รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การประมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู ที่ใช้ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ

Estimation of Power Consumption of Screw Gas Compressor Used in Natural Gas Power Plant

นายเดโชชัย สายต่างใจ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การประมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู ที่ใช้ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ

Estimation of Power Consumption of Screw Gas Compressor Used in Natural Gas Power Plant

นายเดโชชัย สายต่างใจ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การประมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ใช้ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ
ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายเดโชชัย สายต่างใจ
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.ปิยะนาถ สมมณี
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายนพคุณ ตั้งพานิชวงศ์
ชื่อสถานประกอบการ บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ซึ่งประกอบธุรกิจการให้บริการด้านการออกแบบทางวิศวกรรม การจัดหาเครื่องจักรและอุปกรณ์ และการก่อสร้างโรงงานแบบครบวงจร ต้องการแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่มีความแม่นยำสำหรับใช้งานภายในบริษัท การประมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติจะเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าซึ่งมีผลต่อราคาก่อสร้างโครงการ โครงงานนี้สร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2007 และใช้ข้อมูลจากโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ 3 แห่ง การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าทำโดยเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบคำนวณกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริงที่ภาวะปฏิบัติการเดียวกันจำนวน 17 ภาวะปฏิบัติการ และพบว่า 15 ภาวะปฏิบัติการ แสดงความคลาดเคลื่อน ±5% และ 2 ภาวะปฏิบัติการ แสดงความคลาดเคลื่อน +10% อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อน ±5% และ +10% เป็นค่าที่บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ยอมรับได้ เพราะ ±5% เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าของบริษัทผู้จำหน่ายอุปกรณ์ ส่วน +10% อาจเป็นผลมาจากการใช้งานเครื่องอัดแก๊สในภาวะปฏิบัติการซึ่งแตกต่างจากภาวะที่ออกแบบ

คำสำคัญ: โรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ เครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู แบบคำนวณกำลังไฟฟ้า Microsoft Excel 2007

Co-operative Title: Estimation of Power Consumption of Screw Gas Compressor Used in Natural Gas Power Plant

Student Intern Name: Mr.Dachochai Saytangjai

Faculty: Engineering **Department:** Electrical Engineering

Advisor Name: Assistant.Prof.Dr.Piyanart Sommani

Mentor Name: Mr.Noppakun Thangpanichwong

Company: TTCL Public Company Limited

ABSTRACT

TTCL Public Company Limited, which is engaged in integrated engineering design, procurement, and construction business, required a precise calculation template to estimate power consumption of a screw gas compressor for the company internal use. The precise power consumption of screw gas compressor, which is the most significant power consumed equipment when compared among the equipment used in the natural gas power plant, can indicate the power plant efficiency, which consecutively affects the project construction cost. This project created the calculation template of screw gas compressor's power consumption by using Microsoft Excel 2007 and parameters obtained from 3 completed natural gas power plants. The reliability of calculation template was determined by comparing the calculated power data and the actual power data under the same 17 operating conditions. As a result, the errors from 15 and 2 operating conditions are ±5% and +10%, respectively. However, the errors of ±5% and +10% are acceptable to TTCL Public Company Limited since the calculations of ±5% are closely to the design figures quoted by the vendors and the calculations of +10% are possibly resulted from the difference between the actual and design conditions of gas compressors when operating.

Keywords: Natural Gas Power Plant, Screw Gas Compressor, Calculation Template, Microsoft Excel 2007

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานสหกิจศึกษานี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้จากความร่วมมือระหว่างบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) (TTCL Public Company Limited) และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ คุณชำนาญ อัศนธรรม ผู้ช่วยรองประธานเจ้าหน้าที่บริหารฝ่ายวิศวกรรม และคุณนพคุณ ตั้งพานิชวงศ์ วิศวกรพี่เลี้ยง ตลอดจนพนักงานแผนกโรงไฟฟ้า บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาด้านเทคนิค พร้อมทั้งสนับสนุน และให้ความรู้เกี่ยวกับการก่อสร้างโรงไฟฟ้า

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ปิยะนาถ สมมณี อาจารย์นิเทศโครงงานสหกิจศึกษา สำหรับคำปรึกษา ความรู้ ความช่วยเหลือ แนวทางการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางตลอดระยะเวลาโครงงาน

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ให้ความรู้ซึ่งสามารถนำไปเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้สิ่งใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้โครงงานนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ที่คอยสนับสนุน ตลอดจนเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

เดโชชัย สายต่างใจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 เครื่องอัดแก๊ส 5

2.2 หลักการทำงานของเครื่องอัดแก๊ส 6

2.3 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊ส 7

2.4 ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊ส 8

2.5 เครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 8

2.6 งานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊ส 8

2.7 งานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สในทางปฏิบัติ 9

บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา 11

3.1 การคำนวณงานในการอัดแก๊สแบบไอเซนโทรปิกสำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 11

3.2 การหาประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 11

3.3 การคำนวณงานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊สของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 12

3.4 การหาประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 12

3.5 การคำนวณงานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในทางปฏิบัติ 13

3.6 การคำนวณกำลังม้าเบรก 13

3.7 การหาประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 13

3.8 การคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 13

3.9 การสร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูโดยใช้ Microsoft Excel 2007 14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินการศึกษาและการวิเคราะห์ผล 16

4.1 การใช้งานแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 16

4.2 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าจากแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 18

4.3 การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากแบบคำนวณและกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้จริง 21

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 23

5.1 สรุปผลการศึกษา 23

5.2 ข้อเสนอแนะ 24

บรรณานุกรม 25

ภาคผนวก 26

ภาคผนวก ก 27

ภาคผนวก ข 29

ภาคผนวก ค 32

ภาคผนวก ง 36

ประวัติผู้เขียน 42

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าด้วยแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยใช้ตัวแปรของแต่ละภาวะปฏิบัติการของโครงการ D173 18

4.2 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าด้วยแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยใช้ตัวแปรของแต่ละภาวะปฏิบัติการของโครงการ D174 19

4.3 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าด้วยแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยใช้ตัวแปรของแต่ละภาวะปฏิบัติการของโครงการ D182 20

4.4 ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าจากแบบคำนวณเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้จริงของแต่ละภาวะปฏิบัติการของโครงการ D173, D174 และ D182 21

ก.1 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องเป่าชนิดสกรูที่แต่ละร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล 27

ข.1 ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดันคงที่ 29

ค.1 ประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ 33

ค.2 ผลการคำนวณประสิทธิภาพมอเตอร์ 34

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 วัฏจักรเบรย์ตัน 4

2.2 การติดตั้งเครื่องอัดแก๊สเพิ่มในระบบกังหันแก๊ส 4

2.3 ประเภทของเครื่องอัดแก๊ส 5

2.4 แผนภาพ h-s ของเครื่องอัดแก๊ส 6

2.5 การทำงานของเครื่องอัดแก๊ส 7

2.6 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องเป่า 9

2.7 ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สแบบโรตารีชนิดสกรู 10

3.1 แบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 14

3.2 ขั้นตอนการสร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 15

4.1 การใช้งานแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 17

ก.1 สมการประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู 28

ข.1 สมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดันคงที่ 30

ข.2 แบบคำนวณสัมประสิทธิ์ของสมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดัน 85% 31

ค.1 ข้อมูลประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูของโครงการโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ 32

ค.2 สมการประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูของโครงการโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ 33

ค.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของประสิทธิภาพมอเตอร์ 35

ง.1 ข้อมูลตัวแปรที่ภาวะปฏิบัติการ E/C (1) โครงการ D182 36

ง.2 ค่าองค์ประกอบของแก๊สธรรมชาติที่ภาวะปฏิบัติการ E/C (1) โครงการ D182 36

ง.3 การใช้งานแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ภาวะปฏิบัติการ E/C (1) โครงการ D182 37

ง.4 แบบคำนวณสัมประสิทธิ์ของสมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดัน 85.13% 39

ง.5 กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริงของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ภาวะปฏิบัติการ E/C (1) โครงการ D182 41

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ (บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน). 2014)

บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) (TTCL Public Company Limited) ประกอบธุรกิจการให้บริการด้านการออกแบบทางวิศวกรรม การจัดหาเครื่องจักรและอุปกรณ์ และการก่อสร้างโรงงานแบบครบวงจร (Integrated Engineering, Procurement and Construction: Integrated EPC) ภายใต้การร่วมทุนระหว่าง Toyo Engineering Corporation (TEC) (ประเทศญี่ปุ่น) และบริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด (มหาชน) (ITD) ในอัตราส่วน 49.0% และ 51.0% ตามลำดับ และในปัจจุบัน บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) มีการประกอบกิจการธุรกิจผลิตไฟฟ้า ได้แก่ โรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ (Natural Gas Power Plant) โรงไฟฟ้าถ่านหิน (Coal-fired Power Plant) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Power Plant) และโรงไฟฟ้าแก๊สชีวภาพ (Biogas Power Plant)

การออกแบบทางวิศวกรรม การจัดหาเครื่องจักรและอุปกรณ์ และการก่อสร้างโรงงาน จะต้องมีการประมาณกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงานซึ่งจัดเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของโรงงานและส่งผลต่อราคาก่อสร้างโครงการ การประมาณราคาโครงการที่ถูกต้องในเวลาจำกัดจะส่งผลบวกต่อผลประกอบการขององค์กร อย่างไรก็ตามพบว่าข้อจำกัดของการยื่นเสนอราคาโครงการต่อเจ้าของโครงการ คือ ระยะเวลาในการรอข้อมูลด้านเทคนิคจากทางบริษัทผู้ขายอุปกรณ์ (Vendor) เช่น ปริมาณกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ อย่างน้อย 2 สัปดาห์ และความแตกต่างของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์แม้ว่าจะเป็นอุปกรณ์ชนิดเดียวกัน และทำงานที่ภาวะปฏิบัติการเดียวกัน

โครงงานสหกิจศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์การดำเนินงานจากแผนกโรงไฟฟ้า (Power Department) ฝ่ายวิศวกรรม (Engineering Division) บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ซึ่งดำเนินการก่อสร้างโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่มีการใช้เครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (Screw Gas Compressors) สำหรับเพิ่มความดันและเพิ่มปริมาณของแก๊สธรรมชาติก่อนที่จะป้อนเข้ากังหันแก๊ส (Gas Turbines) และจากข้อมูลของบริษัทที่แสดงให้เห็นว่าเครื่องอัดแก๊ส (Gas Compressors) เป็นอุปกรณ์ที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (19%) จากอุปกรณ์หลัก 9 ชนิด โครงงานสหกิจศึกษานี้จึงสร้างแบบคำนวณเพื่อใช้ในการประมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ใช้ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2007 และข้อมูลจากโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ 3 แห่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาการอัดแก๊สในโรงไฟฟ้าชนิดกังหันแก๊สที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

1.2.2 สร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้า (Calculation Template) ของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ใช้ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ข้อมูลการทำงานของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูและมอเตอร์ที่ใช้ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ เช่น อัตราการไหลเชิงมวล ความดันขาเข้า ความดันขาออก อุณหภูมิแก๊สขาเข้า น้ำหนักโมเลกุลของแก๊สธรรมชาติ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

1.3.2 ประสิทธิภาพของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูและประสิทธิภาพของมอเตอร์

1.3.3 โปรแกรม Microsoft Excel 2007 สำหรับสร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา

1.4.1 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 วางแผนการดำเนินงาน

1.4.3 ศึกษาการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูและมอเตอร์

1.4.4 สร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

1.4.5 ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบคำนวณกำลังไฟฟ้า

1.4.6 สรุปผลและจัดทำรูปเล่มรายงานสหกิจฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ได้แบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่สามารถช่วยประหยัดเวลาในการประมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู และช่วยอำนวยความสะดวกในการประมาณค่ากำลังไฟฟ้าเบื้องต้นเพื่อใช้งานภายในบริษัท

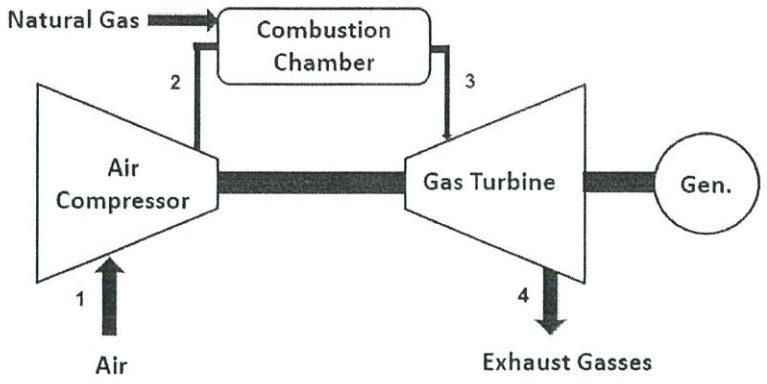
1.5.2 แนวทางการพัฒนาแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดอื่นที่นิยมใช้ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ เช่น เครื่องอัดแก๊สแบบลูกสูบ เครื่องอัดแก๊สแบบโรตารี เครื่องอัดแก๊สแบบหมุนเหวี่ยง

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

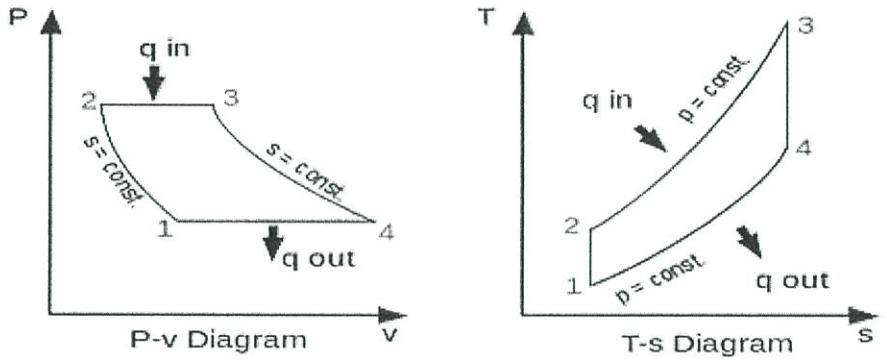
โรงไฟฟ้าชนิดกังหันแก๊ส (Gas Turbine Power Plant) ที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในโครงงานสหกิจศึกษานี้ อาศัยหลักการทำงานแบบวัฏจักรเบรย์ตัน (Brayton Cycle) หรือวัฏจักรจูล (Joule Cycle) วัฏจักรของกังหันแก๊สแบบอุดมคติประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ เครื่องอัด (Compressors) ซึ่งโดยปกติแล้วจะเป็นเครื่องอัดอากาศ (Air Compressors) ห้องเผาไหม้ (Combustion Chambers) และกังหันแก๊ส (Gas Turbines) ดังภาพที่ 2.1 (ก) วัฏจักรเบรย์ตันมีหลักการทำงาน คือ การอัดอากาศในบรรยากาศด้วยเครื่องอัดอากาศ ทำให้อากาศมีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นจะส่งอากาศความดันสูงไปที่ห้องเผาไหม้ การเผาไหม้จะเกิดจากอากาศอัดที่มีความดันและอุณหภูมิสูงกับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ที่ความดันคงที่ ระบบการเผาไหม้บางชนิดอาจติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่อลดการเกิดค่าไนโตรเจนออกไซด์ เช่น อุปกรณ์ฉีดไอน้ำหรือน้ำเพื่อลดอุณหภูมิของแก๊สร้อน จากนั้นแก๊สร้อนที่ขยายตัวและมีอุณหภูมิสูงจากห้องเผาไหม้จะถูกส่งไปยังใบพัดของกังหันแก๊สและทำให้กังหันหมุนเกิดเป็นพลังงานกล แกนของกังหันแก๊สจะต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจะแปลงพลังงานกลที่ได้ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า

วัฏจักรเบรย์ตันแบบอุดมคติ (Ideal Brayton Cycle) ประกอบด้วย 4 กระบวนการ ดังภาพที่ 2.1 (ข) และ (ค) (Cengel, YA. and Boles, MA. 2015) คือ

1. กระบวนการแอเดียแบติกหรือกระบวนการที่ไม่แลกเปลี่ยนความร้อนแบบย้อนกลับได้ภายใน (Internally Reversible Adiabatic Process) ผ่านเครื่องอัด โดยพิจารณาจากภาวะที่ 1 ไปภาวะที่ 2
2. กระบวนการไอโซบาริกหรือกระบวนการความดันคงที่แบบย้อนกลับได้ภายใน (Internally Reversible Isobaric Process) ผ่านห้องเผาไหม้ โดยพิจารณาจากภาวะที่ 2 ไปภาวะที่ 3
3. กระบวนการแอเดียแบติกย้อนกลับได้ภายในผ่านกังหันแก๊ส โดยพิจารณาจากภาวะที่ 3 ไปภาวะที่ 4
4. กระบวนการไอโซบาริกย้อนกลับได้ภายในผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยพิจารณาจากภาวะที่ 4 ไปภาวะที่ 1 ซึ่งกระบวนการนี้อาจมีหรือไม่มีก็ได้ กรณีที่ไม่มีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะเป็นวัฏจักรเบรย์ตันแบบเปิดซึ่งมักนำไปใช้กับกังหันแก๊สที่ใช้ผลิตไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ไอพ่นสำหรับอากาศยาน แต่ถ้ามีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะเป็นวัฏจักรเบรย์ตันแบบปิดซึ่งมักนำไปใช้กับโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์



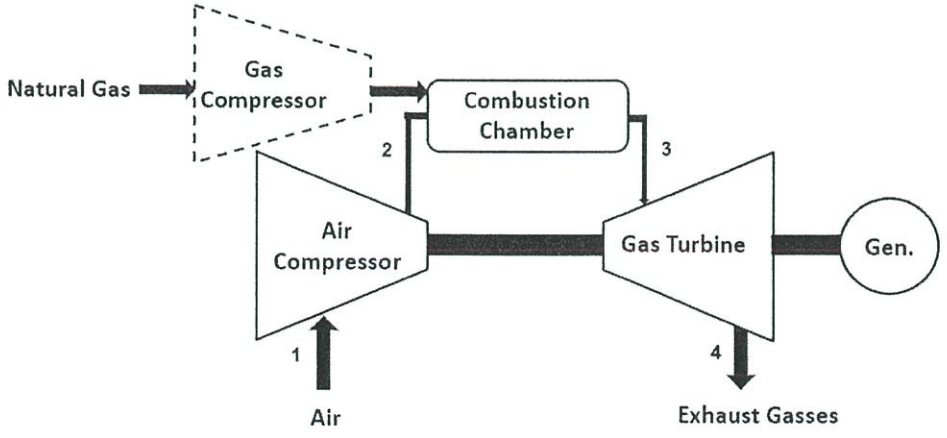
(ก)



(ข) (ค)

ภาพที่ 2.1 วัฏจักรเบรย์ตัน (ก) อุปกรณ์ทำงาน (ข) แผนภาพ P-v และ (ค) แผนภาพ T-s (Cengel, YA. and Boles, MA. 2015)

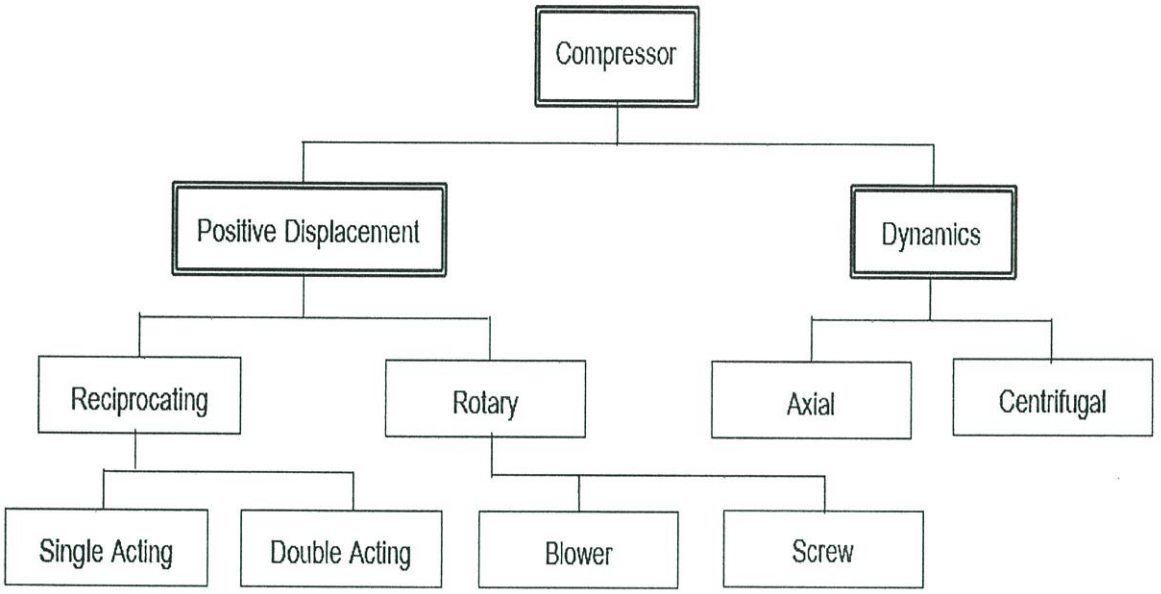
การเดินระบบโรงไฟฟ้าชนิดกังหันแก๊สอาจพบปัญหาเกี่ยวกับความดันของแก๊สธรรมชาติในระบบท่อส่ง โดยเฉพาะปัญหาความดันในระบบท่อที่ต่ำเกินไป บางครั้งจึงต้องติดตั้งเครื่องอัดแก๊ส (Gas Compressors) ดังภาพที่ 2.2 เพื่อเพิ่มความดันแก๊สธรรมชาติให้ได้ความดันตามต้องการ



ภาพที่ 2.2 การติดตั้งเครื่องอัดแก๊สเพิ่มในระบบกังหันแก๊ส

2.1 เครื่องอัดแก๊ส (Giampaolo, T. 2010)

เครื่องอัดแก๊ส (Gas Compressors or Fuel Gas Boosters) เป็นอุปกรณ์ทางกลที่ใช้ในการเพิ่มความดันของอากาศ แก๊ส หรือไอ และทำให้อากาศ แก๊ส หรือไอนั้น สามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดได้ เครื่องอัดแก๊สแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทปริมาตรแทนที่เชิงบวกและแบบไดนามิกส์ (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 ประเภทของเครื่องอัดแก๊ส

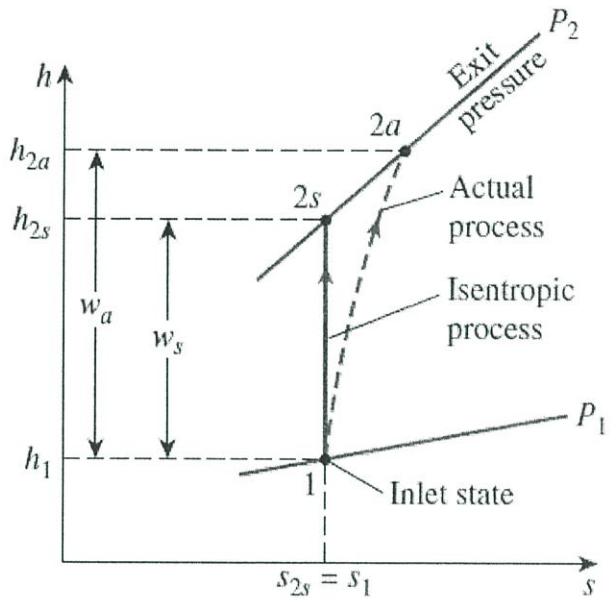
2.1.1 เครื่องอัดแก๊สประเภทปริมาตรแทนที่เชิงบวก (Positive Displacement) ใช้หลักการทำงาน คือ ให้แก๊สเข้าไปในปริมาตร จากนั้นลดปริมาตรแก๊สนี้โดยใช้พลังงานจากภายนอก เมื่อปริมาตรของแก๊สลดลงจะทำให้ความดันของแก๊สสูงขึ้น ตัวอย่างของเครื่องอัดแก๊สประเภทปริมาตรแทนที่เชิงบวก เช่น เครื่องอัดแก๊สแบบลูกสูบ (Reciprocating Compressors) เครื่องอัดแก๊สแบบโรตารี (Rotary Compressors)

2.1.2 เครื่องอัดแก๊สประเภทไดนามิกส์ (Dynamics) ใช้หลักการทำงาน คือ ให้พลังงานกลแก่แก๊ส ทำให้แก๊สมีความเร็วเพิ่มขึ้นโดยผ่านโรเตอร์ จากนั้นอาศัยรูปร่างภายในเครื่องอัดแก๊สเพื่อลดความเร็วลง ทำให้พลังงานจลน์ของแก๊สเปลี่ยนรูปเป็นความดันของแก๊ส ตัวอย่างของเครื่องอัดแก๊สประเภทไดนามิกส์ เช่น เครื่องอัดแก๊สแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Compressors)

เครื่องอัดแก๊สที่นิยมใช้ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติโดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องอัดแก๊สแบบลูกสูบ เครื่องอัดแก๊สแบบโรตารี และเครื่องอัดแก๊สแบบหมุนเหวี่ยง

2.2 หลักการทำงานของเครื่องอัดแก๊ส (Cengel, YA. and Boles, MA. 2015)

เครื่องอัดแก๊สจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีการไหลคงตัว (Steady-flow Devices) หรือทำงานที่ภาวะคงที่เป็นช่วงเวลานานภายใต้กระบวนการแอเดียแบติก เมื่อพิจารณาให้เครื่องอัดแก๊สทำงานแบบอุดมคติจะต้องเป็นกระบวนการแอเดียแบติกแบบย้อนกลับได้ภายในที่มีการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (Entropy) ของระบบเท่ากับศูนย์ เรียกว่ากระบวนการไอเซนโทรปิก (Isentropic Process) ดังภาพที่ 2.1 (ค) จากภาวะที่ 1 ไปภาวะที่ 2 และภาพที่ 2.4 จากภาวะที่ 1 ไปภาวะที่ 2s



ภาพที่ 2.4 แผนภาพ h-s ของเครื่องอัดแก๊ส (Cengel, YA. and Boles, MA. 2015)

การคำนวณงานในแบบอุดมคติสามารถหาได้จากสมการ (2.1)

$$W_{isen} = \frac{kR(T_S+273)}{k-1}\left[\left(\frac{P_D}{P_S}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] \qquad (2.1)$$

โดย W_{isen} คือ งานที่ต้องใช้ในทางอุดมคติสำหรับการอัดแก๊สหรืองานที่ต้องใช้แบบไอเซนโทรปิก (J/mol)

k คือ อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ

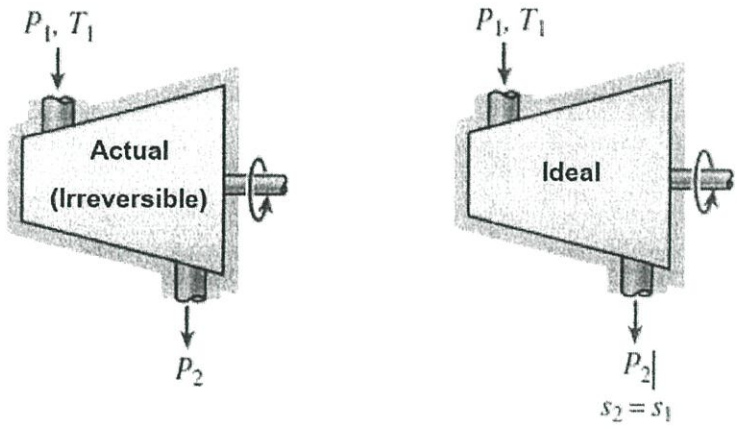
R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส 8.314 J/mol.K

T_S คือ อุณหภูมิขาเข้าเครื่องอัดแก๊ส (°C)

P_S คือ ความดันขาเข้าเครื่องอัดแก๊ส (barA)

P_D คือ ความดันขาออกเครื่องอัดแก๊ส (barA)

การใช้อุปกรณ์ที่มีการไหลคงตัว เช่น เครื่องอัดแก๊ส (Gas Compressors) ปั๊ม (Pumps) หัวฉีด (Nozzles) ในทางปฏิบัติพบว่ากระบวนการที่เกิดขึ้นจริงในอุปกรณ์ที่มีการไหลคงตัวไม่สามารถย้อนกลับภายในได้ (ภาพที่ 2.5 (ก)) จึงส่งผลกระทบทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่มีการไหลคงตัวลดลง รวมถึงกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงในอุปกรณ์ที่มีการไหลคงตัวมักเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอุปกรณ์กับสิ่งแวดล้อมในปริมาณที่น้อยมาก จึงเปรียบให้อุปกรณ์ที่มีการไหลคงตัว เช่น เครื่องอัดแก๊ส ทำงานแบบกระบวนการแอเดียแบติกซึ่งเป็นการทำงานเชิงอุดมคติ (ภาพที่ 2.5 (ข))



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.5 การทำงานของเครื่องอัดแก๊ส (ก) เชิงปฏิบัติ และ (ข) เชิงอุดมคติ (Cengel, YA. and Boles, MA. 2015)

2.3 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊ส (Cengel, YA. and Boles, MA. 2015)

การคำนวณประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก (Isentropic Efficiency) ของเครื่องอัดแก๊ส ควรพิจารณาที่ภาวะทำงานแบบอุดมคติหรือกระบวนการไอเซนโทรปิก งานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊ส (Actual Work) มีค่าใกล้กับงานที่ใช้แบบไอเซนโทรปิก (Isentropic Work) จะทำให้ค่าประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกสูงขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกจึงเป็นตัวชี้วัดความเบี่ยงเบนของงานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊สเทียบกับในแบบไอเซนโทรปิก

ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊ส คือ อัตราส่วนของงานที่ต้องใช้แบบไอเซนโทรปิกเพื่อให้ได้ความดันของแก๊สที่ต้องการ และงานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊สดังสมการ (2.2)

$$\eta_{isen} = \frac{W_{isen}}{W_{act}} \times 100\% \qquad (2.2)$$

โดย η_{isen} คือ ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊ส (%)

W_{isen} คือ งานที่ต้องใช้ในทางอุดมคติสำหรับการอัดแก๊สหรืองานที่ต้องใช้แบบไอเซนโทรปิก (J/mol)

W_{act} คือ งานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊ส (J/mol)

2.4 ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊ส (Brasz, JJJ. 2006)

การคำนวณประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanic Efficiency) ของเครื่องอัดแก๊สตามสมการ (2.3) คือ อัตราส่วนของงานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สในทางอุดมคติซึ่งให้พิจารณาจากงานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊ส (W_{act}) ซึ่งได้มาจากสมการ (2.2) และงานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สในทางปฏิบัติเพื่อให้ได้กำลังม้าเบรก (Brake Horsepower) ที่ต้องการ

$$\eta_{comp} = \frac{W_{comp}}{W_{shaft}} \times 100\% \qquad (2.3)$$

โดย η_{comp} คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊ส (%)

W_{comp} คือ งานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สในทางอุดมคติ (J/mol)

W_{shaft} คือ งานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สในทางปฏิบัติ (J/mol)

2.5 เครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558)

เครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจัดอยู่ในกลุ่มเครื่องอัดแก๊สแบบโรตารีหรือแบบหมุน หลักการทำงานของเครื่องอัดแก๊สแบบโรตารี คือ ใช้โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบสูง จึงทำให้เกิดการแทนที่ของแก๊ส แก๊สอัดที่ได้จะมีอัตราการไหลที่สม่ำเสมอแต่มีความดันค่อนข้างต่ำ การหมุนของโรเตอร์เพื่ออัดแก๊สทำให้เกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในและอาจก่อให้เกิดเสียงดัง

เครื่องอัดแก๊สแบบโรตารีแบ่งเป็น 4 ชนิด คือ

2.5.1 Sliding Vane Compressors มีแผ่นกวาด (Vane) เลื่อนเข้า-ออกในแนวรัศมีอยู่ภายในเครื่องอัด แผ่นกวาดทำหน้าที่กวาดและอัดแก๊สให้มีปริมาตรลดลง และส่งแก๊สอัดออกไปจากเครื่องอัดสำหรับใช้งานต่อไป

2.5.2 Liquid Piston Compressors มีของเหลวเป็นสารทำงานซึ่งทำหน้าที่คล้ายลูกสูบในการอัดแก๊ส ทำให้แก๊สมีความดันสูงขึ้น

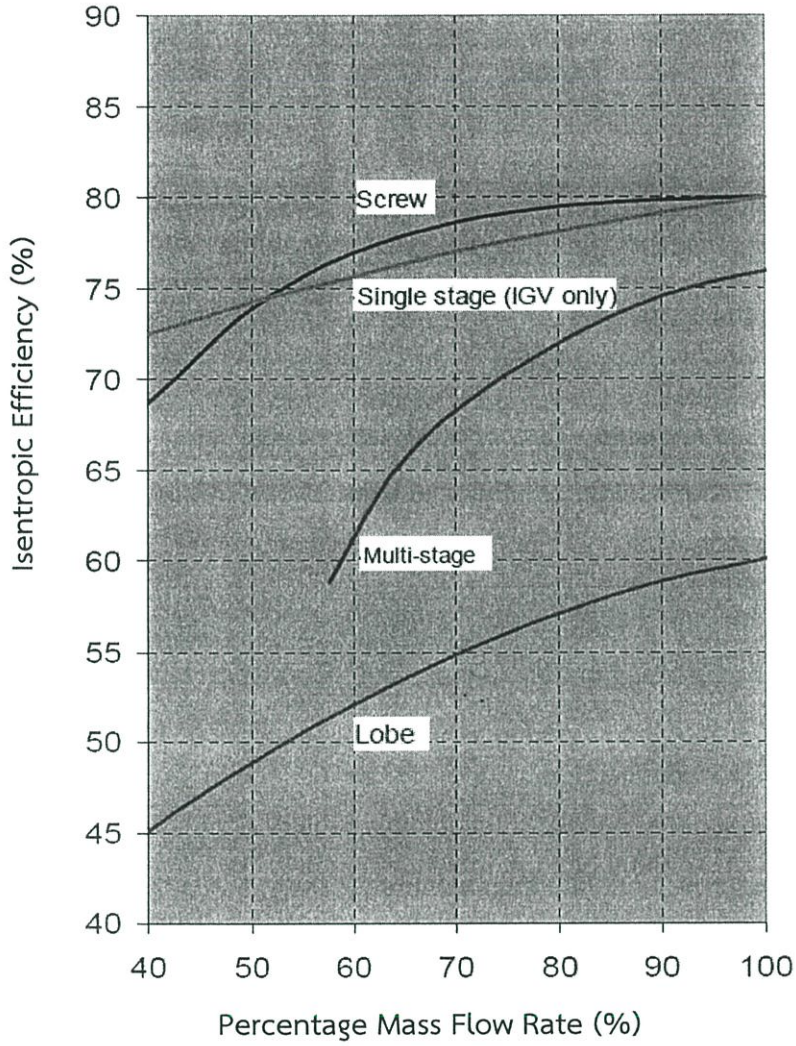
2.5.3 Two-Impeller Straight-Lobe Compressors มีอุปกรณ์คล้ายลอน (Lobe) จำนวน 2 ชิ้น ซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบที่สัมพันธ์กัน เพื่ออัดและส่งแก๊สไปยังระบบต่อไป แก๊สที่อัดได้มีความดันต่ำ

2.5.4 Screw or Helical or Spiral Lobe Compressors มีโรเตอร์หมุนภายในเครื่องอัดแก๊ส จำนวน 2 ตัว ประกอบด้วยเกลียวตัวผู้และเกลียวตัวเมียทำหน้าที่ในการอัดแก๊ส ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแก๊สอัดอย่างต่อเนื่อง

2.6 งานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊ส (Leuven, GV. et al. 2009)

งานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊สสามารถคำนวณได้จากสมการประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊ส (สมการ (2.2)) ตัวแปรตัวที่ 1 คือ งานที่ต้องใช้ในทางอุดมคติสำหรับการอัดแก๊สหรืองานที่ต้องใช้แบบไอเซนโทรปิกสามารถคำนวณตามสมการ (2.1) และตัวแปรตัวที่ 2 คือ ประสิทธิภาพ

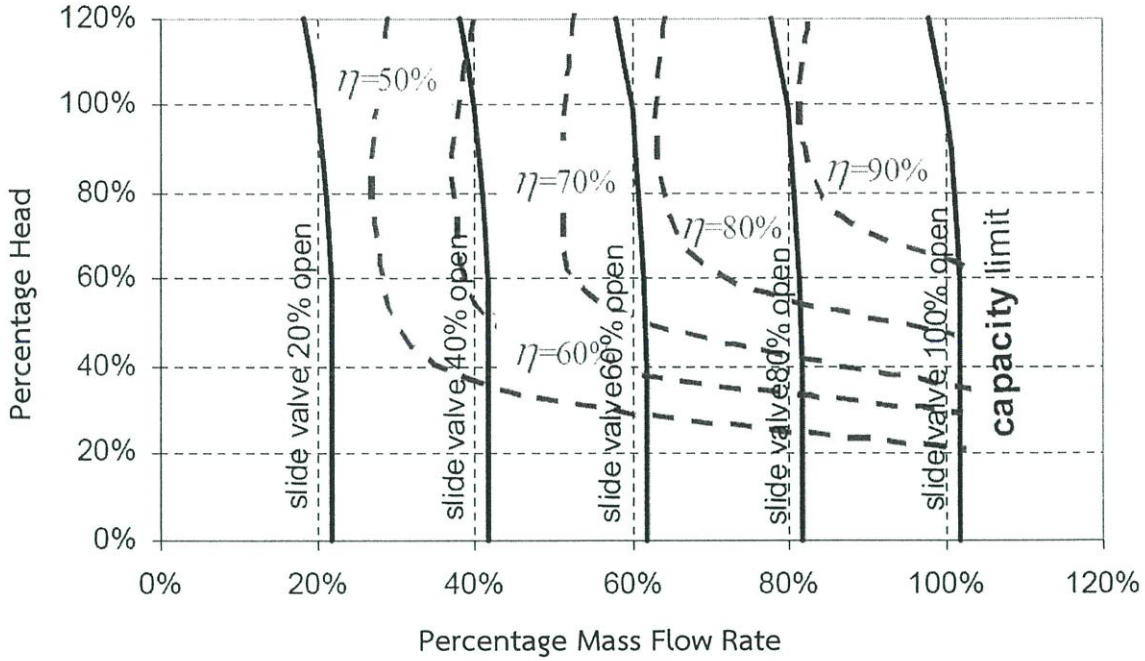
ไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจะอ้างอิงจากงานวิจัยของ Leuven, GV. et al. (2009) ซึ่งแสดงค่าประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องเป่าชนิดสกรู (Screw Blowers) (ภาพที่ 2.6) เนื่องจากเครื่องอัดแก๊สมีหลักการทำงานคล้ายเครื่องเป่าแต่ให้ความดันขาออกที่สูงกว่าเครื่องเป่า



ภาพที่ 2.6 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องเป่า (ดัดแปลงจาก Leuven, GV. *et al.* 2009)

2.7 งานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สในทางปฏิบัติ (Brasz, JJJ. (2006)

งานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สในทางปฏิบัติสามารถคำนวณได้จากสมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊ส (สมการ (2.3)) ตัวแปรตัวที่ 1 คือ งานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สในทางอุดมคติ ซึ่งได้มาจากงานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊ส สามารถคำนวณตามหัวข้อ 2.6 และตัวแปรตัวที่ 2 คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจะอ้างอิงจากงานวิจัยของ Brasz, JJJ. (2006) การศึกษาการทำงานอย่างต่อเนื่องของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในภาวะที่ต่างจากการออกแบบ (Off-design Conditions) ทำโดยปรับร้อยละการเปิดสไลด์วาล์วระหว่าง 20%-100% เพื่อปรับอัตราการไหลเชิงมวลและความดันขณะอัดแก๊ส ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สแสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สแบบโรตารีชนิดสกรู
(ดัดแปลงจาก Brasz, JJJ. 2006)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

โครงงานสหกิจศึกษาเรื่องการประมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ใช้ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ ใช้ข้อมูลจากโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จจำนวน 3 โครงการ คือ D173, D174 และ D182 เช่น อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate) ความดันขาเข้า (Suction Pressure) ความดันขาออก (Discharge Pressure) อุณหภูมิแก๊สขาเข้า (Suction Temperature) น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Ratio) กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ต้องใช้จริง (Actual Power Consumption) เป็นต้น เพื่อใช้สร้างแบบคำนวณ (Calculation Template) กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ใช้ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ และมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 การคำนวณงานในการอัดแก๊สแบบไอเซนโทรปิกสำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

งานในการอัดแก๊สแบบไอเซนโทรปิกสำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (W_{isen}) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.1) ในบทที่ 2 ดังนี้

$$W_{isen} = \frac{kR(T_S+273)}{k-1}\left[\left(\frac{P_D}{P_S}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] \qquad (2.1)$$

โดย W_{isen} คือ งานที่ต้องใช้ในทางอุดมคติสำหรับการอัดแก๊สหรืองานที่ต้องใช้แบบไอเซนโทรปิก (J/mol)

k คือ อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส 8.314 J/mol.K

T_S คือ อุณหภูมิขาเข้าเครื่องอัดแก๊ส (°C)

P_S คือ ความดันขาเข้าเครื่องอัดแก๊ส (barA)

P_D คือ ความดันขาออกเครื่องอัดแก๊ส (barA)

3.2 การหาประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (η_{isen}) สามารถคำนวณได้จากสมการประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (สมการ (ก.1) ในภาคผนวก ก) ดังนี้

$$\eta_{isen} = 7.5291E\text{-}05x^3 - 2.0575E\text{-}02x^2 + 1.8943E+00x + 2.1076E+01 \qquad (ก.1)$$

โดย η_{isen} คือ ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊ส (%)

X คือ ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (%)

3.3 การคำนวณงานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊สของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

งานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊สของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (W_{act}) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.2) ในบทที่ 2 ดังนี้

$$\eta_{isen} = \frac{W_{isen}}{W_{act}} \times 100\% \qquad (2.2)$$

โดย η_{isen} คือ ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊ส (%)

W_{isen} คือ งานที่ต้องใช้ในการอัดแก๊สแบบไอเซนโทรปิก (J/mol)

W_{act} คือ งานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊ส (J/mol)

3.4 การหาประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (η_{comp}) ที่แต่ละร้อยละความดันคงที่ (50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 และ 120%) สามารถคำนวณได้จากสมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดันคงที่ (สมการ (ข.1)-สมการ (ข.8) ตามลำดับ ในภาคผนวก ข) ดังนี้

$\eta_{comp,\ 50}$ = 3.7050E-05x^3 - 1.4426E-02x^2 + 1.8171E+00x + 5.6848E+00 (ข.1)

$\eta_{comp,\ 60}$ = 4.5332E-05x^3 - 1.4933E-02x^2 + 1.8146E+00x + 9.5461E+00 (ข.2)

$\eta_{comp,\ 70}$ = 4.7364E-05x^3 - 1.3311E-02x^2 + 1.6687E+00x + 1.3324E+01 (ข.3)

$\eta_{comp,\ 80}$ = 3.1063E-05x^3 - 1.0619E-02x^2 + 1.5514E+00x + 1.5373E+01 (ข.4)

$\eta_{comp,\ 90}$ = 4.3487E-05x^3 - 1.1217E-02x^2 + 1.5211E+00x + 1.6668E+01 (ข.5)

$\eta_{comp,\ 100}$ = 2.3876E-05x^3 - 7.7610E-03x^2 + 1.3531E+00x + 1.8479E+01 (ข.6)

$\eta_{comp,\ 110}$ = 1.2395E-05x^3 - 5.5957E-03x^2 + 1.2412E+00x + 1.9372E+01 (ข.7)

$\eta_{comp,\ 120}$ = 4.2466E-06x^3 - 3.9968E-03x^2 + 1.1605E+00x + 1.9431E+01 (ข.8)

โดย η_{comp} คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (%)

X คือ ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (%)

กรณีที่ต้องการหาประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดันนอกเหนือจากที่ระบุข้างต้นดังสมการ (ข.1)-สมการ (ข.8) เช่น ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดัน 85% สามารถคำนวณได้จากสมการ (ข.9) ในภาคผนวก ข ดังนี้

$\eta_{comp,\ 85}$ = 3.7275E-05x^3 – 1.0918E-02x^2 + 1.53625E+00x + 1.60205E+01 (ข.9)

โดย $\eta_{comp,\ 85}$ คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดัน 85% (%)

X คือ ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (%)

3.5 การคำนวณงานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในทางปฏิบัติ

งานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในทางปฏิบัติ (W_{shaft}) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.3) ในบทที่ 2 ดังนี้

$$\eta_{comp} = \frac{W_{comp}}{W_{shaft}} \times 100\% \qquad (2.3)$$

โดย η_{comp} คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (%)

W_{comp} คือ งานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในทางอุดมคติ (J/mol)

W_{shaft} คือ งานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในทางปฏิบัติ (J/mol)

3.6 การคำนวณกำลังม้าเบรก

กำลังม้าเบรก (Brake Horsepower: BHP, kW) สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.1) ดังนี้

$$BHP = \frac{\dot{m} \times W_{shaft}}{3600 \times MW} \qquad (3.1)$$

โดย BHP คือ กำลังม้าเบรก (kW)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สธรรมชาติ (kg/h)

W_{shaft} คือ งานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในทางปฏิบัติ (J/mol)

MW คือ มวลโมเลกุลของแก๊สธรรมชาติ (g/mol)

3.7 การหาประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

ประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (η_{motor}) สามารถคำนวณได้จากสมการประสิทธิภาพมอเตอร์ (สมการ (ค.2) ในภาคผนวก ค) ดังนี้

η_{motor} = -1.5238E-10x^6 + 8.4571E-08x^5 – 1.9341E-05x^4 + 2.3321E-03x^3 – 1.5646E-01x^2 + 5.5383E+00x + 1.5557E+01 (ค.2)

โดย η_{motor} คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (%)

X คือ ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (%)

3.8 การคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

ประสิทธิภาพมอเตอร์ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังม้าเบรกของเพลาและกำลังไฟฟ้า ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู ($P_{Comp,tem}$) สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.2)

$$P_{Comp,tem}(\text{kW}) = \frac{\text{BHP}}{\eta_{motor}} \quad (3.2)$$

โดย $P_{Comp,tem}$ คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากแบบคำนวณ (kW)

BHP คือ กำลังม้าเบรก (kW)

η_{motor} คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

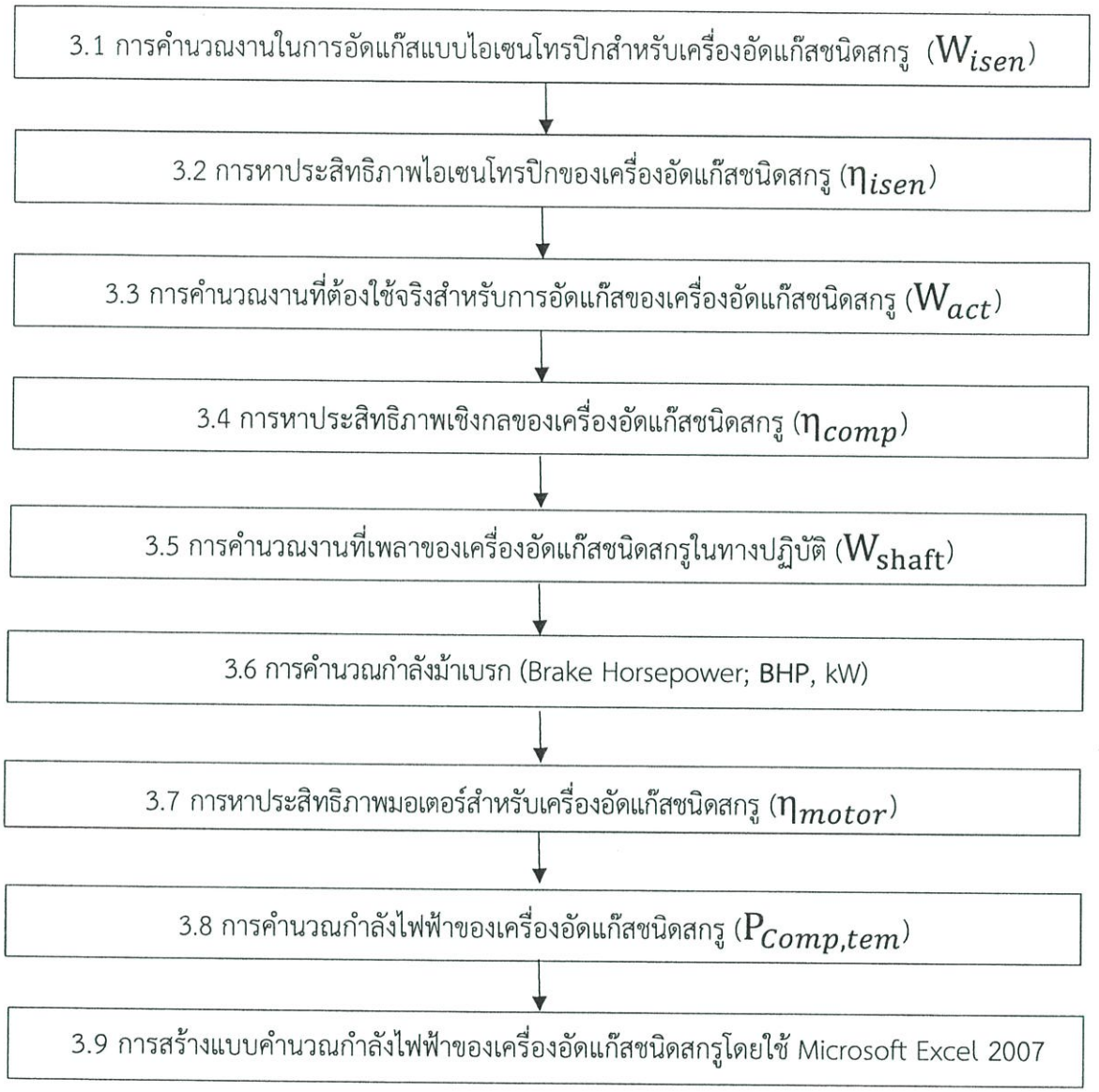
3.9 การสร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูโดยใช้ Microsoft Excel 2007

แบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูสามารถสร้างด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2007 โดยกำหนดฟังก์ชันในแบบคำนวณตามสมการในข้อ 3.1-3.8 ภาพที่ 3.1 แสดงเซลล์สีขาวสำหรับกรอกภาวะปฏิบัติการ โดยกรอกได้สูงสุดพร้อมกัน 6 ภาวะปฏิบัติการ และกรอกตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ เมื่อกรอกตัวแปรครบถ้วน ผลการคำนวณจะแสดงในเซลล์สีเทา เช่น ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู ประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากแบบคำนวณ

Parameters	Unit	Operating Conditions					
Mass Flow Rate	kg/h						
Max Mass Flow Rate	kg/h						
Percentage Mass Flow Rate	%						
Suction Pressure	barA						
Discharge Pressure	barA						
Pressure Ratio							
Percentage Head	%						
Suction Temperature	°C						
Molecular Weight	g/mol						
Specific Heat Ratio							
Min Suction Pressure	barA						
Max Discharge Pressure	barA						
Universal Gas Constant	J/molK	8.314	8.314	8.314	8.314	8.314	8.314
Isentropic Compressor Work	J/mol						
Isentropic Efficiency	%						
Actual Compressor Work	J/mol						
Mechanic Efficiency	%						
Motor Efficiency	%						
BHP	kW						
$P_{Comp,tem}$	kW						

ภาพที่ 3.1 แบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

ภาพรวมของการสร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติ สรุปดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

บทที่ 4
ผลการดำเนินการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

โครงงานสหกิจศึกษานี้สร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2007 และข้อมูลจากโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จจำนวน 3 โครงการ คือ D173, D174 และ D182 แบบคำนวณแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ผู้ใช้งานต้องกรอกข้อมูลตัวแปร เช่น อัตราการไหลเชิงมวล ความดันขาเข้า ความดันขาออก อุณหภูมิแก๊สขาเข้า น้ำหนักโมเลกุล อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ และส่วนที่แสดงผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

4.1 การใช้งานแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

แบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ผู้ใช้งานต้องกรอกข้อมูลตัวแปร และส่วนที่แสดงผลการคำนวณ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ส่วนที่ผู้ใช้งานต้องกรอกข้อมูล ผู้ใช้งานต้องกรอกข้อมูลตัวแปรในเซลล์สีขาวส่วน (ก) โดยกรอกได้สูงสุดพร้อมกัน 6 ภาวะปฏิบัติการ (ภาพที่ 4.1 (ก)) ดังนี้

- ชื่อภาวะปฏิบัติการ
- อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate: $\dot{m}$)
- อัตราการไหลเชิงมวลสูงสุด (Max Mass Flow Rate: Max $\dot{m}$)
- ความดันขาเข้าเครื่องอัดแก๊ส (Suction Pressure: P_S)
- ความดันขาออกเครื่องอัดแก๊ส (Discharge Pressure: P_D)
- อุณหภูมิขาเข้าเครื่องอัดแก๊ส (Suction Temperature: T_S)
- มวลโมเลกุลของแก๊สธรรมชาติ (Molecular Weight: MW)
- อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Ratio: k)
- ความดันขาเข้าเครื่องอัดแก๊สต่ำสุด (Min Suction Pressure: Min P_S)
- ความดันขาออกเครื่องอัดแก๊สสูงสุด (Max Discharge Pressure: Max P_D)

4.1.2 ส่วนที่แสดงผลการคำนวณ เมื่อผู้ใช้งานกรอกข้อมูลตัวแปรในเซลล์สีขาวครบแล้ว แบบคำนวณจะคำนวณตัวแปรที่เกี่ยวข้องตามลำดับและคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูตามทฤษฎีและสมการคำนวณที่ผู้ศึกษาได้จัดทำ โดยแสดงค่าตัวแปรที่คำนวณได้ในเซลล์สีเทาส่วน (ข) (ภาพที่ 4.1 (ข)) และค่ากำลังไฟฟ้าคำนวณได้ในเซลล์สีเทาส่วน (ค) (ภาพที่ 4.1 (ค)) ตามลำดับ

- ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (Percentage Mass Flow Rate: % $\dot{m}$)
- อัตราส่วนความดัน (Pressure Ratio: P_R)
- ร้อยละความดัน (Percentage Head: %Head)

- ค่าคงที่ของแก๊ส (Universal Gas Constant: R)
- งานที่ต้องใช้ในการอัดแก๊สแบบไอเซนโทรปิก (Isentropic Compressor Work: W_{isen})
- ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊ส (Isentropic Efficiency: η_{isen})
- งานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊ส (Actual Compressor Work: W_{act})
- ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (Mechanic Efficiency: η_{comp})
- ประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (Motor Efficiency: η_{motor})
- กำลังม้าเบรก (Break Horsepower: BHP)
- กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากแบบคำนวณ (Calculation Template's Power Consumption: $P_{Comp,\,tem}$)

Parameters	Unit	Operating Conditions					
Mass Flow Rate	kg/h				(ก)		
Max Mass Flow Rate	kg/h						
Percentage Mass Flow Rate	%				(ข)		
Suction Pressure	barA				(ก)		
Discharge Pressure	barA						
Pressure Ratio							
Percentage Head	%				(ข)		
Suction Temperature	°C						
Molecular Weight	g/mol						
Specific Heat Ratio					(ก)		
Min Suction Pressure	barA						
Max Discharge Pressure	barA						
Universal Gas Constant	J/molK	8.314	8.314	8.314	8.314	8.314	8.314
Isentropic Compressor Work	J/mol						
Isentropic Efficiency	%						
Actual Compressor Work	J/mol				(ข)		
Mechanic Efficiency	%						
Motor Efficiency	%						
BHP	kW						
$P_{Comp,tem}$	kW				(ค)		

ภาพที่ 4.1 การใช้งานแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (ก) ส่วนที่ผู้ใช้งานต้องกรอกข้อมูล (ข) ส่วนที่แสดงผลการคำนวณตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และ (ค) ส่วนที่แสดงผลการคำนวณกำลังไฟฟ้า

4.2 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าจากแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าจากแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยใช้ตัวแปรของแต่ละภาวะปฏิบัติการของโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จจำนวน 3 โครงการ คือ D173, D174 และ D182 แสดงดังตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าด้วยแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยใช้ตัวแปรของแต่ละภาวะปฏิบัติการของโครงการ D173

Project D173		Operating Conditions					
Parameters	Unit	Off-Peak 16.05	Off-Peak 17.05	On-Peak 15.40	On-Peak 16.40	On-Peak 17.40	-
$\dot{m}$	kg/h	15462.0	15562.8	19980.0	20127.6	19893.6	
Max $\dot{m}$	kg/h	27000	27000	27000	27000	27000	
% $\dot{m}$	%	57.27	57.64	74.00	74.55	73.68	
P_S	barA	20.99	21.14	21.09	20.99	21.14	
P_D	barA	29.10	28.75	28.93	28.74	29.27	
P_R		1.39	1.36	1.37	1.37	1.38	
%Head	%	92.15	86.48	89.09	88.07	92.39	
T_S	°C	20.60	20.44	19.53	19.31	19.62	
MW	g/mol	18.278	18.278	18.278	18.278	18.278	
k		1.4007	1.4019	1.4024	1.402	1.4027	
Min P_S	barA	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	
Max P_D	barA	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	
R	J/mol.K	8.314	8.314	8.314	8.314	8.314	
W_{isen}	J/mol	835.9	784.2	804.7	799.2	829.8	
η_{isen}	%	76.22	76.32	79.10	79.14	79.07	
W_{act}	J/mol	1096.6	1027.4	1017.3	1009.8	1049.5	
η_{comp}	%	75.14	75.48	85.37	85.62	85.37	
η_{motor}	%	96.29	96.30	96.31	96.31	96.31	
BHP	kW	343.0	321.9	361.8	360.8	371.7	
$P_{Comp,tem}$	kW	356.2	334.3	375.7	374.6	385.9	

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าด้วยแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยใช้ตัวแปรของแต่ละภาวะปฏิบัติการของโครงการ D174

Project D174		Operating Conditions					
Parameters	Unit	On-Peak Block 1	Off-Peak Block 1	On-Peak Block 2	On-Peak Block 2	Off-Peak Block 2	Off-Peak Block 2
$\dot{m}$	kg/h	19555.2	15447.6	18274.0	18273.6	16268.4	16268.4
Max $\dot{m}$	kg/h	21000	21000	22000	22000	22000	22000
% $\dot{m}$	%	93.12	73.56	83.06	83.06	73.95	73.95
P_S	barA	15.25	15.39	15.19	15.19	15.27	15.27
P_D	barA	29.120	28.810	29.020	28.861	28.952	28.810
P_R		1.91	1.87	1.91	1.90	1.90	1.89
%Head	%	88.35	85.48	88.09	87.08	87.15	86.24
T_S	°C	29.10	28.82	29.99	29.60	30.24	29.90
MW	g/mol	17.6052	17.4941	18.747	18.7471	18.6581	18.6581
k		1.3602	1.3610	1.3528	1.3528	1.3565	1.3565
Min P_S	barA	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3
Max P_D	barA	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
R	J/mol.K	8.314	8.314	8.314	8.314	8.314	8.314
W_{isen}	J/mol	1772.1	1711.8	1776.4	1757.8	1756.4	1739.8
η_{isen}	%	79.86	79.06	79.61	79.61	79.09	79.09
W_{act}	J/mol	2219.1	2165.2	2231.3	2207.9	2220.8	2199.8
η_{comp}	%	95.76	84.89	90.29	90.12	85.22	85.16
η_{motor}	%	96.19	96.31	96.27	96.27	96.31	96.31
BHP	kW	715.0	625.6	669.2	663.4	631.2	625.6
$P_{Comp,tem}$	kW	743.3	649.6	695.1	689.1	655.3	649.6

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าด้วยแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยใช้ตัวแปรของแต่ละภาวะปฏิบัติการของโครงการ D182

Project D182		Operating Conditions					
Parameters	Unit	E/C1 (1)	E/C1 (2)	C2 (1)	C2 (2)	D (1)	D (2)
$\dot{m}$	kg/h	18001.2	17977.8	18005	18046.1	13346.9	13297.1
Max $\dot{m}$	kg/h	27000	27000	27000	27000	27000	27000
% $\dot{m}$	%	66.67	66.58	66.69	66.84	49.43	49.25
P_S	barA	23.2	23.21	23.21	23.21	23.61	23.61
P_D	barA	46.1	46.01	44.31	44.21	36.91	36.91
P_R		1.99	1.98	1.91	1.90	1.56	1.56
%Head	%	85.13	84.76	78.44	78.07	49.44	49.44
T_S	°C	27.1	27	27.6	27.5	26.3	26.3
MW	g/mol	17.57	17.5119	19.23	19.23	19.47	19.47
k		1.394	1.3946	1.388	1.388	1.392	1.392
Min P_S	barA	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1
Max P_D	barA	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
R	J/mol.K	8.314	8.314	8.314	8.314	8.314	8.314
W_{isen}	J/mol	1890.1	1883.1	1771.3	1764.0	1184.8	1184.8
η_{isen}	%	78.23	78.21	78.23	78.25	73.53	73.46
W_{act}	J/mol	2416.2	2407.7	2264.2	2254.2	1611.2	1612.9
η_{comp}	%	81.04	80.98	80.67	80.71	64.45	64.32
η_{motor}	%	96.34	96.34	96.34	96.34	95.96	95.95
BHP	kW	848.6	847.9	730.0	728.0	476.1	475.7
$P_{Comp,tem}$	kW	880.8	880.1	757.7	755.7	496.1	495.8

ตัวอย่างการคำนวณกำลังไฟฟ้าโดยละเอียดตามแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยใช้ตัวแปรของภาวะปฏิบัติการ E/C1 (1) โครงการ D182 แสดงในภาคผนวก ง

4.3 การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากแบบคำนวณและกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้จริง

ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากแบบคำนวณ ($P_{Comp,\,tem}$) และกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้จริง ($P_{Comp,\,act}$) ของโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จจำนวน 3 โครงการ คือ D173, D174 และ D182 คำนวณได้จากสมการ (4.1) และแสดงดังตารางที่ 4.4

$$\text{ความคลาดเคลื่อน (\%)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าจากแบบคำนวณ} - \text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง}} \times 100\% \qquad (4.1)$$

ตารางที่ 4.4 ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าจากแบบคำนวณเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้จริงของแต่ละภาวะปฏิบัติการของโครงการ D173, D174 และ D182

Operating Conditions	Power Consumption (kW)		Error (%)
	Actual	Template	
Project D173			
Off-Peak 16.05	366.19	356.17	-2.74
Off-Peak 17.05	357.15	334.32	-6.39
On-Peak 15.40	389.85	375.70	-3.63
On-Peak 16.40	397.89	374.61	-5.85
On-Peak 17.40	398.83	385.90	-3.24
Project D174			
On-Peak Block 1	777.45	743.29	-4.39
Off-Peak Block 1	648.15	649.56	0.22
On-Peak Block 2	700.26	695.14	-0.73
On-Peak Block 2	695.53	689.12	-0.92
Off-Peak Block 2	641.37	655.34	2.18
Off-Peak Block 2	634.11	649.61	2.45
Project D182			
E/C1 (1)	871	880.80	1.12
E/C1 (2)	868	880.07	1.39
C2 (1)	750	757.75	1.03
C2 (2)	746	755.71	1.30
D (1)	437	496.13	13.53
D (2)	439	495.80	12.94

ผลการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากแบบคำนวณและกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้จริงที่ภาวะปฏิบัติการเดียวกัน จำนวน 17 ภาวะปฏิบัติการ พบค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าและใกล้เคียง ±5% มีจำนวน 13 และ 2 ภาวะปฏิบัติการ ตามลำดับ และพบค่าที่มีคลาดเคลื่อนใกล้เคียง +10% จำนวน 2 ภาวะปฏิบัติการ (ตารางที่ 4.4) อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อน ±5% และ +10% เป็นค่าที่บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ยอมรับได้ เพราะ ±5% เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าของบริษัทผู้จำหน่ายอุปกรณ์ ส่วน +10% อาจเป็นผลมาจากการใช้งานเครื่องอัดแก๊สในภาวะปฏิบัติการซึ่งแตกต่างจากภาวะที่ออกแบบ

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

โครงงานสหกิจศึกษานี้ สร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูและคู่มือการใช้งานแบบคำนวณดังกล่าว ภายใต้ความอนุเคราะห์การดำเนินงานของบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) และได้ผลสรุปดังนี้

1. แบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูสามารถสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2007 และข้อมูลจากโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จจำนวน 3 โครงการ คือ D173, D174 และ D182 และแบบคำนวณแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ผู้ใช้งานต้องกรอกข้อมูลตัวแปร เช่น อัตราการไหลเชิงมวล ความดันขาเข้า ความดันขาออก อุณหภูมิแก๊สขาเข้า น้ำหนักโมเลกุล อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ และส่วนที่แสดงผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

2. การทดสอบการใช้งานแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูโดยใช้ตัวแปรของแต่ละภาวะปฏิบัติการของโครงการ D173, D174 และ D182 พบว่าแบบคำนวณสามารถใช้งานได้จริง เพราะเซลล์ที่สร้างฟังก์ชันตามสมการที่กำหนดสามารถแสดงผลการคำนวณได้

3. ความน่าเชื่อถือของแบบคำนวณตรวจสอบโดยเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากแบบคำนวณและกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้จริงที่ภาวะปฏิบัติการเดียวกัน จำนวน 17 ภาวะปฏิบัติการ พบความคลาดเคลื่อน ±5% จำนวน 15 ภาวะปฏิบัติการ และ +10% จำนวน 2 ภาวะปฏิบัติการ

- ความคลาดเคลื่อน ±5% เป็นค่าที่บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ยอมรับได้ เพราะบริษัทผู้จำหน่ายอุปกรณ์แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่ากำลังไฟฟ้าไว้ที่ ±5% เช่นกัน
- ความคลาดเคลื่อน +10% ยังเป็นค่าที่บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ยอมรับได้ เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้รวมของโรงไฟฟ้าจะคิดจากค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ภาวะออกแบบสูงสุด (Maximum Design Conditions) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า ±5% ทั้ง 3 โครงการ

4. การใช้งานแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจะช่วยประหยัดเวลาในการประมาณกำลังไฟฟ้าเบื้องต้นสำหรับใช้งานภายในบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแบบคำนวณนี้สร้างโดยใช้ข้อมูลตัวแปรโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จเพียง 3 แห่งเท่านั้น จึงควรใช้ค่าประมาณกำลังไฟฟ้าเบื้องต้นภายในบริษัทเท่านั้น ไม่ควรใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับการเสนอราคาจริงต่อเจ้าของโครงการ

5. บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) สามารถพัฒนาต่อยอดการใช้งานแบบคำนวณ โดยศึกษาเพิ่มเติมจากคู่มือการใช้งานแบบคำนวณที่ได้จากโครงงานสหกิจศึกษานี้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาต่อยอดการสร้างแบบคำนวณที่ให้ค่าประมาณกำลังไฟฟ้าที่มีความแม่นยำและสามารถใช้ได้กับทุกค่าภาวะปฏิบัติการ ควรทำการทดสอบการวิเคราะห์การอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการคำนวณ

2. การปรับปรุงข้อมูลตัวแปรให้เป็นปัจจุบัน จะทำให้ได้แบบคำนวณที่มีความแม่นยำสูง เช่น ควรปรับข้อมูลประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูให้เป็นปัจจุบันกว่าที่ใช้อ้างอิงในโครงงานนี้ (ค.ศ. 2006) หรือควรศึกษาประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ใช้งานอยู่เป็นประจำเพื่อจัดทำคุณลักษณะของเครื่องอัดแก๊สดังกล่าว

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2558. **ตำราฝึกอบรบผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านไฟฟ้า ตอนที่ 4 บทที่ 1 ระบบปรับอากาศ ปั๊มน้ำและพัดลม.** [Online]. Available : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Elec/Elec_7.pdf

บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน). 2014. **ข้อมูลบริษัท.** [Online]. Available : http://www.ttcl.com/about/company_profile

Brasz JJJ. 2006. **Comparison of Part-Load Efficiency Characteristics of Screw and Centrifugal Compressors.** [Online]. Available: https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2826&context=icec

Cengel YA. and Boles MA. 2015. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** 8th Ed. New York: McGraw-Hill Education

Leuven GV., Henneberger S., and Latham C. 2009. **Theory and Experiment Study on Energy Efficiency of Twin Screw Blowers Compared to Rotary Lobe Blowers.** [Online]. Available: https://www.plantservices.com/assets/Media/1402/white-paper/twin-screw-blowers.pdf

Tony Giampaolo. 2010. **Compressor Handbook: Principles and Practice by Tony Gianpaolo.** Georgia: The Fairmont Press, Inc.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
สมการประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

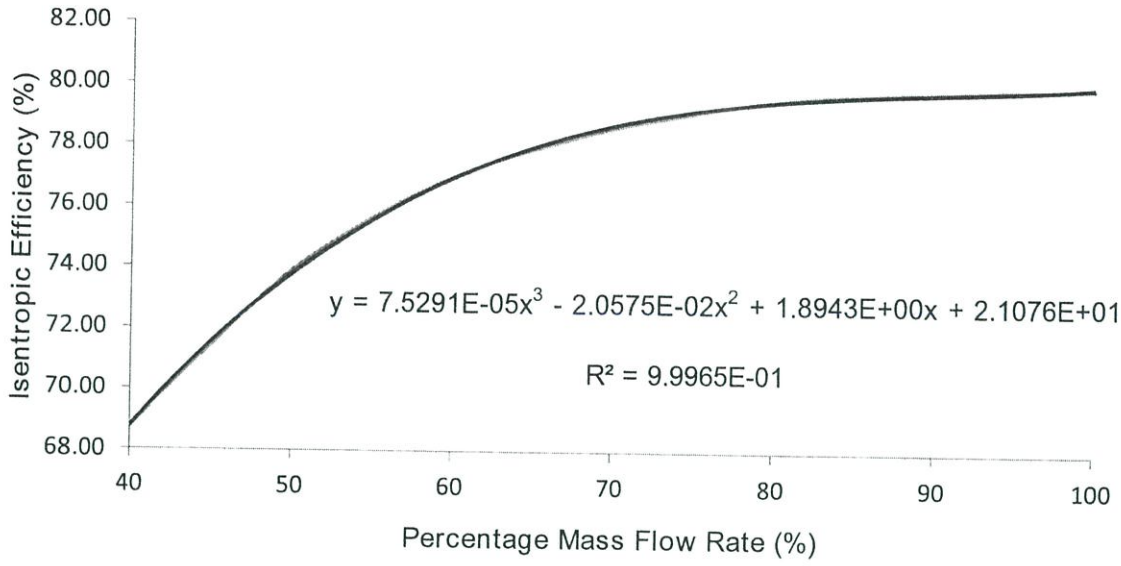
การหาสมการประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (η_{isen}) ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องเป่าชนิดสกรูจากภาพที่ 2.6 ในบทที่ 2 เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่แต่ละร้อยละอัตราการไหลเชิงมวลระหว่าง 40, 45, 50, ..., 100% (ตารางที่ ก.1)

ตารางที่ ก.1 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องเป่าชนิดสกรูที่แต่ละร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล

Percentage Mass Flow Rate (%)	Isentropic Efficiency (%)
40	68.75
45	71.42
50	73.88
55	75.63
60	76.96
65	77.89
70	78.60
75	79.12
80	79.53
85	79.73
90	79.84
95	79.94
100	80.00

2. สร้างสมการประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยใช้ฟังก์ชัน Polynomial Trendline Equation ของ Microsoft Excel 2007 และค่าประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องเป่าชนิดสกรู (ตารางที่ ก.1) ผลลัพธ์แสดงดังภาพที่ ก.1 และสมการ (ก.1) ตามลำดับ



ภาพที่ ก.1 สมการประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

$$\eta_{isen} = 7.5291E\text{-}05x^3 - 2.0575E\text{-}02x^2 + 1.8943E+00x + 2.1076E+01 \quad (ก.1)$$

โดย η_{isen} คือ ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (%)

X คือ ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (%)

ภาคผนวก ข

สมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดันคงที่

การหาสมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (η_{comp}) ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

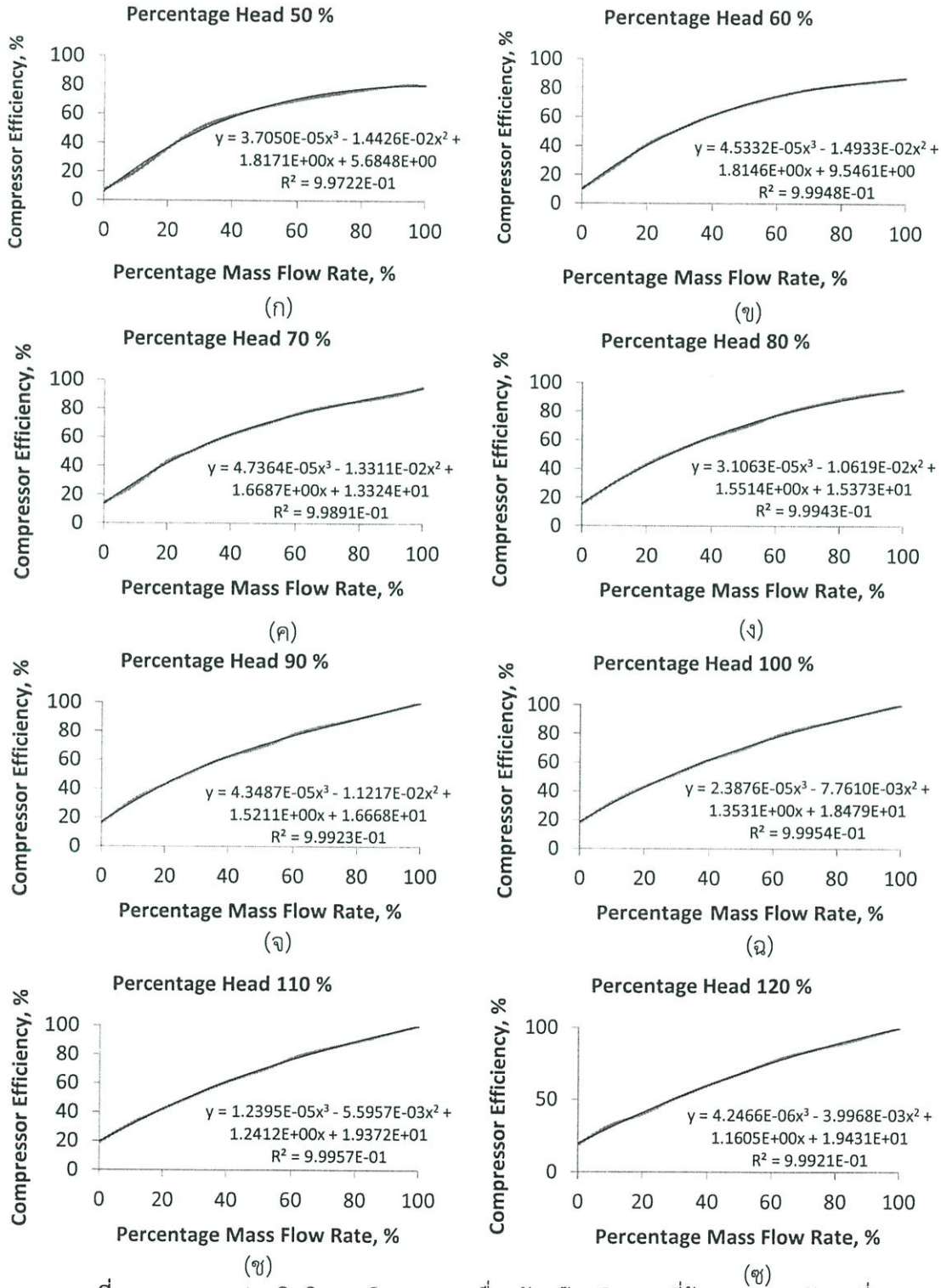
1. ศึกษาข้อมูลประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากภาพที่ 2.7 ในบทที่ 2 เพื่อใช้อ้างอิง โดยกำหนดให้ร้อยละความดัน (Percentage Head, %) คงที่ จำนวน 8 ค่า ระหว่าง 50, 60, 70,..., 120% จากนั้นหาค่าประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่แต่ละร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (ตารางที่ ข.1)

ตารางที่ ข.1 ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดันคงที่

Percentage Head (%)							
50		60		70		80	
$\%\dot{m}$ (%)	η_{comp} (%)	$\%\dot{m}$ (%)	η_{comp} (%)	$\%\dot{m}$ (%)	η_{comp} (%)	$\%\dot{m}$ (%)	η_{comp} (%)
0.00	7	0.00	10	0.00	14	0.00	15
10.00	20	10.00	25	10.00	27	10.00	30
20.00	36	20.00	41	20.00	43	20.00	43
29.72	50	28.13	50	27.45	50	26.54	50
42.19	60	38.56	60	37.88	60	37.43	60
61.02	70	52.85	70	51.49	70	51.49	70
90.96	80	72.36	80	66.46	80	64.42	80
100.00	80	100.00	87	91.64	90	84.16	90
				100.00	95	100.00	95
90		100		110		120	
$\%\dot{m}$ (%)	η_{comp} (%)	$\%\dot{m}$ (%)	η_{comp} (%)	$\%\dot{m}$ (%)	η_{comp} (%)	$\%\dot{m}$ (%)	η_{comp} (%)
0.00	16	0.00	18	0.00	19	0.00	19
10.00	32	10.00	32	10.00	32	10.00	32
20.00	43	20.00	43	20.00	42	20.00	40
26.99	50	27.67	50	28.35	50	29.26	50
37.20	60	38.10	60	39.01	60	40.37	60
51.49	70	51.49	70	52.17	70	52.63	70
63.06	80	63.29	80	63.74	80	64.95	80
82.14	90	81.44	90	82.12	90	83.25	90
100.00	100	100.00	100	100.00	100	100.00	100

* $\%\dot{m}$ คือ ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (%)

2. สร้างสมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดันคงที่ โดยใช้ฟังก์ชัน Polynomial Trendline Equation ของ Microsoft Excel 2007 และค่าประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดันคงที่ (ตารางที่ ข.1) ผลลัพธ์แสดงดังภาพที่ ข.1 (ก)-(ซ) และสมการ (ข.1)-สมการ (ข.8) ตามลำดับ



ภาพที่ ข.1 สมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดันคงที่ (ก) 50%, (ข) 60%, (ค) 70%, (ง) 80%, (จ) 90%, (ฉ) 100%, (ช) 110% และ (ซ) 120%

$\eta_{comp,\ 50}$ = 3.7050E-05x^3 - 1.4426E-02x^2 + 1.8171E+00x + 5.6848E+00 (ข.1)

$\eta_{comp,\ 60}$ = 4.5332E-05x^3 - 1.4933E-02x^2 + 1.8146E+00x + 9.5461E+00 (ข.2)

$\eta_{comp,\ 70}$ = 4.7364E-05x^3 - 1.3311E-02x^2 + 1.6687E+00x + 1.3324E+01 (ข.3)

$\eta_{comp,\ 80}$ = 3.1063E-05x^3 - 1.0619E-02x^2 + 1.5514E+00x + 1.5373E+01 (ข.4)

$\eta_{comp,\ 90}$ = 4.3487E-05x^3 - 1.1217E-02x^2 + 1.5211E+00x + 1.6668E+01 (ข.5)

$\eta_{comp,\ 100}$ = 2.3876E-05x^3 - 7.7610E-03x^2 + 1.3531E+00x + 1.8479E+01 (ข.6)

$\eta_{comp,\ 110}$ = 1.2395E-05x^3 - 5.5957E-03x^2 + 1.2412E+00x + 1.9372E+01 (ข.7)

$\eta_{comp,\ 120}$ = 4.2466E-06x3 - 3.9968E-03x2 + 1.1605E+00x + 1.9431E+01 (ข.8)

โดย η_{comp} คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (%)

X คือ ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (%)

กรณีที่ต้องการทราบค่าประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดันนอกเหนือจากที่ระบุในข้อที่ 1 เช่น ที่ร้อยละความดัน 85% ให้สร้างสมการใหม่ (สมการ (ข.9)) จากฟังก์ชันการประมาณในช่วง (Interpolation) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ดังแสดงในแบบคำนวณสัมประสิทธิ์ (ภาพที่ ข.2) ด้วย Microsoft Excel 2007

Percentage Head (%)	Coefficient			
	A3 (x^3)	A2 (x^2)	A1 (x^1)	A0 (x^0)
0	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
50	0.000037050	-0.014426000	1.817100000	5.684800000
60	0.000045332	-0.014933000	1.814600000	9.546100000
70	0.000047364	-0.013311000	1.668700000	13.324000000
80	0.000031063	-0.010619000	1.551400000	15.373000000
90	0.000043487	-0.011217000	1.521100000	16.668000000
100	0.000023876	-0.007761000	1.353100000	18.479000000
110	0.000012395	-0.005595700	1.241200000	19.372000000
120	0.000004247	-0.003996800	1.160500000	19.431000000
85	**0.000037275**	**-0.010918000**	**1.536250000**	**16.020500000**

ภาพที่ ข.2 แบบคำนวณสัมประสิทธิ์ของสมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู ที่ร้อยละความดัน 85%

$\eta_{comp,\ 85}$ = 3.7275E-05x^3 – 1.0918E-02x^2 + 1.532625E+00x + 1.60205E+01 (ข.9)

โดย η_{comp} คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (%)

X คือ ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (%)

ภาคผนวก ค
สมการประสิทธิภาพมอเตอร์

การหาสมการประสิทธิภาพมอเตอร์ (η_{motor}) ที่เหมาะสมสำหรับสร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จดังภาพที่ ค.1 (ก)-(จ) และสรุปค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ที่แต่ละร้อยละอัตราการไหลดังตารางที่ ค.1

Partial load P/P_N	5/4	4/4	3/4	2/4	
Efficiency η	96.3	96.5	96.4	95.9	%
Power factor cosφ	0.88	0.89	0.88	0.84	

(ก)

Wirkungsgradklassif. nach Norm Efficiency class acc. to	IEC 60034-2-1 (2007)			
Teillast P/P_N *Partial load P/P_N*	5/4	4/4	3/4	2/4
Wirkungsgrad η % *Efficiency η %*	95,7 %	96,1 %	96,3 %	96,0 %
Leistungsfaktor cos φ *Power factor cos φ*	0,88	0,88	0,87	0,82

(ข)

Calculated Partial Load Data:

P/P_N	1.25	1.00	0.75	0.50	
cos φ	0.90	0.90	0.88	0.84	
η [%]	96.4	96.6	96.6	96.0	

(ค)

Load characteristics	Load %	Current A	Efficiency %	Power Factor
	100	100	95.7	0.91
	75	75	95.9	0.91
	50	52	95.5	0.89

(ง)

Efficiency		
	50% Load	94.8 %
	75% Load	95.3 %
	100% Load	95.5 %
Power Factor(p.u)		
	50% Load	0.80
	75% Load	0.86
	100% Load	0.90

(จ)

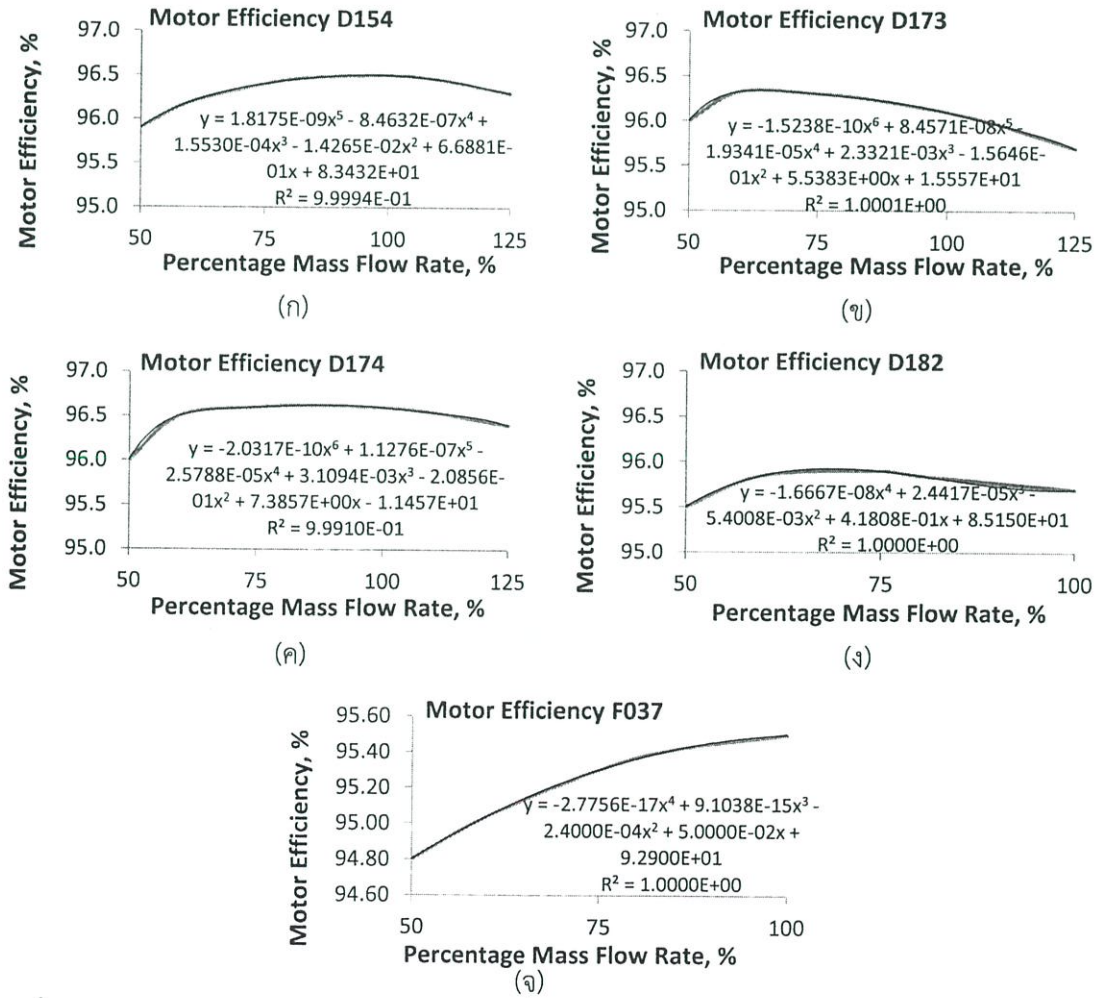
ภาพที่ ค.1 ข้อมูลประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูของโครงการโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ (ก) D154, (ข) D173, (ค) D174, (ง) D182, และ (จ) F037

ตารางที่ ค.1 ประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ

Project D154		Project D173		Project D174		Project D182		Project F037	
$\%\dot{m}$ (%)	η_{motor} (%)	$\%\dot{m}$ (%)	η_{motor} (%)	$\%\dot{m}$ (%)	η_{motor} (%)	$\%\dot{m}$ (%)	η_{motor} (%)	$\%\dot{m}$ (%)	η_{motor} (%)
50	95.90	50	96.00	50	96.00	50	95.5	50	94.80
60	96.20	60	96.32	60	96.50	60	95.85	60	95.04
75	96.40	75	96.30	75	96.60	75	95.9	75	95.30
85	96.48	85	96.24	85	96.62	80	95.85	85	95.42
100	96.50	100	96.10	100	96.60	100	95.7	100	95.50
110	96.46	110	95.96	110	96.54				
125	96.30	125	95.70	125	96.40				

* $\%\dot{m}$ คือ ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (%)

2. สร้างสมการประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยใช้ฟังก์ชัน Polynomial Trendline Equation ของ Microsoft Excel 2007 และค่าสมการประสิทธิภาพมอเตอร์ (ตารางที่ ค.1) ผลลัพธ์แสดงดังภาพที่ ค.2 (ก)-(จ) และสมการ (ค.1)-สมการ (ค.5) ตามลำดับ



ภาพที่ ค.2 สมการประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูของโครงการโรงไฟฟ้าแก๊สธรรมชาติที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ (ก) D154, (ข) D173, (ค) D174, (ง) D182 และ (จ) F037

η_{motor} D154 = 1.8175E-09x^5 - 8.4632E-07x^4 + 1.5530E-04x^3 - 1.4265E-02x^2 + 6.6881E-01x + 8.3432E+01 (ค.1)

η_{motor} D173 = -1.5238E-10x^6 + 8.4571E-08x^5 - 1.9341E-05x^4 + 2.3321E-03x^3 - 1.5646E-01x^2 + 5.5383E+00x + 1.5557E+01 (ค.2)

η_{motor} D174 = -2.0317E-10x^6 + 1.1276E-07x^5 - 2.5788E-05x^4 + 3.1094E-03x^3 - 2.0856E-01x^2 + 7.3857E+00x - 1.1457E+01 (ค.3)

η_{motor} D182 = -1.6667E-08x^4 + 2.4417E-05x^3 - 5.4008E-03x^2 + 4.1808E-01x + 8.5150E+01 (ค.4)

η_{motor} F037 = -2.7756E-17x^4 + 9.1038E-15x^3 - 2.4000E-04x^2 + 5.0000E-02x + 9.2900E+01 (ค.5)

โดย η_{motor} คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู(%)

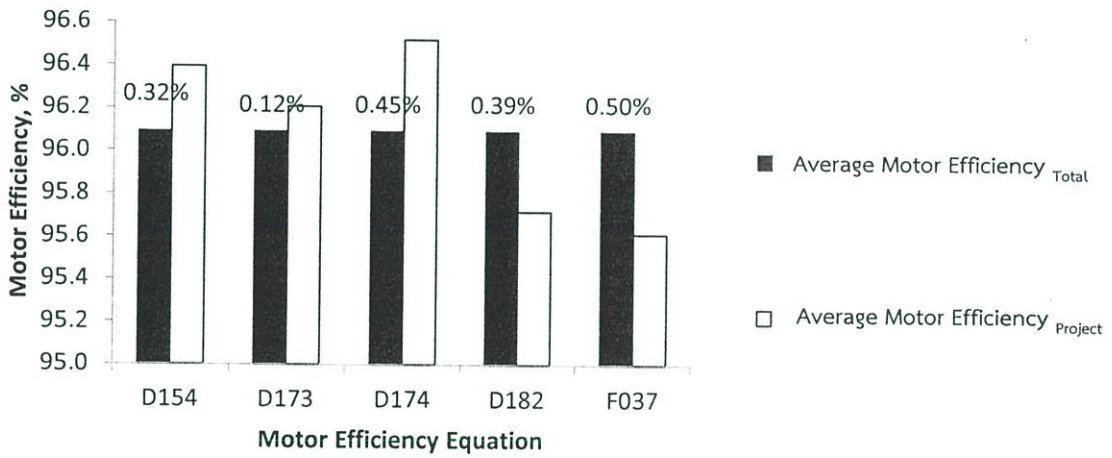
X คือ ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (%)

3. เลือกสมการประสิทธิภาพมอเตอร์ที่สามารถใช้ได้กับทุกภาวะปฏิบัติการและทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เพื่อสร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยแทนค่าร้อยละอัตราการไหลเชิงมวลที่ได้จากแต่ละโครงการ (D174, D182, P431, P452 และ P460) ในสมการ (ค.1)-สมการ (ค.5) ผลการคำนวณประสิทธิภาพมอเตอร์แสดงดังตารางที่ ค.2 และความคลาดเคลื่อนของประสิทธิภาพมอเตอร์แสดงดังภาพที่ ค.3

ตารางที่ ค.2 ผลการคำนวณประสิทธิภาพมอเตอร์

Project	Operating Conditions	Percentage Mass Flow Rate (%)	η_{motor} (%)				
			สมการ (ค.1)	สมการ (ค.2)	สมการ (ค.3)	สมการ (ค.4)	สมการ (ค.5)
D174	Normal on peak	95.03	96.51	96.17	96.57	95.70	95.85
	Normal off peak	74.42	96.40	96.31	96.57	95.85	95.51
	Extreme on peak	85.58	96.48	96.25	96.59	95.77	95.71
	Design	100.00	96.51	96.12	96.54	95.60	95.90
	Siemen off peak	74.44	96.40	96.31	96.57	95.85	95.51
D182	E/C1	91.95	96.50	96.20	96.58	95.73	95.81
	C2	87.45	96.49	96.24	96.59	95.76	95.74
	D	63.67	96.26	96.34	96.54	95.87	95.27
	Min	61.42	96.22	96.34	96.51	95.84	95.22
	Max	100.00	96.51	96.12	96.54	95.60	95.90

Project	Operating Conditions	Percentage Mass Flow Rate (%)	η_{motor} (%)				
			สมการ (ค.1)	สมการ (ค.2)	สมการ (ค.3)	สมการ (ค.4)	สมการ (ค.5)
P431	Normal	97.22	96.51	96.15	96.56	95.66	95.87
	Max	100.00	96.51	96.12	96.54	95.60	95.90
P452	50%	63.00	96.25	96.34	96.53	95.86	95.26
	100%	97.67	96.51	96.14	96.56	95.65	95.88
	Design	100.00	96.51	96.12	96.54	95.60	95.90
P460	Normal load	75.63	96.41	96.30	96.58	95.85	95.54
	Half load	50.00	95.90	96.00	95.99	95.49	94.90
	Design min	56.02	96.10	96.27	96.38	95.73	95.07
	Design max	100.00	96.51	96.12	96.54	95.60	95.90
Average Motor Efficiency $_{Project}$ (%)			96.39	96.21	96.52	95.72	95.61
Average Motor Efficiency $_{Total}$ (%)			96.09				
Error (%)			0.32	0.12	0.45	0.39	0.50



ภาพที่ ค.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของประสิทธิภาพมอเตอร์

การสร้างแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจะเลือกใช้สมการที่ให้ค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด (Average Motor Efficiency $_{Total}$) คือ สมการ (ค.2) ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.12% (ตารางที่ ค.2 และภาพที่ ค.3)

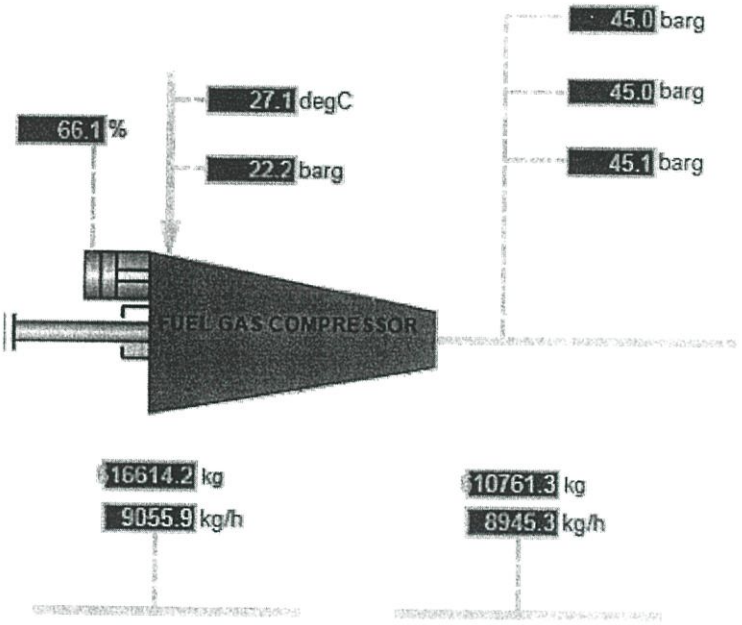
η_{motor} = -1.5238E-10x^6 + 8.4571E-08x^5 - 1.9341E-05x^4 + 2.3321E-03x^3 - 1.5646E-01x^2 + 5.5383E+00x + 1.5557E+01 (ค.2)

โดย η_{motor} คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (%)

X คือ ร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล (%)

ภาคผนวก ง
ตัวอย่างการคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู

การคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากแบบคำนวณ ($P_{Comp,tem}$) ที่ภาวะปฏิบัติการ E/C1 (1) ซึ่งเป็นภาวะออกแบบสูงสุด (Maximum Design Condition) ของโครงการ D182 จะกรอกข้อมูลตัวแปร (ภาพที่ ง.1 และภาพที่ ง.2) ในแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (ภาพที่ ง.3) ทั้งนี้ความดันขาเข้าเครื่องอัดแก๊สต่ำสุดและความดันขาออกเครื่องอัดแก๊สสูงสุดให้ใช้ตามข้อมูลคุณลักษณะของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู



ภาพที่ ง.1 ข้อมูลตัวแปรที่ภาวะปฏิบัติการ E/C1 (1) โครงการ D182

Component Name	Mole Percent
C6+ 47/35/17	0.0106%
Propane	0.3998%
i-Butane	0.0925%
n-Butane	0.0814%
Neopentane	0.0003%
i-Pentane	0.0223%
n-Pentane	0.0140%
Nitrogen	1.6343%
Methane	92.3489%
Carbon Dioxide	2.6721%
Ethane	2.7238%
TOTALS	100.0000%

ภาพที่ ง.2 ค่าองค์ประกอบของแก๊สธรรมชาติที่ภาวะปฏิบัติการ E/C1 (1) โครงการ D182

Project D182		Operating Conditions					
Parameters	Unit	E/C1 (1)					
$\dot{m}$	kg/h	18001.2					
Max $\dot{m}$	kg/h	27000					
% $\dot{m}$	%	66.67					
P_S	barA	23.2					
P_D	barA	46.1					
P_R		1.99					
%Head	%	85.13					
T_S	°C	27.1					
MW	g/mol	17.57					
k		1.394					
Min P_S	barA	21.1					
Max P_D	barA	48.0					
R	J/mol.K	8.314					
W_{isen}	J/mol	1890.1					
η_{isen}	%	78.23					
W_{act}	J/mol	2416.2					
η_{comp}	%	81.04					
η_{motor}	%	96.34					
BHP	kW	848.6					
$P_{Comp,tem}$	kW	880.8					

ภาพที่ ง.3 การใช้งานแบบคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู ที่ภาวะปฏิบัติการ E/C1 (1) ของโครงการ D182

กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากแบบคำนวณ ($P_{Comp,tem}$) เป็นตัวกำหนดพิกัดมอเตอร์ ซึ่งใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ใช้รวมของโรงไฟฟ้า

การแสดงวิธีคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูโดยละเอียด ประกอบด้วย 8 ขั้นตอน ดังภาพที่ 3.2 ในบทที่ 3 คือ

1. คำนวณงานในการอัดแก๊สแบบไอเซนโทรปิกสำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (W_{isen}) โดยแทนค่าตัวแปรข้างต้น (ภาพที่ ง.3) ในสมการ (2.1) ในบทที่ 2

$$W_{isen} = \frac{kR(T_S+273)}{k-1}\left[\left(\frac{P_D}{P_S}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] \quad (2.1)$$

$$W_{isen} = \frac{1.394\times 8.314\left[\frac{J}{mol.K}\right]\times(27.1[°C]+273)}{1.394-1}\left[\left(\frac{46.1[barA]}{23.2[barA]}\right)^{\frac{1.394-1}{1.394}} - 1\right]$$

$$W_{isen} = 1890.7887\left[\frac{J}{mol}\right]$$

2. คำนวณประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (η_{isen}) ตามขั้นตอนดังนี้

- คำนวณร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล โดยแทนค่าตัวแปรข้างต้น (ภาพที่ ง.3) ในสมการ (ง.1)

$$\text{Percentage Mass Flow Rate} = \frac{\dot{m}}{\text{Max } \dot{m}} \times 100 \quad (ง.1)$$

$$\text{Percentage Mass Flow Rate} = \frac{18001.2}{27000} \times 100$$

$$\text{Percentage Mass Flow Rate} = 66.67\ \%$$

- คำนวณประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู โดยแทนค่าร้อยละอัตราการไหล 66.67% ในสมการ (ก.1) ในภาคผนวก ก

$$\eta_{isen} = 7.5291E\text{-}05x^3 - 2.0575E\text{-}02x^2 + 1.8943E+00x + 2.1076E+01 \quad (ก.1)$$

$$\eta_{isen} = 7.5291E\text{-}05\times(66.67)^3 - 2.0575E\text{-}02\times(66.67)^2 + 1.8943E+00\times(66.67) + 2.1076E+01$$

$$\eta_{isen} = 78.5\%$$

3. คำนวณงานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊สของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (W_{act}) โดยแทนค่างานในการอัดแก๊สแบบไอเซนโทรปิกสำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (W_{isen}) และประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (η_{isen}) ในสมการ (2.2) ในบทที่ 2

$$\eta_{isen} = \frac{W_{isen}}{W_{act}} \quad (2.2)$$

$$W_{act} = \frac{W_{isen}}{\eta_{isen}}$$

$$W_{act} = \frac{1890.7887\left[\frac{J}{mol}\right]}{78.5\ [\%]}$$

$$W_{act} = 2408.648\left[\frac{J}{mol}\right]$$

4. คำนวณประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (η_{comp}) ตามขั้นตอนดังนี้

- คำนวณร้อยละความดัน โดยแทนค่าตัวแปรข้างต้น (ภาพที่ ง.3) ในสมการ (ง.2)

$$\text{Percentage Head} = \frac{P_D - P_S}{\text{Max } P_D - \text{Min } P_S} \times 100 \qquad \text{(ง.2)}$$

$$\text{Percentage Head} = \frac{46.1[barA] - 23.2[barA]}{48.0[barA] - 21.1[barA]} \times 100$$

$$\text{Percentage Head} = 85.13\ \%$$

- คำนวณสัมประสิทธิ์ของสมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดัน 85.13% โดยใช้แบบคำนวณสัมประสิทธิ์ (ภาพที่ ง.4) และได้สมการประสิทธิภาพเชิงกลที่ร้อยละความดัน 85.13% ($\eta_{comp,85.13}$) ดังสมการ (ง.3)

Percentage Head (%)	Coefficient			
	A3 (x^3)	A2 (x^2)	A1 (x^1)	A0 (x^0)
0	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
50	0.000037050	-0.014426000	1.817100000	5.684800000
60	0.000045332	-0.014933000	1.814600000	9.546100000
70	0.000047364	-0.013311000	1.668700000	13.324000000
80	0.000031063	-0.010619000	1.551400000	15.373000000
90	0.000043487	-0.011217000	1.521100000	16.668000000
100	0.000023876	-0.007761000	1.353100000	18.479000000
110	0.000012395	-0.005595700	1.241200000	19.372000000
120	0.000004247	-0.003996800	1.160500000	19.431000000
85.13	**0.000037436**	**-0.010925781**	**1.535855762**	**16.037349440**

ภาพที่ ง.4 แบบคำนวณสัมประสิทธิ์ของสมการประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดัน 85.13%

$$\eta_{comp,85.13} = 0.000037436x^3 - 0.010925781x^2 + 1.535855762x + 16.037349440 \qquad \text{(ง.3)}$$

- คำนวณประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดัน 85.13% โดยแทนค่าร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล 66.67% ในสมการ (ง.3)

$$\eta_{comp,85.13} = 0.000037436\times(66.67)^3 - 0.010925781\times(66.67)^2 + 1.535855762\times(66.67) + 16.037349440$$

$$\eta_{comp,85.13} = 80.96\%$$

5. คำนวณงานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในทางปฏิบัติ (W_{shaft}) โดยแทนค่างานที่ต้องใช้จริงสำหรับการอัดแก๊สของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (W_{act} หรือ W_{comp}) และประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ร้อยละความดัน 85.13% ($\eta_{comp,85.13}$) ในสมการ (2.3) ในบทที่ 2

$$\eta_{comp} = \frac{W_{comp}}{W_{shaft}} \quad (2.3)$$

$$W_{shaft} = \frac{W_{comp}}{\eta_{comp}}$$

$$W_{shaft} = \frac{2408.648\ [\frac{J}{mol}]}{80.96\ [\%]}$$

$$W_{shaft} = 2975.1086\ [\frac{J}{mol}]$$

6. คำนวณกำลังม้าเบรก (BHP) โดยแทนค่างานที่เพลาของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูในทางปฏิบัติ (W_{shaft}) ในสมการ (3.1) ในบทที่ 3

$$BHP = \frac{\dot{m} \times W_{shaft}}{3600 \times MW} \quad (3.1)$$

$$BHP = \frac{18001.2\ [\frac{kg}{h}] \times 2975.1086 [\frac{J}{mol}]}{3600\ [\frac{s}{h}] \times 17.57 [\frac{g}{mol}]}$$

$$BHP = \frac{18001.2\ [\frac{kg}{h}] \times 2975.1086 [\frac{J}{mol}]}{3600\ [\frac{s}{h}] \times 17.57 [\frac{g}{mol}]}$$

$$BHP = 846.70\ [kW]$$

7. คำนวณประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (η_{motor}) โดยแทนค่าร้อยละอัตราการไหลเชิงมวล 66.67% ในสมการ (ค.2) ในภาคผนวก ค

η_{motor} = -1.5238E-10x^6 + 8.4571E-08x^5 – 1.9341E-05x^4 + 2.3321E-03x^3 – 1.5646E-01x^2 + 5.5383E+00x + 1.5557E+01 (ค.2)

η_{motor} = -1.5238E-10x$(66.67)^6$ + 8.4571E-08x$(66.67)^5$ – 1.9341E-05x$(66.67)^4$ + 2.3321E-03x$(66.67)^3$ – 1.5646E-01x$(66.67)^2$ +5.5383E+00x(66.67) + 1.5557E+01

$$\eta_{motor} = 96.34\%$$

8. คำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู ($P_{Comp,tem}$) โดยแทนค่ากำลังม้าเบรก (BHP) และประสิทธิภาพมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรู (η_{motor}) ในสมการ (3.2) ในบทที่ 3

$$P_{Comp,tem}(\text{kW}) = \frac{\text{BHP}}{\eta_{motor}} \quad (3.2)$$

$$P_{Comp,tem}(\text{kW}) = \frac{846.70\ [\text{kW}]}{96.34\ [\%]}$$

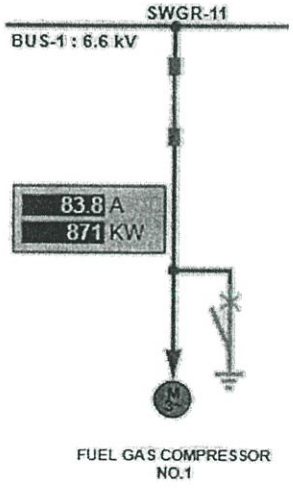
$$P_{Comp,tem}(\text{kW}) = 878.86\ [\text{kW}]$$

การแสดงวิธีคำนวณความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูโดยละเอียด โดยแทนค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูจากแบบคำนวณ ($P_{Comp,\,tem}$) เท่ากับ 878.86 kW และกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้จริง ($P_{Comp,\,act}$) เท่ากับ 871 kW (ภาพที่ ง.5) ในสมการ (4.1) ในบทที่ 4

$$\text{ความคลาดเคลื่อน (\%)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าจากแบบคำนวณ} - \text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง}} \times 100 \quad (4.1)$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อน (\%)} = \frac{878.86\ [\text{kW}]\text{-}871[\text{kW}]}{871[\text{kW}]} \times 100$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อน (\%)} = 0.9\%$$



ภาพที่ ง.5 กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริงของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูที่ภาวะปฏิบัติการ E/C1 (1) โครงการ D182

การแสดงวิธีคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูโดยละเอียด และการแสดงวิธีคำนวณคลาดเคลื่อนกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดแก๊สชนิดสกรูโดยละเอียด จะมีความความเคลื่อนจากแบบคำนวณ (ตารางที่ 4.4 ในบทที่ 4) 0.22% เพราะใช้ค่าทศนิยมเพียง 2 ตำแหน่ง ในการคำนวณเท่านั้น

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเดโชชัย สายต่างใจ
วัน เดือน ปีเกิด	17 ธันวาคม 2538
ที่อยู่	59/15 หมู่ ต.ท่าทอง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000
E-mail	day38324@gmail.com
โทรศัพท์	081-675-3765

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2551-2553 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- พ.ศ. 2554-2556 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- พ.ศ. 2557-ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์

- นักศึกษาฝึกงาน ตำแหน่ง Facilities Engineer แผนก Operation Support North บริษัท เชฟรอนประเทศไทยสำรวจและผลิต จำกัด ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2560
- นักศึกษาโครงการสหกิจศึกษา ตำแหน่ง วิศวกร แผนกโรงไฟฟ้า บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ระหว่างวันที่ 7 สิงหาคม ถึง 24 พฤศจิกายน 2560