



T148532

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็น

The Number of Operating Cooling Tower Fans Calculation

นายธนพล โชคอำนวยพร

เลขหมู่.....**148532**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี **30 ต.ค. 2560**

b. 12840481
i.

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็น

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายธนพล โชคอำนวยพร

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณวันชัย ทองคง

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท กัลฟ์ เจพี เอ็นเอส จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการสหกิจศึกษานี้ศึกษาการคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็นให้เหมาะสมกับกำลังการผลิตและสภาพอากาศขณะดำเนินงาน เพื่อลดการใช้พลังงานภายในกระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้า ความร้อนร่วมหนองแซง หอทำความเย็นภายในโรงไฟฟ้าทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากระบบผลิตไฟฟ้าของกังหันไอน้ำ โดยการรับน้ำร้อนจากเครื่องควบแน่น ทำการถ่ายเทความร้อนออกสู่บรรยากาศ แล้วส่งน้ำที่ถูกลดอุณหภูมิกลับไปรับความร้อนยังเครื่องควบแน่นอีกครั้ง โดยพัดลมหอทำความเย็นมีจำนวนทั้งหมด 13 เครื่อง ถูกออกแบบให้ดำเนินงานที่กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด แต่เนื่องจากกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในประเทศ ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามวัน เวลา และฤดูกาล และความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของหอทำความเย็นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศขณะดำเนินงาน จึงทำให้สามารถลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็นลงได้ การดำเนินงานแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 นำข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า มาคำนวณค่า NTU (Number of Transfer Units) และอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (Liquid Gas Ratio) ซึ่งเป็นค่าจริงของหอทำความเย็น ขั้นตอนที่ 2 นำค่าที่คำนวณได้จากขั้นตอนแรก มาสร้างโปรแกรมคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็น โดยโปรแกรมจะรับค่า กำลังการผลิต อุณหภูมิและความชื้นของอากาศขณะดำเนินงาน แล้วคำนวณออกมาเป็นจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็น และอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็น ขั้นตอนที่ 3 นำข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า มาจัดทำข้อมูลผลกระทบที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิต และสร้างสมการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน เมื่อทำการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็นลง จากการดำเนินงานพบว่า การลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็นลงนั้น ทำให้ความดันในเครื่องควบแน่นสูงขึ้น ส่งผลให้กำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากระบบลดลง ดังนั้นการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็นจะต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าระหว่างการประหยัดพลังงานที่ได้จากการลดการใช้งานพัดลม และกำลังการผลิตที่ลดลงจากค่าความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่น โครงการสหกิจศึกษารั้งนี้ ทำให้โรงไฟฟ้าสามารถคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็นได้อย่างเหมาะสมและแม่นยำ และลด

ค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานภายในกระบวนการผลิตลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: The number of operating cooling tower fans calculation

Student Intern Name: Mr.Thanapon Chokamnuayporn

Faculty: Engineering

Department: Chemical Engineering

Advisors: Asst.Prof.Dr.Pornsawan Assawasaengrat

Mentor Name: Mr.Wanchai Thongkong

Company: Gulf JP NS, Ltd.

Abstract

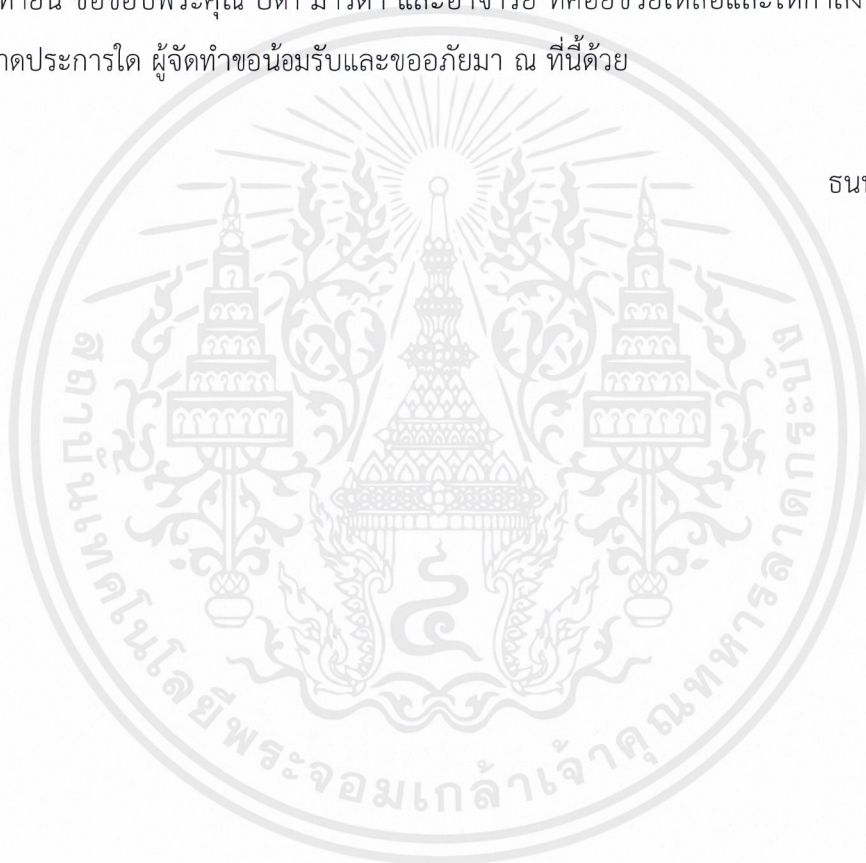
This cooperative education project studied about calculating the number of operating cooling tower fans to appropriate for a capacity and weather conditions while operating. For reduce the energy consumption in a process of the Nong Saeng combined cycle power plant. The cooling tower in this power plant use for pull heat out from the power generation system of steam turbine by receiving hot water from a condenser, then transfer heat into the atmosphere, and sent back the lower temperature water to a condenser again. The total number of cooling tower fans is 13. They are designed for the maximum capacity, but the capacity depend on the electricity demand, which varies with time, days and seasons. Therefore, the power plant can reduce the operating cooling tower fans. The procedures are divided into 3 parts. First, using the operating data to calculate actual values of the liquid gas ratio and the number of transfer units. Second, using the calculated actual values to create the operating cooling tower fans calculator. This calculator receive the capacity, the dry bulb temperature and the relative humidity to use in a calculation. The results are the number of operating cooling tower fans and the cooling tower outlet water temperature. Finally, creating the affected process data and the energy saving equation from reducing cooling tower fans. From the procedure, we found that reducing operating cooling tower fans cause condenser pressure increase, then a capacity will decrease. Therefore, deciding to reduce operating cooling tower fans must compare the energy saving with the decreasing capacity. This cooperative education project can make a plan to operate the cooling tower fans, and reduce the energy cost form a process.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัครว
แสงรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการสหกิจศึกษา ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไข ทำให้โครงการสหกิจ
ศึกษานี้มีความสมบูรณ์ ขอขอบคุณ คุณวันชัย ทองคง หัวหน้าแผนก Operation Engineering บริษัท กัลฟ์ เจ
พี เอ็นเอส จำกัด สำหรับข้อเสนอแนะและความช่วยเหลือ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงการสหกิจ
ศึกษา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และอาจารย์ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา หากมี
ความผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ธนพล โชคอำนวยพร



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าหนองแสง.....	3
2.2 กระบวนการทำงานของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม.....	5
2.3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำ.....	7
2.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงไฟฟ้า.....	10
2.5 ผลกระทบจากการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็น.....	10
2.6 หอทำความเย็น (Cooling Tower)	11
2.7 การวิเคราะห์หอทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง.....	13
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....	19
3.1 การรวบรวมและศึกษาข้อมูล.....	19
3.2 การสร้างโปรแกรมคำนวณ.....	19
3.3 การจัดทำข้อมูลผลกระทบและคำนวณผลการประหยัดพลังงาน.....	25
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	27
4.1 ความแม่นยำของโปรแกรมคำนวณ.....	27
4.2 การลดลงของประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....	27
4.3 การลดลงของกำลังการผลิตไฟฟ้า.....	28
4.4 ผลการประหยัดพลังงาน.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	31
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	31
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	31
เอกสารอ้างอิง.....	32
ภาคผนวก.....	33
ภาคผนวก ก.....	33
ภาคผนวก ข.....	46
ภาคผนวก ค.....	48
ภาคผนวก ง.....	50



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 กังหันก๊าซ (Gas Turbine) รุ่น M701F4.....	4
2.2 เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator: HRSG)	5
2.3 กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) รุ่น TC2F-40.5.....	5
2.4 กระบวนการทำงานของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมหนองแซง.....	6
2.5 ระบบกังหันไอน้ำและระบบทำความเย็นของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมหนองแซง.....	7
2.6 วัฏจักรแรงคินอุดมคติ (Ideal Rankine Cycle)	9
2.7 วัฏจักรแรงคินจริง (Actual Rankine Cycle)	9
2.8 ผลกระทบจากค่าความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่นที่เกิดขึ้นกับวัฏจักรแรงคิน.....	11
2.9 ขั้นตอนการทำงานของหอทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง (Counterflow Cooling Towers).....	14
2.10 การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนของหอทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง.....	16
3.1 ผังงานของฟังก์ชันคำนวณค่า NTU และอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ.....	20
3.2 ผังงานของโปรแกรมคำนวณจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็น.....	24
3.3 ผังงานของโปรแกรมคำนวณผลกระทบจากการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็น.....	26
4.1 กราฟการแจกแจงค่าตลาดเคลื่อนร้อยละจากการคำนวณของโปรแกรม.....	27
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่นกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ลดลง.....	28
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่นกับกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ลดลง.....	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เกือบทั้งหมดจะถูกส่งขายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ไฟฟ้าส่วนที่เหลือจะถูกส่งกลับมาภายในโรงไฟฟ้าประมาณ 15-20 เมกะวัตต์ต่อบล็อกการผลิต เพื่อใช้สำหรับอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต เช่น ปั๊ม เครื่องอัดอากาศ และพัดลมหอทำความเย็น โดยกระบวนการผลิตไฟฟ้านั้นจะต้องมีการดึงความร้อนออกจากระบบผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องควบแน่น ซึ่งจะใช้ น้ำเป็นสารตัวกลางสำหรับการถ่ายเทความร้อน และเมื่อน้ำได้รับความร้อนจากระบบก็จะถูกดึงความร้อนออกสู่บรรยากาศผ่านหอทำความเย็น ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 13 ตัวต่อบล็อกการผลิต ถูกออกแบบไว้สำหรับกำลังการผลิตสูงสุด และสภาพอากาศสภาพอากาศที่แย่ที่สุดในการทำความร้อน โดยด้านบนของหอทำความเย็นแต่ละตัว จะมีพัดลมดูดอากาศติดตั้งไว้ ทำหน้าที่ดูดอากาศเข้าสู่หอทำความเย็น เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ โดยปกติโรงไฟฟ้าจะเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็นทั้งหมดเมื่อมีการดำเนินการผลิต ในขณะที่สภาพอากาศขณะดำเนินการผลิตนั้นเปลี่ยนแปลงตามเวลาและฤดูกาล และโรงไฟฟ้าไม่ได้ดำเนินการที่กำลังการผลิตสูงสุดตลอดเวลา เนื่องจากกำลังการผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในประเทศ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงวันและเวลา ดังนั้นการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็นทั้งหมด จึงเป็นการสิ้นเปลือง แม้ว่าจะเป็นจำนวนเงินไม่มากแต่ก็ทำให้บริษัทเสียค่าใช้จ่ายบางส่วนไปโดยไม่จำเป็น

ดังนั้นโครงการครั้งนี้ทางโรงไฟฟ้าได้เล็งเห็นความเป็นไปได้ที่จะลดการใช้พลังงานจากภายในกระบวนการผลิต จึงทำการสร้างโปรแกรมคำนวณขึ้น โดยโปรแกรมจะรับค่ากำลังการผลิตและสภาพอากาศขณะดำเนินการผลิต เพื่อไปคำนวณหาความเป็นไปได้ที่จะปรับลดการใช้งานของพัดลมหอทำความเย็นให้เหมาะสม โดยผลการคำนวณที่ได้จะเป็นจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็นและอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็น แล้วจัดทำข้อมูลกระทบที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิต เมื่อทำการปรับลดจำนวนการใช้งานของพัดลมหอทำความเย็น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

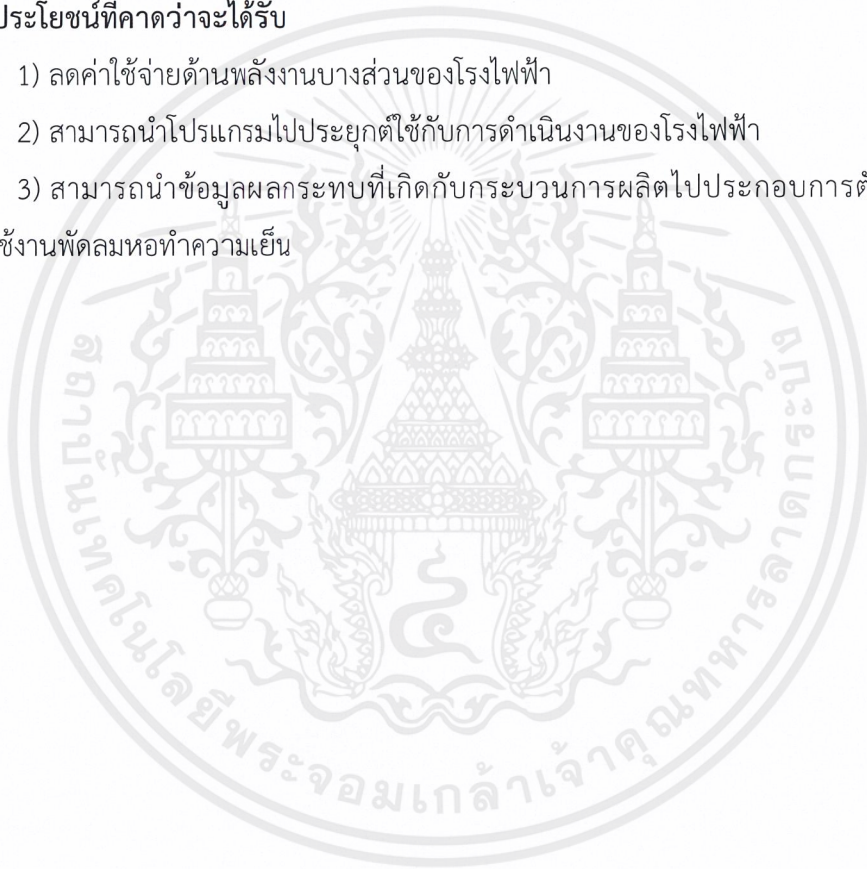
- 1) สร้างโปรแกรมเพื่อคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานของพัดลมหอทำความเย็นที่เหมาะสม เพื่อลดการใช้พลังงานภายในกระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้า
- 2) ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตไฟฟ้าและคำนวณผลการประหยัดพลังงาน จากการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็น

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ศึกษาวิธีการทำงานของหอทำความเย็น และการสร้างโปรแกรมคำนวณ
- 2) รวบรวมข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับโรงไฟฟ้า หอทำความเย็น และข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า
- 3) นำข้อมูลค่าการออกแบบที่กำลังการผลิตต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้า มาสร้างโปรแกรมเพื่อคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานของพัดลมหอทำความเย็น
- 4) ประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิต โดยใช้ข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าที่บันทึกไว้ของบล็อกการผลิตที่ 2 ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ.2559

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานบางส่วนของโรงไฟฟ้า
- 2) สามารถนำโปรแกรมไปประยุกต์ใช้กับการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า
- 3) สามารถนำข้อมูลผลกระทบที่เกิดกับกระบวนการผลิตไปประกอบการตัดสินใจในการลดจำนวนการใช้งานพัดลมหอทำความเย็น



บทที่ 2

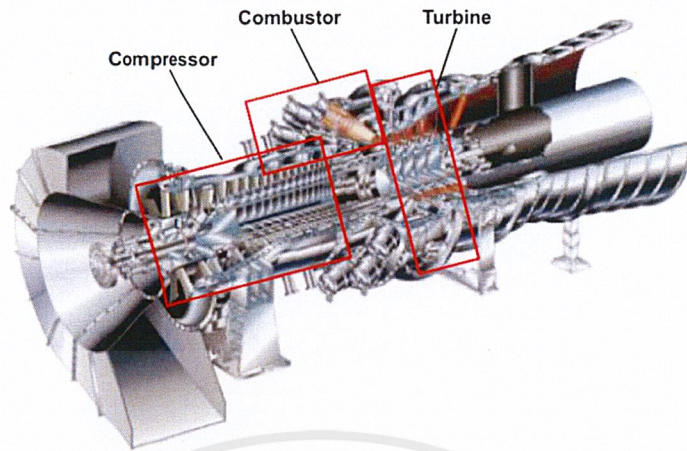
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าหนองแขง

โรงไฟฟ้าหนองแขงดำเนินงานโดย บริษัท กัลฟ์ เจพี เอ็นเอส จำกัด ตั้งอยู่ที่ อำเภอหนองแขง จังหวัดสระบุรี ครอบคลุมพื้นที่ 912,000 ตารางเมตร ทำการจำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต เริ่มต้นจำหน่ายเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ.2557 โดยโรงไฟฟ้าหนองแขงเป็นโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม (Combined Cycle Power Plant) ซึ่งประกอบไปด้วยกังหันก๊าซจำนวน 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำจำนวน 1 เครื่อง มีกำลังการผลิต 800 เมกะวัตต์ โดยมีจำนวนทั้งหมด 2 บล็อกการผลิต ทำให้มีกำลังการผลิตรวมทั้งหมด 1,600 เมกะวัตต์ และมีค่าความร้อนเฉลี่ย (Heat Rate) อยู่ที่ 6,258 กิโลจูลต่อหน่วย ในการดำเนินการผลิตนั้นจะใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก และน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสำรอง เนื่องจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติมีราคาต่ำกว่า และให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้สูงกว่าน้ำมันดีเซล โรงไฟฟ้าใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติประมาณ 132.6 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อบล็อกการผลิตต่อวัน โดยโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเป็นการนำเอาเทคโนโลยีของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ และโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำมาใช้งานเป็นระบบร่วมกัน ซึ่งประกอบไปด้วยวัฏจักรเบรย์ตัน (Brayton Cycle) และวัฏจักรแรงคิน (Rankine Cycle) ทำงานร่วมกัน จึงทำให้มีประสิทธิภาพมากถึง 50-60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าแบบวัฏจักรเดียว (Single Cycle) ซึ่งมีประสิทธิภาพแค่ 35-42 เปอร์เซ็นต์ โดยการนำก๊าซเสียจากกังหันก๊าซ ซึ่งมีความร้อนสูงประมาณ 620 องศาเซลเซียส เข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ ทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อไป ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

2.1.1 ส่วนประกอบสำคัญ

2.1.1.1 กังหันก๊าซ (Gas Turbine) เป็นเครื่องกังหันก๊าซรุ่น M701F4 ผลิตโดย บริษัท Mitsubishi Heavy Industries กำลังการผลิต 284 เมกะวัตต์ ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก และน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสำรอง มีประสิทธิภาพสูง และปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ต่ำ โดยวัฏจักรอุดมคติสำหรับการทำงานของกังหันก๊าซ คือ วัฏจักรเบรย์ตัน (Brayton Cycle) ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก คือ เครื่องอัดอากาศ ห้องเผาไหม้ และกังหันก๊าซ ซึ่งกังหันก๊าซและเครื่องอัดอากาศ นั้นติดตั้งอยู่บนเพลาดียวกัน แต่ทำงานในทางกลับกัน โดยเครื่องอัดอากาศมีจำนวนชั้น 17 ชั้น ส่วนกังหันก๊าซมี 4 ชั้น มีห้องเผาไหม้ทั้งหมด 20 ห้อง อัตราส่วนความดัน 18 เท่า เทียบกับความดันบรรยากาศ และความเร็วรอบการหมุนของเพลาคือ 3000 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กังหันก๊าซ (Gas Turbine) รุ่น M701F4 [1]

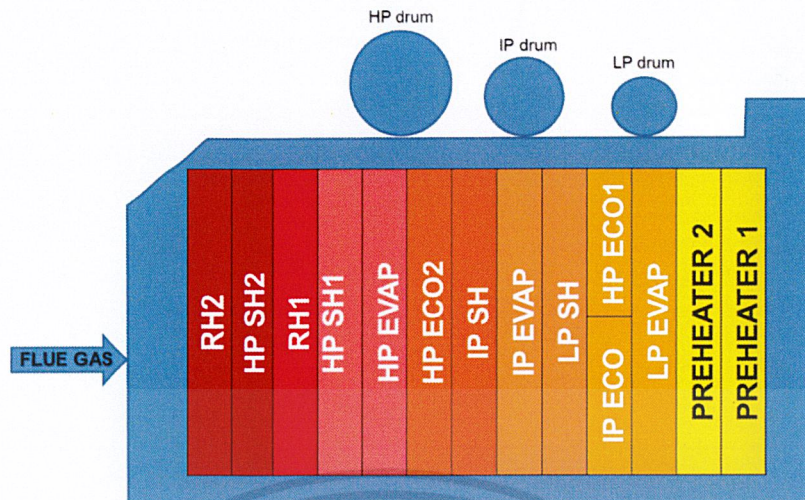
2.1.1.2 เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator: HRSG) ดังรูปที่ 2.2 ผลิตโดย บริษัท Nooter/ Eriksen, Inc. ประกอบไปด้วยถังไอน้ำ 3 ชนิดแรงดัน คือ ถังไอน้ำแรงดันสูง (HP Drum) ความดัน 148 บาร์ ถังไอน้ำแรงดันกลาง (IP Drum) ความดัน 41 บาร์ และถังไอน้ำแรงดันต่ำ (LP Drum) ความดัน 7 บาร์ เป็นเครื่องชนิดแนวตั้ง โดยชุดท่อจะวางตัวอยู่ในแนวตั้ง ส่วนก๊าซเสียที่ออกมาจากกังหันก๊าซจะไหลผ่านชุดท่อในแนวนอน โดยเครื่องกำเนิดไอน้ำทำหน้าที่ดึงความร้อนจากก๊าซเสียที่ออกมาจากกังหันก๊าซเพื่อนำเอาความร้อนที่เหลือไปใช้ในกระบวนการผลิตไอน้ำ ซึ่งเป็นการใช้เชื้อเพลิงให้ได้ประโยชน์สูงสุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ โครงสร้างประกอบขึ้นจากโครงเหล็กที่แข็งแรง ภายในติดตั้งชุดท่อเหล็กทนความร้อนหลาย ๆ ชุด ซึ่งเป็นทางผ่านของก๊าซเสียจากเครื่องกังหันก๊าซที่ปล่อยเข้ามา น้ำและไอน้ำจะไหลเวียนเข้ามารับความร้อนภายในท่อ ทิศทางการไหลของก๊าซเสียในเครื่องกำเนิดไอน้ำจะปล่อยให้ไหลตามธรรมชาติลอยขึ้นด้านบนออกทางปล่อง ชุดท่อต่าง ๆ ในเครื่องกำเนิดไอน้ำมีหน้าที่เฉพาะ ดังนี้

1) เครื่องทวีความร้อน (Superheater) เป็นชุดท่อที่ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) ที่ออกมาจากด้านบนของถังไอน้ำจนกลายเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated Steam) โดยชุดท่อนี้จะมีตำแหน่งอยู่ที่ส่วนต้นของเครื่องกำเนิดไอน้ำ เนื่องจากเป็นส่วนที่ได้รับปริมาณความร้อนสูงที่สุด

2) เครื่องระเหย (Evaporator) เป็นชุดท่อให้ความร้อนที่ออกมาจากด้านล่างของถังไอน้ำ โดยใช้หลักการไหลเวียนแบบธรรมชาติ (Natural Circulation) เป็นตัวขับเคลื่อนน้ำเข้าสู่ชุดท่อ เพื่อทำการระเหยน้ำให้กลายเป็นไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งภายในท่อจะคงสภาพน้ำผสมไอน้ำไหลอยู่ในท่อแล้วไหลกลับสู่ถังไอน้ำ ซึ่งจะแยกน้ำและไอน้ำออกจากกันโดยไอน้ำจะถูกแยกไปเข้าเครื่องทวีความร้อน ขณะที่น้ำจะไหลกลับเข้าถังไอน้ำอีกครั้งหนึ่ง

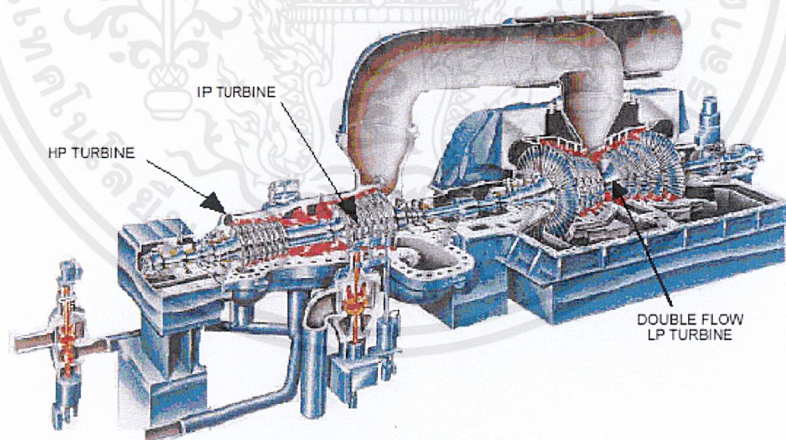
3) แผงท่อรับความร้อน (Economizer) เป็นชุดท่อให้ความร้อนแก่น้ำที่มาจากระบบสูบน้ำก่อนที่จะถูกส่งเข้าสู่ถังไอน้ำ เพื่อที่จะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิในถังไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator: HRSG) [1]

2.1.1.3 กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เป็นเครื่องกังหันไอน้ำรุ่น TC2F-40.5 ผลิตโดย บริษัท Mitsubishi Heavy Industries กำลังการผลิต 307 เมกะวัตต์ ประกอบด้วยกังหัน 3 ชนิดแรงดัน คือ กังหันไอน้ำแรงดันสูง (High Pressure Turbine) ความดัน 134.8 บาร์ กังหันไอน้ำแรงดันกลาง (Intermediate Pressure Turbine) ความดัน 33.5 บาร์ และกังหันไอน้ำแรงดันต่ำ (Low Pressure Turbine) ความดัน 6 บาร์ ติดตั้งอยู่บนเพลาดียวกัน ความเร็วรอบการหมุนของเพลาคือ 3000 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ 2.3

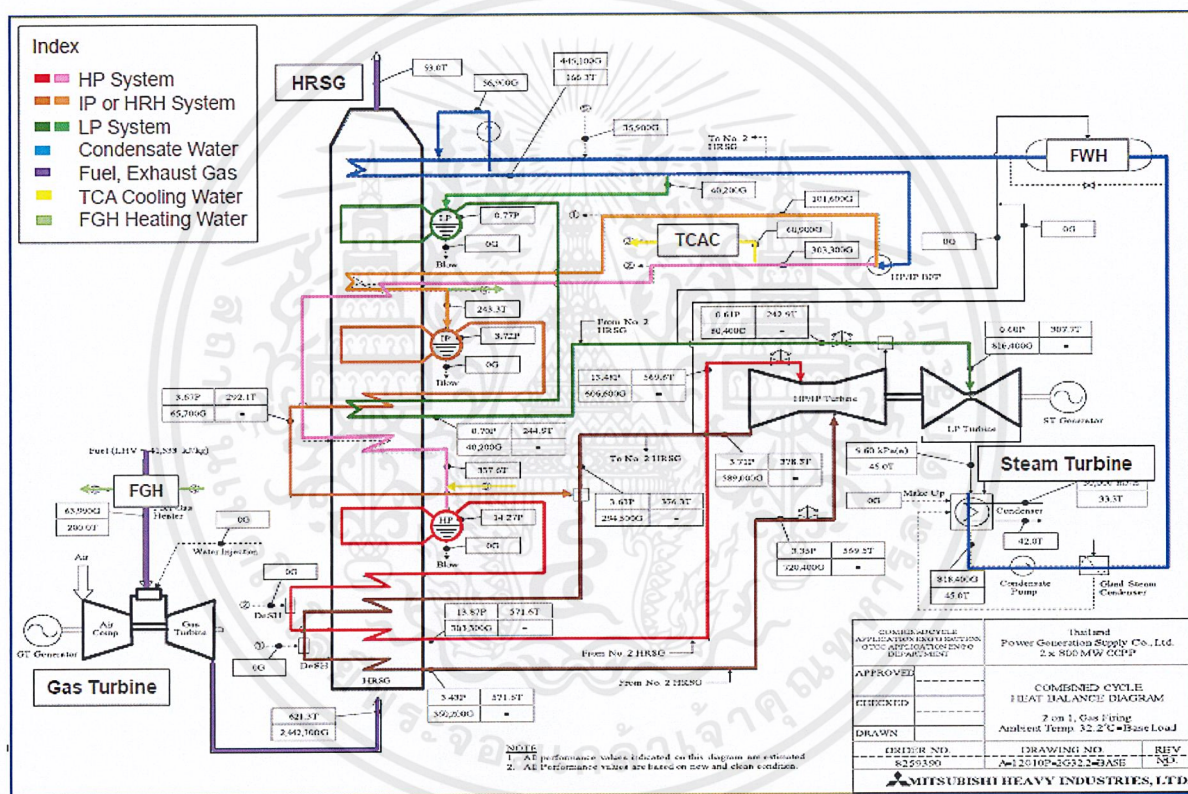


รูปที่ 2.3 กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) รุ่น TC2F-40.5 [1]

2.2 กระบวนการทำงานของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม

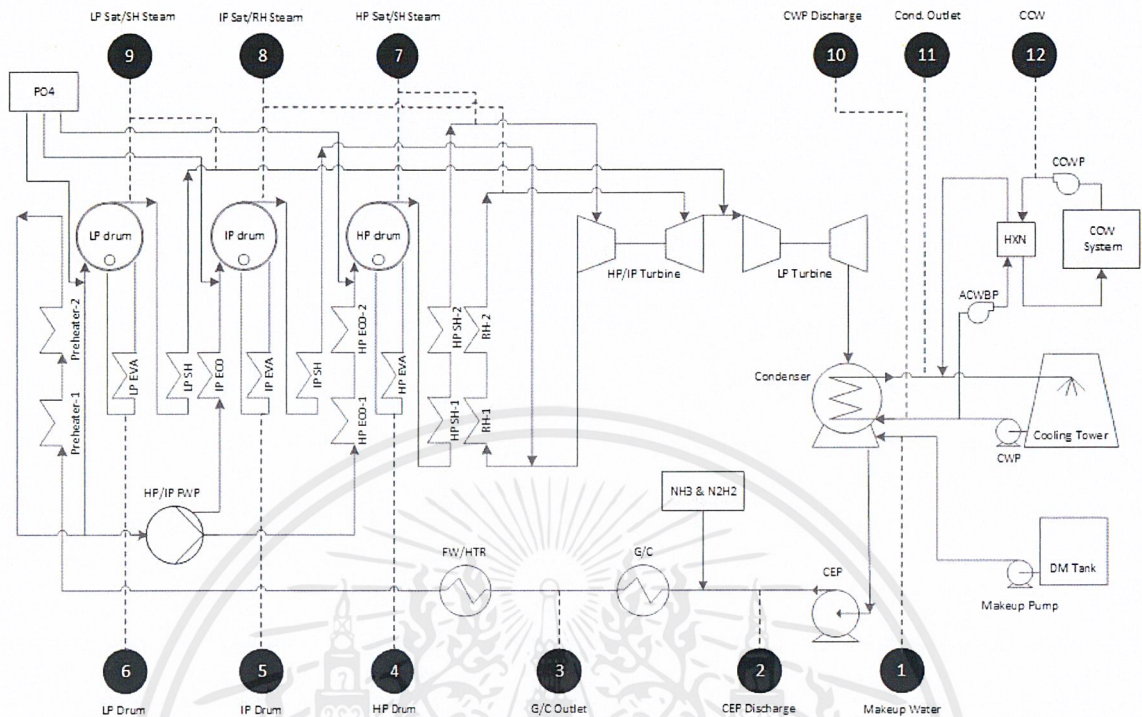
กระบวนการทำงานของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม เริ่มต้นจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติจะถูกผสมกับอากาศจำนวนหนึ่ง ก่อนส่งเข้าไปยังห้องเผาไหม้ของเครื่องกังหันก๊าซ โดยมีอากาศที่ถูกอัดด้วยความดันสูง 8-10 เท่าจากเครื่องอัดอากาศ เข้าสู่ห้องเผาไหม้ก็ทางแล้วทำการจุดระเบิด ทำให้เกิดการขยายตัวของก๊าซร้อน ความดันและอุณหภูมิสูงส่งเข้าไปขับเคลื่อนกังหันก๊าซ แล้วขับเคลื่อนชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่บนเพลานี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและทั้ง 5 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกันกับกังหันก๊าซ ก๊าซร้อนที่ขับเคลื่อนกังหันก๊าซเสร็จจะถูกส่งออกไปต้มน้ำยังเครื่องกำเนิดไอน้ำ น้ำที่ถูกต้มส่วนหนึ่งจะกลายเป็นไอน้ำแรงดันสูงไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำแรงดันสูง เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่บนเพลาดียวกันกับกังหันไอน้ำ ส่วนไอน้ำที่ขับเคลื่อนกังหันไอน้ำแล้ว จะยังคงมีความดันสูงอยู่ ไอน้ำส่วนนี้จะถูกนำไปรวมกับไอน้ำแรงดันกลางแล้วนำไปให้ความร้อนจากเครื่องกำเนิดไอน้ำอีกครั้ง แล้วส่งต่อไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำแรงดันกลาง ไอน้ำที่ขับเคลื่อนกังหันไอน้ำแล้ว จะนำไปรวมเข้ากับไอน้ำแรงดันต่ำเพื่อขับเคลื่อนกังหันไอน้ำแรงดันต่ำต่อไป ส่วนไอน้ำที่ความดันลดลงก็จะถูกส่งเข้าไปยังเครื่องควบแน่น ซึ่งจะระบายความร้อนของไอน้ำด้วยน้ำเย็นที่รับมาจากหอทำความเย็น ไอน้ำจะถูกควบแน่นเป็นน้ำป้อนส่งไปยังถังไอน้ำ เพื่อส่งไปต้มน้ำยังเครื่องกำเนิดไอน้ำ แสดงดังรูปที่ 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.4 กระบวนการทำงานของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมหนองแขง [1]

Water Steam Cycle & Cooling Water System



รูปที่ 2.5 ระบบกังหันไอน้ำและระบบทำความเย็นของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมหนองแซง [1]

2.3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำ

วัฏจักรอุดมคติสำหรับการทำงานของกังหันไอน้ำ คือ วัฏจักรแรงคินอุดมคติ (Ideal Rankine Cycle) ซึ่งอธิบายได้ ดังรูปที่ 2.6 ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก คือ ปั๊ม เครื่องกำเนิดไอน้ำ กังหันไอน้ำ และเครื่องควบแน่น ซึ่งวัฏจักรแรงคินแบบอุดมคติจะทำงานเป็นกระบวนการย้อนกลับได้ 4 กระบวนการ ดังนี้

- 1-2 กระบวนการอัดตัวแบบไอเซนโทรปิกในปั๊ม
- 2-3 กระบวนการรับความร้อนโดยความดันคงที่ในเครื่องกำเนิดไอน้ำ
- 3-4 กระบวนการขยายตัวแบบไอเซนโทรปิกในกังหันไอน้ำ
- 4-1 กระบวนการคายความร้อนโดยความดันคงที่ในเครื่องควบแน่น

โดยการทำงานของวัฏจักรจะเริ่มจากน้ำอัดตัวถูกอัดแบบไอเซนโทรปิกโดยปั๊ม เข้าไปรับความร้อนที่เครื่องกำเนิดไอน้ำโดยความดันคงที่ น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวดเข้าสู่กังหันไอน้ำ เกิดการขยายตัวแบบไอเซนโทรปิกเป็นไอน้ำอัดตัวเข้าสู่เครื่องควบแน่น ไอน้ำอัดตัวคายความร้อนโดยความดันคงที่ที่กลายเป็นน้ำอัดตัวเป็นอันครบวัฏจักร ซึ่งสมการทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์อุปกรณ์ทั้ง 4 อุปกรณ์ในวัฏจักรแสดงดังสมการต่อไปนี้

1) ปั๊ม

$$q - w = h_2 - h_1$$

$$0 - w = h_2 - h_1$$

$$w_p = -w = h_2 - h_1 \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เครื่องกำเนิดไอน้ำ

$$\begin{aligned}q - w &= h_3 - h_2 \\q - 0 &= h_3 - h_2 \\q_b = q &= h_3 - h_2\end{aligned}\quad (2.2)$$

3) กังหันไอน้ำ

$$\begin{aligned}q - w &= h_4 - h_3 \\0 - w &= h_4 - h_3 \\w_t = w &= h_3 - h_4\end{aligned}\quad (2.3)$$

4) เครื่องควบแน่น

$$\begin{aligned}q - w &= h_1 - h_4 \\q - 0 &= h_1 - h_4 \\q_c = -q &= h_4 - h_1\end{aligned}\quad (2.4)$$

เมื่อ q คือ พลังงานที่เข้าสู่ระบบ (Energy Input)
 w คือ งานที่ออกจากระบบ (Work Output)
 h คือ ค่าเอนทาลปี (Enthalpy)

ทั้งนี้วัฏจักรแรงคินจริง (Actual Rankine Cycle) จะแตกต่างจากวัฏจักรแรงคินอุดมคติ ซึ่งอธิบายได้ ดังรูปที่ 2.7 ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยไม่คืบสภาพ ซึ่งแบ่งได้ 2 สาเหตุ ดังนี้

1) ความเสียดทานของของไหล ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความดันลดในเครื่องควบแน่นและในท่อเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อชดเชยความดันตรงที่เกิดในปั๊ม ซึ่งต้องการปั๊มที่ใหญ่และใช้งานมากกว่าในอุดมคติ

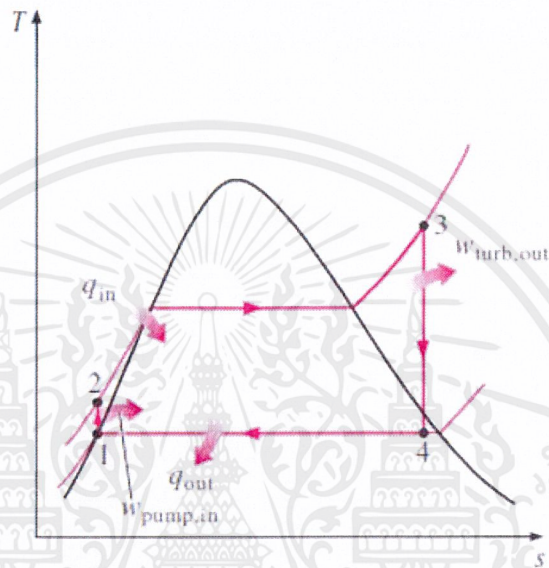
2) การสูญเสียความร้อนของไอน้ำสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดขึ้นในทุกอุปกรณ์ ดังนั้นงานที่ได้จากกังหันไอน้ำจะลดลง เพื่อชดเชยส่วนนี้ต้องให้ความร้อนแก่ไอน้ำมากกว่าปกติ

การไม่คืบสภาพในปั๊มและกังหันไอน้ำ เนื่องจากปัจจัยไม่คืบสภาพต่าง ๆ ที่กล่าวมา ทำให้งานจริงที่ใส่ให้ปั๊มมากกว่าในอุดมคติ และงานจริงที่ได้จากกังหันไอน้าน้อยกว่าในอุดมคติ ทั้งนี้เนื่องจากความเปี่ยงเบนของกระบวนการจริง กับกระบวนการไอเซนทรอปิกในวัฏจักรแบบอุดมคติในปั๊มและกังหันไอน้ำ ค่าบ่งบอกถึงความเปี่ยงเบนนี้เรียกว่า ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิก (Isentropic Efficiency) ซึ่งหาได้จากสมการต่อไปนี้

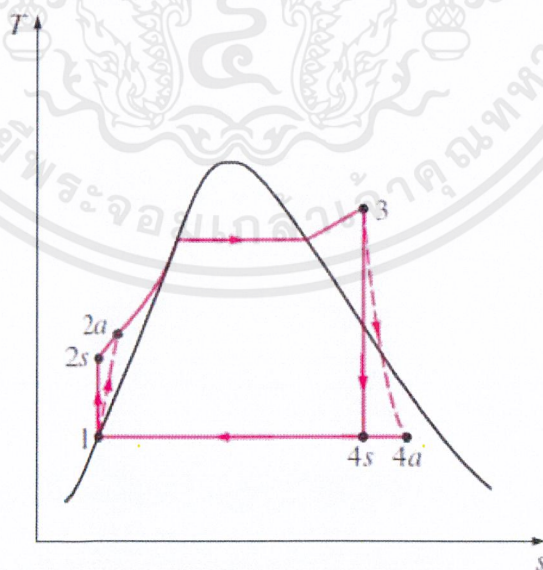
$$\eta_p = \frac{w_s}{w_a} \quad (2.5)$$

$$\eta_t = \frac{w_a}{w_s} \quad (2.6)$$

เมื่อ η_p	คือ	ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกของปั๊ม (Isentropic Efficiency of a Pump)
η_t	คือ	ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกของกังหันไอน้ำ (Isentropic Efficiency of a Steam Turbine)
w_s	คือ	งานในสภาวะไอเซนทรอปิก (Isentropic Work)
w_a	คือ	งานในสภาวะจริง (Actual Work)



รูปที่ 2.6 วัฏจักรแรงคินอุดมคติ (Ideal Rankine Cycle) [3]



รูปที่ 2.7 วัฏจักรแรงคินจริง (Actual Rankine Cycle) [3]

2.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงไฟฟ้า

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน คือ อัตราส่วนของความร้อนที่ป้อนเข้าไปในระบบที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นงานสุทธิ โดยงานสุทธิที่ได้ออกมาจะมีค่าน้อยกว่าปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบเสมอ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า มีความร้อนที่ถูกถ่ายโอนเข้าสู่ระบบเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะเปลี่ยนไปเป็นงาน ซึ่งหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Sigma W_{\text{net}} = W_{\text{net,GT1}} + W_{\text{net,GT2}} + W_{\text{net,ST}} \quad (2.7)$$

$$q_{\text{in}} = m_g \times \text{HV} \quad (2.8)$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\Sigma W_{\text{net}}}{q_{\text{in}}} \times 100 \quad (2.9)$$

เมื่อ	W_{net}	คือ	งานสุทธิที่ได้จากระบบ (Work Net)
	η_{th}	คือ	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency : %)
	q_{in}	คือ	พลังงานที่เข้าสู่ระบบ (Energy Input)
	m_g	คือ	มวลของเชื้อเพลิง (Fuel Mass)
	HV	คือ	ค่าความร้อนการเผาไหม้ (Heating Value)
	$W_{\text{net,GT1}}$	คือ	งานสุทธิที่ได้จากกังหันก๊าซตัวที่ 1
	$W_{\text{net,GT2}}$	คือ	งานสุทธิที่ได้จากกังหันก๊าซตัวที่ 2
	$W_{\text{net,ST}}$	คือ	งานสุทธิที่ได้จากกังหันไอน้ำ

2.5 ผลกระทบจากการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็น

การลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็น ส่งผลให้น้ำที่ออกจากหอทำความเย็นที่นำมารับความร้อนจากเครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิสูงขึ้น การดึงความร้อนออกจากระบบจึงลดลง ทำให้ความดันในเครื่องควบแน่นเพิ่มขึ้นจาก P_4 เป็น P'_4 ดังรูปที่ 2.8 จากภาพจะเห็นพื้นที่ใต้กราฟลดลง ส่งผลให้งานสุทธิที่ได้จากกังหันไอน้ำลดลง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

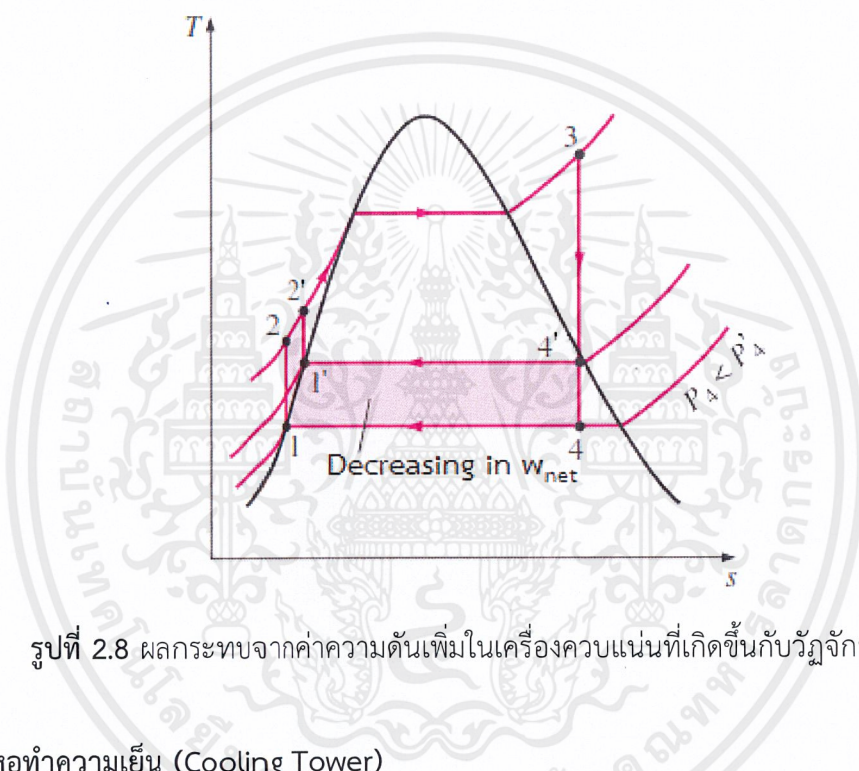
$$W_{\text{net,ST}} = (h_3 - h_4) - (h_2 - h_1) \quad (2.10)$$

$$W'_{\text{net,ST}} = (h_3 - h'_4) - (h'_2 - h'_1) \quad (2.11)$$

เนื่องจาก $h_2 - h_1 \approx h'_2 - h'_1$

$$\begin{aligned}\Delta W_{\text{net,ST}} &= W_{\text{net,ST}} - W'_{\text{net,ST}} \\ &= h'_4 - h_4\end{aligned}\tag{2.12}$$

เมื่อ w'_{net} คือ งานสุทธิที่ได้จากระบบสภาวะความดันในเครื่องควบแน่นเพิ่มขึ้น
 Δw_{net} คือ งานสุทธิที่สูญเสียไปจากระบบ (Work Loss)
 h คือ เอนทาลปี (Enthalpy)



รูปที่ 2.8 ผลกระทบจากค่าความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่นที่เกิดขึ้นกับวัฏจักรแรงคิน [3]

2.6 หอทำความเย็น (Cooling Tower)

โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตไฟฟ้า จะต้องดึงความร้อนออกจากระบบผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องควบแน่น เพื่อทำให้กระบวนการดำเนินจนครบวัฏจักร โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการรับความร้อน แล้วระบายออกสู่บรรยากาศผ่านหอทำความเย็น

2.6.1 หลักการทำงาน

หอทำความเย็น คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำ โดยการถ่ายเทความร้อนจากน้ำสู่อากาศโดยการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างน้ำและอากาศ ความร้อนทั้งหมดเกิดจาก 2 ส่วน คือ ความร้อนที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ออกจากน้ำไปยังอากาศ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ และความร้อนที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนแฝง (Latent Heat) ออกจากน้ำไปพร้อมกับการระเหยตัวของน้ำ เนื่องจากความดันไอในอากาศรอบ ๆ ผิวน้ำสูงกว่าความดันไอในอากาศทั่วไป หรือกล่าวได้อีกอย่าง คือ อุณหภูมิของน้ำสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ เมื่อนำความร้อนทั้ง 2 ส่วน รวมเข้าด้วยกัน จะอยู่ในรูปของความร้อนที่เกิดจากผลต่างของค่าเอนทาลปี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป็นระหว่างน้ำและอากาศ โดยสมรรถนะของหอทำความเย็นจะบอกได้ในรูปของ อุณหภูมิของน้ำที่ลดลงไป (Range) และผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศกับอุณหภูมิของน้ำหลังจากหอทำความเย็น (Approach)

2.6.2 ส่วนประกอบในหอทำความเย็น

1) พัดลม (Cooling Tower Fan) มีหน้าที่ดูดอากาศในปริมาณมาก เพื่อให้อากาศได้แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ วัสดุที่ใช้ผลิตนอกจากจะต้องถูกต้องตามการออกแบบแล้ว ยังต้องสามารถทนทานการกัดกร่อนจากสภาพแวดล้อมที่ขึ้นจากการใช้งานด้วย

2) เกียร์ทดความเร็ว (Gear reducer) ความเร็วที่เหมาะสมของพัดลมหอทำความเย็น จะไม่เท่ากับความเร็วของมอเตอร์ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อน ดังนั้นเกียร์ทดความเร็วเป็นอุปกรณ์ในการส่งถ่ายพลังงานระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าและพัดลม พร้อมทั้งลดความเร็วจากมอเตอร์ไฟฟ้าลง ให้เหมาะสมกับสมรรถนะของพัดลม

3) มอเตอร์ขับเคลื่อนพัดลม (Fan Drive Motor) มีหน้าที่ในการขับเคลื่อนให้เคลื่อนที่ มอเตอร์จะต้องสามารถทำงานในสภาพสิ่งแวดล้อมที่แย่ได้ เช่น การทำงานในความชื้นที่ค่อนข้างสูงรอบ ๆ หอทำความเย็น หรือในสภาวะฝนตก

4) หัวฉีดกระจายน้ำ (Nozzles) มีหน้าที่ในการกระจายน้ำให้เป็นฝอย เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสในการระบายความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ

5) เพลา (Fan Drive Shaft) มีหน้าที่ในการส่งถ่ายพลังงานที่ออกจากมอเตอร์เข้าสู่เกียร์ทดความเร็ว เนื่องจากเพลจะต้องทำงานอยู่ภายในหอทำความเย็น ดังนั้นเพลจะต้องสามารถทนต่อการสึกกร่อนได้ดี

6) แผงดักละอองน้ำ (Drift Eliminator) เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่แยกหยดน้ำออกจากอากาศก่อนที่จะออกจากปล่องของหอทำความเย็น โดยใช้หลักการการเปลี่ยนทิศทางอย่างกะทันหันทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ทำให้หยดน้ำแยกตัวออกจากอากาศแล้วตกลงสู่อ่างพักน้ำ เพื่อให้เกิดการสูญเสียน้ำในระบบน้อยที่สุด

7) แผงกระจายน้ำ (Fill Pack) ทำหน้าที่ให้น้ำที่ตกลงมาสัมผัสกับอากาศที่ไหลผ่านได้อย่างทั่วถึง เนื่องจากน้ำกระเด็นจากชั้นบนของแผงแต่ละชั้นลงไปเรื่อย ๆ ตามแรงโน้มถ่วง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ

8) ปล่องหอทำความเย็น (Fan Stack) หน้าที่ของปล่องหอทำความเย็น นอกจากจะเป็นอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากการหมุนของพัดลมแล้ว ยังมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของระบบหอทำความเย็น โดยที่ปล่องหอทำความเย็นจะถูกออกแบบให้มีปริมาณอากาศไหลผ่านหอทำความเย็นได้มากที่สุด

2.6.3 ประเภทของหอทำความเย็น

หอทำความเย็นมีทั้งหมดหลายประเภทแตกต่างกัน แต่ละประเภทจะมีความเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกัน โดยประเภทของหอทำความเย็นจำแนกออกเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.1 หอทำความเย็นแรงธรรมชาติ (Natural Draft Cooling Towers) หอทำความเย็นชนิดนี้จะไม่มีการไหลของอากาศขึ้นอยู่กับแรงดันตามธรรมชาติ อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างอากาศภายนอกกับอากาศร้อนภายในหอทำความเย็น โดยอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้น อากาศเย็นไหลเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการไหลของอากาศ จึงไม่ต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนอากาศ แต่มีข้อเสียคือ ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำ มีขนาดใหญ่และราคาแพง

2.6.3.2 หอทำความเย็นแรงกล (Mechanical Draft Cooling Towers) ในหอทำความเย็นแรงกล อากาศเคลื่อนด้วยพัดลมที่ขับเคลื่อนเชิงกล จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าหอทำความเย็นแรงธรรมชาติ สามารถลดอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลงได้มาก และตัวหอทำความเย็นมีขนาดเล็ก แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้พลังงานปริมาณมากในการขับเคลื่อนอากาศ โดยหอทำความเย็นแรงกลแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1) หอทำความเย็นแรงกลชนิดพัดลมเป่า (Force Draft Cooling Towers) หอทำความเย็นชนิดนี้อากาศขึ้นจะไม่ไหลผ่านพัดลมและระบบขับเคลื่อน จึงทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้ยาว โดยพัดลมจะเป่าอากาศจากด้านล่างเข้าสู่หอทำความเย็น เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ

2) หอทำความเย็นแรงกลชนิดพัดลมดูด (Induced Draft Cooling Towers) หอทำความเย็นชนิดนี้ส่วนใหญ่จะออกแบบให้อากาศขึ้นไหลผ่านพัดลม ตัวพัดลมทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอกเข้าสู่หอทำความเย็น โดยอากาศจะไหลผ่านแผงกระจายน้ำอย่างสม่ำเสมอ ทำให้มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูง

2.6.3.3 หอทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง (Counterflow Cooling Towers) การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นโดยที่ทิศทางการไหลของน้ำกับอากาศอยู่ในทิศทางที่สวนทางกัน โดยน้ำไหลลงผ่านแผงกระจายน้ำและอากาศไหลสวนทางขึ้นไป มีข้อดีคือ ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงและราคาถูก แต่เนื่องจากเป็นระบบที่มีความดันสูง ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง

2.6.3.4 หอทำความเย็นชนิดไหลตัด (Crossflow Cooling Towers) การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นโดยที่ทิศทางการไหลของน้ำตัดกับทิศทางของอากาศที่ไหลเข้าสู่หอทำความเย็น ได้เปรียบทางด้านแรงต้านการไหลของอากาศต่ำ เนื่องจากมีพื้นที่ที่อากาศไหลเข้ามากกว่า สิ่งสกปรกที่อุดตันมีผลต่อการทำงานน้อยกว่า และการสูญเสียของน้ำเนื่องจากการกระเซ็นต่ำ

2.7 การวิเคราะห์หอทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง

2.7.1 ขั้นตอนการทำงาน

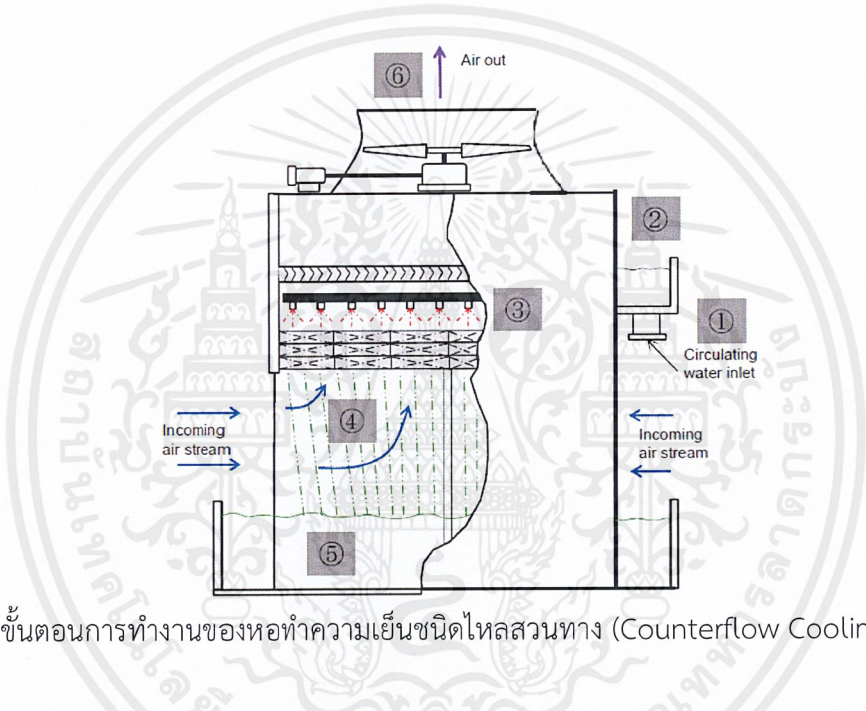
จากรูปที่ 2.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของหอทำความเย็น ดังนี้

1) เริ่มจากหอทำความเย็นรับน้ำร้อนจากเครื่องควบแน่น โดยสูบน้ำผ่านปั๊มขึ้นไปพักไว้ที่รางพักน้ำที่อยู่ด้านบนของหอทำความเย็น

2) น้ำจะถูกส่งกระจายไปตามท่อเข้าสู่หอทำความเย็นแต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 13 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) น้ำที่ถูกส่งมาจะถูกพ่นเป็นละอองผ่านหัวฉีดตกลงสู่แผงกระจายน้ำ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ
- 4) น้ำไหลลงมาถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่ไหลสวนทาง ซึ่งถูกดูดขึ้นไปโดยพัดลมหอทำความเย็น เมื่อน้ำสัมผัสกับอากาศ น้ำส่วนหนึ่งจะระเหย และเกิดกระบวนการดูดความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำลดต่ำลง
- 5) น้ำเย็นที่ได้จะถูกพักไว้ที่อ่างเก็บน้ำใต้หอทำความเย็น ก่อนส่งกลับไปรับความร้อนที่เครื่องควบแน่น
- 6) ความร้อนถูกระบายออกสู่บรรยากาศไปกับอากาศร้อนที่ปล่อยออกไป



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการทำงานของหอทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง (Counterflow Cooling Towers) [4]

2.7.2 คุณลักษณะหอทำความเย็น (Tower Characteristic)

ในหอทำความเย็นแต่ละชนิดจะมีค่าคุณลักษณะที่ต่างกัน ซึ่งค่าที่ใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของหอทำความเย็น จะอยู่ในรูปของ $\frac{KaV}{L}$ หรือเรียกอีกอย่างว่า NTU (Number of Transfer Units) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{KaV}{L} = c \left(\frac{L}{G} \right)^{-n}$$

(2.13)

เมื่อ $\frac{KaV}{L}$	คือ	NTU (Number of Transfer Units)
$\frac{L}{G}$	คือ	อัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (Liquid Gas Ratio)
n, c	คือ	ค่าคงที่การออกแบบของหอทำความเย็น (Constant Related to the

2.7.3 การคำนวณหอทำความเย็น

จากรูปที่ 2.10 เป็นภาพตัดแบ่งส่วนตามความสูงหอทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง แสดงการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนของหอทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง โดยอากาศไหลเข้าจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของหอทำความเย็น น้ำไหลจากด้านบนลงสู่ด้านล่างของหอทำความเย็น เนื่องจากน้ำที่ระเหยออกไปมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมด จึงกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำและอากาศคงที่ โดยน้ำที่เข้าสู่หอทำความเย็นมีอุณหภูมิ t เมื่อน้ำไหลลงผ่านหอทำความเย็นได้ส่วนหนึ่ง อุณหภูมิของน้ำจะลดลงเป็น $t - dt$ ในทางกลับกันอากาศที่เข้าสู่หอทำความเย็นมีค่าเอนทาลปี h_a เมื่ออากาศไหลขึ้นผ่านหอทำความเย็นได้ส่วนหนึ่ง ค่าเอนทาลปีของอากาศจะเพิ่มขึ้นเป็น $h_a + dh_a$ แสดงให้เห็นว่ามีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกไปสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

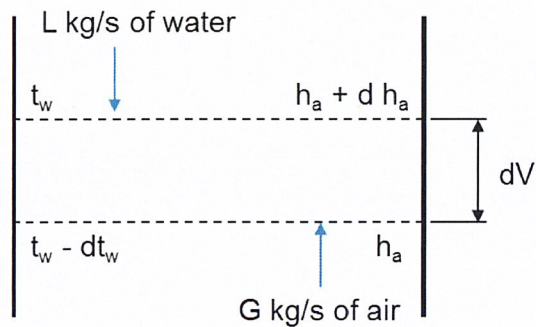
$$dq = Gdh_a = Lc_p dt_w \tag{2.14}$$

$$dq = Ka(h_w - h_a)dV \tag{2.15}$$

เนื่องจากสมการ 2.14 เท่ากับ สมการ 2.15

$$\begin{aligned} Ka \int_0^V dV &= c_p L \int_{t_{wo}}^{t_{wi}} \frac{dt_w}{(h_w - h_a)} \\ \frac{KaV}{L} &= c_p \Delta t_w \sum \frac{1}{(h_w - h_a)_m} \end{aligned} \tag{2.16}$$

เมื่อ	q	คือ	ความร้อน (Heat)
	G	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (Mass Flow Rate of Air)
	L	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (Mass Flow Rate of Water)
	h_a	คือ	เอนทาลปีของอากาศ (Enthalpy of Air)
	h_w	คือ	เอนทาลปีของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิของน้ำ (Enthalpy of Saturated Air at Water Temperature)
	c_p	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (Specific Heat of Water)
	t_w	คือ	อุณหภูมิของน้ำ (Water Temperature)
	K	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเอนทาลปีรวม (Overall Enthalpy Transfer Coefficient)
	a	คือ	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (Specific Surface Area)
	V	คือ	ปริมาตรหอทำความเย็น (Cooling Tower Volume)
	$(h_w - h_a)_m$	คือ	ผลต่างของเอนทาลปีเฉลี่ย (Mean Enthalpy Difference)
	$\frac{KaV}{L}$	คือ	NTU (Number of Transfer Units)



รูปที่ 2.10 การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนของหอทำความเย็นชนิดไหลสวนทาง [5]

2.7.4 เอนทาลปีของอากาศชื้น

อากาศชื้น (Moist Air) เป็นของผสมระหว่างอากาศแห้ง (Dry Air) และไอน้ำ (Water Vapor) โดยอากาศทั่วไปในชั้นบรรยากาศ จะมีไอน้ำเป็นส่วนประกอบตั้งแต่ 0 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เอนทาลปีของอากาศชื้นจึงประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ เอนทาลปีของอากาศแห้งและของไอน้ำ ดังนั้นการคำนวณเอนทาลปีของอากาศชื้น หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$h = h_d + xh_v \quad (2.17)$$

$$h_d = c_{pd}t_d \quad (2.18)$$

$$h_v = c_{pv}t_d + h_{ve} \quad (2.19)$$

แทนค่าสมการ 2.18 และ 2.19 ลงในสมการ 2.17

$$h = c_{pd}t_d + x(c_{pv}t_d + h_{ve}) \quad (2.20)$$

เมื่อ	h	คือ	เอนทาลปีของอากาศชื้น (Enthalpy of Moist Air)
	h_d	คือ	เอนทาลปีของอากาศแห้ง (Enthalpy of Dry Air)
	h_v	คือ	เอนทาลปีของไอน้ำ (Enthalpy of Water Vapor)
	h_{ve}	คือ	ความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของน้ำที่ 0 องศาเซลเซียส (Latent Heat of Water at 0 °C)
	x	คือ	อัตราส่วนความชื้นโดยมวล (Humidity Ratio by Mass)
	t_d	คือ	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ (Dry Bulb Air Temperature)
	c_{pd}	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง (Specific Heat of Dry Air)
	c_{pv}	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของไอน้ำ (Specific Heat of Water Vapor)

โดยที่ x หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$x = \frac{0.62198 p_v}{(p_a - p_v)} \tag{2.21}$$

$$p_v = \frac{p_{vs} \times RH}{100} \tag{2.22}$$

$$p_{vs} = \frac{e^{(77.345 + 0.0057 (t_d + 273) - 7235 / (t_d + 273))}}{(t_d + 273)^{8.2}} \tag{2.23}$$

เมื่อ	p_v	คือ	ความดันไอน้ำในอากาศ (Water Vapor Pressure : Pa)
	p_{vs}	คือ	ความดันไอน้ำอิ่มตัวในอากาศ (Water Vapor Saturation Pressure : Pa)
	p_a	คือ	ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure : Pa)
	RH	คือ	เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity : %)
	t_d	คือ	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ (Dry Bulb Air Temperature : °C)

2.7.5 อุณหภูมิผสมของของไหล

อุณหภูมิของของไหลที่เกิดจากการผสมกันระหว่างของไหลต่างอุณหภูมิ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$m = m_1 + m_2 + \dots + m_n \tag{2.24}$$

$$t = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 + \dots + m_n c_n t_n}{m_1 c_1 + m_2 c_2 + \dots + m_n c_n} \tag{2.25}$$

เมื่อ	m	คือ	มวลรวมของของไหล (Final Mass)
	$m_{1...n}$	คือ	มวลของของไหลแต่ละชนิด (Mass of substances)
	t	คือ	อุณหภูมิผสมของของไหล (Mixing Temperature)
	$c_{1...n}$	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของของไหลแต่ละชนิด (Specific Heat of Substances)
	$t_{1...n}$	คือ	อุณหภูมิของของไหลแต่ละชนิด (Temperatures of Substances)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิรวุฒน์ สีสะสุวรรณกุล ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากลดการใช้งานพัดลมของหอหล่อเย็น เป็นการสร้างแบบจำลองผลกระทบที่เกิดขึ้นกับกำลังการผลิตของกังหันไอน้ำ (Steam turbine) เพื่อทำนายว่า เมื่อลดการใช้งานพัดลมของหอหล่อเย็น จะมีผลทำให้กังหันไอน้ำผลิตกระแสไฟฟ้าน้อยลงมากแค่ไหน เมื่อเทียบกับการประหยัดพลังงานจากการลดการใช้งาน ประโยชน์ของแบบจำลองนี้คือสามารถรู้ช่วงเวลาที่ สามารถลดการใช้พัดลมของหอหล่อเย็น และทราบถึงผลกระทบเมื่อลดการใช้งานพัดลมของหอหล่อเย็นที่กำลัง การผลิตต่าง ๆ



บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานเพื่อคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานของพัดลมหอทำความเย็นที่เหมาะสม ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่การรวบรวมข้อมูล ศึกษาข้อมูล นำข้อมูลมาสร้างโปรแกรมคำนวณ แล้วจัดทำข้อมูลผลกระทบ และคำนวณผลการประหยัดพลังงาน จากการลดการใช้น้ำพัดลมหอทำความเย็น

3.1 การรวบรวมและศึกษาข้อมูล

ก่อนทำการสร้างโปรแกรมคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานของพัดลมหอทำความเย็น จะต้องรวบรวมและศึกษาข้อมูลดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลทั่วไป กระบวนการทำงานของโรงไฟฟ้า และอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกับหอทำความเย็น เพื่อให้ทราบหน้าที่ของหอทำความเย็นในกระบวนการผลิต และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเมื่อลดการใช้น้ำพัดลมหอทำความเย็น

2) ข้อมูลค่าการออกแบบที่กำลังการผลิตต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้า ข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า ข้อมูลของหอทำความเย็น สมการที่ใช้ในการคำนวณ และภาษาคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการสร้างโปรแกรมคำนวณ จัดทำข้อมูลผลกระทบ และคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

3.2 การสร้างโปรแกรมคำนวณ

การสร้างโปรแกรมคำนวณที่ใช้สำหรับโครงการ ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

3.2.1 การสร้างฟังก์ชันคำนวณค่า NTU และอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ

เนื่องจากค่า NTU (Number of Transfer Units) และอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (Liquid Gas Ratio) ของหอทำความเย็นขณะที่ทำงานจริงนั้น มีค่าไม่เท่ากับค่าการออกแบบ ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาค่าจริงจากข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า โดยการใช้โปรแกรม Visual Basic Application บน Microsoft Excel สร้างฟังก์ชันการคำนวณขึ้นมา ซึ่งภาษาที่ใช้ในโปรแกรม Visual Basic Application จะมีลักษณะเหมือนกับที่ใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic สามารถเขียนเป็นผังงาน (Flowchart Diagram) ได้ดังรูปที่ 3.1 โดยมีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 รับค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ (t_d) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (RH) อุณหภูมิของน้ำที่เข้า (t_{wi}) และอุณหภูมิของน้ำที่ออกหอทำความเย็น (t_{wo}) จากข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า

ขั้นที่ 2 คำนวณหาเอนทาลปีของอากาศที่เข้าสู่หอทำความเย็นจากสมการ A และกำหนดค่าอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (R) เท่ากับ 1.844 ตามค่าการออกแบบ

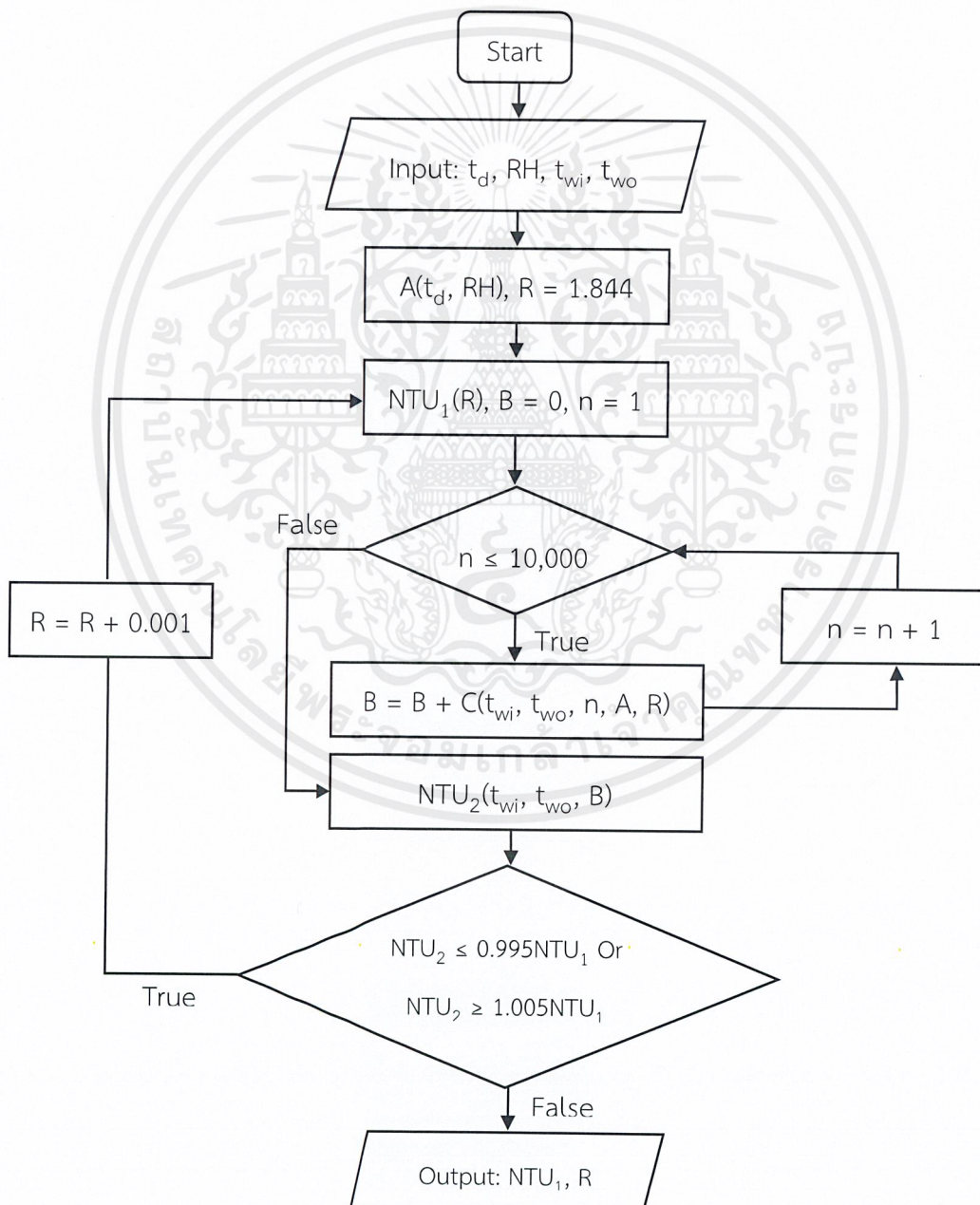
ขั้นที่ 3 คำนวณหาค่า NTU₁ โดยใช้ค่าอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (R) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุญาต
ขั้นที่ 4 คำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานของพัดลมหอทำความเย็น

จากการออกแบบเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณ กำหนดให้ B และ n ให้มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0 และ 1

ขั้นที่ 4 คำนวณหาค่า B โดยการนำค่า C ที่คำนวณได้ในแต่ละส่วนของหอทำความเย็นทั้งหมด 10,000 ส่วน มารวมกัน

ขั้นที่ 5 คำนวณหาค่า NTU_2 จากอุณหภูมิของน้ำที่เข้า (t_{wi}) และอุณหภูมิของน้ำที่ออกหอทำความเย็น (t_{wo}) และค่า B ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 4

ขั้นที่ 6 ค่า NTU_1 และ NTU_2 ที่คำนวณได้จากทั้ง 2 สมการจะต้องมีค่าเท่ากัน หากมีค่าไม่เท่ากันให้ทำการกลับไปคำนวณใหม่ตั้งแต่ขั้นที่ 3 โดยเพิ่มค่าอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (R) ขึ้นทีละ 0.001 ทำการคำนวณใหม่จนมีค่าเท่ากัน แล้วแสดงค่า R และ NTU_1 ขณะนั้น



รูปที่ 3.1 ผังงานของฟังก์ชันคำนวณค่า NTU และอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการดำเนินงานจะถูกคำนวณโดยฟังก์ชันที่สร้างขึ้น โดยฟังก์ชัน LG จะแสดงค่าอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (R) และฟังก์ชัน NTU จะแสดงค่า NTU ที่คำนวณได้กลับขึ้นมา โดยค่าที่คำนวณออกมานั้น จะเป็นค่าคุณลักษณะจริงของหอทำความเย็น ซึ่งจะนำมาใช้ในการสร้างโปรแกรมคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานของพัดลมหอทำความเย็น โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic ในขั้นตอนต่อไป

3.2.2 การสร้างโปรแกรมคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็น

จากสมการที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับหอทำความเย็น ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 พบว่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า ดังนั้นการจะลดการใช้น้ำพัดลมหอทำความเย็นลง ต้องคำนึงถึง 2 ตัวแปรสำคัญนี้ โดยการสร้างโปรแกรมคำนวณจะใช้หลักการ คือ การลดจำนวนการใช้น้ำพัดลมหอทำความเย็นจะต้องไม่ทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นสูงเกิน จนทำให้ความดันในเครื่องควบแน่นสูงกว่าค่าที่ออกแบบไว้ เนื่องจากความดันในเครื่องควบแน่น มีผลกับกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า ดังนั้นในการสร้างโปรแกรมจะนำข้อมูลค่าการออกแบบที่กำลังการผลิตต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้ามาใช้เป็นค่ามาตรฐาน ซึ่งอุณหภูมิค่าการออกแบบของน้ำที่เข้าและออกหอทำความเย็น จะขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตในขณะนั้น โดยจะนำค่า NTU (Number of Transfer Units) ซึ่งเป็นค่าคุณลักษณะของหอทำความเย็น และอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (Liquid Gas Ratio) มาใช้ในการคำนวณ โดยในการคำนวณนั้นจะแบ่งหอทำความเย็นเป็น 10,000 ส่วนเท่า ๆ กันตามความสูง แล้วทำการคำนวณไปทีละชั้นตามความสูง จนได้ออกมาเป็นจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็นที่เหมาะสม และอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็น สามารถเขียนเป็นผังงาน (Flowchart Diagram) ได้ดังรูปที่ 3.2 โดยมีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำการป้อนข้อมูลสภาพอากาศขณะดำเนินการผลิต คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (t_d) และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (RH) ขณะดำเนินการผลิตไฟฟ้า

ขั้นที่ 2 เลือกกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าในขณะนั้น โดยอุณหภูมิของน้ำที่เข้า (t_{wi}) และอุณหภูมิของน้ำที่ออกหอทำความเย็น (t_{wo1}) ค่าออกแบบ จะถูกกำหนดโดยค่ากำลังการผลิต

ขั้นที่ 3 คำนวณหาเอนทาลปีของอากาศที่เข้าสู่หอทำความเย็นจากสมการ A ค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ กำหนดค่า NTU_1 เท่ากับ 1.6317 และ อัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (R) เท่ากับ 2.2589 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณของฟังก์ชัน LG และ NTU ที่สร้างขึ้นบน Microsoft Excel และสมมติอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นแต่ละตัวที่เปิดใช้งานพัดลม (t_{wo2}) เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส เป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณ

ขั้นที่ 4 คำนวณหาค่า B โดยการนำค่า C ที่คำนวณได้ในแต่ละส่วนของหอทำความเย็นทั้งหมด 10,000 ส่วน มารวมกัน

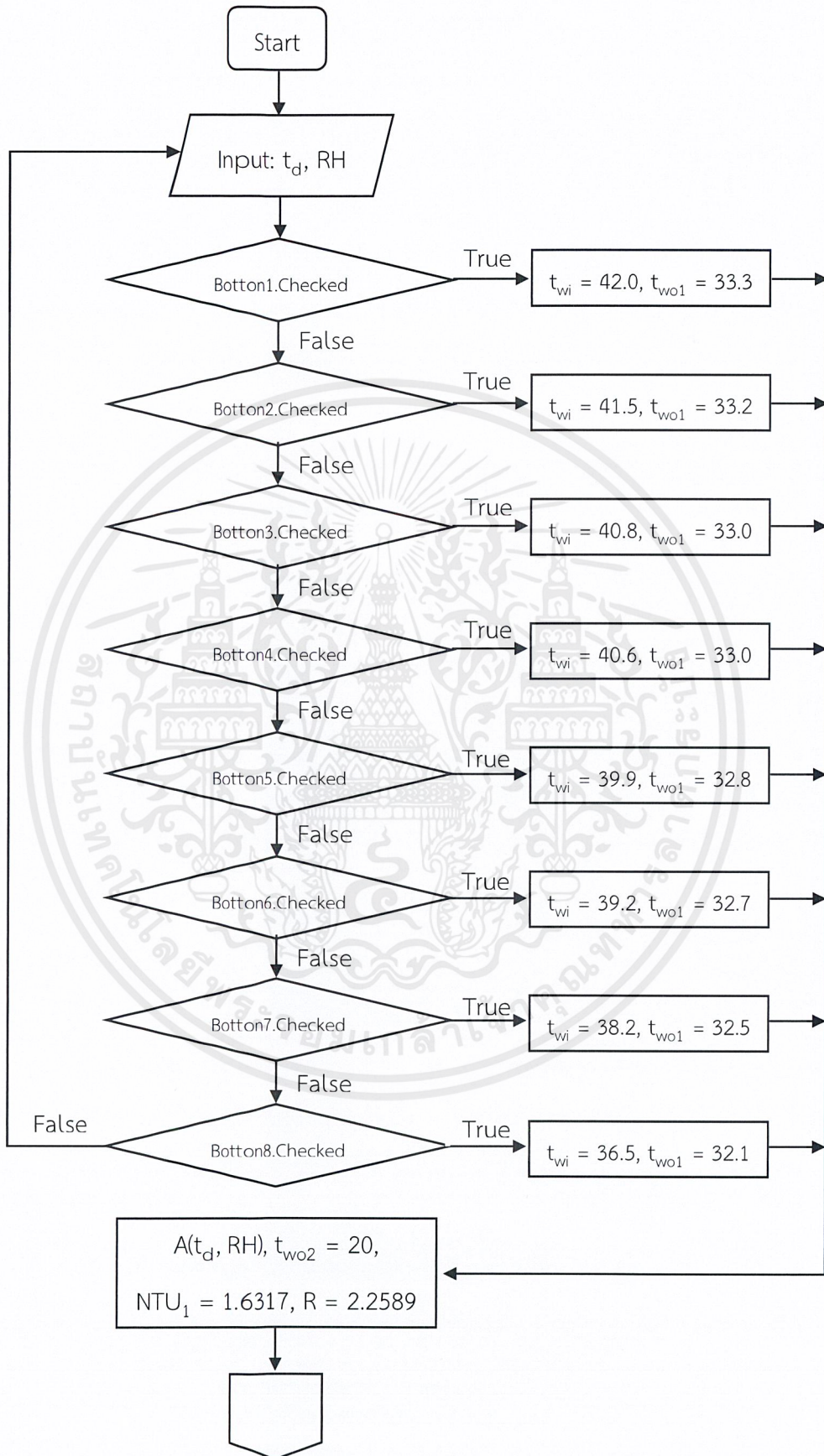
ขั้นที่ 5 คำนวณหาค่า NTU_2 จากอุณหภูมิของน้ำที่เข้า (t_{wi}) และ อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นแต่ละตัวที่เปิดใช้งานพัดลม (t_{wo2}) และค่า B ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 4

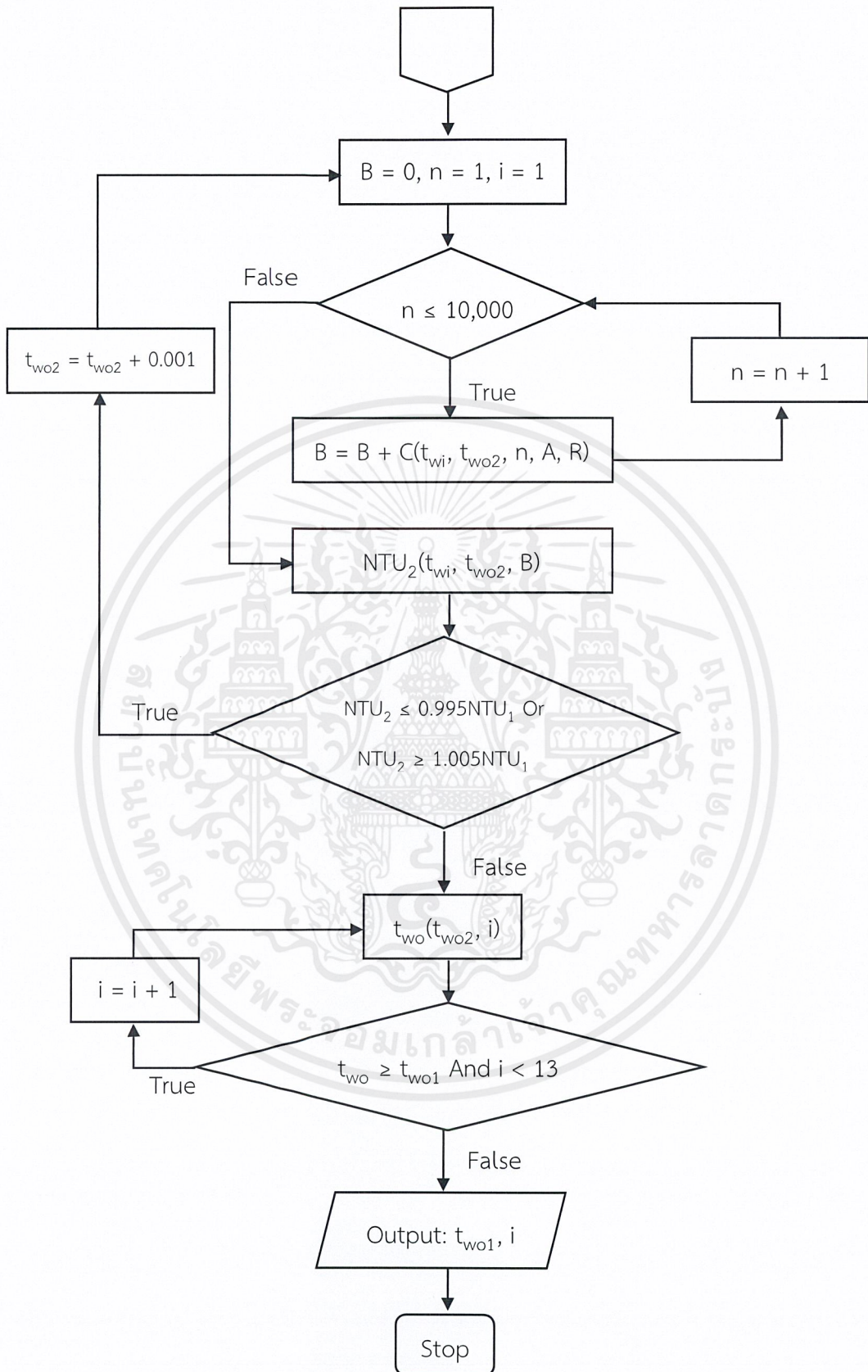
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 21 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 6 ค่า NTU_2 ที่คำนวณได้จะต้องมีค่าเท่ากับ NTU_1 หากมีค่าไม่เท่ากันให้ทำการกลับไปคำนวณใหม่ตั้งแต่ขั้นที่ 4 โดยเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นแต่ละตัวที่เปิดใช้งานพัดลม (t_{wo2}) ขึ้นทีละ 0.001 แล้วทำการคำนวณใหม่จนมีค่าเท่ากัน

ขั้นที่ 7 คำนวณหาอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นทั้งหมด (t_{wo}) เมื่อทำการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็น โดยใช้อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นแต่ละตัวที่เปิดใช้งานพัดลม (t_{wo2}) จากขั้นที่ 6 มาทำการคำนวณ โดยการเพิ่มจำนวนการเปิดใช้งานของพัดลมหอทำความเย็น (i) ขึ้นทีละ 1 จนกว่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นทั้งหมด (t_{wo}) ที่คำนวณได้ จะมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิจากการออกแบบ (t_{wo1}) แล้วทำการแสดงอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นทั้งหมด (t_{wo}) และจำนวนการเปิดใช้งานของพัดลมหอทำความเย็น (i)







รูปที่ 3.2 ผังงานของโปรแกรมคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมทำความเย็น

3.2.3 การตรวจสอบความแม่นยำในการคำนวณของโปรแกรม

การตรวจสอบความแม่นยำในการคำนวณนั้น ทำโดยการนำภาษา Visual Basic ที่เขียนในโปรแกรม Microsoft Visual Basic มาสร้างฟังก์ชันในโปรแกรม Visual Basic Application บน Microsoft Excel โดยทำการรับค่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้าหอทำความเย็น เพื่อคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็น แล้วทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าที่คำนวณได้กับข้อมูลการดำเนินงานจริงของโรงไฟฟ้า โดยคำนวณออกมาเป็นค่าคลาดเคลื่อนร้อยละ (Percent Error)

3.3 การจัดทำข้อมูลผลกระทบและคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

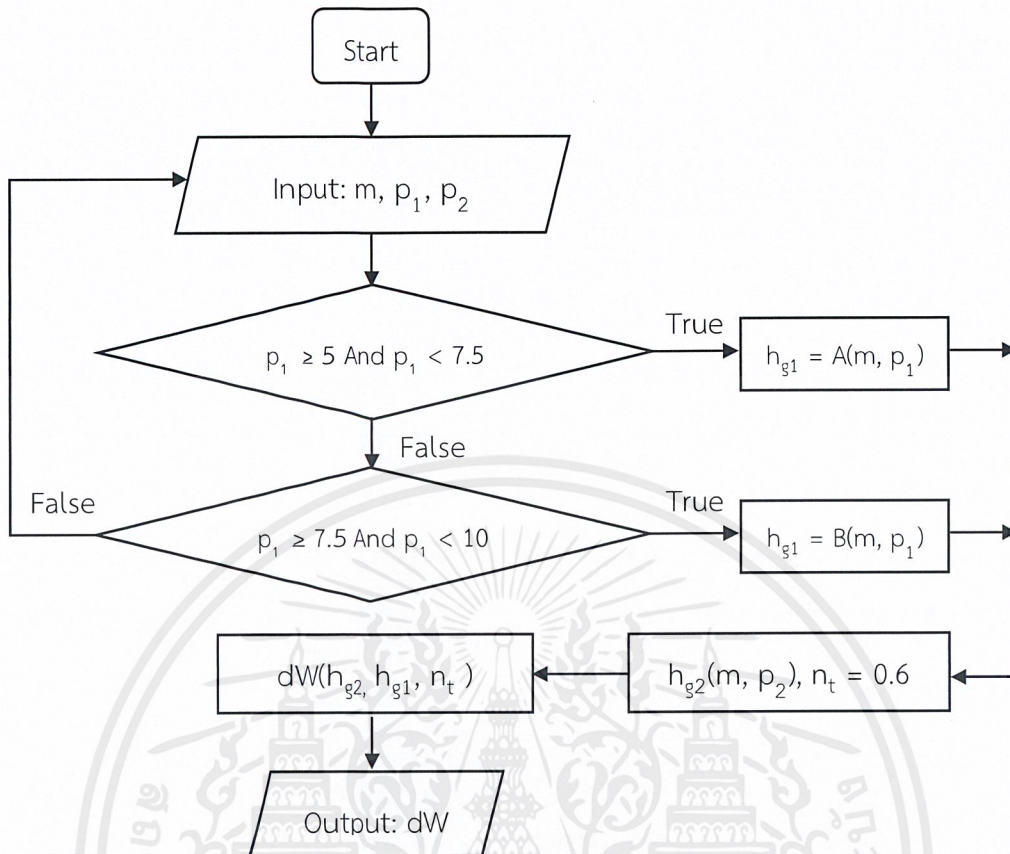
การลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็น ช่วยให้โรงไฟฟ้าประหยัดการใช้พลังงานลงได้ แต่กลับส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยทำให้ความดันในเครื่องควบแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งความดันในเครื่องควบแน่นส่งผลกับกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า ดังนั้นจึงจัดทำข้อมูลขึ้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่นและกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็น และคำนวณผลการประหยัดพลังงาน โดยใช้ข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้ามาทำการคำนวณ แล้วทำการสร้างฟังก์ชันการคำนวณขึ้น จากสมการที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยใช้โปรแกรม Visual Basic Application บน Microsoft Excel นำค่าที่คำนวณได้ทั้งหมดมาจัดทำข้อมูลผลกระทบ แล้วสร้างสมการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน สามารถเขียนเป็นผังงาน (Flowchart Diagram) ได้ดังรูปที่ 3.3 โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำการป้อนข้อมูล อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำในเครื่องควบแน่น (m) ความดันในเครื่องควบแน่นก่อนลดการใช้งานพัดลม (p_1) และความดันในเครื่องควบแน่นหลังลดการใช้งานพัดลม (p_2)

ขั้นที่ 2 คำนวณหาค่าเอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่ออกจากกังหันไอน้ำ (h_{g1}) จากสมการ A หรือ B ซึ่งขึ้นอยู่กับความดันในเครื่องควบแน่น

ขั้นที่ 3 คำนวณหาค่าเอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่ออกจากกังหันไอน้ำ (h_{g2}) หลังลดการใช้งานพัดลม

ขั้นที่ 4 คำนวณหาค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าที่สูญเสียไป (dW) จากค่าเอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่ออกจากกังหันไอน้ำ ทั้งก่อนและหลังการลดการใช้งานพัดลม และค่าประสิทธิภาพไอเซนทรอปิกของกังหันก๊าซ (η_t)



รูปที่ 3.3 ผังงานของฟังก์ชันคำนวณผลกระทบจากการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็น

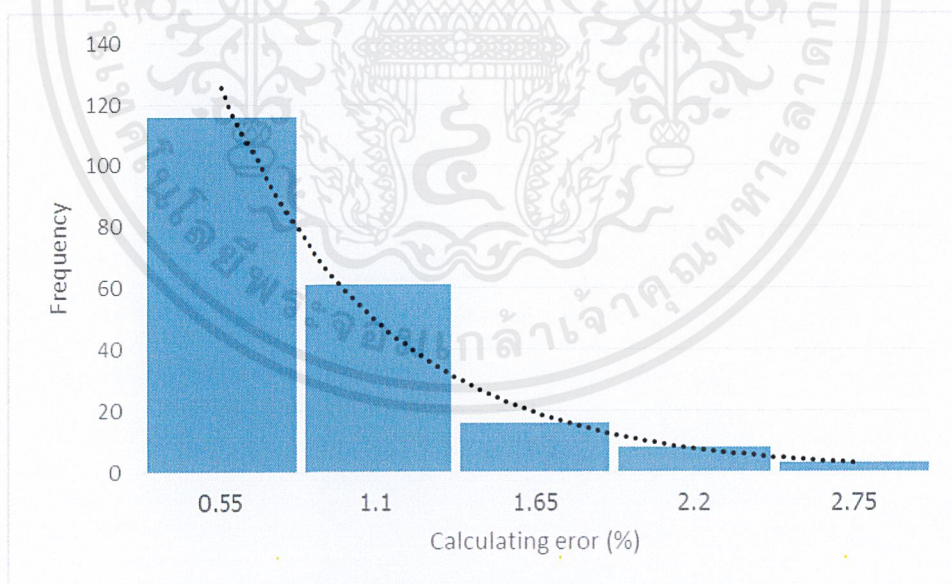
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาแนวทางการสร้างโปรแกรมคำนวณ และดำเนินการเก็บข้อมูลหาความแม่นยำและข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องแล้ว จึงนำสมการคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าว มาใช้ในการสร้างโปรแกรมคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานของพัดลมหาความแม่นยำ และการจัดทำข้อมูลกำลังผลกระทบจากการลดการใช้งานพัดลมหาความแม่นยำ

4.1 ความแม่นยำของโปรแกรมคำนวณ

จากรูปที่ 4.1 แสดงการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละของการคำนวณ มีการคำนวณทั้งหมด 204 ครั้ง โดยใช้ข้อมูลการดำเนินงานของหาความแม่นยำที่บันทึกไว้ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของน้ำขาเข้า มาคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำขาออก พบว่าอุณหภูมิของน้ำขาออกที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของน้ำขาออกที่ได้จากการวัดประมาณ 0.55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยมาก ผลการคำนวณของโปรแกรมจึงมีความแม่นยำค่อนข้างสูง สามารถนำไปใช้ในการดำเนินงานจริงได้



รูปที่ 4.1 กราฟการแจกแจงค่าคลาดเคลื่อนร้อยละจากการคำนวณของโปรแกรม

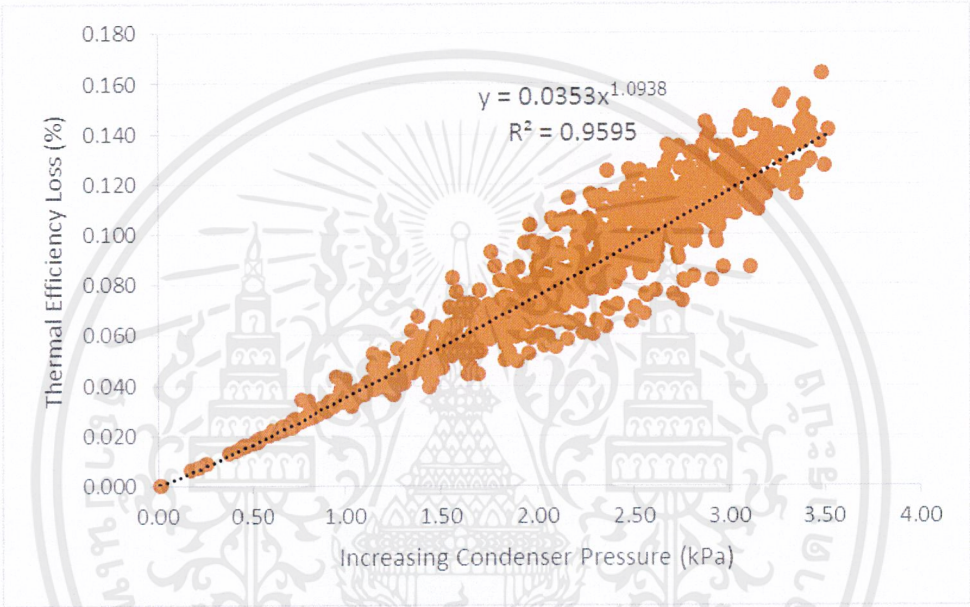
4.2 การลดลงของประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากการนำข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้ามาคำนวณ โดยใช้ฟังก์ชันการคำนวณที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม Visual Basic Application ทั้งหมด 204 ครั้ง พบว่ามีกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากระบบ (Power Loss) อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของความดันในเครื่องควบแน่น จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาการลดลงของเอนทัลปีเป็นเอนทัลปีหลังมีผลสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงไฟฟ้าตามสมการ 4.1 และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์กับค่าความดันเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.2

$$\Delta\eta_{th} = \frac{\Delta W_{net}}{Q_{in}} \times 100 \tag{4.1}$$

เมื่อ $\Delta\eta_{th}$	คือ	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ลดลง (Thermal Efficiency Loss : %)
ΔW_{net}	คือ	กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากระบบ (Power Loss)
Q_{in}	คือ	ความร้อนที่เข้าสู่ระบบ (Heat Input)



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่นกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ลดลง

จากรูปที่ 4.2 สามารถหาสมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับค่าความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่นได้ดังสมการที่ 4.2

$$\Delta\eta_{th} = 0.0353(\Delta p)^{1.0939} \tag{4.2}$$

เมื่อ $\Delta\eta_{th}$	คือ	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ลดลง (Thermal Efficiency Loss : %)
Δp	คือ	ความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่น (Increasing Condenser Pressure : kPa)

4.3 การลดลงของกำลังการผลิตไฟฟ้า

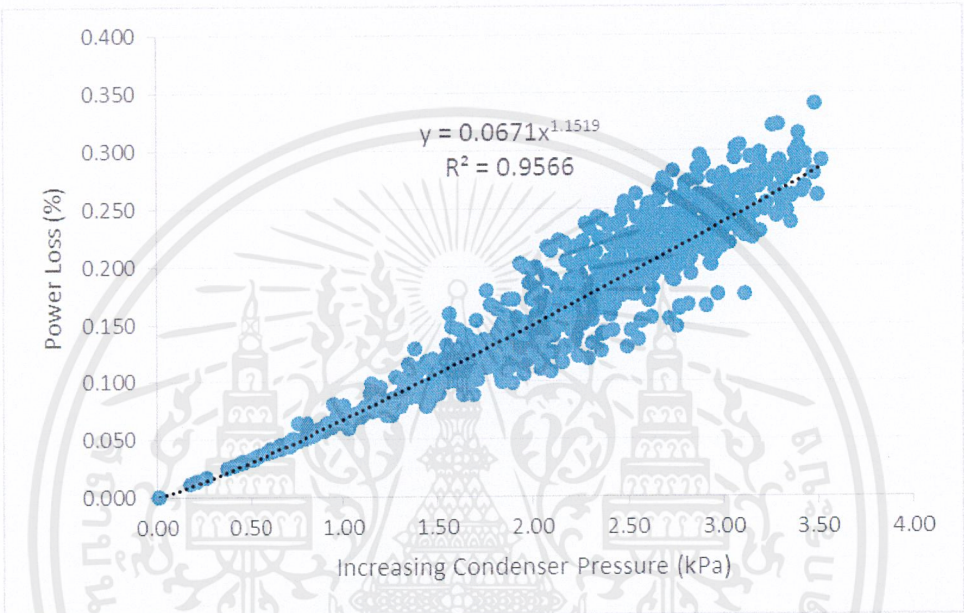
จากการนำข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้ามาคำนวณ โดยใช้ฟังก์ชันการคำนวณที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม Visual Basic Application ทั้งหมด 204 ครั้ง พบว่ามีกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากระบบ (Power Loss) อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของความดันในเครื่องควบแน่น จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำลังการผลิตไฟฟ้าตามสมการ 4.3 และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์กับค่าความดันเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$PL = \frac{\Delta W_{net}}{\Sigma W_{net}} \times 100 \tag{4.3}$$

เมื่อ PL คือ เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำลังการผลิตไฟฟ้า (Power Loss : %)

ΔW_{net} คือ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากระบบ (Power Loss)

ΣW_{net} คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าสุทธิรวมทุกระบบของโรงไฟฟ้าก่อนการลดการใช้พัดลม



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่นกับกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ลดลง

จากรูปที่ 4.3 สามารถหาสมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ลดลง กับค่าความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่นได้ดังสมการที่ 4.4

$$PL = 0.0671(\Delta p)^{1.1519} \tag{4.4}$$

เมื่อ PL คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าที่ลดลง (Power Loss : %)

Δp คือ ความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่น (Increasing Condenser Pressure : kPa)

4.4 ผลการประหยัดพลังงาน

จากการศึกษาข้อมูล พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็น อันเนื่องมาจากการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็นนั้น ทำให้ความสามารถการดึงความร้อนออกจากเครื่องควบแน่นต่ำลง ส่งผลให้ความดันในเครื่องควบแน่นเพิ่มขึ้น และจากรูปที่ 4.2 พบว่าความดันในเครื่องควบแน่น มีผลกับกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากระบบ ดังนั้นการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็นลงนั้น จะต้องคำนึงถึงการลดลงของกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า โดยการคำนวณผลการประหยัดพลังงานจากการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็นเป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำความเข้าใจสามารถพิจารณาได้จากสมการต่อไปนี้

$$E = (n \times P_f) - (PL \times \sum W_{net}) / 100 \tag{4.5}$$

แทนค่าสมการ 4.3 ลงในสมการ 4.4

$$E = (n \times P_f) - (0.0671(\Delta p)^{1.1519} \times \sum W_{net}) / 100 \tag{4.6}$$

เมื่อ	n	คือ	จำนวนพัดลมหอทำความเย็นที่หยุดใช้งาน
	P_f	คือ	กำลังไฟฟ้าที่พัดลมหอทำความเย็นใช้ (Power Consumption of Fan)
	E	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ประหยัด (Power Saving)

จากสมการ 4.5 จะเห็นได้ว่าการลดพัดลมหอทำความเย็นลงนั้น จะต้องไม่ทำให้ความดันในเครื่องความแน่นเพิ่มขึ้นจนเกินค่า ๆ หนึ่ง จึงจะสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานได้ โดยสามารถคำนวณการประหยัดได้จากสมการต่อไปนี้

$$C = m \times E \tag{4.7}$$

เมื่อ	m	คือ	ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย (Electricity Price)
	C	คือ	จำนวนเงินที่ประหยัดต่อหน่วยเวลา (Cost Saving)

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้เป็นการศึกษาสมการทางฟิสิกส์ที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับห่อทำความเย็น เพื่อนำไปใช้ในการสร้างโปรแกรมคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมห่อทำความเย็นที่เหมาะสม และจัดทำข้อมูลผลกระทบจากการลดการใช้งานพัดลมห่อทำความเย็น จนสามารถหาสมการที่เหมาะสมในการคำนวณผลการประหยัดพลังงานจากการลดการใช้งานพัดลมห่อทำความเย็น ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ ดังนี้

จากการดำเนินงานพบว่า โปรแกรมคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมห่อทำความเย็นที่สร้างขึ้นนั้น มีความคลาดเคลื่อนในการคำนวณประมาณ 0.55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยมาก ผลการคำนวณของโปรแกรมจึงมีความแม่นยำค่อนข้างสูง สามารถนำไปใช้ในการดำเนินงานจริงได้ แต่โปรแกรมยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่ คือ สามารถคำนวณได้เฉพาะในช่วงกำลังการผลิตที่มีอยู่ในข้อมูลการออกแบบ เนื่องจากโปรแกรมคำนวณได้ใช้ข้อมูลค่าการออกแบบของห่อทำความเย็นในการสร้าง ซึ่งมีข้อมูลอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นในการใช้งานโปรแกรมคำนวณจึงทำได้เพียงเลือกค่ากำลังการผลิตที่ใกล้เคียงกับค่ากำลังการผลิตจริงเท่านั้น ผลการคำนวณที่ได้จึงเป็นแค่ค่าการประมาณ

การลดการใช้งานพัดลมห่อทำความเย็นลงนั้น ทำให้ความดันในเครื่องควบแน่นสูงขึ้น ส่งผลให้กำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากระบบลดลง ดังนั้นผลการประหยัดพลังงานจากการลดการใช้งานพัดลมห่อทำความเย็นจะขึ้นอยู่กับ การใช้ไฟฟ้าที่ลดลงจากการลดการใช้งานพัดลม และกำลังการผลิตที่ลดลงจากค่าความดันเพิ่มในเครื่องควบแน่น ซึ่งคำนวณหาได้จากสมการผลการประหยัดพลังงาน ทำให้บริษัทสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานภายในกระบวนการผลิตลงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมห่อทำความเย็น เป็นการประมาณค่าเท่านั้น เนื่องจากค่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่ห่อทำความเย็นที่นำมาคำนวณ เป็นค่าจากการออกแบบของโรงไฟฟ้าที่กำลังการผลิตต่าง ๆ

2) การหาค่าอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (Liquid Gas Ratio) ควรได้จากการวัด มากกว่าการคำนวณ เพราะจะได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำ แต่เนื่องจากทางโรงไฟฟ้าขาดอุปกรณ์ในการวัด จึงไม่สามารถทำการวัดค่าได้

3) ควรเพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูลการดำเนินงาน เพื่อให้ข้อมูลผลกระทบที่จัดทำขึ้นมีความละเอียดและครอบคลุมมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] โรงไฟฟ้าความร้อนร่วมหนองแขง. (2556). *Plant Overview*.
- [2] Power Generation. (2017). *Combined Cycle Power Plant: How It Works*. [Online].Available: <https://powergen.gepower.com/resources/knowledge-base/combined-cycle-power-plant-how-it-works.html>
- [3] Yunus A. Cengel & Michael A. Boles. (2008). *Thermodynamics an engineering approach* (7th ed.).
- [4] โรงไฟฟ้าความร้อนร่วมหนองแขง. (2556). *Heat Exchange Systems (Cooling Tower)*.
- [5] Stoecker, W.F., & Jones, J.W. (1982). *Refrigeration and air conditioning* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.
- [6] Engineeringtoolbox. (2016). *Water Vapor and Saturation Pressure in Humid Air*. [Online].Available: http://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-saturation-pressure-air-d_689.html
- [7] Engineeringtoolbox. (2016). *Humidity Ratio of Air*. [Online].Available: http://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-saturation-pressure-air-d_689.html
- [8] Engineeringtoolbox. (2016). *Enthalpy of Moist Air*. [Online].Available: http://www.engineeringtoolbox.com/enthalpy-moist-air-d_683.html
- [9] Engineeringtoolbox. (2016). *Mixed Fluids*. [Online].Available: http://www.engineeringtoolbox.com/mixing-fluids-temperature-mass-d_1785.html
- [10] Marcuscode. (2016). *Visual Basic*. [Online].Available: <http://marcuscode.com/lang/visual-basic>
- [11] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2559). *ค่าคลาดเคลื่อนการประมาณ*. [Online].Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/ค่าคลาดเคลื่อนการประมาณ>



ภาคผนวก ก

ข้อมูลหอทำความเย็นของโรงไฟฟ้าหนองแขง

Gulf Nong Saeng Power Plant Project

Training Text

COOLING TOWER

2013

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

 **MITSUBISHI**
HEAVY INDUSTRIES, LTD.
Our Technology. Your Tomorrow.

CONTENTS

 **MITSUBISHI**
HEAVY INDUSTRIES, LTD.

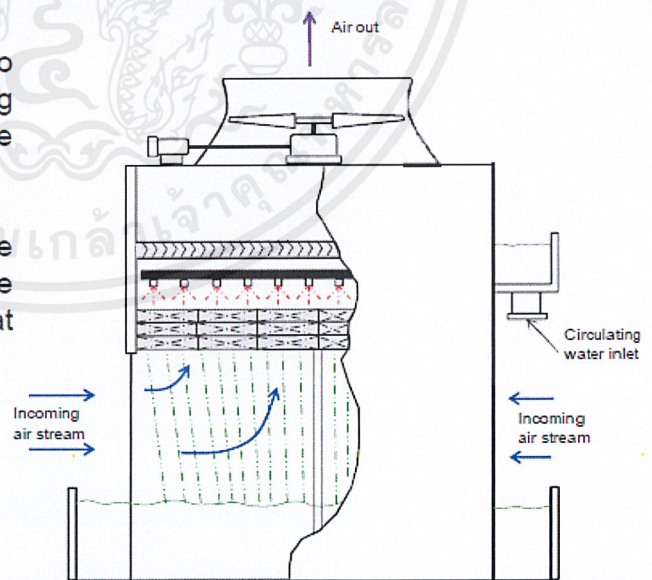
1. General Explanation
 - a. Function
 - b. Schematic Flow Diagram
2. Design
 - a. Design Concept
 - b. Thermal Calculation
 - c. Construction

1. General Explanation

a. Function

The function of cooling tower is to remove heat from the circulating water and transfer this heat to the incoming air stream.

The cooled circulating water will be collected at the basin and will be fed back to various heat exchangers.



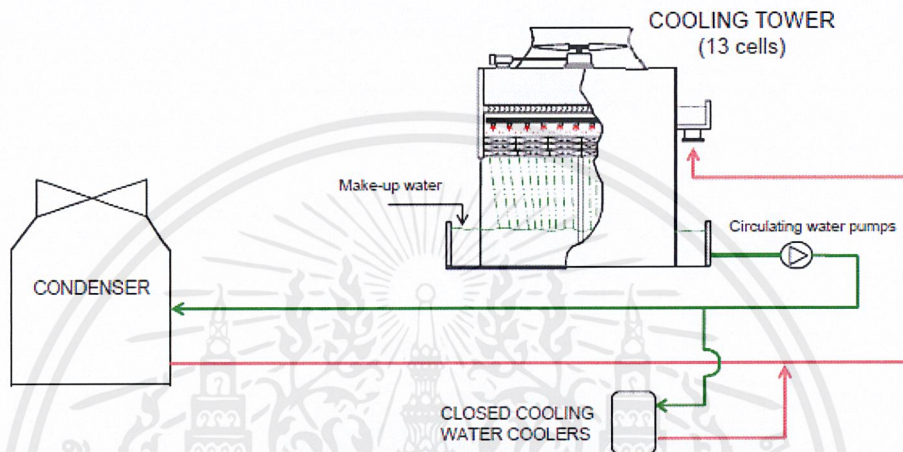
b. Schematic Flow Diagram



An illustration below shows the typical water circulation around cooling tower.

The source of heat will be coming mainly from Condenser and Closed Cooling Water Coolers, in which cooled circulating water will be fed through these heat exchangers.

During this process, the heat will be absorbed by the circulating water and will be returned back to Cooling Tower for cooling of circulating water. This process will be continuous during plant operation. Make-up water is provided onto cooling tower basin to compensate water evaporation losses, etc.



2. Design

a. Design Concept

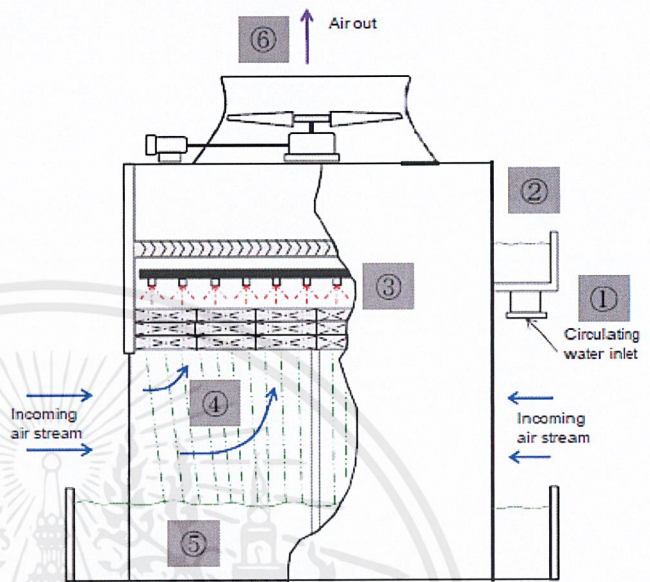
GNS Cooling Tower is a mechanical draft (induced), counter flow, wet-type cooling tower.

This is explained in details as follows:

- **Mechanical draft (induced)** means this cooling tower uses fans to provide flow of air through cooling tower. The fans are located at the exiting air stream.
- **Counter flow** means that air drawn by the fans, and moves vertically upward through the fill, counter to the downward fall of water.

Fluid flow through cooling tower is simple in nature and can be explained briefly as follows:

- ① Hot Circulating water will be fed into these inlet nozzles
- ② Concrete flume is provided which serves as header for distribution of water into each distribution piping.
- ③ Each distribution piping are provided with sprayer nozzles. Water are being sprayed at this time.
- ④ The downward flow of water will be in contact with upcoming air, through the fills. At this stage, heat exchange will occur. Heat from downward water will be absorbed by the air moving in upward direction.
- ⑤ The cooled water will be collected at the basin.
- ⑥ The outgoing air will damp the heat onto the atmosphere.



b. Thermal Calculation

Design parameters (for each block)

Tower Structure : Concrete

No. of cells : 13 cells

Water side

At Point ①

* Circulating water flow : 53400 m³/h

* Hot water : 41.8 °C

At Point ②

* Cold water : 33.3 °C

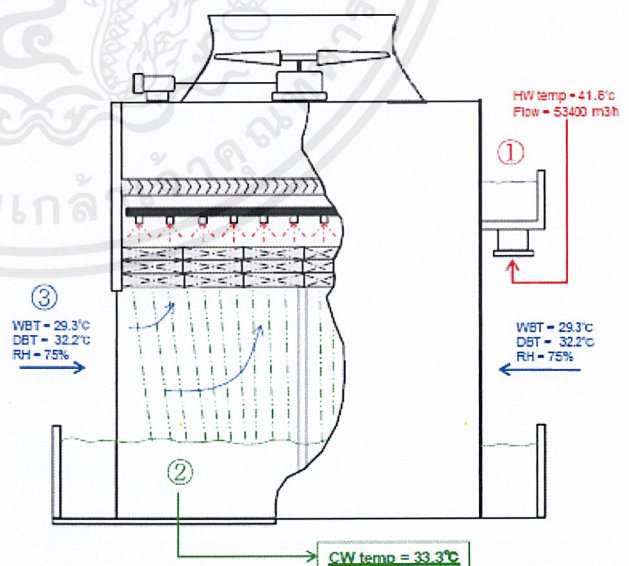
Air Side

At Point ③

* Wet bulb temperature (WBT) : 29.3 °C

* Dry bulb temperature (DBT) : 32.2 °C

* Thermal calculation and thermal balance is shown in next pages.



b. Thermal Calculation



Circulating water side

Circulating water flow rate: $L_{m^3/h} = 53400 \text{ m}^3/\text{h}$
 Hot water temperature: $T_2 = 41.80^\circ\text{C}$
 Cold water temperature: $T_1 = 33.30^\circ\text{C}$
 Range: $\Delta T = T_2 - T_1 = 8.50^\circ\text{C}$

Water density $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$
 Water flow rate $L = (L_{m^3/h}/3600) \cdot \rho_w = (53400/3600) \cdot 1000 = 14833 \text{ kg/s}$
 $L = 53.4 \cdot 10^6 \text{ kg/h}$

$$Q = c \cdot L \cdot \Delta T$$

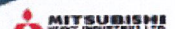
$$= 1 \cdot 53.4 \cdot 10^6 \cdot 8.5$$

$$= 454 \cdot 10^6 \text{ kcal/h}$$

Heat Load

Specific heat, $c = 1 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

b. Thermal Calculation



Air side

Inlet air properties :

Design wet bulb temperature
 Design dry bulb temperature
 Design Relative humidity
 Absolute humidity
 Wet air density
 Dry air density
 Enthalpy

$WBT_1 = 29.30^\circ\text{C}$
 $DBT_1 = 32.2^\circ\text{C}$
 $RH_1 = 75\%$
 $w_1 = 0.0244 \text{ kg/kg dry air}$
 $\rho_{1w} = 1.132 \text{ kg/m}^3$
 $\rho_{1d} = 1.105 \text{ kg dry air / m}^3$
 $h_1 = 23.02 \text{ kcal/kg dry air}$

Outlet air properties :

Wet bulb temperature
 Dry bulb temperature
 Relative humidity
 Absolute humidity
 Wet air density
 Dry air density
 Enthalpy

$WBT_2 = 39.78^\circ\text{C}$
 $DBT_2 = 39.78^\circ\text{C}$
 $RH_2 = 100\%$
 $w_2 = 0.0487 \text{ kg/kg dry air}$
 $\rho_{2w} = 1.094 \text{ kg/m}^3$
 $\rho_{2d} = 1.043 \text{ kg dry air / m}^3$
 $h_2 = 39.48 \text{ kcal/kg dry air}$

Dry air flow rate (*)

$G = 8043 \text{ kg dry air / s} = 29 \cdot 10^6 \text{ kg dry air / h}$

$$Q = G [h_2 - h_1 - c \cdot T_1 \cdot (w_2 - w_1)]$$

$$= 29 \cdot 10^6 \cdot [39.48 - 23.02 - 1 \cdot 33.3 \cdot (0.0487 - 0.0244)]$$

$$= 454 \cdot 10^6 \text{ kcal/h}$$

Heat Load

b. Thermal Calculation



Required size of Fill

Liquid/gas ratio $L/G = 14833/8043 = 1.844$
 Cooling tower characteristic $KaV/L = 1.841$ (CTI software :“Blue book” – version 3.1)
 Mass transfer coefficient $Ka = 7.19 \text{ kg/s/m}^3$ (based on tests)

Required Fill volume $V_{\text{required}} = (KaV/L) \cdot L / Ka$
 $= 1.841 \cdot 14833 / 7.19$
 $= 3798 \text{ m}^3$

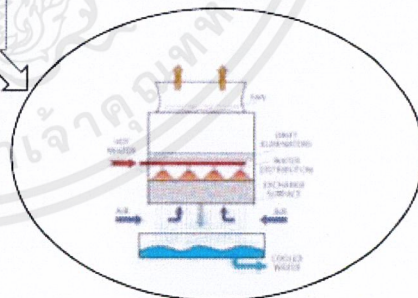
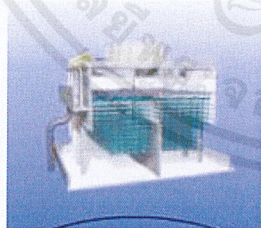
Required Fill height $H_{\text{required}} = V_{\text{required}} / [(\text{inside cell } L \times W) \cdot (\text{number of cells})]$
 $H_{\text{required}} = V_{\text{required}} / [(14 \cdot 14) \cdot 13] = 1.49 \text{ m}$
 $H_{\text{required}} < 1.5 \text{ m}$ designed fill height of cooling tower $\rightarrow \text{OK}$

c. Construction

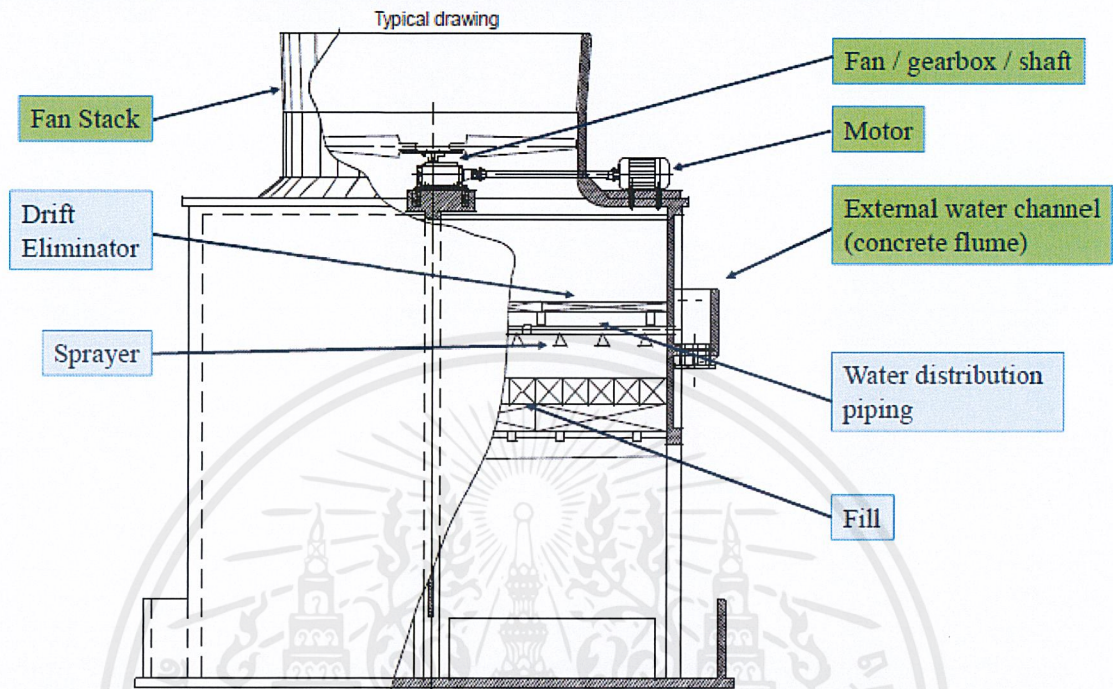


Type of construction for GNS:

- Mechanical Draft (induced) Cooling Tower
- Concrete Structure
- Fill type
- See next page for details



c. Construction

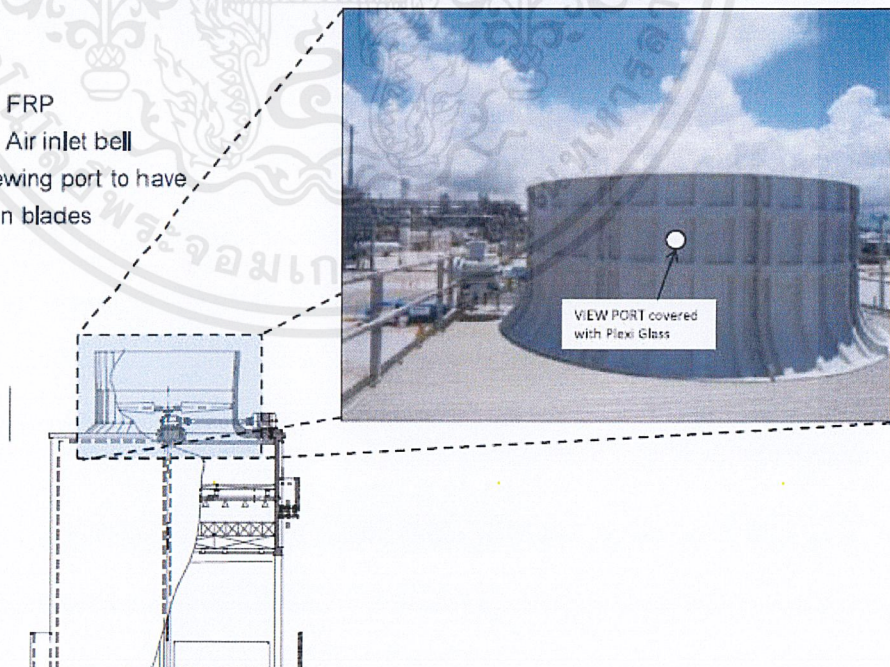


c. Construction



Fan Stack

- Material : FRP
- Profile : Air inlet bell
- Equipped with viewing port to have a visual check on fan blades



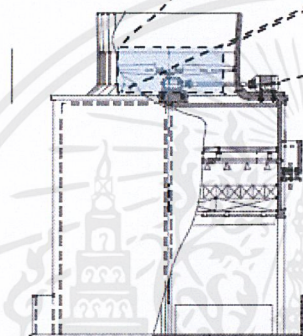
c. Construction



Fans

- Material : FRP blades
- Profile : Manually adjustable pitch
- No. of blades : 7 blades per assembly
- Fan diam. : 9144mm (30 feet)
- Fixation: Bolted to hubs

The fan induces / drives the air through the cooling tower.



c. Construction



Gearbox

- Fixation: Bolted onto concrete foundation
- Accessory: Oil level switch and level gauge
- Lubrication: Remote lubrication system (see Fig.1)
 - oil level dipstick, breather and oil filling/drain line connected by pipings to outside fanstack
- RPM (in/out) : 1486 rpm / 134.3 rpm

The gearbox absorbs the mechanical energy from motor and transmit the energy to rotate fans.

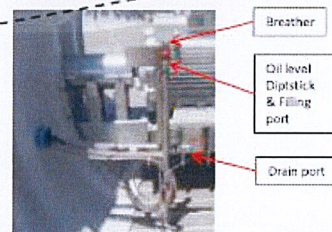
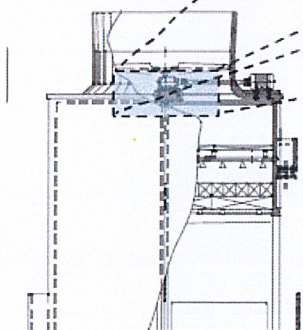
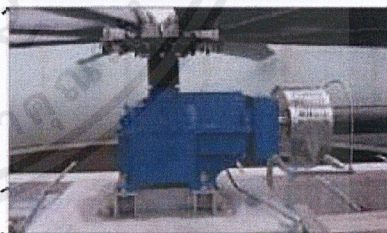


Fig. 1

Remote lubrication system

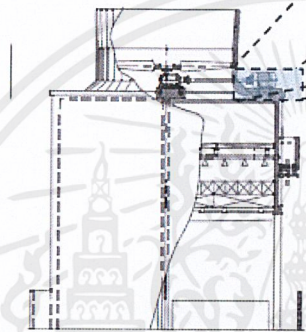
- Oil level dipstick and oil filling/drain line connected by pipings to outside fanstack

c. Construction



Motor

- Power Rating : 220 kW
- Voltage: 6600 V
- Fixation: Bolted onto concrete foundation
- RPM: 1486 rpm
- Accessory: With space heater



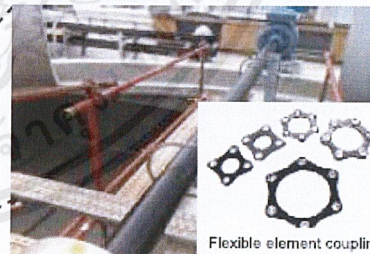
The motor provides the mechanical power to drive the gearbox and fans.

c. Construction

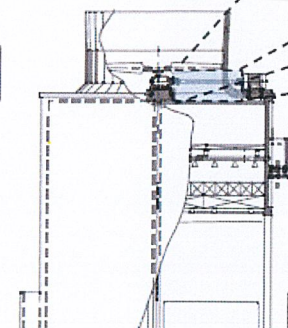


Shaft

- Material: Composite shaft with stainless couplings
- Fixation: Bolted to coupling with flexible element
- RPM: 1486 rpm
- Length: 4125 mm
- Diameter: 158 mm (6.24in)



Flexible element coupling



The shaft transmits the mechanical energy from electrical motor to gearbox.

c. Construction



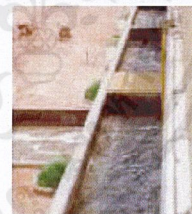
Fan assembly (fan + gearbox + shaft + motor) without fan stack yet

c. Construction

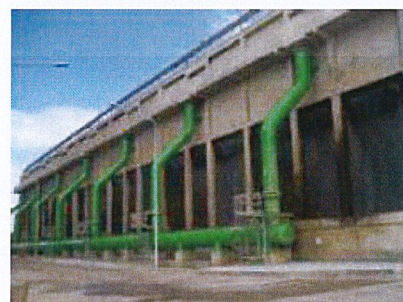


External water channel (concrete flume)

- The incoming hotwater will be connected to cooling tower through the external concrete flume.
- The water will be then distributed onto distribution pipings
- From the distribution pipings, hot water will be sprayed through sprayers (refer to next page).



View from top



c. Construction



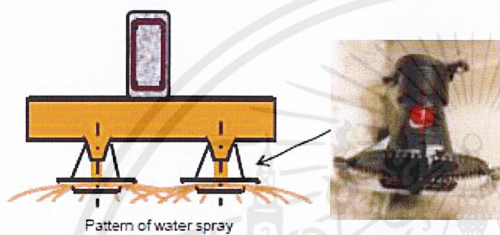
Distribution Pipings

- From external concrete flume, water will be distributed to each distribution pipings then sprayers.
- Distribution piping material is FRP.



Distribution Pipings

Sprayers



Sprayers

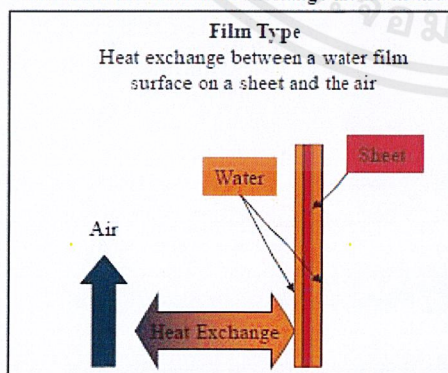
c. Construction



Fill

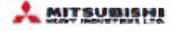
- The pack consists of thermoformed corrugated PVC sheets.
- Water is distributed over the surface of the sheets in a thin film and heat is transferred to the air passing through the tower mainly by evaporation from the film surface.

The fill is the main heat exchange media in the cooling tower.



Film Type "Fill"

c. Construction



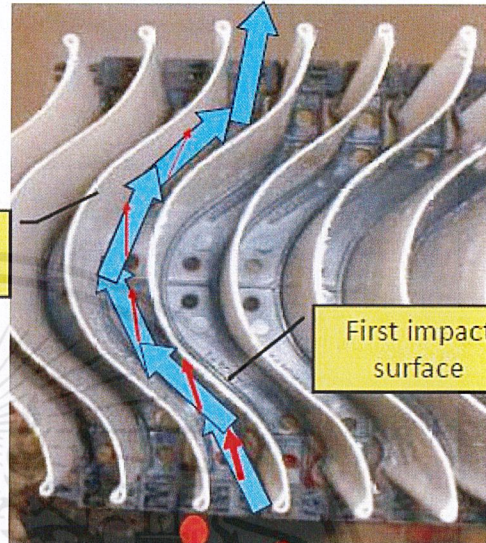
Drift Eliminator

- The Drift eliminator minimizes the water losses carried over in the exhaust air
- By inertia, the water droplets impact the surface of the drift eliminators.

Second impact surface

First impact surface

Water collected on the surface, flow down inside the cooling tower



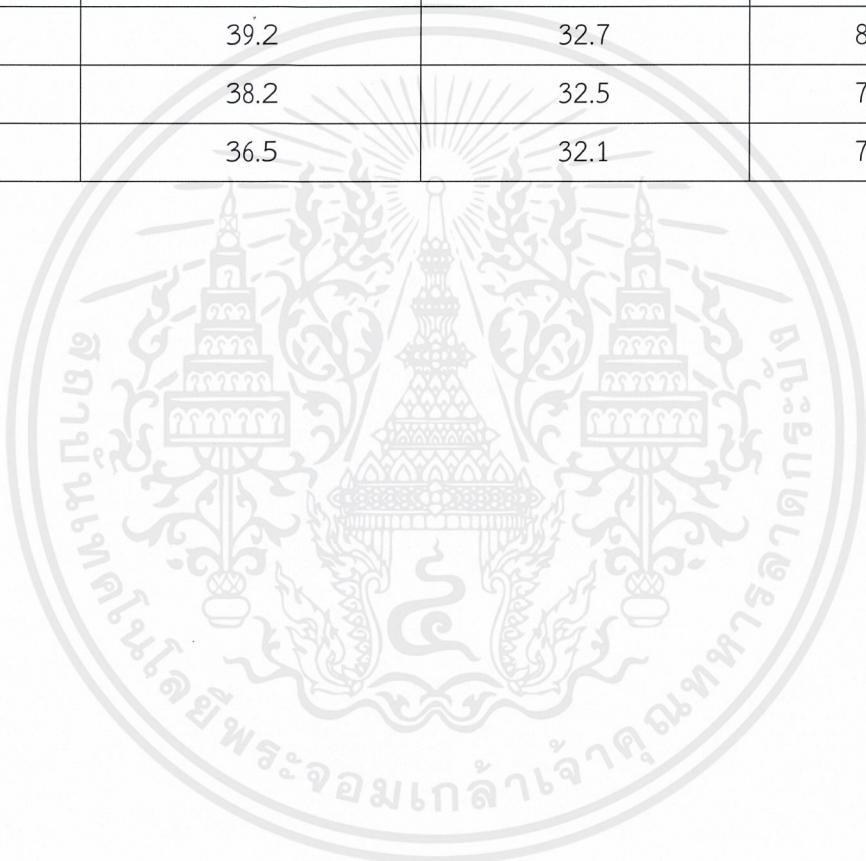


ภาคผนวก ข

ข้อมูลค่าการออกแบบที่กำลังการผลิตต่าง ๆ

ข้อมูลค่าการออกแบบที่กำลังการผลิตต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมหนองแขง

Plant Load (MW)	Cooling Water Inlet Temperature (°C)	Cooling Water Outlet Temperature (°C)	Condense Pressure (kPa)
850	42.0	33.3	9.60
800	41.5	33.2	9.33
740	40.8	33.0	8.93
720	40.6	33.0	8.93
640	39.9	32.8	8.53
560	39.2	32.7	8.27
464	38.2	32.5	7.87
387	36.5	32.1	7.20



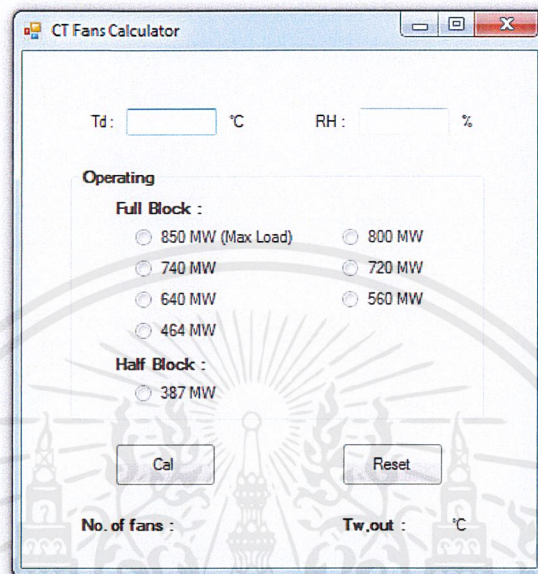


ภาคผนวก ค

คู่มือโปรแกรมคำนวณหาจำนวนการใช้งานพัสดุห่อทำความเย็น

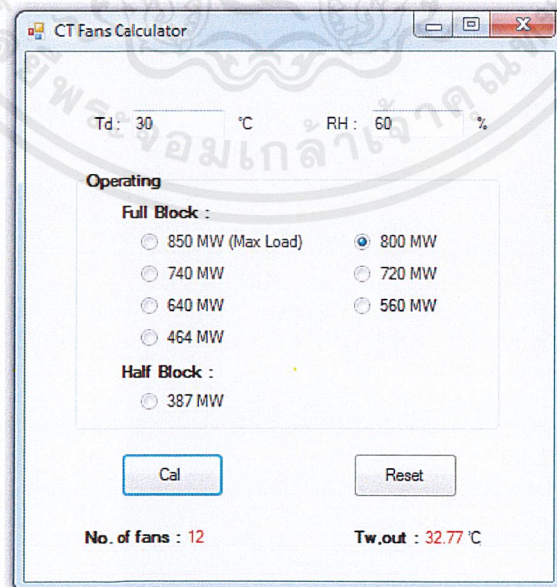
วิธีการใช้งานโปรแกรมคำนวณ

1) เมื่อทำการเปิดโปรแกรม CT Fans Calculator พบว่าในหน้าต่างของโปรแกรมจะปรากฏช่องไว้สำหรับป้อนข้อมูล เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ โดย T_d คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) RH คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) และ Operating คือ กำลังการผลิต (Plant Load)



The screenshot shows the 'CT Fans Calculator' window. At the top, there are input fields for 'Td' (Dry Bulb Temperature) in °C and 'RH' (Relative Humidity) in %. Below these, the 'Operating' section contains two groups of radio buttons: 'Full Block' with options 850 MW (Max Load), 740 MW, 640 MW, 464 MW, 800 MW, 720 MW, and 560 MW; and 'Half Block' with the option 387 MW. At the bottom, there are 'Cal' and 'Reset' buttons. The 'No. of fans' and 'Tw,out' fields are currently empty.

2) ทำการป้อนข้อมูลขณะดำเนินงานลงบนโปรแกรมให้ครบทุกช่อง แล้วกดปุ่ม Cal เพื่อเริ่มต้นการคำนวณ โดยผลการคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานของพัดลมหอทำความเย็นและอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็น จะแสดงที่ช่อง No. of Fans และ $T_{w,out}$ ตามลำดับ จากนั้นเมื่อต้องการป้อนข้อมูลใหม่ให้ทำการกดปุ่ม Reset



The screenshot shows the 'CT Fans Calculator' window after calculation. The 'Td' field is set to 30 °C and the 'RH' field is set to 60 %. In the 'Operating' section, the '800 MW' option under 'Full Block' is selected. The 'Cal' button is highlighted. The results are displayed at the bottom: 'No. of fans' is 12 and 'Tw,out' is 32.77 °C. The 'Reset' button is also visible.



ภาคผนวก ง

โปรแกรม Microsoft Visual Basic

การใช้งานโปรแกรม Microsoft Visual Basic

โปรแกรม Microsoft Visual Basic เป็นโปรแกรมที่ใช้โครงสร้างภาษา Visual Basic ซึ่งพัฒนามาจากภาษา BASIC (ย่อมาจาก Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code) ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้งานง่าย เหมาะสำหรับผู้เริ่มใช้คอมพิวเตอร์ เพราะใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย การใช้งานโปรแกรมเป็นลักษณะของการมองเห็นได้ (Visual) ที่เป็นการติดต่อกับผู้ใช้ด้วยกราฟิกหรือรูปภาพ (Graphical User Interface - GUI) จึงทำให้การพัฒนาโปรแกรมใช้งานทำได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น ถึงแม้จะใช้งานง่ายแต่ก็มีความสามารถสูง เหมาะสำหรับการพัฒนาโปรแกรมใช้งานได้หลายด้าน เช่น งานคำนวณทั่วไป งานด้านฐานข้อมูลและอื่น ๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้ได้มีการเขียนโปรแกรมคำนวณขึ้นโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic โดยมีลักษณะการใช้คำสั่งเบื้องต้น ดังนี้

2.8.1 คำสั่งที่ใช้ตรวจสอบเงื่อนไข (Conditional Statement)

ประโยคคำสั่ง (Statement) ที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข (Condition) ในโปรแกรม Microsoft Visual Basic มีให้เลือกใช้ 2 คำสั่ง ดังนี้

1) คำสั่ง If...Then...Else รูปแบบคำสั่งใช้ในกรณีตรวจสอบหลายเงื่อนไข โดยเขียนเงื่อนไขได้หลายบรรทัด จะมี Elseif หรือ Else หรือไม่มีก็ได้ แต่ต้องมี End If อยู่บรรทัดสุดท้ายของประโยคคำสั่ง มีรูปแบบคำสั่ง ดังนี้

```
If (เงื่อนไข) then
    ประโยคคำสั่ง
Elseif (เงื่อนไข) then
    ประโยคคำสั่ง
Else
    ประโยคคำสั่ง
End If
```

2) คำสั่ง Select Case สำหรับคำสั่ง Select Case นี้ใช้ในกรณีตรวจสอบเงื่อนไขว่าตัวแปรหรือนิพจน์ (Expression) เป็นค่าใดค่าหนึ่งที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าเป็นค่านั้นแล้วให้ทำอะไร ถ้าเป็นค่านั้นแล้วให้ทำอะไร สังเกตได้ว่าคำสั่ง Select Case นั้นใช้สำหรับตรวจสอบตัวแปรหรือนิพจน์เดียวเท่านั้น มีรูปแบบคำสั่ง ดังนี้

```
Select Case (ตัวแปรหรือนิพจน์)
Case (ค่าที่ต้องการตรวจสอบ)
    ประโยคคำสั่ง
Case Else
    ประโยคคำสั่ง
End Select
```


2.8.2 คำสั่งที่ใช้ในการวนลูป (Looping Statement)

สำหรับประโยคคำสั่ง (Statement) ที่ใช้ในการวนลูปในโปรแกรม Microsoft Visual Basic ที่นิยมใช้ มี 3 คำสั่ง ดังนี้

1) For...Next เป็นคำสั่งวนลูปที่ปกติจะใช้ในกรณีที่เราจำนวนรอบที่แน่นอน ว่าต้องการ จะให้วนลูปกี่รอบ โดยจะมีการตั้งค่าตัวแปรสำหรับตัวนับรอบ (Counter) ไว้ กำหนดให้เริ่มนับรอบตั้งแต่ค่าไหนไป ถึงค่าไหน สำหรับรูปแบบประโยคคำสั่ง ดังนี้

For (ตัวแปร = ค่าเริ่มต้น To ค่าสุดท้าย)

 ประโยคคำสั่ง

[Exit For]

 ประโยคคำสั่ง

Next

2) Do...Loop While เป็นคำสั่งให้วนลูปที่มีการตรวจสอบเงื่อนไขตอนท้ายของลูป โดยจะทำการคำสั่งก่อนอย่างน้อย 1 รอบ แล้วค่อยตรวจสอบเงื่อนไขว่าเป็นจริงหรือไม่ ถ้าเป็นจริงก็จะทำการวนลูปไปจนกว่าเงื่อนไขจะเป็นเท็จ มีรูปแบบคำสั่ง ดังนี้

Do

 ประโยคคำสั่ง

[Exit Do]

 ประโยคคำสั่ง

Loop While (เงื่อนไข)

3) While...End While จะมีการตรวจสอบเงื่อนไขก่อน หากเงื่อนไขเป็นจริงก็จะทำการวนลูปจนกว่าเงื่อนไขเป็นเท็จ โดยคำสั่งนี้มีทางออกจากลูปทางเดียว กล่าวคือ ไม่ใช่ Exit do เพื่อให้ออกจากลูปเหมือนคำสั่ง Do...Loop While ได้ สำหรับรูปแบบประโยคคำสั่ง ดังนี้

While (เงื่อนไข)

 ประโยคคำสั่ง

End While

2.8.3 ชุดคำสั่ง (Procedure)

ในการสร้างโปรแกรมนั้น จะประกอบไปด้วยสิ่งหลาย ๆ ชุดมารวม กล่าวคือ การเขียนขั้นตอนการทำงาน หรือประโยคคำสั่งแยกออกเป็นชุด ๆ เรียกว่า ชุดคำสั่ง โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) Sub เป็นชุดคำสั่งที่สร้างไว้สำหรับเขียนขั้นตอนการทำงาน หรือประโยคคำสั่งต่าง ๆ เมื่อมีการเรียกใช้งานก็จะทำงานตั้งแต่คำสั่งแรกเรียงลงไปจนถึงคำสั่งสุดท้ายภายใน Sub นั้นตามลำดับ เมื่อจบการทำงานแล้วก็จะกลับไปทำงานต่อในบรรทัดถัดไป ถัดจากคำสั่งที่เรียกใช้งาน โดยจะไม่มีคำสั่งคืนกลับ การ

ออกจาก Sub สามารถกำหนดเงื่อนไขการออกจาก Sub ขณะที่ยังทำงานได้โดยใช้คำสั่ง Exit Sub ในการสร้าง Sub นั้นอาจมีการรับค่าพารามิเตอร์เข้ามาใช้งานด้วยหรือไม่ก็ได้สำหรับรูปแบบประโยคคำสั่งเขียนได้ ดังนี้

Sub ชื่อ(พารามิเตอร์)

 ประโยคคำสั่ง

 [Exit Sub]

 ประโยคคำสั่ง

End Sub

2) Function นั้นทำงานเหมือน Sub แต่สามารถส่งค่าคืนกลับได้ รูปแบบประโยคคำสั่งเขียนได้ ดังนี้

Function ชื่อ(พารามิเตอร์) As ชนิดของค่าที่ส่งคืน

 ประโยคคำสั่ง

 [Exit Function]

 ประโยคคำสั่ง

 [ชื่อ = นิพจน์]

End Function

ภาษา Visual Basic ของฟังก์ชันคำนวณค่า NTU และอัตราส่วนการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ

```
Function LG(td, RH, twi, two)
    Dim pvs, pv, x, ha, NTU1, NTU2, tw, dtw, hw, dha, dhm, dh, R As Double
    Dim n As Integer
    pvs = Math.Exp(77.345 + 0.0057 * (td + 273) - 7235 / (td + 273)) / (td + 273) ^ 8.2
    pv = pvs * RH / 100
    x = 0.62198 * pv / (101325 - pv)
    ha = 1.006 * td + x * (1.84 * td + 2501)
    R = 1.844

    Do
        NTU1 = 2.6577 * R ^ (-0.6)
        dhm = 0
        n = 1
        While (n <= 10000)
            dtw = (twi - two) / 10000
            dha = R * 4.19 * dtw
            tw = two + (n - 0.5) * dtw

            pvs = Math.Exp(77.345 + 0.0057 * (tw + 273) - 7235 / (tw + 273)) / (tw + 273) ^ 8.2
            x = 0.62198 * pvs / (101325 - pvs)
            hw = 1.006 * tw + x * (1.84 * tw + 2501)

            dh = hw - (ha + (n - 0.5) * dha)
            dhm = dhm + 1 / dh
            n = n + 1
        Wend
        NTU2 = 4.19 * dtw * dhm
        R = R + 0.001
    Loop While (NTU2 <= 0.995 * NTU1 Or NTU2 >= 1.005 * NTU1)
    R = R - 0.001

    LG = R
End Function
Function NTU(R)
    NTU = 2.6577 * R ^ (-0.6)
End Function
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัว 53 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาษา Visual Basic ของโปรแกรมคำนวณหาจำนวนการเปิดใช้งานพัดลมหอทำความเย็น

```
Public Class Form1
    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Dim td, RH, twi, two1, two2, pvs, pv, x, ha, NTU1, NTU2, tw, dtw, hw, dha, dhm, dh, two, R As Double
        Dim n, i As Integer
        td = Convert.ToDouble(TextBox1.Text)
        RH = Convert.ToDouble(TextBox2.Text)
        Label9.Text = ""
        Label10.Text = ""

        pvs = Math.Exp(77.345 + 0.0057 * (td + 273) - 7235 / (td + 273)) / (td + 273) ^ 8.2
        pv = pvs * RH / 100
        x = 0.62198 * pv / (101325 - pv)
        ha = 1.006 * td + x * (1.84 * td + 2501)

        If RadioButton1.Checked Then
            twi = 42
            two1 = 33.3
        ElseIf RadioButton2.Checked Then
            twi = 41.5
            two1 = 33.2
        ElseIf RadioButton3.Checked Then
            twi = 40.8
            two1 = 33.0
        ElseIf RadioButton4.Checked Then
            twi = 40.6
            two1 = 33.0
        ElseIf RadioButton5.Checked Then
            twi = 39.9
            two1 = 32.8
        ElseIf RadioButton6.Checked Then
            twi = 39.2
            two1 = 32.7
        ElseIf RadioButton7.Checked Then
            twi = 38.2
            two1 = 32.5
        ElseIf RadioButton8.Checked Then
            twi = 36.5
            two1 = 32.1
        Else : Return
        End If

        two2 = 20
        NTU1 = 1.6317
        R = 2.2589

        Do
            dhm = 0
            n = 1
            While (n <= 10000)
                dtw = (twi - two2) / 10000
                dha = R * 4.19 * dtw
                tw = two2 + (n - 0.5) * dtw
                pvs = Math.Exp(77.345 + 0.0057 * (tw + 273) - 7235 / (tw + 273)) / (tw + 273) ^ 8.2
                x = 0.62198 * pvs / (101325 - pvs)
                hw = 1.006 * tw + x * (1.84 * tw + 2501)
                dh = hw - (ha + (n - 0.5) * dha)
                If (dh < 0) Then n = 10000
                dhm = dhm + 1 / dh
                n = n + 1
            End While
            NTU2 = 4.19 * dtw * dhm
            If (dh < 0) Then NTU2 = 0
            two2 = two2 + 0.001
        Loop While (NTU2 <= 0.995 * NTU1 Or NTU2 >= 1.005 * NTU1)
        two2 = two2 - 0.001

        Do
            i = i + 1
            two = i / 13 * two2 + (13 - i) / 13 * twi
        Loop While (two >= two1 And i < 13)
    End Sub
End Class
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัว 54 อย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button2.Click
    TextBox1.Clear()
    TextBox2.Clear()
    RadioButton1.Checked = False
    RadioButton2.Checked = False
    RadioButton3.Checked = False
    RadioButton4.Checked = False
    RadioButton5.Checked = False
    RadioButton6.Checked = False
    RadioButton7.Checked = False
    RadioButton8.Checked = False
    Label9.Text = ""
    Label10.Text = ""
End Sub

End Class

Label9.Text = i
Label10.Text = Convert.ToDouble(two).ToString("#,###.##")
End Sub

```

ภาษา Visual Basic ของฟังก์ชันคำนวณผลกระทบจากการลดการใช้งานพัดลมหอทำความเย็น

```

Function dw(m, p1, p2)
    Dim hg1, hg2, nt As Double
    If p1 >= 5 And p1 < 7.5 Then hg1 = m * (2560.7 + (2574 - 2560.7) * (p1 - 5) / 2.5) / 1000
    If p1 >= 7.5 And p1 < 10 Then hg1 = m * (2574 + (2583.9 - 2574) * (p1 - 7.5) / 2.5) / 1000
    Else: Return
    hg2 = m * (2574 + (2583.9 - 2574) * (p2 - 7.5) / 2.5) / 1000
    nt = 0.6
    dw = (hg2 - hg1) * nt
End Function

```