโรงไฟฟ้าก่อนทำการทดสอบคืออุปกรณ์ต่างๆของโรงไฟฟ้าจะต้องพร้อมเดินเครื่องและไม่เกิดปัญหาในขณะทดสอบจนไม่สามารถทำการทดสอบได้เช่น ไม่มีปัญหาเรื่องการสั่นสะเทือน(Vibration) หรือเรื่องเชื้อเพลิง

- การทดสอบจะแบ่งออกเป็นกรณีศึกษาดังนี้

- 1 กรณีศึกษาที่ 1 ทำการทดสอบที่โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ หน่วยผลิตที่ 1 และ 2
- 2 กรณีศึกษาที่ 2 ทำการทดสอบที่โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ
- 3 ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASME PTC 22 และ ASME PTC 46 เพื่อเปรียบเทียบกับ กรณีศึกษาที่ 1 และ กรณีศึกษาที่ 2

- ทำการขอศูนย์ควบคุมเพื่อเดินเครื่องในภาวะสูงสุดของโรงไฟฟ้าในวันและเวลาที่เรากำหนด เช่น ก่อน 1 วันและระยะเวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง ถ้าศูนย์ควบคุมไม่ขัดข้องจึงทำการทดสอบได้

- ในวันทดสอบต้องเดินเครื่องที่กำลังผลิตสูงสุดตามเวลาที่กำหนดกับศูนย์ควบคุมจะต้องเดินเครื่องอย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อเข้าสู่สภาวะคงที่(Steady State) โดยดูจากค่าตาม ASME จะต้องไม่เกินค่าดังนี้

กำลังการผลิตของกังหันก๊าซ	± 2	%
อุณหภูมิบริเวณที่ว่างของเพลลา	± 2.8	%
ความดันบรรยากาศ	± 0.5	%
อุณหภูมิอากาศทางเข้าเครื่องอัดอากาศ	± 2.2	°C
อุณหภูมิด้านออกจากกังหันก๊าซ	± 2.8	°C
กำลังการผลิตของกังหันไอน้ำ	± 2	%
อุณหภูมิด้านออกของเครื่องควบแน่น	± 2.78	°C

- เมื่อโรงไฟฟ้าเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วจึงเก็บข้อมูลของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ การเก็บข้อมูลที่ต้องการจะเก็บทุก 2 นาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วนำข้อมูลที่ได้ออกมาหาค่าเฉลี่ยคือ

ความกดดันอากาศ	psia
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	°F
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	°F

ความชื้นสัมพัทธ์	%
พิกัดความชื้น	lb/lb
ความเร็วรอบ	rpm
กำลังไฟฟ้า ที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	A
แรงดันไฟฟ้า ที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	V
กำลังงานที่ใช้ภายในโรงไฟฟ้า [kW_{GAUX}]	kW
ความดันเชื้อเพลิงก๊าซ	psia
ความดันตกที่ Orifice	inch H ₂ O
อุณหภูมิของเชื้อเพลิงก๊าซ	°F
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซ(LHV)	BTU/SCF

- นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณตามมาตรฐาน ASME PTC 22 และ ASME PTC 46

- แบ่งช่วงเวลาการทดสอบออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เริ่มการทดสอบ ช่วงที่ 2 เวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ช่วงที่ 3 เวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง นำข้อมูลทั้ง 3 ช่วงเวลามาคำนวณตามกรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้นำผลลัพธ์ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง

3.4 การคำนวณค่าอัตราความร้อนของกังหันก๊าซและพลังความร้อนรวม

3.4.1 กำลังการผลิตของกังหันก๊าซที่ผลิตได้ (Gas Turbine Generator Output) จากมาตรฐาน (ASME PTC22-2005และASME PTC46-1996)

$$kW_G = \frac{3600}{1000} \cdot P_{kh} \cdot (N/T) - \frac{V \cdot A}{0.975 \cdot 1000} \quad (3-1)$$

โดยที่

kW_G	=	กำลังการผลิตของกังหันก๊าซที่ผลิตได้
N	=	จำนวนรอบของ watt-hour meter (20 รอบ)
T	=	เวลา
P_{kh}	=	ค่าคงที่ของมิเตอร์ (447,989)
3600	=	รอบ / ชั่วโมง
V	=	โวลต์ (Field voltage)
A	=	กระแส (Field current)
0.975	=	ค่าการแปลงหน่วย

3.4.2 อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซ (Fuel Gas Flow)

อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซคำนวณได้จากการวัดค่า อุณหภูมิของก๊าซ ความดันของก๊าซและความดันที่ตกคร่อมของออริฟิซโดยการวัดที่กำลังผลิตสูงสุด การคำนวณอัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซจะต้องคำนวณจาก AGA Report No.3 โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$q_m = 3600 \cdot N_1 \cdot C_d \cdot E_v \cdot Y \cdot d^2 \cdot \sqrt{\rho_{t,P} \cdot \Delta P} \quad (3-2)$$

โดยที่

q_m อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซ(lb/h)

3600 รอบ/ชั่วโมง

N_1 ค่าคงที่ = 0.09972424

C_d ส.ป.ส. ของ discharge

E_v ความเร็วของก๊าซ

Y การขยายตัวของก๊าซด้านหลัง Orifice

d ขนาดของ Orifice(inches)

ρ ความหนาแน่นของก๊าซ (lb/ft³)

ΔP ความดันที่ตกคร่อมที่ Orifice (inches of H₂O)

3.4.3 การสิ้นเปลืองความร้อน (Measured Gas Turbine Heat Consumption)

$$HC_G = \text{FuelFlow} * \text{LHV} \quad (3-3)$$

โดยที่

HC_G ค่าความสิ้นเปลืองความร้อน

Fuel Flow อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซ

LHV ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

3.4.4 อัตราความร้อนที่ใช้ (Measured Gas Turbine Heat Rate)

$$HR_G = \frac{HC_G}{kW_G} \quad (3-4)$$

โดยที่

HR_G ค่าอัตราความร้อนที่วัดได้

3.4.5 ใช้การปรับค่าไปยังสภาวะมาตรฐาน (Corrections Application)

การปรับค่าจะต้องปรับค่าต่างๆที่วัดได้ให้ไปที่ สภาวะมาตรฐานที่อุณหภูมิ 60°F (15 °C) ความดัน 14.7 psia(1.013 bar) และความชื้นสัมพัทธ์ 60% ถูกกำหนดโดยของกรณีมาตรฐานสากล International Organization for Standardization – ISO หรือเรียกว่า ที่สภาวะ ISO Condition

3.4.6 ปรับค่ากำลังของเครื่องกังหันก๊าซ (Corrected Gas Turbine Power)

$$kW_{GC} = kW_G \cdot \frac{F(1a) \cdot F(2a) \cdot F(4a)}{F(1b) \cdot F(2b) \cdot F(4b)} \cdot \frac{1}{FN} \quad (3-5)$$

โดยที่

F(1a) ค่าสูงสุดของความดันบรรยากาศที่จะปรับค่าได้

F(1b) ความดันบรรยากาศที่วัดได้

F(2a) ค่าสูงสุดของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเข้าที่จะปรับค่าได้

F(2b) อุณหภูมิและความชื้นของอากาศเข้าที่วัดได้

F(4a) ค่าสูงสุดของอัตราการฉีดน้ำเพื่อลดมลภาวะที่จะปรับค่าได้

F(4b) อัตราการฉีดน้ำเพื่อลดมลภาวะที่วัดได้

FN ปรับค่าความเร็วรอบ

3.4.7 ปรับค่าอัตราความร้อนของเครื่องกังหันก๊าซ (Corrected Gas Turbine Heat Rate)

$$HR_{GC} = HR_G \cdot \frac{F(1c) \cdot F(4c)}{F(1d) \cdot F(4d)} \cdot \frac{1}{HN} \quad (3-6)$$

โดยที่

F(1c) ค่าสูงสุดของความดันบรรยากาศที่จะปรับค่าได้ (psia)

F(1d) ความดันบรรยากาศที่วัดได้ (psia)

F(4c) ค่าสูงสุดของอัตราการฉีดน้ำเพื่อลดมลภาวะที่จะปรับค่าได้

F(4d) อัตราการฉีดน้ำเพื่อลดมลภาวะที่วัดได้

HN ปรับค่าความเร็วรอบ

3.4.8 ปรับค่ากำลังการผลิตสุทธิของกังหันไอน้ำ (Corrected Combine Cycle Net Plant Power Output)

$$kW_{CC} = (kW_G + kW_{ST}) \cdot kW_{ADCC} - kW_{AUX} \quad (3-7)$$

$$kW_{ADCC} = \frac{1}{kW_{ADCCT} \cdot kW_{ADCCB} \cdot kW_{ADCCCH} \cdot kW_{ADCCS} \cdot kW_{ADCCP} \cdot kW_{ADCCW}} \quad (3-8)$$

โดยที่

kW_{ST} กำลังผลิตของกังหันไอน้ำ (Steam turbine generator output, MW)

kW_{AUX} กำลังงานรวมที่ใช้ภายในโรงไฟฟ้า

kW_{ADCC} ปรับค่ากำลังการผลิตของกังหันไอน้ำ

kW_{ADCCT} ค่าเฉลี่ยการปรับค่าอุณหภูมิเข้ากังหันก๊าซทั้ง 2 หน่วยการผลิต

kW_{ADCCB} ค่าเฉลี่ยการปรับความดันบรรยากาศของกังหันก๊าซทั้ง 2 หน่วยผลิต

kW_{ADCCCH} ค่าเฉลี่ยของการปรับค่าความชื้นขาเข้ากังหันก๊าซทั้ง 2 หน่วยการผลิต

kW_{ADCCS} ค่าเฉลี่ยของการปรับค่าความเร็วรอบของกังหันก๊าซทั้ง 2 หน่วยผลิต

kW_{ADCCP} ปรับค่าความดันไอน้ำหลังผ่านกังหัน

kW_{ADCCW} ปรับค่าของผลรวมของอัตราการฉีดน้ำเพื่อลดมลภาวะ

3.4.9 ปรับค่าอัตราความร้อนสุทธิของกังหันไอน้ำ (Corrected Combine Cycle net plant heat rate)

$$HR_{CC} = \frac{HC_{GSTC}}{kW_{CC}} \quad (3-9)$$

$$HC_{GSTC} = \sum_{1,2} [kW_{GC} \cdot HR_{GC}] \quad (3-10)$$

โดยที่

HR_{CC} ปรับค่าอัตราความร้อนสุทธิของกังหันไอน้ำ

HC_{GSTC} ปรับค่าความสิ้นเปลืองความร้อน

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคำนวณหาค่าอัตราความร้อน ของโรงไฟฟ้าและหาประสิทธิภาพ ของโรงไฟฟ้าซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการใช้พลังงานที่คุ้มค่าสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าและสามารถตรวจติดตามค่าอัตราความร้อนและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าภายในการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้อย่างต่อเนื่อง

จากการทำการวิจัยนำข้อมูลวิเคราะห์ผลการวิจัยมีดังนี้

4.1 กรณีศึกษา

4.1.1 กรณีศึกษาที่ 1 ทำการทดสอบจากข้อมูลที่เป็นที่เกิดขึ้นขณะนั้นในสภาวะการผลิตสูงสุดของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ โดยเดินเครื่องประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้เข้าสู่สภาวะคงที่ จึงทำการต่อข้อเข้าสู่โปรแกรมคำนวณผล

4.1.2 กรณีศึกษาที่ 2 ทำการทดสอบจากข้อมูลที่เป็นที่เกิดขึ้นขณะนั้นในสภาวะการผลิตสูงสุดของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โดยเดินเครื่องประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้เข้าสู่สภาวะคงที่ จึงทำการต่อข้อเข้าสู่โปรแกรมคำนวณผล

4.2 การคำนวณตามมาตรฐาน ASME

การคำนวณอัตราความร้อนและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า ตามมาตรฐาน ASME PTC 22 สำหรับโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและ ASME PTC 46 สำหรับ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โดยเดินเครื่องประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้เข้าสู่สภาวะคงที่ แล้วเก็บข้อมูลทุก 2 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จึงนำข้อมูลที่ได้อมาหาค่าเฉลี่ยแล้วทำการคำนวณ ตามการคำนวณดังนี้

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ผู้ผลิตออกแบบ (Design) ไว้ที่สภาวะดังนี้

- ความดันอากาศ : 32.2 °C
- พิกัดความชื้น : 75 %
- ความดันอากาศ : 1.0135 bar
- พิกัดความชื้น : 75 %
- ความชื้นสัมพัทธ์ : 0.0229 $\text{kg}_{\text{water vapor}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$
- ความเร็วรอบ : 3000 RPM

สภาวะขณะทำการทดสอบที่กำลังการผลิตสูงสุด

ความกดดันอากาศ	14.750	psia
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	89.960	°F
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	77.576	°F
ความชื้นสัมพัทธ์	60.00	%
พิกัดความชื้น	0.01757	lb/lb
ความเร็วรอบ	3000.000	rpm
จำนวนรอบการวัด (10 rev , 5 rev)	169.320	sec
กำลังไฟฟ้า ที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1029.304	A
แรงดันไฟฟ้า ที่ป้อนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	298.670	V
กำลังงานที่ใช้ภายในโรงไฟฟ้า [kW _{GAUX}]	1,187.34	kW
ความดันเชื้อเพลิงก๊าซ	389.931	psia
ความดันตกกล่อมที่ Orifice	122.450	inch H ₂ O
อุณหภูมิของเชื้อเพลิงก๊าซ	182.153	°F
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซ(LHV)	862.882	BTU/SCF

4.2.1 โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ

1) กำลังการผลิตของกังหันก๊าซ

$$kW_G = \frac{3600}{1000} \cdot P_{kh} \cdot (N/T) - \frac{V \cdot A}{0.975 \cdot 1000} \quad (4-1)$$

โดยที่

$$= 3.6 * 447989 * 20 / 169.32$$

$$= 190,498.51 \text{ KW}$$

2) ความสิ้นเปลืองกำลังที่ใช้ป้อนกระแสให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$= A * V / PF / 1000 \quad (4-2)$$

โดยที่

$$= 1029.304 \cdot 298.67 / 0.975 / 1000$$

$$= 315.30 \text{ KW}$$

3) กำลังผลิตสุทธิ

$$= 190.498.51 \text{ KW} - 315.30 \text{ KW}$$

$$= 190,183.21 \text{ KW}$$

4) อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซ

$$q_m = 3600 \cdot N_l \cdot C_d \cdot E_v \cdot Y \cdot d^2 \cdot \sqrt{\rho_{t,P} \cdot \Delta P}$$

(4-3)

โดยที่

$$= 3600 \cdot 0.09972424 \cdot 0.603050601 \cdot 1.106068341 \cdot 0.996018858 \cdot$$

$$6.555443959^2 \cdot (1.2355 \cdot 122.4501)^{0.5}$$

$$= 126,070 \text{ lbs/h}$$

5) การสิ้นเปลืองความร้อน

$$HC_G = \text{FuelFlow} \cdot \text{LHV} \quad (4-4)$$

โดยที่

$$= (126,070 \text{ lbs/h} / 0.0559928 \text{ lb/CF}) \cdot 862.882 \text{ BTU/sCF}$$

$$= 1942,812.877 \text{ BTU/h}$$

6) อัตราความร้อนที่ยังไม่ได้ปรับปรุงค่าไปที่มาตรฐานอุณหภูมิและความดัน

$$HR_G = \frac{HC_G}{kW_G} \quad (4-5)$$

โดยที่

$$= 1942,812.877 \text{ BTU/h} / 190,183.21 \text{ KW}$$

$$= 10215.48 \text{ BTU/kWh}$$

7) อัตราความร้อนที่ปรับปรุงค่าไปที่มาตรฐานอุณหภูมิและความดัน

$$HR_{GC} = HR_G \cdot \frac{F(1c) \cdot F(4c)}{F(1d) \cdot F(4d)} \cdot \frac{1}{HN} \quad (4-6)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} &= 10215.48 \cdot (1.00/0.9984) \cdot (1.00/1.00) \cdot (1/1.0021) \cdot (1/1.00) \\ &= 10210.41 \text{ BTU/kWh} \end{aligned}$$

8) ประสิทธิภาพของกังหันก๊าซ

$$\begin{aligned} Eff_G &= \frac{3600}{HR_{GC}} \cdot 100 \\ &= 3600/10,210.41 \text{ BTU/kWh} \\ &= 33.42\% \end{aligned}$$

4.2.2 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนรวม

$$1) \quad kW_G = \frac{3600}{1000} \cdot P_{kh} \cdot (N/T) - \frac{V \cdot A}{0.975 \cdot 1000} \quad (4-7)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} &= 3.6 \cdot 447989 \cdot 20 / 147.54 \\ &= 218,650.09 \text{ KW} \end{aligned}$$

2) ความสิ้นเปลืองกำลังที่ใช้ป้อนกระแสให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$= A \cdot V / PF / 1000 \quad (4-8)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} &= 1153.924 \cdot 300.4 / 0.975 / 1000 \\ &= 355.53 \text{ KW} \end{aligned}$$

3) กำลังผลิตสุทธิ

$$\begin{aligned} kW_{\text{net}} &= 218.650.09 \text{ KW} - 355.53 \text{ KW} \\ &= 218,264.56 \text{ KW} \end{aligned}$$

4) กำลังการผลิตรวมที่ยังไม่ได้ปรับปรุงค่าไปที่มาตรฐานอุณหภูมิและความดัน

$$\begin{aligned} \text{ผลผลิตรวม} &= GT1+GT2+ST10 \\ &= 190,183.21+190.037.06+218,264.56 \text{ KW} \\ &= 598,484.83 \text{ KW} \end{aligned}$$

5) กำลังผลิตสุทธิที่ปรับปรุงค่าไปที่มาตรฐานอุณหภูมิและความดัน

$$kW_{CC} = (kW_G + kW_{ST}) \cdot kW_{ADCC} - kW_{AUX} \quad (4-9)$$

$$kW_{ADCC} = \frac{1}{kW_{ADCCT} \cdot kW_{ADCCB} \cdot kW_{ADCCH} \cdot kW_{ADCCS} \cdot kW_{ADCCP} \cdot kW_{ADCCW}} \quad (4-10)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} &= 1/(1.00322+0.99963+1.00095+1.000+1.01337+1.000) \\ &= 0.99308 \\ kW_{CC} &= 598,484.83 \text{ KW} \cdot 0.99308 - 13510.503 \text{ KW} \\ &= 577,221.10 \text{ KW} \end{aligned}$$

6) อัตราความร้อนที่ปรับปรุงค่าไปที่มาตรฐานอุณหภูมิและความดัน

$$HR_{CC} = \frac{HC_{GSTC}}{kW_{CC}} \quad (4-11)$$

$$HC_{GSTC} = \sum_{1,2} [kW_{GC} \cdot HR_{GC}] \quad (4-12)$$

โดยที่

$$= 188,967.25 \text{ KW} * 10,210.41 + 188,698.27 \text{ KW} * 10,320.75 \text{ BTU/kWh} / 100$$

$$= 3,876,941.53 \text{ BTU/h}$$

7) อัตราความร้อนสุทธิที่ปรับปรุงค่าไปที่มาตรฐานอุณหภูมิและความดัน

$$\text{HR}_{\text{cc}} = (3,876,941.53 \text{ BTU/h}) / 577,221.10 \text{ KW} \quad (4-13)$$

$$= 6,716.56 \text{ BTU/kWh}$$

8) ประสิทธิภาพของพลังความร้อนร่วมกังหันก๊าซ

$$\text{Eff}_G = \frac{3600}{\text{HR}_{\text{GC}}} * 100 \quad (4-14)$$

$$= 3600 / 6,716.56 \text{ BTU/kWh}$$

$$= 50.80\%$$

4.3 ผลการทดสอบ

ตาราง 2 ผลการทดสอบตาม กรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2 ที่กำลังผลิตสูงสุด

	Unit	กังหันก๊าซ หน่วยผลิตที่1	กังหันก๊าซ หน่วยผลิตที่2	กังหันไอน้ำ หน่วยผลิตที่1
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้	MW	190.07	194.57	218.80
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	BTU/SCF	862.882	862.882	-
อัตราความร้อน	BTU/kWh	10,487.29	10,505.49	6,624.28
ประสิทธิภาพ	%	32.53	32.47	51.51

ตาราง 3 ผลการทดสอบตามมาตรฐาน ASME PTC 22 และ ASME PTC 46

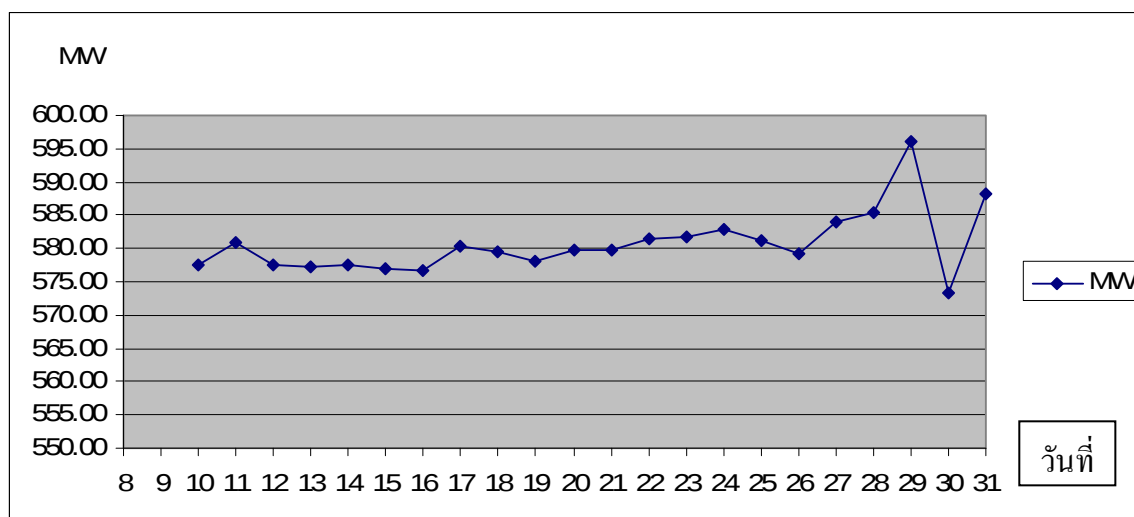
	Unit	กังหันก๊าซ หน่วยผลิตที่ 1	กังหันก๊าซ หน่วยผลิตที่ 2	กังหันไอน้ำ หน่วยผลิตที่ 1
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้	MW	190,498.51	190,352.36	218.62
อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซ	SCF/h	2,251,945	2,273,587	-
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	°C	81.18	81.18	81.18
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	°C	77.576	77.000	77.29
ความดันบรรยากาศ	psia	14.750	14.760	14.755
ความชื้นในอากาศ	%	54.00	54.00	54.00
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	BTU/SCF	862.882	862.882	-
อัตราความร้อน	BTU/kWh	10,210.41	10,320.75	6,716.56
ประสิทธิภาพ	%	33.42	33.06	50.80

ตาราง 4 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบตามกรณีศึกษาที่ 1 กรณีศึกษาที่ 2 กับผลการทดสอบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำวิจัย

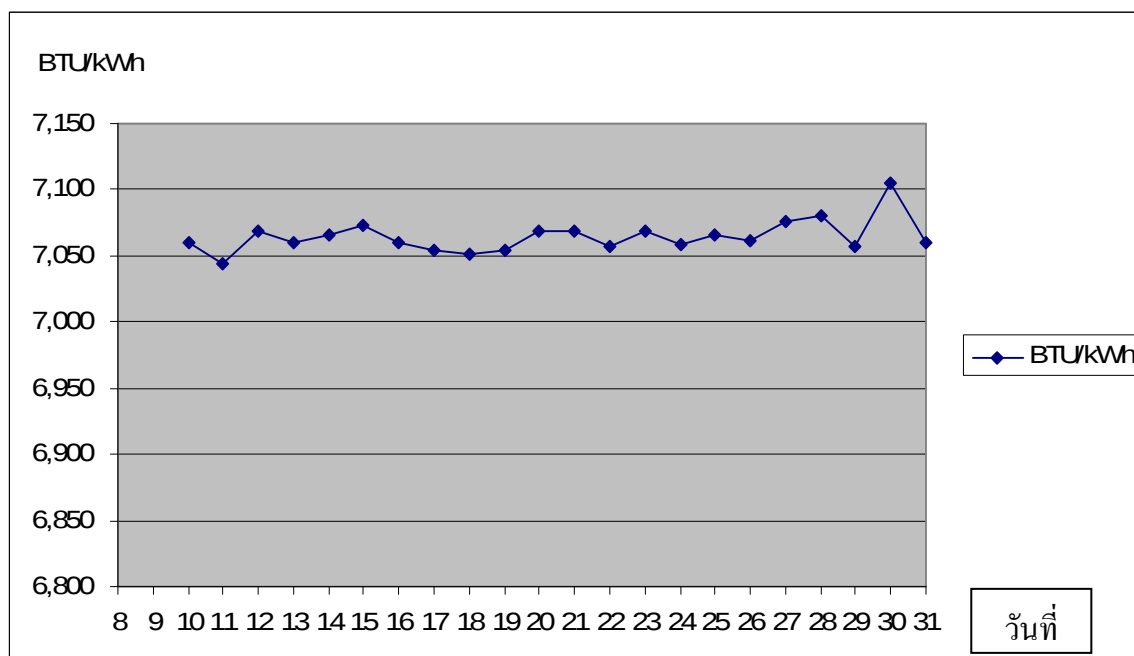
	อัตราความร้อน (BTU/kWh)	ประสิทธิภาพ (%)
กังหันก๊าซหน่วยผลิตที่ 1	10,210.41	33.42
ผลการทดสอบจากโปรแกรมที่ได้พัฒนา	10,487.29	32.53
ความคลาดเคลื่อน (%)	2.71	0.79
กังหันก๊าซหน่วยผลิตที่ 2	10,320.75	33.06
ผลการทดสอบจากโปรแกรมที่ได้พัฒนา	10,505.49	32.47
ความคลาดเคลื่อน (%)	1.78	0.59
กังหันไอน้ำหน่วยผลิตที่ 1	6,717.17	50.79
ผลการทดสอบจากโปรแกรมที่ได้พัฒนา	6,624.28	51.51
ความคลาดเคลื่อน (%)	1.38	0.72

4.4 ผลการทดสอบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โดยใช้ข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์ในช่วงเวลา 11.00 น. ของเดือนมีนาคม 2551 การเดินเครื่องขณะนั้นเป็นไปตามความต้องการของศูนย์ควบคุมไม่ได้เดินเครื่องที่กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า ซึ่งเป็นการคำนวณจากโปรแกรมของช่วงเวลาที่ผ่านมาสามารถแสดงโดยกราฟดังนี้

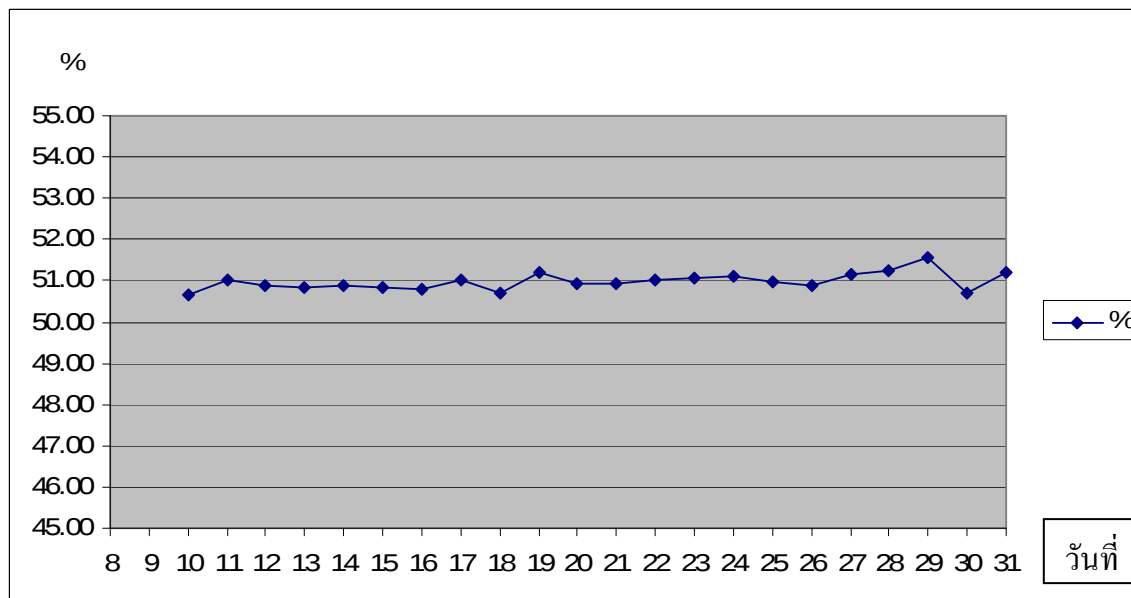


ภาพประกอบ 29 กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม



ภาพประกอบ 30 ค่าอัตราความร้อนโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

จากภาพประกอบที่ 30 เป็นผลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากโปรแกรม ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมในเวลา 11.00 น. ที่สุ่มตัวอย่างของทุกวัน ในเดือนมีนาคม 2551



ภาพประกอบ 31 ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

จากภาพประกอบ 31 เป็นผลการคำนวณประสิทธิภาพจากโปรแกรมการวิจัย ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมในเวลา 11.00 น. ที่สุ่มตัวอย่างของทุกวัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงผลการศึกษาเรื่องการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาค่าอัตราความร้อนและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาอัตราความร้อนและประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่เป็นสถานะจริง ในช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริง จากวิธีการสร้างแบบจำลองโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแล้วกำหนดความสามารถของอุปกรณ์ต่างๆตามการออกแบบ (รายละเอียดตามภาคผนวก ข) และทำการประมวลผลที่ได้จากการนำข้อมูลจากโรงไฟฟ้าในช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริง มาคำนวณงานวิจัยนี้ได้พัฒนาจากโปรแกรมเกทไฮลด์เคิล ที่มีความสามารถในการประเมินอายุของอุปกรณ์มาพัฒนาเพื่อหาอัตราความร้อนและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

การทดสอบโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาได้แบ่งการทดสอบออกเป็นขั้นตอน คือ การทดสอบของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ การทดสอบของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ การทดสอบทั้ง 2 อย่าง ณ เวลาใด และการทดสอบตามมาตรฐาน ASME ไว้เปรียบเทียบผลการทดสอบ

ข้อมูลจำเพาะของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

ชื่ออุปกรณ์	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมพระนครใต้
กังหันก๊าซรุ่น	MS9001FA
กังหันไอน้ำรุ่น	STAG 209FA
ผู้ผลิต	General Electric
กำลังผลิตรวม	616,500 KW
เชื้อเพลิง	ก๊าซธรรมชาติ / น้ำมันดีเซล
ความเร็วรอบ	3000 rpm
อุณหภูมิอากาศ	32.2 °C
ความดันอากาศ	1.0135 bar
ความชื้นอากาศ	75 %
ความชื้นจำเพาะ	0.0229 kg _{water vapor} /kg _{dry air}

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาเพื่อหาค่าอัตราความร้อนและหาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากกรณีศึกษาที่ 1 ผลการทดสอบของค่าอัตราความร้อนและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ

หน่วยผลิตที่ 1 ได้ค่าอัตราความร้อน 10487.29 BTU/kWh ได้ประสิทธิภาพ 32.53 %

หน่วยผลิตที่ 2 ได้ค่าอัตราความร้อน 10505.49 BTU/kWh ได้ประสิทธิภาพ 32.47 %

5.1.2 จากกรณีศึกษาที่ 2 ผลการทดสอบของค่าอัตราความร้อนและประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมี 1 หน่วยผลิต ได้ค่าอัตราความร้อน 6624.28 BTU/kWh ได้ประสิทธิภาพ 51.51 %

5.1.3 ผลการทดสอบโดยคำนวณตามมาตรฐาน ASME PTC 22 สำหรับโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ

หน่วยผลิตที่ 1 ได้ค่าอัตราความร้อน 10210.41 BTU/kWh ได้ประสิทธิภาพ 33.42 %

หน่วยผลิตที่ 2 ได้ค่าอัตราความร้อน 10320.75 BTU/kWh ได้ประสิทธิภาพ 33.06 %

ผลการทดสอบโดยคำนวณตามมาตรฐาน ASME PTC 46 สำหรับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมมี 1 หน่วยผลิต ได้ค่าอัตราความร้อน 6717.17 BTU/kWh ได้ประสิทธิภาพ 50.79 %

ผลการเปรียบเทียบค่าอัตราความร้อนและประสิทธิภาพของการทดสอบตามมาตรฐาน ASME PTC 22 กับการทดสอบตามกรณีศึกษาที่ 1 ที่หน่วยผลิตที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.71 % ประสิทธิภาพมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.79 % ที่หน่วยผลิตที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1.78 % ประสิทธิภาพมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.59 %

ผลการเปรียบเทียบการทดสอบตามมาตรฐาน ASME PTC 46 กับการทดสอบตามกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.71 %

5.1.4 ผลการทดสอบอัตราความร้อนและประสิทธิภาพ จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในช่วงเวลาที่ผ่านมาแล้วเวลา 11.00 น. ในเดือน มีนาคม 2551 โดยดึงข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์มาใช้พบว่ากำลังการผลิตไม่คงที่ ทำให้อัตราความร้อนและประสิทธิภาพ ไม่คงที่ตามไปด้วย เนื่องจากศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าจะทำให้เดินเครื่องตามต้องการของระบบใหญ่ของประเทศ

จะพบว่าเครื่องที่กำลังการผลิตสูงสุดจะได้ค่าอัตราความร้อนและประสิทธิภาพดีที่สุด สำหรับกำลังการผลิตน้อยจะได้อัตราความร้อนและประสิทธิภาพลดต่ำลงมา

โดยสรุป สามารถใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาใช้ในการตรวจติดตามค่าอัตราความร้อนและค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เพื่อความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลในโปรแกรมการคำนวณจะต้องปรับปรุงข้อมูลที่มีให้เป็นปัจจุบันมีข้อมูลที่ต้องปรับปรุงดังนี้

- ค่าอัตราความร้อนของ เชื้อเพลิงก๊าซควรปรับปรุงข้อมูลอย่างน้อยเดือนละ1ครั้ง
- ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงก๊าซควรปรับปรุงข้อมูลอย่างน้อยเดือนละ1ครั้ง
- ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอริฟิซ ควรปรับปรุงข้อมูลเมื่อมีงานซ่อมใหญ่
- ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดอย่างน้อยปีละ1ครั้ง

5.2.2 สามารถใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อประยุกต์ใช้กับโรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรมชนิดอื่นได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ขรรค์ชัย ศิริรัชตพงษ์ (2539). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมน้ำพอง :

มหาวิทยาลัยขอนแก่น. บัณฑิตวิทยาลัย.ถ่ายเอกสาร

วุฒิพงษ์ จันทรศรี (2544). การหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม:

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. บัณฑิตวิทยาลัย.ถ่ายเอกสาร

นราพงศ์ พงษ์พรหม (2547). การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซ ของโรงไฟฟ้าพลัง

ความร้อนร่วมพระนครใต้ชุดที่ 1: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. บัณฑิตวิทยาลัย

ัชชาวล เขียวละอิม (2544). การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน: คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.ถ่ายเอกสาร

สวรรยา เข้มสกุลณา (2543). การออกแบบระบบจัดการพลังงานสำหรับโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ:

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. บัณฑิตวิทยาลัย.ถ่ายเอกสาร

Thomas Baumgart.(2002). สืบค้นจาก <http://www.goyellow.de>

Jurgen Stempfl.(2004). RP of SiN burner arrays via assembly mould SDM

หลาบ รับศิริ. (2528). เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ASME PTC22-2005[Revision of ASMT PTC22-1997(R2003)] Gas Turbine Performance Test Codes

ASME PTC46-1996 Performance Test Code on Overall Plant Performance

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
รายละเอียดการคำนวณ

ผลการวัดตามมาตรฐาน ASME PTC22 ของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ

รายการ	UNIT	GT1	GT2
		Base Load	Base Load
วันที่ทดสอบ	-	27/02/2551	27/02/2551
เวลาทดสอบ	-	10:00-10:30	10:00-10:30
ข้อมูลที่ทดสอบ			
ความดันบรรยากาศ	psia	14.750	14.760
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	°F	89.960	89.960
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	°F	77.576	77.000
ความชื้นในอากาศ	%	60.00	60.00
พิกัดความชื้น	lb/lb	0.01757	0.01703
อัตราการฉีดน้ำเพื่อลดมลภาวะ	lb/sec	0.000	0.000
ความเร็วรอบ	rpm	3000.000	3000.000
จำนวนรอบมิเตอร์ (10 rev , 5 rev)	sec	169.320	169.450
กระแสที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	A	1029.304	1029.304
แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	V	298.670	298.670
กำลังของเครื่องช่วยกำเนิดไฟฟ้า [kW_{GAUX}]	kW	1,187.34	1,186.67
ความดันเชื้อเพลิงก๊าซ	psia	389.931	399.280
ความดันเชื้อเพลิงที่ตกคร่อมที่ Orifice	inch H ₂ O	122.450	122.770
อุณหภูมิเชื้อเพลิงก๊าซ	°F	182.153	180.342
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)	BTU/SCF	862.882	862.882
กำลังไฟฟ้า			
กำลังไฟฟ้าที่กังหันก๊าซผลิตได้	kW	190,498.51	190,352.36
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่ Exciter	kW	315.30	315.30
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่ยังไม่ได้ปรับค่า [kW_G]	kW	190,183.21	190,037.06
ความสิ้นเปลืองความร้อน			
อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซ	SCF/h	2,251,539	2,273,177
การสิ้นเปลืองความร้อน [HC_G]	BTU/h	1,942,812,877	1,961,483,781
อัตราความร้อนที่ยังไม่ได้ปรับค่า [HR_G]	BTU/kWh	10,215.48	10,321.59
	kJ/kWh	10,778.97	10,890.92

ผลการวิจัยตามมาตรฐาน ASME PTC22ของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (ต่อ)

การปรับค่า			
FH - ปรับค่าความเสื่อมจากชั่วโมงเดินเครื่อง	-	1.00300	1.00300
F(1a) - ค่าสูงสุดของความดันบรรยากาศที่จะปรับค่าได้	psia	14.7000	14.7000
F(1b) - ความดันบรรยากาศที่วัดได้	psia	14.7503	14.7600
F(2a) - ค่าสูงสุดของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศขาเข้าที่จะปรับค่าได้	-	1.00000	1.00000
F(2b) - อุณหภูมิและความชื้นของอากาศขาเข้าที่วัดได้	-	1.0000000	1.00000
F(4a) - ปรับค่าสูงสุดของอัตราการฉีดน้ำลดมลภาวะ	-	1.00000	1.00000
F(4b) - อัตราการฉีดน้ำเพื่อลดมลภาวะที่วัดได้	-	1.00000	1.00000
FN - ปรับค่าความเร็วรอบ	-	1.0000000	1.00000
ผลรวมของการปรับค่าความถูกต้อง	-	0.99360638	0.99296
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่ปรับค่าความถูกต้องแล้ว [kW _{gc}]	kW	188,967.25	188,698.27
การปรับค่าอัตราความร้อน			
HH - ปรับค่าความเสื่อมจากชั่วโมงเดินเครื่อง	-	1.00210	1.00210
F(2c) - ค่าสูงสุดของอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่จะปรับค่าได้	-	1.00000	1.00000
F(2d) - อุณหภูมิและความชื้นของอากาศขาเข้าที่วัดได้	-	0.99840	0.99798
F(4c) - ปรับค่าสูงสุดของอัตราการฉีดน้ำลดมลภาวะ	-	1.00000	1.00000
F(4d) - อัตราการฉีดน้ำเพื่อลดมลภาวะที่วัดได้	-	1.00000	1.00000
HN - ปรับค่าความเร็วรอบ	-	1.00000	1.00000
ผลรวมของการปรับค่าความถูกต้อง	-	0.99950	0.99992
ค่าอัตราความร้อนที่ปรับค่าความถูกต้องแล้ว [HR _{gc}]	BTU/kWh	10,210.41	10,320.75
	kJ/kWh	10,772.56	10,888.97

ผลการวัดตามมาตรฐาน ASME PTC46 ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

รายการ	UNIT	ST10
		Base Load
วันที่ทดสอบ	-	27/02/2551
เวลาทดสอบ	-	10:00-10:30
ข้อมูลที่ทดสอบ		
ความดันบรรยากาศ	psia	14.755
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	°F	89.960
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	°F	77.288
ความชื้นบรรยากาศ	%	60.00
พิกัดความชื้น	lb/lb	0.01730
อัตราการฉีดน้ำเพื่อลดมลภาวะ	lb/sec	0.000
ความเร็วรอบ	rpm	3000.000
ST Exhaust pressure	psia	1.557
จำนวนรอบมิเตอร์ (10 rev , 5 rev)	sec	147.54
กระแสที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	A	1,153.92
แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	V	300.4
กำลังไฟฟ้าของเครื่องช่วยกำเนิดไฟฟ้า [kW_{STAUX}]	kW	11,136.50
การคำนวณ		
กำลังไฟฟ้าที่กังหันไอน้ำก๊าซผลิตได้	kW	218,620.09
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่ Exciter	kW	355.53
กำลังไฟฟ้าที่กังหันไอน้ำก๊าซผลิตได้ [kW_{ST}]	kW	218,264.56
กำลังไฟฟารวมของกังหันก๊าซที่ผลิตได้ [kW_G]	kW	380220.266
กำลังไฟฟารวมของเครื่องช่วยกำเนิดไฟฟ้า [kW_{GAUX}]	kW	13510.503
กำลังการผลิตรวม [$Kwg+kW_{ST}$]	kW	598,484.83

ผลการทดสอบตามมาตรฐาน ASME PTC46 ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (ต่อ)

การปรับค่า		
kW_{ADCCB} – ความดันบรรยากาศเฉลี่ย 2 หน่วยผลิต		1.00322
kW_{ADCCF} – อุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ย 2 หน่วยผลิต		0.99963
kW_{ADCCD} – ความชื้นจำเพาะเฉลี่ย 2 หน่วยผลิต		1.00095
kW_{ADCCS} – ความเร็วรอบเฉลี่ย 2 หน่วยผลิต		1.00000
kW_{ADCCP} – ความดันที่ผ่านกังหันไอน้ำ		1.01337
kW_{ADCCW} - ผลรวมของอัตราการฉีกน้ำเพื่อลดมลภาวะ		1.00000
kW_{ADCC} – ค่าการปรับค่าของการผลิตของกังหันไอน้ำ (Output)		0.98308
สรุปผล		
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิที่ปรับค่าความถูกต้องแล้ว [kW_{CC}]	kW	577,221.10
ความสิ้นเปลืองความร้อนที่ปรับค่าความถูกต้องแล้ว [HC_{GSCT}]	MJ/h	4,090,390.43
ค่าอัตราความร้อนที่ปรับค่าความถูกต้องแล้ว [HR_{CC}]	kJ/kWh	7,086.35
	BTU/kWh	6,716.56

ภาคผนวก ข.

รายละเอียดของอุปกรณ์โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซและโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

STAG 209FA Performance

1 **Number: CCA-2113-NG, 90F AMB, 75% RH, NG Fuel,
Dry Low NOx Combustion System**

Date: 8-30-95, Rev. 6, by SP Gallagher

1.1 **Equipment Performance**

1.1.1 **Power (kW)**

Gas Turbine Generator * (2 Units)	405600
Steam Turbine Generator *	213310
Gross Equipment Power *	618910
Equipment Auxiliary Power	2410
Net Equipment Power	616500

* Gross Power At Generator Terminals Minus Excitation Power

1.1.2 **Fuel**

Fuel Type-Natural Gas

Specification-GEI 41040C & Supplemental Specifications

Heating Value	LHV (kJ/kg)	40,209.6
	HHV (kJ/kg)	44,592.5
	HHV/LHV	1.109
Heat Consumption (10 ⁶ kJ/hr)	LHV	4,238.2
	HHV	4,700.1
Fuel Flow (10 ³ kg/hr)		105.4

1.1.3 **Operating Conditions**

Ambient Air Temperature (C)	DB	32.2
	WB	28.3
Site Elevation (m PD)		0.00
Ambient Air Pressure (bar, a)		1.013
Compressor Inlet Temperature (C)	DB	32.2
Steam Turbine Exhaust Pressure (mm Hga)		103.0

1.1.4 **Water Injection**

Total Gas Turbine Water Injection (10 ³ kg/hr)	0.0
---	-----

1.1.5 Equipment Auxiliary Power (kW)

1.1.5.1 Gas Turbine (2 Units)

Atomizing Air Compressor	-Motor Driven-
Water Injection Pump	-Not Operating-
Lube Oil Pump	-Motor Driven-
Hydraulic Oil Pump	-Motor Driven-
Fuel Pumps	-Not Operating-
Exhaust Frame Blowers	-Motor Driven-
Compartment Ventilation Fan	-Motor Driven-
Mist Eliminator Fan	-Motor Driven-
Fuel Forwarding Pumps	-Not Operating-
Controls & Instrumentation	-Included-
Generator Excitation	-Included-
Total	1740 kW

1.1.5.2 Steam Turbine and Generator (1Unit)

Bearing and Seal Oil Pumps	
Gland Exhausters	
Vapor Extractors	
Controls and Instrumentation	
Generator Excitation	
Total	50 kW

1.1.5.3 Heat Recovery Steam Generator (2 HRSGs)

Controls & Instrumentation	620 kW
Total Equipment Auxiliary Power	2410 kW

1.2	Net Plant Performance		
1.2.1	Power (kW)		
	Net Equipment Power		616500
	Plant Auxiliary Power		13000
	Net Plant Power		603500
1.2.2	Plant Auxiliary Power (kW)		
	HP Feedwater Transfer Pumps		3510
	LP Feedwater Transfer Pumps		750
	Condensate Pump		270
	Condenser Vacuum Pump		30
	Circulating Water Pump		2400
	Cooling Tower Fans	By Others	
	Fuel Gas Compressor		2400
	Make-up Water Pump		0
	Demineralized Water Transfer Pump		0
	Service Water Pump		70
	Condensate Transfer Pump		20
	Air Compressor		180
	Water Treatment		50
	Auxiliary Cooling Water Pump		230
	Step-up Transformers		2460
	Miscellaneous Auxiliaries & Plant Lighting		630
	Total Plant Auxiliary Power		13000
1.2.3	Net Plant Heat Rate (kJ/kWh)		
		LHV	7023

1.3 Heat Balance Data

Estimated conditions for a STAG 309E unit at the state points indicated on the heat balance diagram.

Parameter	Units
Mass Flow Rate	10 ³ kg/hr
Pressure	bar, a
Temperature	C
Enthalpy	kJ/kg
Heat Consumption	kJ/hr
Relative Humidity	%

1.3.1 Air and Gas Turbine Exhaust Gas

		Flow	Pressure	Temp	Relative Humidity
G1	Ambient Air	2,007.0	1.014	32.2	60
G2	Compressor Inlet	2,007.0	1.004	32.2	
G3	Gas Turbine Exhaust	2,059.1	1.046	611.8	
G4	Bypass Stack	2.0	-	-	
G5	HRSG Inlet	2,057.1	-	610.7	
G6	HRSG Stack	2,057.1	1.014	106.7	

1.3.2 Fuel

		Flow	Heat Input LHV	Heat Input HHV
F1	Plant Fuel Supply	105.4	4238.2	4700.2
F2	Gas Turbine Fuel Supply	52.7	2119.1	2350.1

1.3.3 Steam

		Flow	Pressure	Temp	Enthalpy
S1	HP Superheater NRV Exit	326.2	87.8	540	3,486.8
S2	Steam Turbine Throttle	652.5	85.1	538	3,484.5
S3	LP Superheater NRV Exit	39.4	7.0	197	2,837.0
S4	Steam Turbine LP Admission	78.8	6.0	195	2,835.9
S5	Steam Turbine Exhaust	729.6	0.137	52	2,332.7
S6	Seals & Misc to Condenser	1.6	-	-	-
S7	Deaerator Pegging from LP Drum	7.5	7.1	166	2,762.2
S8	Deaerator Pegging from HP Drum	0.0	-	-	-

1.3.4 Water

		Flow	Pressure	Temp	Enthalpy
W1	Condenser Hotwell	731.2	0.137	52	218.3
W2	Condensate Pump Suction	731.2	0.137	52	218.3
W3	Condensate Pump Discharge	731.2	17.6	52	220.7
W4	Deaerator Inlet	731.2	1.4	98	410.9
W5	LP Transfer Pump Suction	93.8	2.5	109	456.6
W6	LP Economizer Inlet	46.9	8.2	109	459.1
W7	HP Transfer Pump Suction	652.4	2.5	109	456.6
W8	HP Economizer Inlet	326.2	94.1	112	474.5
W9	Main Steam Attenuation	0.0	-	-	-
W10	LP Drum Blowdown	0.0	-	-	-
W11	HP Drum Blowdown	0.0	-	-	-
W12	Feedwater Make-up	0.0	-	-	-
W13	Condenser Cooling Water In	26,027.6	2.7	35	146.8
W14	Condenser Cooling Water Out	26,027.6	2.3	49	206.2
W15	Gas Turbine Water Injection	0.0	-	-	-
W16	HP Recirculation	0.0	-	-	-
W17	LP Feedwater Preheater Bypass	0.0	-	-	-

Notes:

1. HP and LP Economizer Inlet pressures are determined by adding NRV and HRSG pressure drops to the NRV Discharge pressure. Economizer inlet and discharge control valve pressure losses are not included.

ภาคผนวก ค.

รายละเอียดการปรับค่า(Corrected Curve)

Simple Cycle, Base Load								
Ambient Temperature		Specific Humidity	Relative Humidity	Baro. Pressure	Gross Power ratio to Rating Point	Heat Rate ratio to Rating Point	Exhaust Flow ratio to Rating Point	Inlet Air Flow ratio to Inlet Air Flow @ Rating Point
degrees F	degrees C	lb/lb		psia				
59.00	15.0	0.0037	35%	14.70	1.1325	0.9589	1.0799	1.0798
59.00	15.0	0.0059	55%	14.70	1.1320	0.9599	1.0785	1.0783
59.00	15.0	0.0080	75%	14.70	1.1320	0.9599	1.0772	1.0769
59.00	15.0	0.0102	95%	14.70	1.1320	0.9609	1.0758	1.0755
68.00	20.0	0.0051	35%	14.70	1.0959	0.9679	1.0595	1.0594
68.00	20.0	0.0081	55%	14.70	1.0959	0.9689	1.0576	1.0575
68.00	20.0	0.0111	75%	14.70	1.0954	0.9699	1.0558	1.0556
68.00	20.0	0.0141	95%	14.70	1.0954	0.9709	1.0540	1.0537
77.00	25.0	0.0069	35%	14.70	1.0578	0.9780	1.0385	1.0386
77.00	25.0	0.0110	55%	14.70	1.0578	0.9790	1.0360	1.0360
77.00	25.0	0.0151	75%	14.70	1.0573	0.9810	1.0336	1.0335
77.00	25.0	0.0192	95%	14.70	1.0568	0.9820	1.0312	1.0310
86.00	30.0	0.0093	35%	14.70	1.0193	0.9900	1.0169	1.0171
86.00	30.0	0.0148	55%	14.70	1.0183	0.9920	1.0137	1.0138
86.00	30.0	0.0204	75%	14.70	1.0178	0.9940	1.0105	1.0105
86.00	30.0	0.0260	95%	14.70	1.0173	0.9960	1.0073	1.0071
89.96	32.2	0.0106	35%	14.70	1.0015	0.9960	1.0072	1.0074
89.96	32.2	0.0168	55%	14.70	1.0010	0.9980	1.0036	1.0037
89.96	32.2	0.0184	60%	14.70	1.0010	0.9990	1.0027	1.0028
89.96	32.2	0.0232	75%	14.70	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
89.96	32.2	0.0297	95%	14.70	0.9995	1.0030	0.9964	0.9963
95.00	35.0	0.0124	35%	14.70	0.9792	1.0040	0.9947	0.9950
95.00	35.0	0.0198	55%	14.70	0.9783	1.0060	0.9905	0.9907
95.00	35.0	0.0273	75%	14.70	0.9778	1.0090	0.9864	0.9864
95.00	35.0	0.0350	95%	14.70	0.9768	1.0120	0.9822	0.9821
104.00	40.0	0.0164	35%	14.70	0.9392	1.0190	0.9718	0.9722
104.00	40.0	0.0262	55%	14.70	0.9382	1.0220	0.9665	0.9667
104.00	40.0	0.0363	75%	14.70	0.9372	1.0261	0.9612	0.9612
104.00	40.0	0.0467	95%	14.70	0.9357	1.0301	0.9558	0.9556
109.40	43.0	0.0193	35%	14.70	0.9155	1.0291	0.9578	0.9582
109.40	43.0	0.0309	55%	14.70	0.9140	1.0331	0.9516	0.9518
109.40	43.0	0.0429	75%	14.70	0.9125	1.0371	0.9455	0.9455
109.40	43.0	0.0554	95%	14.70	0.9115	1.0421	0.9393	0.9391

PG9311 Effect of Turbine Speed on Heat Rate
Based on EGAT Guarantee Conditions
Base Load

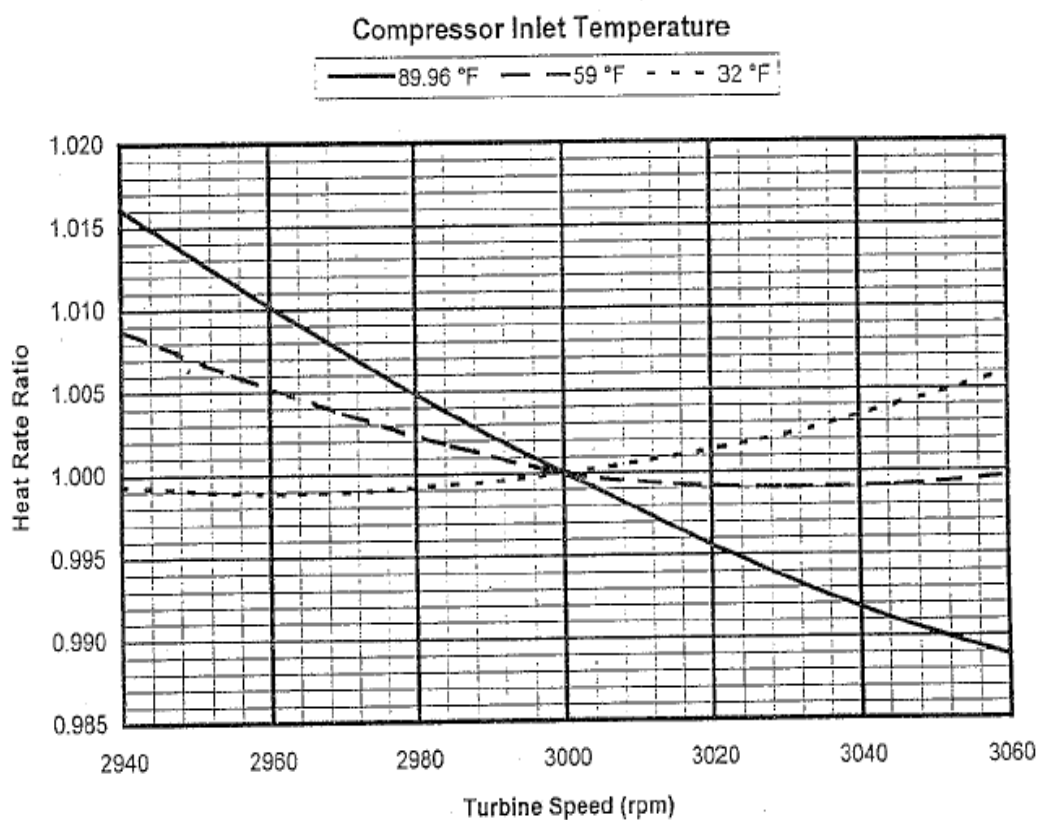
Curve Fit

$$32^{\circ}\text{F CF} = 7.45428 - 0.00435806 s + 7.355444\text{E-}7 s^2$$

$$59^{\circ}\text{F CF} = 11.44243 - 0.00688494 s + 1.13471\text{E-}6 s^2$$

$$90^{\circ}\text{F CF} = 7.88607 - 0.00436183 s + 6.888245\text{E-}7 s^2$$

Where: CF is the correction factor read from the curve
s is the turbine speed in rpm



PG9311 Effect of Turbine Speed on Power
Based on EGAT Guarantee Conditions
Base Load

Curve Fit

$$32^{\circ}\text{F CF} = -11.71380 + 0.00851704 s - 1.426369\text{E-}6 s^2$$

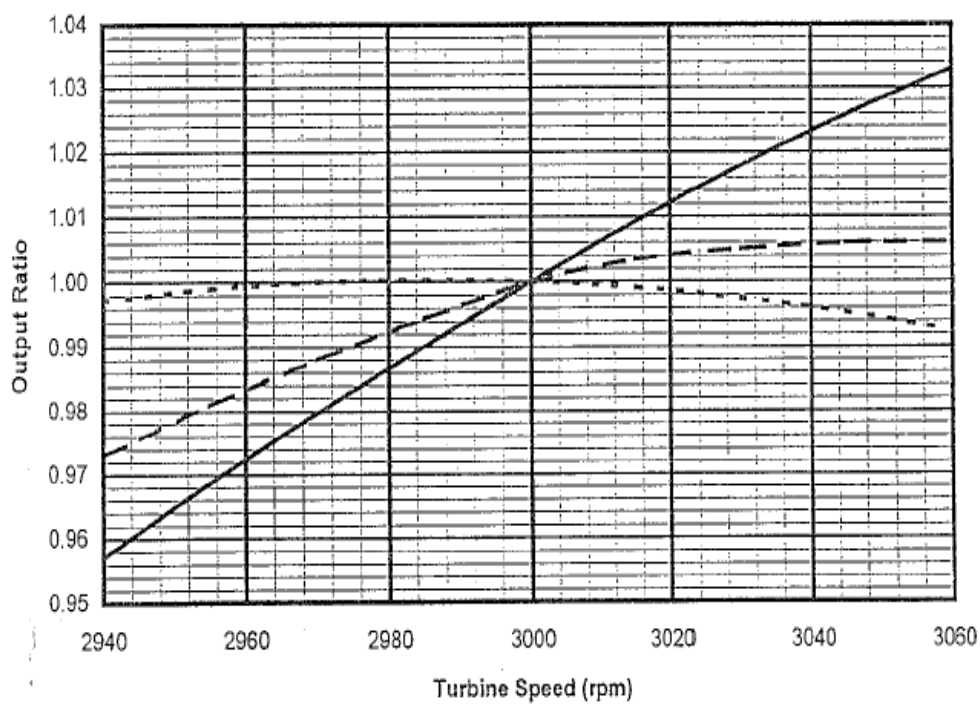
$$59^{\circ}\text{F CF} = -25.11767 + 0.017134425 s - 2.809512\text{E-}6 s^2$$

$$90^{\circ}\text{F CF} = -13.27165 + 0.00888108 s - 1.374621\text{E-}6 s^2$$

Where: CF is the correction factor read from the curve
s is the turbine speed in rpm

Compressor Inlet Temperature

—— 89.96 °F - - - 59 °F . . . 32 °F



PG9311 Effect of Turbine Speed on Air Flow
Based on EGAT Guarantee Conditions
Base Load

Curve Fit

$$32^{\circ}\text{F CF} = -4.443457 + 0.0033864569 s - 5.239901\text{E-}7 s^2$$

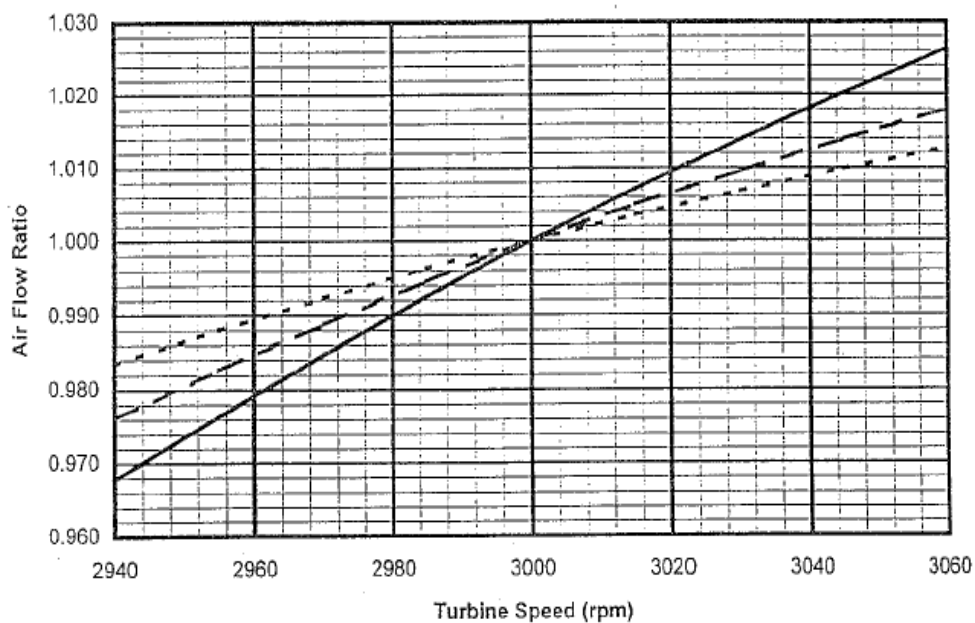
$$59^{\circ}\text{F CF} = -7.2631 + 0.0051614697 s - 8.0236792\text{E-}7 s^2$$

$$90^{\circ}\text{F CF} = -7.819304 + 0.00539231 s - 8.175144\text{E-}7 s^2$$

Where: CF is the correction factor read from the curve
s is the turbine speed in rpm

Compressor Inlet Temperature

— 89.96 °F — 59 °F - - - 32 °F

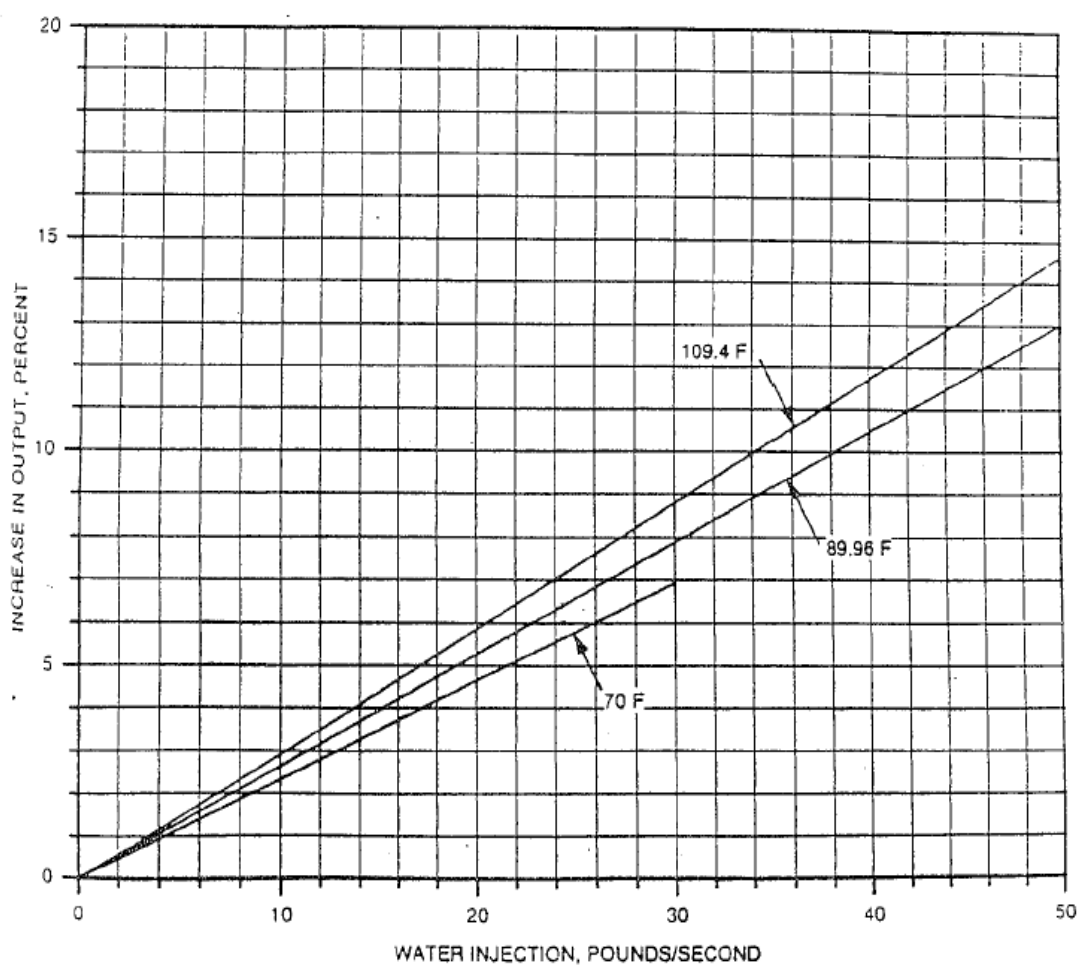


EGAT South Bangkok II Simple Cycle Plant Performance

Effect of Water Injection Rate and Compressor Inlet Temperature on Output at Base Load

Notes:

1. Ambient Pressure = 14.7 psia
2. Ambient Relative Humidity = 75%
3. Fuel = Distillate Oil, 18,550 BTU/lb (LHV)

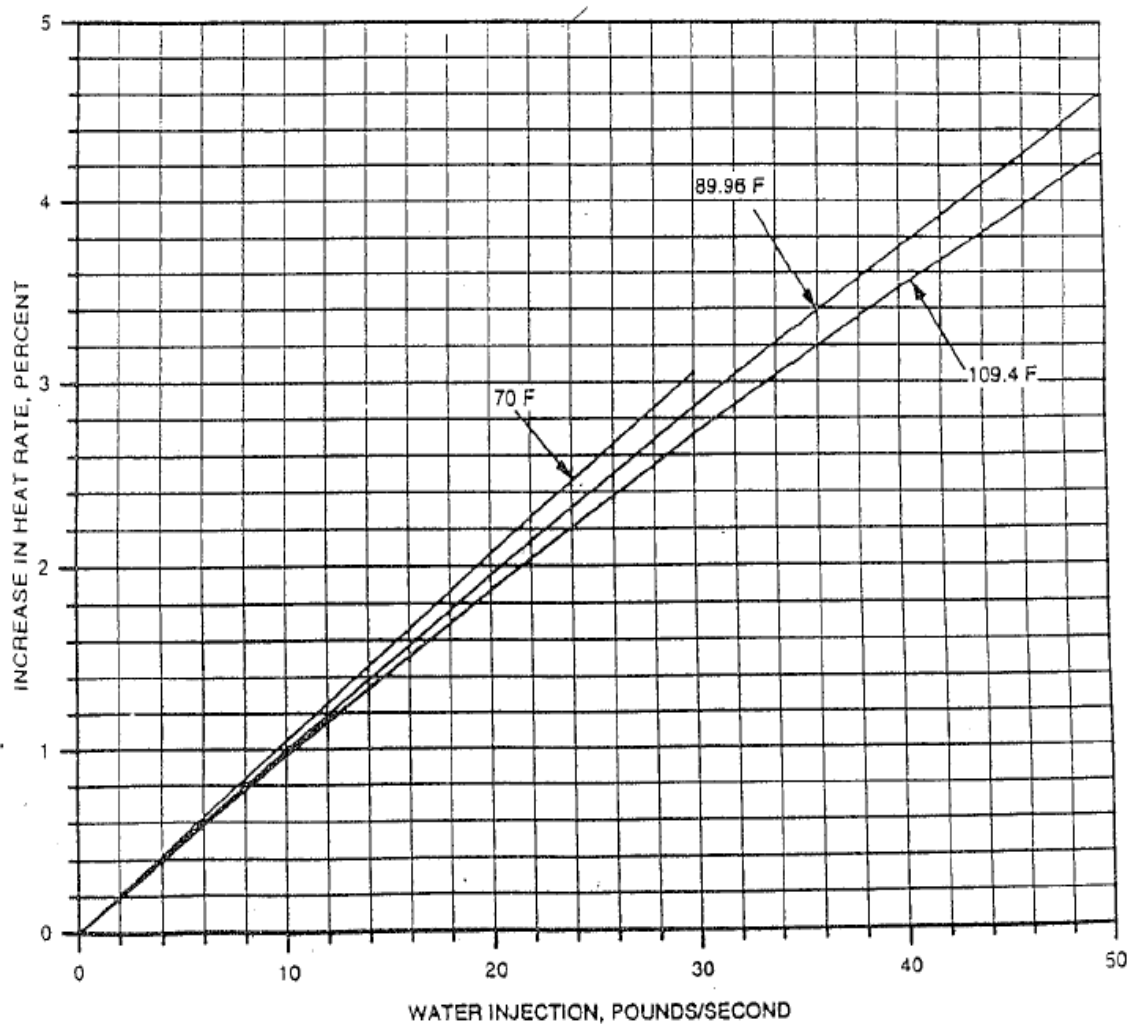


EGAT South Bangkok II Simple Cycle Plant Performance

Effect of Water Injection Rate and Compressor Inlet Temperature on Heat Rate at Base Load

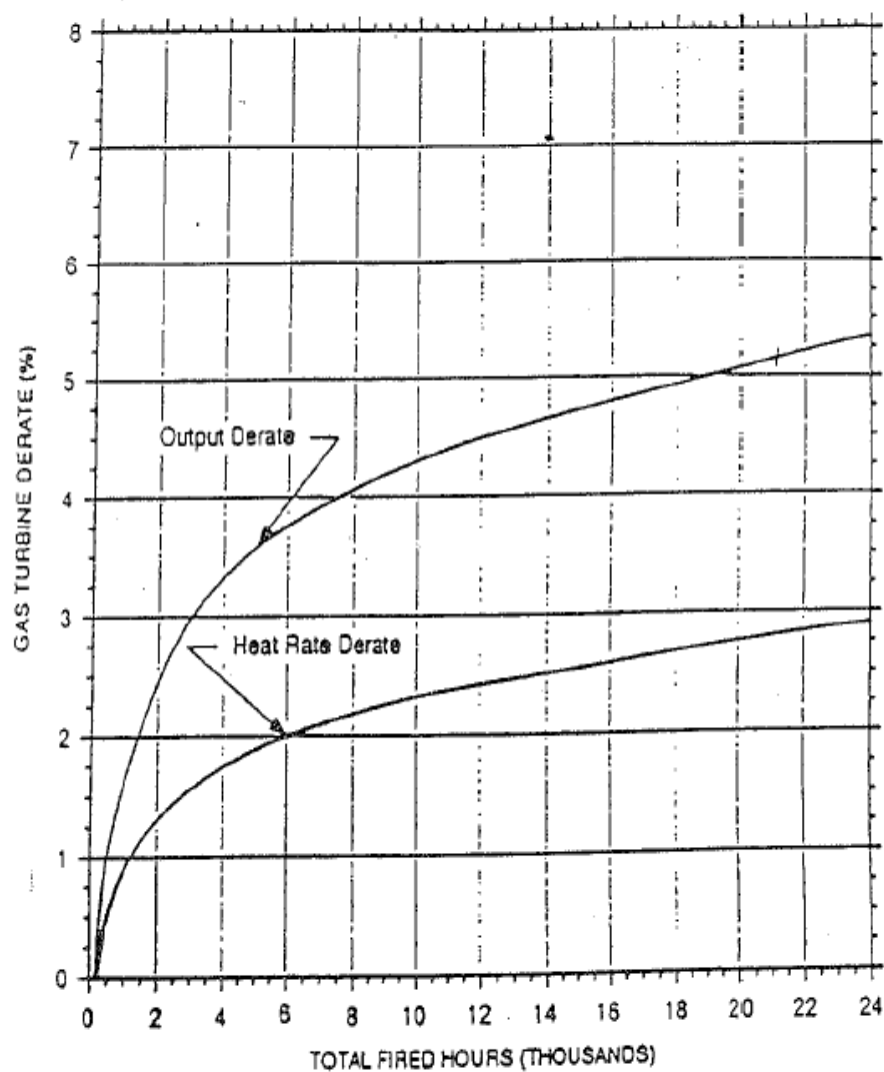
Notes:

1. Ambient Pressure = 14.7 psia
2. Ambient Relative Humidity = 75%
3. Fuel = Distillate Oil, 18,550 BTU/lb (LHV)



Heavy-Duty Gas Turbine

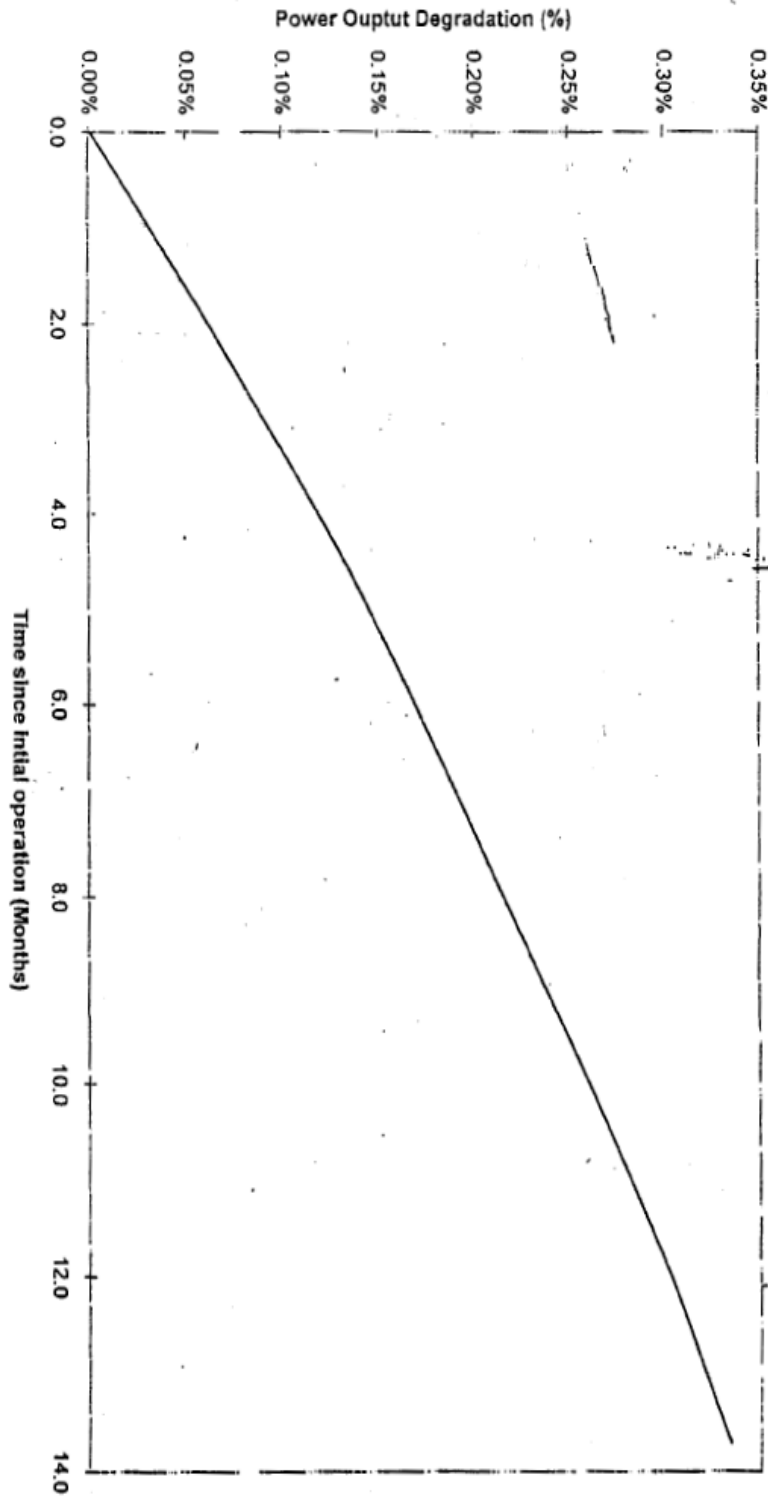
Non-Recoverable Performance
Degradation As A Function Of
Total Fired Hours



499HA907 REV B
23-APR-91

EGAI Souu Baingkor II

Steam Turbine Power Output Degradation
Based on methodology of
ASME PTC 6 Report-1985 page 9 Figure 3.3
for a 213 MW / 1220 psig Steam Turbine

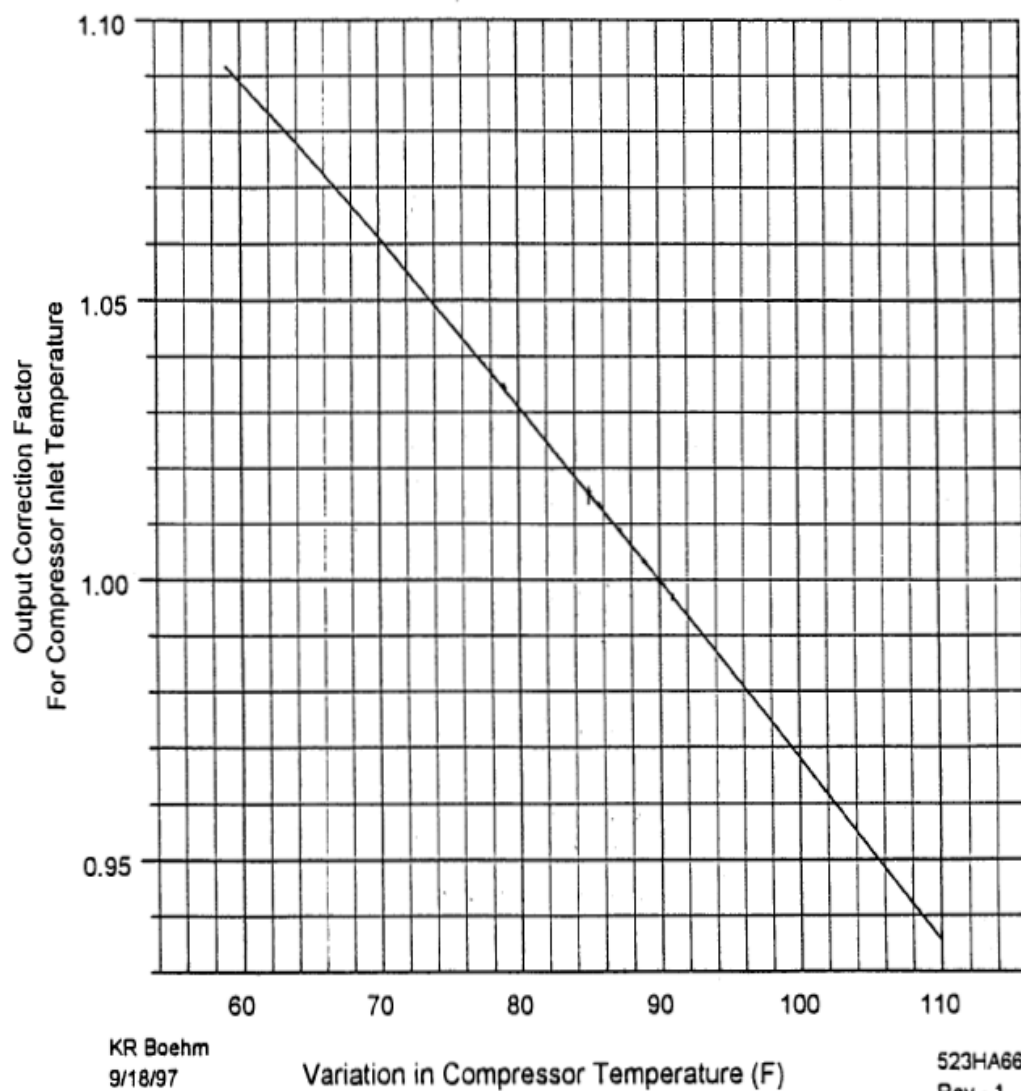


5/13/98

EGAT South Bangkok II
Combined Cycle Net Equipment Output Variation
Effect of Ambient Temperature Variation on Output Power

Notes:

1. STAG 209FA with Gas Turbine Base Load
2. Ambient Relative Humidity = 75%
3. Ambient Pressure = 14.7 psia
4. Natural Gas Fuel, LHV = 17,290. Btu/Lbm
5. Condenser Pressure = 1.992 psia

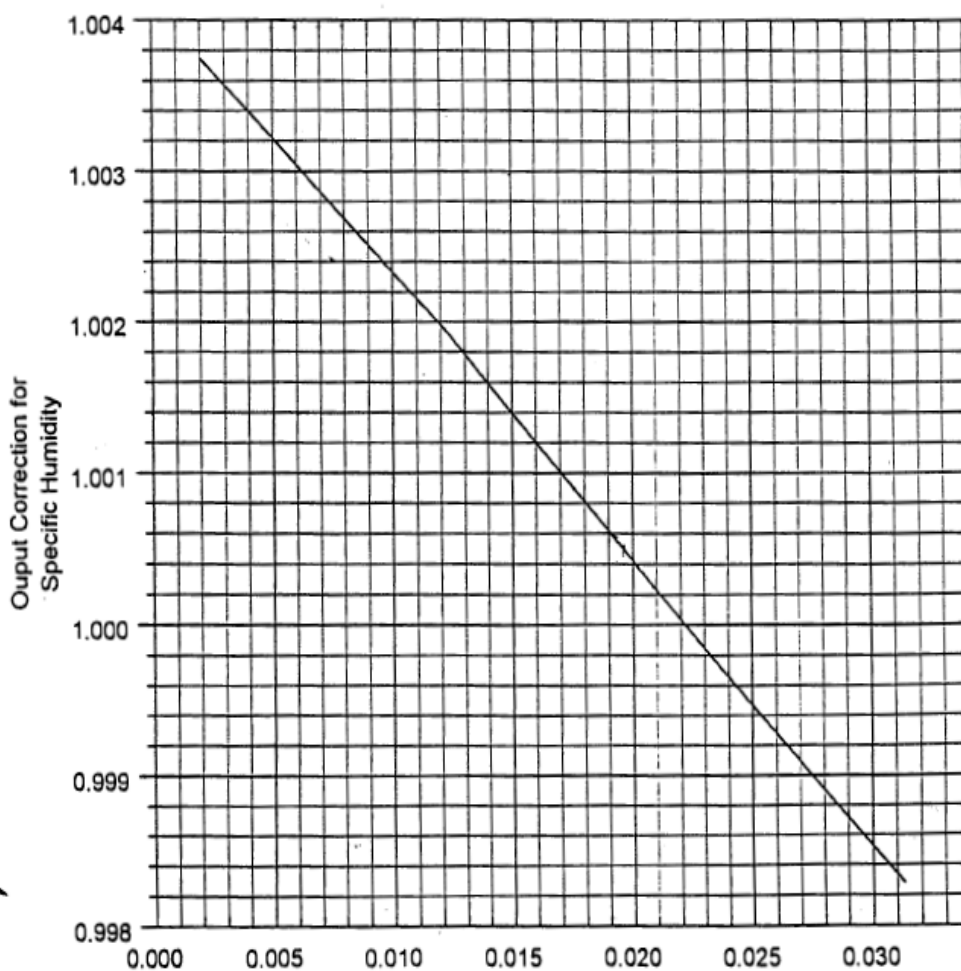


EGAT South Bangkok II Combined Cycle Net Equipment Output Variation

Effect of Specific Humidity on Output Power

Notes:

1. STAG 209FA with Gas Turbine Base Load
2. Ambient Temperature = 89.96 F
3. Barometric Pressure = 14.7 psia
4. Natural Gas Fuel, LHV = 17290. Btu/Lbm
5. Condenser Pressure = 1.992 psia



KR Boehm
9/18/97

Variation in Specific Humidity (mass water vapor/mass dry air)

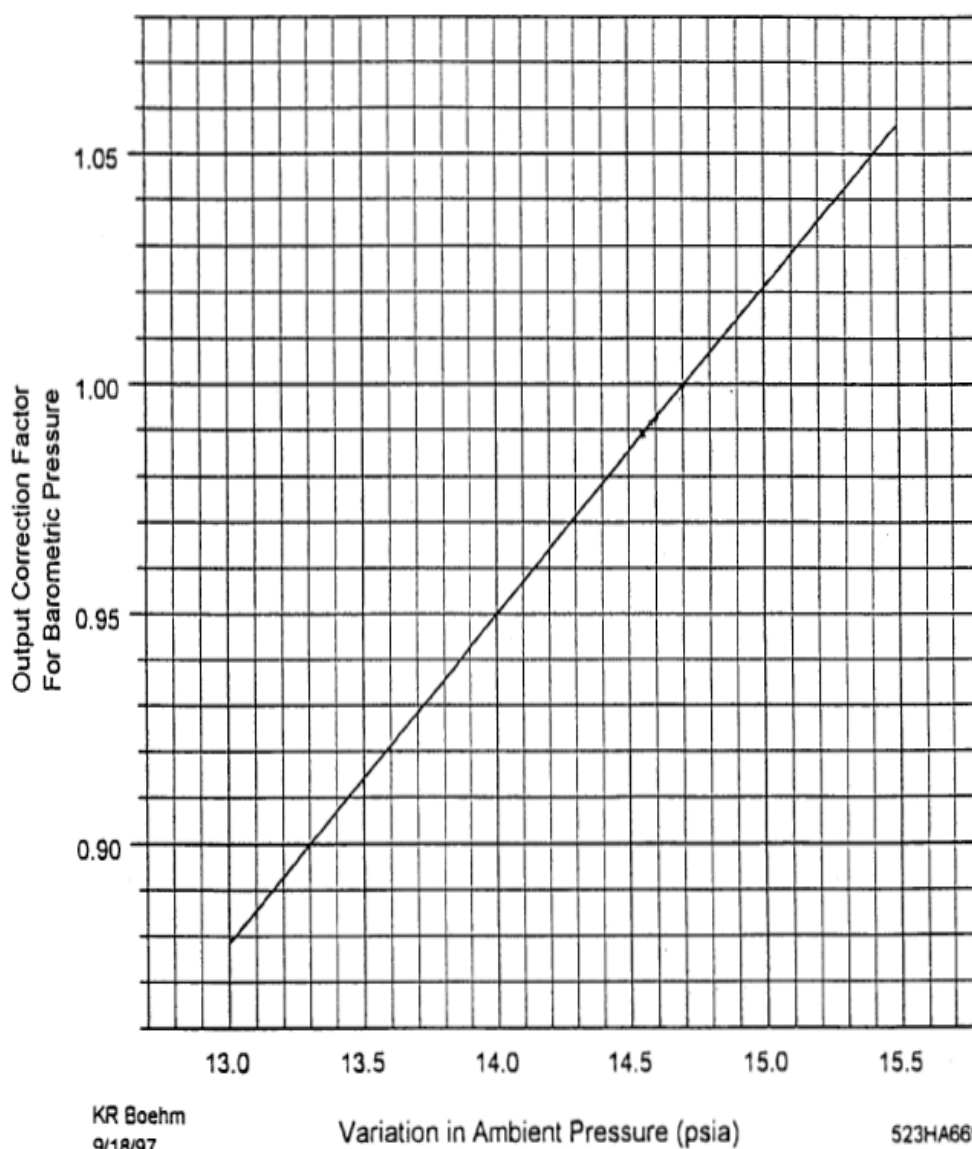
523HA668
Rev - 1

EGAT South Bangkok II Combined Cycle Net Equipment Output Variation

Effect of Barometric Pressure on Output Power

Notes:

1. STAG 209FA with Gas Turbine Base Load
2. Ambient Temperature = 89.96 F
3. Ambient Relative Humidity = 75%
4. Condenser Pressure = 1.992 psia
5. 50 Hz (3000 rpm).
6. Any Fuel



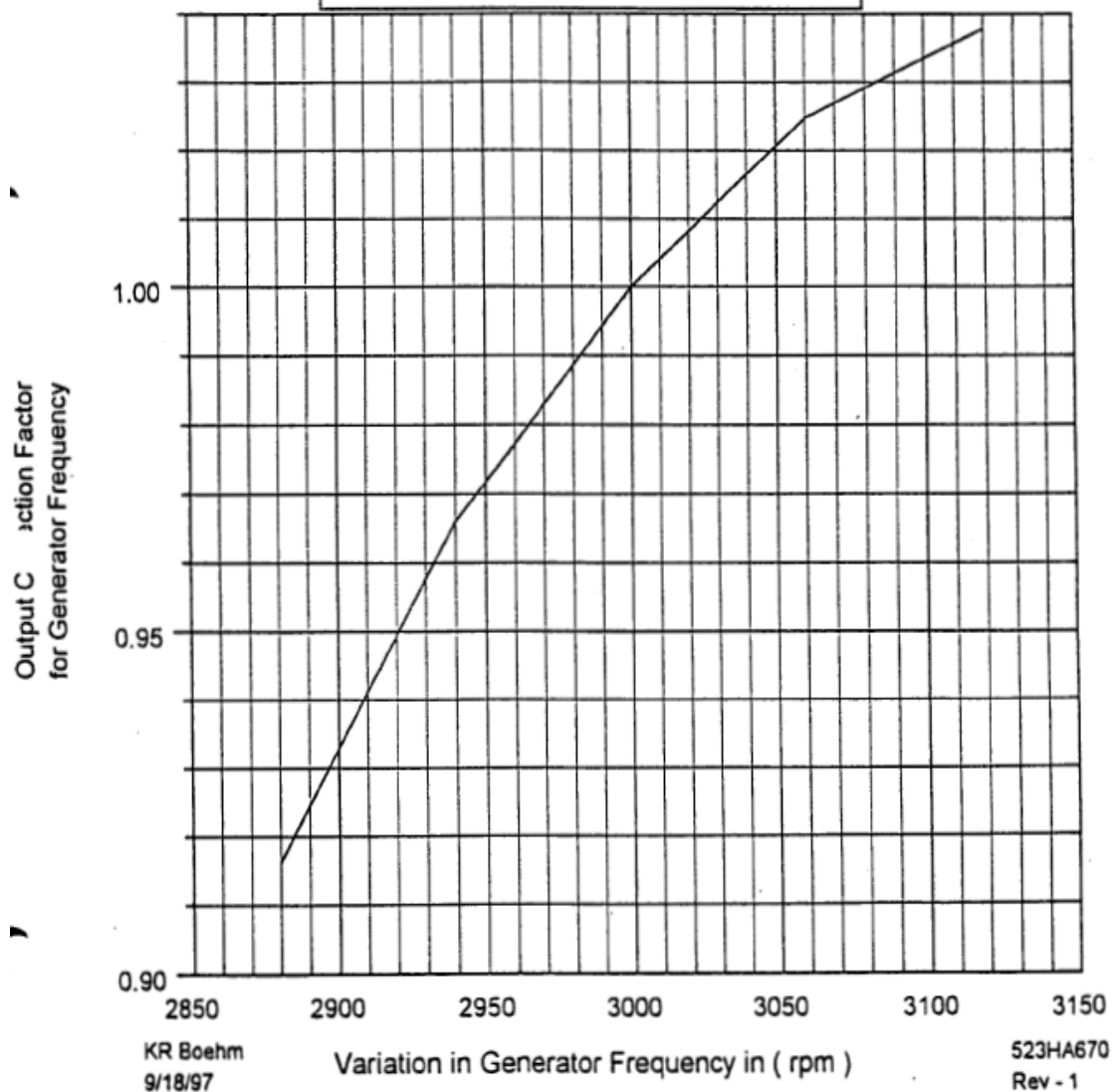
EGAT South Bangkok II

Combined Cycle Net Equipment Output Variation

Effect of Generator Frequency on Output Power

Notes:

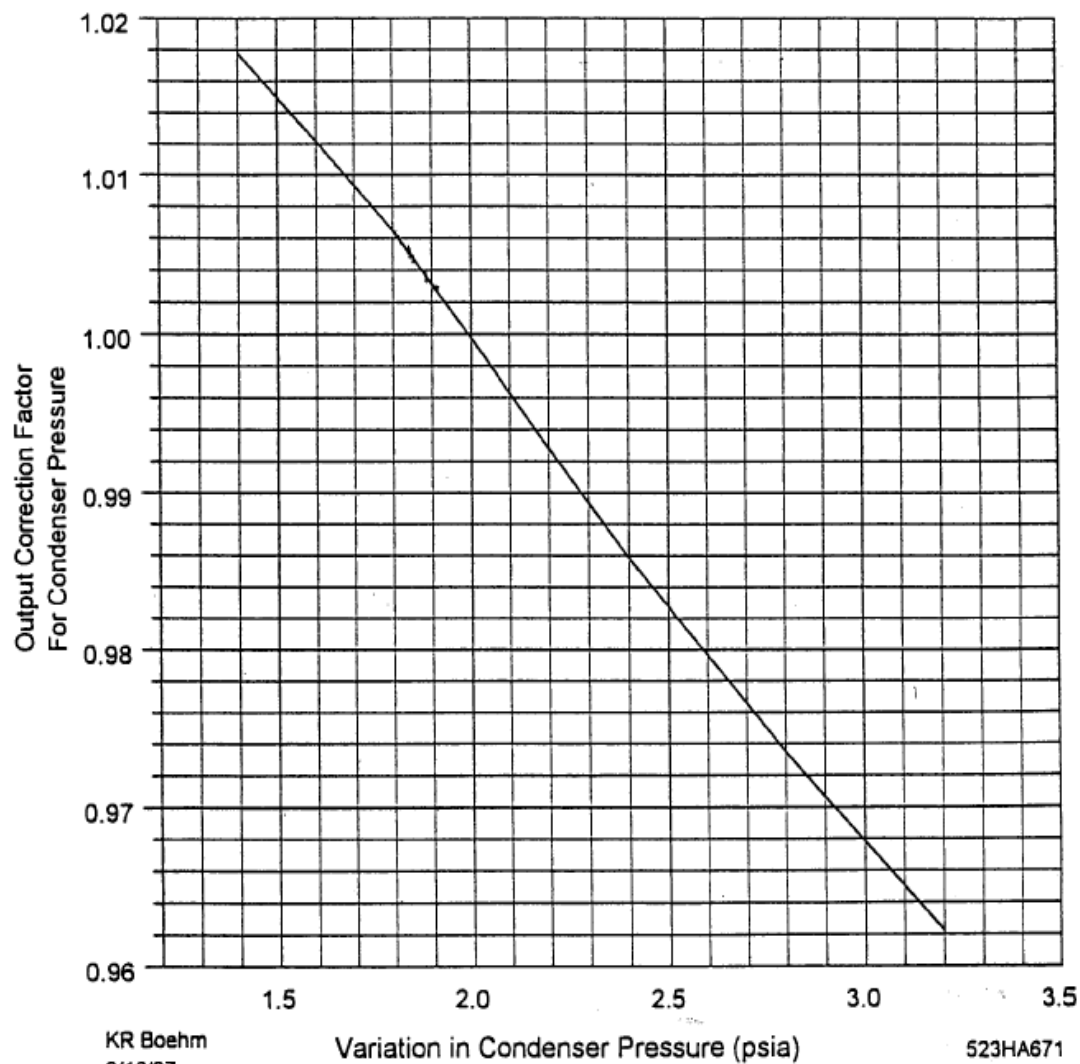
1. STAG 209FA with Gas Turbine Base Load
2. Ambient Temperature = 89.96 F
3. Barometric Pressure = 14.7 psia
4. Ambient Relative Humidity = 75 %
5. Natural Gas Fuel, LHV = 17,290 Btu/Lbm
6. 50 Hz = 3000 RPM
7. 1 Hz = 60 RPM
8. Condenser Pressure = 1.992 psia



EGAT South Bangkok II
Combined Cycle Net Equipment Output Variation
Effect of Condenser Pressure on Output Power

Notes:

1. STAG 209FA with Gas Turbine Base Load
2. Ambient Temperature = 89.96 F
3. Barometric Pressure - 14.7 psia
4. Ambient Relative Humidity = 75%
5. Natural Gas Fuel, LHV = 17,290. Btu/Lbm

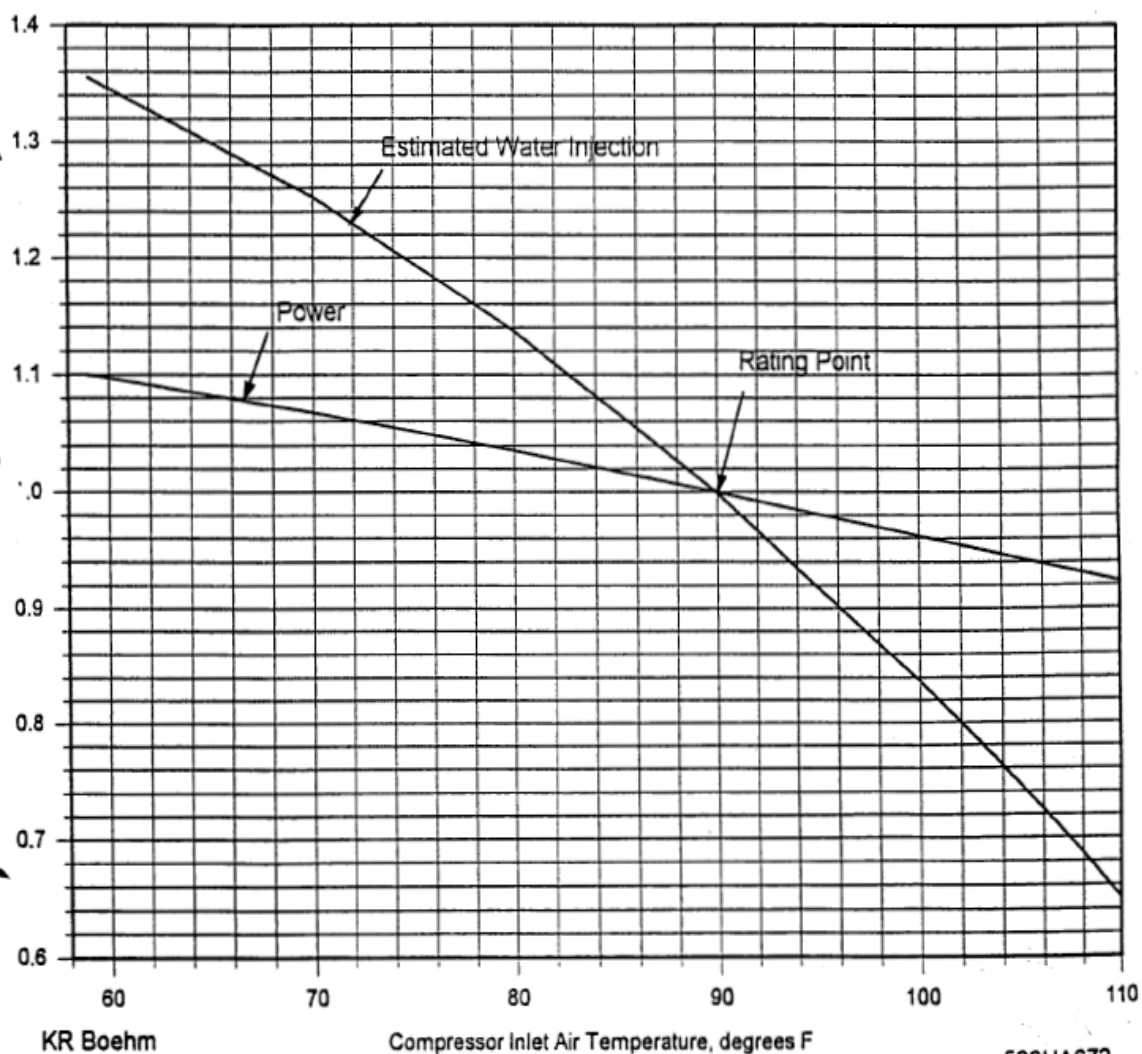


EGAT South Bangkok II Combined Cycle Net Equipment Output Power

Effect of Compressor Inlet Temperature
on Output and Water Injection at Base Load

Notes:

1. Ambient Pressure = 14.7 psia
2. Ambient Relative Humidity = 75%
3. Fuel = Distillate Oil, 18,550 BTU/lb (LHV)
4. Estimated Water Injection to 75 ppmvd NOx @ 15% O₂
5. Condenser Pressure = 1.992 psia.



KR Boehm
9/18/97

Compressor Inlet Air Temperature, degrees F

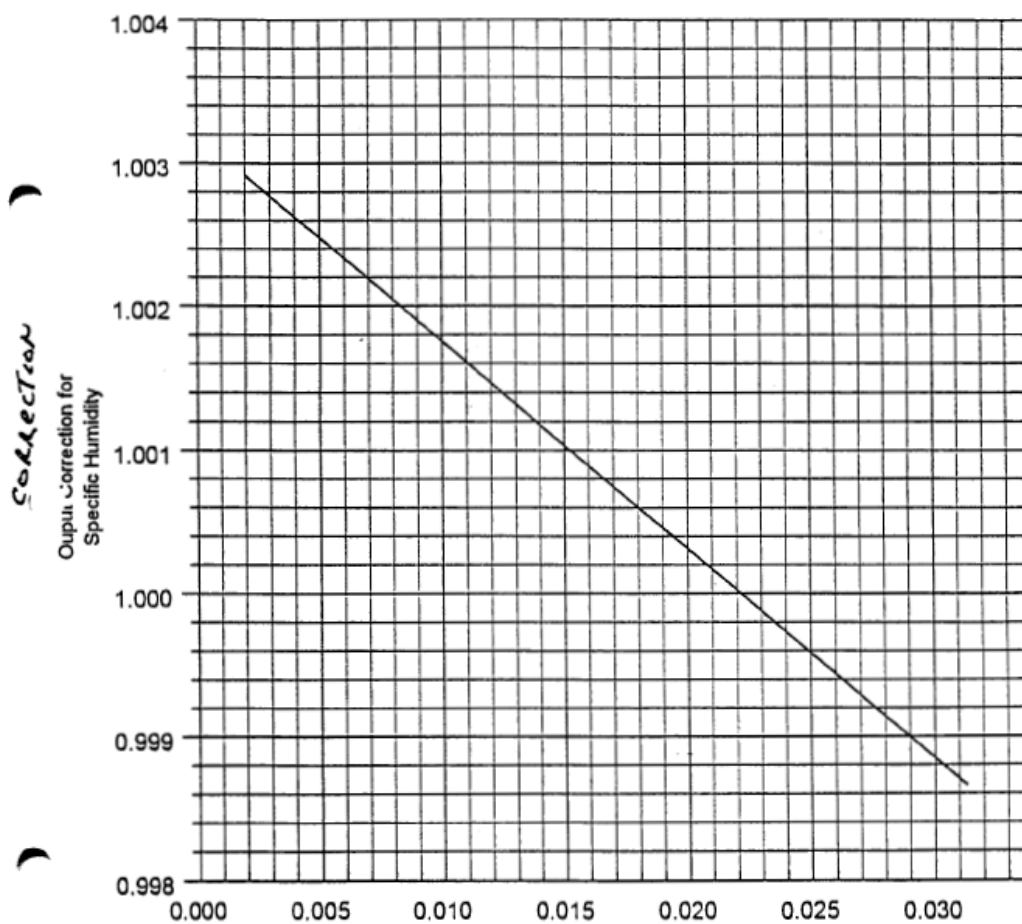
523HA672
Rev - 1

EGAT South Bangkok II Combined Cycle Net Equipment Output Variation

Effect of Specific Humidity on Output Power

Notes:

1. STAG 209FA with Gas Turbine Base Load
2. Ambient Temperature = 89.96 F
3. Barometric Pressure = 14.7 psia
4. Distillate Oil Fuel, LHV = 18,550. Btu/Lbm.
5. Condenser Pressure = 1.992 psia



KR Boehm
9/18/97

Variation in Specific Humidity (mass water vapor/mass dry air)

523HA673
Rev - 1

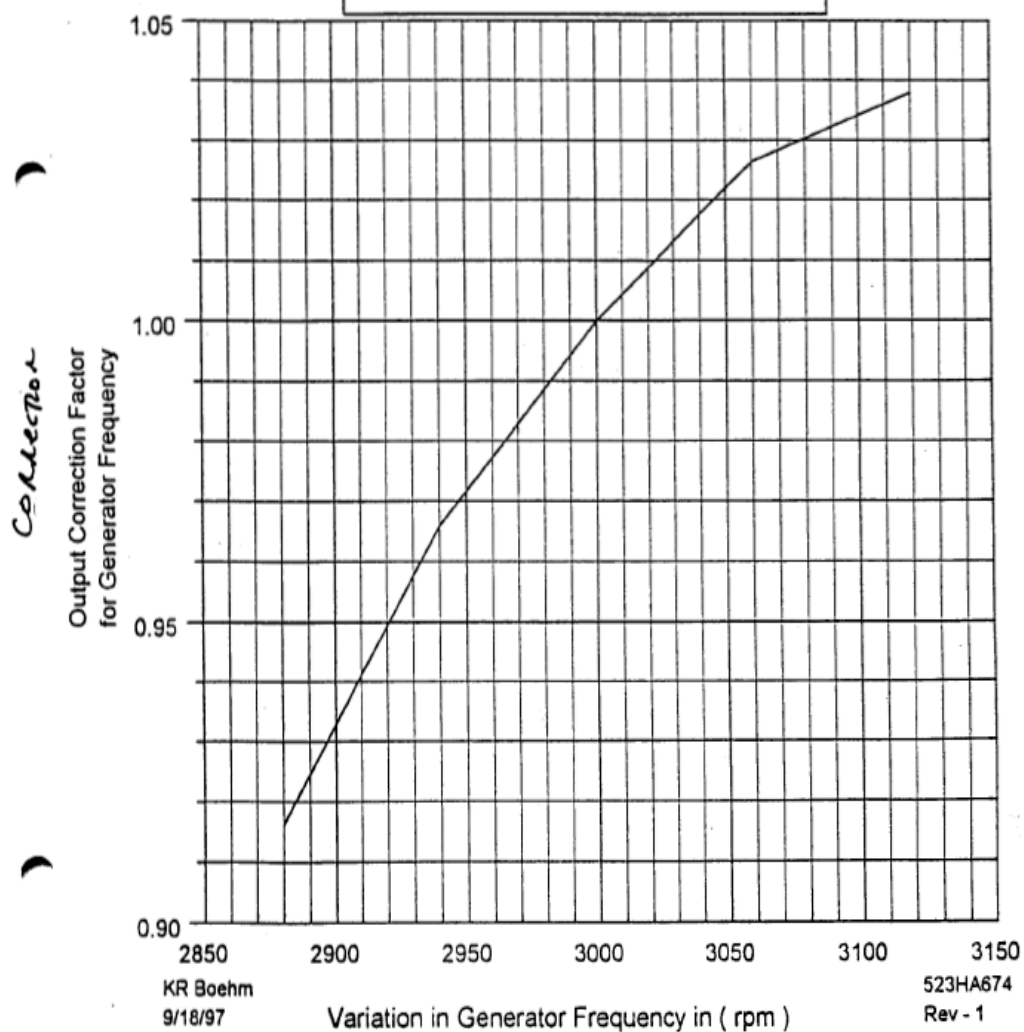
EGAT South Bangkok II

Combined Cycle Net Equipment Output Variation

Effect of Generator Frequency on Output Power

Notes:

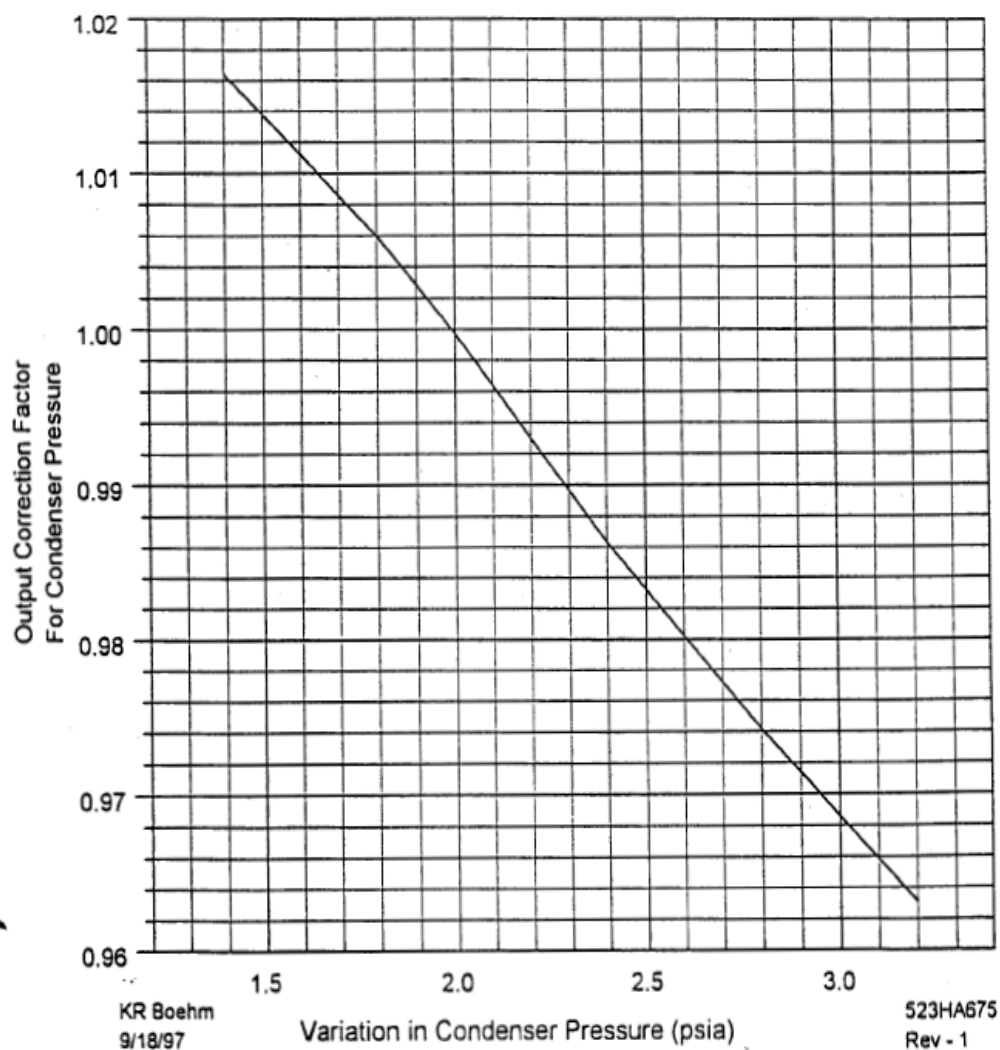
1. STAG 209FA with Gas Turbine Base Load
2. Ambient Temperature = 89.96 F
3. Barometric Pressure = 14.7 psia
4. Ambient Relative Humidity = 75 %
5. Distillate Oil Fuel, LHV = 18,550. Btu/Lbm
6. 50 Hz = 3000 RPM
7. 1 Hz = 60 RPM
8. Condenser Pressure = 1.992 psia



EGAT South Bagkok II
Combined Cycle Net Equipment Output Variation
Effect of Condenser Pressure on Output Power

Notes:

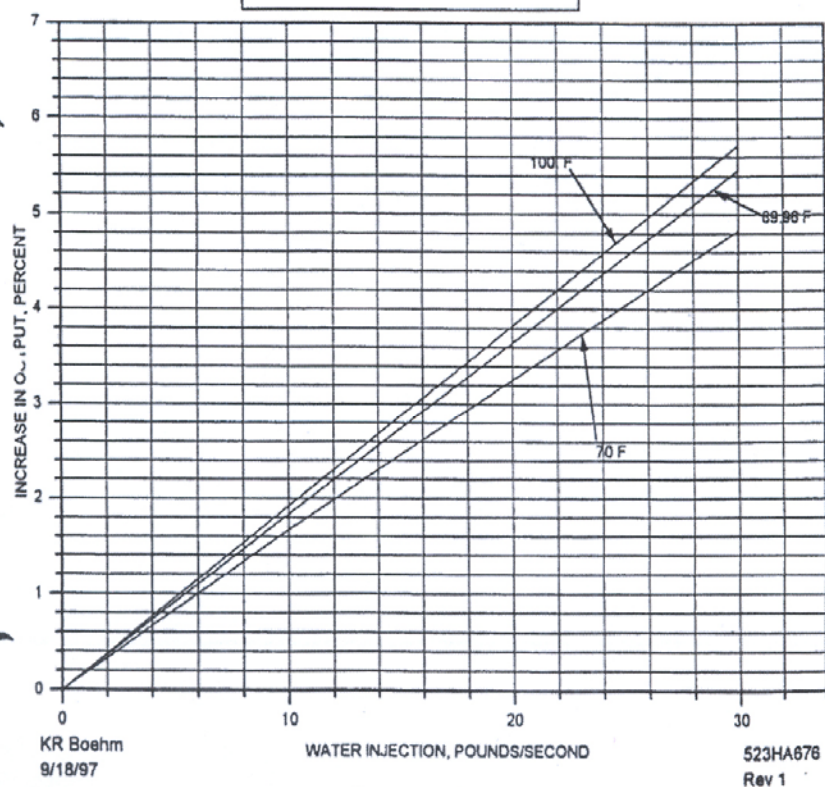
1. STAG 209FA with Gas Turbine Base Load
2. Ambient Temperature = 89.96 F
3. Barometric Pressure = 14.7 psia
4. Ambient Relative Humidity = 75%
5. Distillate Oil Fuel, LHV = 18,550 Btu/Lbm



EGAT South Bangkok II
Combined Cycle Net Equipment Output Variation
Effect of Water Injection Rate on Output Power

Notes:

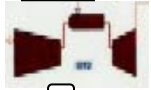
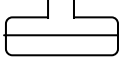
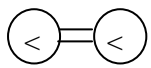
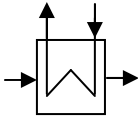
1. Ambient Temperature = 89.96 F
2. Ambient Pressure = 14.7 psia
3. Ambient Relative Humidity = 75%
4. Ambient Temperature = 89.96 F.
5. Distillate Oil Fuel, 18,550 BTU/lb (LHV)



อภิธานศัพท์

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

kW_G	=	กำลังการผลิตของกังหันก๊าซที่ผลิตได้, KW
N	=	จำนวนรอบของ watt-hour meter
V	=	โวลต์ (Field voltage)
A	=	กระแส (Field current)
q_m	=	อัตราการไหลเชื้อเพลิงก๊าซ, lb/h
E_v	=	ความเร็วของก๊าซ
Y	=	การขยายตัวของก๊าซด้านหลัง Orifice
d	=	ขนาดของ Orifice (inches)
ρ	=	ความหนาแน่น, (lb/ft ³)
ΔP	=	ความดันที่ตกคร่อมที่ Orifice (inches of H ₂ O)
HC_G	=	ค่าความสิ้นเปลืองความร้อน
LHV	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง
Major Overhaul	=	งานซ่อมใหญ่
Heat Rate	=	อัตราความร้อน
Combine Cycle Power Plan	=	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม
Gas Turbine	=	โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ
Steam Turbine	=	โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ
	=	หอระบายความร้อน
	=	กังหันก๊าซ
	=	ครัม
	=	ปั๊มแรงดันสูง
	=	คอนเดนเซอร์
	=	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นาย ชีรวุฒิ ศรีहरา
วันเดือนปีเกิด	26 กันยายน 2509
สถานที่เกิด	กาญจนบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	129/11 หมู่ 5 ซ.บางกรวย-ไทรน้อย10 ถนน บางกรวย-ไทรน้อย ต.บางกรวย อ. บางกรวย จ.นนทบุรี 11130
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2527	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนวิสุทธิรังษี กาญจนบุรี
พ.ศ. 2536	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จากมหาวิทยาลัยสยาม
พ.ศ. 2551	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ