

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงไฟฟ้า พลังความร้อนร่วมน้ำพอง

นายบรรคชัย ศิริรัชตพงษ์

นักศึกษานิพนธ์โท
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่อง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ดร.บุญสร้าง ตีเรกสถาพร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ดร.สมนึก วีระกุลพิศุทธิ์

รองศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมน้ำพอง ประกอบด้วยแบบจำลองย่อยของเครื่องกังหันแก๊ส เครื่องกำเนิดไอน้ำ ความร้อนร่วม กังหันไอน้ำ เครื่องควบแน่น และหอผึ่งลม ได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อประเมินสมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่สภาวะต่างๆ และได้รับการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการทำงานจริงพบว่า มีความแม่นยำสูง

จากการศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อสมรรถนะของโรงไฟฟ้าโดยประเมินสมรรถนะการทำงานของโรงไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ ด้วยแบบจำลองที่สร้างขึ้นพบว่า อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊ส มีผลอย่างมากต่อพลังงานไฟฟ้าและอัตราการใช้ความร้อนของโรงไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊สลดลง 28°C ทำให้พลังงาน ไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 6.8% และอัตราการใช้ความร้อนของโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

1.41% สำหรับอัตราการไหลน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศมีผลน้อยต่อสมรรถนะของโรงไฟฟ้า

A Mathematical Model of Nam Phong Combined Cycle Power Plant

Mr. Khanchai Siriruchatapong

Graduate Student

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering Khon Kaen University

Dr. Boonsrang Direcksataporn

Assistant Professor

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering Khon Kaen University

Dr. Somnuk Theerakulpisut

Associate Professor

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering Khon Kaen University

Abstract

A mathematical model of Nam Phong combined cycle power plant consists of mathematical equations that represent the performance characteristics of gas turbines, heat recovery steam generators, steam turbines, condensers and cooling towers. These mathematical equations had been developed to system simulation of Nam Phong combined cycle power plant and the system simulation was carried out to determine the system performance

under various operating conditions. Simulation results are compared with actual operating data of power plant and the comparison shows good agreement.

This study revealed that the performance of the combined cycle power plant is influenced mainly by the compressor inlet air temperature. A reduction of 28°C in compressor inlet air temperature can result in a 6.8% increase in power output and 1.41% increase in heat rate. The performance of the combined cycle power plant was found to be essentially independent of the cooling water flow rate and the ambient wet-bulb temperature.

บทนำ

สมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมขึ้นกับตัวแปรหลายตัว เช่น อัตราการใช้เชื้อเพลิง อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศ เป็นต้น การศึกษาว่าตัวแปรใดมีผลต่อสมรรถนะของโรงไฟฟ้า จะเป็นแนวทางปรับปรุงสมรรถนะของโรงไฟฟ้าให้ดีขึ้น โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมน้ำพอง มีกำลังผลิตชุดละ 364050 กิโลวัตต์ แต่ละชุดประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊ส 2 เครื่อง กำลังผลิตเครื่องละ 121080 กิโลวัตต์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำ 1 เครื่อง กำลังผลิต 121890 กิโลวัตต์

รูปที่ 1 แสดงแผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมน้ำพอง กรณีใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมน้ำพอง ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ดังนี้

- 1) กังหันแก๊ส (gas turbine)
- 2) เครื่องกำเนิดไอน้ำความร้อนร่วม (Heat recovery steam generator, HRSG)
- 3) กังหันไอน้ำ (steam turbine)
- 4) เครื่องควบแน่น (condenser)
- 5) หอผึ่งลม (cooling tower)

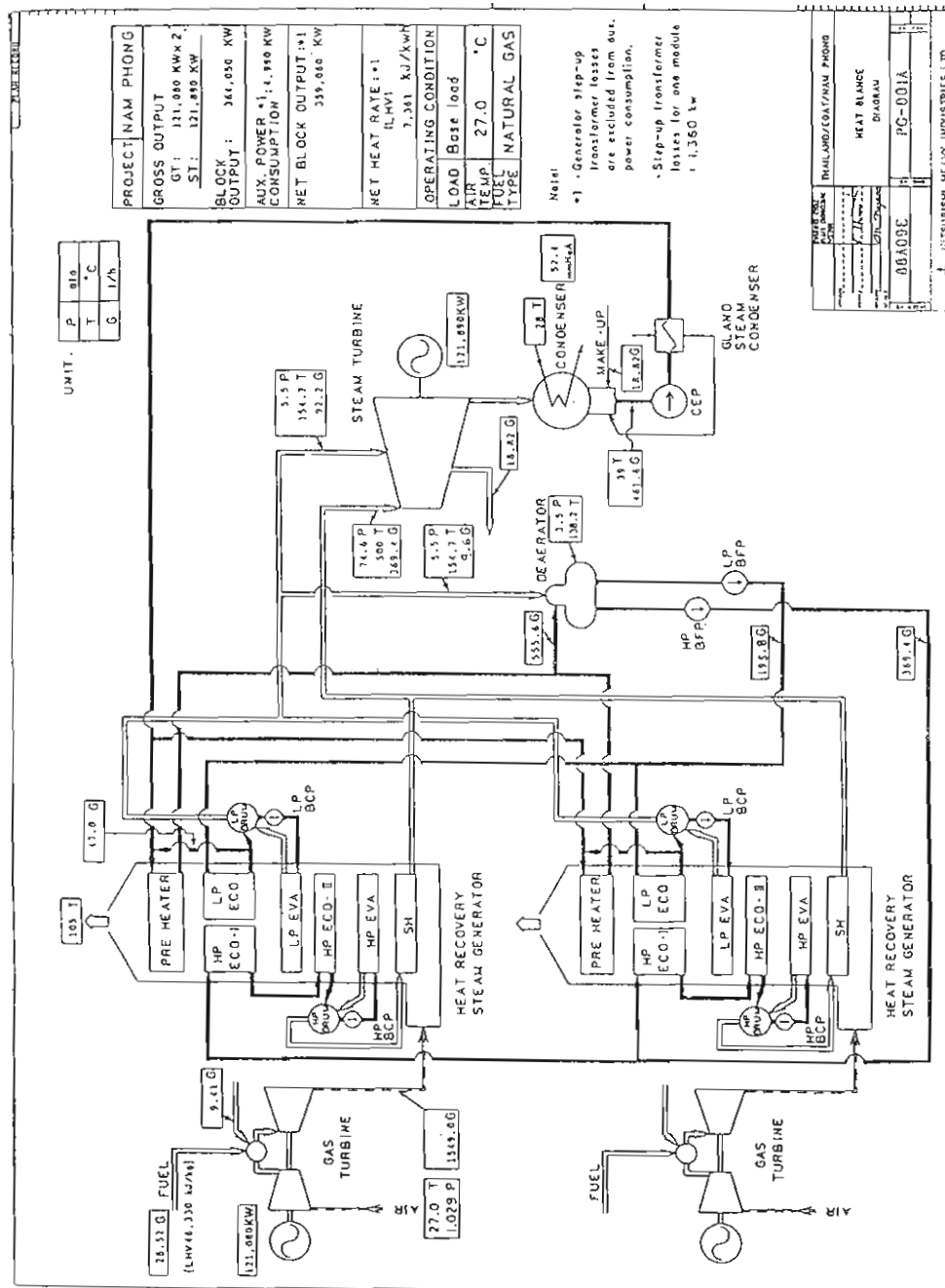
วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

วัตถุประสงค์

- 1) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมน้ำพองและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการทำงานจริง
- 2) ประเมินสมรรถนะการทำงานของโรงไฟฟ้า โดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาที่สภาวะต่างๆ เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่ออัตราการใช้ความร้อนและพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า

ขอบเขต

- 1) สร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ของโรงไฟฟ้า โดยแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ
ระบบที่ 1 ประกอบด้วยกังหันแก๊ส เครื่องกำเนิดไอน้ำความร้อนร่วม และกังหันไอน้ำ
ระบบที่ 2 ประกอบด้วยกังหันไอน้ำ เครื่องควบแน่น และหอผึ่งลม
- 2) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองย่อยของกังหันแก๊ส เครื่องกำเนิดไอน้ำความร้อนร่วม กังหันไอน้ำ เครื่องควบแน่น และหอผึ่งลม
- 3) ใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นประเมินสมรรถนะการทำงานของโรงไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ เฉพาะกรณีใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 1 แผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมน้ำฟอง

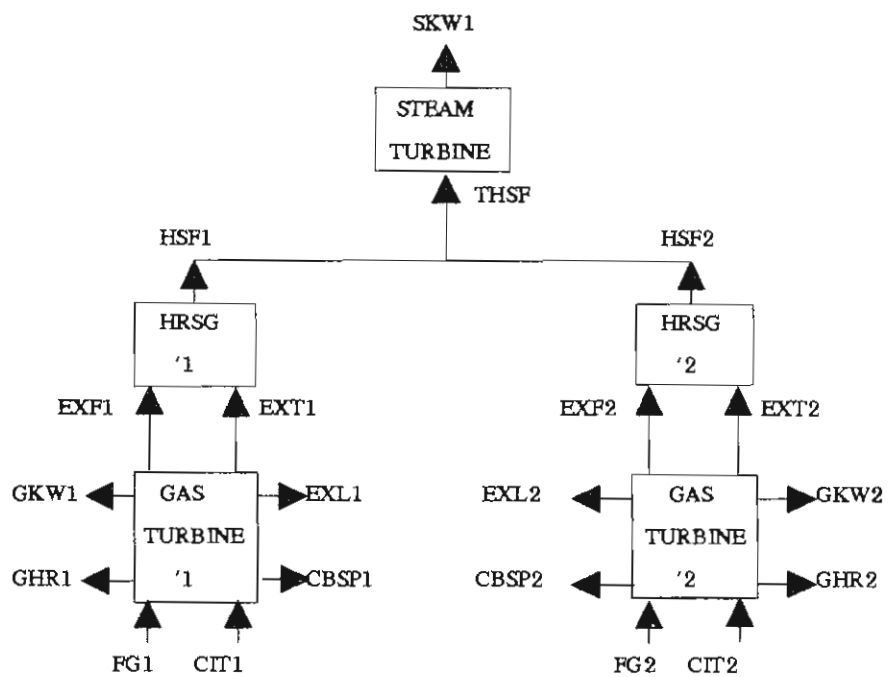
สัญลักษณ์

- CIT1 : อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊สเครื่องที่ 1, °C
 FG1 : อัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊สของกังหันแก๊สเครื่องที่ 1, kNm^3/h
 GKW1 : พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊สเครื่องที่ 1, MW
 GHR1 : อัตราการใช้ความร้อนของกังหันแก๊สเครื่องที่ 1, kJ/kWh
 CBSP1 : ความดันอากาศที่ทางออกเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊สเครื่องที่ 1, kPa
 EXL1 : อุณหภูมิไอเสียสูงสุดกรณีกังหันแก๊สเครื่องที่ 1 เดินเครื่องแบบภาระฐาน, °C
 EXT1 : อุณหภูมิไอเสียของกังหันแก๊สเครื่องที่ 1, °C
 EXF1 : อัตราการไหลของไอเสียของกังหันแก๊สเครื่องที่ 1, kg/s
 HSF1 : อัตราการไหลของไอน้ำความดันสูงของเครื่องกำเนิดไอน้ำความร้อนร่วมเครื่องที่ 1, kg/s
 CIT2 : อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊สเครื่องที่ 2, °C
 FG2 : อัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊สของกังหันแก๊สเครื่องที่ 2, kNm^3/h
 GKW2 : พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊สเครื่องที่ 2, MW
 GHR2 : อัตราการใช้ความร้อนของกังหันแก๊สเครื่องที่ 2, kJ/kWh
 CBSP2 : ความดันอากาศที่ทางออกเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊สเครื่องที่ 2, kPa
 EXL2 : อุณหภูมิไอเสียสูงสุดกรณีกังหันแก๊สเครื่องที่ 2 เดินเครื่องแบบภาระฐาน, °C
 EXT2 : อุณหภูมิไอเสียของกังหันแก๊สเครื่องที่ 2, °C
 EXF2 : อัตราการไหลของไอเสียของกังหันแก๊สเครื่องที่ 2, kg/s
 HSF2 : อัตราการไหลของไอน้ำความดันสูงของเครื่องกำเนิดไอน้ำความร้อนร่วมเครื่องที่ 2, kg/s
 THSF : ผลรวมของอัตราการไหลของไอน้ำความดันสูง, kg/s
 SKW1 : พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (ระบบที่ 1), MW
 SKW2 : พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (ระบบที่ 2), MW
 PKW : พลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า, MW
 CP : ความดันเครื่องควบแน่น, kPa (vacuum)
 SHR : อัตราการใช้ความร้อนของกังหันไอน้ำ, kJ/kWh
 PHR : อัตราการใช้ความร้อนของโรงไฟฟ้า, kJ/kWh
 HL : ภาระความร้อนของเครื่องควบแน่น, GJ/h

WFR : อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น, m^3/h
 WBT : อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ, $^{\circ}\text{C}$
 CWT : อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ออกจากหอผึ่งลม, $^{\circ}\text{C}$
 CR : คูลิ่งเรนจ, $^{\circ}\text{C}$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

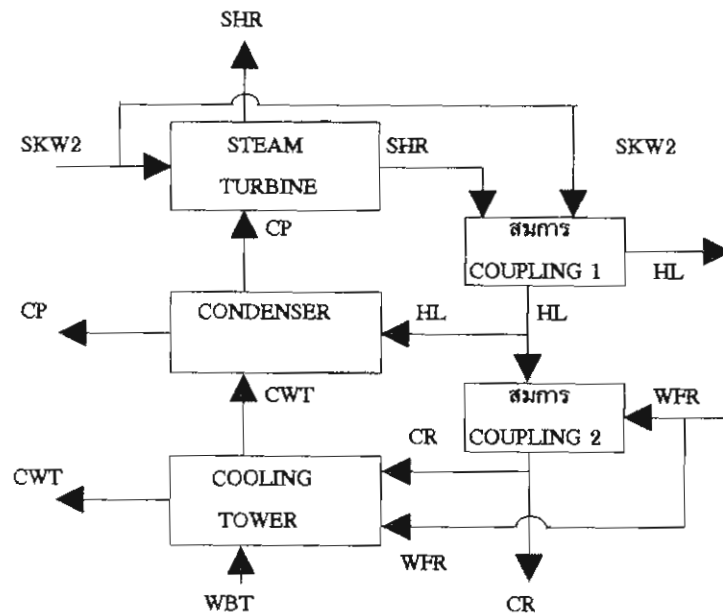
โครงสร้างแผนภูมิ



ตัวแปรอิสระ : FG1,CIT1,FG2,CIT2

ตัวแปรตาม : GKW1,GHR1,CBSP1,EXL1,EXT1,EXF1,HSF1,GKW2,GHR2,
 CBSP2,EXL2,EXT2,EXF2,HSF2,THSF,SKW1

รูปที่ 2 โครงสร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ของระบบที่ 1



ตัวแปรอิสระ : WBT, WFR, SKW2

ตัวแปรตาม : SHR, CP, HL, CWT, CR

รูปที่ 3 โครงสร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ของระบบที่ 2

การประเมินสมรรถนะการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมน้ำพอง แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบที่ 1 และระบบที่ 2 รูปที่ 2 จะแสดงโครงสร้างแผนภูมิของระบบที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยกังหันแก๊ส เครื่องกำเนิดไอน้ำ ความร้อนร่วม และกังหันไอน้ำ ส่วนรูปที่ 3 จะแสดงโครงสร้างแผนภูมิของระบบที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยกังหันไอน้ำ เครื่องควบแน่น และหอผึ่งลม

สมมุติฐานของการสร้างแบบจำลอง

- 1) วัฏจักรการทำงานของโรงไฟฟ้าเป็นวัฏจักรอุดมคติ
- 2) กังหันแก๊สและกังหันไอน้ำทำงานที่สภาวะคงตัว หมุนด้วยความเร็วรอบ 3000 rpm คงที่
- 3) ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยมีค่าความร้อนค่าต่ำ (LHV) 46345.903 kJ/kg คงที่
- 4) Inlet Guide Vane ของกังหันแก๊สเปิดสุด
- 5) ไม่นำระบบฉีดน้ำ (water injection) และระบบฉีดไอน้ำ (steam injection) ของกังหันแก๊สเข้าใช้งาน

ฟังก์ชันความสัมพันธ์

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของอุปกรณ์โรงไฟฟ้า ได้ฟังก์ชันความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\begin{array}{ll}
 \text{ระบบที่ 1 ประกอบด้วย} & \text{GKW1} = f(\text{FG1, CTT1}) \\
 & \text{GHR1} = f(\text{FG1, GKW1}) \\
 & \text{EXT1} = f(\text{FG1, CTT1}) \\
 & \text{CBSP1} = f(\text{CTT1}) \\
 & \text{EXL1} = f(\text{CBSP1}) \\
 & \text{EXF1} = f(\text{FG1, CTT1}) \\
 & \text{HSF1} = f(\text{EXT1, EXF1}) \\
 & \text{GKW2} = f(\text{FG2, CTT2}) \\
 & \text{GHR2} = f(\text{FG2, GKW2}) \\
 & \text{EXT2} = f(\text{FG2, CTT2}) \\
 & \text{CBSP2} = f(\text{CTT2}) \\
 & \text{EXL2} = f(\text{CBSP2}) \\
 & \text{EXF2} = f(\text{FG2, CTT2}) \\
 & \text{HSF2} = f(\text{EXT2, EXF2}) \\
 & \text{THSF} = f(\text{HSF1, HSF2}) \\
 & \text{SKW1} = f(\text{THSF})
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระบบที่ 2 ประกอบด้วย} \quad \text{SHR} &= f(\text{SKW2}, \text{CP}) \\
 \text{CP} &= f(\text{CWT}, \text{HL}) \\
 \text{CWT} &= f(\text{CR}, \text{WFR}, \text{WBT}) \\
 \text{HL} &= f(\text{SHR}, \text{SKW2}) \\
 \text{CR} &= f(\text{HL}, \text{WFR})
 \end{aligned}$$

รูปแบบสมการ

สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามของฟังก์ชันทั้งหมด 21 ฟังก์ชัน ได้มาจากการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อเลือกรูปแบบสมการที่เหมาะสม แล้วจึงหาค่าคงที่ต่างๆ ของสมการ ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง และข้อมูลทางเทคนิคที่จัดทำโดยบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์

รายละเอียดของสมการ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามของแต่ละฟังก์ชันความสัมพันธ์ มีดังนี้

$$1) \text{GKW1} = f(\text{FG1}, \text{CIT1})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{GKW1} = 4.163(\text{FG1}) - 0.251(\text{CIT1}) - 29.084$$

$$2) \text{GHR1} = f(\text{FG1}, \text{GKW1})$$

จากค่านิยามของอัตราการใช้ความร้อน สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{GHR1} = 34295.968(\text{FG1}) / (\text{GKW1})$$

$$3) \text{EXT1} = f(\text{FG1}, \text{CIT1})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{EXT1} = 11.687(\text{FG1}) + 2.418(\text{CIT1}) + 42.784$$

$$4) \text{ CBSP1} = f(\text{CIT1})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{CBSP1} = 1399.053 - 7.036(\text{CIT1})$$

$$5) \text{ EXL1} = f(\text{CBSP1})$$

โดยใช้ข้อมูลทางเทคนิคของบริษัทผู้ผลิตกังหันแก๊ส สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{EXL1} = 736.769 - 0.173(\text{CBSP1})$$

$$6) \text{ EXF1} = f(\text{FG1}, \text{CIT1})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{EXF1} = 0.206(\text{FG1}) - 1.915(\text{CIT1}) + 506.823$$

$$7) \text{ HSF1} = f(\text{EXT1}, \text{EXF1})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{HSF1} = 0.152(\text{EXT1}) + 0.001(\text{EXF1}) - 31.644$$

$$8) \text{ GKW2} = f(\text{FG2}, \text{CIT2})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{GKW2} = 4.157(\text{FG2}) - 0.187(\text{CIT2}) - 29.458$$

$$9) \text{ GHR2} = f(\text{FG2}, \text{GKW2})$$

จากค่านิยามของอัตราการใช้ความร้อน สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{GHR2} = 34295.968(\text{FG2}) / (\text{GKW2})$$

$$10) \text{ EXT2} = f(\text{FG2}, \text{CIT2})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{EXT2} = 11.685(\text{FG2}) + 2.418(\text{CIT2}) + 44.298$$

$$11) \text{CBSP2} = f(\text{CIT2})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{CBSP2} = 1397.862 - 6.809(\text{CIT2})$$

$$12) \text{EXL2} = f(\text{CBSP2})$$

โดยใช้ข้อมูลทางเทคนิคของบริษัทผู้ผลิต สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{EXL2} = 736.769 - 0.173(\text{CBSP2})$$

$$13) \text{EXF2} = f(\text{FG2}, \text{CIT2})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{EXF2} = 0.206(\text{FG2}) - 1.915(\text{CIT2}) + 506.823$$

$$14) \text{HSF2} = f(\text{EXT2}, \text{EXF2})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{HSF2} = 0.154(\text{EXT2}) + 0.002(\text{EXF2}) - 32.342$$

$$15) \text{THSF} = f(\text{HSF1}, \text{HSF2})$$

สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{THSF} = (\text{HSF1}) + (\text{HSF2})$$

$$16) \text{SKW1} = f(\text{THSF})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\text{SKW1} = 1.297(\text{THSF}) - 5.658$$

$$17) \text{SHR} = f(\text{SKW2}, \text{CP})$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$\begin{aligned} \text{SHR} = & -691289.4 + 14517.4(\text{SKW2}) - 63.258(\text{SKW2})^2 + 16614.68(\text{CP}) \\ & - 96.407(\text{CP})^2 - 333.868(\text{CP})(\text{SKW2}) + 1.442(\text{SKW2})^2(\text{CP}) \\ & + 1.896(\text{SKW2})(\text{CP})^2 - 0.008133(\text{SKW2})^2(\text{CP})^2 \end{aligned}$$

$$18) CP = f(CWT, HL)$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$CP = 105.916 - 0.418(CWT) - 0.002(HL)$$

$$19) CWT = f(CR, WFR, WBT)$$

โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะการทำงานจริง สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$CWT = 0.878(WBT) + 0.491(CR) + 0.0002(WFR) - 2.205$$

$$20) HL = f(SHR, SKW2)$$

โดยใช้ข้อมูลทางเทคนิคของบริษัทผู้ผลิตกังหันไอน้ำสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$HL = 0.001\{(SHR - 3600)(SKW2)\} - 8.388$$

$$21) CR = f(HL, WFR)$$

ภาวะความร้อนที่น้ำหล่อเย็นรับมาจากเครื่องควบแน่น ถูกระบายออกทั้งหมดที่หอผึ่งลม ดังนั้น สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ คือ

$$CR = 238.835(HL) / (WFR)$$

การประเมินสมรรถนะ

เงื่อนไขและข้อจำกัด

1) โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมน้ำพอง สามารถเดินเครื่องได้ 3 ลักษณะ คือ

- ก. Simple Cycle Operation
- ข. Combined Cycle Half Block Operation
- ค. Combined Cycle Full Block Operation

ประเมินสมรรถนะของโรงไฟฟ้าเฉพาะกรณี Combined Cycle Full Block Operation

2) ปั๊มน้ำหล่อเย็นมี 3 เครื่อง

- ก. กรณีโรงไฟฟ้าเดินเครื่องแบบ Combined Cycle Half Block ปั๊มทำงาน 1 เครื่อง
- ข. กรณีโรงไฟฟ้าเดินเครื่องแบบ Combined Cycle Full Block ปั๊มทำงาน 2 เครื่อง

ค่า WFR เลือกจากตารางที่ 1

ตารางที่ 1

อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น (WFR)

ปั๊มน้ำหล่อเย็น (CWP)	อัตราการไหล (WFR)
ปั๊ม A	19826.88 m ³ /h
ปั๊ม B	19297.86 m ³ /h
ปั๊ม C	18879.82 m ³ /h
ปั๊ม (A+B)	30532.66 m ³ /h

3) เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่ออุปกรณ์ บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์จึงกำหนดขีดจำกัด ในการทำงานของอุปกรณ์ ดังนี้

$$7 \leq \text{GKW1} \leq 141.4$$

$$7 \leq \text{GKW2} \leq 141.4$$

$$18 \leq \text{SKW1} \leq 125.8$$

$$18 \leq \text{SKW2} \leq 125.8$$

$$\text{EXT1} \leq \text{EXL1}$$

$$\text{EXT2} \leq \text{EXL2}$$

$$\text{CP} > 73.15$$

$$| \text{EXT1} - \text{EXT2} | < 100 *$$

* กรณี Combined Cycle Full Block Operation

วิธีคำนวณ

ระบบที่ 1

การหาผลลัพธ์ของการประเมินสมรรถนะของระบบที่ 1 ใช้วิธีการคำนวณแบบเรียงลำดับ โดยกำหนดค่า FG1, CIT1, FG2, CIT2 แล้วแทนค่าในสมการทางคณิตศาสตร์คำนวณต่อเนื่องไปจนได้ผลลัพธ์ตัวสุดท้าย

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีดังนี้ GKW1, GHR1, EXT1, CBSP1, EXL1, EXF1, HSF1, GKW2, GHR2, EXT2, CBSP2, EXL2, EXF2, HSF2, THSF, SKW1

ระบบที่ 2

การหาผลลัพธ์ของการประเมินสมรรถนะของระบบที่ 2 ไม่สามารถใช้วิธีแบบเรียงลำดับได้เพราะต้องหาผลลัพธ์ทุกค่าออกมาพร้อมกัน ดังนั้นการหาผลลัพธ์จึงใช้วิธีการคำนวณแบบพร้อมกันโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ระบบที่ 2 มีตัวแปรอิสระ 3 ตัว คือ WBT, WFR, SKW2 และมีตัวแปรตาม 5 ตัว คือ SHR, CP, HL, CWT, CR

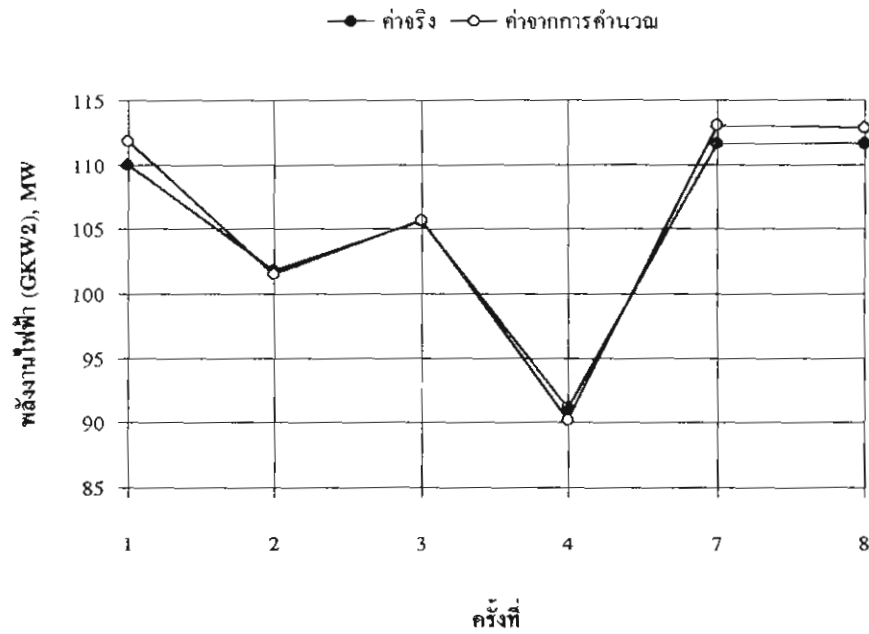
ขั้นตอนการหาผลลัพธ์ของระบบที่ 2 มีดังนี้

- 1) กำหนดค่า WBT, WFR, SKW2
- 2) นำค่า WBT, WFR, SKW2 แทนค่าลงในสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะได้สมการทางคณิตศาสตร์ชุดใหม่ 5 สมการ
- 3) คำนวณหาค่า SHR, CP, HL, CWT, CR โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

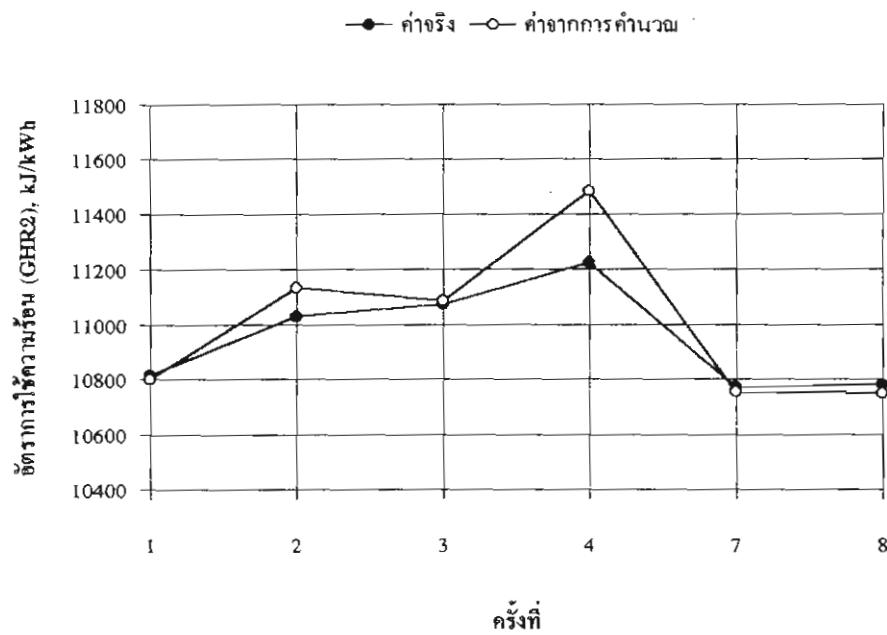
เพื่อให้การหาผลลัพธ์ของการประเมินสมรรถนะทำได้รวดเร็วขึ้น จึงใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ โปรแกรมเขียนด้วยภาษา QBASIC

ผลการประเมินสมรรถนะ

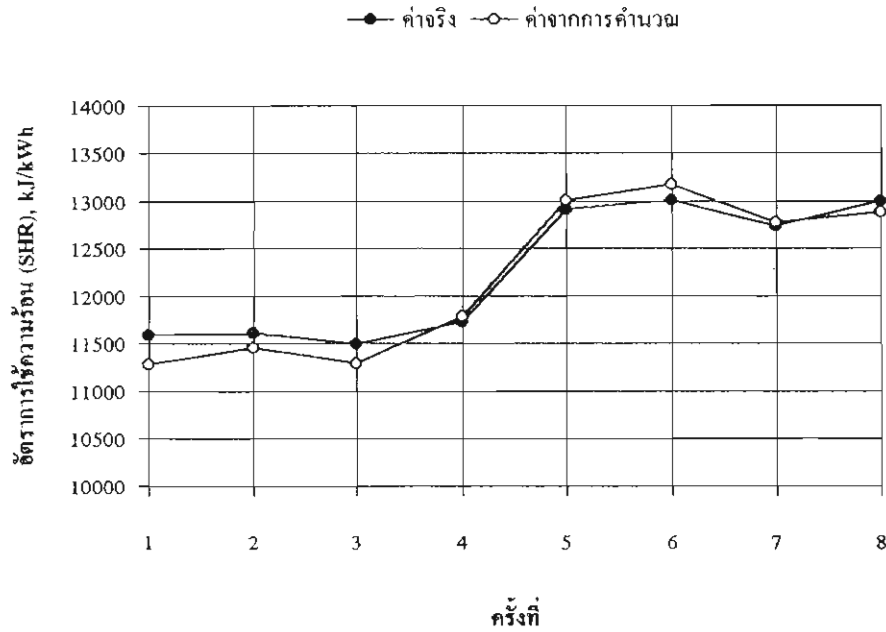
ความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกทดสอบก่อนนำไปใช้งาน โดยใช้แบบจำลองดังกล่าวคำนวณหาสมรรถนะของโรงไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ และนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการทำงานจริงของโรงไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4, 5 และ 6 ซึ่งจะเห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำสูง



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าจากการคำนวณของพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊ส



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าจากการคำนวณของอัตราการใช้ความร้อนของกังหันแก๊ส



ตัวแปรสำคัญต่อสมรรถนะของโรงไฟฟ้า

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง FG1 กับ GKW1 ที่ $CIT1 = 25^{\circ}\text{C}$, $FG1 = 21\text{--}35 \text{ kNm}^3/\text{h}$ และแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง FG2 กับ GKW2 ที่ $CIT2 = 25^{\circ}\text{C}$, $FG2 = 21\text{--}35 \text{ kNm}^3/\text{h}$ จากรูปที่ 7 พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อ FG1 เพิ่มขึ้น $1 \text{ kNm}^3/\text{h}$ ทำให้ GKW1 เพิ่มขึ้น 4.16 MW และ FG2 เพิ่มขึ้น $1 \text{ kNm}^3/\text{h}$ ทำให้ GKW2 เพิ่มขึ้น 4.16 MW

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง GKW1 กับ GHR1 ที่ $CIT1 = 25^{\circ}\text{C}$, $GKW1 = 54.6\text{--}112.9 \text{ MW}$ และแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง GKW2 กับ GHR2 ที่ $CIT2 = 25^{\circ}\text{C}$, $GKW2 = 55.0\text{--}113.2 \text{ MW}$ จากรูปที่ 8 พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง เมื่อ GKW1 เพิ่มขึ้น ทำให้ GHR1 ลดลงและ GKW2 เพิ่มขึ้นทำให้ GHR2 ลดลง

รูปที่ 9 และ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CIT กับ GKW1, GKW2, SKW1 และ PKW กรณีโรงไฟฟ้าเดินเครื่องแบบ Combined Cycle Full Block และกังหันแก๊สเดินเครื่อง

แบบภาระฐาน ที่ $CIT = 5-33\text{ }^{\circ}\text{C}$, $WFR = 30532.66\text{ m}^3/\text{h}$, $RH = 70\%$ จากรูปที่ 9, 10 พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อ CIT ลดลง $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ (จาก $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็น $5\text{ }^{\circ}\text{C}$) ทำให้

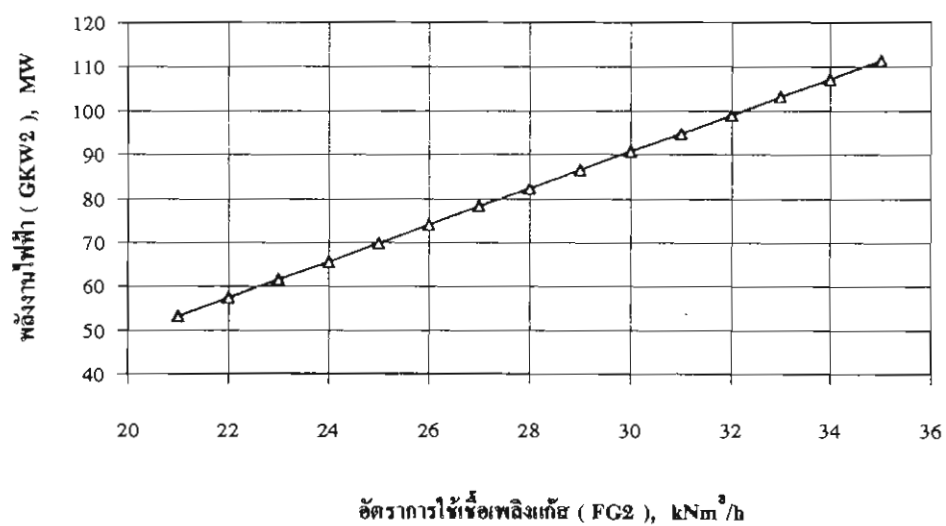
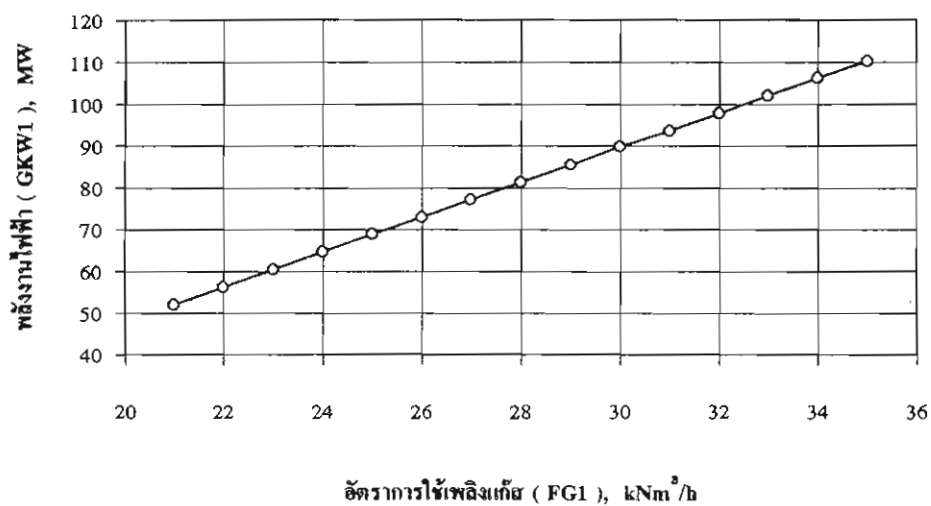
- 1) GKW1 เพิ่มขึ้น 19.0 MW หรือเพิ่มขึ้น 17.33%
- 2) GKW2 เพิ่มขึ้น 17.6 MW หรือเพิ่มขึ้น 15.96%
- 3) SKW1 ลดลง 13.1 MW หรือลดลง 10.47%
- 4) PKW เพิ่มขึ้น 23.5 MW หรือเพิ่มขึ้น 6.80%

รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CIT กับ GHR1, GHR2 และ PHR กรณีโรงไฟฟ้าเดินเครื่องแบบ Combined Cycle Full Block และกังหันแก๊สเดินเครื่องแบบภาระฐาน ที่ $CIT = 5-33\text{ }^{\circ}\text{C}$, $WFR = 30532.66\text{ m}^3/\text{h}$, $RH = 70\%$ จากรูปที่ 11 พบว่าเมื่อ CIT ลดลง $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ (จาก $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็น $5\text{ }^{\circ}\text{C}$) ทำให้

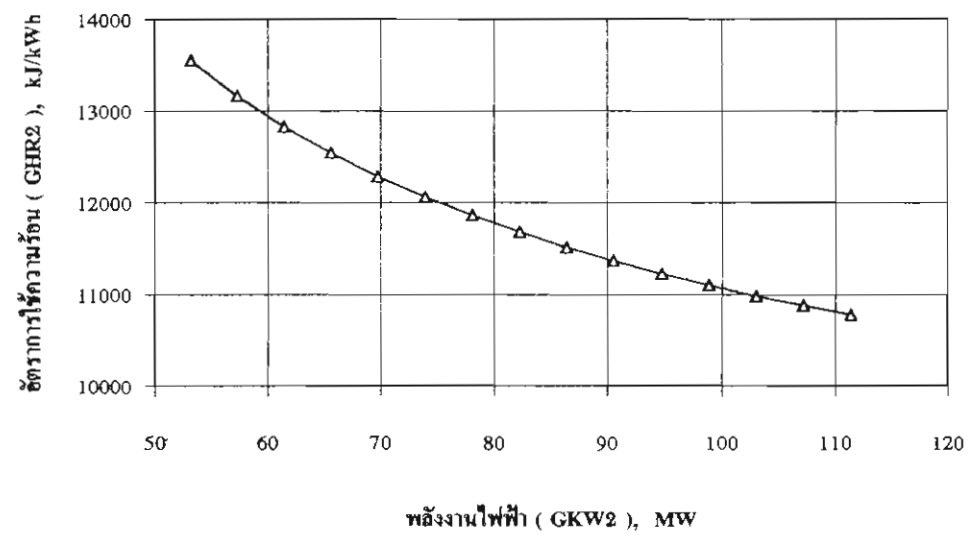
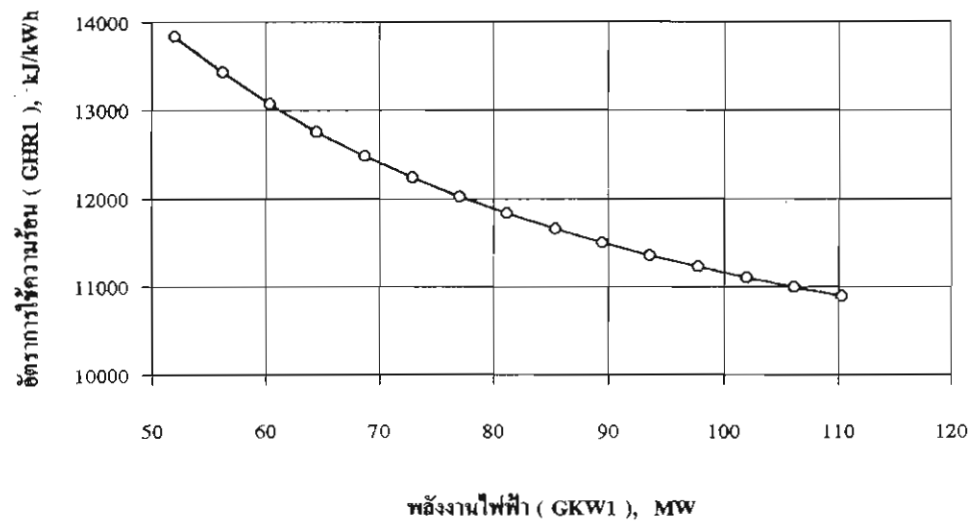
- 1) GHR1 ลดลง 865.9 kJ/kWh หรือลดลง 7.84%
- 2) GHR2 ลดลง 705.8 kJ/kWh หรือลดลง 6.46%
- 3) PHR เพิ่มขึ้น 98.4 kJ/kWh หรือเพิ่มขึ้น 1.41%

รูปที่ 12a แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง WBT กับ SHR กรณี SKW2 = 120 MW, $DBT = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$, $WFR = 30532.66\text{ m}^3/\text{h}$, $WBT = 11.51-21.00\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากรูปที่ 12a พบว่าเมื่อ WBT เพิ่มขึ้น (ความชื้นของอากาศเพิ่มขึ้น) ทำให้ SHR เพิ่มขึ้นและเมื่อ WBT เพิ่มขึ้น $9.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทำให้ SHR เพิ่มขึ้น 0.74%

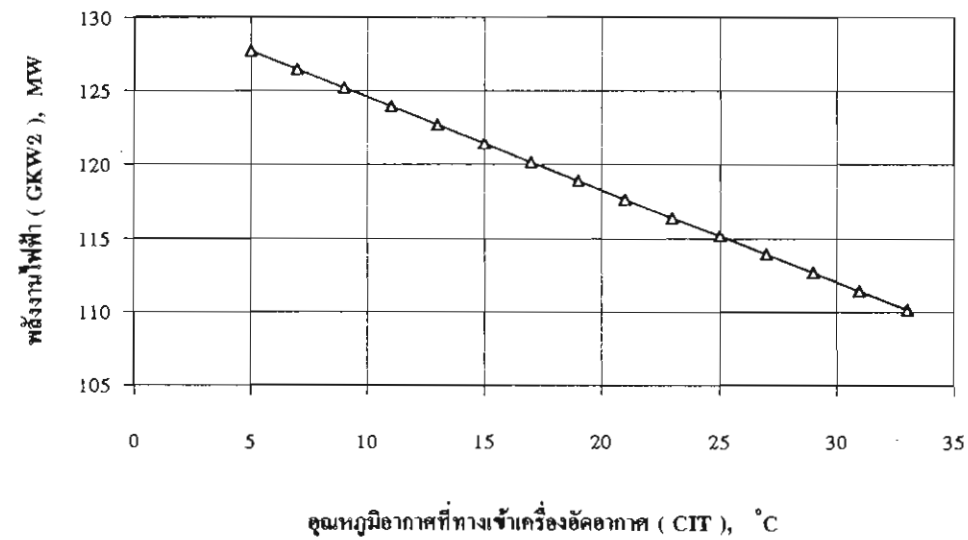
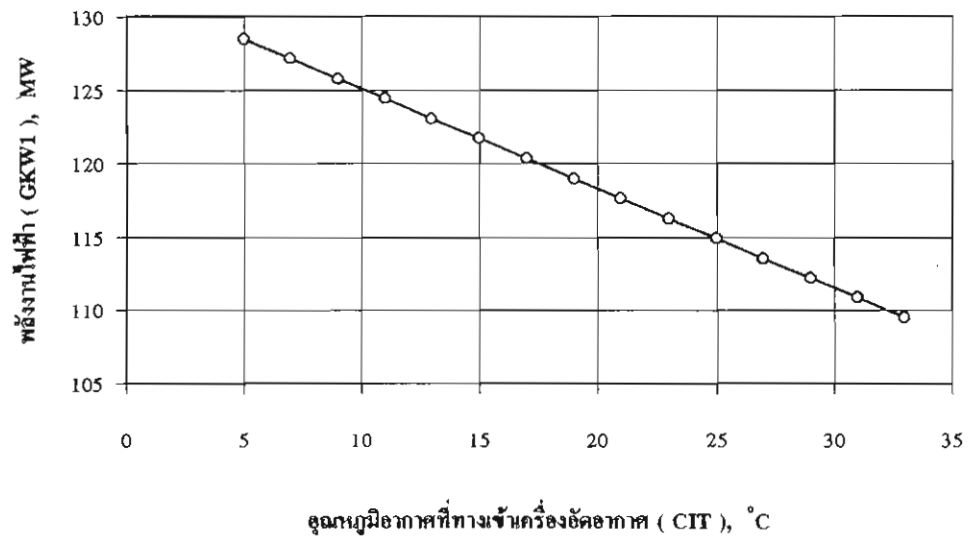
รูปที่ 12b แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง WFR กับ SHR กรณี SKW2 = 120 MW, $WBT = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$, $WFR = 17000-31000\text{ m}^3/\text{h}$ จากรูปที่ 12b พบว่าเมื่อ WFR เพิ่มขึ้น ทำให้ SHR ลดลง เมื่อ WFR เพิ่มขึ้น $14000\text{ m}^3/\text{h}$ ทำให้ SHR ลดลง 0.01%



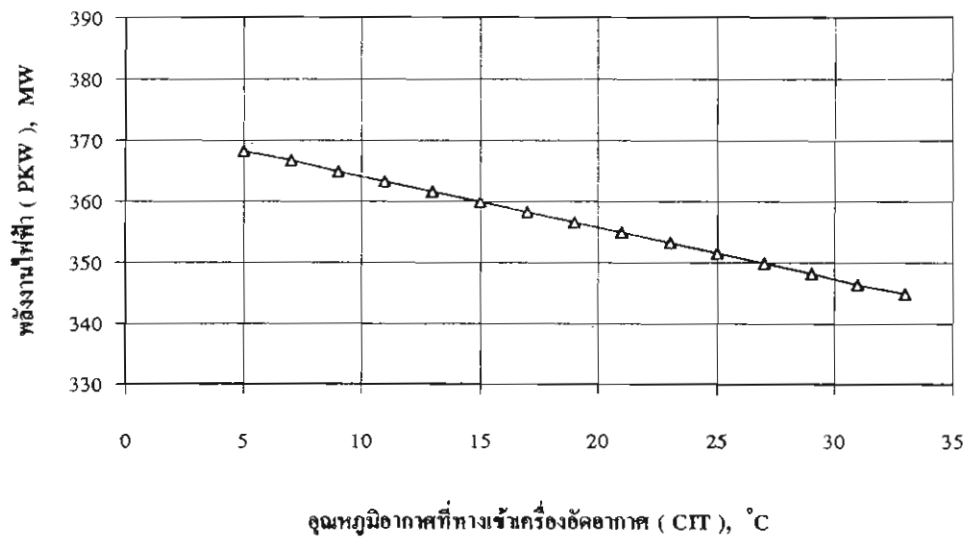
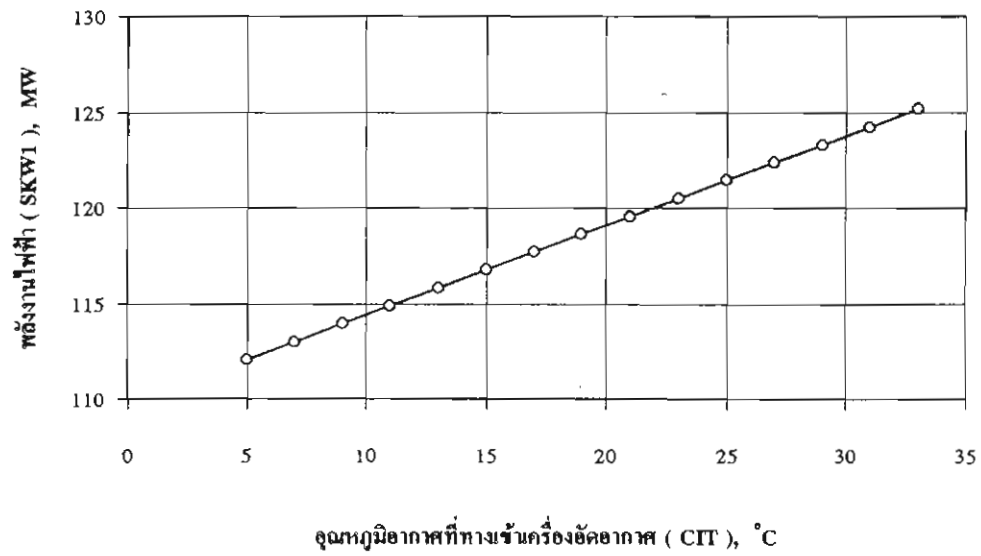
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊สของกังหันแก๊สกับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊ส ที่อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊ส = 25°C



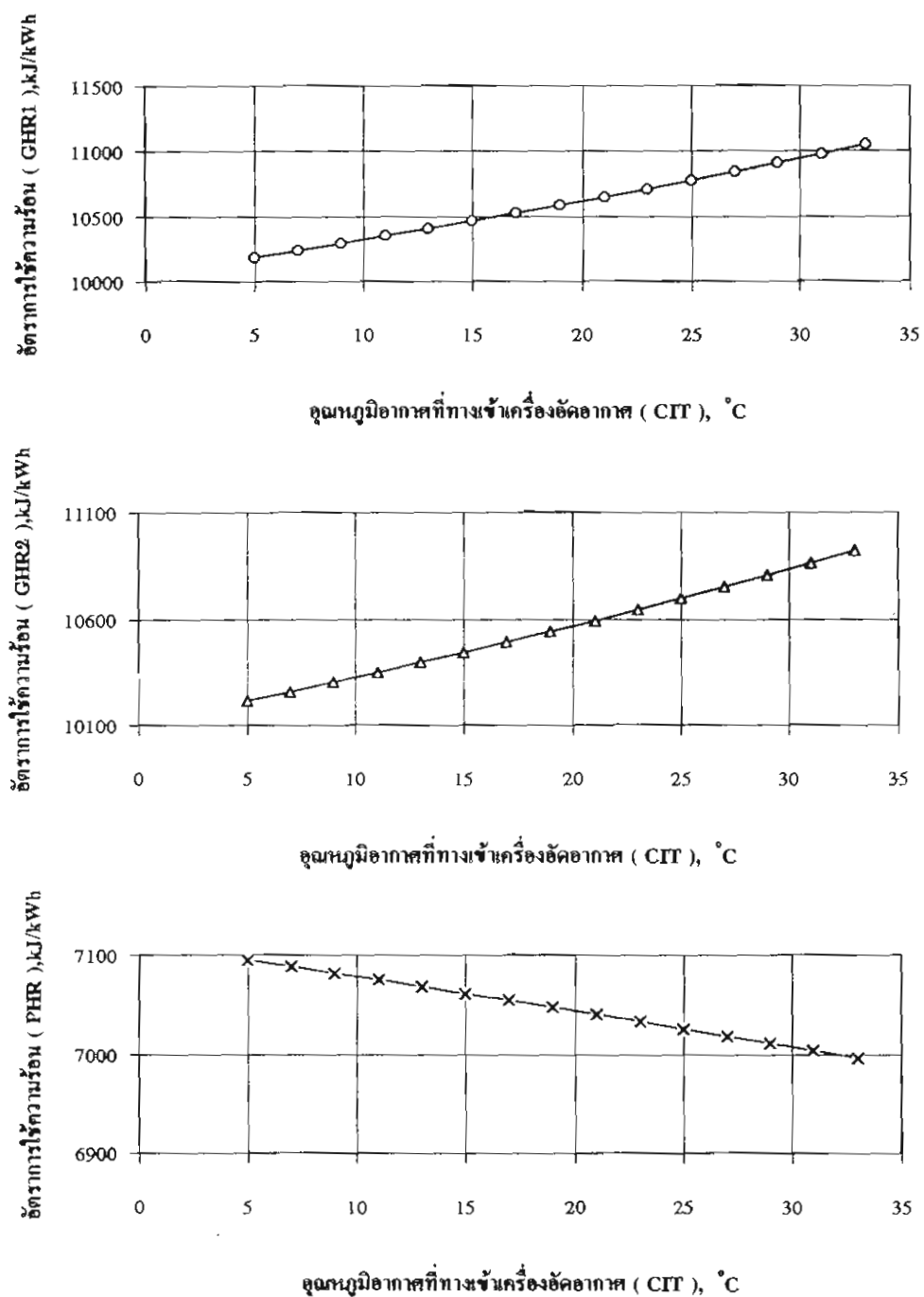
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊สกับอัตราการใช้ความร้อนของกังหันแก๊ส ที่อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊ส = 25 °C .



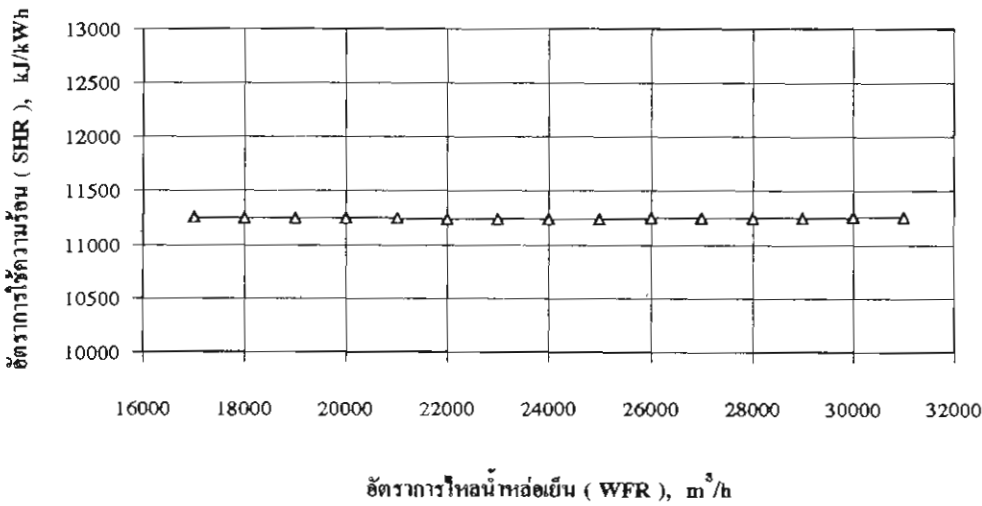
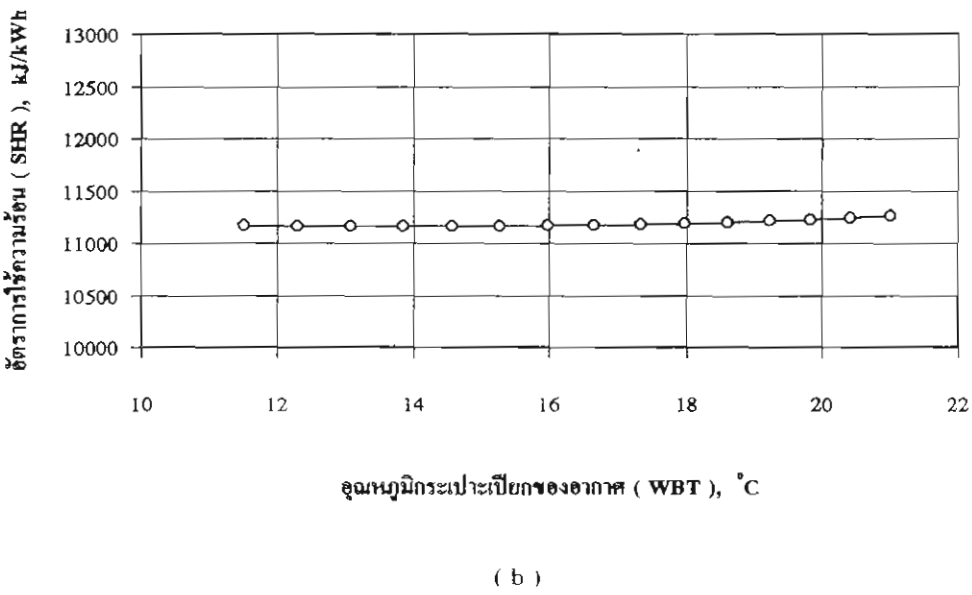
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊สกับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊ส กรณี Combined Cycle Full Block, เดินเครื่องแบบภาระฐาน, WFR = 30532.66 m³/h, RH = 70%



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊สกับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำ และพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า กรณี Combined Cycle Full Block, เดินเครื่องแบบภาระฐาน, WFR = 30532.66 m³/h, RH = 70%



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊สกับอัตราการใช้ความร้อน กรณี Combined Cycle Full Block, เติ้นเครื่องแบบภาระฐาน, WFR = 30532.66 m³/h, RH = 70%



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ความร้อนของกังหันไอน้ำ กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ และอัตราการไหลน้ำหล่อเย็น

สรุป

จากการศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อสมรรถนะของโรงไฟฟ้านั้นพบว่า อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊สมีผลอย่างมากต่อพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊สและอัตราการใช้ความร้อนของกังหันแก๊ส

ส่วนอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศมีผลน้อยต่ออัตราการใช้ความร้อนของกังหันไอน้ำ มีเหตุผล 3 ประการ ที่ทำให้อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศของกังหันแก๊สมีผลต่อพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊สและอัตราการใช้ความร้อนของกังหันแก๊ส

- 1) เนื่องจากกังหันแก๊สหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ (3000 rpm) เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของอากาศลดลง ดังนั้นอัตราการไหลของมวลอากาศที่ทางเข้าเครื่องอัดอากาศจึงลดลง
- 2) พลังงานที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ขณะที่พลังงานจากกังหันไม่เพิ่มขึ้น ดังนั้นพลังงานสุทธิจากกังหันแก๊สจึงลดลง
- 3) อัตราส่วนความดันคร่อมเครื่องอัดอากาศลดลง เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นทำให้อัตราส่วนความดันคร่อมกังหันลดลง ดังนั้นพลังงานที่ได้จากกังหันจึงลดลง

สำหรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นเมื่อเพิ่มขึ้นมีผลทำให้อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นต่ำลงและส่งผลให้ความดันเครื่องควบแน่นลดลง ดังนั้นอัตราการใช้ความร้อนของกังหันไอน้ำจึงลดลง ส่วนอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเมื่อสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นสูงขึ้นเพราะการระบายความร้อนที่ห่อหุ้มลดลง เนื่องจากอากาศมีความชื้นสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นสูงขึ้นทำให้ความดันเครื่องควบแน่นสูงขึ้น ดังนั้นอัตราการใช้ความร้อนของกังหันไอน้ำจึงสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Kehlhofer, Rolf. ***Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plant***. Lilburn: The Fairmont Press, 1991.
2. Li, Kam W., and Paul Priddy, A. ***Power Plant System Design***. New York: John Wiley & Sons, 1985.
3. Mitsubishi Heavy Industries. ***Nam Phong Combined Cycle Plant Performance Test Procedure of Combined Cycle Module***. Japan: n.p, 1992.
4. Stoecker, W.F. ***Design of Thermal Systems***. 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill, 1989.