

การประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวม
เป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องกำเนิดไอน้ำ

EFFICIENCY ASSESSMENT OF A SINGLE-UNIT COMBINED
CO-GENERATION OF DIESEL-ENGINE AND STEAM-GENERATOR

กิตติภพ ทองลิ่ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบโคเจนเนอเรชันแบบ
รวมเป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องกำเนิดไอน้ำ

กิตติภพ ทองลิ้ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็น
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้า
ขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

This thesis consists of research materials conducted at the Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi and hence the copyright owner.
I hereby certify that the thesis does not contain any forms of plagiarism.

กิตติภาพ ทองลิ้ม

(กิตติภาพ ทองลิ้ม)



หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวม
เป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องกำเนิดไอน้ำ

Efficiency Assessment of a Single-Unit Combined Co-generation of
Diesel Engine and Steam Generator

ชื่อ - นามสกุล

นายกิตติภพ ทองลิ่ม

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

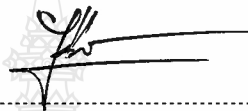
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.

ปีการศึกษา

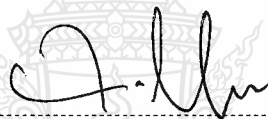
2566

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ฉัตรชัย นิยมล, พร.ด.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานพ แย้มแพง, พร.ด.)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.)

วันที่ 26 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2566

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบโคเจนเนอเรชั่นแบบรวมเป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ
ชื่อ — นามสกุล	นายกิตติภาพ ทองลัม
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.
ปีการศึกษา	2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบโคเจนเนอเรชั่นรูปแบบใหม่สำหรับผลิตงานกลและไอน้ำ ซึ่งระบบที่เสนอนี้เป็นหลักการที่สำคัญคือ การนำความร้อนที่สูญเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งปกติเครื่องยนต์ดีเซลทั่ว ๆ ไปจะมีการสูญเสียความร้อนไปในไอเสีย น้ำหล่อเย็น และพื้นผิวของเครื่องยนต์ รวมกันประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากสามารถนำความร้อนที่สูญเสียปริมาณสูงดังกล่าวนี้กลับมาใช้ประโยชน์ เช่น ในงานวิจัยนี้นำไปใช้ในการผลิตไอน้ำ ก็จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพรวมของระบบได้นั่นเอง

ระบบทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบประกอบด้วยเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวสี่จังหวะที่ถูกติดตั้งไว้ในถังความดัน มีการติดตั้งระบบปั้มน้ำและท่อทางเพื่อให้สามารถดำเนินการศึกษาเชิงทดลองได้ 3 รูปแบบ คือ 1) แบบเปิดฝาถังและระบายไอเสียออกภายนอก 2) แบบปิดฝาถังและระบายไอเสียออกภายนอก และ 3) แบบปิดฝาถังและหมุนเวียนไอสียวนกลับเข้าถัง

ผลการทดลองพบว่า การนำความร้อนที่สูญเสียทั้งหมดจากเครื่องยนต์สันดาปภายในสามารถผลิตไอน้ำได้ที่อุณหภูมิและความดันเกจประมาณ 122 องศาเซลเซียส และ 1.5 บาร์ ตามลำดับ ซึ่งในกรณีการทดลองการนำไอสียวนกลับเข้าไปในถังความดันส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ลดลงจากร้อยละ 22 เป็นร้อยละ 18 แต่หากพิจารณาไอน้ำที่ผลิตได้จะมีประสิทธิภาพรวมสูงขึ้น

คำสำคัญ: การผลิตไอน้ำ โคเจนเนอเรชั่น เครื่องยนต์ดีเซล เครื่องผลิตไอน้ำ

Thesis Title	Efficiency Assessment of a Single-Unit Combined Co-generation of Diesel Engine and Steam Generator
Name — Surname	Mr. Kittipop Thonglim
Program	Mechanical Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Boonrit Prasartkaew, D.Eng.
Academic Year	2023

ABSTRACT

This research aimed to experimentally investigate the performance of a novel co-generation system designed for mechanical work and steam generation. The primary concept underlying the proposed system involved utilizing the heat losses from the internal combustion engine as a useful output. These heat losses, such as exhaust gas, cooling water, and surface loss, typically account for about 60% of a typical engine's total energy. If this high level of heat losses can be recovered and utilized for steam generation, as demonstrated in this research, the overall thermal efficiency will be increased.

The experimental setup consisted of a single cylinder four-stroke diesel engine installed in a pressure vessel, along with a water pump and a plumbing system. Three system configurations were operated: 1) the tank lid was opened, and the exhaust gas was released into the atmosphere, 2) the tank lid was closed, and the exhaust gas was released into the atmosphere, and 3) the tank lid was closed, and the exhaust gas was circulated back into the tank.

The results of the experimental study revealed that all dissipated heat from internal combustion could be used to generate steam with a temperature and pressure of 122°C and 1.5 bar, respectively. The induction of exhaust gas back into the pressure shell resulted in lower engine thermal efficiency, decreasing from 22% to 18%. However, if the generated steam was considered as a useful output, the overall efficiency was increased.

Keywords: steam generation, co-generation, diesel engine, steam boiler

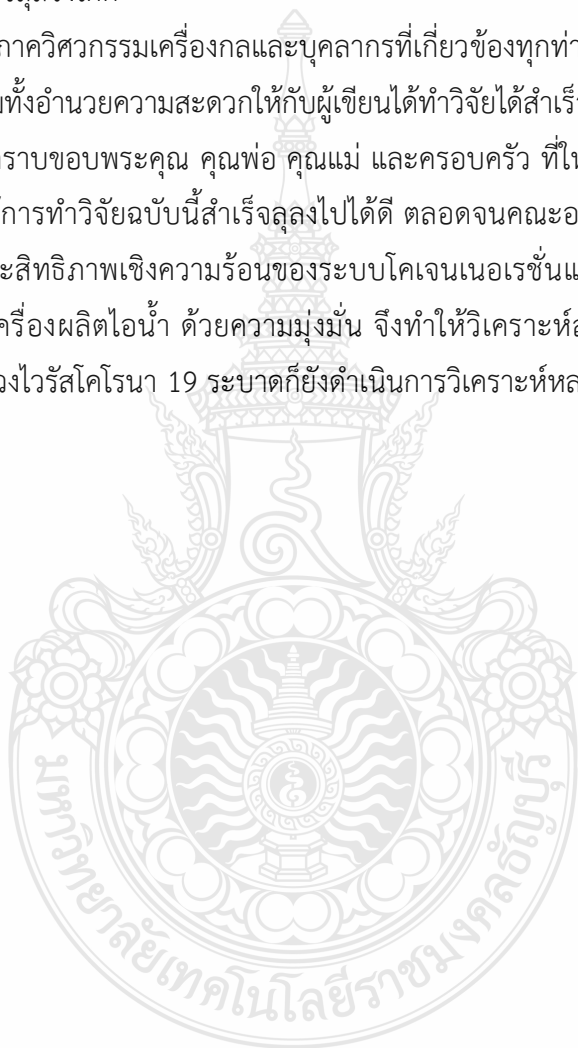
กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบพระคุณรศ.ดร.บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษาในการทำวิจัย แนวทางการแก้ปัญหาและเครื่องบันทึกอุณหภูมิ พร้อมทั้งดูแลและสอบถามความก้าวหน้าของวิทยานิพนธ์ ทำให้การดำเนินงานและเขียนรายงานได้เร็วและสำเร็จลุล่วงได้ดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและบุคลากรที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือทำวิจัย พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกให้กับผู้เขียนได้ทำวิจัยได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษา และให้กำลังใจที่ทำให้การทำวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี ตลอดจนคณะอาจารย์เพื่อนๆ ที่ช่วยในการจัดทำ การประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบโคเจนเนอเรชั่นแบบรวมเป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ ด้วยความมุ่งมั่น จึงทำให้วิเคราะห้สำเร็จด้วยดีตั้งแต่ต้นจนจบ ขบวนการถึงแม้ว่าในช่วงไวรัสโคโรนา 19 ระบาดก็ยังดำเนินการวิเคราะห์หลายๆครั้งจนจบขบวนการ

กิตติภพ ทองลิ้ม



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	11
1.2 วัตถุประสงค์.....	13
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	13
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับวัฏจักรรวม (COMBINED CYCLE SYSTEM).....	14
2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับวัฏจักรแก๊ส (Gas Cycle).....	17
2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับวัฏจักรไอน้ำ (Steam Cycle).....	19
2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine).....	21
2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับภาชนะอัดความดัน (Pressure Vessel).....	22
2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องยนต์และการทดสอบ (Engine Performance and Testing).....	26
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็นหน่วยเดียว ของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ.....	31
3.2 ขั้นตอนการศึกษาเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็น หน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ.....	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบที่ 1 วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการต้มน้ำแบบ ไม่ปิดฝาถัง-ไอเสียออกภายนอก.....	44
4.2 การทดสอบที่ 2 วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการต้มน้ำ แบบปิดฝาถัง-ไอเสียออกภายนอก.....	50
4.3 การทดสอบที่ 3 วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการต้มน้ำ แบบปิดฝาถัง-ไอเสียวนเข้าถัง.....	56
4.4 การเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของการทดสอบทั้งหมด ...	62

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลทดสอบของโครงการ	66
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	67
5.3 ปัญหาและอุปสรรค	67
รายการอ้างอิง	69
ภาคผนวก.....	70
ประวัติผู้เขียน	72

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1	บันทึกค่าเฉลี่ยของโวลต์และค่าแอมป์ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 1.....	44
ตารางที่ 4.2	บันทึกค่าเฉลี่ยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วัดได้จากการทดสอบที่ 1.....	45
ตารางที่ 4.3	บันทึกกำลังของเครื่องยนต์เฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากการทดสอบที่ 1	46
ตารางที่ 4.4	บันทึกค่าของอุณหภูมิเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ 1.....	47
ตารางที่ 4.5	บันทึกค่ากำลังไอน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากการทดสอบที่ 1	48
ตารางที่ 4.6	บันทึกการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ 1	49
ตารางที่ 4.7	บันทึกค่าเฉลี่ยของโวลต์และค่าแอมป์ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 2.....	50
ตารางที่ 4.8	บันทึกค่าเฉลี่ยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วัดได้จากการทดสอบที่ 2.....	51
ตารางที่ 4.9	บันทึกกำลังของเครื่องยนต์เฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากการทดสอบที่ 2	52
ตารางที่ 4.10	บันทึกค่าของอุณหภูมิเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 2	53
ตารางที่ 4.11	บันทึกค่ากำลังไอน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากการทดสอบที่ 2.....	54
ตารางที่ 4.12	บันทึกการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ 2	55
ตารางที่ 4.13	บันทึกค่าเฉลี่ยของโวลต์และค่าแอมป์ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 3.....	56
ตารางที่ 4.14	บันทึกค่าเฉลี่ยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วัดได้จากการทดสอบที่ 3	57
ตารางที่ 4.15	บันทึกกำลังของเครื่องยนต์เฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากการทดสอบที่ 3	58
ตารางที่ 4.16	บันทึกค่าของอุณหภูมิเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 3	59
ตารางที่ 4.17	บันทึกค่ากำลังไอน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากการทดสอบที่ 3.....	60
ตารางที่ 4.18	บันทึกการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ของการทดสอบที่ 3	61
ตารางที่ 4.19	บันทึกอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทั้งหมดเพื่อเปรียบเทียบการทดสอบ	62
ตารางที่ 4.20	บันทึกกำลังที่ได้ทั้งหมดเพื่อเปรียบเทียบการทดสอบ.....	63
ตารางที่ 4.21	บันทึกประสิทธิภาพที่ได้ทั้งหมดเพื่อเปรียบเทียบการทดสอบ	64

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของ Combined Cycle และตัวอย่างสมดุลความร้อน	15
รูปที่ 2.2 ภาพโครงสร้างของระบบรูปแบบที่ 1	16
รูปที่ 2.3 ภาพโครงสร้างของระบบรูปแบบที่ 2	16
รูปที่ 2.4 ภาพโครงสร้างของระบบรูปแบบที่ 3	17
รูปที่ 2.5 ภาพโครงสร้างของระบบรูปแบบที่ 4	17
รูปที่ 2.6 กราฟ P-V ของวัฏจักร ดีเซล	18
รูปที่ 2.7 กราฟ T-S ของวัฏจักร ดีเซล	18
รูปที่ 2.8 วัฏจักรทางทฤษฎีและกราฟ T-S ของวัฏจักรแรงดัน	20
รูปที่ 2.9 ทรงกระบอกผนังบาง	23
รูปที่ 2.10 แสดงความเค้นตามแนวเส้นรอบวงที่กระทำกับภาชนะครึ่งทรงกระบอก	24
รูปที่ 2.11 แสดงความเค้นตามแนวยาวที่กระทำกับภาชนะทรงกระบอก	25
รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้าอย่างง่าย	28
รูปที่ 3.1 เครื่องยนต์ดีเซลที่ทำการทดสอบ	32
รูปที่ 3.2 วัสดุที่ใช้ทำถังต้มน้ำ Steel plate SS400	33
รูปที่ 3.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)	33
รูปที่ 3.4 เครื่องผลิตไฟฟ้าขนาด 10 kW	34
รูปที่ 3.5 แคมป์มิเตอร์	34
รูปที่ 3.6 มัลติมิเตอร์	35
รูปที่ 3.7 โหลดไฟฟ้า	35
รูปที่ 3.8 ถังความดัน	36
รูปที่ 3.9 เครื่องยนต์ถูกติดตั้งลงในถัง	37
รูปที่ 3.10 ติดตั้งระบบท่อไอเสียแบบวนกลับได้	37
รูปที่ 3.11 ต่อสายไฟ output เข้ากับสวิตช์โหลดหลอดไฟ	38
รูปที่ 3.12 การติดตั้งโหลดหลอดไฟขนาดทั้งหมด 4.5 kW	38
รูปที่ 3.13 ทดสอบเปิดหลอดไฟที่ติดตั้งเสร็จแล้ว	39
รูปที่ 3.14 ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ที่ท่อน้ำวน	39
รูปที่ 3.15 ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ที่ไอเสีย	40

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.16 ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับอุปกรณ์อ่านค่า.....	40
รูปที่ 3.17 แสดงแบบโครงสร้างของระบบที่ออกแบบไว้.....	41
รูปที่ 3.18 จำลองโครงสร้างแสดงการทำงานและชื่ออุปกรณ์ของระบบที่จะนำไปใช้.....	41
รูปที่ 3.19 การทดสอบที่ 2 แบบปิดฝาถัง-ไอเสียออกภายนอก	43
รูปที่ 4.1 กราฟเฉลี่ยแสดงโวลต์(V)และแอมป์(I)ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 1.....	44
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงอัตราสิ้นเปลืองเฉลี่ยจากการทดสอบที่ 1	45
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบที่ 1	46
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงอุณหภูมิต่างๆ ของเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 1.....	47
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงกำลังไอน้ำ ในช่วงของการทดสอบที่ 1	48
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ 1	49
รูปที่ 4.7 กราฟเฉลี่ยแสดงโวลต์(V)และแอมป์(I)ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 2.....	50
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยจากการทดสอบที่ 2	51
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบที่ 2.....	52
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอุณหภูมิต่างๆ ของเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 2.....	53
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงกำลังไอน้ำ ในช่วงของการทดสอบที่ 2	54
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ 2.....	55
รูปที่ 4.13 กราฟเฉลี่ยแสดงโวลต์(V)และแอมป์(I)ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 3.....	56
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยจากการทดสอบที่ 3	57
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบที่ 3	58
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงอุณหภูมิต่างๆ ของเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 3.....	59
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงกำลังไอน้ำ ในช่วงของการทดสอบที่ 3	60
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบที่ 3	61
รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของการทดสอบทั้งหมด	62
รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบกำลังที่ได้ของการทดสอบทั้งหมด	63
รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องยนต์ของการทดสอบทั้งหมด	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันประเทศต่างๆ ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยมีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในทุกๆ ด้าน รวมทั้งภาคการผลิต และการบริการ จึงจำเป็นต้องมีการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ มากยิ่งขึ้นตามไปด้วย และพลังงานหลักๆ ที่ใช้ส่วนใหญ่พลังงานทดแทนที่สำคัญ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำพลังงานจากความร้อนใต้พิภพ พลังงานคลื่นเชื้อเพลิงชีวภาพ พลังงานชีวมวลพลังงานจากขยะ ซึ่งล้วนแล้วเป็นพลังงานทางเลือกที่สะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้พลังงานทดแทนดังกล่าวบางชนิดยังถือเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewal Energy) ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ภายใต้การเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมในรูปแบบต่าง ๆ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศในปริมาณจำนวนมาก ทำให้ขาดดุลการค้า และสิ่งสำคัญเชื้อเพลิงส่วนใหญ่มักจะได้จากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่ยั่งยืนนับวันจะยิ่งหมดไป (TDRI, 2022 : online) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานพยากรณ์ความต้องการการใช้พลังงานในกลุ่มประเทศที่มีการพัฒนาแล้ว และกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนาที่มีแนวโน้มในการใช้พลังงานที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และยังพบว่าแนวโน้มสถานการณ์ของโลกในปี ค.ศ. 2035 ที่จะถึงนี้ สำหรับภาคการใช้เชื้อเพลิงจะมีการใช้พลังงานทดแทนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 18 เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงาน (International Energy Agency, World Energy Outlook, 2013) มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาพลังงานชนิดอื่นมาทดแทนพลังงานที่ลดน้อยลงใกล้หมดไปในไม่ช้าเพื่อป้องกันการหยุดชะงักการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจภายในประเทศ พลังงานซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับมนุษย์สังคม และการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจจากสถานการณ์ของโลกยังคงมีแนวโน้มการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Energy Information Administration, 2013) ในขณะที่กลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนานั้นจากการที่ภูมิภาคอาเซียนเข้าสู่การเป็นประชาคมอาเซียน (Aasen Community) โดยประกอบด้วย เสาหลัก 3 ด้าน ได้แก่ ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (Aasen Economic Community: AEC) ประชาคมสังคมและวัฒนธรรมอาเซียน (Socio-Cultural Pillar) และประชาคมความมั่นคงอาเซียน (Political and Security Pillar) ซึ่งจะประกอบด้วยประเทศสมาชิกทั้งสิ้น 10 ประเทศ ได้แก่ มาเลเซีย ฟิlippินส์ อินโดนีเซีย สิงคโปร์ บรูไน เวียดนาม ลาว กัมพูชา พม่า และประเทศไทย โดยประชาคมอาเซียนมีเป้าหมาย เพื่อให้ก่อเกิดการเป็นตลาดรวมกันซึ่งจะเป็นฐานการผลิตเพื่อส่งเสริมการค้า การลงทุนภายในกลุ่ม และเสริมสร้างอำนาจเพื่อต่อรองทางด้านการค้า การลงทุนกับประเทศนอกกลุ่ม

และมีการเคลื่อนย้ายสินค้าบริการ การลงทุน และตลาดแรงงานอย่างเสรี ซึ่งนับเป็นการรวมกลุ่มทางเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างยิ่ง ปัจจุบันกลุ่มประเทศอาเซียนมีประชากรรวมทั้งสิ้นประมาณ 52,000,000 คน โดยมีผลิตภัณฑ์รวมกันภายในของประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) มีมูลค่าโดยรวมกว่า 700,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ (กรมส่งเสริมการค้าส่งออก, 2555)

จากประเด็นดังกล่าวประเทศไทยอยู่ในกลุ่มประเทศสมาชิกอาเซียนซึ่งมีความต้องการใช้พลังงานสูงกว่าปริมาณพลังงานที่สามารถผลิตเองได้ส่งผลทำให้ไทยอยู่ในสถานะเป็นประเทศผู้นำเข้าพลังงาน (BP, 2012) และถึงแม้ว่าไทยอุดมสมบูรณ์ไปด้วยทรัพยากรธรรมชาติ แหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติได้แก่ น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ และถ่านหิน ประเทศไทยยังมีปริมาณสำรองน้ำมันที่พิสูจน์แล้วคิดเป็นปริมาณ 0.5 พันล้านบาร์เรล จัดอยู่ในอันดับที่ 5 ในภูมิภาคอาเซียน International Energy Agency, World Energy Outlook. (2013) สำหรับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนในประเทศนั้นพบว่า ได้มีจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนทางเลือกให้ได้ในสัดส่วนร้อยละ 25 % ในระยะ 10 ปี (ระหว่างปี พ.ศ. 2555-2564) เรียกว่า Alternative Energy Development Plan: AEDP (ค.ศ. 2012-2021) เพื่อกำหนดกรอบทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศและเพื่อให้ประเทศสามารถพัฒนาพลังงานทดแทน

ซึ่งพลังงานทดแทนมีหลายรูปแบบ ดังกล่าวมา และพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกลอาจกล่าวได้ว่าพลังงานไฟฟ้าถือได้ว่าเป็นรูปแบบพลังงานที่สำคัญที่สุดในการดำรงชีวิต ซึ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกลเกือบทั้งหมด ต้องเปลี่ยนรูปพลังงานมาจากพลังงานความร้อนโดยใช้ระบบหรืออุปกรณ์ที่เรียกว่า “เครื่องยนต์ความร้อน (heat engine)” ซึ่งตัวนั้นได้ไปแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ เครื่องยนต์สันดาปภายใน และเครื่องยนต์สันดาปภายนอก โดยเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟจะทำงานตามวัฏจักรออตโต (Otto Cycle) เครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยการอัดจะทำตามวัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle) เครื่องยนต์กังหันแก๊สจะทำงานตามวัฏจักรเบรตัน (Brayton Cycle) และเครื่องยนต์กังหันไอน้ำจะทำงานตามวัฏจักรแรงคิน (Rankine Cycle) user.physics.unc.edu, (2015) โดยกล่าวสอดคล้องกับ รชานันท์ ยานุพรหม และคณะ (2562, น. 42-68) ในการทำงานเครื่องยนต์แบบวัฏจักรร่วมดีเซล-แรงคิน จากการศึกษาข้อมูล พบว่า เครื่องยนต์สันดาปภายในทุกชนิดมีประสิทธิภาพต่ำ คือ มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณร้อยละ 20-30 เท่านั้น กล่าวคือ เครื่องยนต์สันดาปภายในสามารถแปลงพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (100%) ให้กลายเป็นพลังงานกลซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เพียง 20-30 % เท่านั้น ส่วนพลังงานความร้อนอีกประมาณ 70-80 % เกิดการสูญเสียในรูปความร้อนที่ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่เกิดประโยชน์ในปริมาณที่สูงมากผ่านระบบไอเสีย และระบบระบายความร้อน โดยเฉพาะเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดใหญ่ ที่มีการใช้ในระบบขนส่ง ทางถนน ทางราง และทางน้ำ หากสามารถที่นำความร้อนส่วนที่สูญเสียนี้กลับมาใช้

ให้เกิดประโยชน์ ที่จะก่อเกิดประสิทธิภาพในเชิงความร้อนของระบบสูงขึ้นได้ สำหรับแนวทางการนำความร้อนที่เกิดการเผาไหม้และเกิดการสูญเสียทั้งจากระบบเครื่องยนต์ ให้สามารถนำความร้อนกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อผลิตพลังงานกลที่สามารถนำไปใช้ก่อเกิดประโยชน์ได้เป็นแนวทางอีกหนึ่ง คือ การใช้ระบบเครื่องยนต์ความร้อนวัฏจักรร่วม (Combined Cycle) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557, น. 2-9)

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจได้เล็งเห็นถึงความสำคัญและความจำเป็นในการวิจัยเรื่องระบบโคเจนเนอเรชั่นแบบรวมเป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำที่สามารถนำไปประยุกต์ปรับใช้เป็นแนวทางเพื่อให้เกิดประโยชน์กับสถาบันอุดมศึกษา และสถานประกอบการ ให้มีคุณภาพ และประโยชน์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบโคเจนเนอเรชั่นแบบรวมเป็นหน่วยเดียวในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ

1.2.2 เพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบโคเจนเนอเรชั่นแบบรวมเป็นหน่วยเดียวในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 กำหนดเครื่องต้นกำลังเป็นเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว

1.3.2 ระบบโคเจนเนอเรชั่นแบบรวมเป็นหน่วยเดียวในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้ด้วยวิธีการต้มน้ำในถังจนถึงอุณหภูมิความร้อนจากการสันดาปภายในผ่านระบบไอเสียเครื่องยนต์ และจากรอบตัวเครื่องยนต์

1.3.3 ศึกษาสมรรถนะระบบการผลิตไอน้ำโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบประสิทธิภาพถึงการผลิตไอน้ำจากระบบโคเจนเนอเรชั่นแบบรวมเป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำที่สามารถผลิตไอน้ำ

1.4.2 การนำความร้อนที่สูญเสียจากการเผาไหม้ในเครื่องจักรต้นกำลังนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

1.4.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบขนาดใหญ่ได้ และลดต้นทุนการผลิตความร้อนได้

บทที่ 2

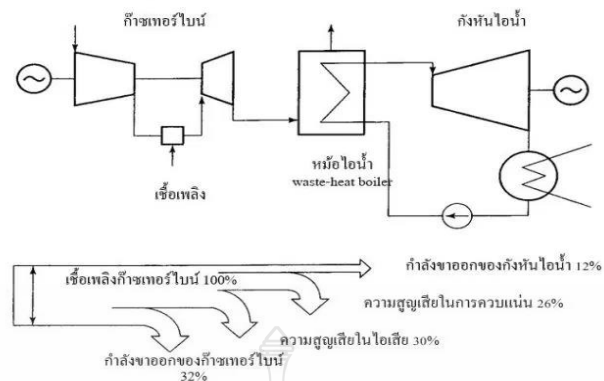
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษา แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับเรื่อง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซล และ เครื่องผลิตไอน้ำได้มีนักวิชาการได้ให้แนวทางระบบโคเจนเนอเรชันเครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องผลิตไอน้ำ ผู้วิจัยจึงนำแนวความคิดและทฤษฎี เพื่อเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัย ดังนี้

- 2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับวัฏจักรรวม (COMBINED CYCLE SYSTEM)
- 2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับวัฏจักรแก๊ส (Gas Cycle)
- 2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับวัฏจักรไอน้ำ (Steam Cycle)
- 2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับวัฏจักรกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)
 - 2.4.1 เครื่องผลิตไฟฟ้า
 - 2.4.2 หม้อแปลงไฟฟ้า
- 2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับภาชนะอัดความดัน (Pressure Vessel)
- 2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องยนต์และการทดสอบ
- 2.7 และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัฏจักรรวม (COMBINED CYCLE SYSTEM)

Rowen W.I., (1983,1992) ได้กล่าวถึงวัฏจักรรวมว่าคือการนำเอาแก๊สไอเสีย (Hot Flue gas) ของ เครื่องกังหันแก๊สแบบ Simple open cycle จะยังมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงจะยังมีพลังงานความร้อนที่เหลืออยู่ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อ และเมื่อนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง โดยนำไปคาย ความร้อนให้หม้อไอน้ำแบบ Waste-heat boiler หรือใช้เป็นอากาศในการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำที่ถูกฉีดยา ให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ในแก๊สไอเสียนี้ เพื่อผลิตที่จะสามารถไอน้ำจึงสามารถทำให้ระบบมี ประสิทธิภาพรวมดียิ่งขึ้น ในกรณีที่นำไอน้ำนี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตจะเรียก ระบบนี้ว่า Cogeneration แต่ถ้านำไอน้ำที่ผลิตได้ไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจะเรียกว่าระบบผลิต พลังงานไฟฟ้ารวม (Combined Cycle System)



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของระบบ Combined Cycle

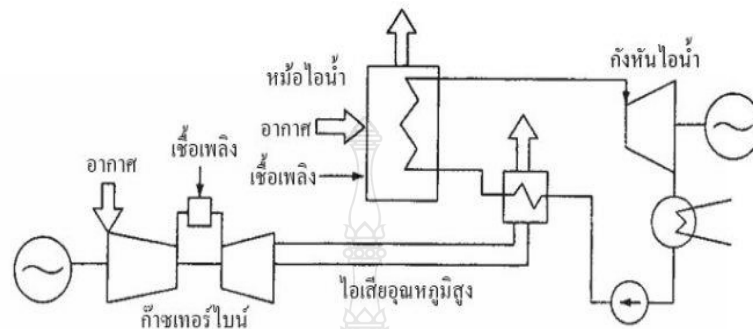
การผลิตไฟฟ้าด้วยคอมไบน์ไซเคิลเป็นระบบที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนได้อย่างมาก ในขณะที่การเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนด้วยการเพิ่มอุณหภูมิ และความดัน โดยเริ่มเข้าใจขีดจำกัดเข้าไปเรื่อย ๆ ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยีข้างต้นจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะเป็นวิทยาการที่สามารถตอบสนองความต้องการของยุคสมัยใหม่ได้ดี ในปัจจุบันจึงกลายเป็นวิธีหลักในการผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนแล้ว กล่าวคือประสิทธิภาพทางความร้อนของคอมไบน์ไซเคิลนั้นแม้จะใช้เครื่องกังหันแก๊สแบบเดิม ๆ Simple open cycle ที่มีอุณหภูมิแก๊สที่ทางเข้าเทอร์ไบน์ $1,100^{\circ}\text{C}$ ที่ยังมีประสิทธิภาพประมาณ 43 % โดยใช้เครื่องกังหันแก๊สประสิทธิภาพสูงอุณหภูมิ $1,350^{\circ}\text{C}$ จะมีประสิทธิภาพสูงได้ถึงประมาณ 48% และในปัจจุบันกำลังมีการพัฒนาเครื่องกังหันแก๊สรุ่นใหม่ที่มีอุณหภูมิ $1,500^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะทำให้ไซเคิลมีประสิทธิภาพสูงถึง 53 % นอกจากนี้ปัจจุบัน ยังมีแนวคิดที่จะนำเครื่องยนต์เจ็ทสำหรับเครื่องบินมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าอีกด้วยเครื่องกังหันแก๊สสำหรับเครื่องบินแต่เดิมเคยนำมาใช้สำหรับรองรับภาระสูงสุดเป็นระยะเวลาสั้น ๆ หรือใช้ในกรณีฉุกเฉิน อย่างไรก็ตาม เครื่องบินซึ่งต้องการแรงขับเคลื่อนอย่างมากนั้นเป็นเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนความดันสูงถึง 30 เท่า เครื่องยนต์เดี่ยว ๆ เองก็มีประสิทธิภาพสูงถึง 37-40% ในอนาคตเครื่องยนต์เดี่ยว ๆ จะมีประสิทธิภาพ 40-44 % เมื่อนำมาใช้ในคอมไบน์ไซเคิลจะทำให้ได้ประสิทธิภาพถึง 50-55% ขึ้นไป จึงมีโครงการที่จะนำมาใช้ ยิ่งไปกว่านั้นในโรงไฟฟ้าคอมไบน์ไซเคิลประสิทธิภาพสูงเหล่านี้ ยังถูกคาดหวังว่าในอนาคตจะไปใช้ร่วมกับโรงไฟฟ้าแบบแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงกลายเป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงและสะอาด

ประเภทของ Combined Cycle

แนวคิดเรื่องการผลิตไฟฟ้าแบบคอมไบน์ไซเคิลโดยใช้เครื่องกังหันแก๊สไม่ใช่แนวคิดใหม่ซึ่งมีการใช้อยู่ในปัจจุบัน รูปแบบของระบบคอมไบน์ไซเคิลสามารถออกแบบได้หลายแบบ ซึ่งจะแนะนำรูปแบบระบบที่มีความนิยมใช้ในปัจจุบันทั้งหมดมี 4 รูปแบบด้วยกันดังต่อไปนี้

1) นำไอเสียมาอุ่นน้ำเลี้ยง

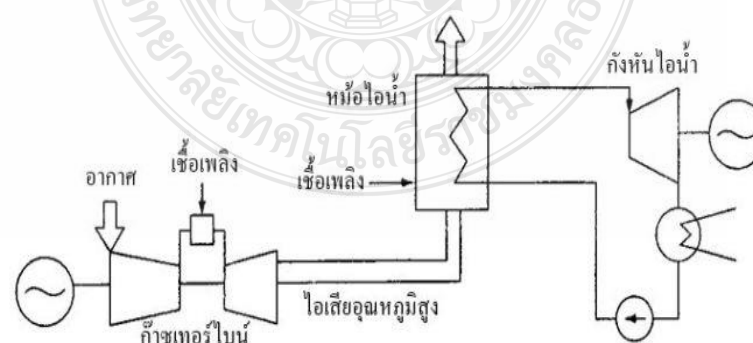
หลักการทำงานโดยการนำความร้อนทิ้งจากเครื่องกังหันแก๊สมาให้ความร้อนกับน้ำเลี้ยงของโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ ซึ่งมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน แต่ไม่สามารถคาดหวังประสิทธิภาพได้มากนัก



รูปที่ 2.2 ภาพโครงสร้างของระบบรูปแบบที่ 1

2) การนำไอเสียมาเผาไหม้ซ้ำ

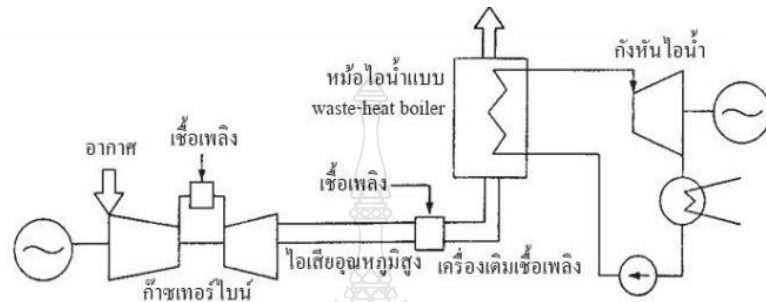
หลักการทำงานโดยการนำเอาความร้อนที่ทิ้งจากเครื่องกังหันแก๊สกลับมาใช้เป็นอากาศสำหรับการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำ เพื่อนำความร้อนจากไอเสียของเครื่องกังหันแก๊ส เนื่องจากไอเสียนี้จะมีออกซิเจนเหลืออยู่ประมาณ 14-16% หากนำแก๊สนี้ไปใช้เป็นอากาศสำหรับเผาไหม้ในหม้อไอน้ำเดิมจะทำให้ต้นทุนในการผลิต แต่อย่างไรก็ตาม โดยมากไอเสียนี้มักจะมีจำนวนออกซิเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของหม้อไอน้ำ ดังนั้น จึงต้องใช้พัดลมอัดอากาศเพิ่มเข้าไปด้วย วิธีนี้จะสามารถนำความสูญเสียในไอเสียของเครื่องกังหันแก๊สกลับมาใช้ใหม่ได้จำนวนมาก



รูปที่ 2.3 ภาพโครงสร้างของระบบรูปแบบที่ 2

3) นำไอเสียมาเติมเชื้อเพลิง

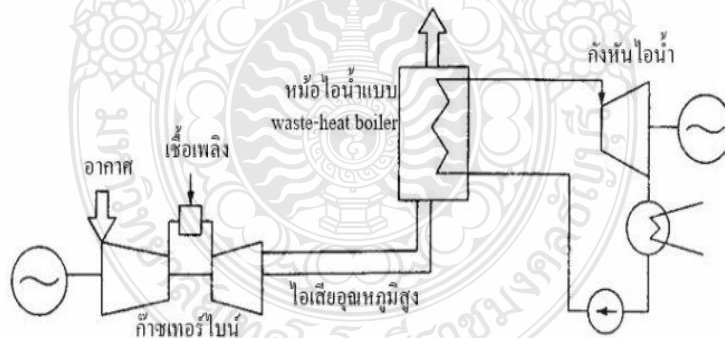
หลักการทำงานในระหว่างทางที่นำแก๊สไอเสียจากเครื่องกังหันแก๊สไปเผาไหม้ในหม้อไอน้ำแบบ Waste-heat boiler จะทำการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบเสริม เพื่อที่จะปรับปรุงสภาวะของไอน้ำให้ดีขึ้นและเพิ่มกำลังขาออกของกังหันไอน้ำ



รูปที่ 2.4 ภาพโครงสร้างของระบบรูปแบบที่ 3

4) การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

หลักการทำงานคือการนำไอเสียของเครื่องกังหันแก๊สกลับมาให้ความร้อนกับหม้อไอน้ำแบบ Waste-heat boiler แล้วใช้ไอน้ำที่เกิดขึ้นไปขับกังหันไอน้ำ



รูปที่ 2.5 ภาพโครงสร้างของระบบรูปแบบที่ 4

2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับวัฏจักรแก๊ส (Gas Cycle)

วัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle)

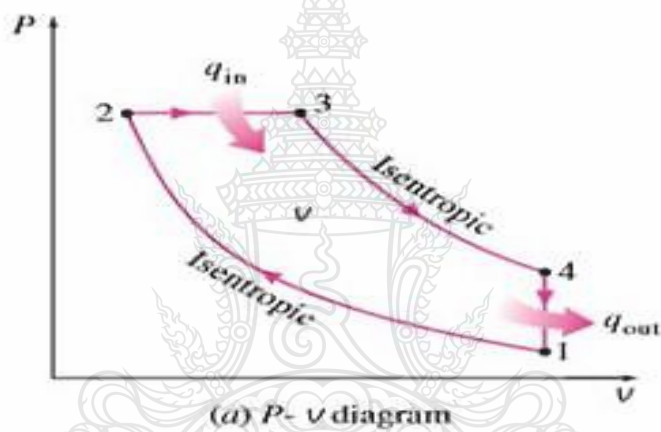
Yunus A. Cengel, M. A. (2005) ได้อธิบายว่าวัฏจักรนี้เป็นวัฏจักรที่คล้ายคลึงกับวัฏจักรออตโต โดยทำการเปลี่ยนกระบวนการเพิ่มความร้อนแบบปริมาตรคงที่ (Constant Volume) ซึ่งเป็น

การเพิ่มอุณหภูมิแบบความดันคงที่ (Constant Pressure) เข้าไปแทนในวัฏจักรนี้เป็นวัฏจักรในทางทฤษฎีของเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบต่ำหมายความว่า

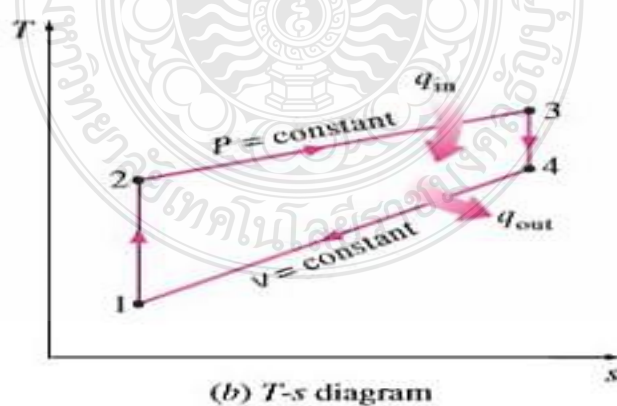
1) อากาศจะถูกดูดเข้ามายังกระบอกสูบ โดยการอัดตัวแบบไอเซนโทรปิกซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นประมาณ 600°C (กระบวนการที่ 1 ไป 2)

2) เชื้อเพลิงก็จะถูกฉีดเข้าไปเพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ การอัดแล้วเชื้อเพลิงจะค่อยๆ ถูกฉีดเข้าไปอย่างช้าๆ ดังนั้นกระบวนการให้ความร้อนนี้สามารถพิจารณาเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายใต้ความดันคงที่จากจุดที่ 2 จนกระทั่งถึงสภาวะจุดที่ 3 ก็จะหยุดการจ่ายเชื้อเพลิง

3) การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการขยายตัวแบบไอเซนโทรปิกขึ้นจากสภาวะที่ 3 ไปยังสภาวะที่ 4 ในวัฏจักรนี้ค่าอัตราส่วนการอัด กับค่าอัตราส่วนการขยายจะไม่เท่ากัน (กระบวนการที่ 3 ไป 4)



รูปที่ 2.6 กราฟ P-V ของวัฏจักร ดีเซล



รูปที่ 2.7 กราฟ T-S ของวัฏจักร ดีเซล

จากการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนในทางทฤษฎี โดยใช้วิธีการคำนวณจะเหมือนกับในกรณี ระบบวัฏจักรออตโต้ ซึ่งจะได้สมการที่ 2.1

$$\eta_{th,Diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_c^k}{k(r_c-1)} \right] \quad (2.1)$$

สมการนี้ $r_c = V_3/V_2$ ที่เรียกว่า “อัตราส่วนการตัด (cut off ratio)” จากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่เกิดจากกระบวนการเพิ่มความร้อนเข้าไป ทำให้ประสิทธิภาพในเชิงความร้อนทางทฤษฎีใน วัฏจักรดีเซล จะเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนการอัด (r) ค่าอัตราส่วนของความดันจำเพาะ (k) ค่าอัตราส่วนการตัด (r_c) โดยที่ค่า r และ k ยังมีค่ามากเท่าไรก็ยิ่งทำให้ค่าประสิทธิภาพในเชิงความร้อนจะสูงมากขึ้นเท่านั้น จะเห็นว่าค่า r_c ยังมีค่าน้อยจะยิ่งดี กล่าวคือ ค่าอัตราส่วนการอัดมีค่ามาก ค่าอัตราส่วนที่ ตัดออกมีค่าเข้าใกล้ 1 ก็จะทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น ซึ่งถ้าอัตราส่วนการตัดมีค่าใกล้เคียง 1 มากๆ (เกือบเท่ากับ 1) วัฏจักรดีเซลนี้จะเหมือนกันกับวัฏจักรออตโต้

วัฏจักรดีเซล เมื่อเปรียบเทียบกับ วัฏจักรออตโต้ ภายใต้อัตราส่วนการอัดที่เท่ากันแล้ว จะมีประสิทธิภาพในเชิงความร้อนต่ำกว่า แต่เนื่องจากว่าในวัฏจักรดีเซลนั้นค่าอัตราส่วนการอัด มีค่าสูงกว่ากรณีของวัฏจักรออตโต้ ดังนั้นค่าประสิทธิภาพในเชิงความร้อนในเครื่องยนต์จริงๆ จะมีผลดีกว่าค่าประสิทธิภาพในเชิงความร้อนในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยทั่วไปประสิทธิภาพเชิงความร้อนในเครื่องยนต์ดีเซลนี้อยู่ในช่วงระหว่าง 35 ถึง 40 %

การคำนวณหาประสิทธิภาพอีกรูปแบบจะได้สมการดังนี้

$$\eta_{th,Diesel} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \quad (2.2)$$

จากกฎข้อที่หนึ่งของวัฏจักร จะได้

$$\eta_{th,Diesel} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (2.3)$$

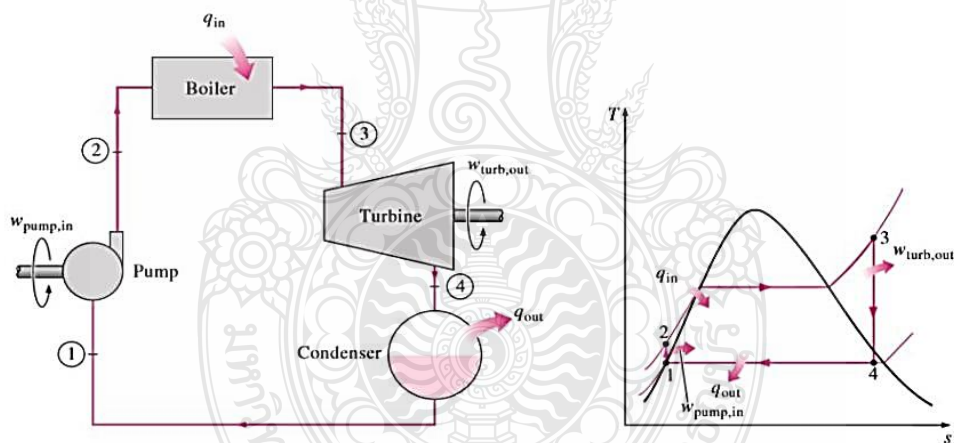
2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับวัฏจักรไอน้ำ (Steam Cycle)

วัฏจักรแรงคิน (Rankine Cycle)

Yunus A. Cengel, M. A. (2005) ได้อธิบาย วัฏจักรแรงคิน (Rankine Cycle) หรือเรียกว่า วัฏจักรคลอเซียส (Clausius cycle) เป็นระบบวัฏจักรพื้นฐานในการออกแบบของโรงจักรกำลังไอน้ำ

(Steam power plant) หรือเรียกว่า Steam Power Plant โดยของไหลที่ใช้ในโรงเครื่องจักรสร้างกำลังส่วนมากจะใช้น้ำ ซึ่งในระบบวัฏจักรที่มีทำงานของเครื่องจักรจะเกิดการระเหยและการควบแน่นของไอน้ำสลับกันไป ในกรณีที่ใช้แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ ก็อาจใช้ของไหลทำงานที่เป็นพวกสารอินทรีย์ (organic matter) ที่มีจุดเดือดต่ำ ๆ โครงสร้างพื้นฐานในโรงจักรกำลัง ไอน้ำ ประกอบไปด้วย หม้อไอน้ำ (Boiler) กังหันไอน้ำ (Steam turbine) เครื่องควบแน่น (Condenser) และปั๊มน้ำ (Water Pump) กระบวนการวัฏจักรแรงดัน เกิดขึ้นได้ ดังนี้

- 1) ระบบวัฏจักรไอน้ำร้อนแบบยิ่งยวดที่อุณหภูมิ และความดันสูงที่เกิดจากหม้อไอน้ำ ที่เกิดการขยายตัวแบบแอดิแบติกที่ย้อนกลับได้ที่กังหันไอน้ำทำให้เกิดงานในวัฏจักร (กระบวนการที่ 3 ไป 4)
- 2) ไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำถูกทำให้เกิดการเย็นตัวลง และเกิดการควบแน่นจนกลายเป็นไอน้ำอิ่มตัว (กระบวนการที่ 4 ไป 1)
- 3) ไอน้ำที่อิ่มตัวนี้ก็จะถูกปั๊มอัดตัวแบบแอดิแบติกย้อนกลับไปได้เพื่อกลายเป็นไอน้ำอัดตัวภายใต้ความดันสูงก่อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ (กระบวนการที่ 1 ไป 2)
- 4) การให้ความร้อนภายใต้ความดันคงที่จนกลายเป็นของเหลวอิ่มตัว และกลายเป็นไอน้ำอิ่มตัว และไอน้ำร้อนยิ่งยวด ในระบบอีกครั้ง (กระบวนการที่ 2 ไป 3)



รูปที่ 2.8 ทฤษฎีและกราฟ T-S ในวัฏจักรแรงดัน

ค่าประสิทธิภาพในเชิงความร้อนทางทฤษฎีวัฏจักรแรงดันหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\eta_{th,Rankine} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \left[\frac{W_{turbine} - W_{pump}}{Q_{in}} \right] \quad (2.4)$$

วัฏจักรแรงคินงานที่เกิดจากปั๊มน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับงานที่เกิดจากกังหัน ถือได้ว่าน้อยมาก ในเวลาการคำนวณจากสมการซึ่งสามารถตั้งงานที่ใส่เข้าปั๊มทิ้งไปได้ ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนทางทฤษฎีสามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_{th, Rankine} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \approx \frac{W_{turbine}}{Q_{in}} = \frac{m_{steam}(h_3 - h_4)}{m_{water}(h_3 - h_2)} \quad (2.5)$$

โดยที่ h = เอนทาลปี ในสภาวะนั้น ๆ สมการดังกล่าว ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในวัฏจักรแรงคิน จะคำนวณได้จากค่าเอนทาลปีจำเพาะตรงทางเข้า และทางออกของกระบวนการที่ทางเข้าหม้อไอน้ำจะพยายามทำให้ค่าเอนทาลปีจำเพาะ h_3 ที่ตรงทางเข้าของกังหันไอน้ำมีค่ามากเข้าไว้ และพยายามทำให้ค่าเอนทาลปีจำเพาะ h_4 ที่ตรงบริเวณทางออกของกังหันหรือตรงบริเวณที่ทางเข้าของเครื่องควบแน่นให้น้อยเท่าที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งจะพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรมีค่าสูงขึ้นได้

จากสภาวะทั่วไป ด้านตรงทางเข้ากังหันไอน้ำจะเรียกว่า “สภาวะเริ่มต้น” ส่วนความดัน P_3 ณ สภาวะนี้จะเรียกว่า “ความดันเริ่มต้น” อุณหภูมิ T_3 ก็เรียกว่า “อุณหภูมิเริ่มต้น” เพื่อให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรแรงคินเพิ่มสูงขึ้น ควรทำให้ความดันและอุณหภูมิเริ่มต้นสูง เอาไว้ก่อน และควรทำความดันที่เครื่องควบแน่น (Condenser) (ความดันที่จะทิ้งไป) ต่ำเข้าไว้ เพื่อทำให้ค่าประสิทธิภาพดีขึ้นได้

2.4 ข้อมูลเกี่ยวข้องกับเครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)

เครื่องกังหันไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานความร้อนของไอน้ำให้เป็นพลังงานกล เครื่องกังหันไอน้ำประกอบด้วย 4 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. ระบบควบคุม (Governor System)
2. เฟลาหมุนและใบพัด (Rotor & Moving Blade)
3. ตัวถังและใบพัด (Casing & Stationary Blade)
4. เครื่องควบแน่น (Condenser)

การทำงานของเครื่องกังหันไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงจากท่อส่งไอน้ำ โดยไหลเข้าสู่เครื่องกังหันไอน้ำผ่านทางวาล์วของระบบควบคุมเพื่อควบคุมการไหลของไอน้ำที่จะไปขับกังหันไอน้ำให้เหมาะสมกับความเร็วยรอบ หรือสภาวะที่ต้องการ จากนั้นไอน้ำก็จะไหลเข้าสู่ตัวกังหันไอน้ำ ประกอบด้วยตัวถังโดยมีเฟลาหมุนและใบพัดติดตั้งอยู่ภายในตัวถัง เฟลาจะมีลูกปืน (Bearing) รองรับอยู่ เมื่อไอน้ำไหลเข้ามาในตัวกังหันไอน้ำ ความดันของไอน้ำจะลดลงและเกิดการขยายตัวของไอน้ำขึ้น การขยายตัวนี้ทำให้ปริมาตรไอน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเร็วการไหลของไอน้ำในตัวกังหันสูงขึ้น ไอน้ำที่ความเร็วสูงนี้จะไปปะทะกับใบพัด (Moving Blade) ที่ติดอยู่กับเฟลาทำให้เกิดแรงผลักดันทำให้เฟลาของกังหันหมุน แต่เนื่องจากใบพัดในตัวกังหันไอน้ำได้ถูกออกแบบไว้เป็นชุด ๆ จำนวนหลายชุดซึ่งติดตั้งอยู่บนเฟลาหมุน

เดียวกัน ดังนั้นไอน้ำที่ไหลผ่านจากใบพัดชุดแรกจะไหลผ่านใบพัดที่ติดตั้งอยู่กับตัวถัง (Stationary Blade) และไปปะทะกับใบพัดชุดหลัง ๆ ไปเรื่อย ๆ ทำให้ได้พลังงานในรูปของพลังงานกลจากลักษณะการหมุนของเพลากังหันนี้ เมื่อไอน้ำผ่านชุดของใบพัดจนครบ ความดันและอุณหภูมิของไอน้ำก็จะลดลง และไอน้ำก็จะไหลออกจากกังหันเข้าสู่เครื่องควบแน่น โดยมีลักษณะเป็นห้องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ สร้างด้วยเหล็กที่มีความแข็งแรงเพื่อรองรับการกระแทกของไอน้ำได้ ซึ่งภายในห้องจะมีท่อโลหะ เช่น ทองเหลือง สอดขวางอยู่เป็นจำนวนมากภายในห้องนี้จะมีน้ำระบายความร้อนไหลอยู่ ดังนั้นเมื่อไอน้ำไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่น ไอน้ำจะถ่ายเทความร้อนผ่านท่อทองเหลืองให้น้ำในท่อและตัวไอน้ำเองก็จะควบแน่น และเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำอีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่ไอน้ำจะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำนี้ ปริมาตรของไอน้ำจะลดลงทำให้ความดันในเครื่องควบแน่นต่ำกว่าบรรยากาศ ซึ่งเป็นผลในด้านการไหลของไอน้ำและประสิทธิภาพของเครื่องกังหันไอน้ำจะสูงขึ้น ส่วนน้ำที่ผ่านกระบวนการกำจัดแร่ธาตุ (Demineralize Water) ที่ได้รับการควบแน่นของไอน้ำจะถูกปั๊มน้ำสูกลับเข้าไปยังหม้อน้ำอีก การทำงานของระบบกังหัน ที่กล่าวมานี้เป็นเพียงสังเขปเท่านั้น แต่ในการทำงานจริงจะยังมีระบบอื่น ๆ อีก เช่น เครื่องอุ่นน้ำ ปั๊มน้ำมันความดันสูง เครื่องดูดอากาศ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกในการเดินระบบเครื่องกังหันไอน้ำ

2.4.1 เครื่องผลิตไฟฟ้า

เครื่องผลิตไฟฟ้าจะติดตั้งอยู่ในแนวและระดับเดียวกับเครื่องกังหันไอน้ำ โดยเพลารองของเครื่องผลิตไฟฟ้าต่อโดยตรงเข้ากับเพลารองของเครื่องกังหันไอน้ำ ดังนั้น เมื่อเครื่องกังหันไอน้ำหมุน ก็จะทำให้เพลารองของเครื่องผลิตไฟฟ้าหมุนที่เพลารองของเครื่องผลิตไฟฟ้ามีขดลวดตัวนำพันอยู่กับแกนเหล็กไฟฟ้า กระแสตรงจะถูกจ่ายให้กับตัวนำนี้ ดังนั้นจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่เพลารองของเครื่องผลิตไฟฟ้า เมื่อเพลารองของเครื่องผลิตไฟฟ้าหมุน สนามแม่เหล็กก็หมุนไปด้วย สนามแม่เหล็กนี้จะหมุนไปตัดกับขดลวดตัวนำอีกชุดหนึ่งซึ่งพันอยู่กับแกนเหล็กติดอยู่รอบๆ ตัวโครงของเครื่องผลิตไฟฟ้า เมื่อตัวนำนี้ถูกสนามแม่เหล็กจากเพลารองตัด จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำที่ติดอยู่กับตัวเครื่องผลิตไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะส่งเข้าไปยังหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อจ่ายให้กับสายส่งแรงสูงต่อไป นอกจากนี้ที่กล่าวมานี้เครื่องผลิตไฟฟ้ายังประกอบด้วยอุปกรณ์อื่น ๆ อีกมาก เช่น ระบบระบายความร้อน ระบบควบคุม ฯลฯ

2.4.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลง เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นแรงดันสูงขนาดต่าง ๆ เช่น 69, 115, 230 KVA หรือแรงดันสูงพิเศษ 500 KVA การส่งพลังงานไฟฟ้าด้วยแรงดันสูง ๆ จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าและลดขนาดสายส่งที่ใช้ให้มีขนาดเล็กลง

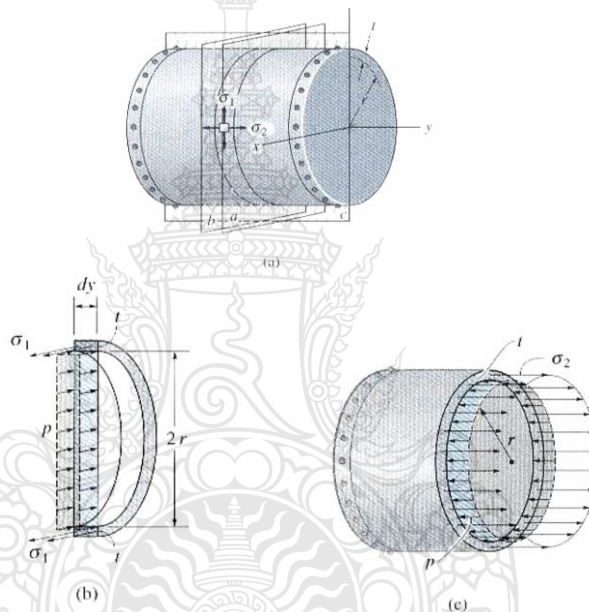
2.5 ข้อมูลเกี่ยวข้องกับภาชนะอัดความดัน (Pressure Vessel)

Budynas & Nisbett (2008, Cerbos, 2017, Jan 19) ได้กล่าวอธิบายภาชนะอัดความดัน (Pressure Vessel) ดังนี้

แรงเค้นในรูปทรงกระบอกผนังบาง (Thin Wall Cylinder)

รูปทรงกระบอกกลางผนังบาง หมายถึง รูปทรงกระบอกกลางที่มีขนาดความหนาของผนังน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของทรงกระบอกกลางนี้ โดยทั่วไปความหนาของผนังทรงกระบอกจะไม่เกิน $1/20$ เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยโครงสร้างของงานประเภทนี้ได้แก่ หม้อต้มน้ำขนาดใหญ่ ถึงขนาดใหญ่มาก ท่อส่งน้ำมันขนาดใหญ่ และถังแก๊ส ในการพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นในรูปทรงกระบอกกลางผนังบางนั้นจะมีความเค้นเกิดขึ้น 2 แนว คือ

1. ความเค้นแนวเส้นรอบวง (Hoop or Circumferential Stress)
2. ความเค้นแนวยาว (Longitudinal Stress)



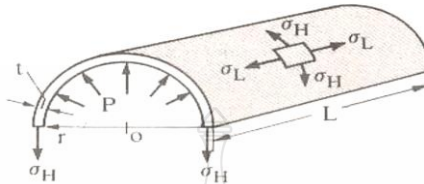
รูปที่ 2.9 รูปทรงกระบอกผนังบาง

- 1) ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง (Hoop or Circumferential Stress)

ภาชนะที่ถูกอัดด้วยความดันในรูปทรงกระบอกเมื่อได้รับความดันทำให้เกิดความเค้นเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุของภาชนะนั้น และเมื่อความเค้นขึ้นในปริมาณมากจนวัสดุนั้นไม่สามารถที่จะรับได้ จะทำให้ภาชนะนั้นเกิดการเสียหาย ซึ่งจะมีผลกระทบต่ออาคารและผู้ปฏิบัติงานได้ ดังนั้นในการออกแบบใช้ภาชนะอัด ความดัน จึงเป็นสิ่งจำเป็นมากในการคำนวณหาความเค้น และค่าความเค้นสามารถหาได้โดยการสมดุลของแรง พิจารณารูปที่ 2.9 (a) เมื่อตัดหน้าตัด a และ b ออกมาพิจารณาในรูปที่ 2.9 (b) จะเห็นว่าจะมีแรงกระทำ ในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นผิวผนังในทิศทางแกน x แรงนี้จะกระจายทั่วทั้งบริเวณรูปทรงกระบอก จากสมการการรวมแรงในแนวแกน x จะได้สมการ 2.6

$$\sum F_x = 0$$

$$\sigma = pr/t \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.10 แสดงความเค้นแนวเส้นรอบวงที่กระทำต่อภาชนะครึ่งทรงกระบอก

หรือพิจารณารูปที่ 2.10

แรงที่เกิดจากความดันภายใน = ความดัน $\times$ พื้นที่รับความดัน

$$F = P \times 2rL \quad (2.7)$$

แรงต้านที่เกิดขึ้น เนื่องจากความเค้นแนวเส้นรอบวง σ_H, σ_1

$$F = 2\sigma_H \times Lt \quad (2.8)$$

ถ้าภาชนะยังคงรูปเดิมได้ แรงที่เกิดขึ้นจะต้องเท่ากัน สมการ (2.7) = (2.8)

$$P \times 2rL = 2\sigma_H \times Lt$$

$$\sigma_H = \frac{2PrL}{2Lt}$$

$$\therefore \sigma_H = \frac{Pr}{t}, \sigma_H = \frac{PD}{2t} \quad (2.9)$$

เมื่อ

- t = ความหนาผนัง
- r = รัศมีเฉลี่ยทรงกระบอกกลาง
- P = ความดันที่กระทำกับภาชนะอัดความดัน
- L = ความยาวทรงกระบอกกลาง
- σ_H = ความเค้นที่เกิดจากแนวเส้นรอบวง

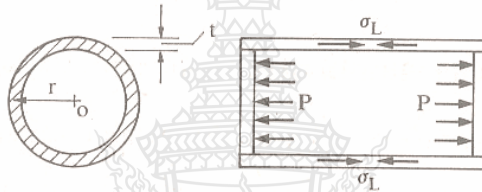
2) ความเค้นตามแนวยาว (Longitudinal Stress)

การหาความเค้นตามแนวยาวสามารถพิจารณาภาชนะทรงกระบอกกลวงผนังบาง ดังรูปที่ 2.9(c) จากรูปเห็นว่าความเค้นเกิดขึ้นกระจายรอบ ๆ แนวยาวของผนังบาง เมื่อรวมแรงในแนวแกน y จะได้สมการดังนี้

$$\sum F_y = 0$$

$$\sigma_2(2\pi r t) - p(\pi r^2) = 0 \quad (2.10)$$

$$\sigma_2 = pr/t \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.11 แสดงความเค้นแนวยาวที่กระทำต่อภาชนะทรงกระบอก

หรือพิจารณารูปที่ 2.11

แรงที่เกิดขึ้นจากความดันภายใน = ความดัน × พื้นที่รับความดัน

$$F = P \times \pi r^2 \quad (2.12)$$

แรงต้านที่เกิดขึ้นจากความเค้นตามแนวเส้นรอบวง σ_H, σ_1

$$F = \sigma_L \times \pi 2rt \quad (2.13)$$

ถ้าภาชนะยังคงรูปเดิมได้ แรงที่เกิดขึ้นจะต้องเท่ากัน สมการ (3) = (4)

$$P \times \pi r^2 = \sigma_L \times 2\pi r t$$

$$\sigma_L = \frac{P \times \pi r^2}{2\pi r t}$$

$$\sigma_L = \frac{Pr}{2t}$$

$$\therefore \sigma_L = \frac{Pr}{2t}, \sigma_H = \frac{PD}{4t} \quad (2.14)$$

โดยที่

- t = ความหนาผนัง
 r = รัศมีเฉลี่ยทรงกระบอกกลาง
 σ_L = ความเค้นที่เกิดแนวยาว
 P = ความดันที่กระทำกับภาชนะอัดความดัน
 L = ความยาวทรงกระบอกกลาง

หมายเหตุ

1. แรงที่กระทำตามแนวความยาวจะทำให้ความเค้นตามแนวยาวเป็นแรงที่ทำให้ทรงกระบอกกลางขาดตามเส้นรอบวงนั้น
2. แรงที่ทำให้เกิดความเค้นตามแนวเส้นรอบวงนั้นจะทำให้ความเค้นตามแนวเส้นรอบวงเป็นแรงที่ทำให้ทรงกระบอกขาดในแนวยาว
3. ความเค้นตามแนวยาว และความเค้นตามแนวเส้นรอบวงกระทำตักฉากซึ่งกันและกัน
4. ความเค้นตามแนวเส้นรอบวงจะมีค่าเป็นสองเท่าต่อความเค้นตามแนวยาว
5. การออกแบบต้องพิจารณาขีดขนาดต่าง ๆ จากความเค้นตามแนวเส้นรอบวง
6. ถ้ามีตะเข็บต้องใช้ตะเข็บตามแนวยาวเพราะมีความแข็งแรงตามแนวอื่น ๆ

2.6 ข้อมูลเกี่ยวข้องสมรรถนะของเครื่องยนต์และการทดสอบ (Engine Performance and Testing)

Heywood (1998) ได้อธิบาย การทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวัดสมรรถนะที่นำไปสู่การหาค่าอัตราสิ้นเปลืองจำเพาะ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ในปัจจุบันชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการเรียนรู้ในด้านของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลจัดเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นต้นกำลังมากที่สุดในโลก อีกทั้งยังเป็นเครื่องต้นกำลังหลักที่สำคัญสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตร และถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย อาทิเช่น เครื่องสูบน้ำเครื่องพ่นสารเคมี รถไถเดินตาม รถบรรทุกผลิผลทางการเกษตร เป็นต้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพในเชิงความร้อนสูงและให้แรงบิดที่เหมาะสม อีกทั้งยังมีราคาเชื้อเพลิงที่ต่ำและประหยัดเชื้อเพลิงมากกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ซึ่งในการศึกษาและพัฒนาเครื่องยนต์จู่ตะเบิดด้วยการอัดจะต้องมีการทดสอบขั้นพื้นฐานเพื่อหาค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งการวัดค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยทั่วไปจะสามารถวัดได้จากการทดสอบบนแท่นวัดกำลังของเครื่องยนต์หรือไดนาโมมิเตอร์ โดยอาศัยหลักการวัดความเร็วรอบและแรงบิดที่ใช้ต้านทานการหมุนของเครื่องยนต์ทั้งทางตรงและทางอ้อมเพื่อนำมาประเมินหาค่ากำลังของเครื่องยนต์ร่วมกับการวัดปริมาณอื่นๆ มีผลต่อสมรรถนะการทำงานเครื่องยนต์ แต่เนื่องจากไดนาโม

มิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาสูงสำหรับการศึกษาขั้นพื้นฐานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ดังนั้น การสร้างชุดทดสอบสมรรถนะสำหรับห้องปฏิบัติการ โดยวิธีการวัดค่าข้อมูลตัวแปรการทำงานต่างๆ เช่น กำลังเบรก ความเร็วรอบ อุณหภูมิและอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ หลังจากนั้น จึงทำการทดลอง บันทึกผล และวิเคราะห์ผล สมรรถนะของเครื่องยนต์ คือ กำลังสูงสุด หรือทอร์คสูงสุด ที่ให้ออกมาที่อัตราเร็วรอบๆ หนึ่งซึ่ง ได้แก่

1. กำลังที่กำหนดสูงสุด เป็นกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ให้ออกมาได้ในช่วงการทำงานสั้นๆ
2. กำลังที่กำหนดปกติเป็นกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ให้ออกมาได้ในช่วงการทำงานอย่างต่อเนื่อง
3. อัตราเร็วที่กำหนด เป็นอัตราเร็วรอบการหมุนของเพลาคือเหวี่ยงซึ่งกำลังที่กำหนดถูกให้ออกมา
4. ช่วงอัตราความเร็วนรอบเครื่องยนต์ และกำลังที่เครื่องยนต์ทำงานได้ดี

กำลัง (Power)

1) กำลังบ่งชี้ (Indicated Power, P_i) เป็นกำลังที่ได้จากการระเบิดของเชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบและส่งถ่ายไปยังลูกสูบ กำลังบ่งชี้หาได้จากงานที่แก๊สถ่ายเทไปสู่ลูกสูบ (เป็นงานบ่งชี้) ต่อวัฏจักรการทำงาน (Indicated work per cycle, W_{ci}) ที่ได้จากการอินทิเกรตโดยรอบกราฟระหว่างความดัน และ ปริมาตรกระบอกสูบ (P-V diagram) ตลอดวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ทำให้ได้เป็นพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยเส้นกราฟ

$$P_i = W_{net,out} \times N \quad (2.15)$$

โดยที่

P_i

คือกำลังบ่งชี้

$W_{net,out}$

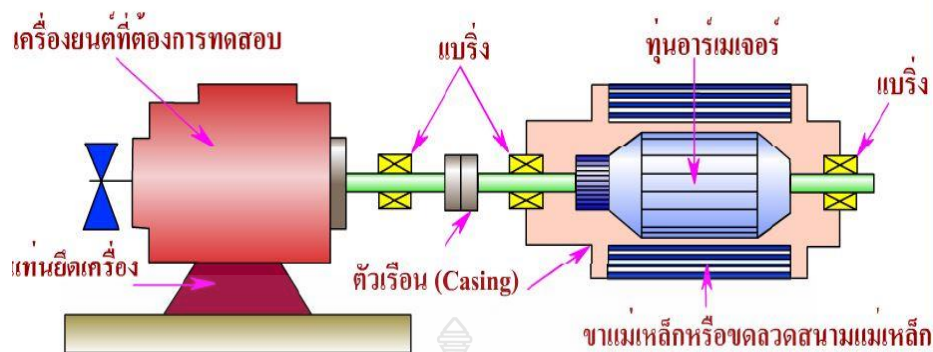
คืองานที่ได้ออกมา

N

คืออัตราเร็วรอบการหมุนของเพลาคือเหวี่ยง

2) กำลังเบรก (Brake Power, P_b) หมายถึง กำลังที่วัดได้จากเพลาคือเหวี่ยงหรือล้อต้นกำลังในเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังงานที่นำไปใช้งาน การวัดกำลังเบรกจะใช้ไดนาโมมิเตอร์ (dynamometer) มีอยู่หลายชนิด โดยวัดออกมาในรูปของแรงบิดและรอบการหมุนของเครื่องยนต์

3) การวัดแรงม้าเบรกด้วยไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้าอย่างง่าย

วิธีการวัดจะมีหลักการทดสอบโดยการนำเอาเจนเนอเรเตอร์มาติดตั้งบนเพลลาซึ่งมีแบร็งรองรับขณะเดียวกันจะต่อเพลลาของอาร์เมเจอร์เข้ากับเครื่องยนต์เมื่อเครื่องหมุนท่อนอาร์เมเจอร์ก็จะหมุนไปด้วยสนามแม่เหล็กที่อยู่ระหว่างขาแม่เหล็กซึ่งอยู่กับที่กับท่อนอาร์เมเจอร์ จะบังคับให้ตัวเรือนของอาร์เมเจอร์หมุนตามในทิศทางเดียวกัน ตัวเรือนจะติดตั้งตราซึ่งสปริงซึ่งสามารถหาแรงได้โดยการนำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณหาแรงม้า สำหรับวิธีการคำนวณหาสามารถทำได้ 2 กรณีคือ

$$T = (W - w) R \quad (2.16)$$

เมื่อ

T คือ ทอร์กที่เครื่องยนต์ส่งได้; N-m
 W คือ น้ำหนักที่แขวนที่ถาด; N
 w คือ ค่าแรงที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง; N
 R คือ รัศมีของล้อช่วยแรง; m

และ

$$P = VI \quad (2.17)$$

เมื่อ

P คือ กำลังที่วัดได้; kW
 V คือ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้; Volt
 I คือ กระแสไฟฟ้าที่วัดได้; Ampere

3) อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption)

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (2.18)$$

4) ประสิทธิภาพที่ได้จากการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง (fuel conversion efficiency)

$$\eta_f = \frac{w_c}{\dot{m}_f Q_{HV}} \quad (2.19)$$

5) ประสิทธิภาพเบรก

$$\eta_B = \frac{P_b}{Q_{in}} \quad (2.20)$$

6) ประสิทธิภาพปั๊มเชื้อ

$$\eta_i = \frac{P_i}{Q_{in}} \quad (2.21)$$

7) ประสิทธิภาพเชิงกล

$$\eta_{mech} = \frac{P_B}{P_i} \quad (2.22)$$

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อัครพงศ์ สถาวรินทุและ ไกรสร รวยบ่อม (2563, น. 68-76) ได้ศึกษาชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับห้องปฏิบัติการมีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งนำมาตรฐาน ESC Test Cycle มาดัดแปลงเป็นมาตรฐานการทดสอบ โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ทำการส่งผ่านกำลังผ่านพลูล์เลย์จากเครื่องยนต์ไปยังเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับโหลดไฟเป็นภาระโหลดในการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ โดยการทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,200 ถึง 2,250 rpm ค่าภาระของโหลด 500 ถึง 4,500 watt จากผลการทดสอบ พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกดต่ำสุดจะอยู่ระหว่างที่ 344.56 g/kW-hr และค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูงสุดที่ 24.58 % ที่ความเร็วรอบ 2,100 rpm ภาระของโหลด 4,000 w และที่ภาระของโหลดสูงสุด มีค่ากำลังเบรกดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ คือ 4,500 watt ที่ความเร็วรอบ 2,250 rpm ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ากำลังสูงสุดที่ระบุเป็นค่ามาตรฐานของเครื่องยนต์ (5,200 วัตต์ที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm) เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบนั้นเคยผ่านการใช้งานมาแล้ว ทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ เกิดการเสื่อมสภาพจึงทำให้ค่ากำลังเบรกดที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน โดยที่ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับห้องปฏิบัติการที่สร้างขึ้นทำให้ได้ข้อมูลการทดสอบที่สถานะภาระบางส่วน เพื่อนำมาหาค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้

คงเดช พะสีนาม และธันวาคมส กาศสนุก (2565, น. 1-13) ได้ศึกษาการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเมื่อน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลจากขยะพลาสติก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวเมื่อน้ำมันดีเซลเชิงพาณิชย์ผสมกับน้ำมันดีเซลจากขยะพลาสติก และเปรียบเทียบผลที่ได้กับน้ำมันดีเซลเชิงพาณิชย์จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อน้ำมันดีเซลเชิงพาณิชย์กับน้ำมันดีเซลจากขยะพลาสติกที่สัดส่วนต่างๆ พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจากขยะพลาสติกมีค่ากำลังเบรกลดลง 7% แรงบิดลดลง 3% และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมากกว่า 1% โดยสรุปน้ำมันดีเซลจากขยะพลาสติกเป็นพลังงานทางเลือกที่มีศักยภาพนำมาทดแทนน้ำมันดีเซลเชิงพาณิชย์ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์

กฤษฎี มาแก้วศักดิ์ชาย หล้าบุรี และจิตติพงษ์ จีวร่าย (2560, น.71-83) ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีโซฮอล์และ Syngas ในโหมดเชื้อเพลิงร่วมโดยมีวัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้น้ำมันดีโซฮอล์ที่ใช้เอทานอลปราศจากน้ำ ร้อยละ 10 ผสมกับบิวทานอลร้อยละ 5 ร่วมกับ Syngas ในโหมดเชื้อเพลิงร่วมต่อสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลหนึ่งสูบซึ่งจังหวะต่อเข้ากับเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ณ ความเร็วรอบ 3000 rpm และเปลี่ยนแปลงภาระงาน ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ พบว่า การใช้น้ำมันดีโซฮอล์ร่วมกับ Syngas ในโหมดเชื้อเพลิงร่วม ซึ่งสามารถประหยัดใช้น้ำมันดีโซฮอล์ได้มากที่สุดร้อยละ 20 จากการใช้ปริมาณ Syngas 93 lpm และมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 37 เมื่อใช้ Syngas ที่ 79 lpm เมื่อน้ำมันดีโซฮอล์ร่วมกับ Syngas ที่ 93 lpm มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเพิ่มขึ้นถึง 5.43 kg/kW.hr ซึ่งสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีโซฮอล์เพียงอย่างเดียว ขณะที่เพิ่มการอัดอากาศที่ปริมาณ 116 lpm สามารถเพิ่มปริมาณของโปรติวเซอร์แก๊สได้สูงถึง 116 lpm และมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีโซฮอล์ร่วมกับ Syngas แบบไม่อัดอากาศ สำหรับผลการตรวจสอบการปล่อยสารมลพิษจากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ พบว่า การใช้น้ำมันดีโซฮอล์ร่วมกับ Syngas แบบไม่อัดอากาศ มีการปล่อยปริมาณของ CO₂ ลดลง แต่มีการปล่อยปริมาณสารมลพิษ CO, HC และควันดำเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของ Syngas ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อนำการอัดอากาศเข้ามาร่วมกับการใช้น้ำมันดีโซฮอล์ร่วมกับ Syngas ส่งผลให้มีการปล่อยปริมาณสารมลพิษ CO, HC และควันดำลดลง แต่การใช้ปริมาณของ Syngas ที่ 103 ถึง 116 lpm มีการปล่อยปริมาณของ CO₂ เพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การวิจัยนี้ได้ศึกษาเรื่อง ระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็นหน่วยเดียวในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ (Single-Unit Combined Co-generation System of Diesel-Engine and steam-Generator) งานวิจัยได้ศึกษาและขั้นตอนการเก็บข้อมูล มีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ

3.1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานของการศึกษาวิจัยระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็นหน่วยเดียวในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ (Single-Unit Combined Co-generation System of Diesel-Engine and steam-Generator) ดังนี้

1. เลือกหัวข้อโครงการเพื่อที่จะนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา
2. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการทำความเข้าใจ
3. ออกแบบเครื่องของระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็นหน่วยเดียวในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ
4. ดำเนินการจัดทำเครื่องระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็นหน่วยเดียวในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ
5. ดำเนินการประกอบเครื่องระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็นหน่วยเดียวในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ
6. ดำเนินการประกอบเครื่องระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็นหน่วยเดียวในเครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องผลิตไอน้ำ ทดสอบเครื่องและแก้ไขปรับปรุง ให้สามารถทำงานได้ตามรูปแบบที่ออกแบบไว้
7. นำเสนอรายงานความก้าวหน้าเป็นระยะๆ โดยแจ้งให้อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเข้าไปตรวจสอบความก้าวหน้าของโครงการ
8. จัดทำรายงานการวิจัยและสรุปผลการทดลอง
9. สอนนำเสนอการวิจัยและส่งรูปเล่มที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ท่อไอดี
2. ท่อไอเสีย
3. เครื่องยนต์ (Engine)
4. ถังรับความดัน
5. วาล์วไอเสียออกภายนอกถัง (Ball valve 1)
6. วาล์วไอเสียกลับเข้าถัง (Ball valve 2)
7. ฝาเปิด-ปิดถัง
8. ท่อไอน้ำ
9. เครื่องผลิตไฟฟ้า AC Generator (ใช้สำหรับทดสอบกำลังของเครื่องยนต์)
10. หลอดไฟหรือตัวต้านทาน
11. เครื่องวัดกระแสไฟแอมป์มิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ (เพื่อใช้อ่านค่ากระแสไฟฟ้า และค่าแรงดันไฟฟ้าขณะทดสอบ)

3.1.3 ขั้นตอนการออกแบบและอุปกรณ์

การออกแบบถังที่ใช้ในการต้มน้ำ แทนเครื่อง ระบบวนไอเสีย ช่างมองไอน้ำ รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ จำเป็นต้องออกแบบให้มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้งานและต้องมีความปลอดภัย โดยการออกแบบใช้โปรแกรม Solid Works ช่วยในการออกแบบถังที่จะใช้ทดสอบ เพื่อให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด โปรแกรม Solid Works เป็นโปรแกรมออกแบบ 3 มิติที่มีความสามารถครอบคลุมในการเขียนแบบและวิเคราะห์รายละเอียดต่างๆ ได้มากมาย ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้จะมีดังต่อไปนี้

1) เครื่องยนต์ดีเซล

ในการทดสอบเครื่องยนต์ KUBOTA รุ่น ET 110 เป็นเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวแบบ 4 จังหวะ



รูปที่ 3.1 เครื่องยนต์ดีเซลที่ทดสอบ

2) ถังรับความดัน

ใช้ถังต้มน้ำที่ประกอบด้วยวัสดุเป็นเหล็กแผ่น SS400 มีความหนา 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 วัสดุที่ใช้ทำถังต้มน้ำ Steel plate SS400

3) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเครื่องยนต์ขณะที่อยู่ในถังต้มน้ำ



รูปที่ 3.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

4) เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า (AC Generator)

ใช้เครื่องผลิตไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 10 kW เพื่อใช้ในการทดสอบกำลังของเครื่องยนต์



รูปที่ 3.4 เครื่องผลิตไฟฟ้าขนาด 10 kW

5) แคมป์มิเตอร์และมัลติมิเตอร์

ใช้สำหรับใช้ตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า ที่ผลิตได้เครื่อง Generator



รูปที่ 3.5 แคมป์มิเตอร์



รูปที่ 3.6 มัลติมิเตอร์

6) โหลดไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์ใช้ในการเพิ่มและลดความต้านทานในการผลิตไฟฟ้าโดยสามารถปรับตามค่าต่างๆ ตามการกำหนดค่าช่วงในความเร็วรอบเครื่องยนต์



รูปที่ 3.7 โหลดไฟฟ้า

3.1.4 ขั้นตอนการติดตั้ง

ขั้นตอนวิจัยโดยนำแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ที่นำมาใช้ในกระบวนการวิจัยดำเนินงานตามวัตถุประสงค์เป้าหมายที่ตั้งไว้

1) ถังต้มน้ำ (Boiler Tank)

นำขนาดความกว้างยาวที่วัดได้ของเครื่องยนต์มาออกแบบถังให้สามารถนำเครื่องยนต์ติดตั้งลงในถังได้ จากนั้นออกแบบระบบท่อไอเสียให้สามารถวนกลับถังได้และสามารถทิ้งออกข้างนอกได้โดยใช้บอลลวาล์วเป็นตัวควบคุมอากาศภายในถัง ซึ่งถังที่ใช้นี้จะเปรียบเสมือนเป็นหม้อไอน้ำ ในการต้มน้ำแต่ในการออกแบบระบบนี้จะต้องมีเครื่องยนต์อยู่ภายในถังเป็นระบบรวมที่ใช้การต้มน้ำแบบผสม ที่จะได้พลังงานความร้อนจากทั้งสองส่วนคือส่วนไอเสียและจากบริเวณรอบ ๆ เครื่องยนต์ การออกแบบถังและสร้างถังจึงต้องคำนึงถึงสถานะต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น ภายในถังเมื่อถังถูกปิด



รูปที่ 3.8 ถังความดัน

2) เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine)

เครื่องยนต์ที่นำมาทำการแก้ไขและบำรุงรักษาส่วนที่เสียหาย โดยการเปลี่ยนถ่ายของเหลวต่าง ๆ ภายในเครื่องยนต์ และติดเครื่องยนต์และตรวจสอบดูรอยรั่วต่างๆ จากนั้นติดตั้งลงในถังต้มน้ำแล้วปิดถังด้านข้าง



รูปที่ 3.9 เครื่องยนต์ถูกติดตั้งลงภายในถัง

3) ติดตั้งท่อไอเสียแบบวนกลับได้

เมื่อประกอบถึงรับความดันและติดตั้งเครื่องยนต์เสร็จแล้วจากนั้นจะทำการประกอบท่อไอเสียที่ออกภายนอกถังที่สามารถเปลี่ยนทิศทางวนกลับเข้าถังได้



รูปที่ 3.10 ติดตั้งระบบท่อไอเสียแบบวนกลับได้

4) ติดตั้งอุปกรณ์ใช้ทดสอบกำลังของเครื่องยนต์

ทำการติดตั้ง AC Generator มาติดตั้งบนเพลลาซึ่งมีแบริ่งรองรับขณะเดียวกัน จะต่อเพลลาของอาร์เมเจอร์เข้ากับเครื่องยนต์เมื่อเครื่องหมุนทวนอาร์เมเจอร์ก็จะหมุนไปด้วยสนามแม่เหล็กที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กซึ่งอยู่กับที่กับทวนอาร์เมเจอร์ จะบังคับให้ตัวเรือนของอาร์เมเจอร์หมุนตามในทิศทางเดียวกันเกิดกระแสไฟฟ้าและเมื่อมีภาระทางไฟฟ้ามากขึ้นก็จะดูดกำลังของเครื่องยนต์มากขึ้น ซึ่งการจุดนี้สามารถนำไปวัดเป็นแรงม้าหรือแรงบิดได้



รูปที่ 3.11 ต่อสายไฟ output เข้ากับสวิตช์โหลดหลอดไฟ

5) ติดตั้งโหลดทางไฟฟ้าหรือตัวต้านทาน



รูปที่ 3.12 การติดตั้งโหลดหลอดไฟขนาดทั้งหมด 4.5 kW



รูปที่ 3.13 ทดสอบเปิดหลอดไฟที่ติดตั้งเสร็จแล้ว

6) ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล



รูปที่ 3.14 ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลไว้ที่ท่อน้ำวน



รูปที่ 3.15 ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลไว้ที่โอเสีย

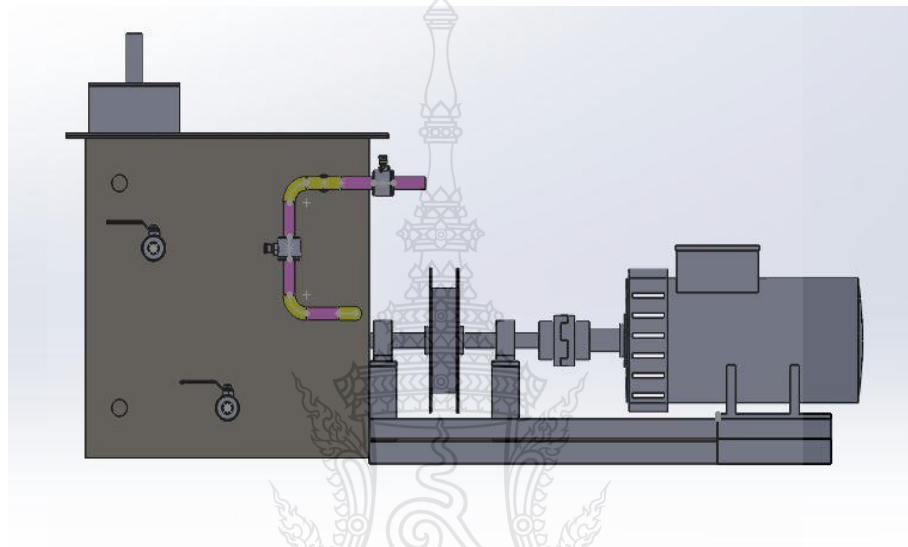


รูปที่ 3.16 ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้ากับอุปกรณ์อ่านค่า

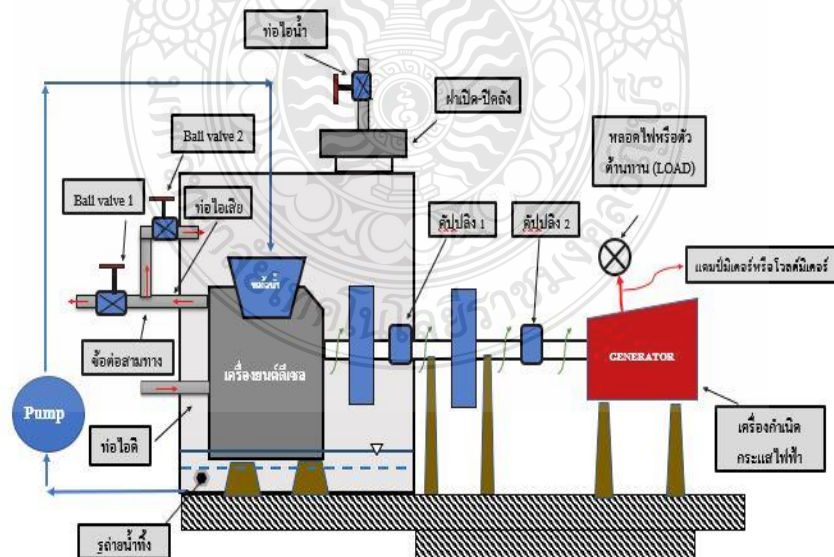
3.2 ขั้นตอนการศึกษาเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวม เป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ

3.2.1 ขั้นตอนการทดสอบและเก็บผลการทดลอง

ระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำที่จะใช้ทดสอบได้ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และ 3.18



รูปที่ 3.17 แสดงแบบโครงสร้างของระบบที่ออกแบบไว้



รูปที่ 3.18 จำลองโครงสร้างแสดงการทำงานและชื่ออุปกรณ์ของระบบที่จะนำไปใช้

จากรูปที่ 3.18 อุปกรณ์มีดังนี้

1. ท่อไอดี
2. ท่อไอเสีย
3. เครื่องยนต์ (Engine)
4. ถังรับความดัน
5. วาล์วไอเสียออกภายนอกถัง(Ball valve 1)
6. วาล์วไอเสียกลับเข้าถัง(Ball valve 2)
7. ฝาเปิด-ปิดถัง
8. ท่อไอน้ำ
9. เครื่องผลิตไฟฟ้า AC Generator (ใช้สำหรับทดสอบกำลังของเครื่องยนต์)
10. หลอดไฟหรือตัวต้านทาน
11. เครื่องตรวจวัดกระแสไฟแอมป์มิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ (เพื่อใช้ตรวจวัดอ่านค่ากระแสไฟฟ้า และค่าแรงดันไฟฟ้าขณะทดสอบ)

3.2.2 การทดสอบที่ 1

ทดสอบประสิทธิภาพในการต้มน้ำแบบไม่ปิดฝาถัง-ไอเสียออกภายนอก

1. เติมน้ำใส่ถังปริมาณ 25 ลิตรของความจุถัง
2. ทำการติดเครื่องยนต์แล้วอุ่นเครื่องยนต์จนถึงอุณหภูมิทำงาน
3. เร่งเครื่องยนต์ให้ถึงรอบสูงสุดจากนั้นอ่านค่าจากเครื่องวัดรอบ
4. เปิดหลอดหลอดไฟจนกระทั่งรอบเครื่องยนต์ตกลงมาต่ำสุด (รอบเครื่องยนต์ที่เกือบจะดับแต่ไม่ดับ) วัดรอบที่ได้ต่ำสุด แล้วแบ่งช่วงรอบเครื่องต่ำสุดถึงสูงสุดรวมเป็น 4 ช่วงรอบเครื่องยนต์ที่จะใช้ทดสอบ
5. บันทึกกรอบเครื่องยนต์ ค่าโวลต์ และค่าแอมป์ที่อ่านได้ ณ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ทดสอบอยู่ในช่วงที่ 1
6. เริ่มจับเวลาวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นเวลา 1 นาที แล้วบันทึกอัตราสิ้นเปลืองที่วัดได้
7. ค่อยๆ ลดหลอดหลอดไฟจนกระทั่งความเร็วรอบเครื่องยนต์ถึงช่วงที่ 2 อ่านจากเครื่องวัดรอบ
8. บันทึกค่าต่างๆแล้วทำซ้ำจนครบความเร็วช่วงสุดท้าย
9. วัดอุณหภูมิของน้ำในถังเปรียบเทียบกับตอนเริ่มต้น
10. พักเครื่องยนต์แล้วทำซ้ำให้ได้ทั้งหมด3รอบ แล้วหาค่าเฉลี่ยนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพ

3.2.3 การทดสอบที่ 2

ทดสอบประสิทธิภาพในการต้มน้ำแบบปิดฝาถัง-ไอเสียออกภายนอก

1. เติมน้ำใส่ถังปริมาณ 25 ลิตรของความจุถัง
2. ทำการติดเครื่องยนต์ปิดฝาถัง และปิดวาล์วไอน้ำแล้วอุ่นเครื่องยนต์จนถึงอุณหภูมิทำงานบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้น
3. อุ่นเครื่องยนต์ไปเรื่อย ๆ จนน้ำในถังเริ่มร้อน และมีไอน้ำออกมาสังเกตจากการเปิดวาล์วไอน้ำและอุณหภูมิที่เครื่องยนต์ ถ้ามีไอน้ำออกมาแล้วให้เริ่มทำการทดสอบ

- 4.ทำการทดสอบเหมือนการทดสอบที่ 1 แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้ด้วย
- 5.ก่อนพักเครื่องย่นต์ลองสังเกตปริมาณไอน้ำด้วยการเปิดวาล์วไอน้ำแล้วนำมาเปรียบเทียบกับ การทดสอบที่ 3



รูปที่ 3.19 การทดสอบที่ 2 แบบปิดฝาถัง-ไอเสียออกภายนอก

3.2.4 การทดสอบที่ 3

ทดสอบประสิทธิภาพในการต้มน้ำแบบปิดฝาถัง-ไอเสียวนกลับเข้าถัง

1. เติมน้ำใส่ถังปริมาณ 25 ลิตรของความจุถัง
2. ทำการติดเครื่องย่นต์ปิดฝาถังและปิดวาล์วไอน้ำแล้วอุ่นเครื่องย่นต์จนถึงอุณหภูมิทำงาน บันทึกอุณหภูมิเริ่มต้น
3. อุ่นเครื่องย่นต์ไปเรื่อยๆจนน้ำในถังเริ่มร้อนและมีไอน้ำออกมาสังเกตจากการเปิดวาล์วไอน้ำและอุณหภูมิที่เครื่องย่นต์ ถ้ามีไอน้ำออกมาแล้วให้เริ่มทำการทดสอบ
- 4.ทำการทดสอบเหมือนการทดสอบที่ 2 แล้วบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้ด้วย
- 5.ก่อนพักเครื่องย่นต์ลองสังเกตปริมาณไอน้ำด้วยการเปิดวาล์วไอน้ำแล้วนำมาเปรียบเทียบกับ การทดสอบที่ 2

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาตามวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย เพื่อการประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบโคเจนเนอเรชั่นแบบรวมเป็นหน่วยเดียวของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ (Efficiency Assessment of a Single-Unit Combined Co-generation of Diesel-Engine and Steam-Generator) ได้ทำการทดสอบและผลการวิจัยดำเนินงานดังนี้

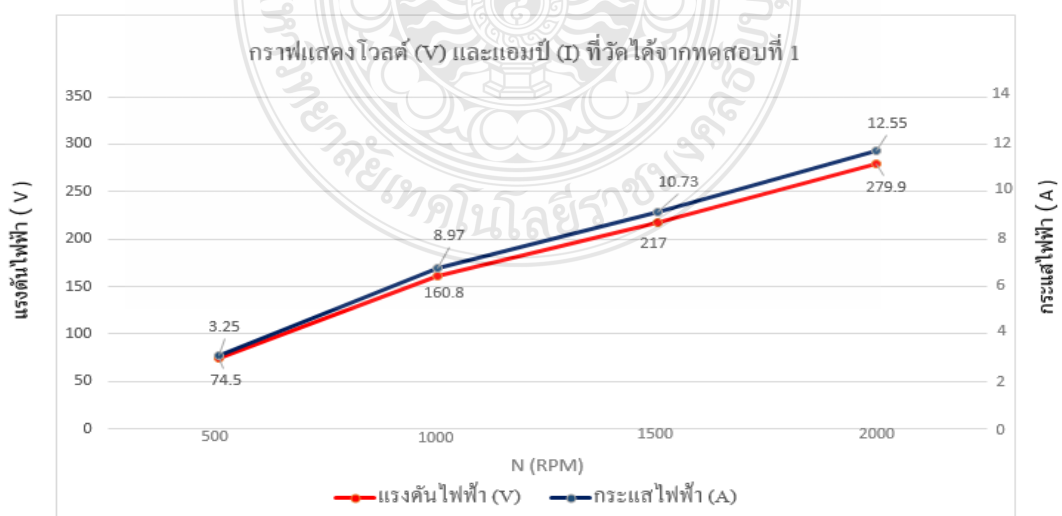
4.1 การทดสอบที่ 1

วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการต้มน้ำแบบไม่ปิดฝาถัง-ไอเสียออกภายนอก การบันทึกค่าเฉลี่ยผลการทดสอบที่ 1

1. บันทึกค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าลงในตารางการบันทึกผล

ตารางที่ 4.1 บันทึกค่าเฉลี่ยของโวลต์และค่าแอมป์ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 1

ความเร็วรอบ, N (RPM)	โวลต์, V (V)	แอมป์, I (A)
500	74.5	3.25
1000	160.8	8.97
1500	217.0	10.73
2000	279.9	12.55

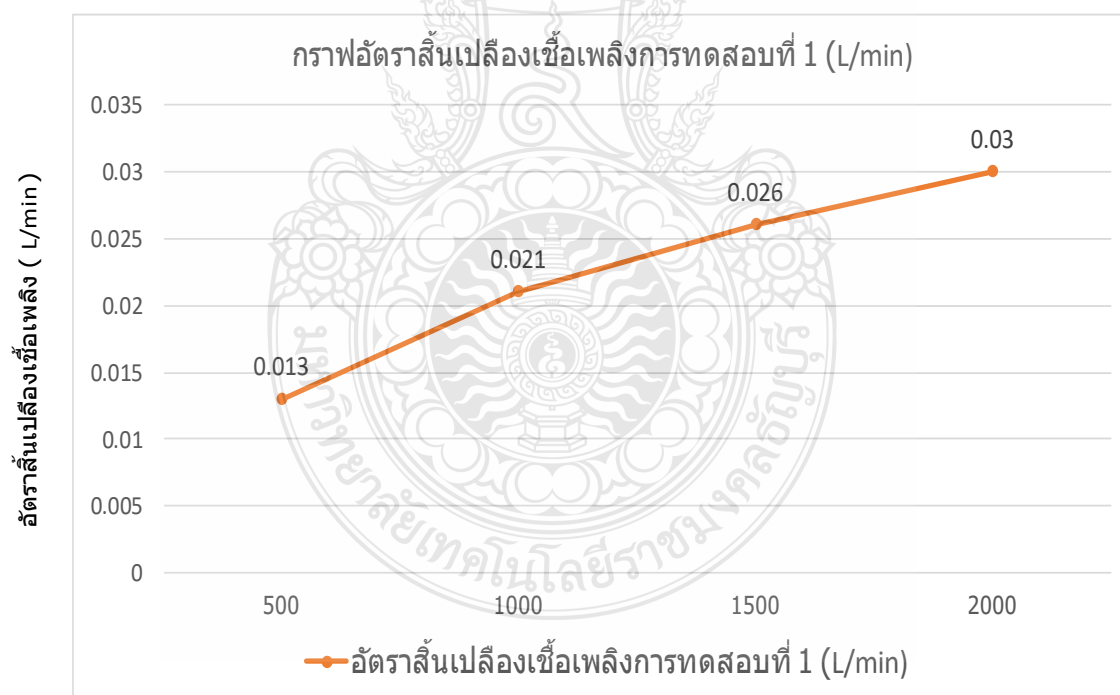


รูปที่ 4.1 กราฟเฉลี่ยแสดงโวลต์ (V) และแอมป์ (I) ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 1

2. บันทึกอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วัดได้จากกระบอกตวง

ตารางที่ 4.2 บันทึกค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วัดได้จากการทดสอบที่ 1

ความเร็วรอบ, N (RPM)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงการทดสอบที่ 1 (L/min)
500	0.013
1000	0.021
1500	0.026
2000	0.030

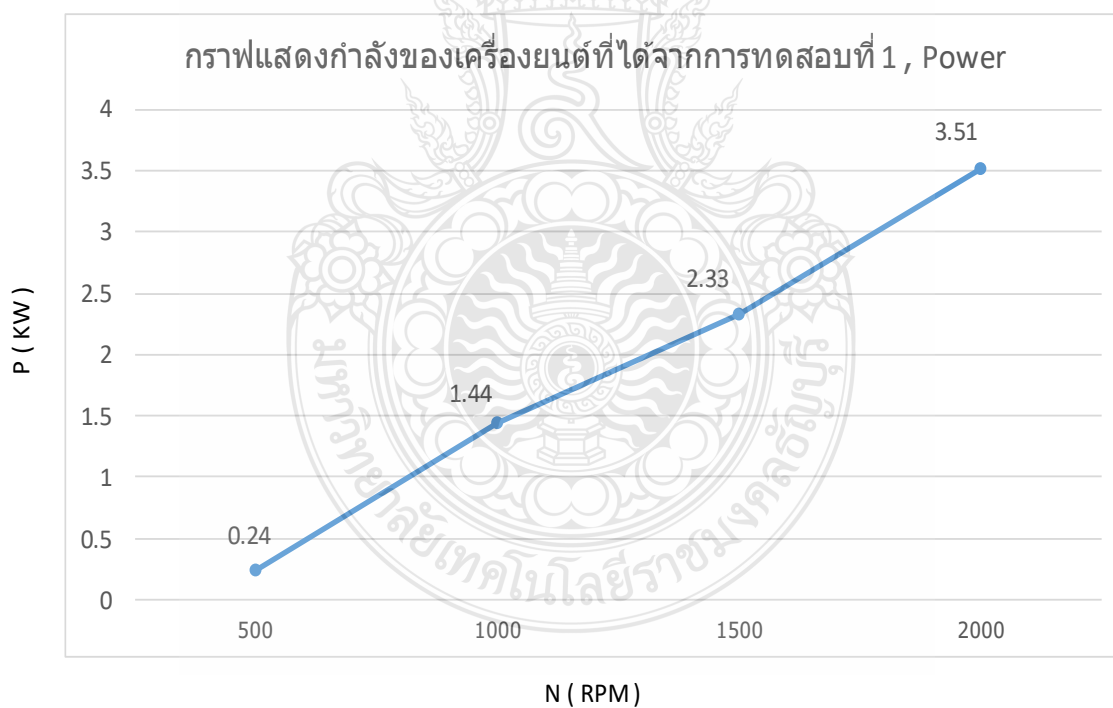


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงอัตราการสิ้นเปลืองเฉลี่ยจากการทดสอบที่ 1

3. บันทึกกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 4.3 บันทึกค่ากำลังเครื่องยนต์เฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณในทดสอบที่ 1

ความเร็วรอบ, N (RPM)	กำลัง, P (kW)
500	0.24
1000	1.44
1500	2.33
2000	3.51

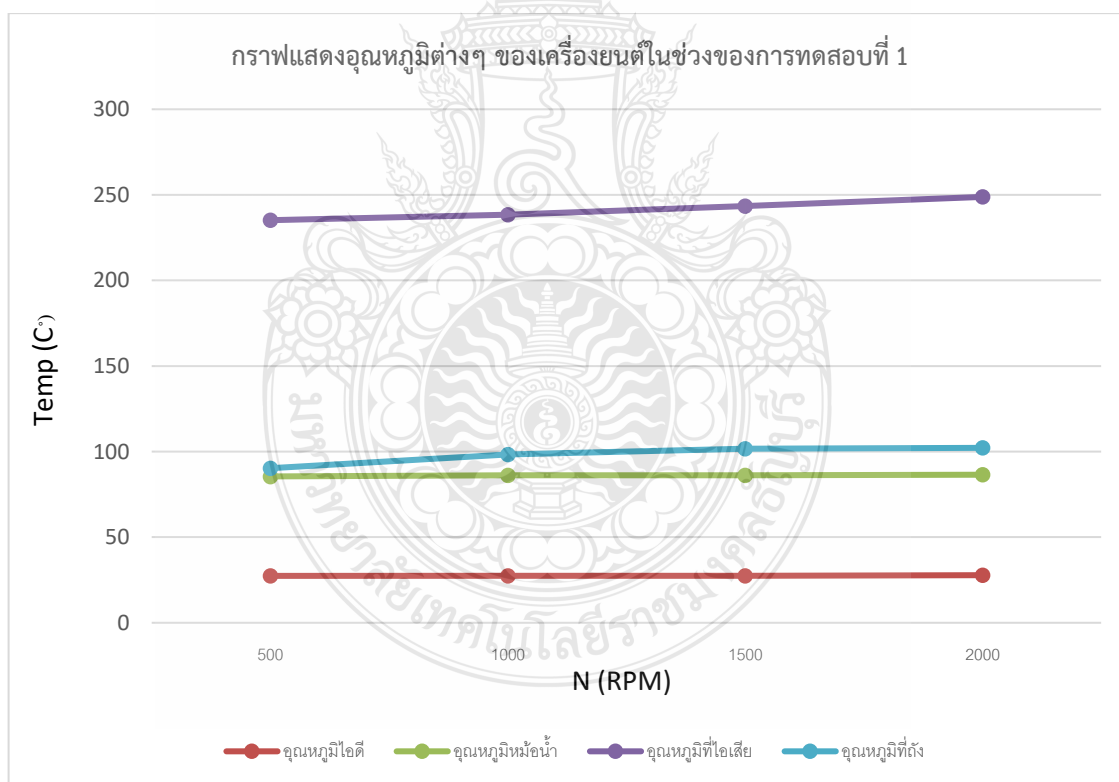


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงกำลังเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบที่ 1

4. บันทึกค่าของอุณหภูมิเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 1

ตารางที่ 4.4 บันทึกค่าของอุณหภูมิเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ 1

ความเร็วรอบ, N (RPM)	อุณหภูมิไอ้, $T1$	อุณหภูมิหม้อน้ำ, $T2$	อุณหภูมิที่ไอ้เสีย, $T3$	อุณหภูมิที่ถัง, $T4$	น้ำที่ลดลง, kg/hr
500	27.4	85.5	235.2	90.3	0.50
1000	27.5	86.1	238.4	98.3	0.54
1500	27.5	86.2	243.5	101.7	0.72
2000	27.8	86.5	248.8	102.2	1.18



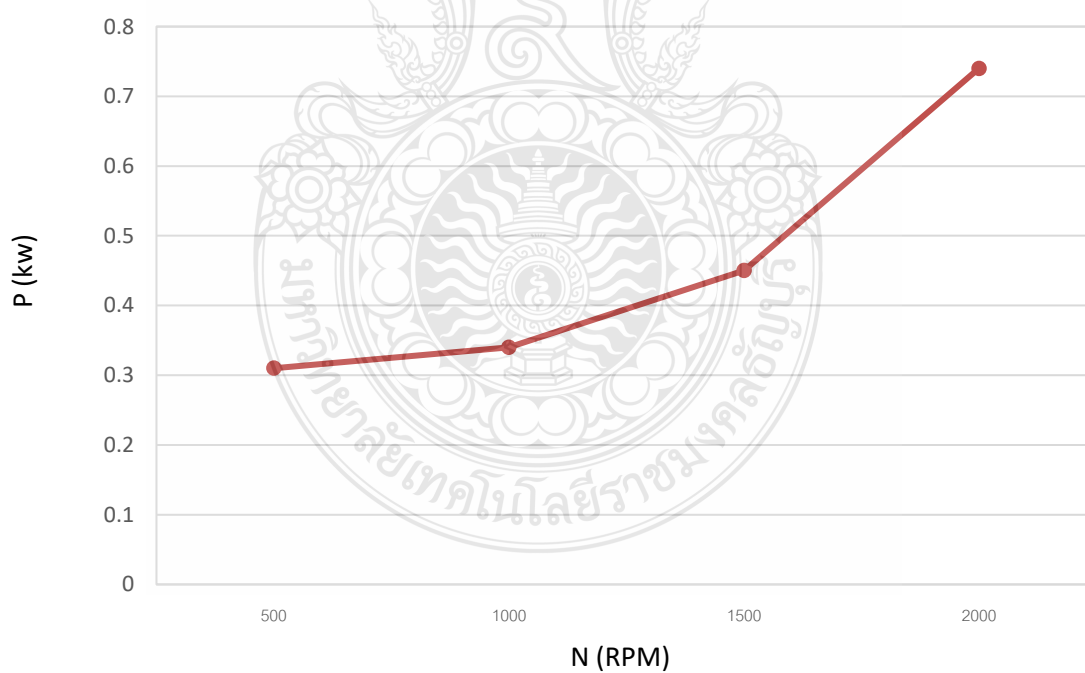
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงอุณหภูมิต่างๆ ของเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 1

5. บันทึกค่ากำลังไอน้ำ

ตารางที่ 4.5 บันทึกค่ากำลังไอน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณในการทดสอบที่ 1

ความเร็วรอบ, N (RPM)	กำลังไอน้ำ, P (kW)
500	0.31
1000	0.34
1500	0.45
2000	0.74

กราฟแสดงกำลังไอน้ำ ในช่วงของการทดสอบที่ 1

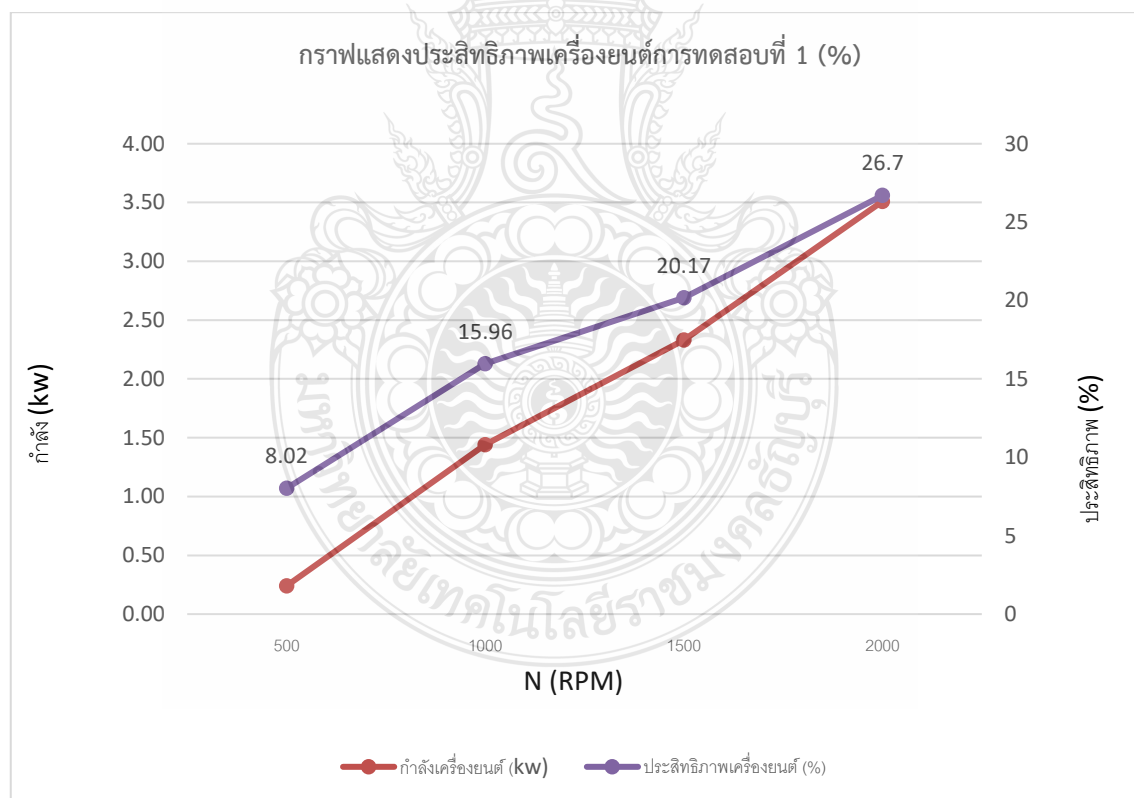


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงกำลังไอน้ำ ในช่วงของการทดสอบที่ 1

6. ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเครื่องยนต์

ตารางที่ 4.6 บันทึกค่าการคำนวณหาประสิทธิภาพเครื่องยนต์ จากการทดสอบที่ 1

ความเร็วรอบ, N (RPM)	กำลังเครื่องยนต์, P (kW)	กำลังไอน้ำ, P (kW)	ประสิทธิภาพเครื่องยนต์, η_{th} (%)
500	0.24	0.31	8.02
1000	1.44	0.34	15.96
1500	2.33	0.45	20.17
2000	3.51	0.74	26.70



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงประสิทธิภาพเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ 1

4.2 การทดสอบที่ 2

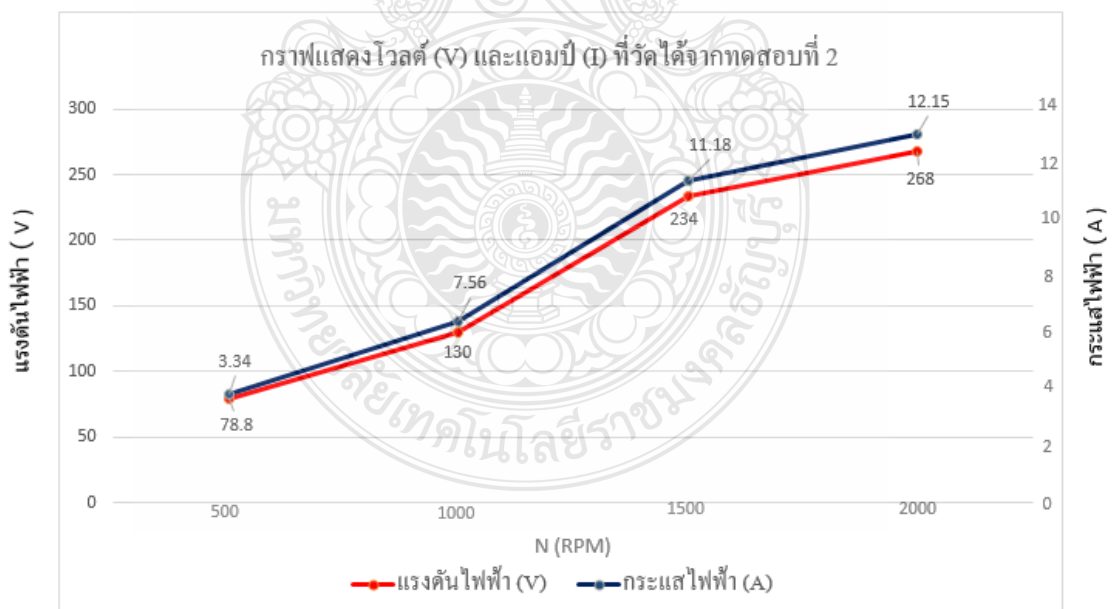
วิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพเครื่องยนต์ในการดำน้ำแบบปิดฝาดัง-ไอเสียออกภายนอก

การบันทึกค่าเฉลี่ยผลการทดสอบที่ 2

1. บันทึกค่าแรงดัน และกระแสในตารางการบันทึกผล

ตารางที่ 4.7 บันทึกค่าเฉลี่ยของโวลต์ และค่าแอมป์ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 2

ความเร็วรอบ, N (RPM)	โวลต์, V (V)	แอมป์, I (A)
500	78.8	3.34
1000	130	7.56
1500	234	11.18
2000	268	12.15

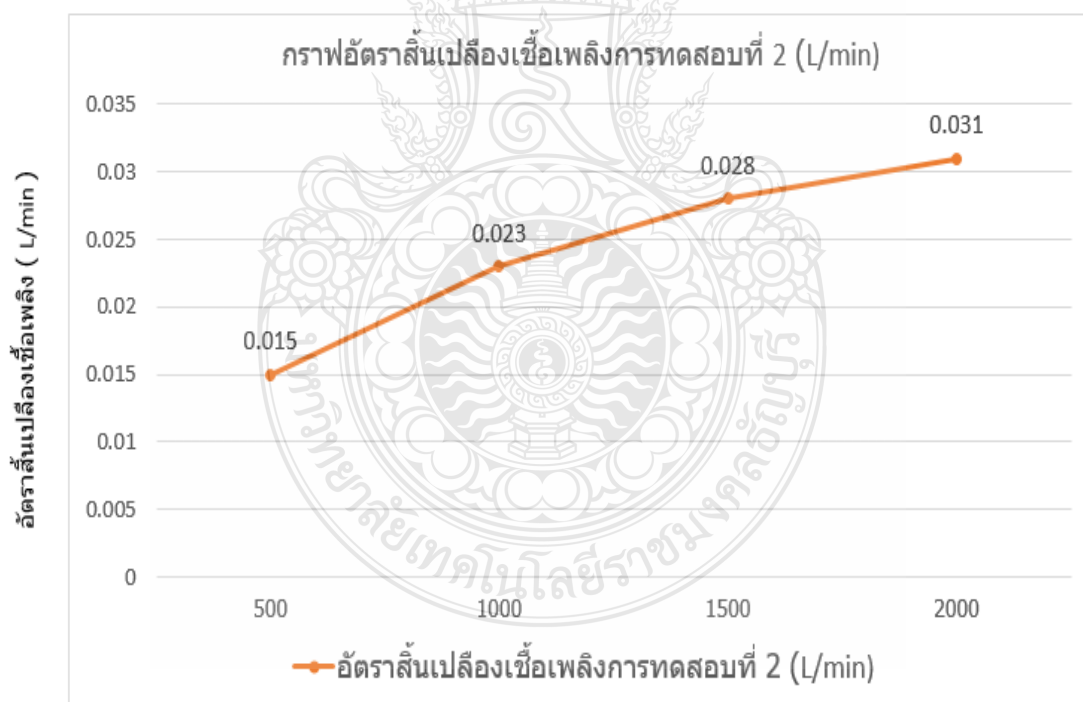


รูปที่ 4.7 กราฟเฉลี่ยแสดงโวลต์ (V) และแอมป์ (I) ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 2

2. บันทึกอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วัดได้จากกระบอกตวง

ตารางที่ 4.8 บันทึกค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วัดได้จากการทดสอบที่ 2

ความเร็วรอบ, N (RPM)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย (L/min)
500	0.015
1000	0.023
1500	0.028
2000	0.031

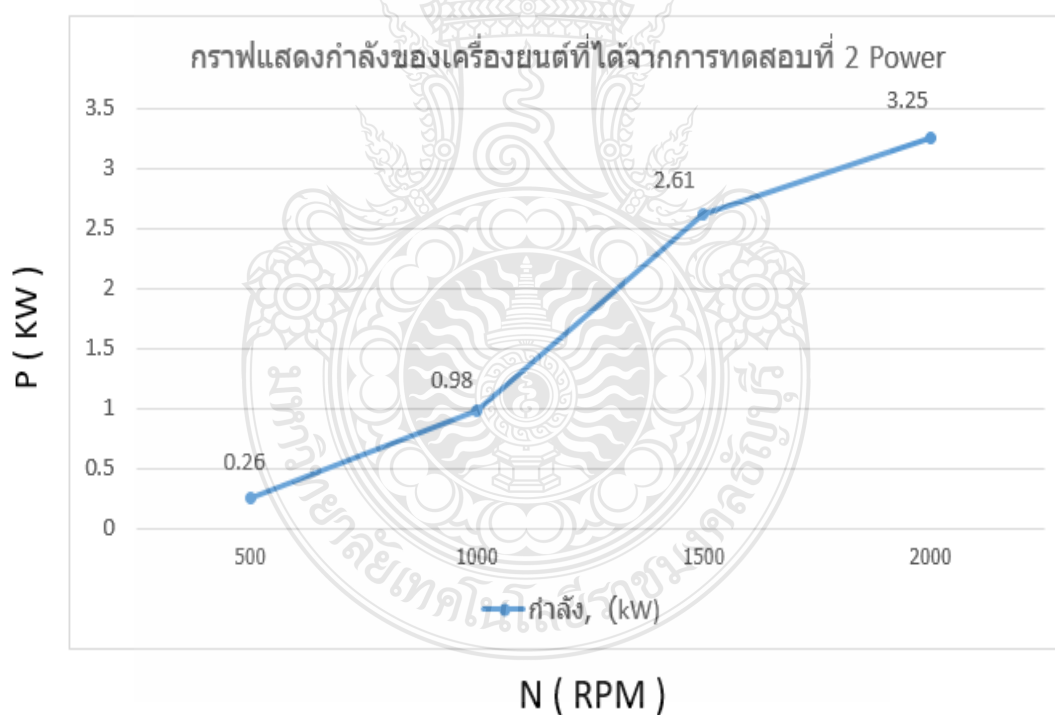


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยจากการทดสอบที่ 2

3. บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 4.9 บันทึกกำลังของเครื่องยนต์เฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากการทดสอบที่ 2

ความเร็วรอบ, N (RPM)	กำลัง, P (kW)
500	0.26
1000	0.98
1500	2.61
2000	3.25

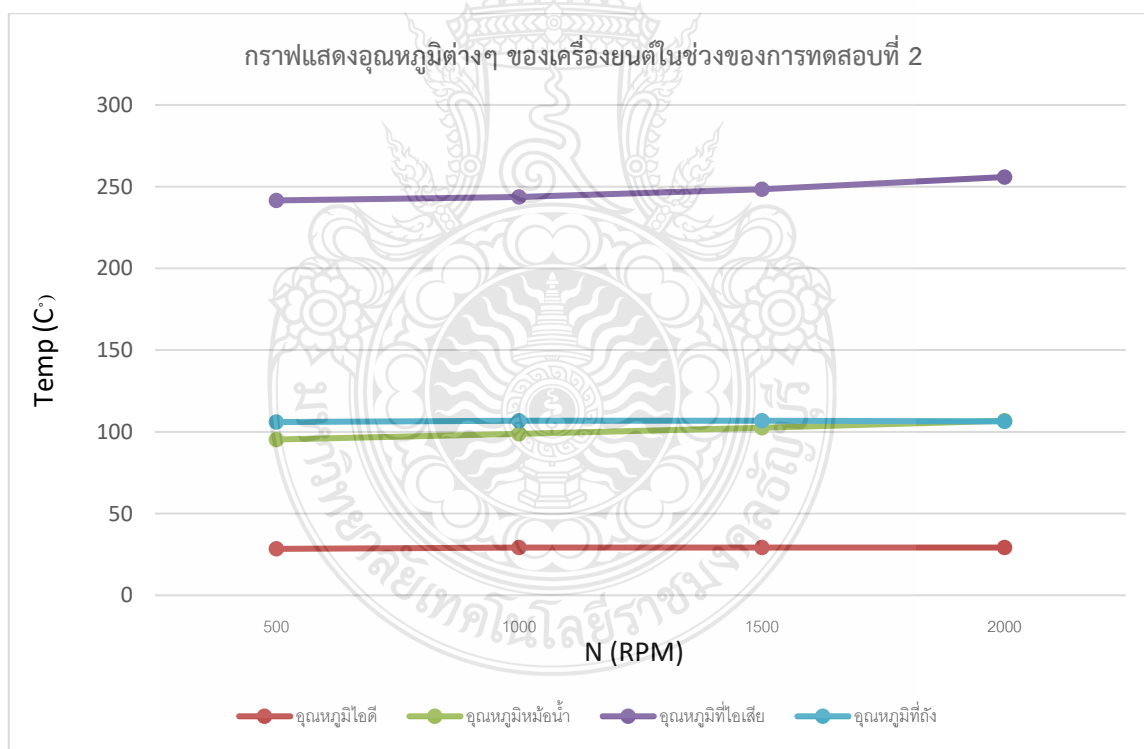


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบที่ 2

4. บันทึกค่าของอุณหภูมิเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 2

ตารางที่ 4.10 บันทึกค่าของอุณหภูมิเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 2

ความเร็วรอบ, N (RPM)	อุณหภูมิไอดี, $T1$	อุณหภูมิหม้อน้ำ, $T2$	อุณหภูมิที่ไอเสีย, $T3$	อุณหภูมิที่ถัง, $T4$	น้ำที่ลดลง, kg/hr
500	28.4	95.3	241.6	106.0	3.50
1000	29.2	98.7	243.7	106.7	5.58
1500	29.2	102.5	248.5	106.8	7.55
2000	29.2	106.8	255.9	106.4	8.72

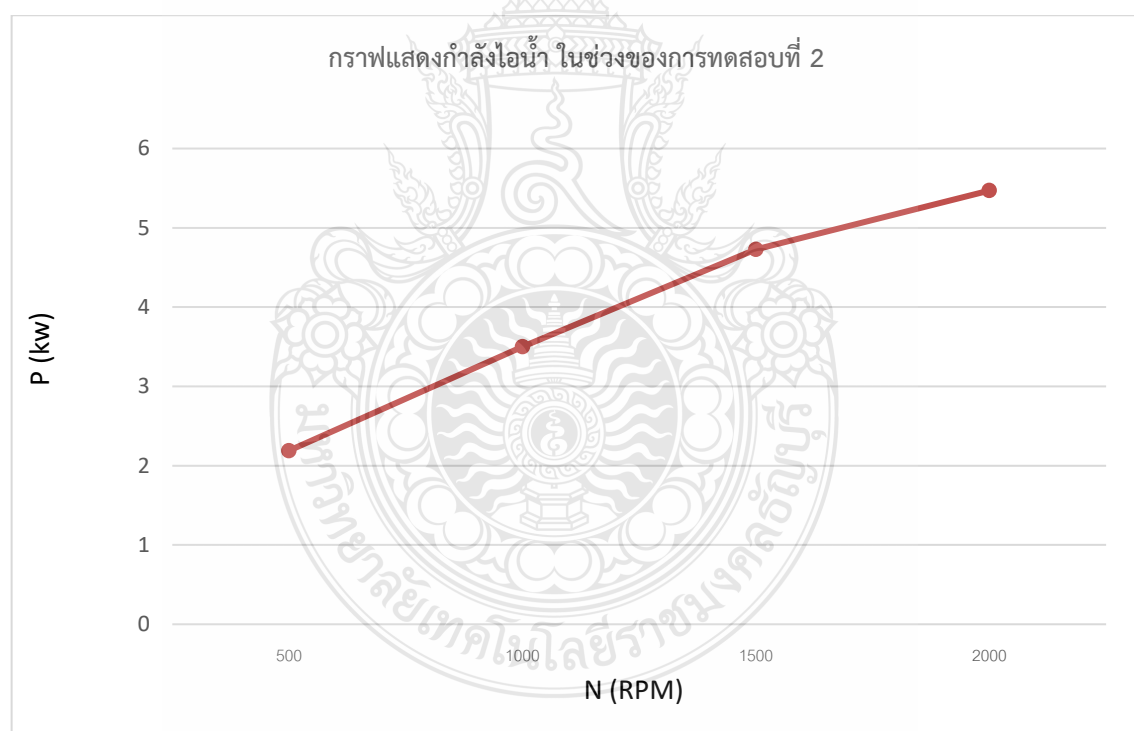


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอุณหภูมิต่างๆ ของเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 2

5. บันทึกกำลังของไอน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 4.11 บันทึกค่ากำลังไอน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากการทดสอบที่ 2

ความเร็วรอบ, N (RPM)	กำลังไอน้ำ, P (kW)
500	2.19
1000	3.50
1500	4.73
2000	5.47

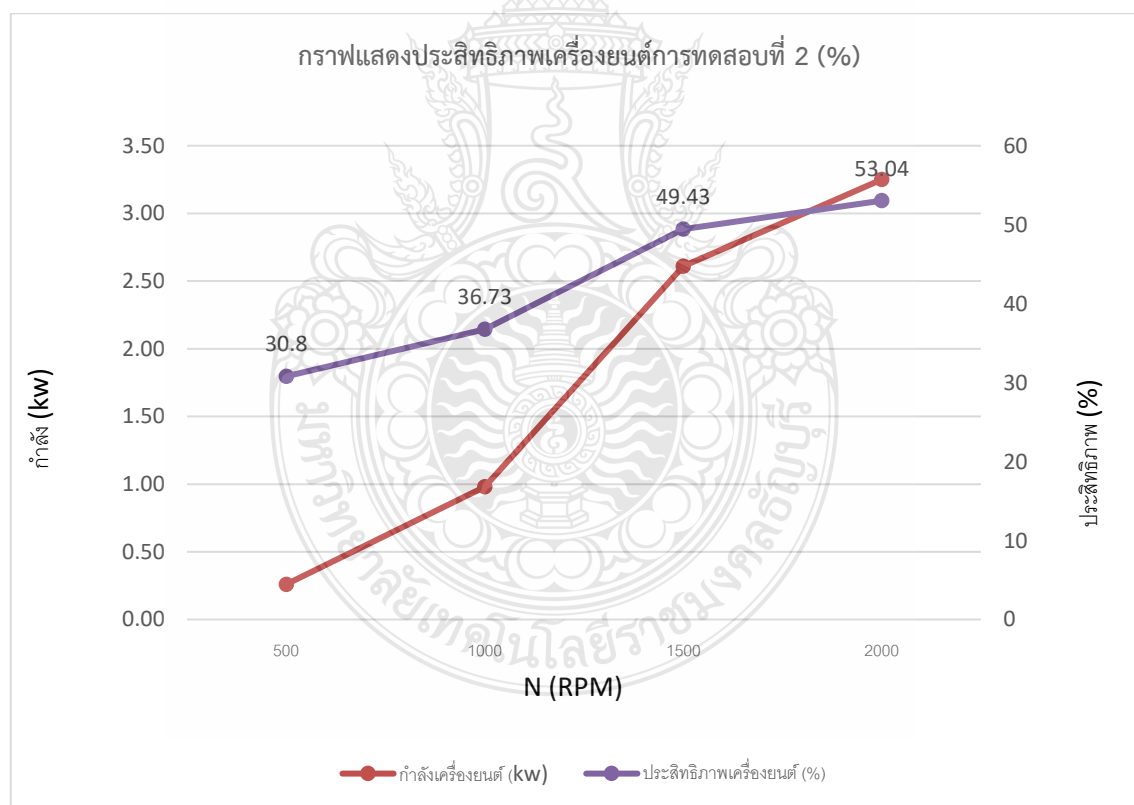


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงกำลังไอน้ำ ในช่วงของการทดสอบที่ 2

6. การคำนวณหาประสิทธิภาพเครื่องยนต์

ตารางที่ 4.12 บันทึกการคำนวณหาประสิทธิภาพเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ 2

ความเร็วรอบ, N (RPM)	กำลังเครื่องยนต์, P (kW)	กำลังไอน้ำ, P (kW)	ประสิทธิภาพเครื่องยนต์, η_{th} (%)
500	0.26	2.19	30.80
1000	0.98	3.50	36.73
1500	2.61	4.73	49.43
2000	3.25	5.47	53.04



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงประสิทธิภาพเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ 2

4.3 การทดสอบที่ 3

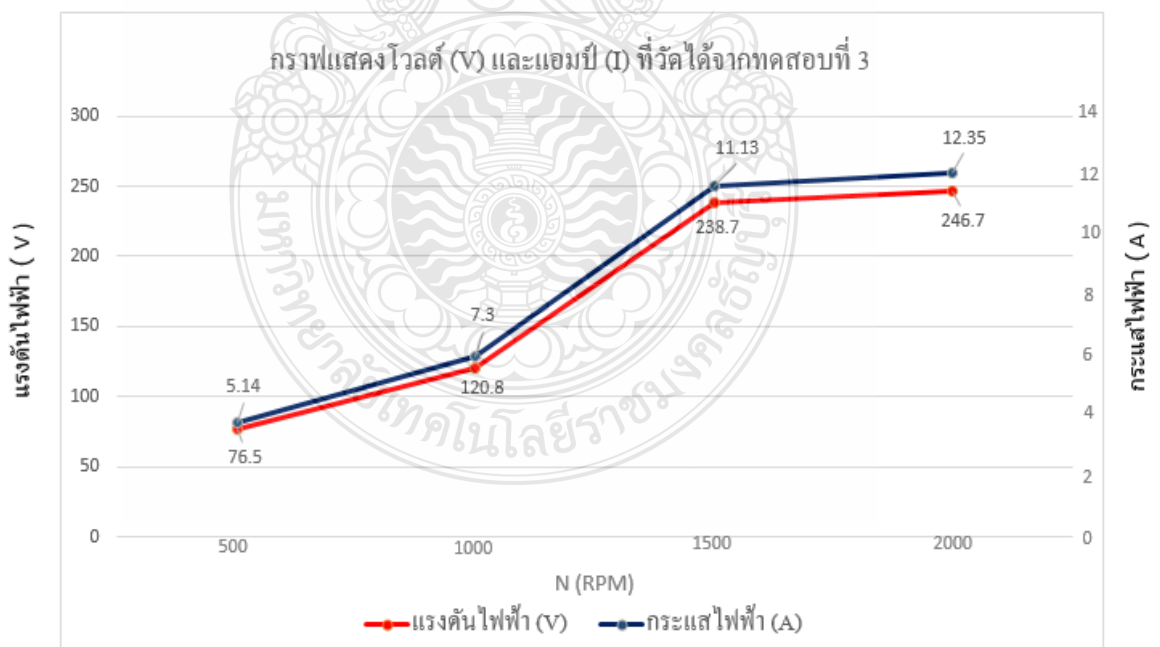
วิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพเครื่องยนต์ในการต้มน้ำแบบปิดฝาลัง-ไอเสียนเข้าถัง

การบันทึกค่าเฉลี่ยผลการทดสอบที่ 3

1. บันทึกค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าลงในตารางการบันทึกผล

ตารางที่ 4.13 บันทึกค่าเฉลี่ยของโวลต์และค่าแอมป์ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 3

ความเร็วรอบ, N (RPM)	โวลต์, V (V)	แอมป์, I (A)
500	76.5	5.14
1000	120.8	7.30
1500	238.7	11.13
2000	246.7	12.35

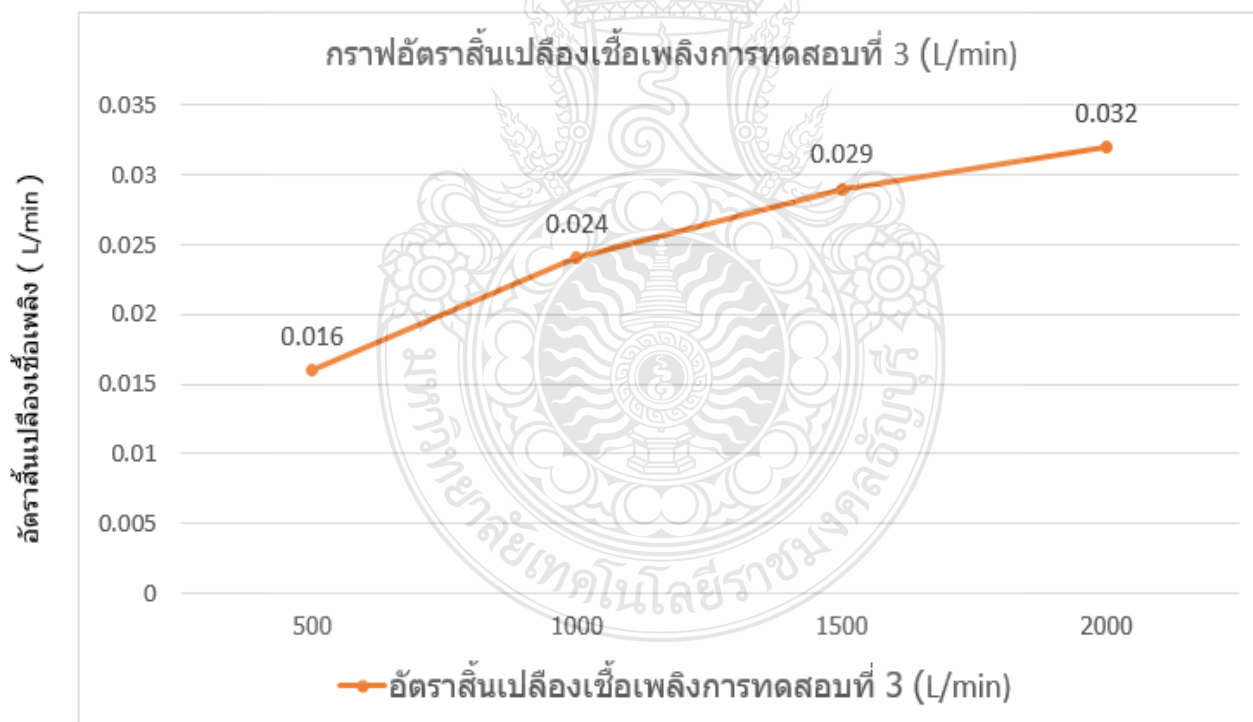


รูปที่ 4.13 กราฟเฉลี่ยแสดงโวลต์ (V) และแอมป์ (I) ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 3

2. บันทึกอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วัดได้จากกระบอกตวง

ตารางที่ 4.14 บันทึกค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วัดได้จากการทดสอบที่ 3

ความเร็วรอบ, N (RPM)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย (L/min)
500	0.016
1000	0.024
1500	0.029
2000	0.032

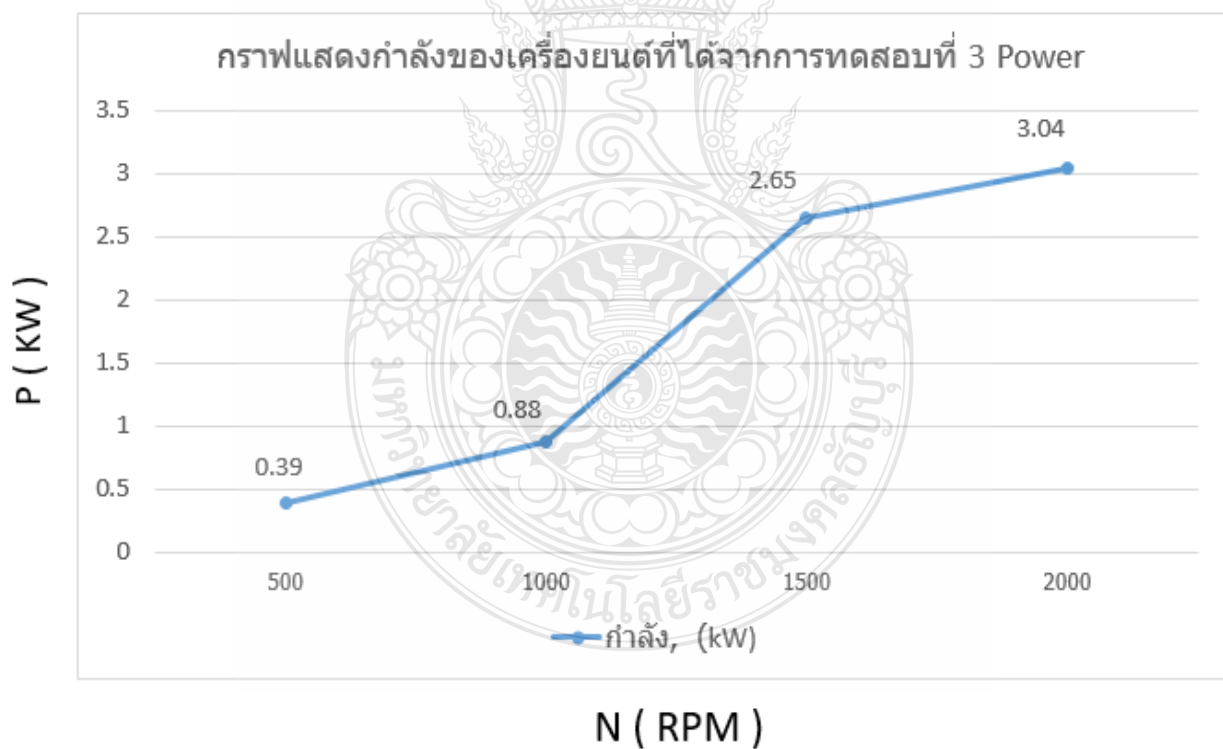


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยจากการทดสอบที่ 3

3. บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 4.15 บันทึกค่ากำลังของเครื่องยนต์เฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณในการทดสอบที่ 3

ความเร็วรอบ, N (RPM)	กำลัง, P (kW)
500	0.39
1000	0.88
1500	2.65
2000	3.04

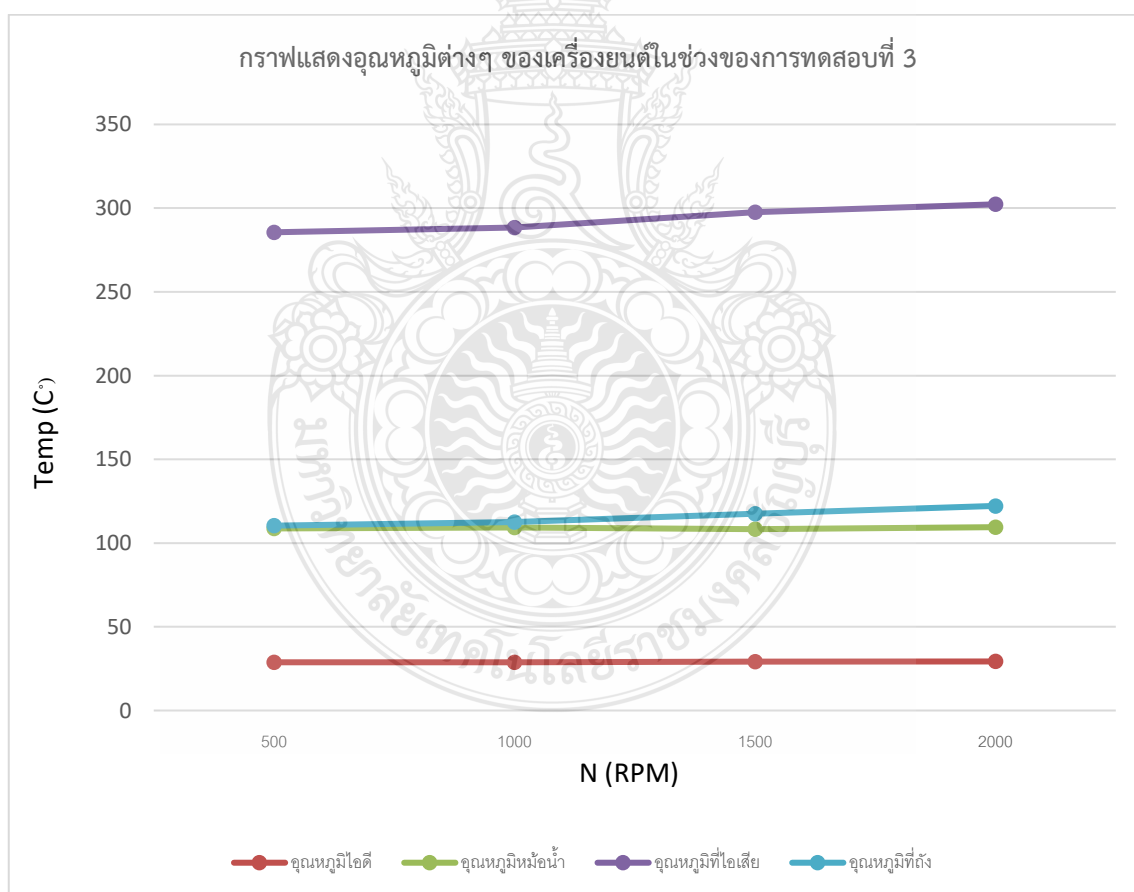


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่ากำลังเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบที่ 3

4. บันทึกค่าของอุณหภูมิเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 3

ตารางที่ 4.16 บันทึกค่าของอุณหภูมิเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 3

ความเร็วรอบ, N (RPM)	อุณหภูมิไอดี, $T1$	อุณหภูมิหม้อน้ำ, $T2$	อุณหภูมิที่ไอเสีย, $T3$	อุณหภูมิที่ถัง, $T4$	น้ำที่ลดลง, kg/hr
500	28.8	108.8	285.6	110.4	4.55
1000	28.8	109.4	288.5	112.6	6.32
1500	29.2	108.3	297.7	117.5	8.77
2000	29.3	109.5	302.3	122.2	9.32

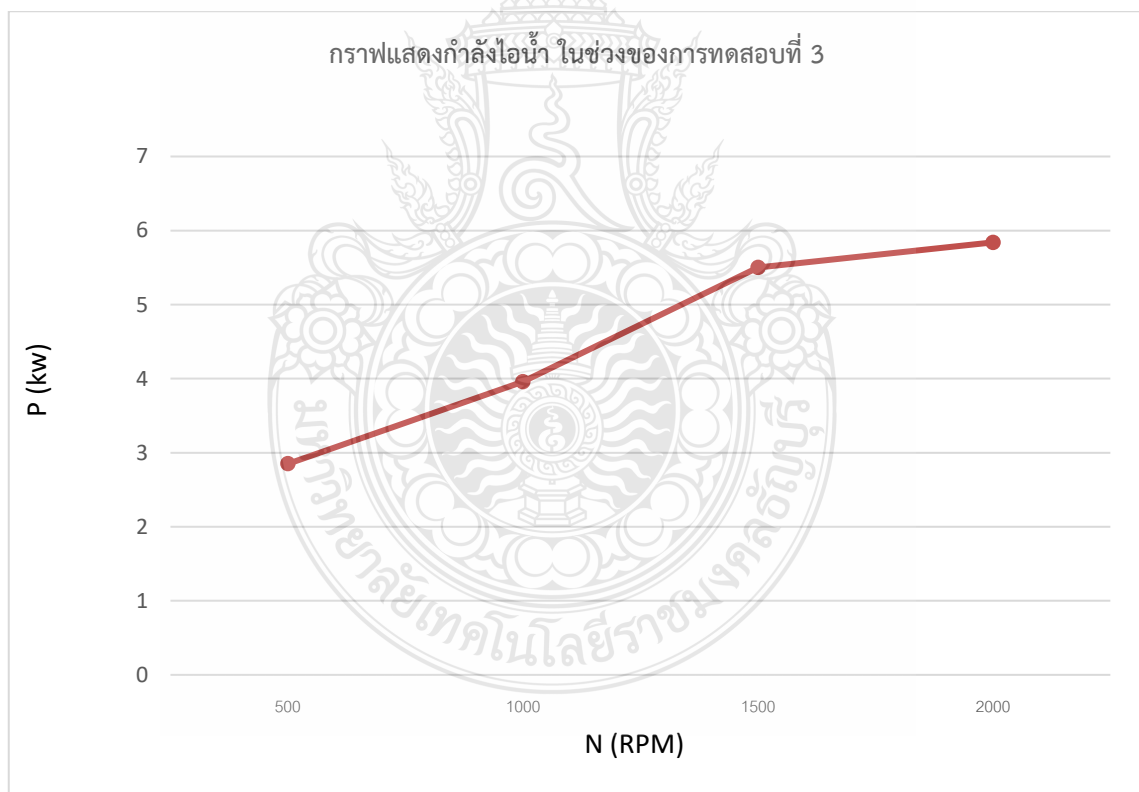


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงอุณหภูมิต่างๆ ของเครื่องยนต์ในช่วงของการทดสอบที่ 3

5. บันทึกกำลังของไอน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 4.17 บันทึกค่ากำลังไอน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากการทดสอบที่ 3

ความเร็วรอบ, N RPM)	กำลังไอน้ำ, P (kW)
500	2.85
1000	3.96
1500	5.50
2000	5.84

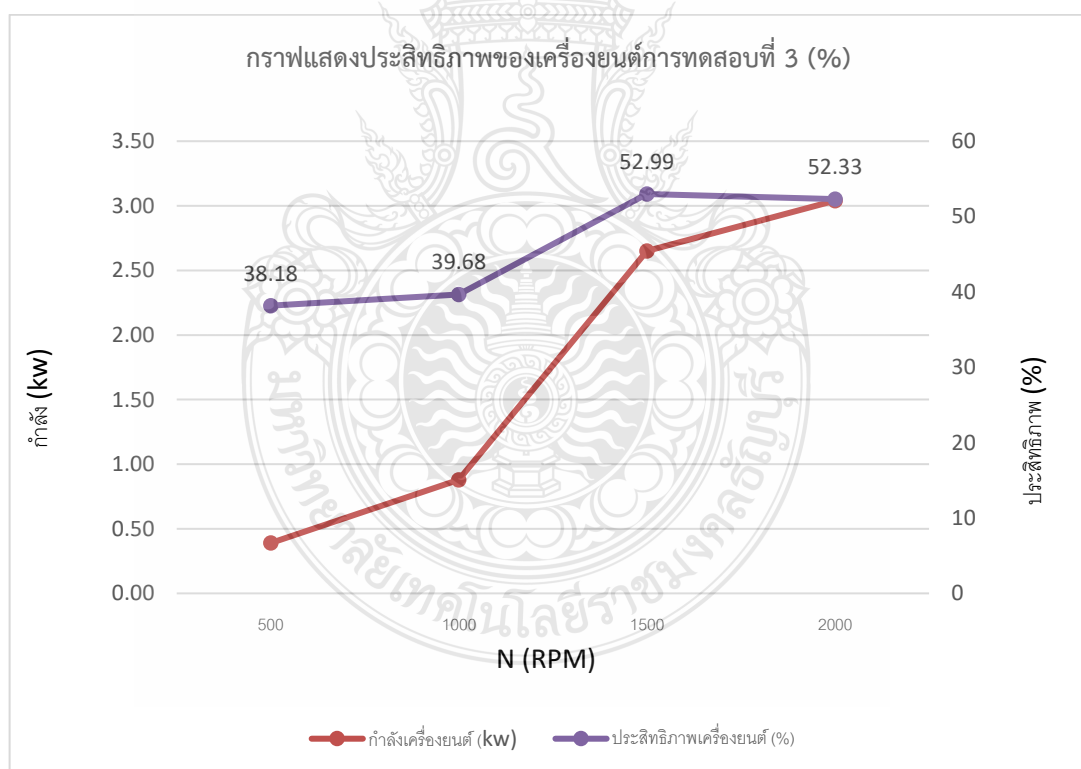


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงกำลังไอน้ำ ในช่วงของการทดสอบที่ 3

6. คำนวณหาประสิทธิภาพเครื่องยนต์การทดสอบที่ 3

ตารางที่ 4.18 บันทึกค่าการคำนวณหาประสิทธิภาพเครื่องยนต์ของการทดสอบที่ 3

ความเร็วรอบ, N (RPM)	กำลังเครื่องยนต์, P (kW)	กำลังไอน้ำ, P (kW)	ประสิทธิภาพ เครื่องยนต์, η_{th} (%)
500	0.39	2.85	38.18
1000	0.88	3.96	39.68
1500	2.65	5.50	52.99
2000	3.04	5.84	52.33



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่วัดได้จากการทดสอบที่ 3

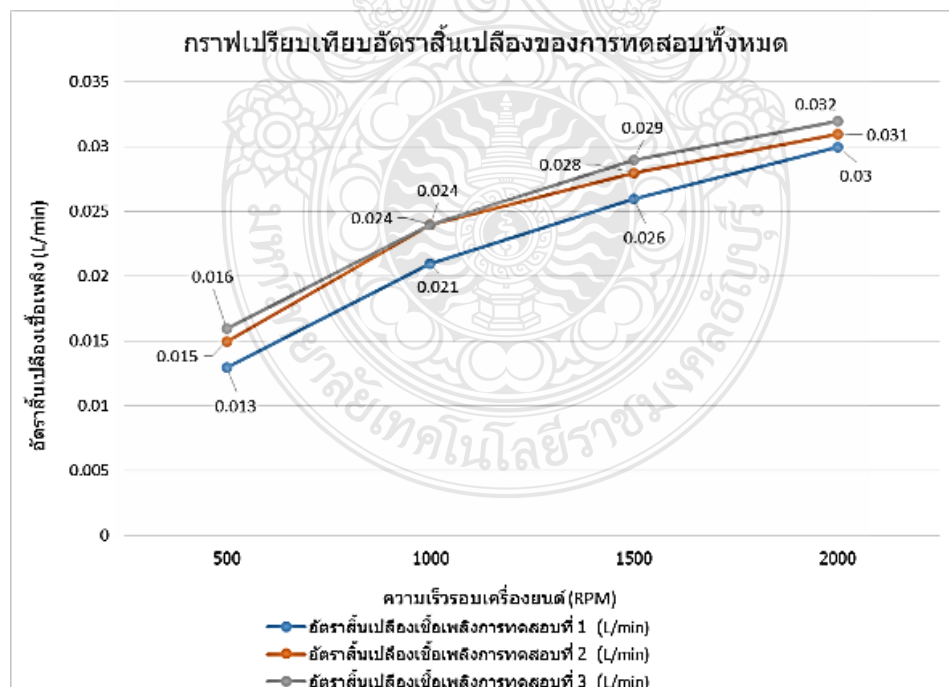
4.4 การเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของการทดสอบทั้งหมด

บันทึกอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพจากการดำเนินงาน

1. บันทึกค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.19 บันทึกค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทั้งหมดเพื่อเปรียบเทียบการทดสอบ

ความเร็วรอบ (RPM)	ค่าอัตราสิ้นเปลือง เชื้อเพลิง		ค่าอัตราสิ้นเปลือง	
	การทดสอบที่ 1 (L/min)	เชื้อเพลิงการทดสอบที่ 2 (L/min)	เชื้อเพลิงการทดสอบที่ 3 (L/min)	
500	0.013	0.015	0.016	
1000	0.021	0.024	0.024	
1500	0.026	0.028	0.029	
2000	0.030	0.031	0.032	

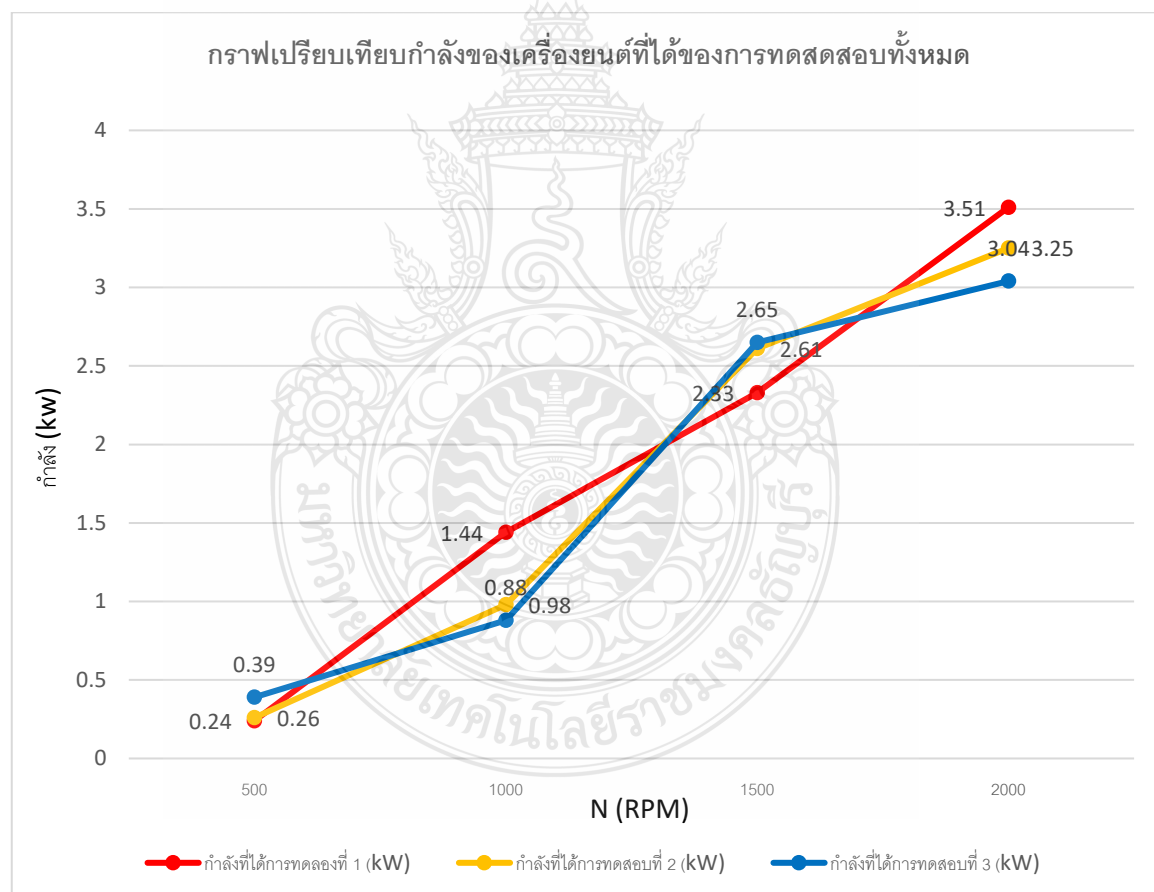


รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการทดสอบรวมทั้งหมด

2. บันทึกกำลังที่ได้

ตารางที่ 4.20 บันทึกกำลังที่ได้ทั้งหมดเพื่อเปรียบเทียบการทดสอบ

ความเร็วรอบ (RPM)	กำลังที่ได้การทดสอบที่ 1 (kW)	กำลังที่ได้การทดสอบที่ 2 (kW)	กำลังที่ได้การทดสอบที่ 3 (kW)
500	0.24	0.26	0.39
1000	1.44	0.98	0.88
1500	2.33	2.61	2.65
2000	3.51	3.25	3.04

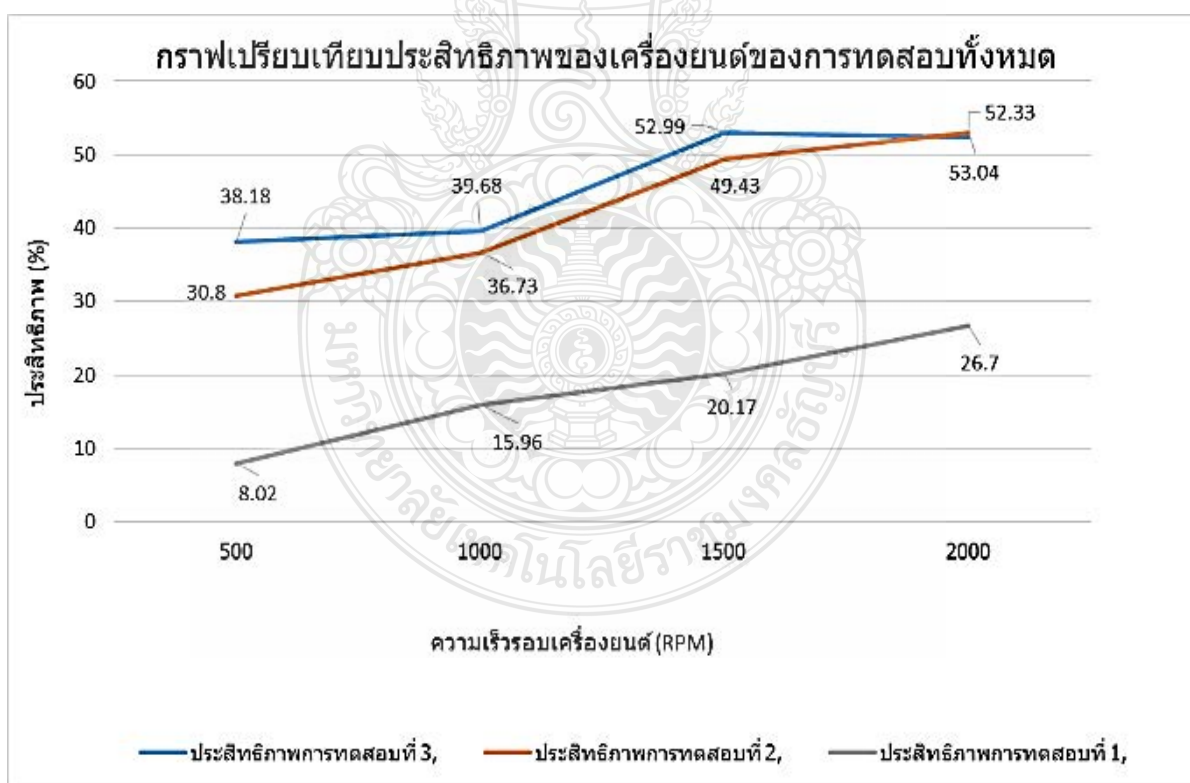


รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบกำลังที่ได้ของการทดสอบทั้งหมด

3. บันทึกประสิทธิภาพที่ได้

ตารางที่ 4.21 บันทึกประสิทธิภาพที่ได้ทั้งหมดเพื่อเปรียบเทียบการทดสอบ

ความเร็วรอบ (RPM)	ประสิทธิภาพ การทดสอบที่ 1, (%)	ประสิทธิภาพ การทดสอบที่ 2, (%)	ประสิทธิภาพ การทดสอบที่ 3, (%)
500	8.02	30.80	38.18
1000	15.96	36.73	39.68
1500	20.17	49.43	52.99
2000	26.70	53.04	52.33



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องยนต์ของการทดสอบทั้งหมด

ตัวอย่างการคำนวณที่ 1

ให้ $V = 50V$. และ $I = 13A$.

หาค่ากำลัง, P หน่วยเป็น (kW)

จากสมการ

$$P = I \times V \quad (4.1)$$

แทนค่าในสมการที่ (4.1) จะได้

$$P = 13 \times 50$$

$$P = 0.65 \text{ kW}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าหรือกำลังที่ได้จะเท่ากับ 650 W หรือ 0.65 kW

ตัวอย่างการคำนวณที่ 2

ให้ตรวจสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงดีเซล โดยประมาณ $Q_{HV} = 43000 \text{ KJ/Kg}$

ให้งานที่ได้ออกมา $W = 1.77 \text{ kW}$

และหาอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 0.022 l/min ในหน่วย(Kg/s) จากการแปลงหน่วยจะได้

$$\begin{aligned} \dot{m}_f &= \frac{0.022 \text{ l}}{1 \text{ min}} \times \frac{740 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \\ &= 0.000271 \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

โดยที่ค่าความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ 740 kg/m^3

และ 1 ลูกบาศก์เมตรมีค่าเท่ากับ 1000 ลิตร

แทนค่าในสมการที่ (4.2) จะได้

$$\begin{aligned} \eta_{th} &= \frac{1.77 \times 10^3}{0.000271 \times 43000 \times 10^3} \\ &= 0.1518 \end{aligned}$$

หรือคิดเป็นร้อยละจะได้

$$0.1518 \times 100 = 15.18 \%$$

ดังนั้นจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 0.1518 หรือ 15.18 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องการประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบโคเจนเนอเรชันแบบรวมเป็นหน่วยเดียวในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องผลิตไอน้ำ (Efficiency Assessment of a Single-Unit Combined Co-generation of Diesel-Engine and Steam-Generator) ได้มีการดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ผลการวิจัยศึกษา พบว่าการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลที่นำไปใช้ในการผลิตไอน้ำแบบวัฏจักรรวม ในหลักการทำงานเครื่องยนต์ดีเซล และหลักการผลิตไอน้ำที่ขึ้นเกิดจากการให้ความร้อนในภาชนะที่ปิดและตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไอน้ำ การวิจัยในครั้งนี้ ได้รับประโยชน์จากการวิจัยและพัฒนา สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษามาประยุกต์ใช้ในการทำงานเพื่อชี้ให้เห็น และหาข้อสรุป ถึงการทำงานร่วมกันของสองวัฏจักร คือ วัฏจักรดีเซลและวัฏจักรแรงคิน ซึ่งการทดสอบครั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เมื่อนำไปอยู่ในถังต้มน้ำและทดสอบการต้มน้ำโดยให้ความร้อนจากเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ 1 แบบเปิดฝาลัง-ไอเสียออกภายนอกประสิทธิภาพที่ได้สูงสุด 26.70% การทดสอบที่ 2 แบบปิดฝาลัง-ไอเสียออกภายนอกจนนอกถังประสิทธิภาพเครื่องยนต์จะอยู่สูงที่สุดว่าการทดสอบอื่นจะเห็นได้ประสิทธิภาพที่ได้สูงสุด 53.04% ส่วนการทดสอบที่ 3 แบบปิดฝาลัง-ไอเสียวนเข้าถึงประสิทธิภาพที่ได้สูงสุด 52.33% จากเทอร์โมมิเตอร์แบบยิงอ่านค่าอุณหภูมิของการเกิดไอน้ำที่ท่อแบบปิดฝาลัง-ไอเสียวนเข้าถึง จะเกิดกำลังไอน้ำที่ได้สูงสุด 5.84 kW จากการทดสอบทั้งหมดพบว่า การทดสอบแบบที่ 2 แบบปิดฝาลัง-ไอเสียออกภายนอก จะมีประสิทธิภาพที่ได้ทั้งหมด มากที่สุด คือ 53.04%

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลทดสอบของโครงการ

5.1.1 การทดสอบที่ 1 แบบเปิดฝาลัง-ไอเสียออกภายนอก

- 1) กำลังเครื่องยนต์ที่ได้สูงสุด 3.51 kW
- 2) กำลังไอน้ำที่ได้สูงสุด 0.74 kW
- 3) ประสิทธิภาพที่ได้สูงสุด 26.70 %

5.1.2 การทดสอบที่ 2 แบบปิดฝาลัง-ไอเสียออกภายนอก

- 1) กำลังเครื่องยนต์ที่ได้สูงสุด 3.25 kW
- 2) กำลังไอน้ำที่ได้สูงสุด 5.47 kW
- 3) ประสิทธิภาพที่ได้สูงสุด 53.04%

5.1.3 การทดสอบที่ 3 แบบปิดฝาลัง-ไอเสียวนเข้าถึง

- 1) กำลังเครื่องยนต์ที่ได้สูงสุด 3.04 kW
- 2) กำลังไอน้ำที่ได้สูงสุด 5.84 kW
- 3) ประสิทธิภาพที่ได้สูงสุด 52.33%

จากการทดสอบทั้งหมดพบว่า การทดสอบแบบที่ 2 แบบปิดฝาถัง-ไอเสียออกภายนอก จะมีประสิทธิภาพที่ได้ทั้งหมด มากที่สุด คือ 53.04 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีปรับปรุงการหุ้มฉนวนที่ถังเพื่อเป็นการลดการสูญเสียความร้อนที่ผนังของถัง
2. อุณหภูมิของเครื่องยนต์ที่สูงมากขึ้นขณะอยู่ในถังอาจจะส่งผลโดยตรงทำให้เครื่องยนต์เกิดการสึกหรอเร็วขึ้นและประสิทธิภาพเครื่องยนต์

5.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

1. อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ที่นำมาใช้ทดสอบส่งผลให้มีกำลังและประสิทธิภาพลดลง
2. เนื่องจากไม่มีการหุ้มฉนวนรอบตัวถังจึงทำให้มีการสูญเสียความร้อนออกไปภายนอก
3. ไม่มีฉนวนหุ้มที่ถังดักน้ำทำให้ความชื้นภายในถูกถ่ายเทออกสู่บรรยากาศไปบางส่วน



รายการอ้างอิง

- [1] พิเชษฐ์ พิณีจ. (2560).ความเค้นในภาชนะทรงกระบอกผนังบางภายใต้ความดันภายใน. ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [2] อัครพงษ์ สถาวรินทุ และ ไกรสร รวยป้อม. (2563).ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับห้องปฏิบัติการ. สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.
- [3] คงเดช พะสีนาม และ จันวมาส ภาศนุก.(2565). การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลจากขยะพลาสติก. วารสารวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์.
- [4] Peng Liu , Gequn Shu , Hua Tian , Wei Feng , Lingfeng Shi , Xuan Wang, Experimental study on transcritical Rankine cycle (TRC) using CO₂ / R134a mixtures with various composition ratios for waste heat recovery from diesel engines 2020: 1-12
- [5] Bin Xu, Dhruvang Rathod, Adamu Yebi, Zoran Filipi, Simona Onori, Mark Hoffman. A comprehensivereview of organic rankine cycle waste heat recovery. 2019: 145-170
- [6] Murat Kadir Yesilyurt ,Musstafa Aydin 2020, Expererimental investigation on the performance, combustion and exhaust emission characteristics of a compression-ignition engine fueled with cottonseed oil biodiesel/diethy ether/diesel fuel blends



ภาคผนวก

แผนที่พื้นที่ติดตั้ง



รูปที่ ก.1 แผนที่พื้นที่ติดตั้ง ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มทร.ธัญบุรี



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายกิตติภพ ทองลิ้ม
รหัสนักศึกษา 116170431002-7
สาขาวิชา/ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
วันเดือนปีเกิด วันที่ 24 เมษายน 2519
ที่อยู่ 445/260 หมู่ 12 ถนนกิ่งแก้ว-บางพลี ตำบลบางพลีใหญ่
อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
โทร. 062 663 8999

ประวัติการศึกษา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
สาขาวิชาช่างยนต์ (Dip. In Auto Mechanic)
วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร เมื่อ พ.ศ.2539

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
(Bachelor of industrial Technology)
สาขาเทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ (Material Handling Technology)
(หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหกรรม กว.อุตสาหกรรม)

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อ พ.ศ.2541

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (Master of Engineering)
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (Mechanical Engineering)
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ.2566