การทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าปั๊มน้ำ 3 เฟส โดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่ (กรณีขนน้ำแนวราบ)

A SAVING ENERGY WATER PUMPING SYSTEM EXPERIMENT BY USING VARIABLE FREQUENCY INVERTER : HORIZONTAL WATER FLOW

นายวิชาธร กานต์ศิริกุล รหัส 51361704

นายสิทธิพล ไชยชนะ รหัส 51381337

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 19 พ.ค. 57
เลขทะเบียน 1690502
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.5481 ก
2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าปั๊มน้ำ 3 เฟส โดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่ (กรณีขนน้ำแนวราบ)
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายวิชาธร กานต์ศิริกุล รหัส 51361704
	นายสิทธิพล ไชยชนะ รหัส 51381337
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ
(ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าปั๊มน้ำ 3 เฟส โดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่ (กรณีขนน้ำแนวราบ)
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายวิชาธร กานต์ศิริกุล รหัส 51361704
	นายสิทธิพล ไชยชนะ รหัส 51381337
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2554

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงงานเรื่องการทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าปั๊มน้ำ 3 เฟส โดยมีแนวคิดเนื่องมาจากการใช้ปั๊มน้ำในปัจจุบันมีความจำเป็นทั้งในครัวเรือนและในด้านอุตสาหกรรม ดังนั้นในโครงงานนี้จึงได้ดำเนินการทดสอบเพื่อหาการเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้าและให้ประสิทธิภาพการสูบน้ำที่ดี ในโครงงานนี้ได้ทำการทดสอบโดยการหรี่วาล์วและการปรับความถี่โดยใช้อินเวอร์เตอร์ โดยจากการทดสอบพบว่าเราสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้โดยการปรับอินเวอร์เตอร์ให้มีความถี่ของไฟฟ้าให้ต่ำลงตามต้องการ ต่ำมากที่สุดจะประหยัดพลังงานมากที่สุด แต่จะใช้เวลาในการสูบน้ำมาก

Project title	Saving Energy Water Pumping System Experiment By Using Variable Frequency Inverter : Horizontal Water Flow
Name	Mr. Wichatorn Kansirikun ID. 51361704
	Mr. Sitthiphon Chaichana ID. 51381337
Project advisor	Mr.Akaraphunt Vongkunghae,Ph.D.
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic year	2011

Abstract

The purpose of the study is to present the project for saving energy of three phase electric water pump. The pump usually is used in both household and industry. This project conducted experiments to measure the energy of the pump for moving 50 liters of water. In this project, experiments were setting up with the different conditions of valve's aperture closing amount and inverter frequency. The aperture closing can help to save no significant energy, however less of inverter frequency is less energy usage. The less inverter frequency, the less energy usage, but the longer time of moving water is a trade off.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ผศ.ดร. อัครพันธ์ วงศ์กังแห ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดียิ่งในระหว่างดำเนินโครงงานและช่วยตรวจทานการเขียนปริญญานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และให้ใช้สถานที่ซึ่งเอื้อต่อการดำเนินโครงงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนทุนทรัพย์เพื่อใช้ในการศึกษาเล่าเรียนรวมทั้งเป็นค่าใช้จ่ายในระหว่างดำเนินโครงงาน

นายวิชาธร กานต์ศิริกุล
นายสิทธิพล ไชยชนะ

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน 2
1.6 งบประมาณ 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 4
2.1 หลักการทั่วไปของปั๊มน้ำ 4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.3 เฮด (HEAD) 9
2.4 อินเวอร์เตอร์ 12
2.5 การใช้ควบคุมมอเตอร์ 15
2.6 กำลังไฟฟ้า 17

บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง 18
3.1 ด้านวงจรการไหลของน้ำ 18
3.2 ด้านปั๊มน้ำและอินเวอร์เตอร์ 20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ขั้นตอนการทดลอง 23
3.4 ขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูล 31
3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบผลการทดลอง 32

บทที่ 4 ผลการทดลอง 35
4.1 ผลการทดลอง 35
4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง 58

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 74
5.1 สรุปผลการทดลอง 74
5.2 ข้อเสนอแนะ 81

เอกสารอ้างอิง 82

ภาคผนวก ก คุณลักษณะของมอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟสที่ใช้ในการทดสอบ 83
ภาคผนวก ข คุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ ATV12H037M2 86
ภาคผนวก ค คุณลักษณะของ POWER QUALITY ANALYZER 90

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 95

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ตัวอย่างตารางผลการทดลองที่ใช้ในการบันทึกเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล 32

4.1 ผลการทดลองทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติ (ไม่มีการหรี่วาล์วทั้งด้านสูบและด้านจ่ายที่ความถี่ F = 50 Hz) 35

4.2 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 36

4.3 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 2 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 36

4.4 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 37

4.5 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 37

4.6 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 38

4.7 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว3 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 38

4.8 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 45 Hz 39

4.9 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 40 Hz 39

4.10 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 35 Hz 40

4.11 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 30 Hz 40

4.12 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 25 Hz 41

4.13 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 20 Hz 41

4.14 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ 42

4.15 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ 43

4.16 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ 43

4.17 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ 44

4.18 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ 44

4.19 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ 45

4.20 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ 45

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.21 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ 46
4.22 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ 46
4.23 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ 47
4.24 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ 47
4.25 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ 48
4.26 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ 48
4.27 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ 49
4.28 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ 49
4.29 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ 50
4.30 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ 50
4.31 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ 51
4.32 ผลการทดลองเฉลี่ยในการสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ 58
5.1 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 50 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร 75
5.2 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 45 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร 75
5.3 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 40 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร 76
5.4 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 35 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร 76
5.5 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 30 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร 76
5.6 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 25 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร 76
5.7 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 20 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร 77
5.8 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านสูบที่ความถี่ 50 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร 77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.9 เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการสูบน้ำ 50 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติที่ความถี่ 50 Hz โดยไม่หรี่วาล์ว 78
5.10 เปอร์เซ็นต์เวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติที่ความถี่ 50 Hz โดยไม่หรี่วาล์ว 79

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ทิศทางการไหลและลักษณะทั่วๆไปของ CENTRIFUGAL PUMP 5
2.2 ปั๊มโรตารี่ชนิดเฟือง 6
2.3 ปั๊มเลื่อนชักแบบขับดันโดยตรง 7
2.4 ลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (บน) และแบบปั่นป่วน (ล่าง) 11
2.5 ชุดการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ 12
2.6 ชุดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 12
2.7 ชุดการทำงานของวงจรควบคุม (CONTROL CIRCUIT) 13
2.8 การทำงานส่วนของอินเวอร์เตอร์ 13
2.9 อินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตซ์ 14
2.10 การทำงานส่วนของคอนเวอร์เตอร์ 14
2.11 วงจรเบรกคืนพลังงาน 15
3.1 แสดงการสูบน้ำจากถังที่ 1 ไปยังถังที่ 2 18
3.2 แสดงการสูบน้ำจากถังที่ 2 ไปยังถังที่ 1 19
3.3 วงจรเคลต้า 20
3.4 แสดงการตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ใน CONFIGURATION MODE CONF 21
3.5 แสดงการตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ใน REFERENCE MODE REF 21
3.6 แสดงการตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ใน MONITORING MODE MON 22
3.7 ไดอะแกรมการทำงานอินเวอร์เตอร์ 23
3.8 การเชื่อมต่อ POWER QUALITY ANALYZER วัดค่าก่อนเข้าอินเวอร์เตอร์ 24
3.9 แสดงเครื่อง POWER QUALITY ANALYZER ที่ใช้ในการวัดค่าในการทดสอบ 25
3.10 แสดงวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดยการหรี่วาล์วและไม่หรี่วาล์วทางด้านสูบ 26
3.11 แสดงทิศการหมุนและวิธีการหรี่ปรับวาล์ว 26
3.12 แสดงวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดยการหรี่วาล์วและไม่หรี่วาล์วทางด้านจ่าย 27
3.13 แสดงอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดยการปรับความถี่ 28
3.14 แสดงการควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดยการใช้อินเวอร์เตอร์และหรี่วาล์วด้านจ่ายน้ำ 31
4.1 ตารางผลการทดลองในการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ 52
4.2 ตารางผลการทดลองในการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ (ต่อ) 53
4.3 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.4 กราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ.... 55
4.5 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าในการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ.. 56
4.6 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ.... 57
4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ..... 59
4.8 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ..... 59
4.9 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ..... 60
4.10 กราฟเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ..... 60
4.11 กราฟเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ..... 61
4.12 กราฟเปรียบเทียบค่า WHRR ที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ.... 61
4.13 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 1 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 1 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 65
4.14 กราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 1 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 1 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 65
4.15 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 1 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 1 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 66
4.16 กราฟเปรียบเทียบค่าเวลาที่จับในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 1 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 1 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 67
4.17 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 2 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 2 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 68
4.18 กราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 2 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 2 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 68
4.19 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 2 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 2 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 69
4.20 กราฟเปรียบเทียบค่าเวลาที่จับในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 2 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 2 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 69
4.21 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 3 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 3 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.22 กราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 3 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 3 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 71

4.23 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 3 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 3 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 71

4.24 กราฟเปรียบเทียบค่าเวลาที่จับในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 3 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 3 รอบที่ความถี่ F = 50 Hz 72

5.1 กราฟเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการสูบน้ำ 50 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติที่ความถี่ 50 Hz โดยไม่หรี่วาล์วซึ่งคิดเป็น 100 % ที่ WHRR = 14.9478... 80

5.2 กราฟเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติที่ความถี่ 50 Hz โดยไม่หรี่วาล์วซึ่งคิดเป็น 100 % ที่เวลา = 61 วินาที 80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันโลกกำลังพัฒนาเข้าสู่ยุคเทคโนโลยีที่ก้าวหน้า อุตสาหกรรมจึงได้เข้ามามีบทบาทต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ในด้านอุตสาหกรรมได้นำเทคโนโลยีใหม่ๆมาใช้ในการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

ซึ่งปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้าก็เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมและในชีวิตประจำวัน เช่น ปั๊มน้ำ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน จึงเป็นที่มาว่าจะทำอย่างไรจึงจะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าได้ โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้านั้นเสียไป

ดังนั้นปริญญานิพนธ์นี้จึงทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ในระบบปั๊มน้ำโดยการใช้วาล์วควบคุมปริมาณการไหลของน้ำเปรียบเทียบกับการใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของปั๊มน้ำเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการควบคุมความเร็วของมอเตอร์

1.2.2 เพื่อทดลองการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ในระบบปั๊มน้ำโดยใช้วาล์วควบคุมปริมาณการไหลของน้ำ

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบความประหยัดพลังงานของมอเตอร์ในระบบปั๊มน้ำโดยการใช้วาล์วควบคุมปริมาณการไหลของน้ำกับการใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของปั๊มน้ำ

1.2.4 เพื่อหาการเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 เปรียบเทียบและวิเคราะห์กำลังของมอเตอร์ในขณะที่ปรับวาล์วปั๊มน้ำและไม่ปรับวาล์วปั๊มน้ำโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบของปั๊มน้ำในแต่ละช่วงความถี่

1.3.2 เปรียบเทียบและวิเคราะห์อัตราการไหลของน้ำในขณะที่ปรับวาล์วปั๊มน้ำและไม่ปรับวาล์วปั๊มน้ำโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบของปั๊มน้ำในแต่ละช่วงความถี่

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2555					ปี 2556		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.4.1 ศึกษาวงจรและการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องใช้	←	→						
1.4.2 ติดตั้งและประกอบอุปกรณ์		←	→					
1.4.3 ทดสอบและบันทึกผลการทดลอง			←	→	→			
1.4.4 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลอง					←	→		
1.4.5 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มโครงงาน							←	→

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

1.5.1 เข้าใจเรื่องของระบบปั๊มน้ำ

1.5.2 เข้าใจเรื่องการประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการหรี่ปรับวาล์ว

1.5.3 เข้าใจเรื่องของการควบคุมปั๊มน้ำด้วยวิธีการใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

1.5.4 นำไปใช้เป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและพัฒนาอีกต่อไป

1.6 งบประมาณ

1.6.1 ค่าเอกสารและค่าเข้าเล่ม	1,200 บาท
1.6.2 ค่าหนังสือ	300 บาท
1.6.3 ค่าพิมพ์เอกสาร	300 บาท
1.6.4 อื่นๆ เช่น ปั๊มน้ำ 3 เฟส, ถังขนาด 50 ลิตร, วาล์ว, ท่อน้ำ PVC	3,500 บาท

รวมเป็นเงิน 5,300 บาท (ห้าพันสามร้อยบาทถ้วน)

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

โครงงานการทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในมอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟส ในโครงงานนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยการปรับวาล์วน้ำ และส่วนการทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยไม่ปรับวาล์วน้ำแต่ใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำ โดยการทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในมอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟสจะคำนึงถึงค่าของพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้

2.1 หลักการทั่วไปของปั๊มน้ำ[1]

ปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์สำหรับเพิ่มแรงดันของน้ำ ซึ่งมีทั้งแบบที่ใช้มอเตอร์ และแบบที่ใช้เครื่องยนต์ ทำหน้าที่หมุนส่งกำลังให้ปั๊มน้ำทำงาน เพื่อเพิ่มแรงดัน และส่งน้ำไปตามท่อ ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นแบบไฟฟ้า ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ปั๊มน้ำแบบใบพัดและปั๊มน้ำแบบลูกสูบ

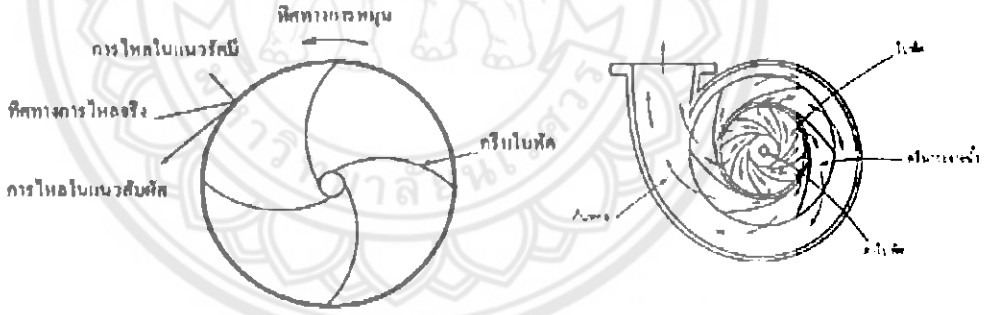
ปั๊มน้ำแบบใบพัดทำงานด้วยการหมุนของใบพัด ทำให้เกิดแรงดันจ่ายไปตามท่อน้ำ จ่ายน้ำได้ในปริมาณมาก สร้างแรงดันน้ำได้มากพอควร ปัจจุบันนิยมใช้กันมาก ปั๊มน้ำแบบใบพัด มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามรูปร่างลักษณะของปั๊ม ปั๊มน้ำแบบลูกสูบ ทำงานด้วยการชักลูกสูบเลื่อนไปมา และมีวาล์วเปิดปิดน้ำเข้าออกจากลูกสูบเป็นการเพิ่มแรงดันน้ำโดยตรง สมัยก่อนนิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะในสวน ปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้กันแล้วสามารถ สร้างแรงดันน้ำได้สูง แต่ให้ปริมาณน้ำน้อย และมีการสึกหรอของลูกสูบมาก

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีการจัดแบ่งประเภทของปั๊มน้ำหลายรูปแบบ และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปมากมาย ดังนั้นจึงมีการจัดหมวดหมู่ออกได้เป็น 2 แบบ คือ แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว และแยกประเภทตามลักษณะการขับดันของเหลวในเครื่องสูบ

2.2.1 ปั๊มน้ำแยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม

1. ปั๊มแรงเหวี่ยง (Centrifugal) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางบางครั้งเรียกว่าแบบ (Roto–dynamic) นิยมใช้ในการสูบน้ำสารหล่อลื่นสารละลายเคมีเป็นต้นมีประสิทธิภาพในการสูบถึง 90% สามารถออกแบบเพื่อการทำงานที่ระดับความดันสูงได้ ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในเรือนปั๊มจะทำให้เกิดการขับดันของไหลเรียกว่าโรเตอร์หรือใบพัด (Impeller) ตัวแพร่กระจายน้ำ (Diffuser)จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเฮดความเร็ว (Velocity head) ให้อยู่ในรูปความดันสถิตของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับพื้นระนาบและถูกผลักดันออกไปตามแนวรัศมีของใบพัดหรือโรเตอร์กลไกการส่งผ่านพลังงานจะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหลก่อให้เกิดความแตกต่างความดันภายในระบบเกิดการขับดันของไหลให้เกิดการไหลในแนวเส้นรอบวงทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugul force) เกิดการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทางออกไปทางท่อส่งดังนั้นของไหลที่ถูกขับดันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เกิดจากผลรวมของแรงทั้งสองดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ทิศทางการไหลและลักษณะทั่วๆไปของ Centrifugal pump[2]

ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสามารถแบ่งได้หลายแบบดังนี้

1. แบบ Volute เป็นแบบพื้นฐานของปั๊มประเภทนี้ คือเป็นแบบที่ของเหลวไหลเข้ามาสู่ศูนย์กลางของใบพัดที่ทิศทางขนานกับแกนของเพลา แล้วไหลออกทำมุม 90 องศากับทิศทางที่ไหลเข้า

2. แบบ Diffuser เป็นปั๊มแรงดันปานกลางมีลักษณะเหมือนปั๊มแบบ Volute แต่มีแผ่นกระจายของไหล (Guide vane) ติดอยู่รอบๆเรือนของปั๊มและยังทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของของไหลเพื่อที่จะทำให้เกิดความดันที่สูงขึ้น

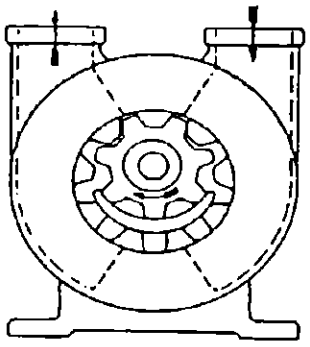
3. แบบ Regenerative turbine เป็นปั๊มประเภทแรงดันสูงภายในมีชุดใบพัดหลายใบติดอยู่บนเพลาเดียวกันใบพัด 1 ชุดเรียกว่า 1 สเตจของไหลที่ถูกสูบเมื่อไหลออกมาจากสเตจที่หนึ่งก็จะถูกส่งไปยังสเตจต่อๆไป

4. แบบAxial flow ปั๊มแบบนี้ของไหลจะไหลในแนวแกนเพลาขับสามารถใช้ได้กับของไหลที่มีสารแขวนลอยนิยมใช้มากในโรงงานที่ต้องการเฮดความดันต่ำแต่มีอัตราการไหลสูง

5. แบบ Mixed flow ปั๊มแบบนี้จะทำให้การไหลทั้งในแนวแกนและแนวรัศมีของใบพัดทำให้เกิดแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนขึ้นซึ่งจะช่วยในการขับดันของไหลนิยมใช้กับงานที่ต้องการเฮดความดันต่ำๆแต่มีอัตราการไหลสูง

2. ปั๊มโรตารี่ (Rotary) ปั๊มโรตารี่เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลางของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออกโดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกลซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับชิ้นส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์จนกว่าจะถึงด้านจ่ายการหมุนของโรเตอร์ทำให้เกิดการแทนที่เป็นการเพิ่มปริมาณของของเหลว (Positive Displacement) ให้ทางด้านจ่าย

1. ปั๊มโรตารี่ชนิดเฟือง (Gear Pump) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุดประกอบด้วยฟันเฟืองหรือเกียร์สองตัวหมุนขบกันในห้องสูบของเหลวทางด้านดูดจะไหลเข้าไปอยู่ในร่องฟันซึ่งจะหมุนและพาของเหลวเข้าไปสู่ทางด้านจ่ายดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปั๊มโรตารี่ชนิดเฟือง[2]

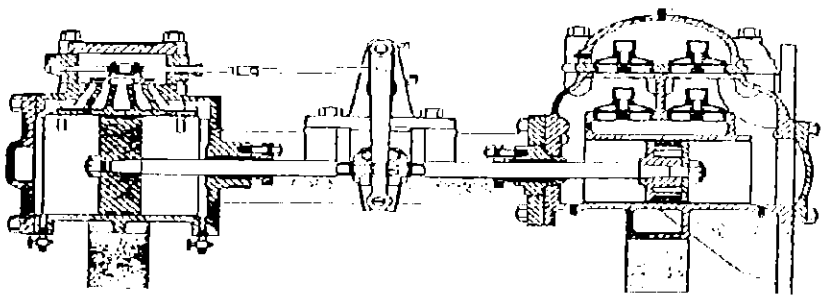
2. ชนิดครีบ (Vane Pump) ปั๊มแบบนี้มีห้องสูบเป็นรูปทรงกระบอกและมีโรเตอร์ซึ่งเป็นทรงกระบอกเหมือนกันวางเยื้องศูนย์ให้ผิวนอกของโรเตอร์สัมผัสกับผนังของห้องสูบที่กึ่งกลางทางดูดกับทางด้านจ่ายรอบๆ โรเตอร์จะมีครีบซึ่งเลื่อนได้ในแนวเข้าออกจากจุดศูนย์กลางมาชนกับผนังของห้องสูบเมื่อโรเตอร์หมุนครีบเหล่านี้ก็จะกวาดเอาของเหลวซึ่งอยู่ระหว่างโรเตอร์กับห้องสูบไปสู่ทางด้านจ่ายมีข้อดีกว่าชนิดเฟือง คือการสึกหรอของผนังห้องสูบหรือหลายครีบจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานมาก เพราะครีบสามารถเลื่อนออกมาจนชนกับผนังของห้องสูบได้สนิท

3. ชนิดลอน (Lobe Pump) มีลักษณะเหมือนชนิดเฟืองแต่โรเตอร์มีลักษณะเป็นลอนหรือพูสองถึงสี่ลอนช่องว่างระหว่างลอนมีลักษณะแบนและกว้างอัตราการสูบจึงสูงกว่า แต่การถ่ายทอดกำลังหมุนของชนิดลอนมีประสิทธิภาพต่ำมากจึงจำเป็นต้องมีเฟืองนอกห้องสูบอีกชุดหนึ่ง เพื่อช่วยให้จังหวะการหมุนของโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว

4. ปั๊มโรตารี่ชนิดสว่าน (Screw Pump) ปั๊มชนิดนี้เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุนในลักษณะขับดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังของห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางจ่ายจำนวนสว่านหรือโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว

3. ปั๊มแบบเลื่อนชักหรือลูกสูบชัก (Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น เหมาะสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนักแต่ต้องการเฮดในระบบที่สูง ของเหลวที่สูบจะต้องมีความสะอาดไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอการอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะไม่ต่อเนื่องทำให้การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วงๆ (pulsation)

1. แบบขับดันโดยตรงใช้น้ำมันไฮดรอลิกส์หรือไอน้ำเป็นตัวเพิ่มพลังงานให้แก่ลูกสูบเคลื่อนที่อัดของไหลให้มีความดันสูงขึ้นมีทั้งแบบลูกสูบเดียว (Simplex) และแบบ Duplex ดังรูปด้านซ้ายของภาพเป็นส่วนที่ไอน้ำเข้าและด้านขวาเป็นส่วนที่ของไหลออกดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปั๊มเลื่อนชักแบบขับดันโดยตรง[2]

2. แบบกำลัง (Power) พลังงานจากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลังถ่ายทอดกำลังโดยสายพานหรือเพลาที่ความเร็วคงที่ปั๊มแบบนี้จะสูบของไหลได้ในอัตราที่เกือบคงที่ให้แรงดันขับที่สูงดังนั้นจะต้องติดตั้งลิ้นระบายความดันเพื่อช่วยป้องกันระบบท่อส่งและตัวปั๊มไม่ให้ได้รับความเสียหายเนื่องจากแรงดันที่สูงเกินไป

3. แบบไดอะแฟรมปั๊มแบบนี้จะมีแผ่นไดอะแฟรมทำด้วยอโลหะซึ่งมีความหยุ่นตัวและแข็งแรงจะทำหน้าที่ในการดูดและอัดของไหลให้มีความดันสูงขึ้นแผ่นไดอะแฟรมจะถูกยึดติดอยู่กับที่นิยมใช้กับงานที่อัตราการสูบไม่มากนักและของไหลมีสารแขวนลอยปะปนมาด้วย

4. ปั๊มแบบพิเศษ (Specialized pumps) เป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษนอกเหนือไปจากปั๊มแบบต่างๆ ที่กล่าวปัจจุบันปั๊มแบบพิเศษมีใช้อย่างแพร่หลายดังนี้

1. แบบ Canned มีคุณสมบัติพิเศษกว่าแบบต่างๆคือสามารถป้องกันการรั่วไหลของของไหลได้อย่างสมบูรณ์ภายในเรือนปั๊มจะมี Impeller rotor หมุนขับดันของไหลโดยได้รับกำลังงานจากมอเตอร์

2. แบบ Intermediate Temperature ใช้ในการขับดันของไหลที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 300 องศาเซลเซียส ชิ้นส่วนภายในปั๊มถูกออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อสามารถทำให้ทนทานต่อความร้อนจากที่ไหลจากของไหลที่จะใช้สูบได้

3. แบบ Turbo จะเป็นการรวมเอากังหันไอน้ำมาใช้ในการขับเคลื่อนปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนิยมใช้กับงานที่ต้องการความดันด้านปล่อยสูงมีทั้งแบบหนึ่งสเตจหรือสองสเตจ

4. แบบ Cantilever จะติดตั้งในแนวดิ่งใช้กับงานที่ไม่ต้องการให้ชุดแบริ่งหรือชิ้นส่วนภายในสัมผัสกับของไหลที่ใช้ในการสูบเนื่องจากปั๊มแบบนี้ได้ออกแบบให้ชุดใบพัดยึดติดกับเพลาขับโดยไม่มีแบริ่งในตัวปั๊ม

5. แบบ Vertical turbine จะใช้กับงานสูบน้ำบาดาลที่มีความลึกมากๆ จึงมีหลายสเตจในเพลาขับเดียวกันเพื่อเพิ่มความดันของของไหลให้มีค่าสูงขึ้นในแต่ละสเตจ ทำให้สามารถสูบน้ำจากก้นบ่อที่มีความลึกมาสู่ปากบ่อได้

2.2.2 แยกตามลักษณะการขับดันของเหลวในปั๊ม

1. ประเภททำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Dynamic) ซึ่งปั๊มประเภทอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางและแบบพิเศษจัดอยู่ในกลุ่มนี้

2. ประเภททำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Positive Displacement) คือการเคลื่อนที่โดยชิ้นส่วนของเครื่องสูบปั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารี่และแบบลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.3 เฮด (Head)[3]

การเข้าใจถึงพลังงานของของไหลเป็นสิ่งจำเป็นในการวิเคราะห์การทำงานและการกำหนดขนาดของปั๊มพลังงานของของไหลประกอบด้วยพลังงานสามส่วนคือพลังงานเนื่องจากความดันของของไหลพลังงานจลน์เนื่องจากความเร็วของของไหลและพลังงานศักย์เนื่องจากความสูงพลังงานทั้งสามส่วนนี้จะมีหน่วยในการคำนวณเป็นหน่วยจูล (J)

เมื่อนำพลังงานของไหลมาคำนวณเทียบกับน้ำหนักของของไหลจะมีหน่วยเป็นความสูงของของไหลและเรียกว่าเฮดมีหน่วยเป็นเมตร (m) ในระบบ SI หรือนิ้ว (in) ในระบบอังกฤษเฮดทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์ในระบบปั๊มน้ำหรือ Total Dynamic Head (TDH) ประกอบด้วยพลังงานสามส่วนของของไหลของไหลที่กล่าวมาข้างต้นและพลังงานที่สูญเสียไปในระหว่างการไหลกล่าวคือเฮดความดันเฮดความเร็วเฮดความสูงและเฮดการสูญเสียรวม

2.3.1 เฮดความดัน (Head Pressure, Hp)

ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m2) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) แล้วถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลวนั้นความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้เรียกว่าเฮดความดัน (Head Pressure) โดยความสัมพันธ์ระหว่างความดัน P และเฮดความดัน Hp คือ

$$Hp = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \qquad (2.1)$$

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลวมีหน่วยเป็น kg/m3

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีหน่วยเป็น m/s2

2.3.2 เฮดความเร็ว (Head Velocity, Hv) ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดในแนวดิ่งด้วยความเร็วใดๆนั้นมีพลังงานจลน์อยู่พลังงานส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเฮดความเร็ว คือ

$$Hv = \frac{V^2}{2g} \qquad (2.2)$$

V คือ ความเร็วของการไหลมีหน่วยเป็น m/s

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีหน่วยเป็น m/s2

เฮดความเร็วอาจให้คำจำกัดความอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นความสูงที่ของเหลวตกลงมาด้วยแรงดึงดูดของโลกจนได้ความเร็วเท่ากับความเร็วในการไหลของของเหลวนั้น

2.3.3 เฮดสถิตย์ (Head Static, Hs)

ในการทำงานของปั๊มโดยทั่วๆไปของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้มันไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่าความดันซึ่งคิดเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของปั๊มทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์เรียกว่า เฮดสถิตย์

2.3.4 เฮดการสูญเสียรวม (Total Head Loss, Hl)

Osborne Reynolds วิศวกรชาวฝรั่งเศสได้ทำการทดลองเพื่อแบ่งรูปแบบการไหลของของไหลโดยกำหนดตามอัตราส่วนของแรงเฉื่อยต่อแรงหนืด (หรือแรงที่เกิดเนื่องจากความฝืดของของไหล) และเรียกอัตราส่วนของแรงเฉื่อยกับแรงหนืดนี้ว่า ค่าเรย์โนลด์ (*Re*) คำนวณหาได้จากสมการ

$$\mathrm{Re} = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\upsilon} \qquad (2.3)$$

เมื่อ V = ความเร็วการไหลในท่อ (m/s)

D = ขนาดวัดผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

ρ= ความหนาแน่นของไหล (kg/m3)

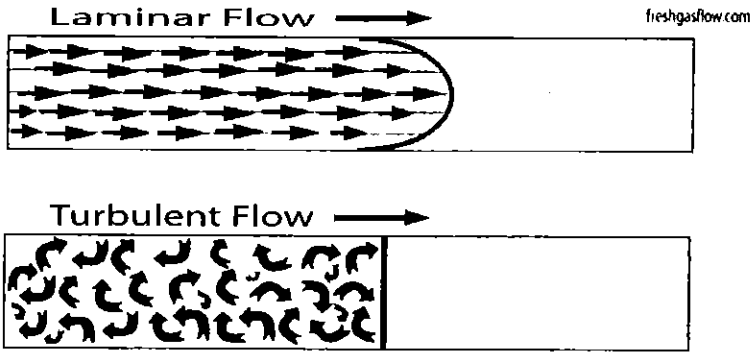
μ= ความหนืดสมบูรณ์ (N.s/m2)

υ= ความหนืดจลน์ (m2/s)

ถ้าค่า $Re \leq 2000$ ถือว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ

$Re \geq 4000$ ถือว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

$2000 \leq Re \leq 4000$ ถือว่าเป็นการไหลที่อยู่ในช่วงการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2.4 ลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (บน) และแบบปั่นป่วน (ล่าง)[3]

จากรูปที่ 2.4 ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านระบบท่อทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายพลังงานหรือเฮดในการไหลส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังภายในของท่อและพลังงานหรือเฮดในการไหลอีกส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากการสูญเสียพลังงานจลน์เมื่อไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ผลรวมของการสูญเสียพลังงานหรือเฮดทั้งสองส่วนนี้รวมเรียกว่าเฮดการสูญเสียรวม

2.3.5 การเสียเฮดความฝืดหรือการสูญเสียหลัก

เมื่อของเหลวไหลภายในท่อจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างผนังท่อกับของเหลวซึ่งแรงเสียดทานที่เกิดนี้จะทำให้เกิดความดันสูญเสียของของเหลวภายในท่อการสูญเสียพลังงานในลักษณะนี้เรียกว่า การเสียเฮดความฝืดหรือการสูญเสียหลัก (Major Losses) โดยสามารถคำนวณได้จากวิธีคำนวณของ Darcy – Weisbach

$$H_{Lf} = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} \tag{2.4}$$

เมื่อ H_{Lf} = เฮดของการสูญเสียเนื่องจากความฝืดหรือเฮดการสูญเสียหลัก (m)

f = ตัวประกอบความเสียดทาน

L = ความยาวท่อ (m)

D = ขนาดวัดผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

V = ความเร็วของการไหล (m/s)

ค่าตัวประกอบความเสียดทาน f ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของท่อลักษณะการไหลว่าเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วนและความขรุขระของผนังท่อในกรณีที่การไหลเป็นแบบราบเรียบค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดดังกล่าวสามารถหาได้จากสมการ

$$f = \frac{64}{Re} \text{ (Laminar Flow, } Re \leq 2{,}000) \tag{2.5}$$

2.4 อินเวอร์เตอร์[4]

อินเวอร์เตอร์ คือ อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์โดยวิธีการปรับแรงดันและความถี่ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับมอเตอร์ อินเวอร์เตอร์จะแปลงไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ให้เป็นไฟกระแสตรงโดยวงจรคอนเวอร์เตอร์จากนั้นไฟกระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้ โดยวงจรอินเวอร์เตอร์วงจรทั้งสองนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่นและผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับมีรูปคลื่นซายน์แต่เอาท์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปซายน์นอกจากนั้นยังมีชุดวงจรควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์และวงจรอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

2.4.1 โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

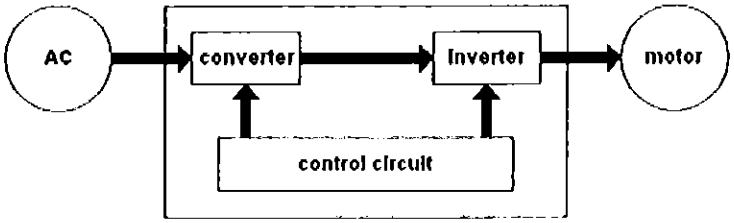
1) ชุดคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่แปลงสลับไฟจากแหล่งจ่ายไฟให้เป็นไฟตรงดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 ชุดการทำงานของคอนเวอร์เตอร์[4]

2) ชุดอินเวอร์เตอร์ซึงทำหน้าที่แปลงไฟตรงให้เป็นไฟสลับที่สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ดังรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 ชุดการทำงานของอินเวอร์เตอร์[4]

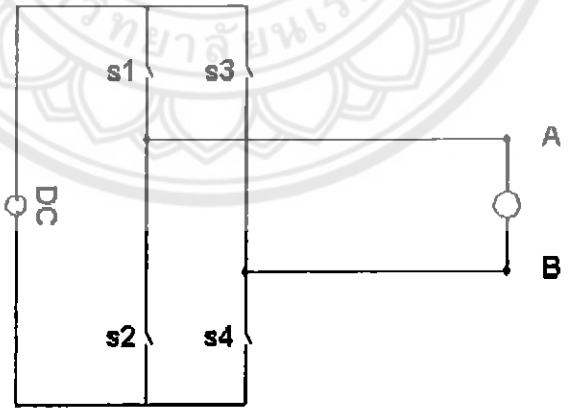
3) ชุดวงจรควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์ และชุดอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ชุดการทำงานของวงจรควบคุม (Control circuit)[4]

2.4.2 หลักการทำงานส่วนของอินเวอร์เตอร์

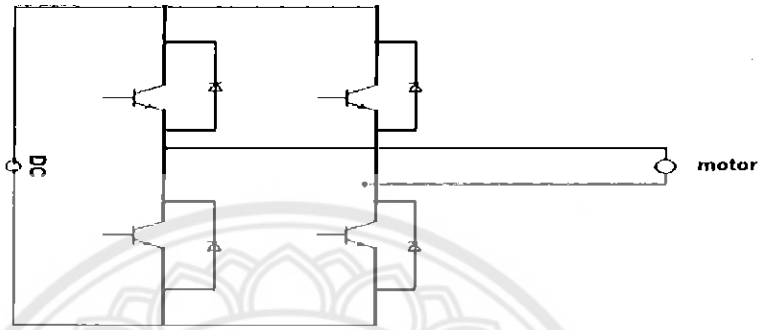
อินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนไฟฟ้า กระแสตรงเป็นกระแสสลับ โดยจะนำไฟฟ้ากระแสตรงต่อเข้ากับสวิตช์ 4 ตัว และทำการเปิด-ปิด สวิตช์ทั้ง 4 เป็นจังหวะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การทำงานส่วนของอินเวอร์เตอร์[4]

จากรูปที่ 2.8 เมื่อปิดสวิตช์ S1 และ S4 ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางจากจุด A ไปยังจุด B และเมื่อปิดสวิตช์ S2 และ S3 ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางจากจุด B ไปยังจุด A ดังนั้นถ้าเปิด-ปิดสวิตช์ S1 และ S4 สลับกับสวิตช์ S2 และ S3 จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นนั่นเองโดยถ้ามี

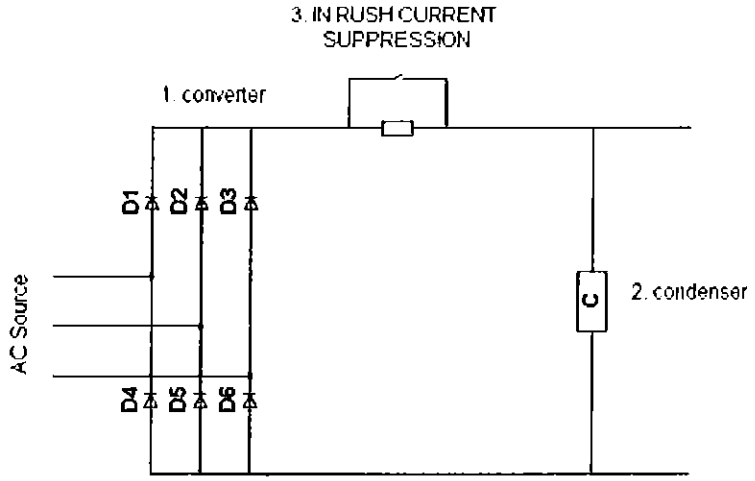
การควบคุมเวลาในการเปิด-ปิดสวิตช์ที่ต่างกันก็จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่แตกต่างกันไป ในความจริงแล้ว อินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตช์ เนื่องจากทรานซิสเตอร์สามารถ เปิด-ปิดได้ในความถี่ที่สูงกว่าสวิตช์ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 อินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตช์[4]

2.4.3 หลักการทำงานส่วนของคอนเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงประกอบไปด้วย ส่วนของคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยกลุ่มของ ส่วนของคอนเดนเซอร์ทำหน้าที่กรองกระแสโดยใช้ตัวเก็บประจุ วงจรจำกัดกระแสอินรัช (IN RUSH CURRENT SUPPRESSION) ทำหน้าที่จำกัดกระแส ขณะที่มีการเปิดสวิตช์ของ อินเวอร์เตอร์เป็นครั้งแรกดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การทำงานส่วนของคอนเวอร์เตอร์[4]

2.5 การใช้ควบคุมมอเตอร์[4]

2.5.1 การสตาร์ทมอเตอร์

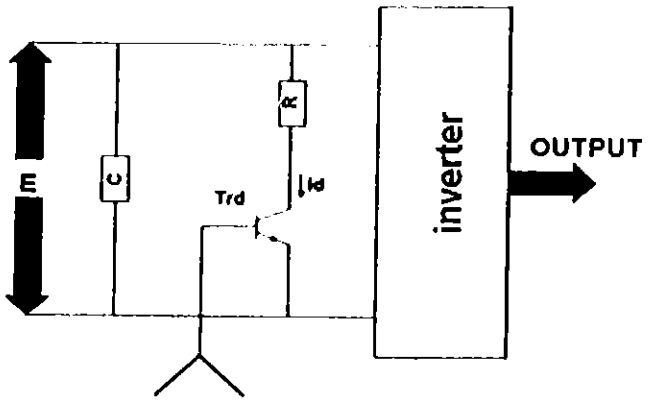
ทำได้โดยให้สัญญาณตั้งความถี่แก่อินเวอร์เตอร์ด้วยความถี่สตาร์ทมอเตอร์ก็จะผลิตแรงบิด จากนั้นอินเวอร์เตอร์จะค่อยๆ เพิ่มความถี่ขึ้นไป จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์สูงกว่าแรงบิดของ โหลดมอเตอร์จึงเริ่มหมุน

2.5.2 การเร่งความเร็วและการเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่

หลังจากสตาร์ทอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์แล้ว ความถี่ขาออกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงความถี่ที่ต้องการ ช่วงเวลาในการเพิ่มความถี่นี้คือเวลาการเร่งความเร็วและเมื่อความถี่ขาออกเท่ากับความถี่ที่ต้องการ การเร่งความเร็วก็จบอินเวอร์เตอร์จะเข้าสู่การทำงานในช่วงเวลาการเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่

2.5.3 การลดความเร็ว

ทำได้โดยตั้งความถี่ให้ต่ำกว่าความถี่ขาออก อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงมาเรื่อยๆ ตามช่วงเวลาการลดความเร็วที่ได้ตั้งไว้ ในขณะลดความถี่ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่ามากกว่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ มอเตอร์จะทำงานเหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟจ่ายกลับไปให้อินเวอร์เตอร์ (regeneration) ทำให้แรงดันไฟตรง (แรงดันคร่อมคอนเดนเซอร์) มีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นภายในอินเวอร์เตอร์จะมีวงจรที่ทำหน้าที่รับพลังงานที่เกิดจากการ regeneration ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเบรกมอเตอร์ วงจรนี้เรียกว่าวงจรเบรกคืนพลังงานดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรเบรกคืนพลังงาน[4]

จากรูปที่ 2.11 พลังงานที่เกิดจากการ regeneration จะป้อนกลับมาชาร์จประจุที่คอนเดนเซอร์ C ทำให้แรงดัน E มีค่าสูงขึ้นถ้าแรงดันสูงกว่าค่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ T ในวงจรเบรกจะทำงาน ทำให้มีกระแส I ไหลผ่านตัวต้านทานเบรก R ทำให้ตัวต้านทานร้อน เป็นการเผาผลาญพลังงานที่เกิดจากการ regeneration และพลังงานที่เก็บสะสมในคอนเดนเซอร์ C ก็จะถูกคายออกมาด้วยทำให้แรงดัน E มีค่าลดลง เมื่อลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนดทรานซิสเตอร์ T จะหยุดทำงาน กระแสเบรกก็จะหยุดไหลในช่วงการลดความเร็วจะทำงานในลักษณะนี้หลายๆครั้ง ถ้าพลังงานมีค่าน้อย (แรงบิดที่จำเป็นสำหรับลดความเร็วมีขนาดเล็ก) อัตราการใช้งานวงจรเบรกก็จะต่ำบางครั้งอาจจะไม่ทำงานเลยก็มี อัตราการใช้งานวงจรเบรกนี้ได้รับการออกแบบโดยการพิจารณาในแง่ของการระบายความร้อนไว้ที่ 2-3 % เท่านั้นถ้ามีการใช้เบรกบ่อย หรือใช้เบรกนานเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาการระบายความร้อนของตัวต้านทานและอาจทำให้ทรานซิสเตอร์เสื่อมได้

2.5.4 การหยุด

อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงจนถึงระดับหนึ่งและจะผลิตไฟตรงเข้าไปในมอเตอร์เพื่อทำงานเป็นเบรกจนมอเตอร์หยุด เรียกว่าการเบรกด้วยไฟตรง

2.5.5 แนวคิดการเลือกขนาดอินเวอร์เตอร์

ในการเลือกขนาดอินเวอร์เตอร์ถ้าคิดว่าอินเวอร์เตอร์ เหมือนกับแหล่งจ่ายไฟที่ใช้จ่ายพลังงานเพื่อขับมอเตอร์ก็จะคิดว่ายิ่งเลือกอินเวอร์เตอร์ ขนาดยิ่งใหญ่เท่าใดก็ยิ่งดี สามารถติดตั้งสวิทช์ที่เอาท์พุตของอินเวอร์เตอร์ เพื่อเปิดปิดจ่ายกระแส ให้มอเตอร์ได้ทันทีเหมือนกับแหล่งจ่ายไฟ แต่แนวความคิดนี้ ไม่ถูกต้องเนื่องจากต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง และอินเวอร์เตอร์มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นในการเลือกขนาดอินเวอร์เตอร์ ให้เหมาะสมกับมอเตอร์จะต้องคำนึงถึงข้อต่างๆ ต่อไปนี้

1.) ความสามารถในการขับมอเตอร์ขณะเร่งความเร็ว และความเร็วรอบคงที่ ต้องพิจารณาว่าอินเวอร์เตอร์สามารถจ่ายกระแส ที่มอเตอร์ต้องการได้หรือไม่

2.) ความสามารถในการขับมอเตอร์ขณะลดความเร็วในขณะที่ลดความเร็วมอเตอร์จะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและคืนพลังงานกลับไปให้อินเวอร์เตอร์ ดังนั้นอินเวอร์เตอร์ต้องมีความสามารถในการรับคืนและใช้พลังงานนี้ให้หมดไป

3.) การเลือกขนาดอินเวอร์เตอร์ โดยดูจากขนาดและจำนวนมอเตอร์นั้นให้เลือกอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแส พิกัดมากกว่าผลรวมของกระแสมอเตอร์ทุกตัว

2.6 กำลังไฟฟ้า[5]

กำลังไฟฟ้าคือการเอากระแสไฟฟ้ามาคูณกับแรงดันไฟฟ้าอาจมีตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามาคูณเพิ่ม ดังนั้นกำลังไฟฟ้าประกอบไปด้วยสามส่วนหลักๆ คือ หนึ่งกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏเป็นค่ากระแสไฟฟ้าคูณกับแรงดันไฟฟ้า สองกำลังไฟฟ้าจริงเป็นค่ากระแสไฟฟ้าคูณกับแรงดันไฟฟ้าแล้วคูณกับค่า cosine ของมุมระหว่างแรงดันกับกระแสนั้นๆ สามกำลังไฟฟ้าประกอบเป็นค่าที่กระแสไฟฟ้าคูนกับแรงดันไฟฟ้าแล้วคูณด้วย sine ของมุมระหว่างแรงดันกับกระแสนั้นๆซึ่งเรียก cosine ของมุมระหว่างแรงดันกับกระแสว่า Power factor

กำลังไฟฟ้า จะมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยกำลังไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างความต่างศักดิ์กับกระแสไฟฟ้า เขียนสมการได้ดังนี้

$$P = VI \qquad (2.6)$$

เมื่อกำหนดให้ P แทน กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์
V แทน ความต่างศักย์ที่ต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์
I แทนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์

พลังงานไฟฟ้า(จูล) = กำลังไฟฟ้า(วัตต์) X เวลา(วินาที)

เมื่อกำหนดให้ P แทน กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์
W แทน พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็นจูล
t แทน เวลา มีหน่วยเป็น วินาที

$$\text{หรือ} \quad W = P \times t \qquad (2.7)$$

ดังนั้นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงๆ ถ้าใช้เป็นเวลานานจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก ซึ่งในการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าจะคิดเป็นหน่วยที่ใหญ่กว่าจูล คือกิโลวัตต์ และคิดเวลาเป็นชั่วโมง ดังนั้น หน่วยของพลังงานไฟฟ้าจึงเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ หน่วย หรือยูนิต ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

พลังงานไฟฟ้า(หน่วย) = กำลังไฟฟ้า(กิโลวัตต์) X เวลา (ชั่วโมง) (2.8)

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านอ่านได้จากเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าที่เรียกว่า มาตรไฟฟ้า ซึ่งวัดพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือหน่วย มาตรไฟฟ้ามีหลายขนาดกำหนดตามปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผ่านมาตรไฟฟ้า

บทที่ 3
การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

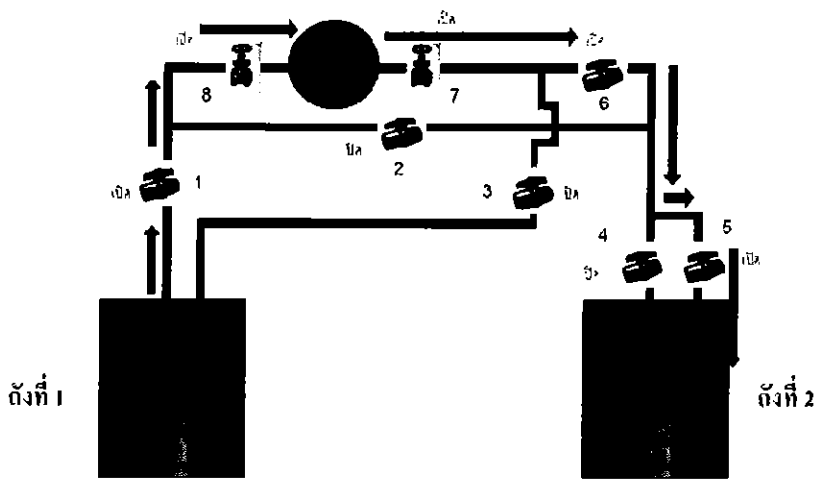
เครื่องปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยส่งผ่านพลังงานจากแหล่งต้นกำเนิดไปยังของเหลว เพื่อทำให้ของเหลวเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งที่อยู่สูงกว่า หรือในระยะทางที่ไกลออกไป

โดยทางผู้จัดทำโครงงานได้ทำการทดสอบการประหยัดพลังงานของมอเตอร์ในระบบปั๊มน้ำ 3 เฟส ซึ่งได้ทำการออกแบบการทดสอบแบ่งแยกไปตามส่วนประกอบที่สำคัญได้ดังนี้

3.1 ด้านวงจรการไหลของน้ำ

ในการออกแบบทางด้านวงจรน้ำผู้จัดทำโครงงานได้มีการออกแบบ โดยให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำเป็นแบบสูบไปและสูบกลับ คือการสูบน้ำจากถังที่ 1 ไปยังถังที่ 2 และสามารถสูบน้ำจากถังที่ 2 มายังถังที่ 1 ได้โดยใช้บอลวาล์วเปิด-ปิดวาล์วในการควบคุมทิศทางการสูบน้ำ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการทดลอง โดยถังน้ำแต่ละถังที่ใช้ในการทดลองนั้นมีปริมาตรความจุน้ำที่ถังละ 50 ลิตรทั้งสองถัง มีวิธีการในการควบคุมดังนี้

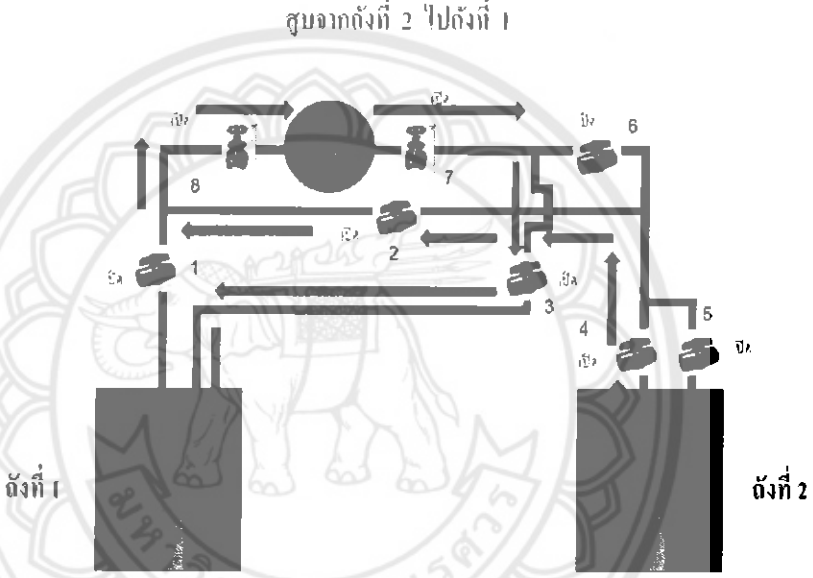
3.1.1 ด้านวงจรของน้ำสูบน้ำจากถังที่ 1 ไปยังถังที่ 2 ได้ทำการออกแบบวงจรของน้ำดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการสูบน้ำจากถังที่ 1 ไปยังถังที่ 2

จากรูปที่ 3.1 ในส่วนของการสูบน้ำจากถังที่ 1 ไปยังถังที่ 2 ทำได้โดยการควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วน้ำดังนี้เปิดวาล์วตัวที่ 1 วาล์วตัวที่ 8 วาล์วตัวที่ 7 วาล์วตัวที่ 6 วาล์วตัวที่ 5 จากนั้นปิดวาล์วตัวที่ 2 วาล์วตัวที่ 3 วาล์วตัวที่ 4 ปั๊มน้ำก็จะสูบน้ำจากถังที่ 1 ไปยังถังที่ 2

3.1.2 ด้านวงจรของน้ำสูบน้ำจากถังที่ 2 ไปยังถังที่ 1 ได้ทำการออกแบบวงจรของน้ำดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการสูบน้ำจากถังที่ 2 ไปยังถังที่ 1

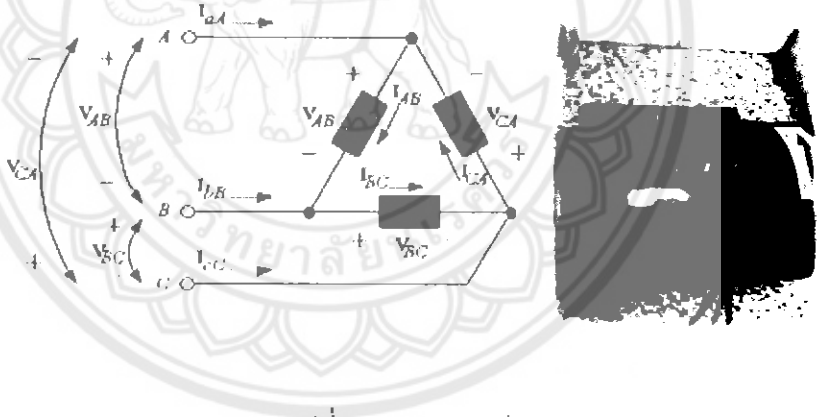
จากรูปที่ 3.2 ในส่วนของการสูบน้ำจากถังที่ 2 ไปยังถังที่ 1 ทำได้โดยการควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วน้ำดังนี้ เปิดวาล์วตัวที่ 4 วาล์วตัวที่ 2 วาล์วตัวที่ 8 วาล์วตัวที่ 7 วาล์วตัวที่ 3 จากนั้นปิดวาล์วตัวที่ 5 วาล์วตัวที่ 6 วาล์วตัวที่ 1 ปั๊มน้ำก็จะสูบน้ำจากถังที่ 2 ไปยังถังที่ 1

3.2 ด้านปั๊มน้ำและอินเวอร์เตอร์

สำหรับส่วนนี้จะเป็นส่วนของระบบวงจรไฟฟ้าทั้งหมดของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งจะประกอบด้วยวงจรต่างๆ ดังนี้

3.2.1 มอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟส

มอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟสที่ใช้เป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำชนิดปั๊มแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal pump) อาจเรียกว่าหอยโข่งมีหลักการทำงานโดยเมื่อใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) ของใบพัดปั๊ม (impeller) ทำให้ของเหลวมีความเร็วเพิ่มขึ้น ขนาดของปั๊มน้ำ 3 เฟสที่ใช้เป็นปั๊มน้ำขนาดกำลัง 0.75 kW ,In 2.9 A ,V 380 ,HP 1.0 ,50 Hz ,H max 15 m ,Q max 110 l/min ,rpm 2900 , ICL F ,IP 44 และมีการต่อวงจรภายในมอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟสเป็นแบบเดลต้าดังรูปที่ 3.3

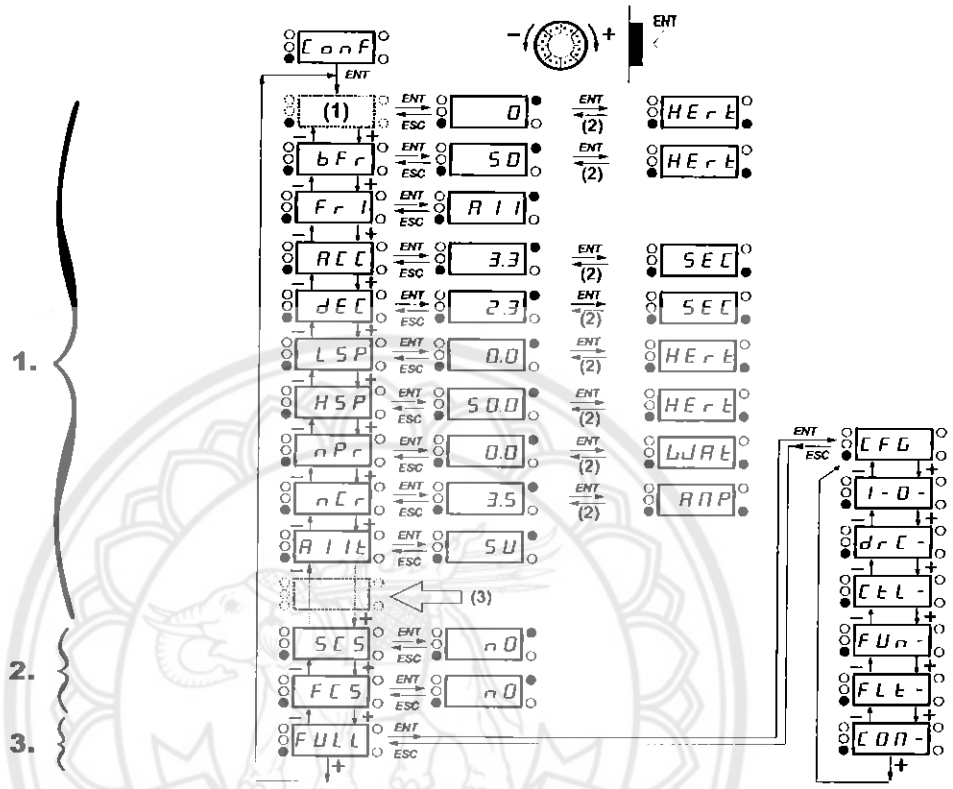


รูปที่ 3.3 วงจรเดลต้า[1]

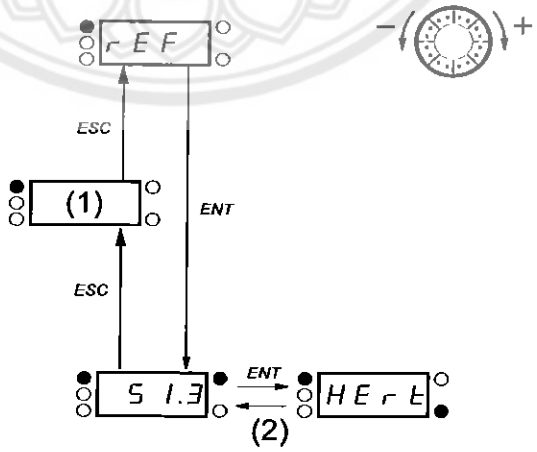
3.2.2 อินเวอร์เตอร์

ในการสูบน้ำนอกจากจะใช้การหรี่วาล์วน้ำเพื่อควบคุมปริมาณน้ำแล้วยังได้ใช้อินเวอร์เตอร์มาปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำในการควบคุมปริมาณการไหลของน้ำด้วย อินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นอินเวอร์เตอร์รุ่น (Altivar 12 Variable speed drives for asynchronous motors) ในการทดสอบได้ทำการปรับตั้งค่าอินเวอร์เตอร์เพื่อมาใช้ในการทดสอบโดยเข้าไปปรับค่าอินเวอร์เตอร์ใน Configuration Mode ConF, Reference Mode rEF และMonitoring mode Mon ดัง

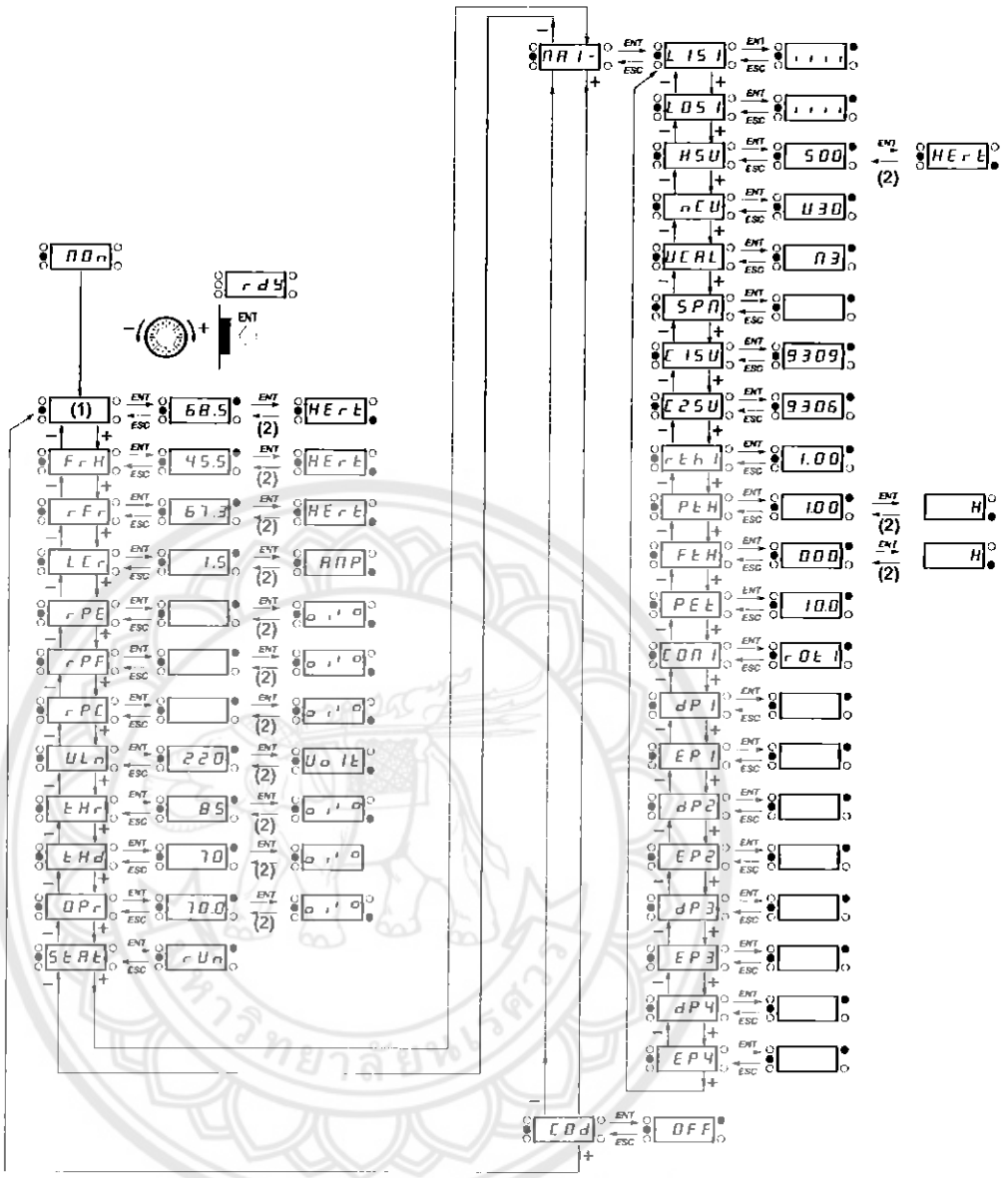
รูปที่ 3.4, 3.5, และ3.6 หลังจากการตั้งค่าโหมดต่างๆ แล้วในการทดสอบนี้ได้ใช้ ReferenceMode rEF ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำ



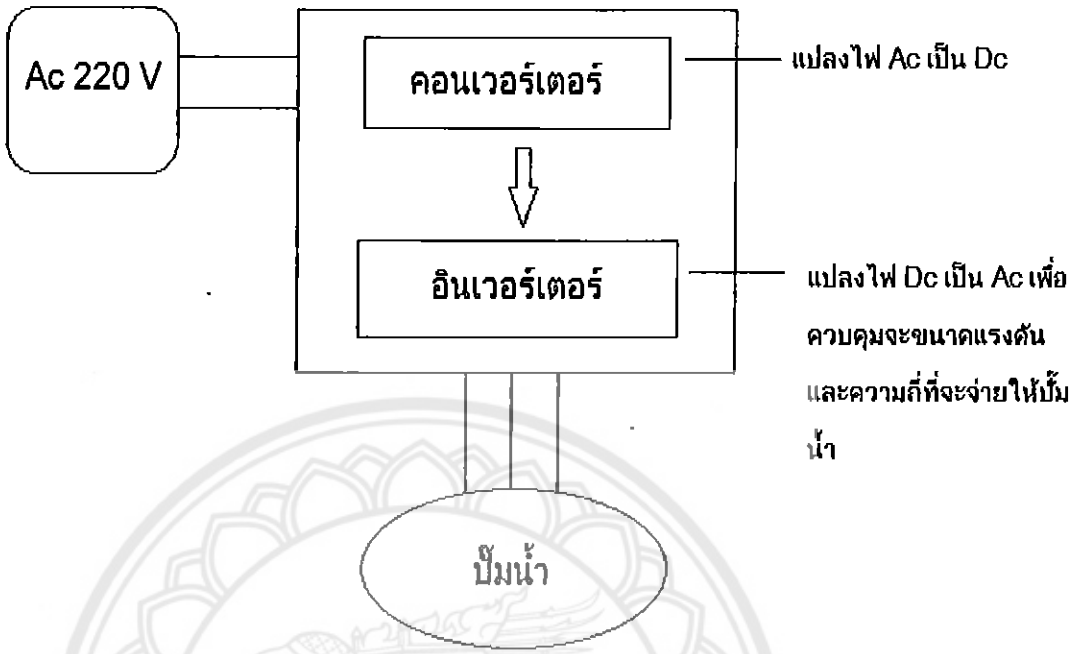
รูปที่ 3.4 แสดงการตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ใน Configuration Mode ConF[4]



รูปที่ 3.5 แสดงการตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ใน Reference Mode rEF[4]



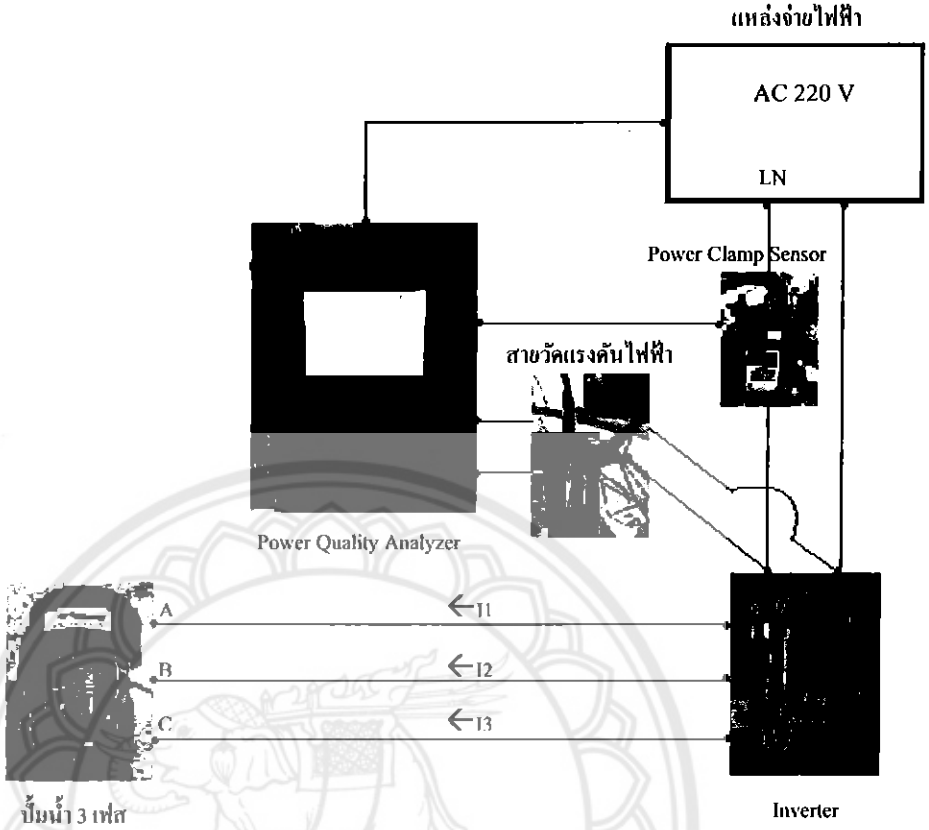
รูปที่ 3.6 แสดงการตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ใน Monitoring mode **Mon[4]**



รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมการทำงานของอินเวอร์เตอร์

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

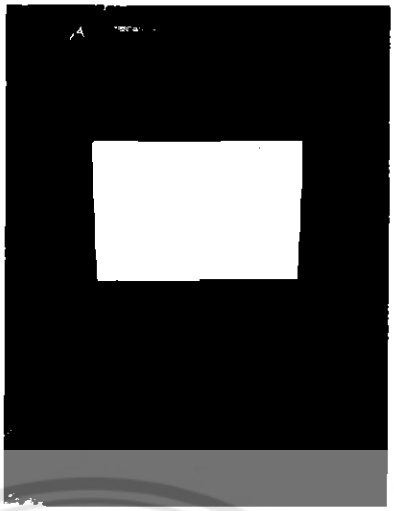
ส่วนนี้เป็นส่วนของขั้นตอนการทดลอง จากการออกแบบและต่อวงจรปั๊มน้ำ ผู้จัดทำโครงงานได้นำปั๊มน้ำมาต่อกับอินเวอร์เตอร์ และติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าเพื่อจะทำการทดลองดังรูปที่ 3.7 ซึ่งผู้จัดทำโครงงานนี้ได้ใช้การหรี่วาล์วและการใช้อินเวอร์เตอร์ ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำในการประหยัดพลังงาน โดยในการทดสอบได้ใช้เครื่อง Power Quality Analyzer ในการวัดค่า ซึ่งการติดตั้งจะเป็นดังรูปที่ 3.8 โดยมีรายละเอียดการทดลองแบ่งออกเป็นดังนี้



รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อ Power Quality Analyzer วัดค่าก่อนเข้าอินเวอร์เตอร์

3.3.1 การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำแบบปกติ

การทดสอบนี้จะทำการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่มีการหรี่วาล์วทั้งด้านสูบและด้านจ่าย ที่ความถี่ f = 50 Hz สูบน้ำจากถังที่ 1 ไปถังที่ 2 โดยจับเวลาและวัดค่าทางไฟฟ้าทุกๆ ครั้งที่สูบน้ำได้ 5 ลิตร โดยใช้เครื่อง Power Quality Analyzer ดังรูปที่ 3.9 ในการวัด เพื่อนำค่าที่ได้ไปบันทึกลงตารางผลการทดลอง และเขียนเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองแบบอื่นๆ



รูปที่ 3.9 แสดงเครื่อง Power Quality Analyzer ที่ใช้ในการวัดค่าในการทดสอบ

3.3.2 การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบ (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

การทดสอบนี้จะทำโดยการเปิดวาล์วทางด้านจ่ายให้เต็มที่เพื่อจะได้ไม่มีการหรี่วาล์วในทางด้านจ่าย ส่วนในการหรี่วาล์วทางด้านสูบที่แสดงดังรูปที่ 3.10 ซึ่งสามารถแบ่งการหรี่ปรับวาล์วออกได้เป็น 3 รอบ โดยมีทิศการหมุนและวิธีการดังรูปที่ 3.11 ทำการทดสอบ วัดค่าเก็บรวบรวมข้อมูลเหมือนในการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำแบบปกติ โดยการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบมีรายละเอียดการทดลองแบ่งออกเป็นดังนี้

1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

รูปที่ 3.10 แสดงวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดยการหรี่วาล์วและไม่หรี่วาล์วทางด้านสูบ

รูปที่ 3.11 แสดงทิศการหมุนและวิธีการหรี่ปรับวาล์ว

3.3.3 การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

ในการทดสอบนี้มีลักษณะคล้ายกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบ เพียงแต่ต่างกันตรงการหรี่วาล์วที่ต้องเปิดวาล์วทางด้านสูบให้เต็มที่ เพื่อไม่ให้มีการหรี่วาล์ว

ทางด้านสูบ และต้องทำการหรี่วาล์วทางด้านจ่ายที่แสดงดังรูปที่ 3.12 ซึ่งสามารถแบ่งการหรี่ปรับวาล์วออกได้เป็น 3 รอบเหมือนการหรี่วาล์วทางด้านสูบ ทำการทดสอบ วัดค่าเก็บรวบรวมข้อมูลเหมือนในการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำแบบปกติ โดยการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายมีรายละเอียดการทดลองแบ่งออกเป็นดังนี้

1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

รูปที่ 3.12 แสดงวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดยการหรี่วาล์วและไม่หรี่วาล์วทางด้านจ่าย

3.3.4 การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่โดยไม่มีการหรี่วาล์ว (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz)

ในการทดสอบนี้จะทำการเปิดวาล์วทั้งด้านสูบและด้านจ่ายให้เต็มที่ เพื่อไม่ให้มีการหรี่วาล์วทั้งด้านสูบและด้านจ่าย ทำการปรับความถี่ให้ลดลงมาโดยใช้อินเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 3.13 แต่ละการทดลองจะปรับความถี่ลดลงมาครั้งละ 5 Hz ทำการทดสอบ วัดค่าเก็บรวบรวมข้อมูลเหมือนในการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำแบบปกติ โดยการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่โดยไม่มีการหรี่วาล์ว (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz) มีรายละเอียดการทดลองแบ่งออกเป็นดังนี้

1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 45 Hz

2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 40 Hz

3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 35 Hz

4) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 30 Hz

5) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 25 Hz

6) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 20 Hz

7) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 15 Hz

รูปที่ 3.13 แสดงอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดยการปรับความถี่

3.3.5 การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่ (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz) พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

ในการทดสอบนี้จะทำการเปิดวาล์วด้านสูบให้เต็มที่ ส่วนวาล์วน้ำทางด้านจ่ายจะทำการหรี่วาล์วไปพร้อมกับการเดินเครื่องที่ในแต่ละความถี่ ซึ่งแบ่งการปรับวาล์วออกได้เป็น 3 รอบ โดยจะเริ่มการทดสอบที่ความถี่ 45 Hz แต่ละการทดสอบจะปรับลดความถี่ลงมาครั้งละ 5 Hz ทำการทดสอบ วัดค่าเก็บรวบรวมข้อมูลเหมือนในการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำแบบปกติ โดยการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่ (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz) พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ) ดังรูปที่ 3.14 มีรายละเอียดการทดลองแบ่งออกเป็นดังนี้

1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ
- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ
- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ
- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ
- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hzพร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ
- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ
- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

4) ทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hzพร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

5) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hzพร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

6) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

7) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 15 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 15 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 15 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ

- การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 15 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

รูปที่ 3.14 แสดงการควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดยการใช้อินเวอร์เตอร์และหรี่วาล์วด้านจ่ายน้ำ

3.4 ขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) เก็บรวบรวมข้อมูลที่วัดได้จากการทดลองโดยใช้ Power Quality Analyzer วัดค่าลงในตารางผลการทดลองดังตารางที่ 3.1 โดยจากการทดลองค่าที่สามารถวัดได้คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า (V), ค่ากระแสไฟฟ้า (I), ค่ากำลังไฟฟ้า (P) ,ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF) ค่าที่จับเวลา (t) ทุกๆปริมาณน้ำ 5 ลิตรที่สูบไปเพื่อดูความเร็วในการสูบน้ำ และค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตร

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างตารางผลการทดลองที่ใช้ในการบันทึกเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5						
10						
15						
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						

2) นำค่าที่ได้บันทึกลงในตารางผลการทดลองแต่ละค่านั้นไปทำเป็นกราฟเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สังเกตและเปรียบเทียบกันในแต่ละการทดลอง

3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบผลการทดลอง

เมื่อทำการทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดลองในทุกการทดสอบเสร็จเรียบร้อยก็นำผลการทดสอบในแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบกันในแต่ละการทดสอบที่ต่างกัน เพื่อหาการเดินปั๊มน้ำที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งการเปรียบเทียบออกได้ ดังนี้

3.5.1 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบ (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

จากการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันสามารถแบ่งย่อยออกมาได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

2) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

3) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

3.5.2 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

จากการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่าย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันสามารถแบ่งย่อยออกมาได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

2) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

3) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

3.5.3 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

จากการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่าย เมื่อนำมาเปรียบเทียบในการหรี่วาล์วที่จำนวนรอบเท่ากันของการปรับหรี่วาล์วด้านสูบกับด้านจ่าย สามารถแบ่งย่อยออกมาได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบ

2) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 2 รอบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบ

3) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 3 รอบ

3.5.4 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่โดยไม่หรี่วาล์ว (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz)

โดยเริ่มเปรียบเทียบที่ค่าความถี่ 50 Hz (การเดินเครื่องปกติ) กับการเดินเครื่องที่ความถี่ต่างๆ ที่ลดลงมาครั้งละ 5 Hz ในทุกๆ ช่วงความถี่โดยไม่มีการหรี่วาล์วเลย

3.5.5 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่ (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz) พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

โดยการเปรียบเทียบจะเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติที่ความถี่ 50 Hz โดยไม่หรี่วาล์ว เพื่อดูว่าสามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากการเดินปกติได้หรือไม่ และเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่โดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ที่เท่ากัน เพื่อสังเกตว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่ายต่างจากการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่โดยไม่หรี่วาล์วอย่างไร

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

จากการออกแบบติดตั้งวงจรปั๊มน้ำ และทำการทดลองในแต่ละขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 ผู้จัดทำโครงงานได้ทำการบันทึกผลและเก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดลอง ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

4.1.1 ทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติ (ไม่มีการหรี่วาล์วทั้งด้านสูบและด้านจ่าย ที่ความถี่ f = 50 Hz)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติ (ไม่มีการหรี่วาล์วทั้งด้านสูบและด้านจ่าย ที่ความถี่ f = 50 Hz)

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	6	225.6	6.49	0.906	-0.618	
10	13	227	6.48	0.906	-0.616	
15	18	226.4	6.44	0.898	-0.616	
20	25	226.1	6.43	0.896	-0.616	
25	31	225.9	6.39	0.89	-0.617	
30	37	226	6.36	0.886	-0.616	
35	44	226.6	6.35	0.884	-0.614	
40	50	225.5	6.34	0.883	-0.617	
45	56	225.5	6.32	0.88	-0.618	
50	61	226.8	6.34	0.881	-0.612	14.9478

4.1.2 การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบ (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	12	226.4	5.52	0.749	-0.599	
10	20	225.1	6.14	0.843	-0.61	
15	26	226.4	6.13	0.841	-0.614	
20	33	225.2	6.14	0.84	-0.607	
25	40	225.3	6.12	0.838	-0.607	
30	46	224	6.09	0.836	-0.612	
35	52	223.7	6.08	0.834	-0.612	
40	58	224.4	6.11	0.833	-0.607	
45	64	224.2	6.08	0.831	-0.609	
50	70	225.4	6.06	0.829	-0.607	14.8768

2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 2 **รอบที่ความถี่** f = 50 Hz

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	12	224.9	5.78	0.788	-0.606	
10	22	225.1	5.92	0.81	-0.607	
15	30	224.1	5.93	0.808	-0.608	
20	38	224.8	5.9	0.805	-0.607	
25	47	224.3	5.88	0.805	-0.61	
30	55	225.3	5.88	0.805	-0.605	
35	64	225.5	5.89	0.804	-0.605	
40	71	225.1	5.86	0.804	-0.61	
45	80	225.4	5.88	0.803	-0.606	
50	87	226.4	5.84	0.803	-0.61	18.4425

3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	28	226.1	5.43	0.731	-0.595	
10	58	225.9	5.65	0.772	-0.604	
15	82	226.4	5.69	0.775	-0.601	
20	107	226.9	5.67	0.772	-0.603	
25	128	226.9	5.66	0.772	-0.601	
30	151	226.3	5.66	0.773	-0.604	
35	175	226.9	5.71	0.773	-0.6	
40	194	226.9	5.69	0.776	-0.6	
45	214	226.1	5.71	0.776	-0.601	
50	235	224.6	5.7	0.777	-0.607	50.57551

4.1.3 การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	10	222.9	6.07	0.834	-0.616	
10	17	224.5	6.12	0.842	-0.612	
15	24	224.4	6.11	0.84	-0.612	
20	30	222.8	6.1	0.839	-0.617	
25	37	224.3	6.1	0.837	-0.612	
30	43	224.2	6.07	0.834	-0.614	
35	50	224.2	6.05	0.832	-0.612	
40	56	224.7	6.04	0.829	-0.611	
45	61	223.4	6.01	0.828	-0.617	
50	67	224	6.05	0.825	-0.612	14.1773

2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	11	224.4	5.78	0.791	-0.61	
10	18	222.7	5.93	0.813	-0.616	
15	24	224	5.92	0.815	-0.614	
20	31	223.7	5.91	0.81	-0.613	
25	38	223.9	5.88	0.808	-0.614	
30	44	223.1	5.87	0.806	-0.615	
35	51	223.4	5.86	0.806	-0.616	
40	57	224	5.86	0.803	-0.612	
45	63	223.2	5.86	0.804	-0.615	
50	68	223.1	5.87	0.806	-0.616	16.0729

3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	17	225	5.7	0.782	-0.61	
10	34	224.9	5.7	0.782	-0.61	
15	49	226	5.68	0.78	-0.607	
20	65	224.9	5.65	0.782	-0.615	
25	80	224.2	5.63	0.777	-0.616	
30	95	224.8	5.62	0.775	-0.614	
35	110	225.2	5.63	0.777	-0.612	
40	125	225	5.66	0.78	-0.613	
45	139	224	5.63	0.776	-0.615	
50	150	225.7	5.65	0.77	-0.609	31.6750

4.1.4 การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่โดยไม่มีการหรี่วาล์ว (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz)

1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 45 Hz

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 45 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	9	228.3	5.39	0.74	-0.601	
10	16	227.8	5.66	0.778	-0.604	
15	21	226.7	5.62	0.774	-0.608	
20	28	227.2	5.61	0.775	-0.608	
25	33	227.9	5.61	0.772	-0.604	
30	39	226.9	5.59	0.772	-0.609	
35	45	227.2	5.59	0.769	-0.605	
40	51	227.7	5.6	0.769	-0.602	
45	58	227.9	5.57	0.769	-0.606	
50	63	227.1	5.61	0.773	-0.607	12.4085

2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 40 Hz

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 40 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	11	229.5	4.55	0.617	-0.587	
10	19	229.6	4.56	0.62	-0.592	
15	25	225.4	4.56	0.615	-0.587	
20	31	227.1	4.59	0.615	-0.589	
25	39	227.4	4.59	0.615	-0.589	
30	46	226.8	4.63	0.616	-0.586	
35	51	226.3	4.59	0.616	-0.593	
40	58	226.9	4.59	0.614	-0.59	
45	64	226.6	4.55	0.61	-0.592	
50	70	227.8	4.55	0.614	-0.587	10.1632

3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 35 Hz

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 35 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	12	227.5	3.24	0.414	-0.562	
10	20	228.6	3.28	0.424	-0.556	
15	26	228.8	3.28	0.424	-0.565	
20	33	228.2	3.28	0.424	-0.565	
25	40	227.2	3.28	0.424	-0.569	
30	47	223.9	3.31	0.424	-0.565	
35	54	227.7	3.28	0.422	-0.566	
40	60	227.6	3.29	0.424	-0.566	
45	67	226.8	3.28	0.424	-0.57	
50	72	229.1	3.24	0.424	-0.565	8.1642

4) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 30 Hz

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 30 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	14	229.2	1.99	0.238	-0.523	
10	25	228.4	2.28	0.284	-0.546	
15	33	228.6	2.3	0.283	-0.539	
20	41	227.9	2.3	0.284	-0.541	
25	49	228.2	2.32	0.283	-0.536	
30	57	229.6	2.26	0.284	-0.548	
35	65	228.3	2.28	0.283	-0.544	
40	72	227.4	2.27	0.283	-0.548	
45	80	228.1	2.32	0.284	-0.536	
50	86	229	2.25	0.283	-0.563	6.3776

5) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 25 Hz

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 25 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	16	228.9	1.45	0.171	-0.516	
10	27	229.1	1.52	0.177	-0.51	
15	38	227.6	1.52	0.178	-0.515	
20	48	227.7	1.47	0.177	-0.529	
25	58	228.8	1.47	0.176	-0.523	
30	68	228.6	1.49	0.177	-0.519	
35	78	229.6	1.53	0.177	-0.502	
40	87	228.9	1.51	0.176	-0.508	
45	96	229.4	1.57	0.177	-0.507	
50	104	228	1.53	0.177	-0.509	4.85346

6) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 20 Hz

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 20 Hz

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	37	228.3	0.93	0.1	-0.472	
10	52	223.3	0.91	0.101	-0.483	
15	65	227.9	0.91	0.102	-0.49	
20	78	229.3	0.92	0.101	-0.478	
25	92	229.8	0.92	0.101	-0.476	
30	106	228.7	0.92	0.101	-0.483	
35	119	228.9	0.91	0.101	-0.483	
40	133	229.7	0.91	0.101	-0.479	
45	146	228.2	0.91	0.101	-0.483	
50	157	230.2	0.92	0.102	-0.479	4.03818

7) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ 15 Hz

จากการทดลองสามารถวัดค่าผลทางไฟฟ้าได้ แต่เนื่องจากความถี่ที่ปรับโดยอินเวอร์เตอร์นั้นมีค่าต่ำเกินที่จะทำให้มอเตอร์ปั๊มน้ำมีความเร็วรอบสูงพอจะสร้างแรงดันในการสูบน้ำ ทำให้ปั๊มน้ำไม่สามารถสูบจ่ายน้ำไปอีกถังได้ ดังนั้นจึงไม่เกิดผลประโยชน์ในการใช้งาน

4.1.5 การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่ (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz) พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

1.1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	11	226.2	4.96	0.667	-0.596	
10	18	225.4	5.34	0.727	-0.605	
15	25	225.7	5.35	0.726	-0.601	
20	31	224.7	5.33	0.723	-0.604	
25	37	224.4	5.33	0.722	-0.603	
30	43	224.4	5.33	0.719	-0.601	
35	49	224.6	5.31	0.718	-0.602	
40	55	225.4	5.33	0.72	-0.599	
45	61	224.7	5.32	0.72	-0.603	
50	68	224.8	5.33	0.723	-0.603	12.086

1.2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	12	225.3	5.25	0.712	-0.602	
10	19	225	5.29	0.719	-0.604	
15	26	224.7	5.29	0.72	-0.605	
20	32	224.9	5.28	0.717	-0.603	
25	39	225.2	5.3	0.717	-0.601	
30	46	225.1	5.3	0.716	-0.601	
35	53	225	5.29	0.714	-0.6	
40	59	224.6	5.26	0.714	-0.604	
45	64	225.1	5.23	0.709	-0.603	
50	70	224.7	5.27	0.715	-0.604	13.9903

1.3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 45 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	16	226.5	5.08	0.691	-0.6	
10	32	226.5	5.14	0.691	-0.595	
15	46	226.4	5.14	0.69	-0.593	
20	61	226.4	5.11	0.689	-0.595	
25	74	225.8	5.11	0.691	-0.599	
30	88	226.1	5.09	0.688	-0.598	
35	103	226.2	5.14	0.688	-0.592	
40	115	226	5.15	0.691	-0.593	
45	128	225.9	5.07	0.686	-0.598	
50	139	225.8	5.07	0.687	-0.599	27.8640

2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

2.1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	11	227.2	4.04	0.535	-0.533	
10	18	227.1	4.43	0.592	-0.589	
15	25	226.8	4.47	0.583	-0.585	
20	30	226.9	4.45	0.592	-0.587	
25	36	226.9	4.46	0.592	-0.586	
30	41	226.5	4.42	0.591	-0.59	
35	48	226.6	4.43	0.591	-0.589	
40	53	226.8	4.42	0.59	-0.589	
45	59	226.6	4.42	0.589	-0.588	
50	63	226.7	4.45	0.59	-0.585	9.8403

2.2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	11	227.4	4.37	0.579	-0.582	
10	18	227	4.4	0.583	-0.584	
15	25	227.2	4.37	0.582	-0.586	
20	33	226.7	4.37	0.582	-0.588	
25	39	226.8	4.35	0.581	-0.588	
30	47	226.9	4.35	0.579	-0.587	
35	53	227	4.34	0.578	-0.587	
40	60	227.1	4.35	0.578	-0.584	
45	66	227	4.34	0.577	-0.586	
50	71	226.5	4.4	0.583	-0.585	10.8999

2.3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 40 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	13	226.8	4.2	0.549	-0.577	
10	29	227.1	4.17	0.549	-0.58	
15	43	227	4.21	0.55	-0.575	
20	58	227.2	4.15	0.549	-0.582	
25	72	227.4	4.12	0.548	-0.585	
30	87	227.3	4.15	0.547	-0.581	
35	100	227.3	4.14	0.547	-0.582	
40	115	227.1	4.16	0.547	-0.579	
45	128	227.4	4.12	0.546	-0.583	
50	137	227.3	4.14	0.546	-0.581	21.4779

3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

3.1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ

ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	10	227.4	3.27	0.414	-0.567	
10	17	227.4	3.25	0.414	-0.56	
15	24	227.5	3.31	0.414	-0.55	
20	31	227.6	3.28	0.413	-0.552	
25	39	227.6	3.23	0.412	-0.561	
30	45	227.6	3.32	0.411	-0.561	
35	53	227.5	3.21	0.411	-0.562	
40	59	227.5	3.23	0.411	-0.56	
45	66	227.7	3.23	0.411	-0.559	
50	72	227.3	3.25	0.412	-0.558	7.9664

3.2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ

ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	12	228	3.13	0.39	-0.547	
10	21	227.6	3.22	0.407	-0.555	
15	29	228.6	3.18	0.407	-0.56	
20	38	228.1	3.15	0.405	-0.564	
25	45	228.1	3.17	0.406	-0.561	
30	53	228.1	3.17	0.405	-0.56	
35	61	228.6	3.15	0.405	-0.563	
40	68	226.9	3.15	0.406	-0.568	
45	75	227.4	3.16	0.405	-0.564	
50	82	227.5	3.02	0.395	-0.575	8.8523

3.3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 35 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	20	227.8	2.98	0.382	-0.563	
10	37	228.1	3.04	0.386	-0.565	
15	52	228.5	3.03	0.387	-0.559	
20	68	226.9	3.02	0.386	-0.563	
25	82	227.6	3.01	0.386	-0.564	
30	98	228	3	0.386	-0.564	
35	112	227.9	2.98	0.387	-0.569	
40	125	229.1	3	0.387	-0.563	
45	140	228.3	3.03	0.387	-0.56	
50	151	227.1	3.02	0.383	-0.565	16.9564

4) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

4.1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hzพร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	13	226.1	2.07	0.256	-0.546	
10	22	225.8	2.28	0.276	-0.538	
15	30	229.7	2.3	0.276	-0.524	
20	38	227.9	2.25	0.277	-0.538	
25	47	226	2.25	0.277	-0.544	
30	55	226	2.23	0.275	-0.543	
35	63	226.9	2.21	0.276	-0.55	
40	72	226.9	2.27	0.276	-0.535	
45	80	226.2	2.25	0.275	-0.541	
50	88	226.4	2.23	0.272	-0.545	6.3330

4.2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ

ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	14	228.9	2.26	0.273	-0.527	
10	23	227.6	2.23	0.274	-0.541	
15	31	226.1	2.23	0.274	-0.544	
20	41	229.3	2.21	0.273	-0.54	
25	51	224.6	2.18	0.273	-0.549	
30	60	228.2	2.19	0.273	-0.546	
35	69	224.3	2.22	0.272	-0.534	
40	77	228.7	2.21	0.273	-0.54	
45	86	226.2	2.21	0.272	-0.545	
50	92	226.7	2.22	0.276	-0.548	7.2277

4.3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 30 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	46	224.6	1.96	0.225	-0.525	
10	70	227.4	2.03	0.258	-0.542	
15	87	227.8	2.12	0.26	-0.537	
20	105	228.2	2.12	0.261	-0.54	
25	122	224.1	2.11	0.261	-0.551	
30	141	225.7	2.08	0.261	-0.553	
35	157	227.4	2.15	0.261	-0.536	
40	173	229.5	2.15	0.262	-0.53	
45	188	229.9	2.17	0.261	-0.525	
50	202	227.1	2.13	0.262	-0.542	12.6314

5) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

5.1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ

ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	11	228.3	1.54	0.179	-0.509	
10	21	226.1	1.52	0.178	-0.519	
15	31	228.8	1.5	0.178	-0.517	
20	41	229	1.53	0.178	-0.507	
25	51	229.3	1.49	0.178	-0.52	
30	60	228.7	1.53	0.177	-0.508	
35	71	228.3	1.51	0.177	-0.504	
40	80	229.2	1.47	0.177	-0.513	
45	90	229.3	1.47	0.177	-0.523	
50	97	227.2	1.51	0.181	-0.527	4.6178

5.2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ

ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	14	228.6	1.47	0.172	-0.512	
10	27	228.5	1.49	0.175	-0.512	
15	38	229.1	1.49	0.175	-0.513	
20	50	227.1	1.47	0.174	-0.521	
25	61	227.9	1.46	0.175	-0.526	
30	72	226.9	1.49	0.175	-0.516	
35	82	228.4	1.49	0.174	-0.51	
40	93	228.9	1.48	0.174	-0.512	
45	104	227.5	1.44	0.174	-0.53	
50	112	226.6	1.43	0.174	-0.537	5.6998

5.3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 25 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	31	228.7	1.38	0.162	-0.513	
10	60	229.6	1.4	0.165	-0.516	
15	84	229.7	1.39	0.165	-0.516	
20	108	228.2	1.43	0.166	-0.507	
25	131	227.6	1.41	0.166	-0.518	
30	152	228.5	1.42	0.166	-0.511	
35	177	229.7	1.39	0.167	-0.521	
40	198	229.4	1.39	0.168	-0.526	
45	218	229.7	1.42	0.168	-0.516	
50	235	229.4	1.4	0.169	-0.528	9.8966

6) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

6.1) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ

ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz ปรับวาล์วจ่าย 1 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	38	229.9	0.9	0.097	-0.469	
10	55	228	0.9	0.099	-0.484	
15	69	229.4	0.86	0.1	-0.507	
20	82	227.9	0.91	0.1	-0.481	
25	94	229	0.91	0.1	-0.481	
30	110	227.1	0.93	0.099	-0.469	
35	123	229.1	0.89	0.099	-0.485	
40	137	230.5	0.89	0.099	-0.482	
45	150	229.2	0.86	0.099	-0.501	
50	161	229.2	0.92	0.101	-0.481	3.99845

6.2) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ

ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz ปรับวาล์วจ่าย 2 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	27	229.6	0.9	0.098	-0.474	
10	44	229.5	0.91	0.1	-0.478	
15	59	230	0.9	0.1	-0.487	
20	75	229.8	0.9	0.099	-0.475	
25	90	229.8	0.88	0.099	-0.489	
30	106	230.1	0.88	0.098	-0.486	
35	121	229.7	0.86	0.098	-0.494	
40	137	230.3	0.89	0.098	-0.478	
45	150	229.8	0.9	0.098	-0.474	
50	163	229.5	0.91	0.098	-0.47	4.73079

6.3) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ

ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 20 Hz ปรับวาล์วจ่าย 3 รอบ

Q(ลิตร)	t(วินาที)	V(volt)	I(A)	P(kW)	PF	WHr(รวม)
5	31	227.4	0.87	0.096	-0.48	
10	69	229.3	0.86	0.094	-0.479	
15	101	229.2	0.84	0.094	-0.487	
20	137	228.7	0.86	0.094	-0.477	
25	171	229.3	0.88	0.094	-0.464	
30	207	230.1	0.86	0.094	-0.476	
35	242	228.1	0.85	0.094	-0.485	
40	274	229.7	0.86	0.094	-0.476	
45	303	230.1	0.86	0.094	-0.474	
50	327	228.5	0.85	0.094	-0.484	9.1563

7) การทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำที่ความถี่ 15 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

จากการทดลองสามารถวัดค่าผลทางไฟฟ้าได้ แต่เนื่องจากความถี่ที่ปรับโดยอินเวอร์เตอร์นั้นมีค่าต่ำเกินที่จะทำให้มอเตอร์ปั๊มน้ำมีความเร็วรอบสูงพอจะสร้างแรงดันในการสูบน้ำ ทำให้ปั๊มน้ำไม่สามารถสูบจ่ายน้ำไปอีกถังได้ ดังนั้นจึงไม่เกิดผลประโยชน์ในการใช้งาน

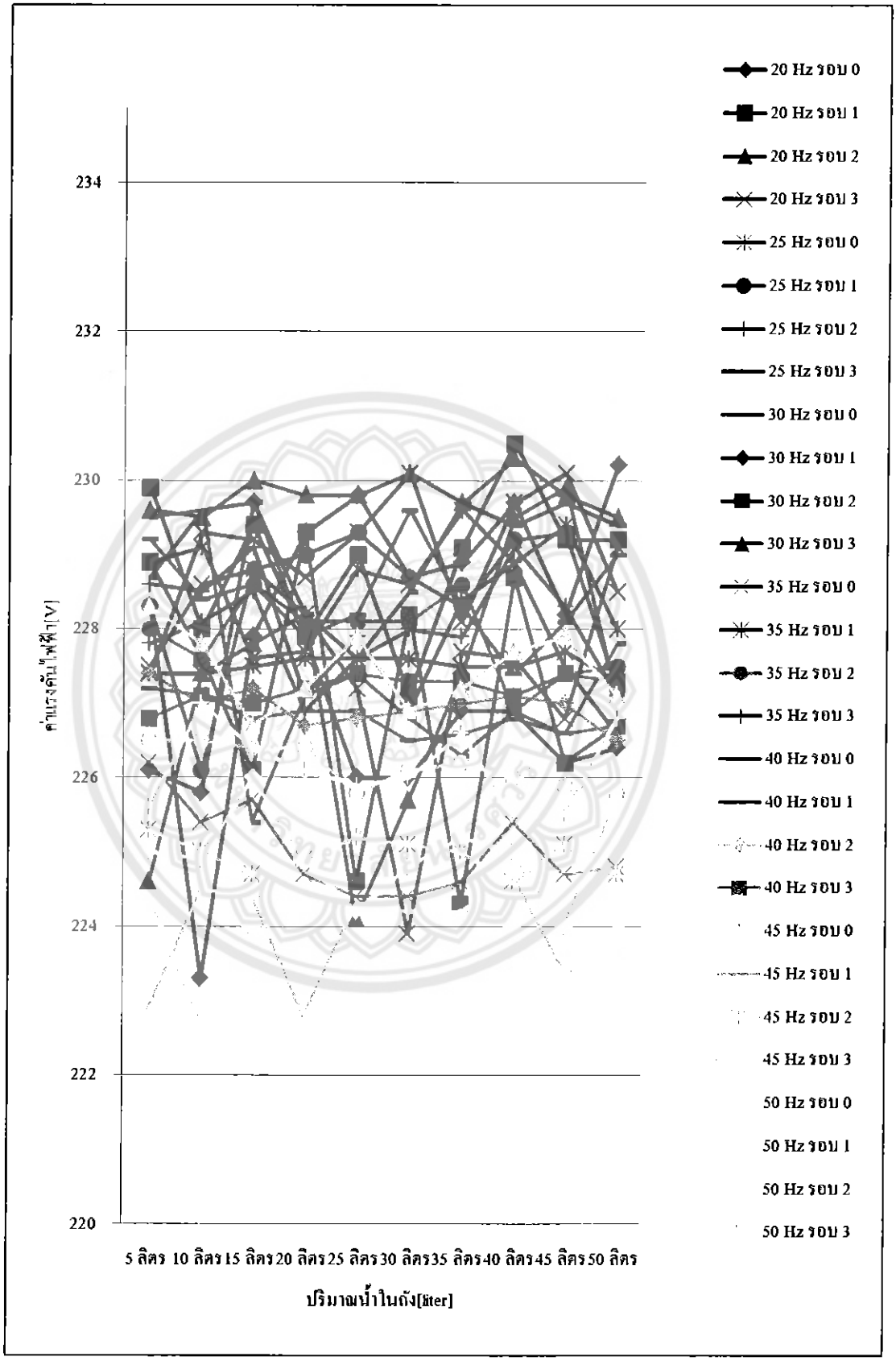
จากผลการทดลองที่ได้สามารถนำมาทำเป็นตารางผลการทดลองในการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำได้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งนำไป สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า (V), ค่ากระแสไฟฟ้า (I), ค่ากำลังไฟฟ้า (P) และค่าที่จับเวลา (t) ในการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ เพื่อใช้ในการสังเกตวิเคราะห์ได้ ดังรูปที่ 4.3, รูปที่ 4.4, รูปที่ 4.5, รูปที่ 4.6 ตามลำดับ

ความถี่, หรือครั้ง	5 ลิตร				10 ลิตร				15 ลิตร				20 ลิตร				25 ลิตร			
	V	I	P	t	V	I	P	t	V	I	P	t	V	I	P	t	V	I	P	t
20 Hz,รอบที่ 0	228.3	0.93	0.1	37	228.3	0.91	0.101	52	227.9	0.91	0.102	65	229.3	0.92	0.101	78	229.8	0.92	0.101	92
20 Hz,รอบที่ 1	229.9	0.9	0.097	38	228	0.9	0.099	55	229.4	0.86	0.1	69	227.9	0.91	0.1	82	229	0.91	0.1	94
20 Hz,รอบที่ 2	229.6	0.9	0.098	27	229.5	0.91	0.1	44	230	0.9	0.1	59	229.8	0.9	0.099	75	229.8	0.88	0.099	90
20 Hz,รอบที่ 3	227.4	0.87	0.096	31	229.3	0.86	0.094	69	229.2	0.84	0.094	101	228.7	0.86	0.094	137	229.3	0.88	0.094	171
25 Hz,รอบที่ 0	228.9	1.45	0.171	16	229.1	1.52	0.177	27	227.6	1.52	0.178	36	227.7	1.47	0.177	46	228.8	1.47	0.176	56
25 Hz,รอบที่ 1	228.3	1.54	0.179	11	226.1	1.52	0.178	21	228.8	1.5	0.178	31	229	1.53	0.178	41	229.3	1.49	0.178	51
25 Hz,รอบที่ 2	228.6	1.47	0.172	14	228.5	1.49	0.175	27	229.1	1.49	0.175	38	227.1	1.47	0.174	50	227.9	1.46	0.175	61
25 Hz,รอบที่ 3	228.7	1.38	0.162	31	229.6	1.4	0.165	60	229.7	1.39	0.165	84	228.2	1.43	0.166	108	227.6	1.41	0.166	131
30 Hz,รอบที่ 0	229.2	1.99	0.238	14	228.4	2.28	0.284	25	228.6	2.3	0.283	33	227.9	2.3	0.284	41	228.2	2.32	0.283	49
30 Hz,รอบที่ 1	226.1	2.07	0.256	13	225.8	2.28	0.276	22	229.7	2.3	0.276	30	227.9	2.25	0.277	38	226	2.25	0.277	47
30 Hz,รอบที่ 2	228.9	2.26	0.273	14	227.6	2.23	0.274	23	226.1	2.23	0.274	31	229.3	2.21	0.273	41	224.6	2.18	0.273	51
30 Hz,รอบที่ 3	224.6	1.96	0.225	46	227.4	2.03	0.256	70	227.8	2.12	0.26	87	228.2	2.12	0.261	105	224.1	2.11	0.261	122
35 Hz,รอบที่ 0	227.5	3.24	0.414	12	228.6	3.28	0.424	20	228.8	3.28	0.424	26	228.2	3.26	0.424	33	227.2	3.28	0.424	40
35 Hz,รอบที่ 1	227.4	3.27	0.414	10	227.4	3.25	0.414	17	227.5	3.31	0.414	24	227.6	3.28	0.415	31	227.6	3.23	0.412	39
35 Hz,รอบที่ 2	228	3.13	0.39	12	227.6	3.22	0.407	21	228.6	3.18	0.407	29	228.1	3.15	0.405	38	228.1	3.17	0.406	45
35 Hz,รอบที่ 3	227.8	2.98	0.382	20	226.1	3.04	0.386	37	228.5	3.03	0.387	52	226.9	3.02	0.386	66	227.6	3.01	0.386	82
40 Hz,รอบที่ 0	229.5	4.55	0.617	11	229.6	4.56	0.62	19	225.4	4.56	0.615	25	227.1	4.59	0.615	31	227.4	4.59	0.615	39
40 Hz,รอบที่ 1	227.2	4.04	0.535	11	227.1	4.43	0.592	18	226.8	4.47	0.583	25	226.9	4.45	0.592	30	226.9	4.46	0.592	36
40 Hz,รอบที่ 2	227.4	4.37	0.579	11	227	4.4	0.583	18	227.2	4.37	0.582	25	226.7	4.37	0.582	33	226.8	4.35	0.581	39
40 Hz,รอบที่ 3	226.8	4.2	0.549	13	227.1	4.17	0.549	29	227	4.21	0.55	43	227.2	4.15	0.549	58	227.4	4.12	0.548	72
45 Hz,รอบที่ 0	228.3	5.39	0.74	9	227.8	5.66	0.778	16	226.7	5.62	0.774	21	227.2	5.61	0.775	28	227.9	5.61	0.772	33
45 Hz,รอบที่ 1	226.2	4.96	0.667	11	225.4	5.34	0.727	18	225.7	5.35	0.726	25	224.7	5.33	0.723	31	224.4	5.33	0.722	37
45 Hz,รอบที่ 2	225.3	5.25	0.712	12	225	5.29	0.719	19	224.7	5.29	0.72	26	224.9	5.28	0.717	32	225.2	5.3	0.717	39
45 Hz,รอบที่ 3	226.5	5.08	0.691	16	226.5	5.14	0.691	32	226.4	5.14	0.69	46	226.4	5.11	0.689	61	225.8	5.11	0.691	74
50 Hz,รอบที่ 0	225.6	6.49	0.906	6	227	6.48	0.906	13	226.4	6.44	0.898	18	226.1	6.43	0.896	25	225.9	6.39	0.89	31
50 Hz,รอบที่ 1	222.9	6.07	0.834	10	224.5	6.12	0.842	17	224.4	6.11	0.84	24	222.8	6.1	0.839	30	224.3	6.1	0.837	37
50 Hz,รอบที่ 2	224.4	5.76	0.791	11	222.7	5.93	0.813	18	224	5.92	0.815	24	223.7	5.91	0.81	31	223.9	5.88	0.808	38
50 Hz,รอบที่ 3	225	5.7	0.782	17	224.9	5.7	0.782	34	226	5.68	0.78	49	224.9	5.65	0.782	65	224.2	5.63	0.777	80

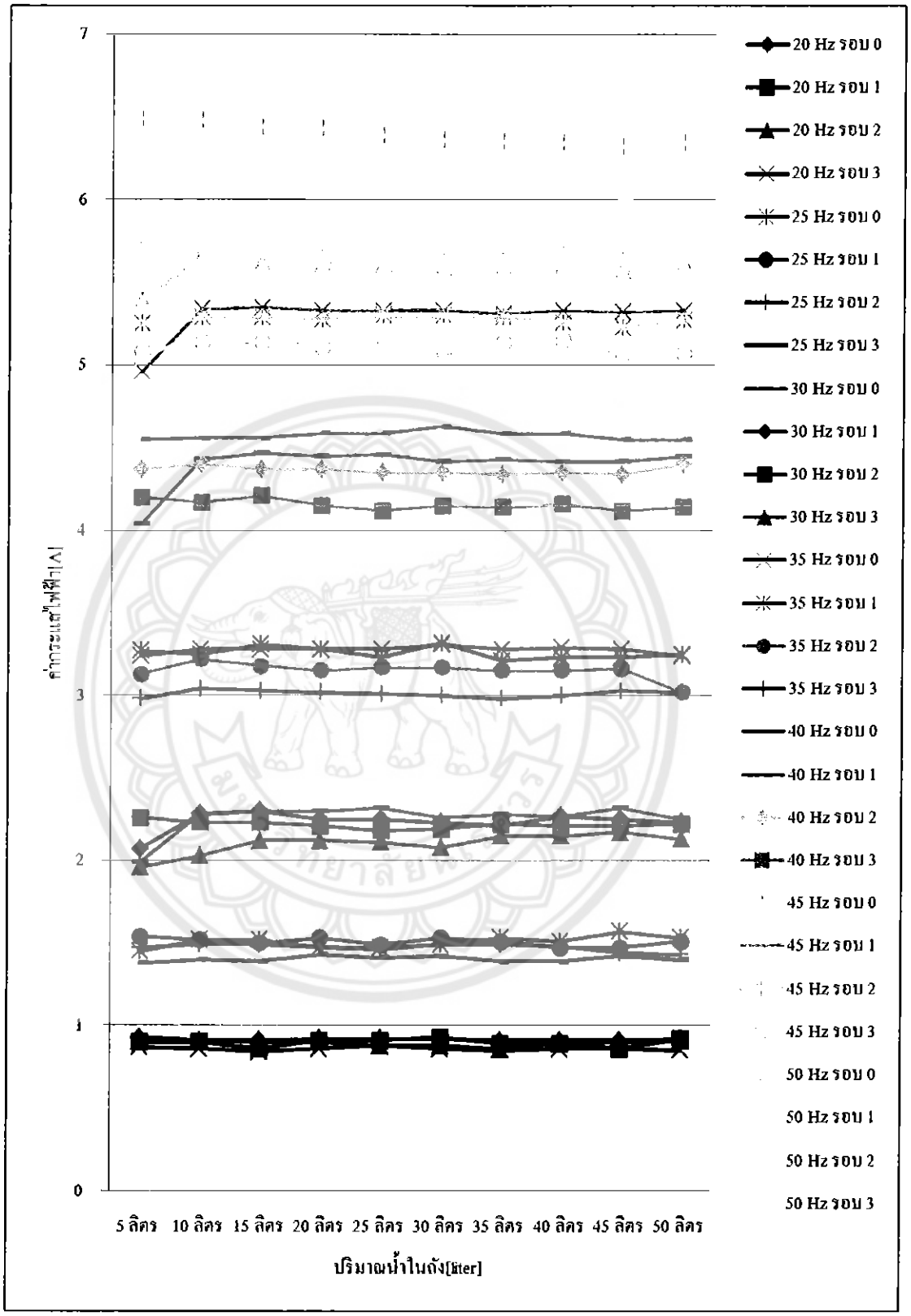
รูปที่ 4.1 ตารางผลการทดลองในการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ 5 ตัวอย่างของเครื่องปั๊มน้ำ (ต่อ)

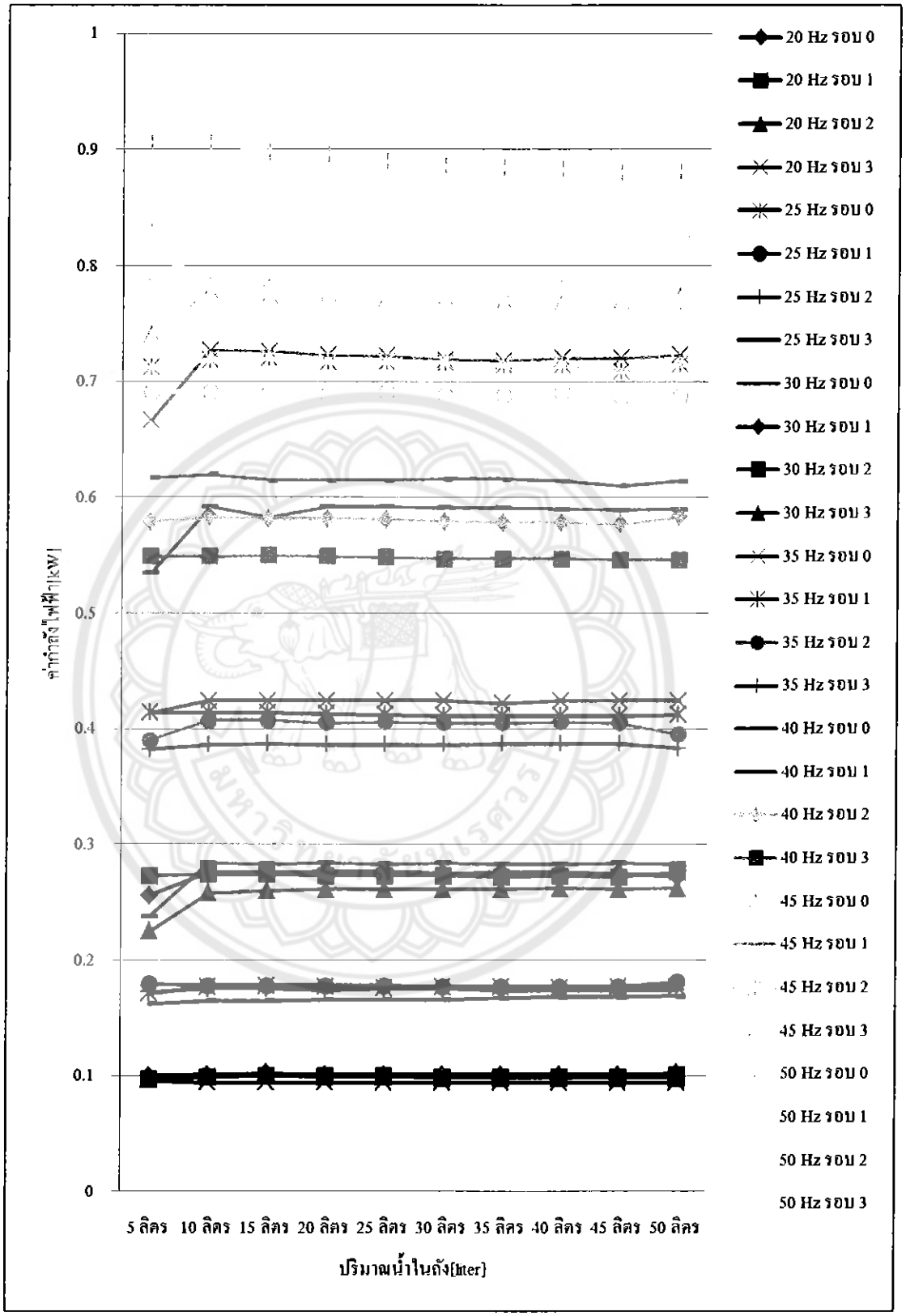
ความถี่, หรือรอบ	30 ลิตร				35 ลิตร				40 ลิตร				45 ลิตร				50 ลิตร			
	V	I	P	t	V	I	P	t	V	I	P	t	V	I	P	t	V	I	P	t
20 Hz,รอบที่ 0	228.7	0.92	0.101	106	228.9	0.91	0.101	119	229.7	0.91	0.101	133	228.2	0.91	0.101	146	230.2	0.92	0.102	157
20 Hz,รอบที่ 1	227.1	0.93	0.099	110	229.1	0.89	0.099	123	230.5	0.89	0.099	137	229.2	0.86	0.099	150	229.2	0.92	0.101	161
20 Hz,รอบที่ 2	230.1	0.88	0.098	106	229.7	0.86	0.098	121	230.3	0.89	0.098	137	229.8	0.9	0.098	150	229.5	0.91	0.098	163
20 Hz,รอบที่ 3	230.1	0.86	0.094	207	228.1	0.85	0.094	242	229.7	0.86	0.094	274	230.1	0.86	0.094	303	228.5	0.85	0.094	327
25 Hz,รอบที่ 0	228.6	1.49	0.177	68	229.6	1.53	0.177	78	228.9	1.51	0.176	87	229.4	1.57	0.177	96	228	1.53	0.177	104
25 Hz,รอบที่ 1	228.7	1.53	0.177	60	228.3	1.51	0.177	71	229.2	1.47	0.177	80	229.3	1.47	0.177	90	227.2	1.51	0.181	97
25 Hz,รอบที่ 2	226.9	1.49	0.175	72	228.4	1.49	0.174	82	228.9	1.48	0.174	93	227.5	1.44	0.174	104	226.6	1.43	0.174	112
25 Hz,รอบที่ 3	228.5	1.42	0.166	152	229.7	1.39	0.167	177	229.4	1.39	0.168	198	229.7	1.42	0.168	218	229.4	1.4	0.169	235
30 Hz,รอบที่ 0	229.6	2.26	0.284	57	228.3	2.28	0.283	65	227.4	2.27	0.283	72	228.1	2.32	0.284	80	229	2.25	0.283	86
30 Hz,รอบที่ 1	226	2.23	0.275	55	226.9	2.21	0.276	63	226.9	2.27	0.276	72	226.2	2.25	0.275	80	226.4	2.23	0.272	88
30 Hz,รอบที่ 2	228.2	2.19	0.273	60	224.3	2.22	0.272	69	228.7	2.21	0.273	77	226.2	2.21	0.272	86	226.7	2.22	0.276	92
30 Hz,รอบที่ 3	225.7	2.08	0.261	141	227.4	2.15	0.261	157	229.5	2.15	0.262	173	229.9	2.17	0.261	188	227.1	2.13	0.262	202
35 Hz,รอบที่ 0	223.9	3.31	0.424	47	227.7	3.28	0.422	54	227.6	3.29	0.424	60	226.8	3.28	0.424	67	229.1	3.24	0.424	72
35 Hz,รอบที่ 1	227.6	3.32	0.411	45	227.5	3.21	0.411	53	227.5	3.23	0.411	59	227.7	3.23	0.411	66	227.3	3.25	0.412	72
35 Hz,รอบที่ 2	228.1	3.17	0.405	53	228.6	3.15	0.405	61	226.9	3.15	0.406	68	227.4	3.16	0.405	75	227.5	3.02	0.395	82
35 Hz,รอบที่ 3	228	3	0.386	98	227.9	2.98	0.387	112	229.1	3	0.387	125	228.3	3.05	0.387	140	227.1	3.02	0.383	151
40 Hz,รอบที่ 0	226.8	4.63	0.616	46	226.3	4.59	0.616	51	226.9	4.59	0.614	58	226.6	4.55	0.61	64	227.8	4.55	0.614	70
40 Hz,รอบที่ 1	226.5	4.42	0.591	41	226.6	4.43	0.591	48	226.8	4.42	0.59	53	226.6	4.42	0.589	59	226.7	4.45	0.59	63
40 Hz,รอบที่ 2	226.9	4.35	0.579	47	227	4.34	0.578	53	227.1	4.35	0.578	60	227	4.34	0.577	66	226.5	4.4	0.583	71
40 Hz,รอบที่ 3	227.3	4.15	0.547	87	227.3	4.14	0.547	100	227.1	4.16	0.547	115	227.4	4.12	0.546	128	227.3	4.14	0.546	137
45 Hz,รอบที่ 0	226.9	5.59	0.772	39	227.2	5.59	0.769	45	227.7	5.6	0.769	51	227.9	5.57	0.769	58	227.1	5.61	0.773	63
45 Hz,รอบที่ 1	224.4	5.33	0.719	43	224.6	5.31	0.718	49	225.4	5.33	0.72	55	224.7	5.32	0.72	61	224.8	5.33	0.723	68
45 Hz,รอบที่ 2	225.1	5.3	0.716	46	225	5.29	0.714	53	224.6	5.26	0.714	59	225.1	5.23	0.709	64	224.7	5.27	0.715	70
45 Hz,รอบที่ 3	226.1	5.09	0.688	88	226.2	5.14	0.688	103	226	5.15	0.691	115	225.9	5.07	0.686	128	225.8	5.07	0.687	139
50 Hz,รอบที่ 0	226	6.36	0.886	37	226.6	6.35	0.884	44	225.5	6.34	0.883	50	225.5	6.32	0.88	56	226.8	6.34	0.881	61
50 Hz,รอบที่ 1	224.2	6.07	0.834	43	224.2	6.05	0.832	50	224.7	6.04	0.829	56	223.4	6.01	0.828	61	224	6.05	0.825	67
50 Hz,รอบที่ 2	223.1	5.87	0.806	44	223.4	5.86	0.806	51	224	5.86	0.803	57	223.2	5.86	0.804	63	225.1	5.87	0.806	68
50 Hz,รอบที่ 3	224.8	5.62	0.775	95	225.2	5.63	0.777	110	225	5.66	0.78	125	224	5.63	0.776	139	225.7	5.65	0.77	150



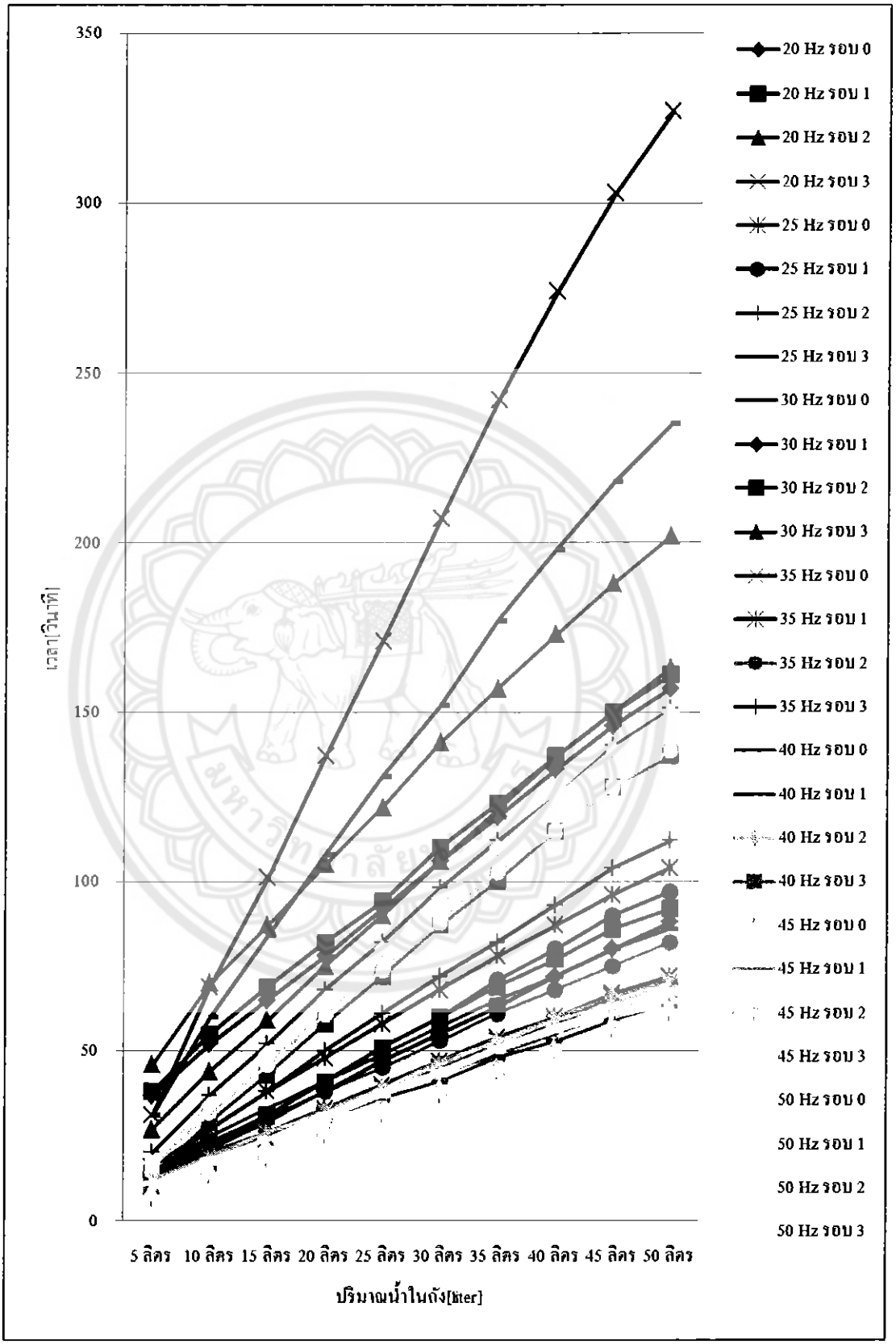
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าในการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบเวลาในการสูบน้ำทุกๆ 5 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ

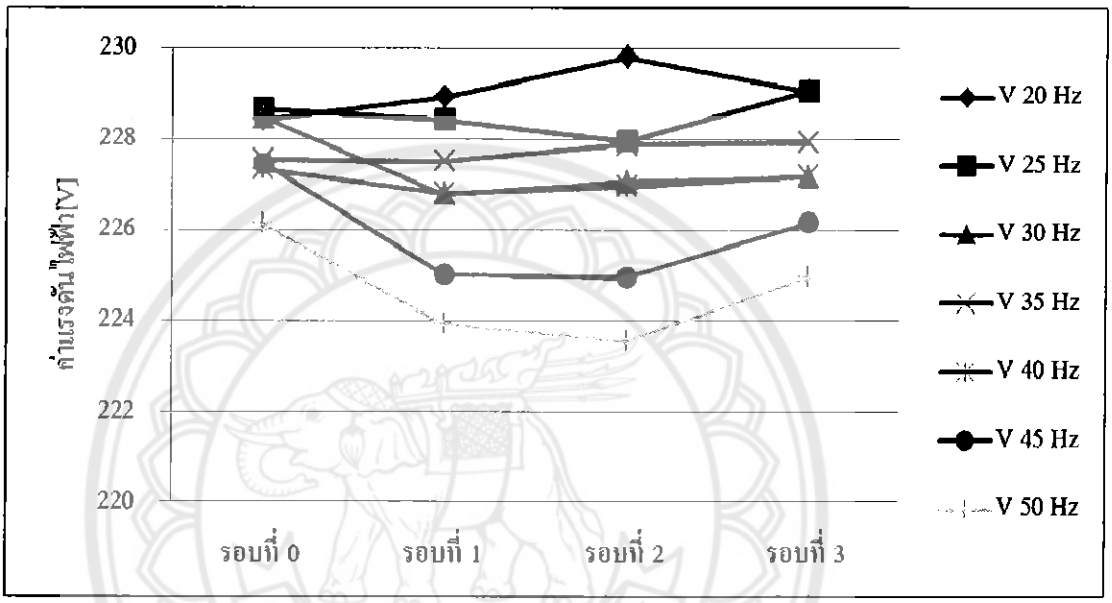
4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อนำผลการทดลองที่ได้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบมาเฉลี่ยเพื่อนำวิเคราะห์และเปรียบเทียบ สามารถนำมาทำเป็นตารางเพื่อวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.32

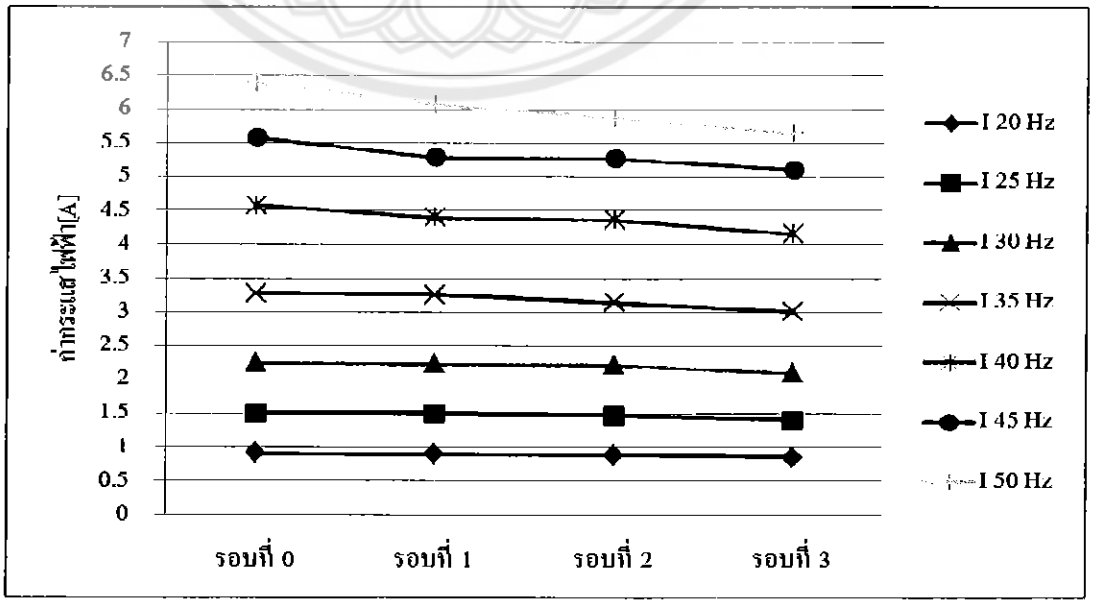
ตารางที่ 4.32 ผลการทดลองเฉลี่ยในการสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ

ความถี่,หรี่วาล์ว	V(v)เฉลี่ย	I(A)เฉลี่ย	Pเฉลี่ย(kW)	PFเฉลี่ย	t(วินาที)	WHr
20 Hz ,รอบที่ 0	228.43	0.916	0.1011	-0.4806	157	4.0381
20 Hz ,รอบที่ 1	228.93	0.897	0.0993	-0.484	161	3.9984
20 Hz ,รอบที่ 2	229.81	0.893	0.0986	-0.4805	163	4.7307
20 Hz ,รอบที่ 3	229.04	0.859	0.0942	-0.4782	327	9.1563
25 Hz ,รอบที่ 0	228.66	1.506	0.1763	-0.5138	104	4.8534
25 Hz ,รอบที่ 1	228.42	1.507	0.178	-0.5147	97	4.6178
25 Hz ,รอบที่ 2	227.95	1.471	0.1742	-0.5189	112	5.6998
25 Hz ,รอบที่ 3	229.05	1.403	0.1662	-0.5172	235	9.8966
30 Hz ,รอบที่ 0	228.47	2.257	0.2789	-0.5424	86	6.3776
30 Hz ,รอบที่ 1	226.79	2.234	0.2736	-0.5404	88	6.333
30 Hz ,รอบที่ 2	227.06	2.216	0.2733	-0.5414	92	7.2277
30 Hz ,รอบที่ 3	227.17	2.102	0.2572	-0.5381	202	12.6314
35 Hz ,รอบที่ 0	227.54	3.276	0.4228	-0.5649	72	8.1642
35 Hz ,รอบที่ 1	227.51	3.258	0.4123	-0.559	72	7.9664
35 Hz ,รอบที่ 2	227.89	3.15	0.4031	-0.5617	82	8.8523
35 Hz ,รอบที่ 3	227.93	3.011	0.3857	-0.5635	151	16.9564
40 Hz ,รอบที่ 0	227.34	4.576	0.6152	-0.5892	70	10.1632
40 Hz ,รอบที่ 1	226.81	4.399	0.5845	-0.5821	63	9.8403
40 Hz ,รอบที่ 2	226.96	4.364	0.5802	-0.5857	71	10.8999
40 Hz ,รอบที่ 3	227.19	4.156	0.5478	-0.5805	137	21.4779
45 Hz ,รอบที่ 0	227.47	5.585	0.7691	-0.6054	63	12.4085
45 Hz ,รอบที่ 1	225.03	5.293	0.7165	-0.6017	68	12.086
45 Hz ,รอบที่ 2	224.96	5.276	0.7153	-0.6027	70	13.9903
45 Hz ,รอบที่ 3	226.16	5.11	0.6892	-0.5962	139	27.864
50 Hz ,รอบที่ 0	226.14	6.394	0.891	-0.616	61	14.9478
50 Hz ,รอบที่ 1	223.94	6.072	0.834	-0.6135	67	14.1773
50 Hz ,รอบที่ 2	223.55	5.874	0.8062	-0.6141	68	16.0729
50 Hz ,รอบที่ 3	224.97	5.655	0.7781	-0.6121	150	31.675

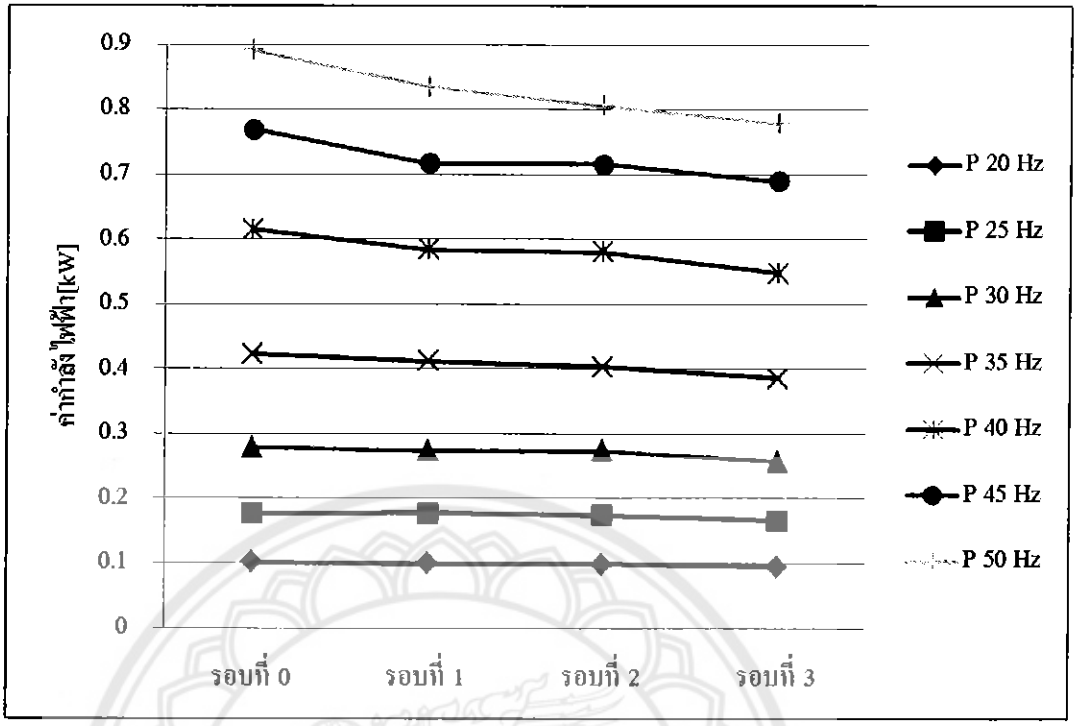
จากตารางที่ 3.2 สามารนำมาสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า (V), ค่ากระแสไฟฟ้า (I), ค่ากำลังไฟฟ้า (P), ค่าที่จับเวลา (t), ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า (PF) และค่า WHr ในแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ เพื่อใช้ในการสังเกตวิเคราะห์ได้ ดังรูปที่ 4.7, รูปที่ 4.8, รูปที่ 4.9, รูปที่ 4.10 ,รูปที่ 4.11, รูปที่ 4.12 ตามลำดับ



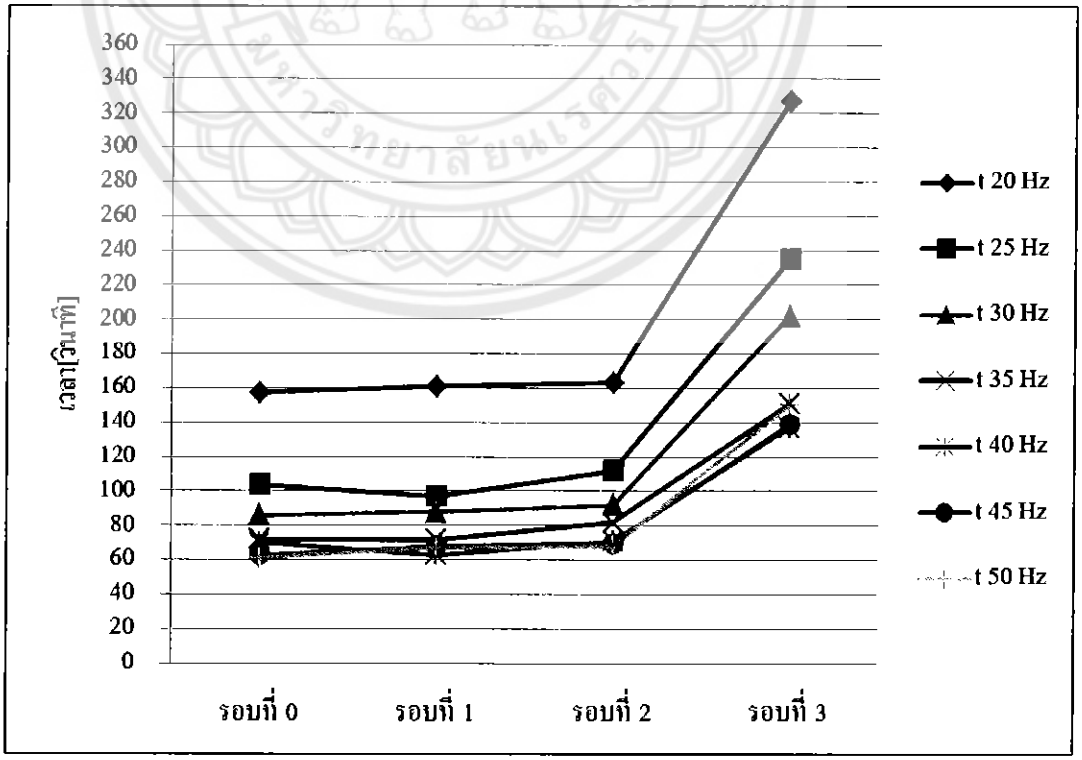
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ



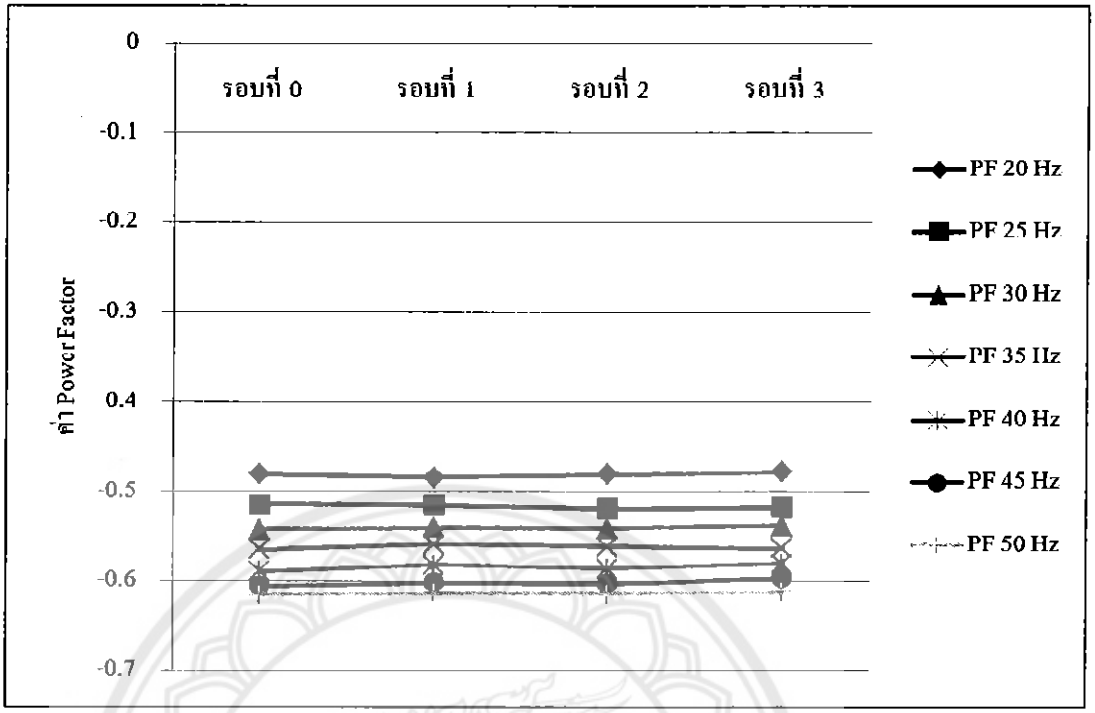
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ



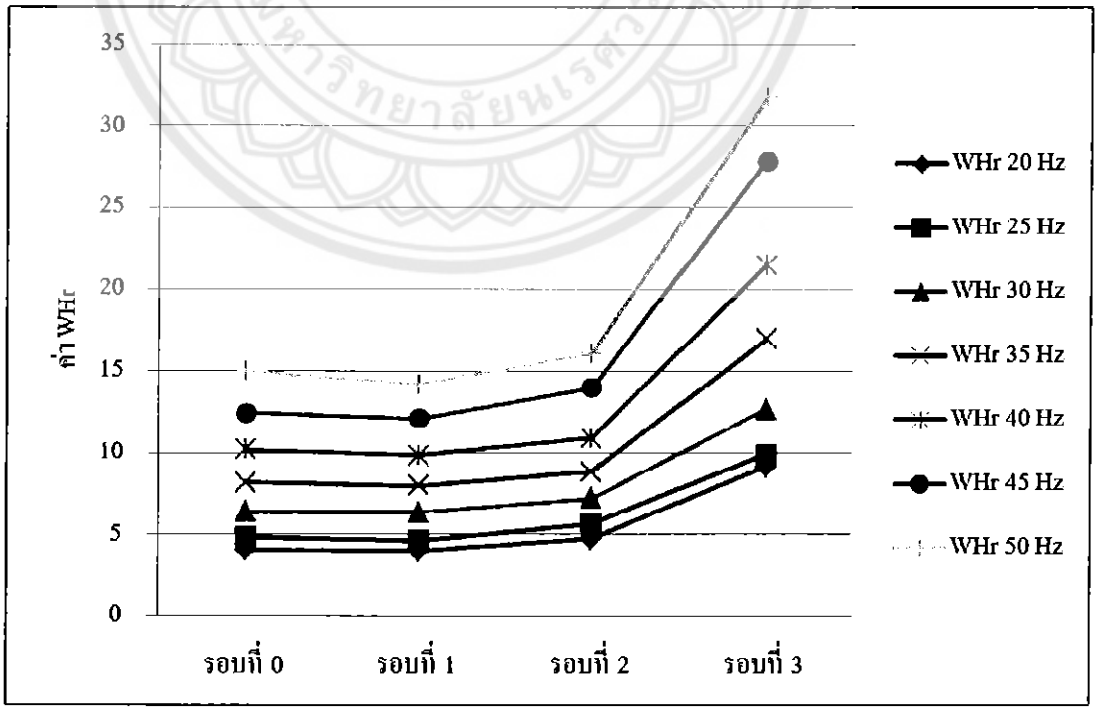
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบค่า WHr ที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรแต่ละการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำ

4.2.1 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบ (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

จากการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันสามารถแบ่งย่อยออกมาได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

ค่าอัตราเร็วในการสูบน้ำที่วัดได้จากการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบมีค่าค่อนข้างช้ากว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติ ค่าแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกัน กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในการทดลองแบบหรี่วาล์วด้านสูบ 1 รอบมีค่าลดลงน้อยกว่าการเดินเครื่องปกติ การหรี่วาล์วด้านสูบ 1 รอบทำให้ค่าประกอบกำลังต่ำกว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติเล็กน้อยเป็นแบบ leading ทั้งคู่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยมีค่าลดลงกว่าแบบการเดินเครื่องปกติไม่หรี่วาล์ว แต่ค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรของการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบลดลงกว่าการเดินเครื่องปกติเล็กน้อย

2) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

ค่าอัตราเร็วในการสูบน้ำที่วัดได้จากการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบมีค่าค่อนข้างช้ากว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติ ค่าแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกัน กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในการทดลองแบบหรี่วาล์วด้านสูบ 2 รอบมีค่าลดลงน้อยกว่าการเดินเครื่องปกติ การหรี่วาล์วด้านสูบ 2 รอบทำให้ค่าประกอบกำลังต่ำกว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติเล็กน้อยเป็นแบบ leading ทั้งคู่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยมีค่าลดลงกว่าแบบการเดินเครื่องปกติไม่หรี่วาล์ว แต่ค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรของการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 2 รอบเพิ่มขึ้นกว่าการเดินเครื่องปกติ

3) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

ค่าอัตราเร็วในการสูบน้ำที่วัดได้จากการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบมีค่าค่อนข้างช้ากว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติ ค่าแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกัน กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในการทดลองแบบหรี่วาล์วด้านสูบ 3 รอบมีค่าลดลงน้อยกว่าการเดินเครื่องปกติ การหรี่วาล์วด้านสูบ 1 รอบทำให้ค่าประกอบกำลังต่ำกว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติเล็กน้อยเป็นแบบ

leading ทั้งคู่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยมีค่าลดลงกว่าแบบการเดินเครื่องปกติไม่หรี่วาล์ว แต่ค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรของการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบเพิ่มขึ้นกว่าการเดินเครื่องปกติมาก

4.2.2 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

จากการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่าย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันสามารถแบ่งย่อยออกมาได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

ค่าอัตราเร็วในการสูบน้ำที่วัดได้จากการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบช้ากว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติไม่มาก ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในการทดลองแบบหรี่วาล์วจ่าย 1 รอบมีค่าต่ำกว่าจากการเดินเครื่องปกติเล็กน้อย กระแสไฟฟ้าจากการหรี่วาล์วทางจ่าย 1 รอบต่ำกว่าการเดินเครื่องปกติ การหรี่วาล์วทางจ่าย 1 รอบให้ค่าประกอบกำลังใกล้เคียงการเดินเครื่องปกติเป็นแบบ leading ทั้งคู่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยมีค่าลดลงต่ำกว่าการเดินเครื่องปกติไม่หรี่วาล์ว แต่ค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรของการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบลดลงกว่าการเดินเครื่องปกติเล็กน้อย

2) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

ค่าอัตราเร็วในการสูบน้ำที่วัดได้จากการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบช้ากว่าการเดินเครื่องปกติปั๊มน้ำ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในการทดลองแบบหรี่วาล์ว 2 รอบมีค่าต่ำกว่าจากการเดินเครื่องปกติเล็กน้อย กระแสไฟฟ้าจากการหรี่วาล์วทางจ่าย 2 รอบต่ำกว่าการเดินเครื่องปกติ การหรี่วาล์วทางจ่าย 2 รอบให้ค่าประกอบกำลังใกล้เคียงการเดินเครื่องปกติเป็นแบบ leading ทั้งคู่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยมีค่าลดลงต่ำกว่าการเดินเครื่องปกติไม่หรี่วาล์ว แต่ค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรของการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบเพิ่มขึ้นกว่าการเดินเครื่องปกติเล็กน้อย

3) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

ค่าอัตราเร็วในการสูบน้ำที่วัดได้จากการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบช้ากว่าการเดินเครื่องปกติ ปั๊มน้ำ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในการทดลองแบบหรี่วาล์ว 3 รอบมีค่าต่ำกว่าจากการเดินเครื่องปกติเล็กน้อย กระแสไฟฟ้าจากการหรี่วาล์วทางจ่าย 3 รอบต่ำกว่าการเดินเครื่องปกติ การหรี่วาล์วทางจ่าย 3 รอบให้ค่าประกอบกำลังใกล้เคียงการเดินเครื่องปกติเป็นแบบ leading ทั้งคู่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยมีค่าลดลงต่ำกว่าการเดินเครื่องปกติไม่หรี่วาล์ว แต่ค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรของการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 3 รอบเพิ่มขึ้นกว่าการเดินเครื่องปกติ

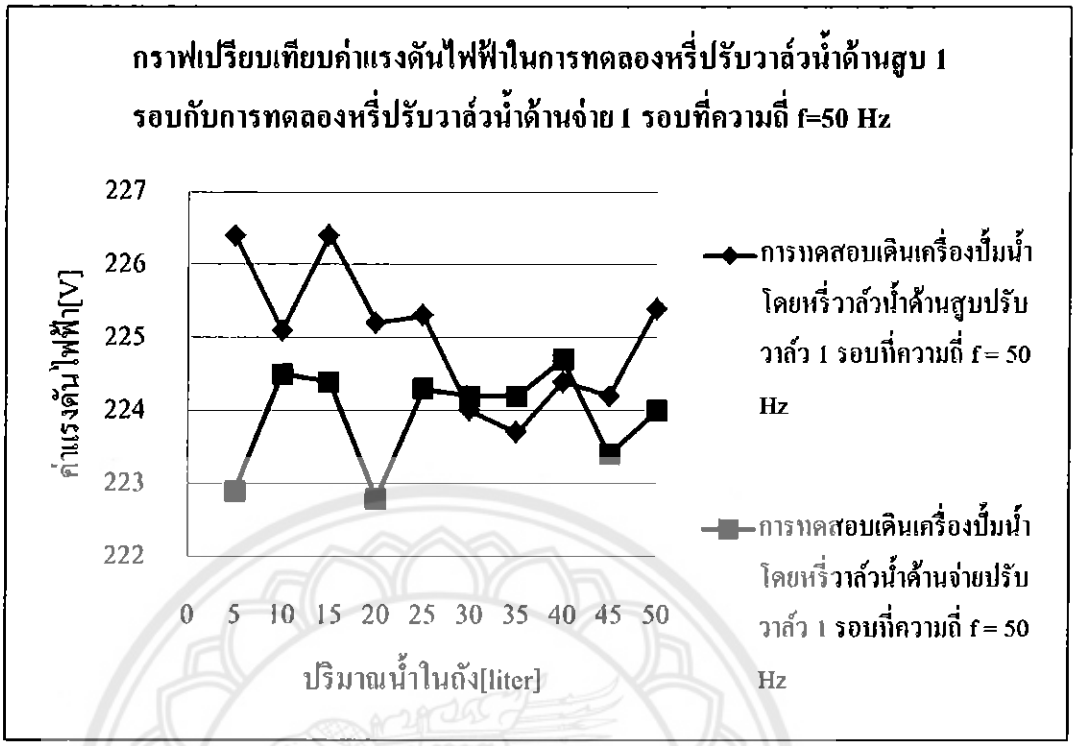
4.2.3 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

จากการทดลองการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่าย เมื่อนำมาเปรียบเทียบในการหรี่วาล์วที่จำนวนรอบเท่ากันของการปรับหรี่วาล์วด้านสูบกับด้านจ่าย สามารถแบ่งย่อยออกมาได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

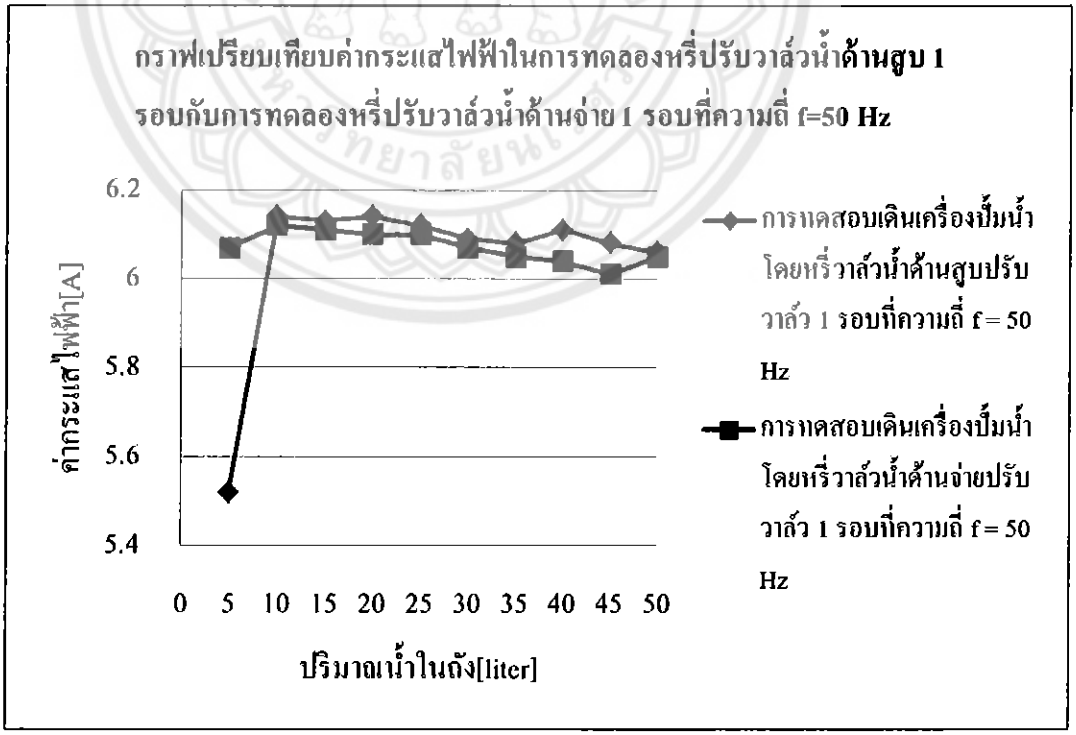
1) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบ

ให้อัตราเร็วในการสูบน้ำของการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านปรับวาล์วสูบ 1 รอบใช้เวลามากกว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบเล็กน้อย ค่าแรงดันที่วัดได้จากการหรี่วาล์วด้านสูบ 1 รอบสูงกว่าการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบเล็กน้อย กระแสไฟฟ้าที่วัดจากการหรี่วาล์วด้านสูบ 1 รอบใกล้เคียงการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ ค่าประกอบกำลังจากจากการหรี่วาล์วด้านสูบ 1 รอบต่ำกว่าการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบเล็กน้อยเป็นแบบ leading ทั้งคู่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากการหรี่วาล์วด้านสูบ 1 รอบใกล้เคียงการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบมาก ค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรของการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบใกล้เคียงการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบ

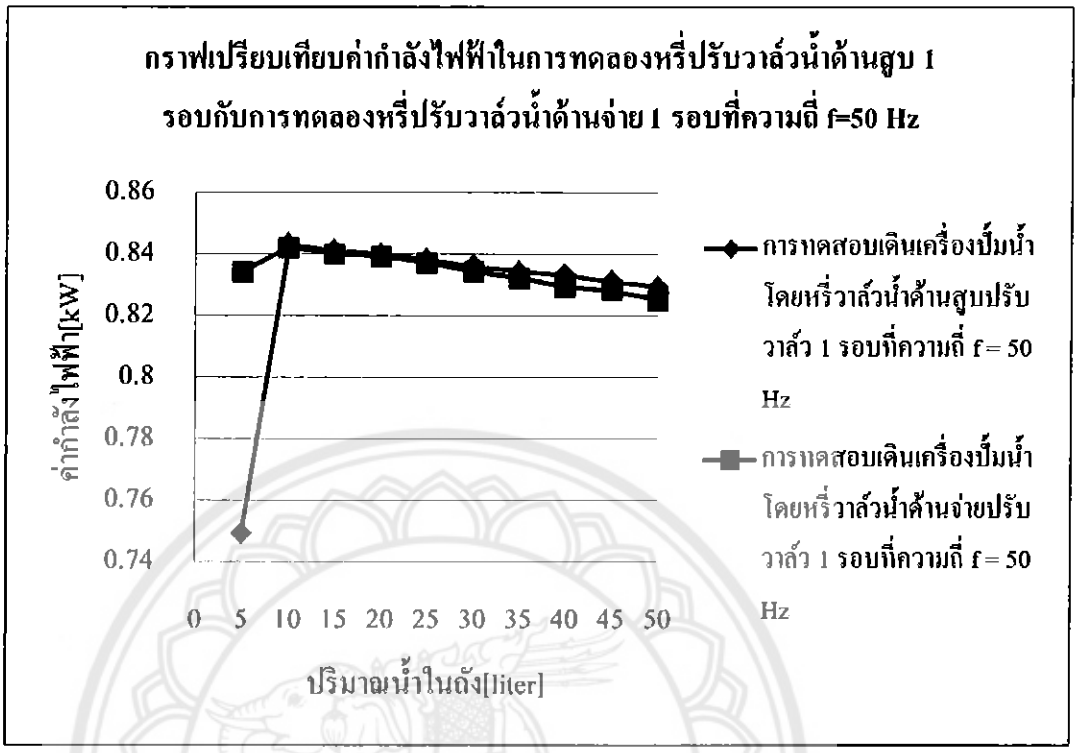
จากผลการทดลองสามารถนำค่าที่วัดได้ไปเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า (V), ค่ากระแสไฟฟ้า (I), ค่ากำลังไฟฟ้า (P) และค่าที่จับเวลา (t) ของการทดลองระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 1 รอบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 1 รอบ ได้ดังรูปที่ 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 ตามลำดับ



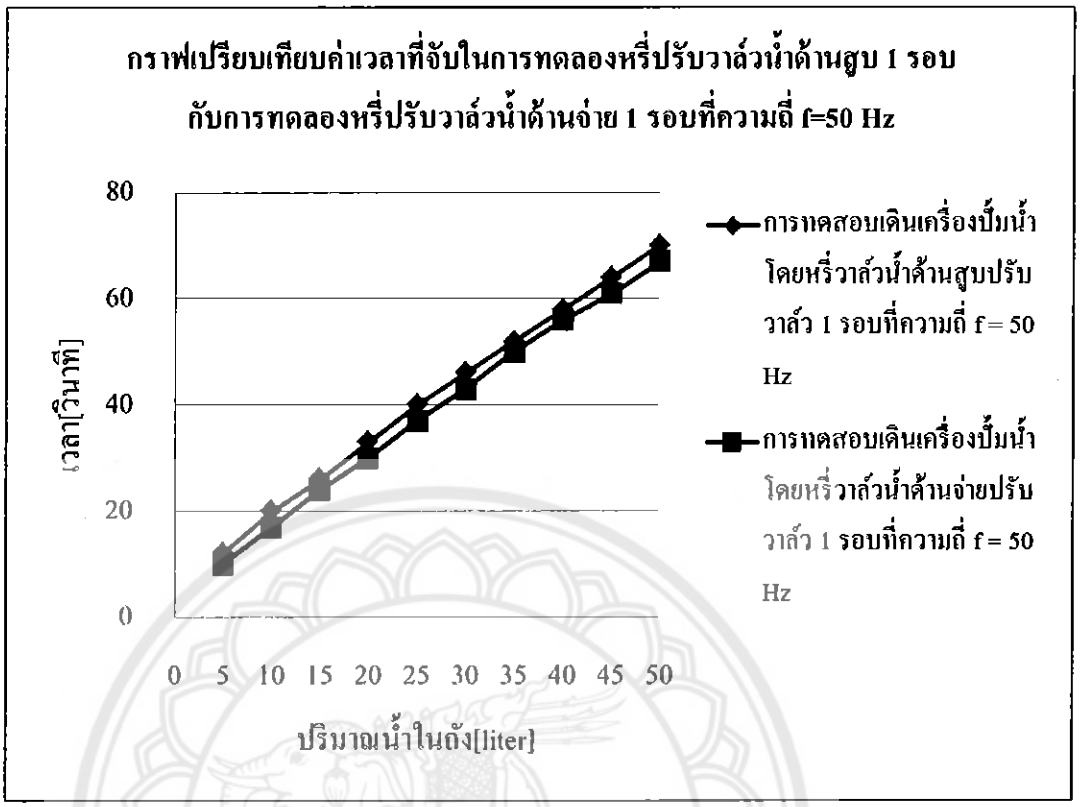
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 1 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 1 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 1 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz



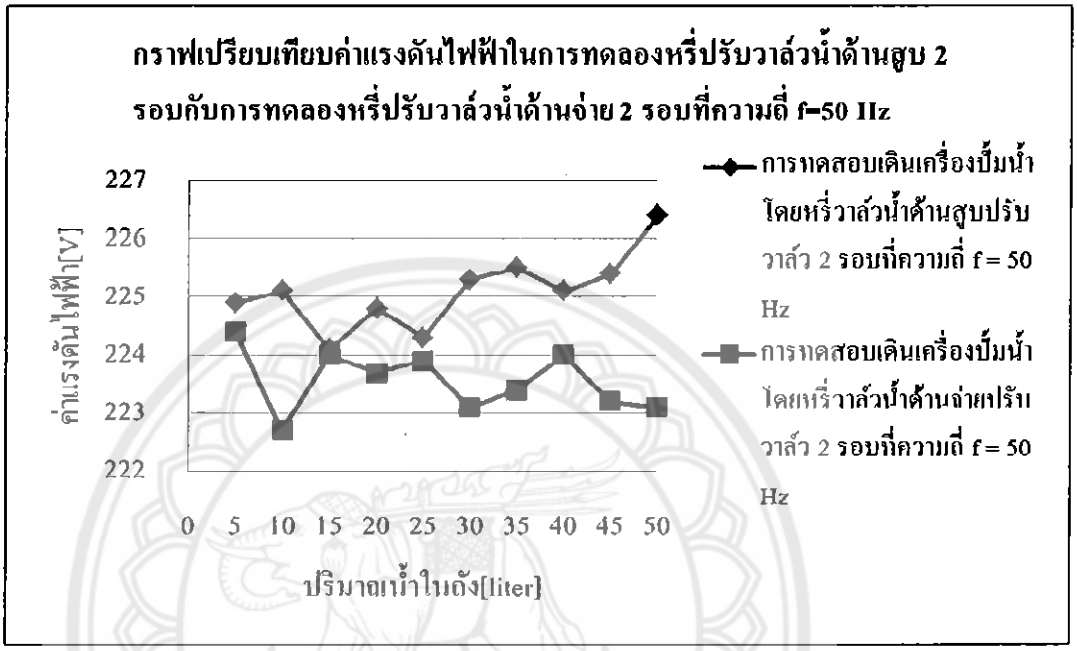
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบค่าเวลาที่จับในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 1 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 1 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

2) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 2 รอบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบ

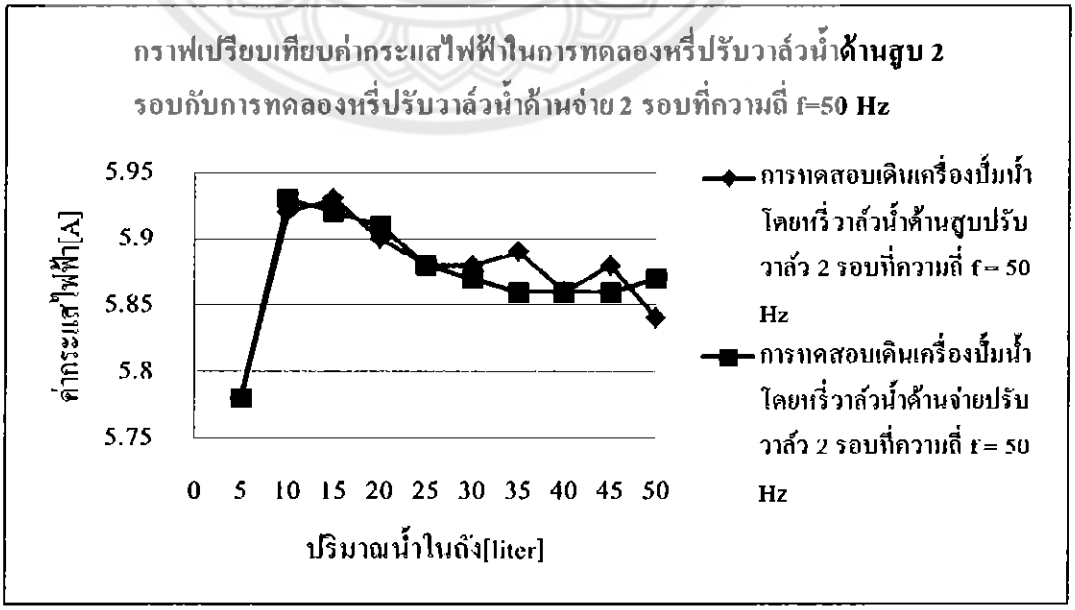
ให้อัตราเร็วในการสูบน้ำของการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านปรับวาล์วสูบ 2 รอบใช้เวลามากกว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบเล็กน้อย ค่าแรงดันที่วัดได้จากการหรี่วาล์วด้านสูบ 2 รอบสูงกว่าการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบเล็กน้อย กระแสไฟฟ้าที่วัดจากการหรี่วาล์วด้านสูบ 2 รอบใกล้เคียงการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบ ค่าประกอบกำลังจากจากการหรี่วาล์วด้านสูบ 2 รอบต่ำกว่าการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบเล็กน้อยเป็นแบบ leading ทั้งคู่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากการหรี่วาล์วด้านสูบ 2 รอบใกล้เคียงการหรี่วาล์วด้านจ่าย 2 รอบมากค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรของการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 2 รอบสูงกว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบเล็กน้อย

จากผลการทดลองสามารถนำค่าที่วัดได้ไปเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า (V), ค่ากระแสไฟฟ้า (I), ค่ากำลังไฟฟ้า (P) และค่าที่จับเวลา (t) ของการทดลองระหว่างการทดสอบ

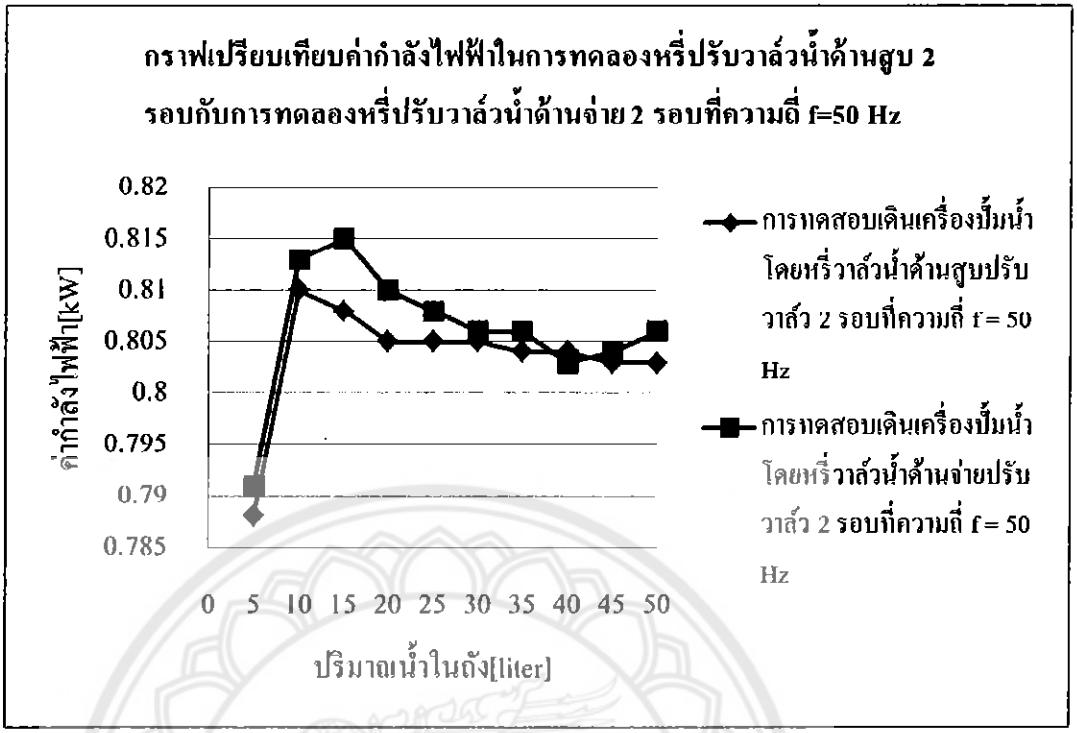
เดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 2 รอบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 2 รอบ ได้ดังรูปที่ 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 ตามลำดับ



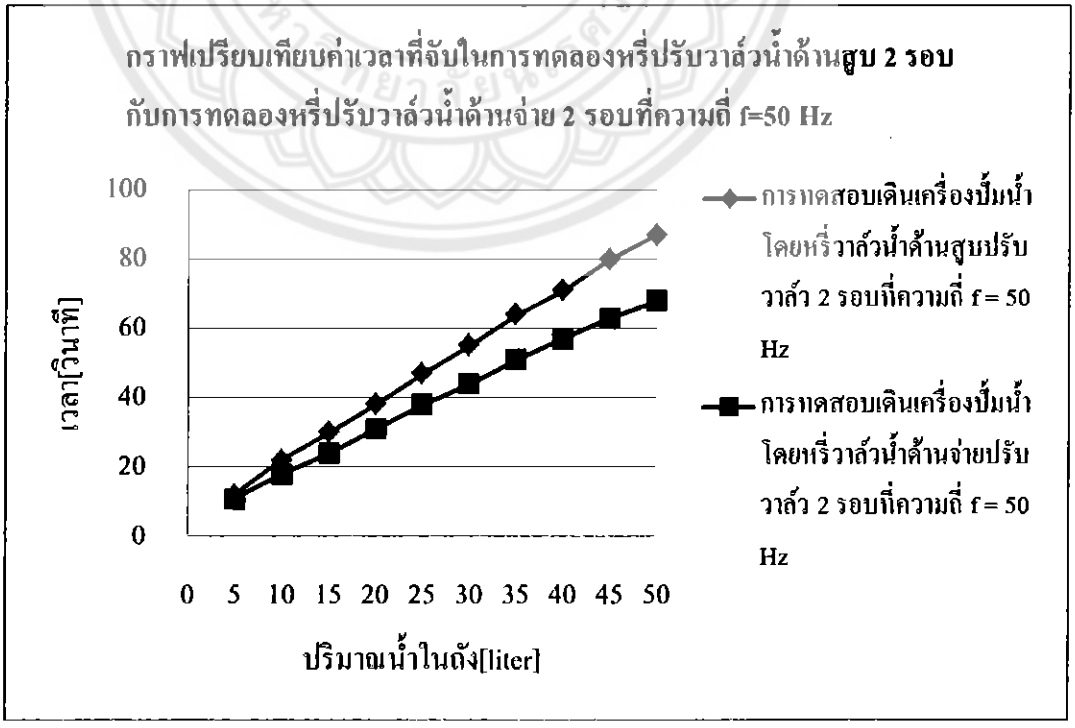
รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 2 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 2 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz



รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 2 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

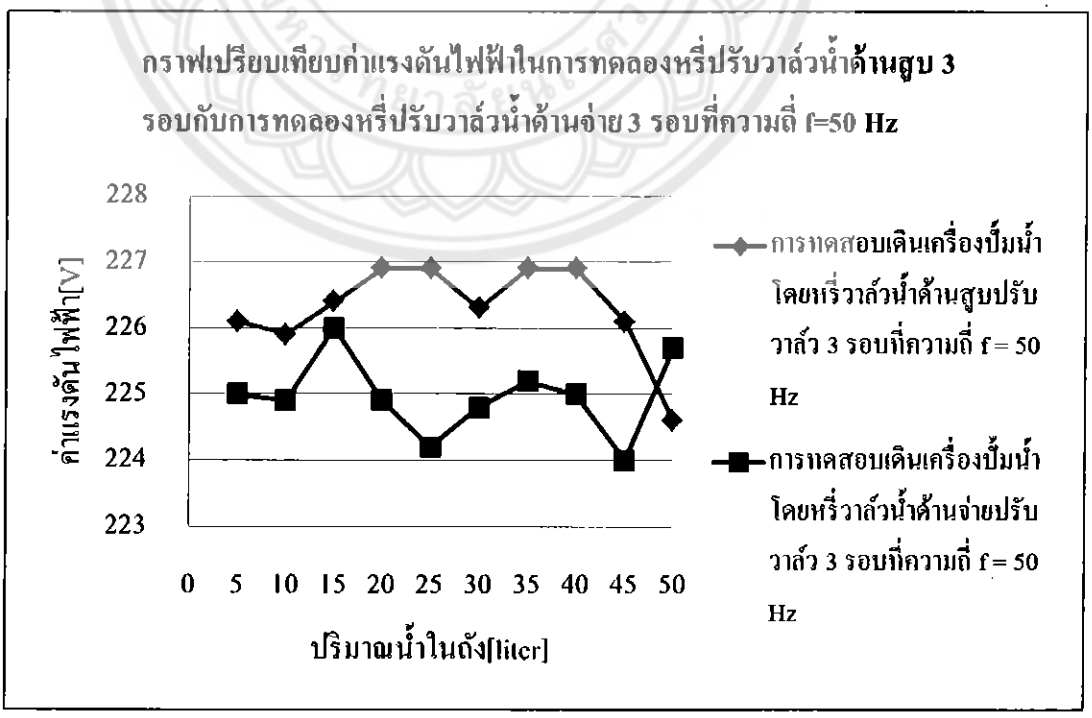


รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบค่าเวลาที่จับในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 2 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 2 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz

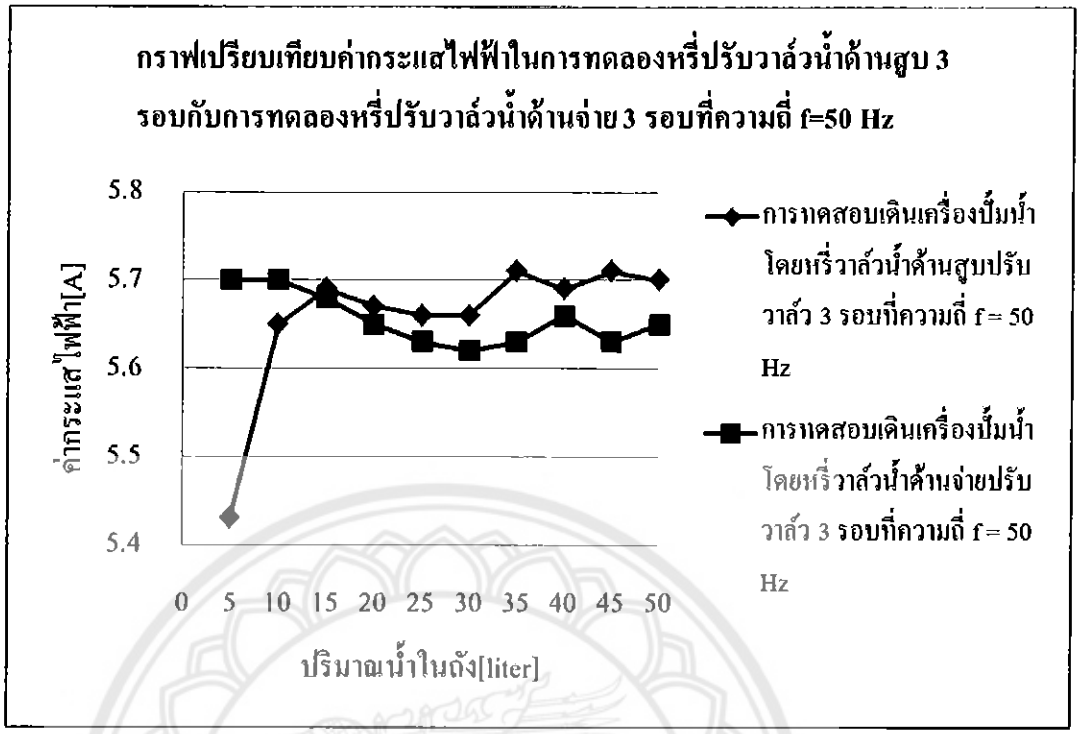
3) การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 3 รอบ

ให้อัตราเร็วในการสูบน้ำของการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านปรับวาล์วสูบ 3 รอบใช้เวลามากกว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 3 รอบเล็กน้อย ค่าแรงดันที่วัดได้จากการหรี่วาล์วด้านสูบ 3 รอบสูงกว่าการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบเล็กน้อย กระแสไฟฟ้าที่วัดจากการหรี่วาล์วด้านสูบ 3 รอบใกล้เคียงการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบ ค่าประกอบกำลังจากจากการหรี่วาล์วด้านสูบ 3 รอบต่ำกว่าการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบเล็กน้อยเป็นแบบ leading ทั้งคู่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากการหรี่วาล์วด้านสูบ 3 รอบใกล้เคียงการหรี่วาล์วด้านจ่าย 3 รอบมาก ค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรของการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบสูงกว่าการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 3 รอบมาก

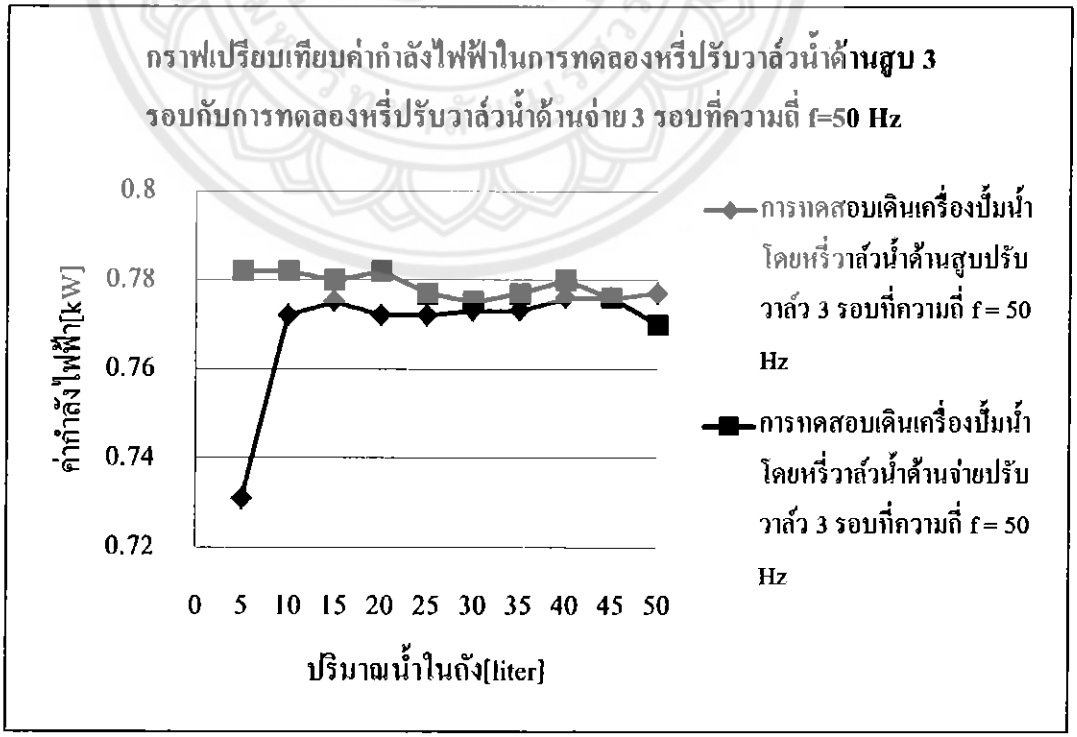
จากผลการทดลองสามารถนำค่าที่วัดได้ไปเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า (V), ค่ากระแสไฟฟ้า (I), ค่ากำลังไฟฟ้า (P) และค่าที่จับเวลา (t) ของการทดลองระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านสูบปรับวาล์ว 3 รอบกับการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายปรับวาล์ว 3 รอบ ได้ดังรูปที่ 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 ตามลำดับ



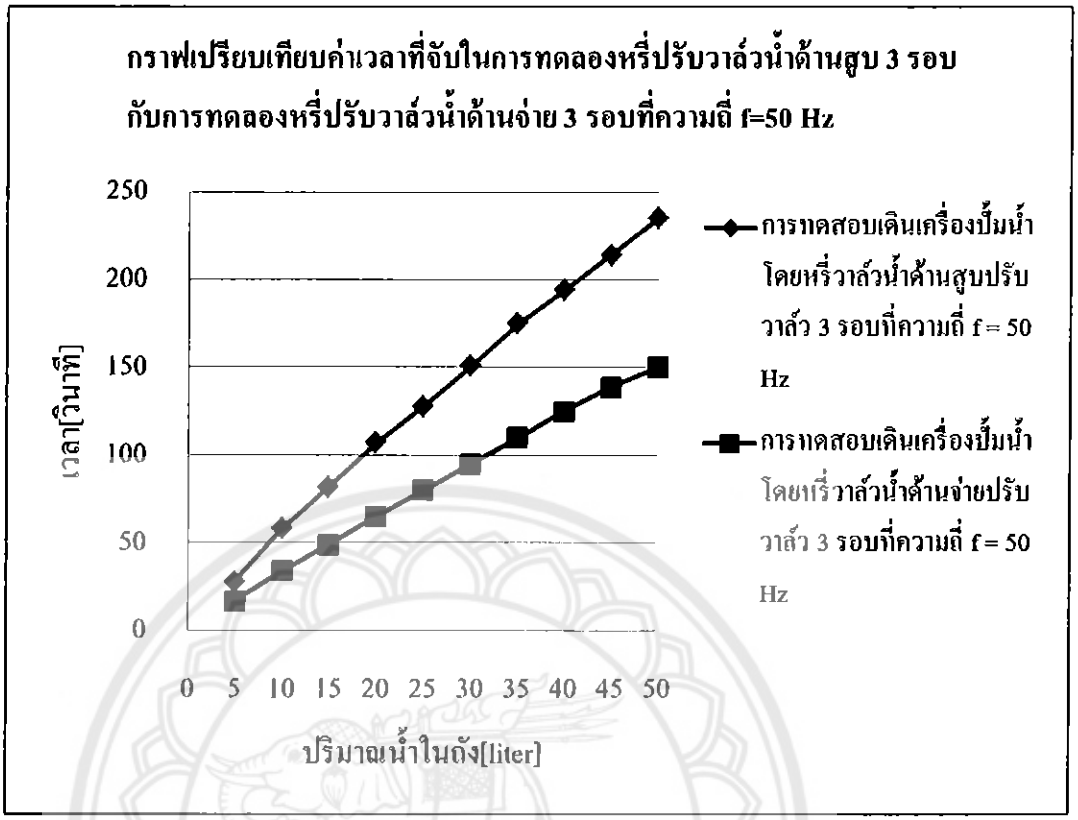
รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 3 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz



รูปที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 3 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz



รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 3 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 3 รอบที่ความถี่ f = 50 Hz



รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบค่าเวลาที่จับในการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านสูบ 3 รอบกับการทดลองหรี่ปรับวาล์วน้ำด้านจ่าย 3 รอบที่ความถี่ f= 50 Hz

4.2.4 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่โดยไม่หรี่วาล์ว (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz)

ในการเดินเครื่องปกติที่ f = 50 Hz เมื่อทำการปรับลดความถี่ลงโดยใช้อินเวอร์เตอร์ ปรับลงมา จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำลดลง จากสูตร $N = \frac{120f}{p}$[rpm] ทำให้อัตราเร็วของการสูบน้ำลดลงตามความถี่ที่ลดลง ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นแบบ leading มีค่าลดลงตามการลดลงของค่าความถี่ แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดในแต่ละช่วงความถี่มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งที่ความถี่ 20 Hz คือ ความถี่ที่สามารถสูบน้ำได้ วัดค่าทางไฟฟ้าได้ต่ำที่สุด และได้ค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรต่ำกว่าการปรับอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่อื่นๆ แต่เมื่อปรับความถี่ลงไปจนถึงที่ความถี่ 15 Hz ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำไม่เพียงพอที่จะสามารถสูบน้ำไปอีกถังได้ ดังนั้นจึงไม่เกิดประโยชน์ในการใช้งาน

4.2.5 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่ (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz) พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย (แบ่งออกเป็น 3 รอบ)

จากการทดสอบเดินเครื่องปั๊มโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่ (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz) พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่ายในแต่ละรอบ โดยเริ่มที่ความถี่ 45 Hz หรี่ปรับวาล์วด้านจ่าย เมื่อนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการทดสอบเดินเครื่องในแบบต่างๆสามารถวิเคราะห์ออกมาได้ดังนี้

ในการทดสอบเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่ (ปรับความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz) พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่ายในแต่ละรอบ ในการวัดค่าทางไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า (I), ค่ากำลังไฟฟ้า (P) และค่าประกอบกำลัง (PF) เป็นแบบ leading มีค่าลดต่ำลงตามการลดลงในแต่ละช่วงความถี่ ค่าเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำมากขึ้นตามค่าความถี่ที่ลดลง ทำให้อัตราเร็วในการสูบน้ำลดลงส่วนค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อนำการเดินเครื่องปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์พร้อมกับการหรี่วาล์วทางด้านจ่ายในแต่ละรอบ ไปเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละช่วงความถี่โดยไม่หรี่วาล์วที่ความถี่ที่เท่ากัน ให้ผลที่เหมือนกับการหรี่วาล์วด้านจ่ายที่ความถี่ 50 Hz คือ ค่าทางไฟฟ้าที่วัดได้จะลดลงเมื่อปรับหรี่วาล์ว แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าจะใกล้เคียงกัน และเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของการหรี่ปรับวาล์ว ที่ความถี่ 20 Hz พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบ คือ การเดินเครื่องที่ได้ค่า WHr รวมที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรต่ำที่สุด

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองปรับหรี่วาล์วและการใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่ในแต่ละช่วงความถี่โดยไม่หรี่วาล์วและการใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่ในแต่ละช่วงความถี่พร้อมกับการหรี่วาล์วโดยทุกวิธีนั้นเป็นการประหยัดพลังงานโดยการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ปั๊มน้ำ ซึ่งการหรี่ปรับวาล์วเป็นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยการใช้วาล์วควบคุมการไหลของน้ำที่ไหลผ่านตัวปั๊มน้ำ แต่การใช้อินเวอร์เตอร์เป็นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยทางไฟฟ้า โดยการปรับความถี่ที่ใช้ในการเดินเครื่องของมอเตอร์ให้มีความเร็วสูงต่ำตามความถี่ที่เปลี่ยนไป

ในการทดลองปรับหรี่วาล์วที่ความถี่ปกติ f = 50 Hz สามารถหรี่วาล์วได้ถึง 3 รอบ ในการหรี่วาล์วปรับความเร็วในการสูบน้ำจะลดลงไปตามจำนวนรอบที่หรี่ปรับวาล์วยิ่งจำนวนรอบมากยิ่งทำให้การสูบน้ำช้า ในการปรับหรี่วาล์วเมื่อเปรียบเทียบการหรี่ปรับทางด้านสูบและการปรับหรี่วาล์วทางด้านจ่ายในการทดลองนั้นในด้านอัตราเร็วในการสูบน้ำ การหรี่ปรับวาล์วด้านจ่ายสามารถให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า แต่ด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้าการหรี่ปรับวาล์วด้านสูบและการหรี่ปรับวาล์วด้านจ่ายมีความสามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกัน สามารถลดได้สูงสุดเห็นผลชัดเจนในการปรับหรี่วาล์ว 3 รอบ แต่ในทางปฏิบัติไม่ควรปรับหรี่วาล์วทางด้านสูบ เพราะอาจจะทำให้ใบพัดของปั๊มน้ำสึกหรอเกิดความเสียหาย เนื่องจากการดูดไอและฟองอากาศเข้าไปในตัวปั๊ม

ในการทดลองปรับความถี่โดยใช้อินเวอร์เตอร์ในแต่ละความถี่ที่ลดลง จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ปั๊มลดลงไปตามสูตร $N = \frac{120f}{p}$ [rpm] จากการปรับอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ลดลงครั้งละ 5 Hz ทำให้มอเตอร์ปั๊มสูบน้ำหมุนด้วยความเร็วที่ลดลง ทำให้ความเร็วในการสูบน้ำลดลงกว่าการเดินเครื่องที่ความถี่ปกติ f = 50 Hz แบบไม่หรี่วาล์ว ค่ากระแสไฟฟ้า (I), ค่ากำลังไฟฟ้า (P) และค่าประกอบกำลังไฟฟ้า (PF) ที่วัดได้ในการทดลองเมื่อลดความถี่ลงครั้งละ 5 Hz มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าที่วัดได้จากการเดินเครื่องปั๊มน้ำแบบปกติ จะลดลงตามลำดับการลดลงของความถี่ ยิ่งความถี่ลดลงมากยิ่งทำให้ค่าที่วัดได้ลดตามไปสามารถปรับลดความถี่ได้ต่ำสุดที่ 20 Hz เมื่อปรับค่าความถี่ถึง 15 Hz ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำต่ำเกินไปไม่สามารถสูบน้ำได้ จึงไม่เกิดประโยชน์ในการใช้งานเกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยเปล่าประโยชน์การใช้อินเวอร์เตอร์มีข้อดีกว่าการหรี่วาล์ว คือ เวลาที่ใช้ในการสูบน้ำจะดีกว่า เนื่องจากไม่มีการสูญเสียที่วาล์ว

ในการเดินปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละความถี่พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่ายในแต่ละรอบนั้นสามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มน้ำแบบปกติสามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ได้ แต่เวลาที่ใช้ในการสูบน้ำก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องที่ความถี่ที่เท่ากันโดยไม่หรี่วาล์วนั้น ในแต่ละช่วงความถี่จะให้ผลเหมือนกับการหรี่ปรับวาล์วปกติที่ความถี่ 50 Hz คือเมื่อปรับความถี่โดยอินเวอร์เตอร์แล้วปรับวาล์วด้วยก็จะลดการใช้กำลังไฟฟ้าลงไปอีกตามจำนวนรอบการปรับวาล์ว แต่เวลาในการสูบน้ำก็เพิ่มขึ้นด้วยในการเดินปั๊มน้ำโดยปรับอินเวอร์เตอร์ในแต่ละความถี่พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่ายสามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ความถี่ 20 Hz พร้อมหรี่วาล์ว 1 รอบ

จากผลการทดลองค่ากำลังไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำใช้จะแปรผันกับปริมาณของเหลวที่ไหลผ่านในตัวปั๊ม คือ ถ้าปริมาณของเหลวผ่านตัวปั๊มมากกำลังไฟฟ้าที่ใช้ก็จะมาก ถ้าปริมาณของเหลวที่ผ่านตัวปั๊มน้อยกำลังไฟฟ้าที่ใช้ก็จะลดลง เพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขึ้นอยู่กับการควบคุมปริมาณของเหลวที่ผ่านปั๊ม แต่ปริมาณของเหลวจะสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้สูบน้ำ ถ้าปริมาณของเหลวที่ไหลผ่านตัวปั๊มน้อยจะใช้เวลาในการสูบน้ำมาก ถ้าปริมาณของเหลวที่ไหลผ่านตัวปั๊มมากจะใช้เวลาในการสูบน้ำน้อย ดังนั้นจึงต้องใช้ค่า WHr ที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรในการวิเคราะห์ ซึ่งได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 50 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร

ปรับวาล์วด้านจ่ายที่ความถี่ 50 Hz	รอบที่ 0	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
WHr	14.9478	14.1773	16.0729	31.675
เวลา(วินาที)	61	67	68	150

ตารางที่ 5.2 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 45 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร

ปรับวาล์วด้านจ่ายที่ความถี่ 45 Hz	รอบที่ 0	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
WHr	12.4085	12.2086	13.9903	27.864
เวลา(วินาที)	63	68	70	139

ตารางที่ 5.3 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 40 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร

ปรับวาล์วด้านจ่ายที่ความถี่ 40 Hz	รอบที่ 0	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
WHr	10.1632	9.8403	10.8999	21.4779
เวลา(วินาที)	70	63	71	137

ตารางที่ 5.4 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 35 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร

ปรับวาล์วด้านจ่ายที่ความถี่ 35 Hz	รอบที่ 0	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
WHr	8.1642	7.9664	8.8523	16.9564
เวลา(วินาที)	72	72	82	151

ตารางที่ 5.5 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 30 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร

ปรับวาล์วด้านจ่ายที่ความถี่ 30 Hz	รอบที่ 0	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
WHr	6.3776	6.333	7.2277	11.26314
เวลา(วินาที)	86	88	92	202

ตารางที่ 5.6 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 25 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร

ปรับวาล์วด้านจ่ายที่ความถี่ 25 Hz	รอบที่ 0	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
WHr	4.85346	4.6178	5.6998	9.8966
เวลา(วินาที)	104	97	112	235

ตารางที่ 5.7 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านจ่ายที่ความถี่ 20 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร

ปรับวาล์วด้านจ่ายที่ความถี่ 20 Hz	รอบที่ 0	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
WHr	4.03818	3.99845	4.73079	9.1563
เวลา(วินาที)	157	161	163	327

ตารางที่ 5.8 จำนวนหน่วย(ยูนิต)ไฟฟ้าของการปรับวาล์วน้ำด้านสูบที่ความถี่ 50 Hz ที่ใช้ในการทดสอบการสูบน้ำ 50 ลิตร

ปรับวาล์วด้านสูบที่ความถี่ 50 Hz	รอบที่ 0	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
WHr	14.9478	14.8763	18.4425	50.5751
เวลา(วินาที)	63	70	87	235

จากตารางที่ 5.1 ถึง 5.8 ที่ผ่านมาได้นำเอาค่า WHr มาทำการเปรียบเทียบกันระหว่างการปรับอินเวอร์เตอร์แต่ละความถี่ และการหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายในแต่ละรอบ โดยกำหนดให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำ 50 ลิตร ที่ความถี่ 50 Hz ไม่หรี่วาล์วน้ำใช้พลังงานเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และนำเอาค่าเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรทำการเปรียบเทียบกันระหว่างการปรับอินเวอร์เตอร์แต่ละความถี่ และการหรี่วาล์วน้ำด้านจ่ายในแต่ละรอบ โดยกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตร ที่ความถี่ 50 Hz ไม่หรี่วาล์วน้ำใช้เวลาในการสูบน้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อจะนำไปเปรียบเทียบกับการปรับอินเวอร์เตอร์และการหรี่วาล์วน้ำด้านจ่าย

สูตรที่ใช้ในการหาเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ เมื่อกำหนดให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำ 50 ลิตรที่ความถี่ 50 Hz ไม่มีการหรี่วาล์วน้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตร} = \frac{Wh(fHz)*100\%}{Wh(50\ Hz)} \qquad (5.1)$$

WHr (fHz) คือ WHr ที่ความถี่ต่างๆ และการหรี่วาล์วรอบต่างๆที่ต้องการหาเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำ 50 ลิตร เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำ 50 ลิตรแบบปกติโดยไม่มีการปรับความถี่และการหรี่วาล์วน้ำ

WHr (50 Hz) คือ WHr ที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรที่ความถี่ 50 Hz โดยไม่มีการหรี่วาล์วน้ำ

ตารางที่ 5.9 เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการสูบน้ำ 50 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติที่ความถี่ 50 Hz โดยไม่หรี่วาล์ว

ความถี่	0 รอบ	1 รอบ	2 รอบ	3 รอบ
20 Hz	27.02%	26.75%	31.65%	61.26%
25 Hz	32.47%	30.89%	38.13%	66.21%
30 Hz	42.67%	42.37%	48.35%	84.50%
35 Hz	54.62%	53.29%	59.22%	113.44%
40 Hz	67.99%	65.83%	72.92%	143.69%
45 Hz	83.01%	81.67%	93.59%	186.41%
50 Hz	100%	94.85%	107.53%	211.90%

จากตารางที่ 5.9 เป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการสูบน้ำ 50 ลิตรในความถี่ต่างๆและการหรี่วาล์วด้านจ่ายน้ำในแต่ละรอบ โดยกำหนดให้การสูบน้ำ 50 ลิตรปรับความถี่ที่ 50 Hz ไม่มีการหรี่วาล์วให้การใช้พลังงานในการสูบน้ำเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการคำนวณจากสมการ 5-1

และสูตรที่ใช้ในการหาเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบเวลาในการสูบน้ำ เมื่อกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรที่ความถี่ 50 Hz ไม่มีการหรี่วาล์วน้ำเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตร} = \frac{t(fHz)*100\%}{t(50\ Hz)} \qquad (5.2)$$

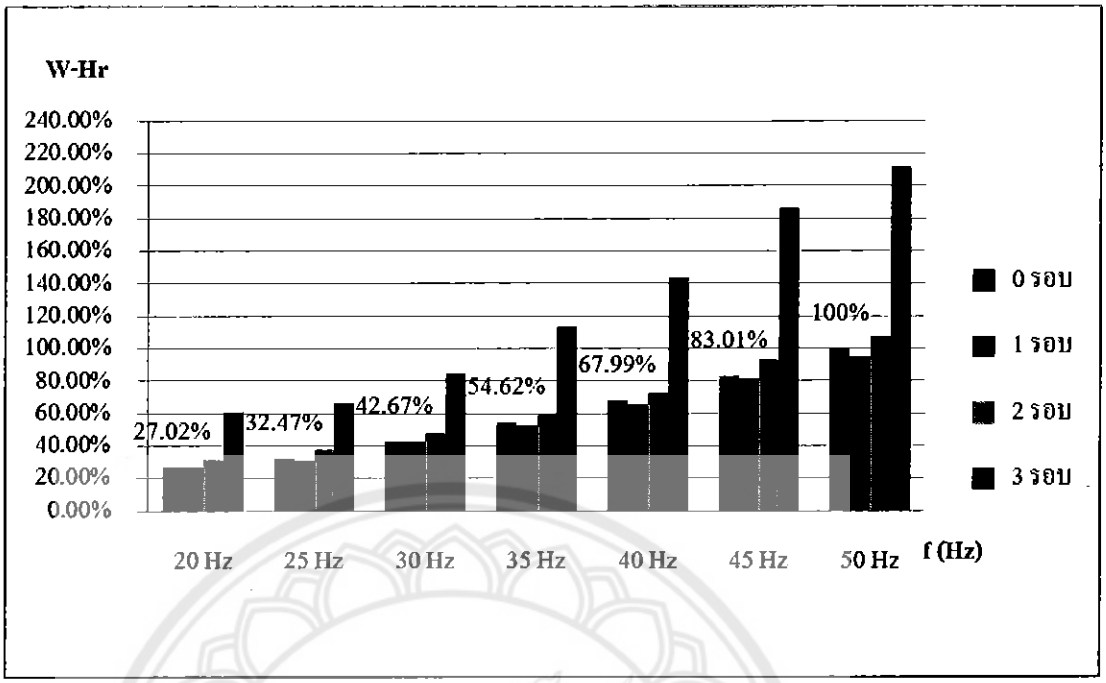
t (fHz) คือ เวลาที่ความถี่ต่างๆ และการหรี่วาล์วรอบต่างๆ ที่ต้องการหาเปอร์เซ็นต์เวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตร เมื่อเทียบกับเวลาในการสูบน้ำ 50 ลิตรแบบปกติโดยไม่มีการปรับความถี่และการหรี่วาล์วน้ำ

t (50 Hz) คือ เวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรที่ความถี่ 50 Hz โดยไม่มีการหรี่วาล์วน้ำ

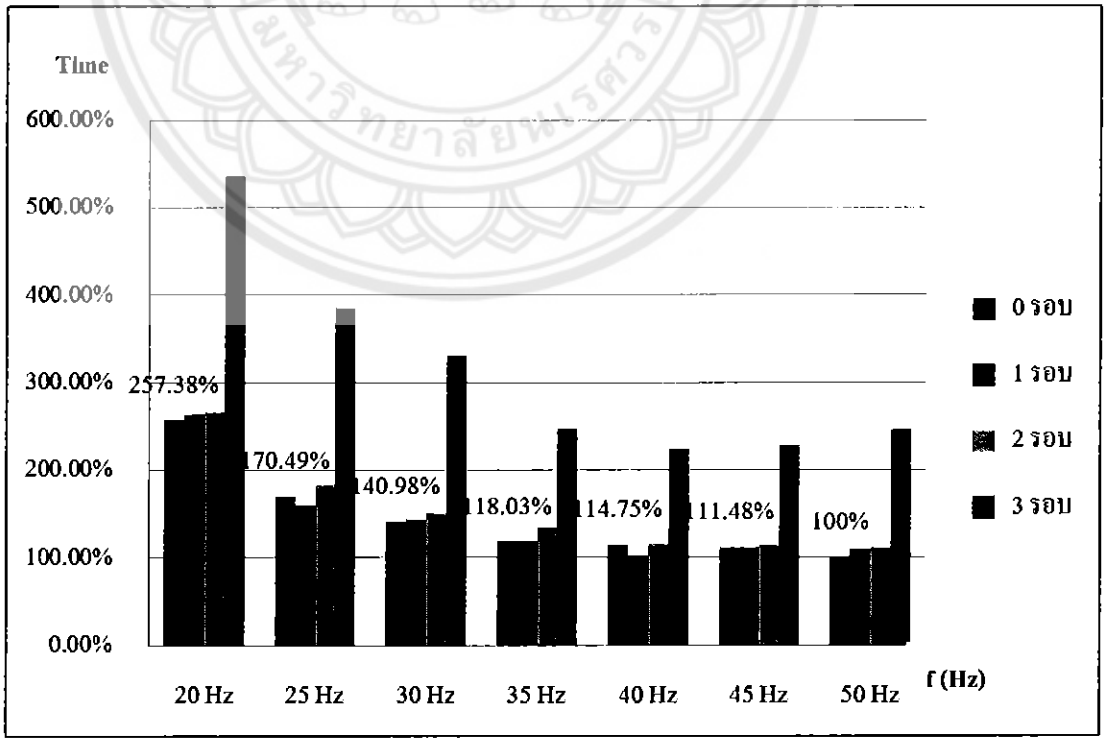
ตารางที่ 5.10 เปอร์เซ็นต์เวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติที่ความถี่ 50 Hz โดยไม่หรี่วาล์ว

ความถี่	0 รอบ	1 รอบ	2 รอบ	3 รอบ
20 Hz	257.38%	263.93%	267.21%	536.07%
25 Hz	170.49%	159.16%	183.61%	385.25%
30 Hz	140.98%	144.26%	150.82%	331.15%
35 Hz	118.03%	118.03%	134.43%	247.54%
40 Hz	114.75%	103.28%	116.39%	224.59%
45 Hz	111.48%	111.48%	114.75%	227.87%
50 Hz	100%	109.84%	111.48%	245.90%

จากตารางที่ 5.10 เป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตรในความถี่ต่างๆ และการหรี่วาล์วด้านจ่ายน้ำในแต่ละรอบ โดยกำหนดให้การสูบน้ำ 50 ลิตร ปรับความถี่ที่ 50 Hz ไม่มีการหรี่วาล์วให้ใช้เวลาในการสูบน้ำเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการคำนวณจากสมการ5-2



รูปที่ 5.1 กราฟเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการสูบน้ำ 50 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติที่ความถี่ 50 Hz โดยไม่หรี่วาล์วซึ่งคิดเป็น 100 % ที่ WHr = 14.9478



รูปที่ 5.2 กราฟเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ 50 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องปั๊มน้ำปกติที่ความถี่ 50 Hz โดยไม่หรี่วาล์วซึ่งคิดเป็น 100 % ที่เวลา = 61 วินาที

จากการเปรียบเทียบระหว่างการปรับอินเวอร์เตอร์กับการหรี่วาล์วสามารถสรุปได้ว่าการปรับอินเวอร์เตอร์สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าการหรี่วาล์วและสามารถควบคุมได้ง่ายกว่าการหรี่วาล์ว จากรูปที่ 5.1 และ 5.2 แสดงให้เห็นว่าการปรับอินเวอร์เตอร์สามารถประหยัดพลังงานได้จริง แต่ถ้าไม่มีการปรับอินเวอร์เตอร์จากการทดลองนี้การหรี่วาล์วรอบที่ 1 ก็สามารถประหยัดพลังงานได้ในปริมาณที่ไม่มาก ในการหรี่วาล์วรอบที่ 2 และรอบที่ 3 ทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากใช้เวลาในการสูบน้ำมากขึ้น ดังนั้นจากรูปที่ 5.1 ในการเดินเครื่องปั๊มน้ำสูบน้ำ 50 ลิตร การปรับอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 Hz จะสามารถประหยัดพลังงานได้สูงสุด และสามารถเพิ่มการประหยัดพลังงานขึ้นโดยการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบไปด้วย โดยที่เวลาที่ใช้ในการสูบน้ำที่ใกล้เคียงกัน แต่การปรับอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำก็จะใช้เวลานาน ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับการใช้งานนั้นๆ ว่าต้องการใช้งานในรูปแบบใด ถ้าการใช้งานไม่เน้นในเรื่องเวลาการปรับอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 พร้อมกับการหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบก็สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด ยกตัวอย่างในการในการสูบน้ำใส่ถังน้ำขนาด 50 ลิตรเพื่อใช้ในการอาบน้ำ ซึ่งเมื่อเอาไปคิดเป็นค่าไฟก็เอาไปคูณหน่วยของค่าไฟสมมุติให้ใช้หน่วยละ 5 บาท เพื่อให้เห็นความต่างในการใช้พลังงานในการสูบน้ำ ในการสูบน้ำ 50 ลิตร โดยไม่ใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่และไม่หรี่วาล์วได้ค่าไฟ 0.074739 บาท แต่ถ้าใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่ที่ 20 Hz และหรี่วาล์วด้านจ่าย 1 รอบได้ค่าไฟ 0.01992 บาท ถ้าคำนึงถึงการประหยัดพลังงานไฟฟ้าการใช้อินเวอร์เตอร์ในระบบปั๊มน้ำถือเป็นทางเลือกที่ดีเพราะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการหรี่วาล์วและการปรับความถี่โดยใช้อินเวอร์เตอร์ทั้งสองวิธีต่างสามารถประหยัดพลังงานที่ใช้ในปั๊มน้ำได้ แต่หากระบบการทำงานของปั๊มน้ำถูกออกแบบมาพอดีต่อการใช้งานก็ไม่จำเป็นต้องปรับหรี่วาล์ว และไม่จำเป็นต้องใช้อินเวอร์เตอร์ให้เกิดความสูญเสียเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเลือกวิธีประหยัดพลังงานนั้นขึ้นอยู่กับการใช้งานและจุดคุ้มทุน

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า ไม่ได้ออกแบบจากการติดตั้งใช้งานจริง ดังนั้นในการติดตั้งเพื่อใช้งานจริงต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ เช่น ขนาดของปั๊มน้ำ, ค่าเฮด, สถานที่ติดตั้ง, ความสูงของสถานที่จะจ่ายน้ำขึ้นไปใช้ เป็นต้น

ในการวัดค่าทางไฟฟ้าต้องวัดค่าก่อนเข้าอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากถ้าวัดหลังจากที่ออกจากอินเวอร์เตอร์เครื่องวัดจะไม่สามารถวัดค่าทางไฟฟ้าที่แท้จริงได้

เอกสารอ้างอิง

[1] 09_EEH. สืบค้นเมื่อ วันที่ 28 เดือน มิถุนายน ปี 2556,จาก http://teenet.tei.or.th/Knowledge/Paper/09_EEH.pdf

[2] เครื่องสูบน้ำ. สืบค้นเมื่อ วันที่ วันที่ 28 เดือน มิถุนายน ปี 2556,จาก http://engineer.pwa.co.th/pumps/pump.html

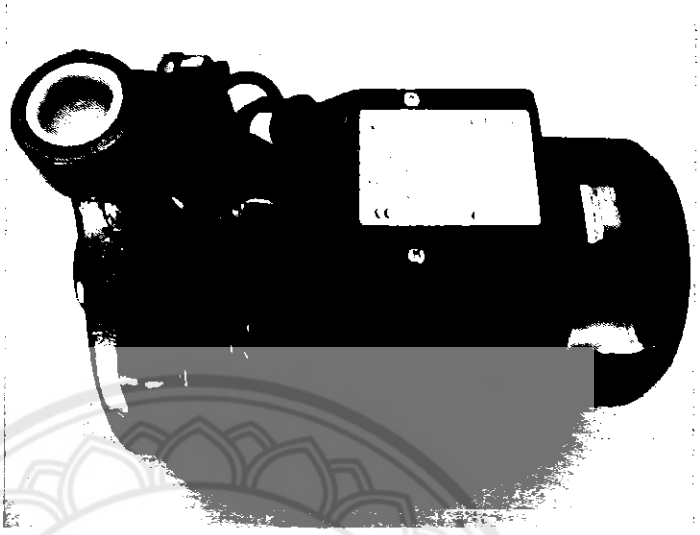
[3] ความดันและหัวน้ำหรือเฮดของปั๊มน้ำ สืบค้นเมื่อ วันที่ 28 เดือน มิถุนายน ปี 2556,จาก http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=show&article_id=461

[4] อินเวอร์เตอร์. สืบค้นเมื่อ วันที่ 28 เดือน มิถุนายน ปี 2556,จาก http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/

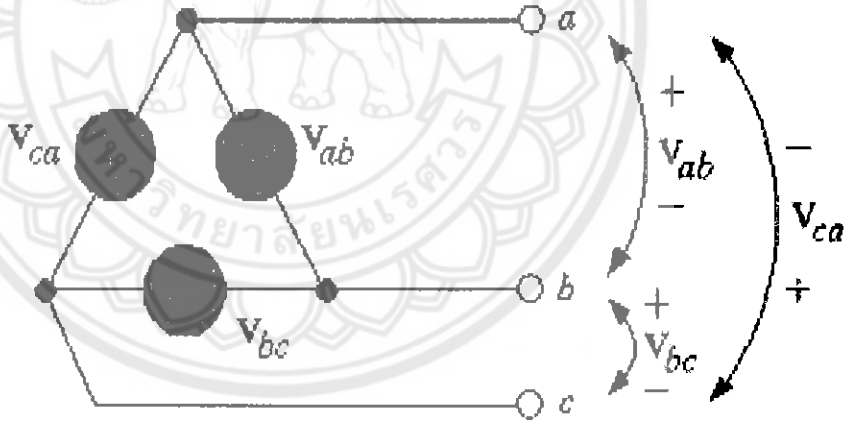
[5] กำลังไฟฟ้า. สืบค้นเมื่อ วันที่ 28 เดือน มิถุนายน ปี 2556,จาก http://www.thaigoodview.com/library/teachershow/bangkok/sudarat_n-ok/sec05po1.html

[6] มหาวิทยาลัยนเรศวร. (มกราคม 2547). **คู่มือการเขียนรายงานโครงงานวิศวกรรม.ครั้งที่ 6.** พิษณุโลก: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ **มหาวิทยาลัยนเรศวร**

ภาคผนวก ก
คุณลักษณะของมอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟสที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 1. มอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟสชนิดปั๊มแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal pump)



รูปที่ 2. รูปการต่อวงจรแบบเดลต้าในมอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟส

ตารางที่ 1. ข้อมูลของมอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟสที่ใช้ในการทดสอบ

Q 10-250 l/min	Q max 110 l/min	In 2.9 A
H 31 - 5 m	H max 15 m	HP 1.0
Kw 0.75	110 W max	IP 44
3-Mot	rpm 2900	ICL F
V 380	Hz 50	

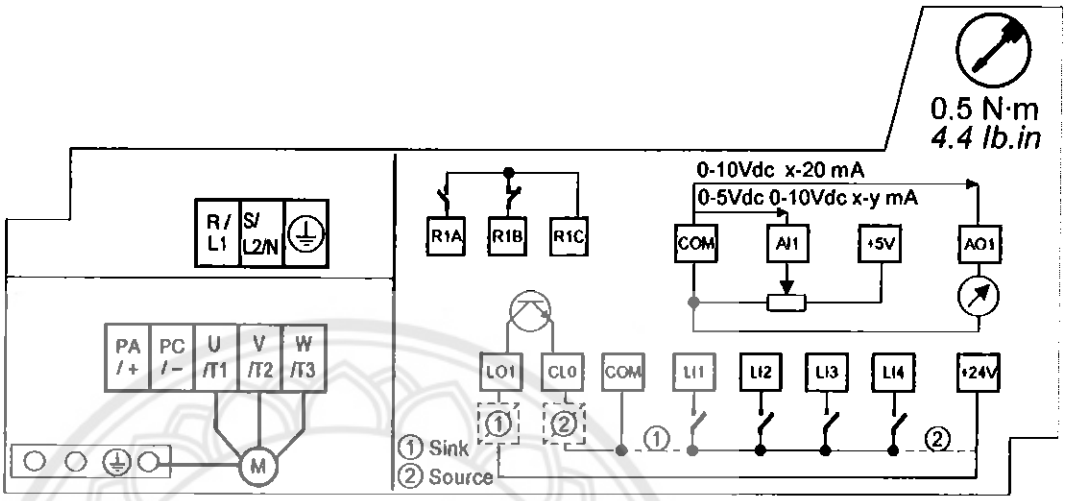
รูปที่ 3. Nameplateของมอเตอร์ปั๊มน้ำ 3 เฟส

ตารางที่ 2. มาตรฐานการกันน้ำและกันฝุ่น (IP)

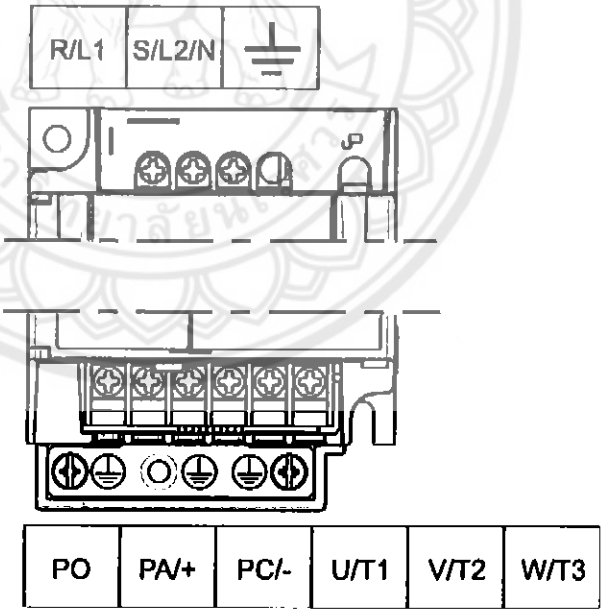
P00	ไม่สามารถป้องกันฝุ่นและน้ำได้
P11	ป้องกันฝุ่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตรและป้องกันน้ำที่หยดลงมาในแนวดิ่ง
P22	ป้องกันฝุ่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 มิลลิเมตรและป้องกันน้ำที่หยดเอียง 15 องศา
P33	ป้องกันฝุ่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตรและป้องกันน้ำที่หยดเอียง 15 องศา
P44	ป้องกันฝุ่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรและป้องกันปริมาณน้ำสาดกระเด็นหรือพรม
P55	ป้องกันฝุ่นขนาดเล็กและป้องกันละอองฝนหรือหยดน้ำเม็ดใหญ่
P66	ป้องกันฝุ่นขนาดเล็กที่มีปริมาณหนาแน่นและป้องกันหยดน้ำฝนที่มีขนาดเม็ดใหญ่
67	ป้องกันน้ำโดยจุ่มลงน้ำในระดับ 1 เมตรไม่เกิน 30 นาที
68	ป้องกันน้ำได้โดยมีประสิทธิภาพมากกว่าระดับ 7
P6X	ระบบป้องกันฝุ่นแต่ไม่ป้องกันน้ำ

ภาคผนวก ข

คุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ ATV12H037M2



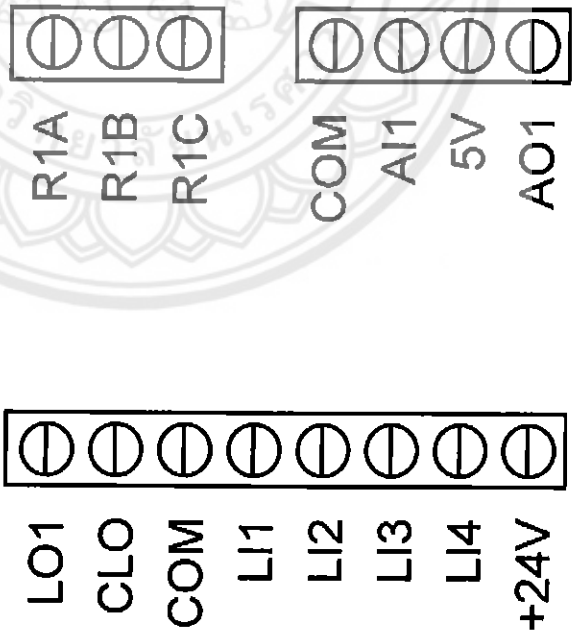
รูปที่ 1. Wiring labels ของอินเวอร์เตอร์ ATV 12 H 037M2



รูปที่ 2. พอร์ตของอินเวอร์เตอร์ Power terminals

ตารางที่ 1. คำอธิบายของพอร์ตอินเวอร์เตอร์ Power terminals

Terminal	Function	For ATV12
G	Ground terminal	All ratings
R/L1 - S/L2/N	Power supply	1-phase 100…120 V
R/L1 - S/L2/N		1-phase 200…240 V
R/L1 - S/L2 - T/L3 3-phase		3-phase 200…240 V
PA/+	+ output(dc) to the braking module DC Bus	All ratings
PC/-	– output (dc) to the braking module DC Bus	All ratings
PO	Not used	
U/T1 - V/T2 - W/T3	Outputs to the motor	All ratings



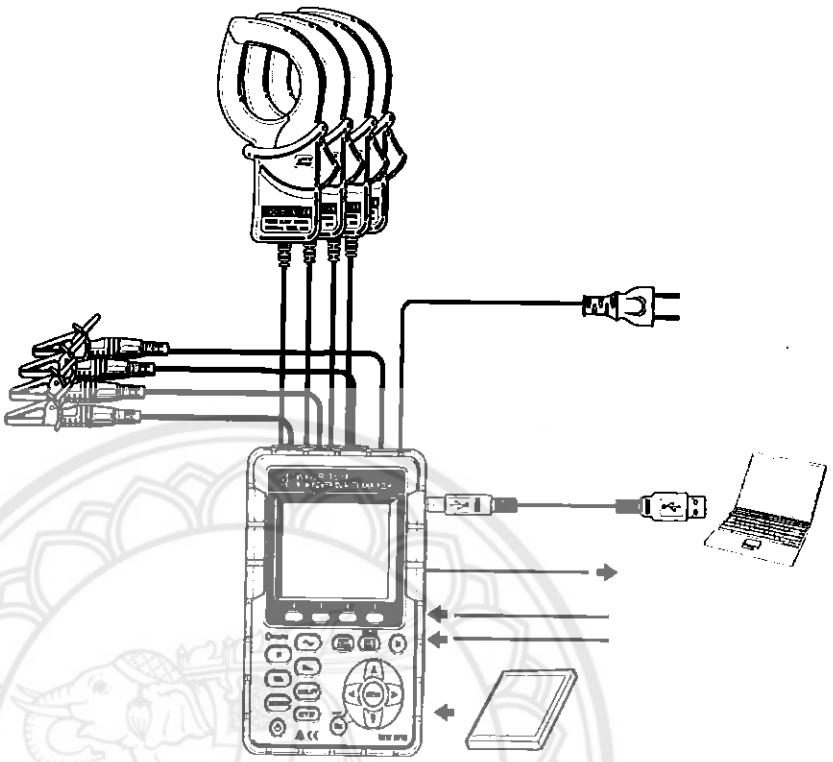
รูปที่ 3. control terminals ของอินเวอร์เตอร์

ตารางที่ 2. คำอธิบายของ control terminals ของอินเวอร์เตอร์

1A	Normally open (NO) contact of the relay
1B	Normally closed (NC) contact of the relay
1C	Common pin of the relay
OM	COMmon of analog and logic I/Os
I1	Analog Input
V	+5V supply provided by the drive
O1	Analog Output
O1	Logic Output (collector)
LO	Common of the Logic Output (emitter)
OM	COMmon of analog and logic I/Os
I1	Logic Input
I2	Logic Input
I3	Logic Input
I4	Logic Input
24V	+24 V supply provided by the drive
J45	Connection for SoMove software, Modbus network or remote display.

ภาคผนวก ค

คุณลักษณะของ POWER QUALITY ANALYZER



รูปที่ 1. POWER QUALITY ANALYZER

รูปที่ 2. POWER QUALITY ANALYZERKEW6310

ตารางที่ 1. Key Operations ของ POWER QUALITY ANALYZERKEW6310

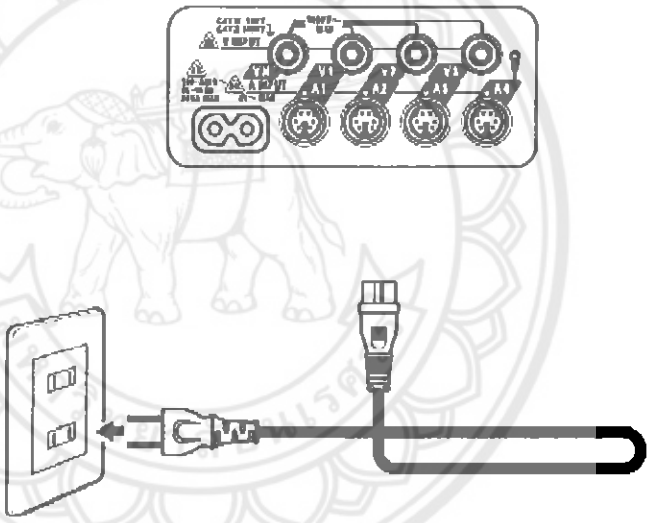
Keys	Details
Power Key	Power on / off the instrument
LCD ON/OFF Key	Display / hide the indications on the LCD
Cursor Key	Select the setting items, switches screens
ENTER Key	Confirm entries
ESC Key/ RESET Key	Cancel setting changes, clear integration / demand data selected by Cursor Keys.
PRINT SCREEN Key	Save the displayed screen as a BMP (bitmap)file.
DATA HOLD Key/ KEY LOCK Key	● Hold the readings. ● Key Lock
Menu Key	W : Measure instantaneous values WHr : Measure integration values DEMAND : Measure demand values QUALITY: Select any Ch and set thresholdvalues to record swell/ dip/ int/ transient with time information. SET UP : Basic, Measurement, Save and Other settings
Function Key	Execute the displayed function F1, F2, F3, F4 Key (from left to right)

รูปที่ 3. Connector ของ POWER QUALITY ANALYZERKEW6310

ตารางที่ 2. อธิบาย Connector ของ POWER QUALITY ANALYZERKEW6310

Wiring configuration	Voltage Input Terminal	Current Input Terminal	
Single-phase 2-wire (1ch)	"1P2W×1"	VN, 1	A1
Single-phase 2-wire (2ch)	"1P2W×2"	VN, 1	A1, 2
Single-phase 2-wire (3ch)	"1P2W×3"	VN, 1	A1, 2, 3
Single-phase 2-wire (4ch)	"1P2W×4"	VN, 1	A1, 2, 3, 4
Single-phase 3-wire (1ch)	"1P3W×1"	VN, 1, 2	A1, 2
Single-phase 3-wire (2ch)	"1P3W×2"	VN, 1, 2	A1, 2, 3, 4
Single-phase 3-wire (1ch) + 2 Current	"1P3W×1+2A"	VN, 1, 2	A1, 2, 3, 4
Three-phase 3-wire (1ch)	"3P3W×1"	VN, 1, 2	A1, 2
Three-phase 3-wire (2ch)	"3P3W×2"	VN, 1, 2	A1, 2, 3, 4
Three-phase 3-wire (1ch + 2 Current	"3P3W×1+2A"	VN, 1, 2	A1, 2, 3, 4
Three-phase 3-wire 3A	"3P3W3A"	V1, 2, 3	A1, 2, 3
Three-phase 4-wire (1ch)	"3P4W×1"	VN, 1, 2, 3	A1, 2, 3
Three-phase 4-wire (1ch) + 1 Current	"3P4W×1+1A"	VN, 1, 2, 3	A1, 2, 3, 4

รูปที่ 4. Side Face ของ POWER QUALITY ANALYZERKEW6310



รูปที่ 5. Power cord connectionของ POWER QUALITY ANALYZERKEW6310

ตารางที่ 3. Power supply rating

Rated supply voltage	100~240V AC(±10%)
Rated power supply frequency	45 ~ 65Hz
Max power consumption	20VA max