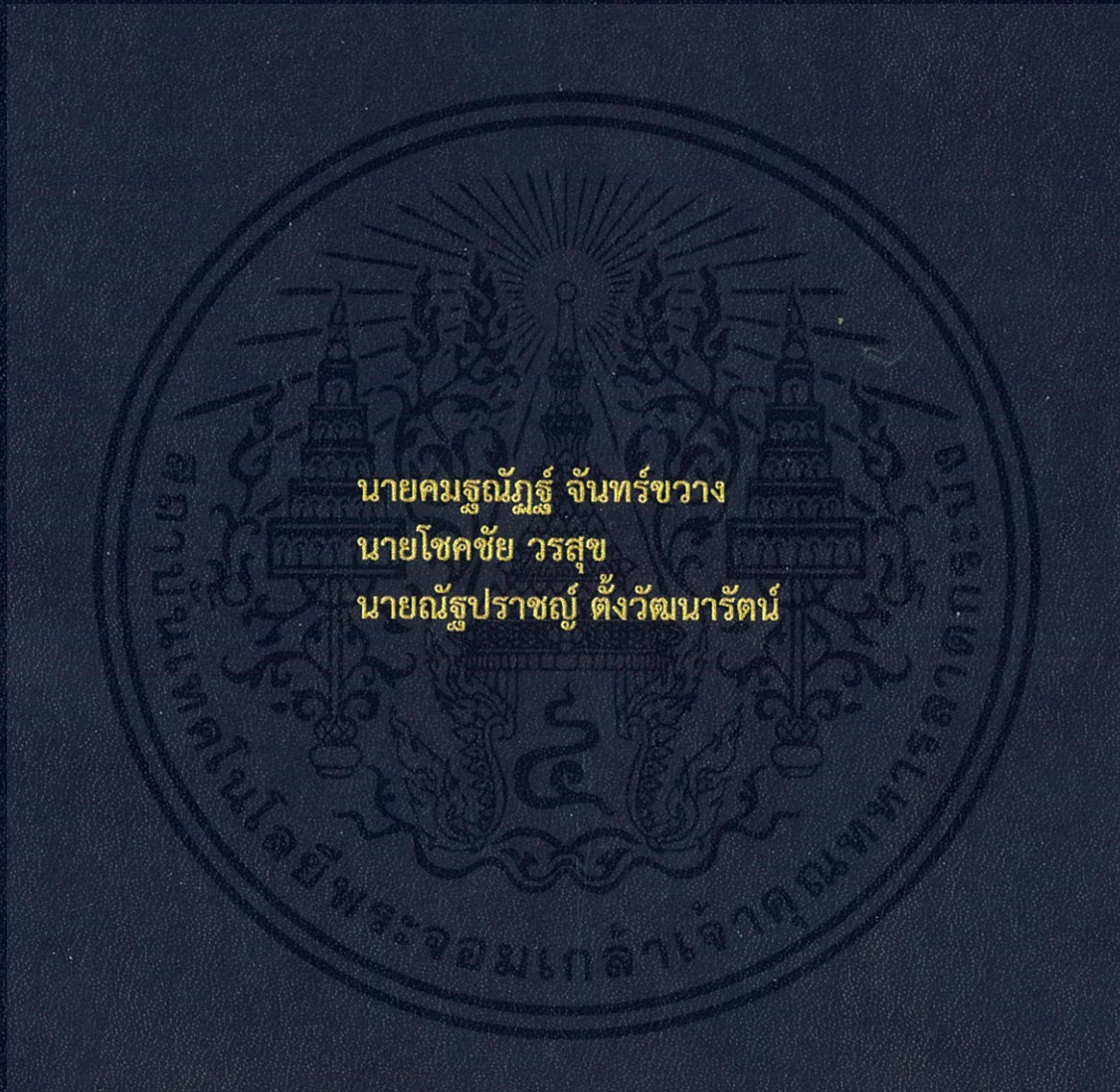


การออกแบบและจัดสร้างชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบ
อนุกรมและแบบขนาน

THE DESIGN AND DEVELOP OF THE CENTRIFUGAL PUMP
TEST SET WITH SERIAL TYPE AND PARALLEL TYPE



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การออกแบบและจัดสร้างชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบ
อนุกรมและแบบขนาน

THE DESIGN AND DEVELOP OF THE CENTRIFUGAL PUMP
TEST SET WITH SERIAL TYPE AND PARALLEL TYPE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DESIGN AND DEVELOP OF THE CENTRIFUGAL PUMP
TEST SET WITH SERIAL TYPE AND PARALLEL TYPE



Mr.Komtanut Changkawng
Mr.Chokechai Worrasuk
Mr.Natthapraj Tangwattanarat

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2559

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและจัดสร้างชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบอนุกรมและแบบขนาน

THE DESIGN AND DEVELOP OF THE CENTRIFUGAL PUMP TEST SET WITH SERIAL TYPE
AND PARALLEL TYPE


ผู้จัดทำ

1. นายคมรฐณ์ภูฏ์ จันทร์ขวาง รหัส 56010126
2. นายโชคชัย วรสุข รหัส 56010323
3. นายณัฐปราชญ์ ตั้งวัฒนารัตน์ รหัส 56010403



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. มณฑล ใจกุศล)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและจัดสร้างชุดทดสอบสมรรถนะของบีมหอยโข่งแบบอนุกรมและแบบขนาน

นายคมธัญญ์ จันทรขวาง รหัส 56010126

นายโชคชัย วรสุข รหัส 56010323

นายณัฐปราชญ์ ตั้งวัฒนารัตน์ รหัส 56010403

ผศ.ดร. มณฑล ใจกุศล อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของบีมแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยชุดทดลองประกอบด้วยแบบขนานและอนุกรม นอกจากนี้ชุดทดลองนี้ถูกใช้สำหรับแสดงสมรรถนะของบีมแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมเครื่องกล คณะผู้จัดทำได้ใช้เครื่องมือที่ในการวัดความต้านด้านดุด, ความต้านด้านจ่าย, ทอร์คและอัตราการไหล ผลการทดลองสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง เฮต, ความดัน, กำลังขับบีม ความเร็วรอบ และประสิทธิภาพ ฯ โดยนำข้อมูลเหล่านี้มาเขียนรูปแบบของกราฟแล้วนำมาเทียบกับบีมตัวเดียว

THE DESIGN AND DEVELOP OF THE CENTRIFUGAL PUMP TEST SET WITH SERIAL TYPE AND PARALLEL TYPE

Mr.Komtanut Changkawng 56010126

Mr.Chokechai Worrasuk 56010323

Mr.Natthapraj Tangwattanarat 56010403

Assis.Prof. Montol Jaikusol Advisor

Assoc.Prof.Dr. Jumlong Prabkeaw Co-advisor

Year 2016

Abstract

This project has presented designing and building the experimental set for the test of the centrifugal pumps capacity, the experiment will conclude of both parallel and serial circuit.

In addition, this experimental set has been used for demonstrated of centrifugal pump in Mechanical Engineering Laboratory. The researcher used tool to measure the suction pressure, discharge pressure, Torque and Flow rate. The results able to discover the relation of head, pressure, power, omega and efficiency and etc., by presenting these data in the form of compared graph with one pump.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้ได้รับการช่วยเหลือจากคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่ขอกล่าวถึงบุคคลแรกที่ทำให้รายงานฉบับนี้มีความก้าวหน้ามากขึ้นก็คือ ผศ. ดร.มณฑล ใจกุศล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ให้คำแนะนำต่างๆตลอดจนความช่วยเหลือให้แก่คณะผู้จัดทำ อีกท่านหนึ่งคือ รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว ที่ซึ่งเป็นที่ปรึกษาร่วม ให้ความรู้ในการทำโครงการเพิ่มเติม

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ให้ความรู้แก่คณะผู้จัดทำ รวมทั้งผู้ที่มีส่วนร่วมในการทำโครงการนี้ที่อาจจะไม่ได้กล่าวถึง ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นายคมธัญญ์ จันทรขวาง
นายโชคชัย วรสุข
นายณัฐปราชญ์ ตั้งวัฒนารัตน์



สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หลักการทำงานของปั๊มหอยโข่ง	3
2.2 ประเภทของปั๊มน้ำ	3
2.3 โครงสร้างและชิ้นส่วนของปั๊มน้ำชนิดหอยโข่ง.....	4
2.3.1 ใบพัด	5
2.3.1.1 ใบพัดแบบเปิด	5
2.3.1.2 ใบพัดแบบกึ่งเปิด	5
2.3.2 เรือนสูบ	5
2.3.3 เพลา	6
2.3.4 ลูกปืน	6
2.3.5 แหวนเรือนสูบ	7
2.3.6 เมคานิคอลซีล	7
2.3.7 ข้อต่อเพลา	7
2.3.8 วาล์วระบายอากาศและกรวยกรอกน้ำ	8
2.4 ความดันและเสดในระบบ.....	8
2.4.1 ความดันของบรรยากาศ	8
2.4.2 เสดความดัน.....	9
2.4.3 เสดความเร็ว	10
2.4.4 เสดสถิตย์	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5	เขตความฝืด.....	11
2.4.5.1	การสูญเสียเฮดน้ำในท่อเนื่องจากความฝืดในท่อ.....	12
2.4.6	เขตรวมของระบบ.....	12
2.4.7	เขตของปั๊ม.....	12
2.5	ความดันและเฮดในระบบ.....	13
2.5.1	ประสิทธิภาพของปั๊มหอยโข่ง.....	13
2.5.1.1	Volumetric efficiency	13
2.5.1.2	Mechanical efficiency	13
2.5.1.3	Hydraulic efficiency	13
2.5.2	ประสิทธิภาพของปั๊มตัวเดียว.....	14
2.5.3	ประสิทธิภาพของปั๊มในระบบขนาน	14
2.5.4	ประสิทธิภาพของปั๊มในระบบอนุกรม.....	14
บทที่ 3	ชุดทดสอบปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนาน.....	15
3.1	ชุดทดสอบปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนานและส่วนประกอบชุดอุปกรณ์.....	15
3.1.1	ปั๊มหอยโข่ง	15
3.1.2	อุปกรณ์วัดแรงบิด	15
3.1.3	อุปกรณ์วัดความดัน	16
3.1.4	อุปกรณ์วัดอัตราการไหล.....	16
3.1.5	หลักการทํางานของ Tachometer	18
3.2	วิธีการทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง	18
3.2.1	การทดสอบสมรรถนะปั๊มหอยโข่งเพียงตัวเดียวของปั๊ม1	18
3.2.2	การทดสอบสมรรถนะปั๊มหอยโข่งเพียงตัวเดียวของปั๊ม2.....	18
3.2.3	การทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งระบบขนาน.....	19
3.2.4	การทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งระบบอนุกรม.....	19
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	20
4.1	ผลการทดลองปั๊มตัวที่ 1	20
4.2	ผลการทดลองปั๊มตัวที่ 2	22
4.3	ผลการทดลองปั๊มต่อระบบอนุกรม	24
4.4	ผลการทดลองปั๊มต่อระบบขนาน	26
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	28
5.1	สรุปผลการวิจัย	28
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	28
บทที่ 6	บรรณานุกรม.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 หนังสือ.....	29
6.2 เว็บไซต์.....	29
ภาคผนวก.....	31
ภาคผนวก ก.....	32
ภาคผนวก ข.....	37
ภาคผนวก ค.....	42
ภาคผนวก ง.....	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1ก. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบป้อนตัวที่ 1.....	33
2ก. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบป้อนตัวที่ 2.....	34
3ก. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบป้อนในระบบอนุกรม	35
4ก. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบป้อนในระบบขนาน	36
1.ข แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (อุณหภูมิหน่วยSI).....	38
2.ข แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (K) สำหรับการไหลผ่านข้ออ ข้อต่อและวาล์ว.....	39
3.ข แสดงค่าความขรุขระสัมบูรณ์ ϵ สำหรับท่อชนิดต่างๆ	40
1ค. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบป้อนตัวที่ 1.....	52
2ค. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบป้อนตัวที่ 2.....	53
3ค. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบป้อนในระบบอนุกรม	54
4ค. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบป้อนในระบบขนาน	55

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงพื้นฐานแรงหนีศูนย์กลาง	3
2.2 โครงสร้างของปั๊ม	4
2.3 ภาพตัดของใบพัดแบบเปิด.....	5
2.4 ภาพตัดของใบพัดแบบกึ่งเปิด	5
2.5 เรือนสูบแบบโวลูทเดียวจะใช้ในเครื่องสูบน้ำชนิดสแตจเดียว	5
2.6 เรือนสูบแบบโวลูทคู่จะใช้ในเครื่องสูบน้ำชนิดหลายสแตจ.....	6
2.7 เพลลา	6
2.8 ลูกปืน.....	6
2.9 แหวนเรือนสูบ.....	7
2.10 เมคานิคอลซีล.....	7
2.11 ข้อต่อเพลลา.....	7
2.12 วาล์วระบายอากาศและกรวยกรอกน้ำ	8
2.13 ภาพแสดงความดันบรรยากาศ.....	8
2.14 แสดงเฮดสถิตย์.....	10
2.15 ภาพแสดงการสูญเสียเฮด	11
2.16 ภาพแสดงเฮดของปั๊ม.....	13
3.1 ปั๊มหอโย่ง.....	15
3.2 เครื่องมือวัดแรงบิด	16
3.3 เกจสูญญากาศ	16
3.4 เกจวัดแรงดัน	16
3.5 ลักษณะโครงสร้างของโรตารีเตอร์และทิศทางการไหลของของไหล	17
3.6 ตัวอย่างลักษณะลูกลอยแบบต่าง ๆ	17
3.7 โรตารีเตอร์รูปแบบต่างๆ	17
3.8 Tachometer	18
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดปั้มน้ำกับอัตราการไหลของปั้มน้ำตัวที่ 1	20
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพปั้มน้ำกับอัตราการไหลของปั้มน้ำตัวที่ 1.....	21
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์สมรรถนะของปั้มน้ำตัวที่ 1	21
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดปั้มน้ำกับอัตราการไหลของปั้มน้ำตัวที่ 2.....	22
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพปั้มน้ำกับอัตราการไหลของปั้มน้ำตัวที่ 2.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์สมรรถนะของปั๊มตัวที่ 2	23
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดปั๊มน้ำกับอัตราการไหลต่อระบบอนุกรม	24
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพปั๊มน้ำกับอัตราการไหลต่อระบบอนุกรม.....	25
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์สมรรถนะของปั๊มระบบอนุกรม	25
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดปั๊มน้ำกับอัตราการไหลต่อระบบขนาน	26
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพปั๊มน้ำกับอัตราการไหลต่อระบบขนาน.....	27
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์สมรรถนะของปั๊มระบบขนาน.....	27
4ข. Moody chart diagram	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pump) หรือที่เรียกกันว่า ปั๊มหอยโข่ง โดยเป็นอุปกรณ์สำหรับเพิ่มแรงดันของน้ำ ซึ่งมีทั้งแบบที่ใช้มอเตอร์และแบบที่ใช้เครื่องยนต์ ทำหน้าที่หมุนส่งกำลังให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อเพิ่มแรงดันและส่งน้ำไปตามท่อที่ใช้ในบ้านส่วนใหญ่จะเป็นแบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายและสามารถเจอได้ในชีวิตประจำวันในการทำงานบางครั้งลักษณะงานปั๊มตัวเดียวไม่สามารถรองรับการใช้งาน ความดันเสดหรืออัตราการไหลโดยปั๊มเพียงตัวเดียวไม่เพียงพอต่อความต้องการของระบบหรือกระบวนการต่างๆ เช่น การส่งของเหลวขึ้นไปในที่สูง ในบางครั้งปั๊มตัวเดียวอาจจะมีค่าความดันเสดไม่เพียงพอโดยวิธีแก้ไขนั่นก็คือ การเปลี่ยนปั๊มน้ำที่มีค่า

ความดันเสดที่มากขึ้น หรือวิธีแก้ก็คือการใช้ระบบปั๊มน้ำที่มากกว่า 2 ตัวขึ้นไปมาทำการต่อระบบอนุกรม ซึ่งจะส่งผลให้ความดันเสดเพิ่มมากยิ่งขึ้นจนสามารถส่งของเหลวขึ้นไปในที่สูงได้ตามที่เราต้องการ ในอีกกรณีหนึ่งหากกระบวนการผลิตที่เราใช้ต้องการอัตราการไหลจำนวนมาก ดังนั้นปั๊มตัวเดียวในข้างต้นอาจจะให้อัตราการไหลของปั๊มตัวเดียวไม่เพียงพอต่อกระบวนการผลิต วิธีแก้ไขในทางแรกจะเหมือนกับวิธีแก้ไขเรื่องความดันเสดไม่เพียงพอนั่นคือการเปลี่ยนปั๊มน้ำใหม่ที่มีอัตราการไหลเพียงพอกับระบบ อีกวิธีคือการต่อปั๊มน้ำแบบขนาน ที่สามารถเพิ่มอัตราการไหลให้แก่ระบบของเราได้ โดยใช้ระบบปั๊มน้ำที่มากกว่า 2 ตัวขึ้นไปมาทำการต่อแบบขนาน ซึ่งจะส่งผลให้มีอัตราการไหลในระบบมากยิ่งขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การต่อปั๊มน้ำในแบบอนุกรมสามารถช่วยเพิ่มค่าความดันเสดได้ ส่วนการต่อปั๊มแบบขนานจะเป็นการเพิ่มอัตราการไหลแทน โดยการต่อแต่ละระบบจะเพิ่มความสามารถแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายตามความต้องการของระบบที่เราจะใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ออกแบบชุดทดลองและจัดทำชุดทดลองสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบอนุกรมและขนานเพื่อใช้งานในห้องปฏิบัติการทดลองทางวิศวกรรมเครื่องกล

1.2.2 ทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งและหาค่าต่างๆในการต่อแบบอนุกรมและการต่อแบบขนาน รวมถึงหาค่าต่างๆของปั๊มเพียงตัวเดียวด้วย

1.2.3 จัดทำเอกสารประกอบการเรียนการสอนเพื่อใช้ในชุดปฏิบัติการ

1.2.4 นำเสนอแนวคิดการออกแบบระบบปั๊มน้ำเบื้องต้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นในการศึกษาและให้ความรู้ในการออกแบบปั้มน้ำระบบพื้นฐานโดยจะมีการทดสอบสมรรถนะของปั้มน้อยโง่ 2 ตัว ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทหลักคือ การทดสอบโดยปั้มน้ำเพียงตัวเดียว , การทดสอบปั้มน้ำ 2 ตัวโดยต่อแบบอนุกรม , การทดสอบปั้มน้ำ 2 ตัวโดยต่อแบบขนาน และนำค่าที่ได้จากระบบปั้มต่างๆมาทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงประสิทธิภาพ (Performance cave) เพื่อดูค่าที่เพิ่มขึ้นจากการต่อแบบระบบต่างๆ โดยที่ชุดอุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นจะนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ความรู้ด้านการออกแบบปั้ม

1.4 วิธีการดำเนินงาน

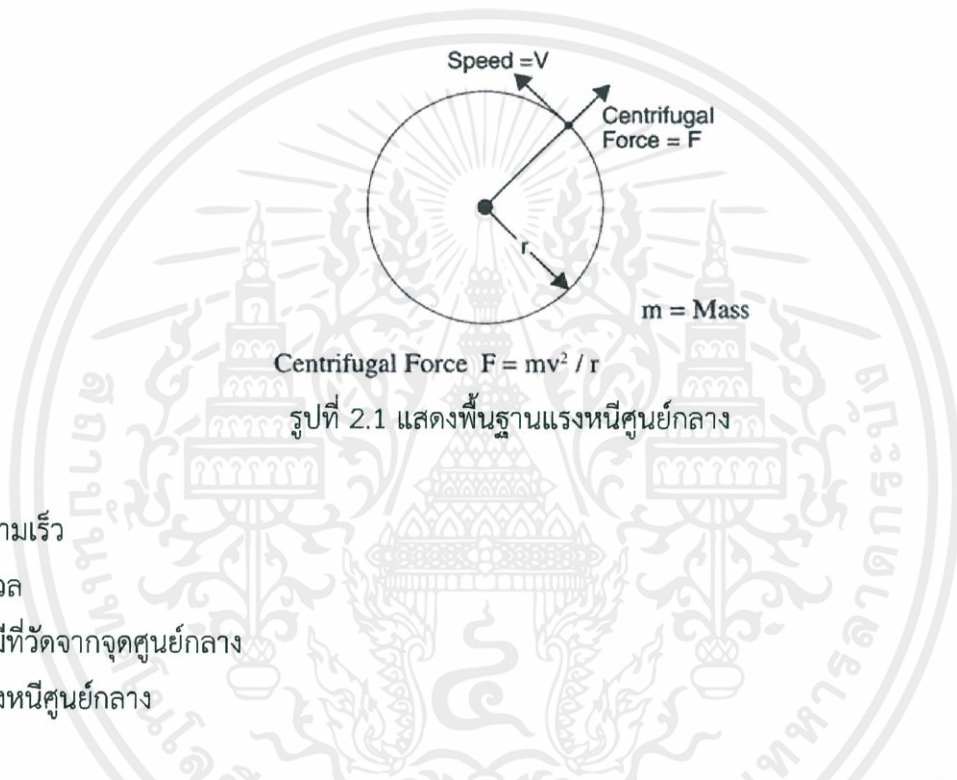
โครงการนี้เริ่มต้นจากคณะผู้จัดทำต้องการศึกษาเกี่ยวกับระบบปั้มน้ำที่พบเจอในชีวิตประจำวัน จึงทำการศึกษาทฤษฎีหลักการทำงานของปั้มน้ำ โดยเลือกใช้ปั้มน้อยโง่เพราะเป็นปั้มที่นิยมใช้งานอย่างมาก และเป็นพื้นฐานของปั้มที่สามารถศึกษาได้ง่าย โดยทำการติดตั้งปั้มแบบอนุกรมและแบบขนาน ซึ่งทำการออกแบบเดินระบบท่อโดยอาศัยการเปิดปิดของวาล์วน้ำ เพื่อสร้างชุดทดลองทดสอบสมรรถนะของปั้มน้อยโง่ตามระบบที่กล่าวมาข้างต้นและทำการเก็บข้อมูลการทดลอง เพื่อหาแนวโน้มที่ถูกต้อง รวมไปถึงจัดทำเอกสารให้ความรู้ เพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการทดลองทางวิศวกรรมเครื่องกล

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของปั๊มหอโย่ง

หลักการทำงานของปั๊มหอโย่งนั้นต้องทำความเข้าใจถึงเรื่องพื้นฐานของแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการหมุนของใบพัดในปั๊มน้ำด้วยความเร็ว ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วกกำลังสอง



V = ความเร็ว

m = มวล

r = รัศมีที่วัดจากจุดศูนย์กลาง

F = แรงหนีศูนย์กลาง

เมื่อเข้าใจหลักการของแรงที่ใช้ในการส่งน้ำออกจากปั๊มแล้ว เมื่อแรงหนีศูนย์กลางกระทำต่อน้ำในปั๊ม ความดันทางด้านบริเวณศูนย์กลางของปั๊มจะต่ำลงเกือบจะเป็นสุญญากาศ ความดันของบรรยากาศภายนอกจะดันน้ำจากบ่อพักน้ำเข้าไปยังบริเวณศูนย์กลางของปั๊มน้ำ การหมุนของใบพัดในปั๊มน้ำทำให้เกิดสุญญากาศและแรงหนีศูนย์กลางพร้อมๆกัน ความต่อเนื่องของการหมุนนี้ทำให้น้ำเคลื่อนที่ผ่านปั๊มจากระดับต่ำไปขึ้นสู่ที่สูงได้ จาที่เราต้องการ

2.2 ประเภทของปั๊มน้ำ

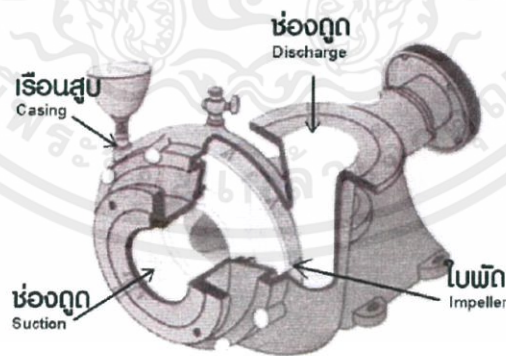
ปัจจุบันมีการจัดแบ่งประเภทของปั๊มน้ำหลายรูปแบบ และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปมากมาย ดังนั้นจึงมี การจัดหมวดหมู่ออกได้เป็น 2 แบบคือ

1. แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม ได้แก่
 - ก. ประเภทปั๊มแรงเหวี่ยง หรือปั๊มเหวี่ยง (Centrifugal) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ปั๊มแบบนี้บางครั้งเรียกว่าแบบ Rota – dynamic
 - ข. ประเภทโรตารี (Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง
 - ค. ประเภทลูกสูบชัก (Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ
 - ง. ประเภทพิเศษ (Special) เป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษ ไม่สามารถจัดอยู่ในทั้งสามประเภทที่กล่าวมา
2. แยกตามลักษณะการขับเคลื่อนของเหลวในปั๊ม แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ
 - ก. ประเภททำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Dynamic) เป็นปั๊มประเภทอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและแบบพิเศษ
 - ข. ประเภททำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Positive Displacement) คือการเคลื่อนที่โดยอาศัยชิ้นส่วนของ เครื่องสูบ ปั๊มประเภทนี้จะรวมเอาแบบโรตารีและแบบลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มด้วย

นอกจากการแบ่งเป็นสองแบบตามที่กล่าวมาแล้ว ยังอาจแบ่งปั๊มตามวัตถุประสงค์การใช้งานของแต่ละชนิดด้วยเช่น ปั๊มดับเพลิง ปั๊มลม ปั๊มสุญญากาศ ปั๊มบาดาล เป็นต้น ซึ่งในที่นี้เราจะใช้งานปั๊มประเภท ก. ปั๊มแรงเหวี่ยง หรือปั๊มเหวี่ยง (Centrifugal)

2.3 โครงสร้างและชิ้นส่วนของปั๊มน้ำชนิดเหวี่ยง

ปั๊มน้ำแบบเหวี่ยงสามารถสูบน้ำด้วยการทำงานมีส่วนประกอบ 4 ส่วน คือ



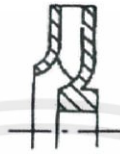
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของปั๊ม

1. ใบพัด (Impeller): เป็นส่วนที่ทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางต่อน้ำที่อยู่ภายในเรือนสูบ
2. เรือนสูบ (Casing): เป็นส่วนที่เปลี่ยนแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากใบพัดให้เป็นแรงดันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ช่องดูด (Suction): ทำหน้าที่เป็นท่อทางน้ำเข้าของปั๊มน้ำ
4. ช่องดูด (Discharge): ทำหน้าที่เป็นท่อทางส่งน้ำออกของปั๊มน้ำ

2.3.1 ใบพัด (impeller)



รูปที่ 2.3 ภาพตัดของใบพัดแบบเปิด

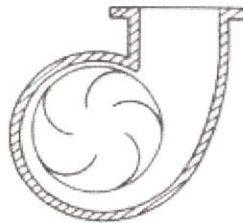
2.3.1.1 ใบพัดแบบเปิด (En-closed impeller) มีประสิทธิภาพดี แต่ละเครื่องมีประสิทธิภาพเกาะกลุ่ม มีวัสดุแลกเปลี่ยนจะอุดตันใบพัดง่ายกว่า ซึ่งมักใช้ในการดูดน้ำใส หรือน้ำสะอาด



รูปที่ 2.4 ภาพตัดของใบพัดแบบกึ่งเปิด

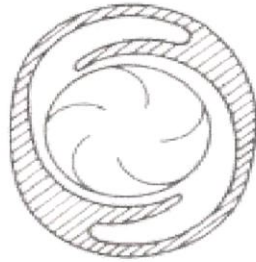
2.3.1.2 ใบพัดแบบกึ่งเปิด (Semi-opened impeller) มีประสิทธิภาพดี แต่ละเครื่องแตกต่างกันมากกว่าแบบปิด สามารถสูบน้ำที่มีวัสดุแลกเปลี่ยนได้บ้างโดยไม่มีการอุดตัน

2.3.2 เรือนสูบ (Casing)



รูปที่ 2.5 เรือนสูบแบบโวลูทเดี่ยวจะใช้ในเครื่องสูบน้ำชนิดสเตจเดียว (Single stage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ โดยศูนย์ส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศในต่างประเทศ
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เรือนสูบแบบโวลูทคู่จะใช้ในเครื่องสูบลมชนิดหลายสเตจ (Multi stage)

2.3.3 เพลา (Shaft) เพลาที่มีหน้าที่ถ่ายทอดกำลังหรือแรงบิดจากเครื่องสูด ไปยังใบพัดของ เครื่องสูบ เพลาสามารถรับแรงต่างๆในเครื่องสูบได้ มักจะทำจากเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel)



รูปที่ 2.7 เพลา (Shaft)

2.3.4 ลูกปืน (Bearing) ใช้สำหรับรองรับภาระที่เกิดจากใบพัดและเพลาพร้อมกับแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้น ขณะเครื่องสูบทำงานโดยส่วนมากแบริงเป็นตลับลูกปืน (Ball Bearing)



รูปที่ 2.8 ลูกปืน (Bearing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 แหวนเรือนสูบ (Casing Ring) เป็นแหวนที่ติดอยู่บนเครื่องสูบลมตรงส่วนที่อยู่ชิดกับใบพัดซึ่งจะมีช่องว่าง แคบๆ (gap) เพื่อป้องกันไม่ให้ใบพัดสีกับตัวเรือน



รูปที่ 2.9 แหวนเรือนสูบ (Casing Ring)

2.3.6 เมคานิคอลซีล (Mechanical Seal) ป้องกันการรั่วซึมได้อย่างสมบูรณ์เพลาไม่สึก ไม่จำเป็นต้องมีการปรับแต่งกันรั่วในขณะที่เครื่องสูบลมทำงาน



รูปที่ 2.10 เมคานิคอลซีล (Mechanical Seal)

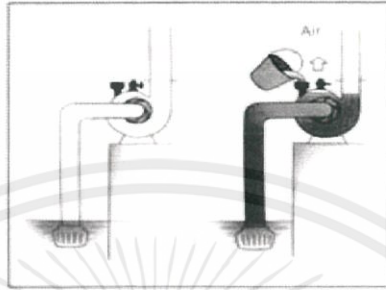
2.3.7 ข้อต่อเพลา (Coupling) เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ต่อเพลาของเครื่องสูบลมเข้ากับเพลาของมอเตอร์ ทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงบิดจากเพลาของมอเตอร์ไปยังเพลาของปั้มน้ำ



รูปที่ 2.11 ข้อต่อเพลา (Coupling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8 วาล์วระบายอากาศและกรวยรอกน้ำ เพื่อใช้เติมน้ำให้เต็มท่อดูดและตัวปั้มน้ำ เพื่อไล่อากาศ ก่อนการเดินปั้มน้ำ ปั้มน้ำและท่อดูดจะต้องมีน้ำเต็มท่อ คือต้องมีการล่อน้ำเพื่อไล่อากาศ การไล่อากาศดังกล่าวจะทำให้เกิดสุญญากาศภายในช่อง ทำให้ปั้มน้ำสามารถสูบน้ำได้ ซึ่งในปั้มน้ำหอยโข่งบางรุ่นสามารถล่อน้ำด้วยตนเองได้

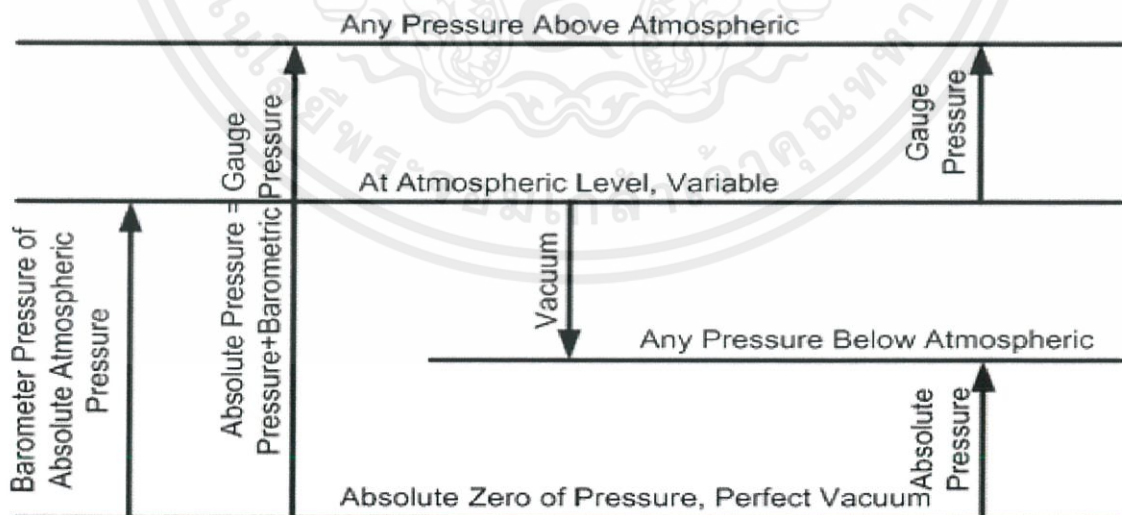


รูปที่ 2.12 วาล์วระบายอากาศและกรวยรอกน้ำ

2.4 ความดันและเฮดในระบบ

ในการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของปั้ม จำเป็นต้องทราบทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับของเหลว ความดัน และหัวน้ำหรือเฮดของปั้ม ดังนี้

2.4.1 ความดันของบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนผิวโลกแต่เนื่องจากว่าลักษณะการวัดความดันมี 2 แบบ ตามภาพ



รูปที่ 2.13 ภาพแสดงความดันบรรยากาศ

จากภาพความดันของบรรยากาศมีค่าศูนย์อย่างแท้จริงหรือไม่มีความดันเลยซึ่งเกิดขึ้นได้โดยการดูด

อากาศออกหมดจนเป็นสุญญากาศที่แท้จริงเรียกว่า ความดันศูนย์สมบูรณ์ (Absolute Zero Pressure) ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น มิใช่ให้ผู้ใดเห็นชอบหรือเห็นว่าการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันใด ๆ ที่วัดจากค่าความดันพื้นฐานนี้เรียกว่า ความดันสมบูรณ์ (Absolute Pressure, P_{abs}) รวมทั้งความดันของบรรยากาศซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับ 101.325 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร (kN/m^2) หรือ 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้วก็เป็นความดันสมบูรณ์ด้วย แต่เนื่องจากว่าอุปกรณ์ที่ใช้วัดเรียกว่า บาโรมิเตอร์ (Barometer) ค่าความกดตันของบรรยากาศที่วัดได้จึงเรียกว่า ความดันจากบาโรมิเตอร์ (Barometer Pressure, P_b)

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันโดยทั่วไปเป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าที่แตกต่างไปจากความกดตันของบรรยากาศ ค่าที่วัดได้เรียก ความดันจากเกจ (Gauge Pressure, P_g) ซึ่งอาจมีค่าได้ทั้งบวกและลบจากภาพจะเห็นได้ว่าสามารถเปลี่ยนความดันจากเกจให้เป็นความดันสมบูรณ์ได้โดย

ความดันสมบูรณ์ = ความดันจากบาโรมิเตอร์ + ความดันจากเกจ

$$P_{abs} = P_b + P_g$$

ค่าความกดตันของบรรยากาศหรือความกดตันจากบาโรมิเตอร์

$$P_b = 1013 - 0.1055 EL$$

ในเมื่อ P_b เป็นความดันของบรรยากาศมีหน่วยเป็นมิลลิบาร์หนึ่งมิลลิบาร์ เท่ากับ 0.0145 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือคิดเป็นความสูงของแท่งน้ำที่ $4^\circ C$ ได้เท่ากับ 0.010197 เมตร และ EL เป็นระดับความสูงของพื้นผิวที่ต้องการทราบความกดตันเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางมีหน่วยเป็นเมตร

ในการคำนวณเกี่ยวกับการติดตั้งปั๊ม ค่าความกดตันของบรรยากาศที่ใช้มีหน่วยเป็นความสูงของแท่งน้ำหรือเฮดเป็นเมตรค่าดังกล่าวจะคำนวณได้จากสมการ

$$H_p = 10.33 - 0.00108EL$$

โดย H_p เป็นความกดตันบรรยากาศเทียบให้เป็นความสูงของแท่งน้ำที่ $4^\circ C$ มีหน่วยเป็นเมตร

2.4.2 เฮดความดัน (Pressure Head, H_p) ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) แล้ว ถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลว นั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure Head)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน P และ เฮดความดัน H_p คือ

$$H_p = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g}$$

เมื่อ γ = น้ำหนักจำเพาะ

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

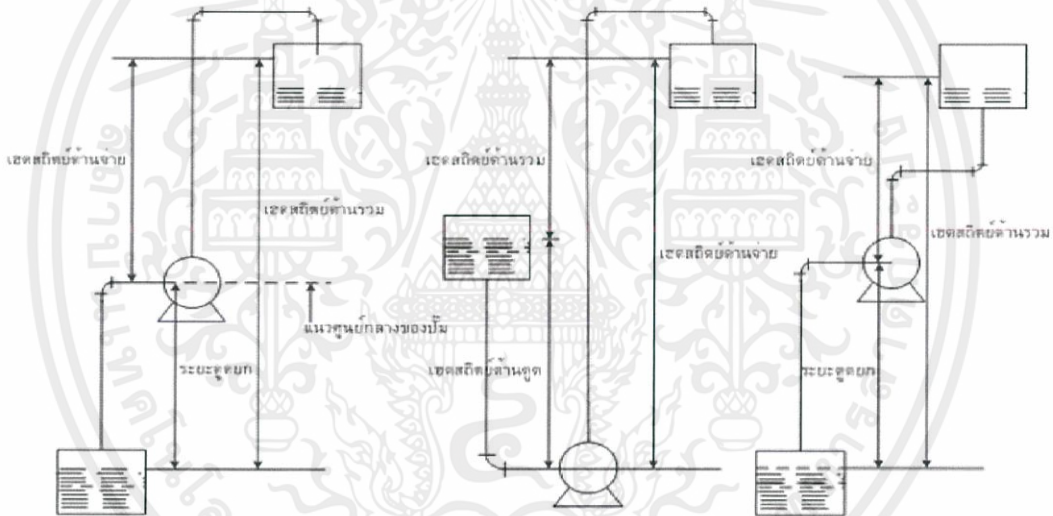
g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

2.4.3 เฮดความเร็ว (Velocity Head, H_v) ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใด ๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่พลังงานในส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเฮดคือ

$$H_v = \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ V = ความเร็วของของไหล
 g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

2.4.4 เฮดสถิตย์ (Static Head, H_s) ในการทำงานของปั๊มโดยทั่วไปของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้มันไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่า ความดันซึ่งคิดเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของปั๊มทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์เรียกว่า เฮดสถิตย์ (Static Head)



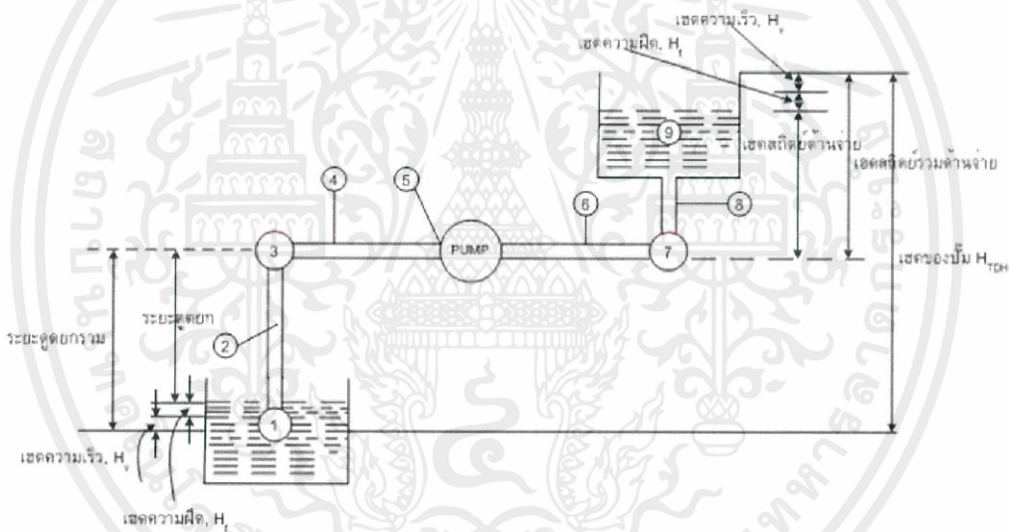
รูปที่ 2.14 แสดงเฮดสถิตย์

ตามภาพระยะทางในแนวตั้งที่บอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวหรือเฮดจากศูนย์กลางของปั๊มถึงปลายของท่อจ่ายเรียกว่า เฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head) ระยะจากจุดศูนย์กลางของปั๊มถึงระดับผิวของของเหลวที่ปลายของท่อดูดซึ่งอยู่สูงกว่า เรียกว่า เฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ถ้าผิวของของเหลวอยู่ต่ำกว่า (ภาพที่ a) และความดันที่ศูนย์กลางของปั๊มจะมีค่าเป็นลบ ในกรณีนี้จะเรียกว่า ระยะดูดยก (Static Suction Lift) แทน

เฮดรวมสถิตย์รวม (Total Static Head) ก็คือผลต่างทางพีชคณิตของเฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head) กับเฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ค่าดังกล่าวนี้เป็นเฮดต่ำสุดที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวก่อนที่จะมีการไหลเกิดขึ้น

2.4.5 เฮดความฝืด (Friction Head, H_f) ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านระบบท่อทั้งด้านดูดและจ่ายพลังงานหรือเฮดในการไหลส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังของท่อและส่วนประกอบต่างๆซึ่งเราเรียกว่า เฮดความฝืด (Friction Head) การเสียเฮดทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่านระบบท่อซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ดังนั้นขณะที่ปั๊มกำลังทำงาน ระยะเวลาดูดยกรวมที่เกิดขึ้นจริงจะเท่ากับระยะดูดยก(Static Suction Lift) รวมกับเฮดความฝืดทางด้านดูดทั้งหมดตั้งแต่จุดที่ 1 ถึงจุด 5 ในกรณีนี้ของเหลวทางด้านดูดอยู่สูงกว่าศูนย์กลางของปั๊ม เฮดด้านดูดรวม(Total Static Head) ที่เกิดขึ้นจริงจึงเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านดูด(Static Suction Head)

สำหรับทางด้านจ่ายก็เช่นเดียวกัน คืออาจจะรวมการเสียเฮดที่จุดที่ 6 ถึง 9 เข้าด้วยกันเป็นเฮดความฝืด และเฮดรวมด้านจ่าย (Total Discharge Head) ที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่ปั๊มการทำงานจะเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านจ่ายรวมกับเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านจ่าย ในระบบสูบน้ำโดยทั่วไปการเสียเฮดเนื่องจากความฝืดอาจเกิดขึ้นได้หลายจุดดังภาพข้างล่าง



รูปที่ 2.15 ภาพแสดงการสูญเสียเฮด

จุดที่ 1 เป็นการเสียเฮดความเร็วเนื่องจากการไหลเข้าท่อ (Entrance loss) ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปทรงและอุปกรณ์ที่ปลายท่อดูด

จุดที่ 2 เป็นการเสียเฮดเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังท่อ

จุดที่ 3 เป็นการเสียเฮดเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางการไหล

จุดที่ 4 เป็นการเสียเฮดในเส้นท่อเหมือนจุดที่ 2

จุดที่ 5 เป็นการเสียเฮดที่อุปกรณ์ทางด้านดูดของปั๊มลบด้วยเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านดูด

สำหรับทางด้านจ่ายก็เช่นเดียวกัน คืออาจจะรวมการเสียเฮดที่จุดที่ 6 ถึง 9 เข้าด้วยกันเป็นเฮดความฝืด และเฮดรวมด้านจ่าย (Total Discharge Head) ที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่ปั๊มการทำงานจะเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านจ่ายรวมกับเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านจ่าย

2.4.5.1 การสูญเสียเฮดน้ำในท่อเนื่องจากความฝืดในท่อ (Major Loss)

จากวิธี Dracy-Weisbach

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

โดย f คือสัมประสิทธิ์ความฝืด ไม่มีหน่วย

L คือความยาวของท่อ มีหน่วยเป็น m

D คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ มีหน่วยเป็น m

V คือความเร็วของการไหลภายในท่อ m/s

โดยสัมประสิทธิ์ความฝืดหาจาก Moody Diagram โดยต้องทราบค่าของตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหล (Reynolds Number, Re)

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu}$$

โดย μ คือความหนืดไดนามิก มีหน่วยเป็น $\frac{kg}{m \cdot s}$

ν คือความหนืดไคเนมาติก มีหน่วยเป็น $\frac{m^2}{s}$

2.4.5.2 การสูญเสียเฮดน้ำในท่อเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์ (Minor Loss)

$$H_{Le} = K \frac{V^2}{2g}$$

โดย K คือสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์ ไม่มีหน่วย

2.4.6 เสดรวมของระบบ (System Head Curve) เสดรวมของระบบ (Total Dynamic Head) มีค่าเท่ากับ เสดสถิตรวมกับการสูญเสียรวม

$$TDH = (Z_2 - Z_1) + f \frac{L V^2}{D 2g} + K \frac{V^2}{2g}$$

$$TDH = (Z_2 - Z_1) + C Q^2$$

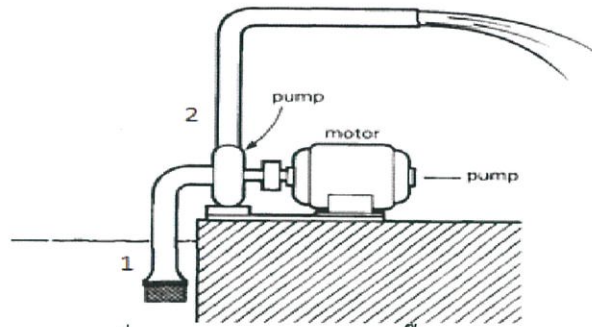
$$C = \left(f \frac{L}{D} + K \right) \frac{1}{2gA^2}$$

โดย A คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ มีหน่วยเป็น m^2

2.4.7 เสดของปั๊ม (Head pump)

$$H_{pump} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ภาพแสดงเฮดของปั๊ม

โดยค่า P คือความดันของของไหล ณ จุดนั้นๆ มีหน่วยเป็น P_a

2.5 ประสิทธิภาพของปั๊มหอยโข่ง

2.5.1 ประสิทธิภาพของปั๊ม

ประสิทธิภาพของปั๊มมีหลายรูปแบบดังนี้

$$2.5.1.1 \text{ volumetric efficiency} = \frac{\text{อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านใบพัดปั๊ม}}{\text{อัตราการไหลของน้ำที่เข้าปั๊ม}} = \frac{Q_{actual}}{Q_{theory}}$$

โดย Q_{actual} คือ อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านใบพัดปั๊ม มีหน่วยเป็น $\frac{m^3}{s}$

Q_{theory} คือ อัตราการไหลของน้ำที่เข้าปั๊ม มีหน่วยเป็น $\frac{m^3}{s}$

$$2.5.1.2 \text{ Mechanical efficiency} = \frac{\text{กำลังงานที่ขับใบพัดปั๊ม}}{\text{กำลังงานจากมอเตอร์}} = \frac{T_{actual} \cdot \omega}{T_{theory} \cdot \omega}$$

โดย ω คือ ความเร็วเชิงมุมของแกนเพลจากมอเตอร์ที่ขับใบพัดปั๊ม มีหน่วยเป็น $\frac{rad}{s}$

T_{actual} คือ แรงบิดที่ขับใบพัดปั๊ม มีหน่วยเป็น $N \cdot m$

T_{theory} คือ แรงบิดที่ออกจากมอเตอร์ มีหน่วยเป็น $N \cdot m$

$$2.5.1.3 \text{ Hydraulic efficiency} = \frac{\text{กำลังงานที่น้ำได้รับจากใบพัดปั๊ม}}{\text{กำลังงานที่ขับใบพัดปั๊ม}} = \frac{P \cdot Q_{actual}}{T_{actual} \cdot \omega}$$

โดย Q_{actual} คือ อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านใบพัดปั๊ม มีหน่วยเป็น $\frac{m^3}{s}$

ω คือ ความเร็วเชิงมุมของแกนเพลจากมอเตอร์ที่ขับใบพัดปั๊ม มีหน่วยเป็น $\frac{rad}{s}$

T_{actual} คือ แรงบิดที่ขับใบพัดปั๊ม มีหน่วยเป็น $N \cdot m$

P คือ ความดันของน้ำที่ได้รับจากปั๊ม มีหน่วยเป็น Pa

โดยทั่วไปในการศึกษาตัวปั๊มรูปแบบต่างๆ *Hydraulic efficiency* ได้ถูกใช้นำมาเป็นพารามิเตอร์ในการบ่งบอกประสิทธิภาพของปั๊มอย่างแพร่หลายทั่วโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยประสิทธิภาพใน pump product catalog จะใช้ *Hydraulic efficiency* เป็นหลักเพียงแต่ บางรายอาจเขียนเพียง *efficiency* เท่านั้น
 ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ทางคณะจึงใช้ *Hydraulic efficiency* เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึง ประสิทธิภาพของปั๊มรูปแบบต่างๆ เช่นกัน

2.5.2 ประสิทธิภาพของปั๊มตัวเดียว

$$\eta = \text{Hydraulic efficiency} = \frac{\text{กำลังงานที่น้ำได้รับจากใบพัดปั๊ม}}{\text{กำลังงานที่ขับใบพัดปั๊ม}}$$

$$= \frac{P \cdot Q_{\text{actual}}}{T_{\text{actual}} \cdot \omega}$$

2.5.3 ประสิทธิภาพของปั๊มในระบบขนาน

$$\eta = \frac{\rho g Q h_{p(\text{average})}}{P_{\text{input1}} + P_{\text{input2}}}$$

โดย $h_{p(\text{average})} = \frac{h_{p(\text{pump1})} + h_{p(\text{pump2})}}{2}$

P_{input1} = กำลังที่ป้อนให้กับปั๊มตัวที่ 1

P_{input2} = กำลังที่ป้อนให้กับปั๊มตัวที่ 2

2.5.4 ประสิทธิภาพของปั๊มในระบบอนุกรม

$$\eta = \frac{\rho g Q h_{p2}}{P_{\text{input1}} + P_{\text{input2}}}$$

บทที่ 3

ชุดทดสอบปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนาน

3.1 ชุดทดสอบปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนานและส่วนประกอบชุดอุปกรณ์

ชุดทดสอบปั๊มหอยโข่งชุดนี้ สามารถทดสอบสมรรถนะของระบบปั๊มได้ทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน รวมไปถึงการทดสอบโดยเปิดการทำงานของปั๊มเพียงตัวเดียวด้วย โดยส่วนประกอบของชุดทดสอบนี้ประกอบไปด้วย ปั๊มหอยโข่ง 1.5HP จำนวน 2 ตัว และทำการเดินระบบท่อน้ำ บังคับการไหลของน้ำโดยใช้เกทวาล์ว จำนวน 3 ตัว โกลบวาล์วจำนวน 1 ตัว เพื่อให้ได้การเดินระบบแบบอนุกรมและขนาน โดยสามารถอ่านค่าที่ใช้ในการคำนวณจากเกจสูญญากาศและเกจวัดความดันเพื่อวัดแรงดันทางด้านดูดและด้านจ่ายน้ำของปั๊มและวัดอัตราการไหลจากการจับเวลาที่ปั๊มน้ำสูบได้และวัดทอร์คของมอเตอร์ที่ให้กับตัวปั๊มโดยใช้อุปกรณ์ชื่อว่า balance motor จำนวน 2 ชุด

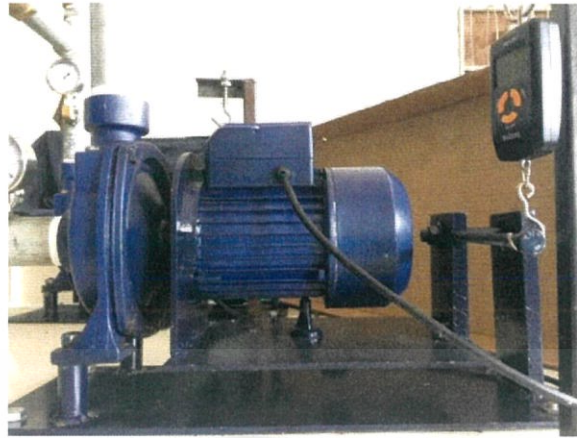
3.1.1 ปั๊มหอยโข่ง ในชุดทดสอบนี้ใช้ ปั๊มยี่ห้อ Fujiwa หอยโข่ง 1.5HP Head ของปั๊ม 20 อัตราการไหล 300 L/min รอบการทำงาน 2850 RPM โดยใช้แรงดันไฟ 220 V 50Hz จำนวน 2 ตัว



รูปที่ 3.1 ปั๊มหอยโข่ง

3.1.2 อุปกรณ์วัดแรงบิด ในการวัดแรงบิดของปั๊มเราเลือกที่จะใช้วิธีที่ชื่อว่าbalance motor โดยที่สามารถคำนวณหาแรงบิดได้จาก กำลังของเพลลาที่ส่งให้ตัวใบพัดปั๊มน้ำขณะที่ปั๊มน้ำมีไหลตกกระทำอยู่(น้ำถูกดูดไปใช้งาน) ซึ่งทุกสิ่งที่มีมวลจะมีโมเมนต์ความเฉื่อย(Moment of Inertia)ที่เพลลาจะต้องส่งกำลังไปขับไหลลุด(ตัวใบพัดและน้ำ) การที่เราต้องการจะวัดแรงบิดนั้น จำเป็นต้องทำให้ตัวเรือนปั๊มเป็นอิสระจากตัวมอเตอร์ที่ให้กำลัง ทำให้ไม่มีแรงต้านโมเมนต์ของไหลที่สวนกลับมาได้ ดังนั้นจึงได้ทำการติดตั้งตัววัดค่าแรง ซึ่งการวัดค่านั้นจะดึงตัวมอเตอร์ให้กลับเข้าสู่สมดุล (ตำแหน่งเดิมก่อนเริ่มทำงาน) เพื่อที่จะวัดแรงและนำไปคำนวณหาแรงบิดได้จากสมการ โดยที่แรงบิดหาได้จากแรงคูณกับระยะทางตั้งฉากจากจุดที่แรงกระทำไปยังจุดหมุน ซึ่งตัววัดแรงเรามีการวัดค่าโดยเปิดปุ่ม On ตัววัดแรงจากนั้นคล้องแขนทอร์คจากนั้นกดปุ่ม Tare เพื่อเซตให้เป็น 0 จากนั้นเปิดการทำงานของปั๊มเพื่อดูค่าแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องมือวัดแรงบิด

3.1.3 อุปกรณ์วัดความดัน ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของปั๊มหอยโข่งจากสมการจำเป็นต้องทราบค่าแรงดันทั้งทางด้านดูดและจ่ายของปั๊มทั้งสองตัวในชุดทดสอบนี้เลือกที่จะใช้เกจสุญญากาศ (Vacuum gauge) และเกจวัดแรงดัน (Pressure gauge) ซึ่งจะถูกติดตั้งไว้ทางด้านดูดและทางด้านจ่ายของปั๊มทั้งสองตัว



รูปที่ 3.3 เกจสุญญากาศ

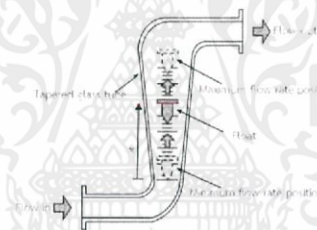


รูปที่ 3.4 เกจวัดแรงดัน

3.1.4 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล ใช้โรตاميเตอร์ (Rota meter) เป็นอุปกรณ์ใช้วัดการไหล (flow measurement) ที่สามารถวัดการไหลได้ทั้งของเหลวและก๊าซ โครงสร้างโดยทั่วไปของโรตاميเตอร์ประกอบด้วยท่อแก้วใสลักษณะเป็นรูปทรงกรวยวางตัวอยู่ในแนวตั้ง ภายในมีลูกกลอย (float) ที่สามารถเลื่อนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นเลื่อนลงได้อย่างอิสระตามค่าอัตราการไหลของของไหล โดยทั่วไปลูกลอยทำจากทองเหลือง สแตนเลส หรือพลาสติกชนิดพิเศษ ลูกลอยที่อยู่ภายในโรตاميเตอร์มีหลายรูปทรง มีจุดอ่านค่าแสดงไว้บนลูกลอย ออกแบบตามคุณสมบัติของไหลที่ต้องการวัดการไหลและย่านการวัด (range) อัตราการไหล เช่น ลูกลอยแบบทรงกลมเหมาะสำหรับการวัดอัตราการไหลในย่านความเร็วต่ำ สำหรับรูปทรงอื่น ๆ มีความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละงานที่แตกต่างกันไป โดยส่วนใหญ่ใช้ลูกลอยที่มีขอบเพื่อสร้างลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)

โดยทั่วไปท่อทรงกรวยทำจากแก้วใสเพื่อให้สามารถสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ของลูกลอยได้อย่างชัดเจน ซึ่งความหนานานของโรตاميเตอร์ชนิดท่อแก้วขึ้นอยู่กับสถานะการใช้งาน โดยความหนานานของท่อแก้วจะลดลงหรือเกิดการแตกได้ง่ายภายใต้สภาวะการใช้งานความดัน (pressure) สูง หรืออุณหภูมิ (temperature) สูง ดังนั้น ในการใช้งานบางกรณีที่ไม่สามารถใช้ท่อแก้วได้อาจออกแบบพิเศษใช้ท่อโลหะหรือในจุดใช้งานที่ไม่สามารถอ่านค่าโดยตรงจากลูกลอยได้อาจใช้โรตاميเตอร์ร่วมกับเครื่องมือวัดระดับ (level measurement) หรือระยะการเคลื่อนที่ (displacement measurement) ของลูกลอย โดยทำการสอบเทียบ (calibration) ค่าระยะการเคลื่อนที่ที่วัดได้กับค่าอัตราการไหลที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.5 ลักษณะโครงสร้างของโรตاميเตอร์และทิศทางการไหลของของไหล



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างลักษณะลูกลอยแบบต่างๆ



รูปที่ 3.7 โรตاميเตอร์รูปแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 หลักการทำงานของ Tachometer (เครื่องวัดความเร็วรอบ)

หลักการทำงานก็คือเมื่อแสงที่เกิดจาก Infrared LED ตกกระทบลงบนรอยต่อ base-collector จะทำให้เกิด electron ด้วยกระบวนการ Photoelectric Effect โดย electron ที่เกิดขึ้นนี้จะถูกฉีดเข้าขา base และจะถูกขยายโดย gain (β) ของ transistor ดังนั้นแล้วจึงนำหลักการนี้ไปใช้ตรวจจับวัดได้



รูปที่ 3.8 Tachometer

3.2 วิธีการทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง

ชุดทดสอบนี้ออกแบบของการส่งกำลังปั๊มในแบบอนุกรมและแบบขนานรวมไปถึงการทดสอบปั๊มเพียงตัวเดียวโดยทำการเดินเครื่องปั๊มน้ำและเปิด-ปิดวาล์วให้ได้ระบบที่ต้องการ ซึ่งขั้นตอนการทำงานแต่ละระบบมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 การทดสอบสมรรถนะปั๊มหอยโข่งเพียงตัวเดียวของปั๊ม 1 (Single stage)

1. ทำการเปิด Gate valve ตัวที่ 1 และ Globe valve และปิด Gate valve ตัวที่ 2 และ 3
2. เปิดสวิตซ์ On เครื่องวัดแรงตัวที่ 1 แล้วคล่องแขนทอร์ค จากนั้นกดปุ่ม Tare เพื่อเซตค่าให้เป็น 0 ในหน่วย kg จากนั้นกดปุ่มเปิดสวิตซ์ให้ปั๊มตัวที่ 1 เริ่มทำงาน
3. บันทึกค่าต่างๆจากเครื่องวัดแรงบิด, เกจสุญญากาศ, เกจวัดความดันและอัตราการไหล
4. ทำการบันทึกค่าต่างๆเมื่อบันทึกจนครบให้ทำการหรี Globe valve ลงแล้วอ่านค่าใหม่ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ทำเช่นนี้ซ้ำจนหรี Globe valve สุด
5. เมื่อบันทึกค่าสุดท้ายเสร็จทำการปิด Globe valve และปิดสวิตซ์เพื่อหยุดการทำงานของปั๊มหอยโข่งและปิดสวิตซ์ Off เครื่องวัดแรง
6. นำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาประสิทธิภาพของปั๊มและเขียนกราฟแสดงคุณลักษณะของปั๊มหอยโข่งแบบทำงานตัวเดียว

3.2.2 การทดสอบสมรรถนะปั๊มหอยโข่งเพียงตัวเดียวของปั๊ม 2 (Single stage)

1. ทำการเปิด Gate valve ตัวที่ 3 และ Globe valve และปิด Gate valve ตัวที่ 1 และ 2
2. เปิดสวิตซ์ On เครื่องวัดแรงตัวที่ 2 แล้วคล่องแขนทอร์ค จากนั้นกดปุ่ม Tare เพื่อเซตค่าให้เป็น 0 ในหน่วย kg จากนั้นกดปุ่มเปิดสวิตซ์ให้ปั๊มเปิดสวิตซ์ให้ปั๊มตัวที่ 2 เริ่มทำงาน
3. บันทึกค่าต่างๆจากเครื่องวัดแรงบิด, เกจสุญญากาศ, เกจวัดความดันและอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการบันทึกค่าต่างๆเมื่อบันทึกจนครบให้ทำการหรี Globe valve ลงแล้วอ่านค่าใหม่ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ทำเช่นนี้ซ้ำจนหรี Globe valve สุด
5. เมื่อบันทึกค่าสุดท้ายเสร็จทำการปิด Globe valve และปิดสวิตซ์เพื่อหยุดการทำงานของปั๊มหอยโข่งและปิดสวิตซ์ Off เครื่องวัดแรง
6. นำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาประสิทธิภาพของปั๊มและเขียนกราฟแสดงคุณลักษณะของปั๊มหอยโข่งแบบทำงานตัวเดียว

3.2.3 การทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งระบบขนาน

1. ถ้าต้องการให้ระบบปั๊มหอยโข่งเป็นแบบขนาน ให้ทำการเปิด Gate valve ตัวที่ 1 และ 3 และ Globe valve และทำการปิด Gate valve ตัวที่ 2
2. เปิดสวิตซ์ On เครื่องวัดแรงตัวที่1และ2แล้วคล้องแขนทอร์คจากนั้นกดปุ่มTareเพื่อเซตค่าให้เป็น 0 ในหน่วย kg จากนั้นกดปุ่มเปิดสวิตซ์ให้ปั๊มหอยโข่งตัวที่ 1 และ 2 ทำงาน
3. บันทึกค่าต่างๆจากเครื่องวัดแรงบิด, เกจสุญญากาศ, เกจวัดความดันและอัตราการไหล
4. ทำการบันทึกค่าต่างๆเมื่อบันทึกจนครบให้ทำการหรี Globe valve ลงแล้วอ่านค่าใหม่ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ทำเช่นนี้ซ้ำจนหรี Globe valve สุด
5. เมื่อบันทึกค่าสุดท้ายเสร็จทำการปิด Globe valve และปิดสวิตซ์เพื่อหยุดการทำงานของปั๊มหอยโข่งและปิดสวิตซ์ Off เครื่องวัดแรงทั้ง 2 ตัว
6. นำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาประสิทธิภาพของปั๊มและเขียนกราฟแสดงคุณลักษณะของปั๊มหอยโข่งแบบขนาน

3.2.4 การทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งระบบอนุกรม

1. ถ้าต้องการให้ระบบปั๊มหอยโข่งเป็นแบบอนุกรมให้ทำการเปิด Gate valve ตัวที่ 1, 2 และ Globe valve และทำการปิด Gate valve ตัวที่ 3
2. เปิดสวิตซ์ On เครื่องวัดแรงตัวที่ 1และ2 แล้วคล้องแขนทอร์คจากนั้นกดปุ่มTareเพื่อเซตค่าให้เป็น 0 ในหน่วย kg จากนั้นกดปุ่มเปิดสวิตซ์ให้แก่ปั๊มหอยโข่งตัวที่ 1 และ 2
3. บันทึกค่าต่างๆจากเครื่องวัดแรงบิด, เกจสุญญากาศ, เกจวัดความดันและอัตราการไหล
4. ทำการบันทึกค่าต่างๆเมื่อบันทึกจนครบให้ทำการหรี Globe valve ลงแล้วอ่านค่าใหม่ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ทำเช่นนี้ซ้ำจนหรี Globe valve สุด
5. เมื่อบันทึกค่าสุดท้ายเสร็จทำการปิด Globe valve และปิดสวิตซ์เพื่อหยุดการทำงานของปั๊มหอยโข่งและปิดสวิตซ์ Off เครื่องวัดแรงทั้ง 2 ตัว
6. นำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาประสิทธิภาพของปั๊มและเขียนกราฟแสดงคุณลักษณะของปั๊มหอยโข่งแบบอนุกรม

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้ในบทนี้จะบอกถึงแนวโน้มโดยแสดงในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ของเฮดระบบกับอัตราการไหลของของเหลว ซึ่งค่าที่นำมาใช้นั้นจะอยู่ในภาคผนวก ก โดยแบ่งแยกเป็นหัวข้อย่อยๆตามระบบที่ทำมา ได้แก่ ระบบปั๊มตัวที่ 1 ระบบปั๊มตัวที่ 2 ระบบปั๊มแบบอนุกรม ระบบปั๊มแบบขนาน

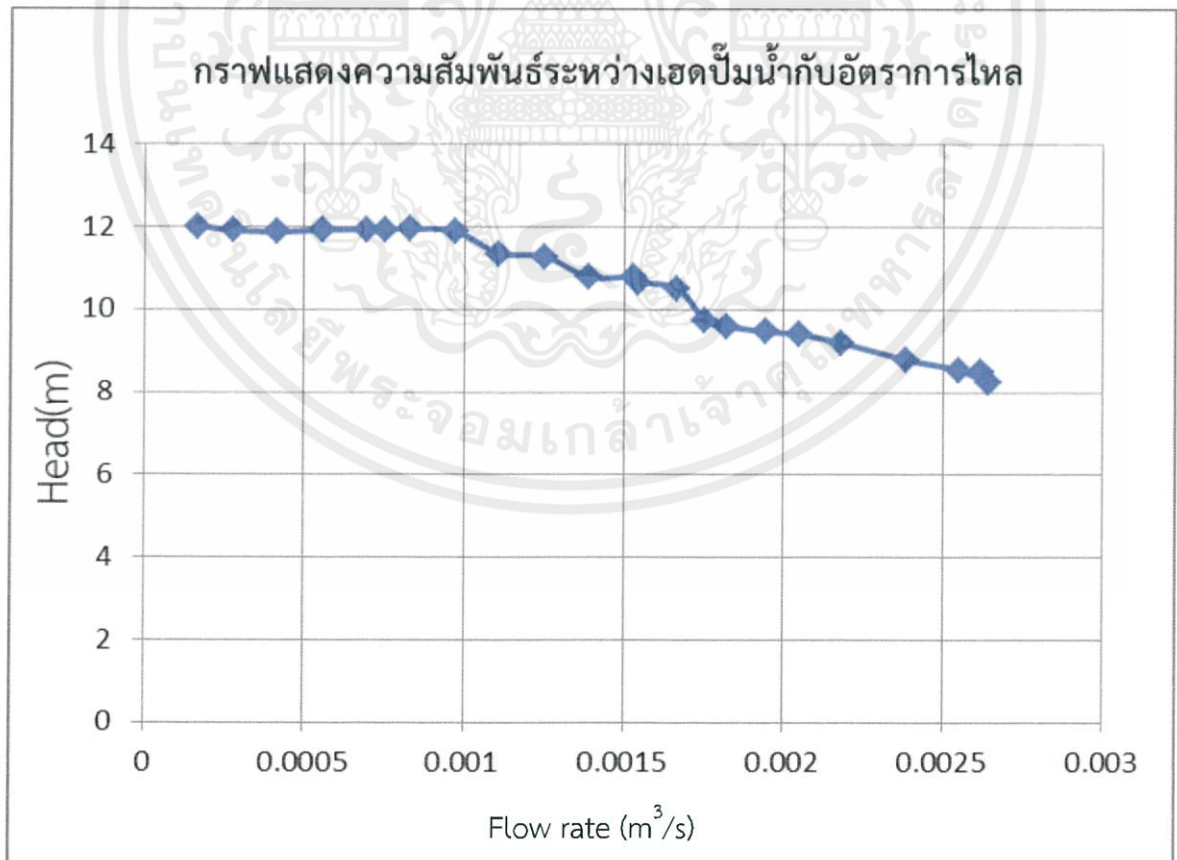
4.1 ผลการทดลองปั๊มตัวที่ 1

เฮดสูงสุดของปั๊มตัวที่ 1 เท่ากับ 12.0171 m

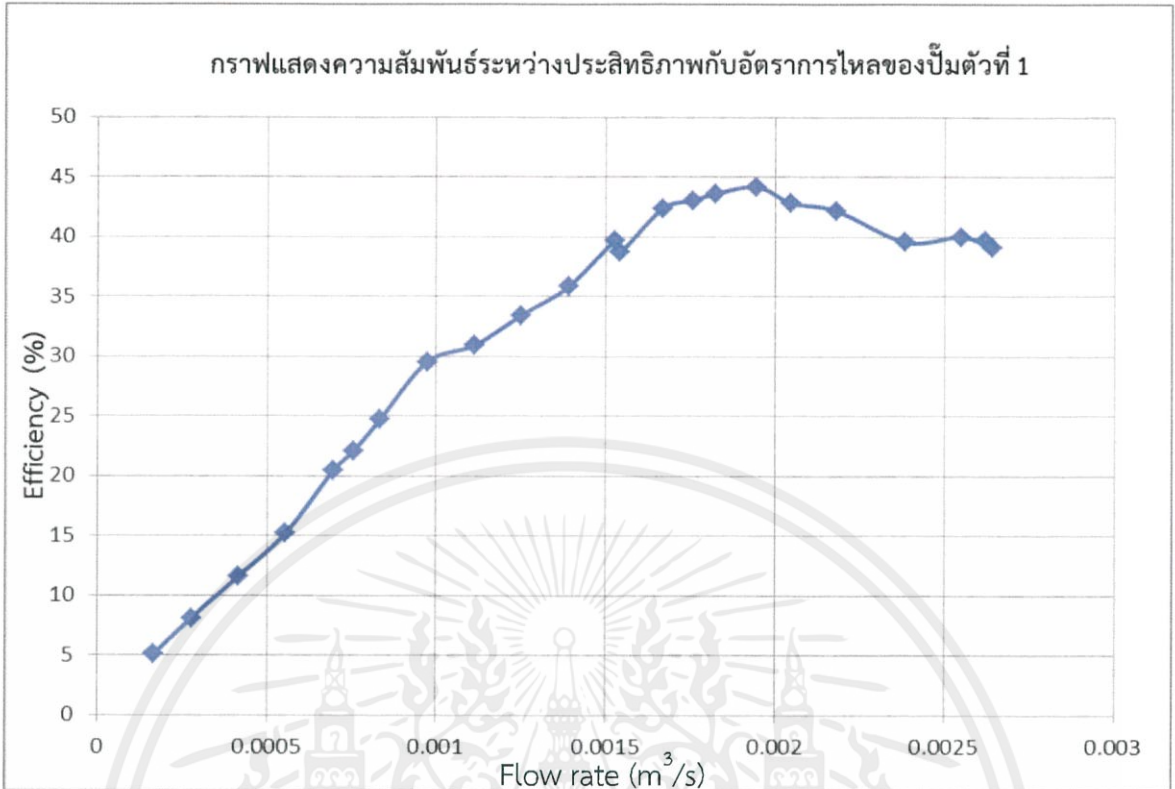
อัตราการไหลสูงสุดของปั๊มตัวที่ 1 เท่ากับ $0.0026 \frac{m^3}{s}$

ประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊มตัวที่ 1 เท่ากับ 44.1662 %

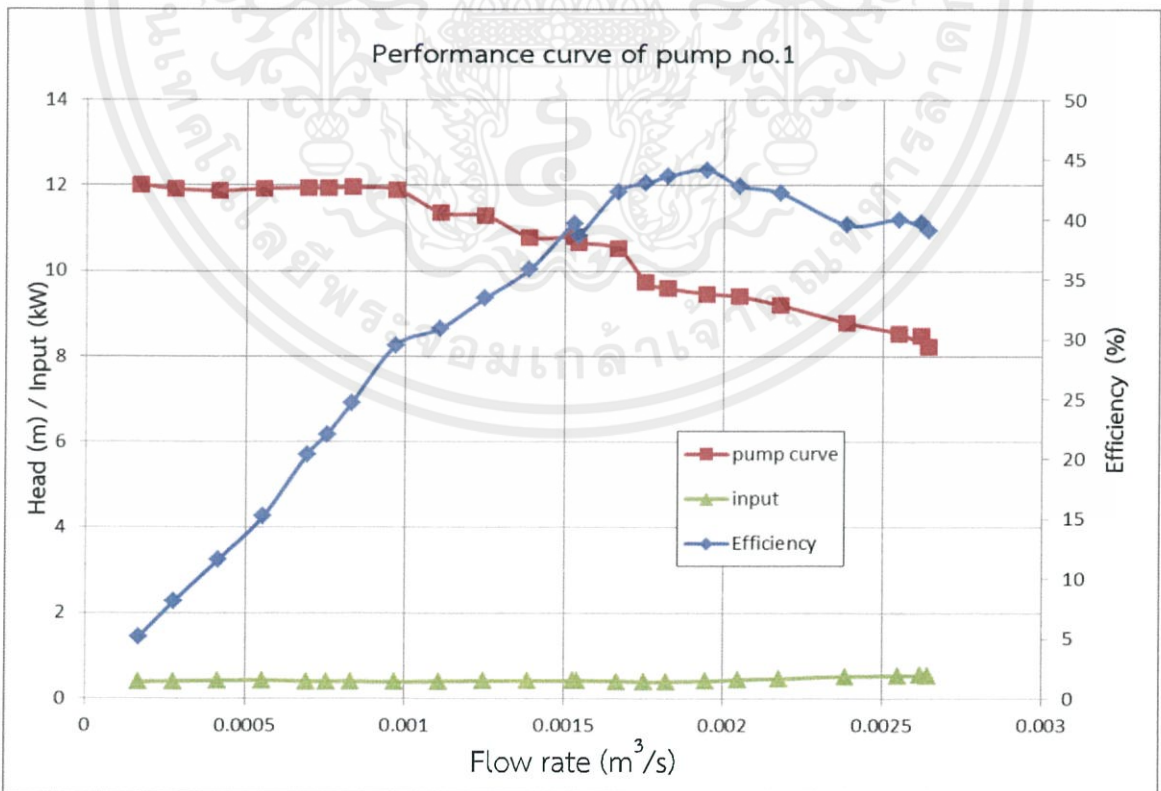
กำลังที่ให้แกปั๊มตัวที่ 1 สูงสุด เท่ากับ 574.3664 watt



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดปั้มน้ำกับอัตราการไหลของปั๊มตัวที่ 1



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพปั้มน้ำกับอัตราการไหลของปั๊มตัวที่ 1



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์สมรรถนะของปั๊มตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงพาณิชย์เท่านั้น มิใช่ให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

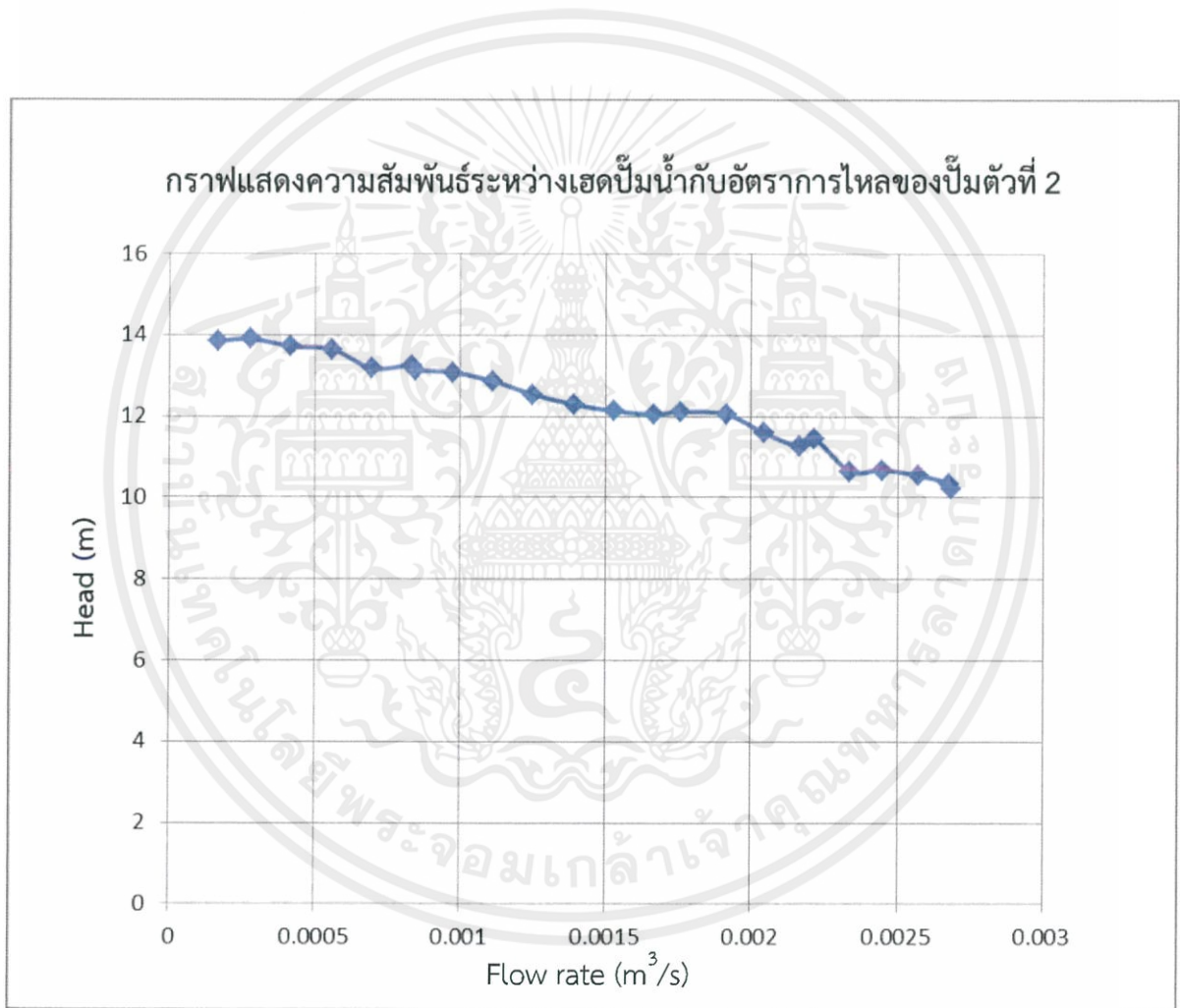
4.2 ผลการทดลองปั๊มตัวที่ 2

เฮดสูงสุดของปั๊มตัวที่ 2 เท่ากับ 13.8364 m

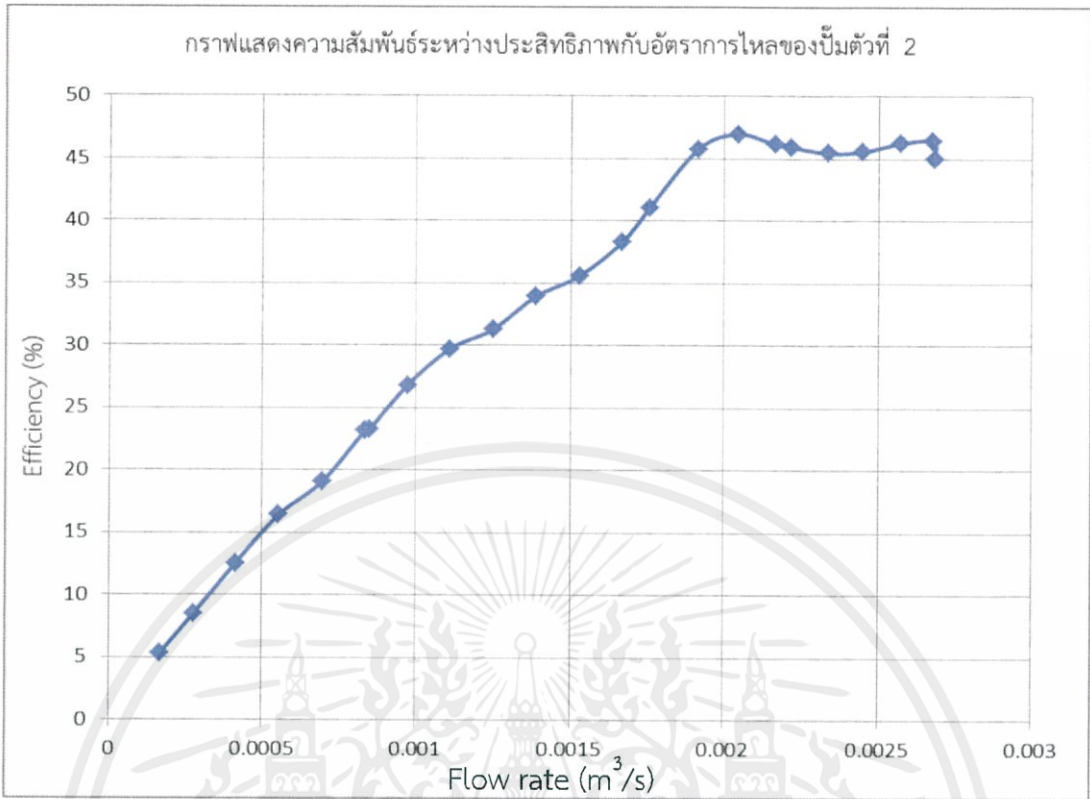
อัตราการไหลสูงสุดของปั๊มตัวที่ 2 เท่ากับ $0.0027 \frac{m^3}{s}$

ประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊มตัวที่ 2 เท่ากับ 46.1507 %

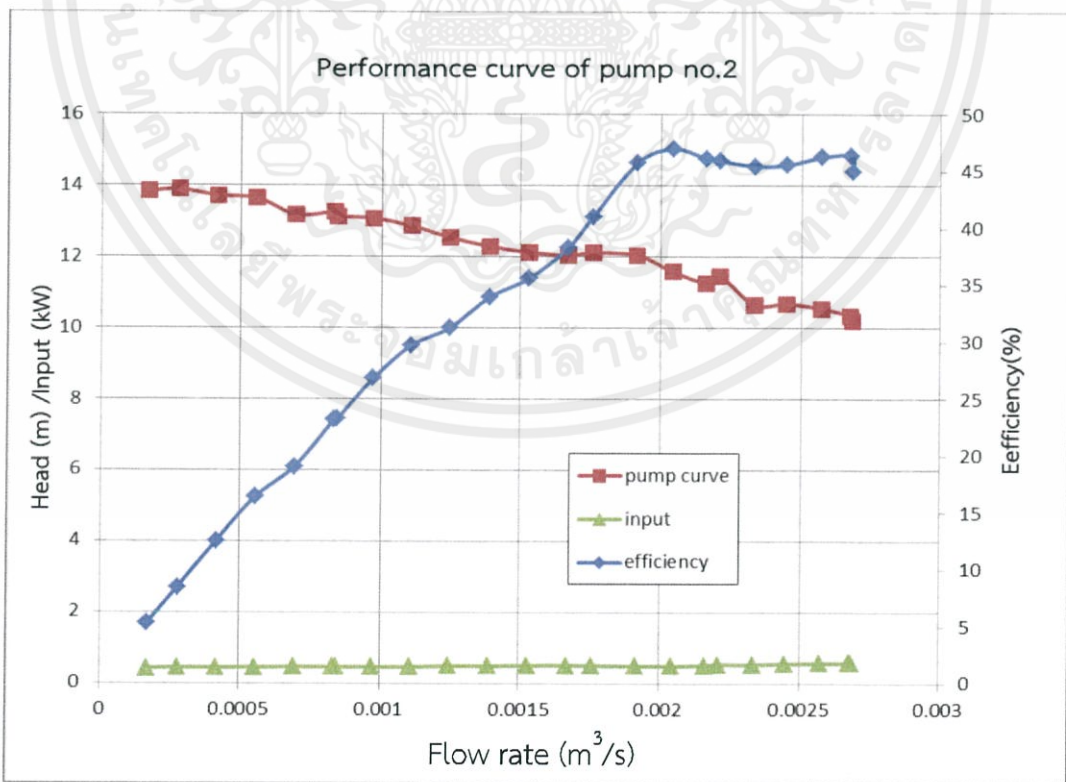
กำลังที่ให้แก๊ไบพัตปั๊มน้ำตัวที่ 2 สูงสุด เท่ากับ 595.5160 watt



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดปั๊มน้ำกับอัตราการไหลของปั๊มตัวที่ 2



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพปั๊มน้ำกับอัตราการไหลของปั๊มตัวที่ 2



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์สมรรถนะของปั๊มตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

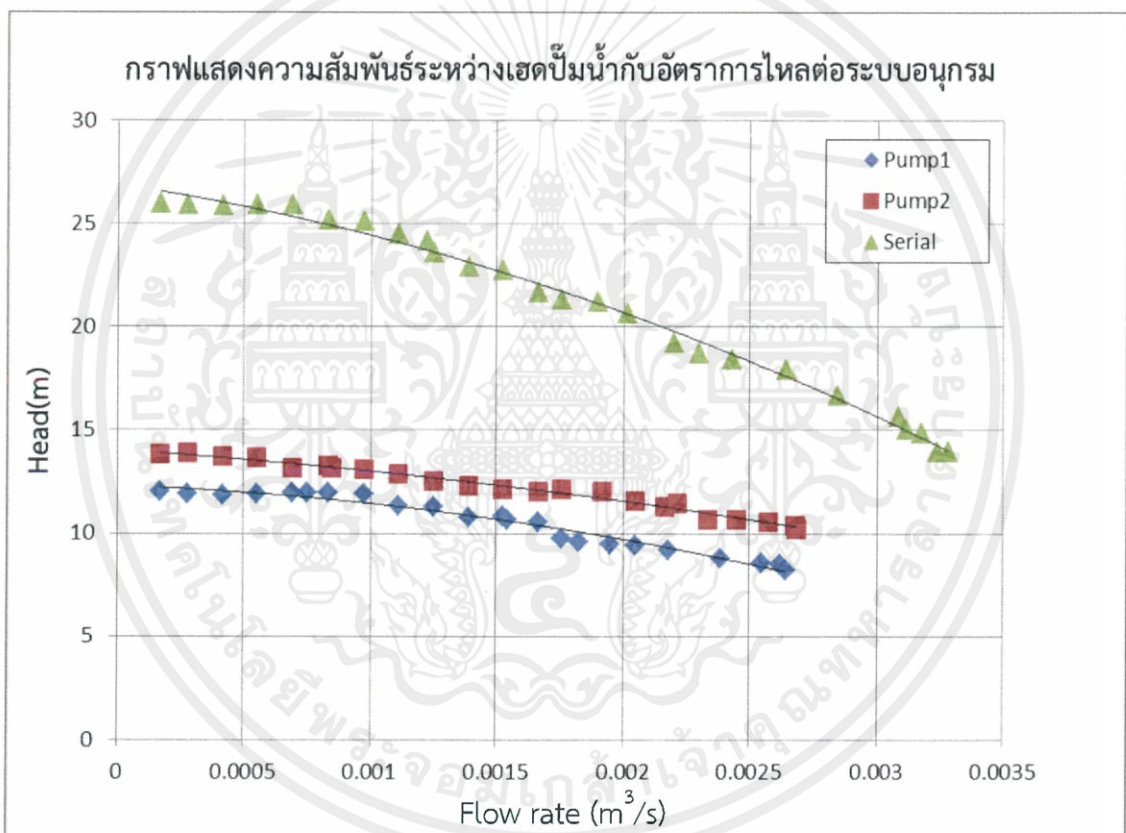
4.3 ผลการทดลองปั๊มต่อระบบอนุกรม

เฮดสูงสุดของปั๊มในระบบอนุกรม เท่ากับ 25.9751 m

อัตราการไหลสูงสุดของปั๊มในระบบอนุกรม เท่ากับ $0.0033 \frac{m^3}{s}$

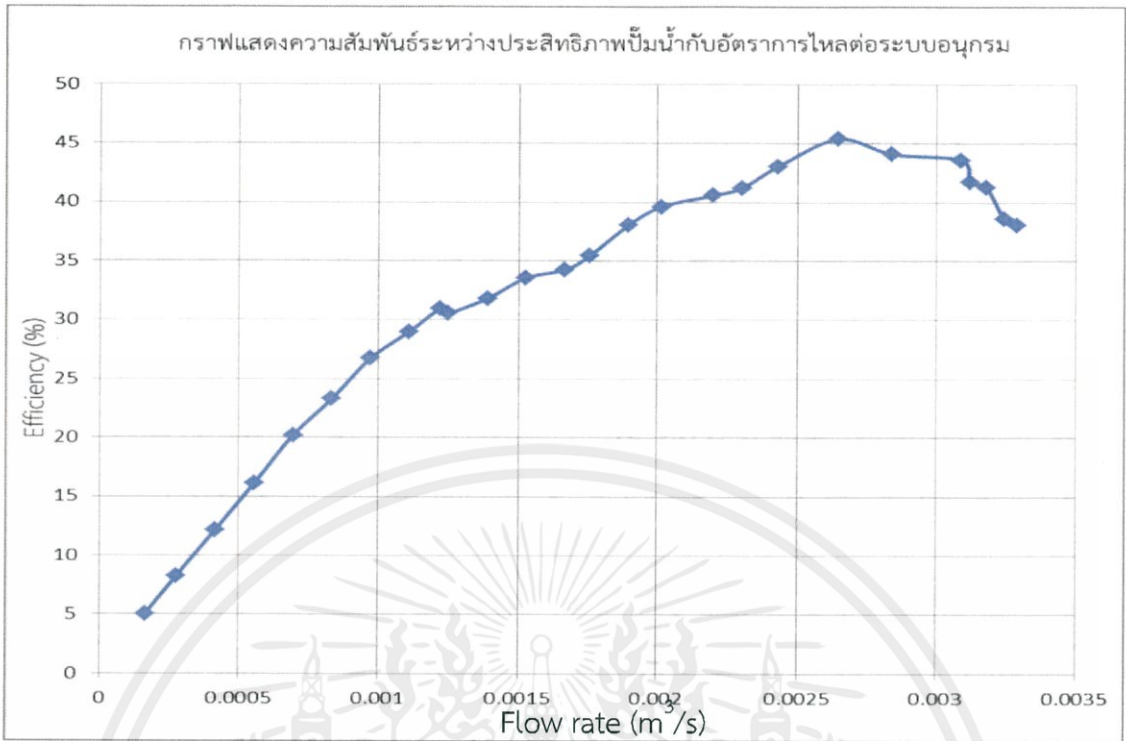
ประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊มในระบบอนุกรม เท่ากับ 45.3777 %

กำลังที่ให้แกปั๊มในระบบอนุกรมสูงสุด เท่ากับ 1178.0660 watt

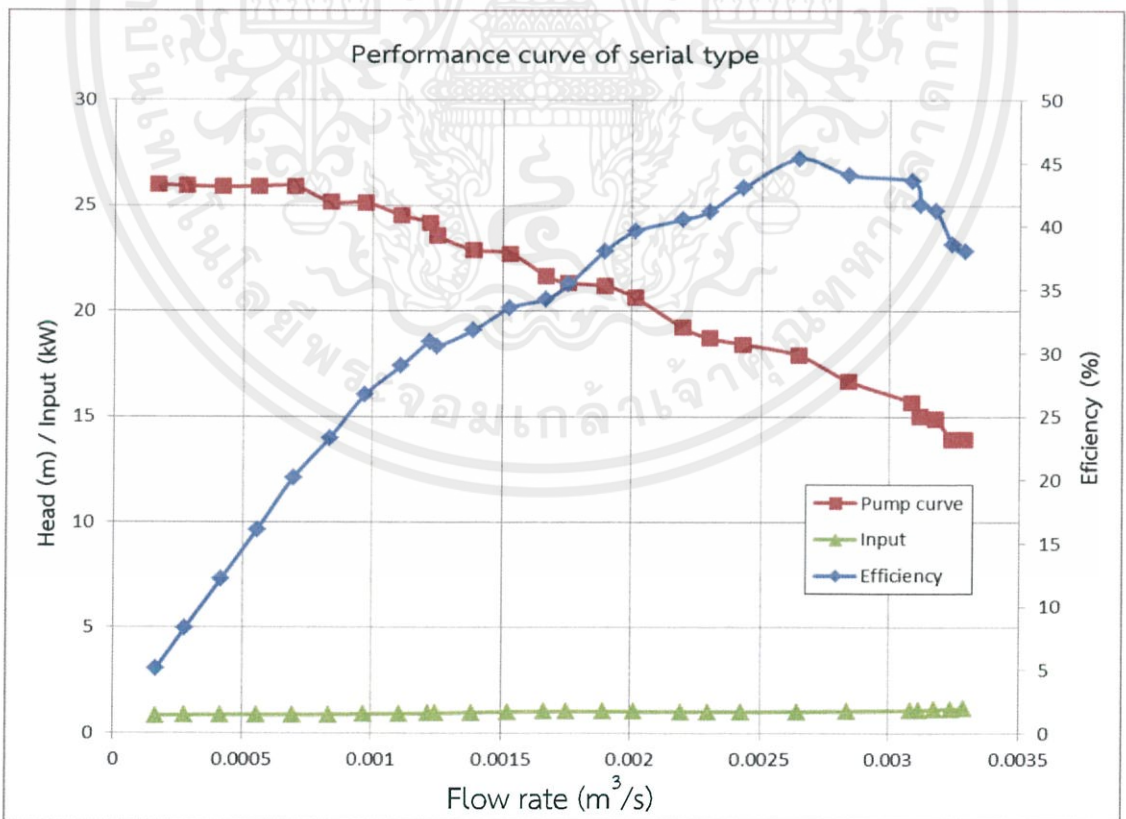


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดปั๊มน้ำกับอัตราการไหลต่อระบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพปั้มน้ำกับอัตราการไหลต่อระบบอนุกรม



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์สมรรถนะของปั้มน้ำระบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

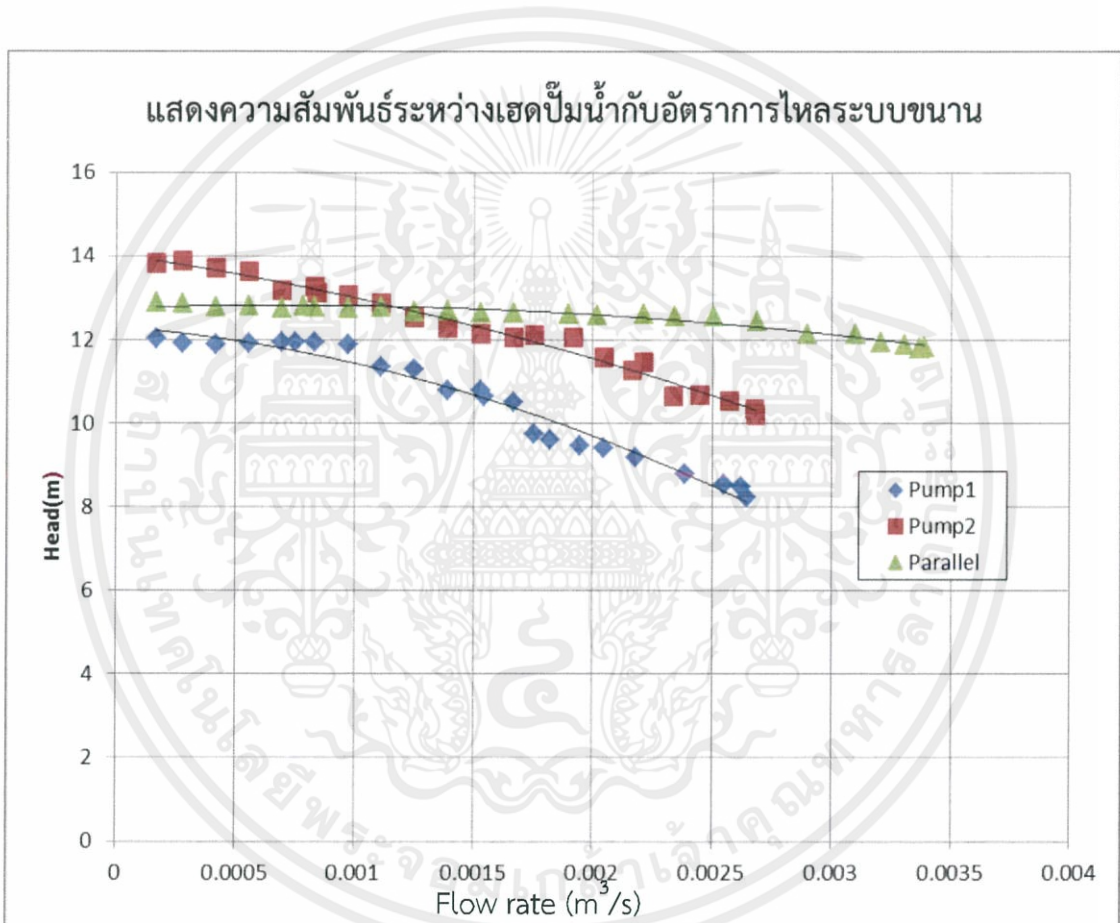
4.4 ผลการทดลองปั๊มต่อระบบขนาน

เฮดสูงสุดของปั๊มในระบบขนาน เท่ากับ 12.8892 m

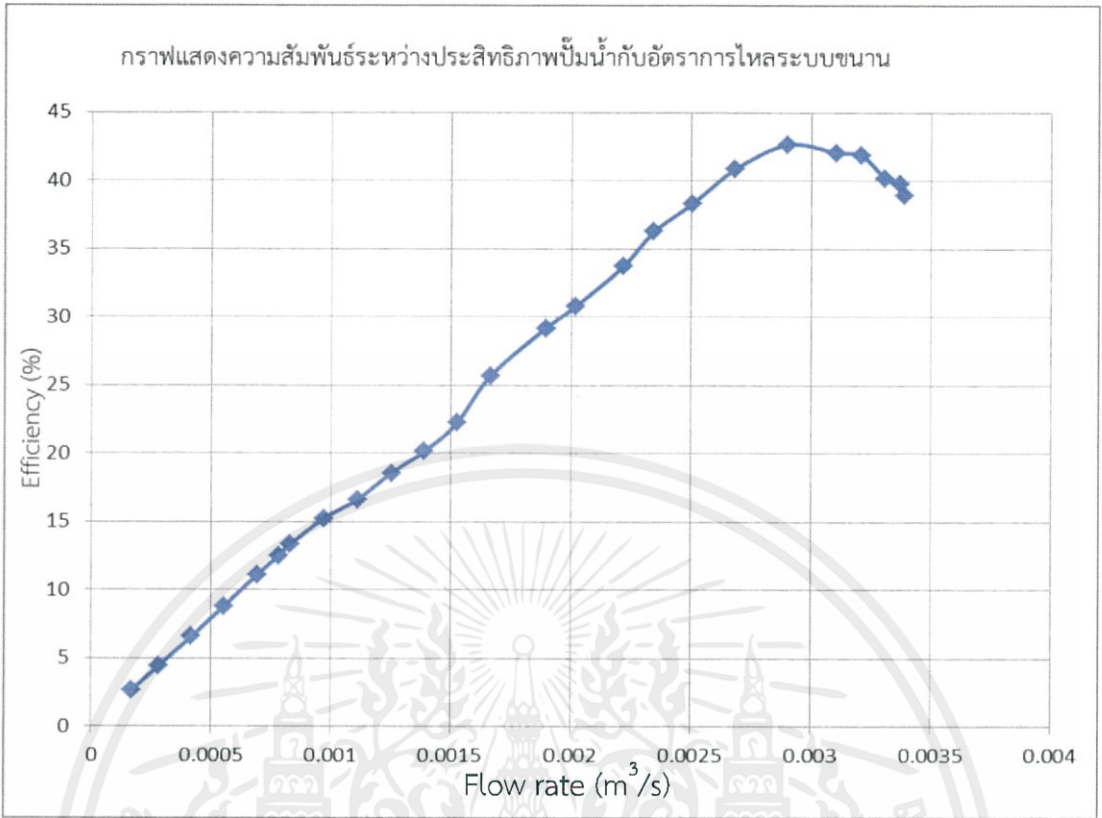
อัตราการไหลสูงสุดของปั๊มในระบบขนาน เท่ากับ $0.0034 \frac{m^3}{s}$

ประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊มในระบบขนาน เท่ากับ 42.6443 %

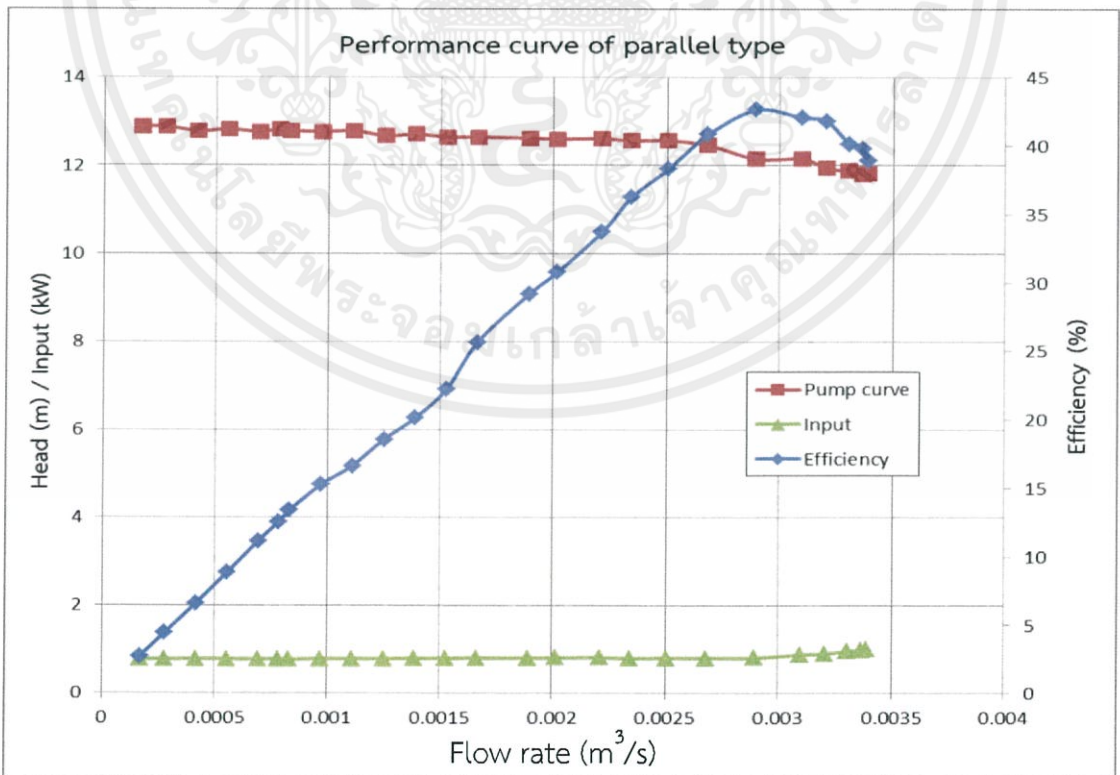
กำลังที่ให้แก่วัตถุที่ปั๊มในระบบขนานสูงสุด เท่ากับ 1006.3640 watt



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดปั๊มน้ำกับอัตราการไหลระบบขนาน



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพปั้มน้ำกับอัตราการไหลระบบขนาน



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์สมรรถนะของปั้มน้ำระบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการแจ้งขึ้นทะเบียนเพื่อการค้า โดยผู้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทำงานร่วมกันของปั๊มระบบขนานจะให้อัตราการไหลมากกว่าการทำงานของปั๊มเพียงตัวเดียว(ทั้งสองตัว)และเสดจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี โดยที่มีอัตราการไหลของระบบขนานเพิ่มขึ้นจากปั๊มตัวที่ 1 เป็น 29.31% และปั๊มตัวที่ 2 เป็น 26.20% ประสิทธิภาพของระบบขนานลดลงจากทฤษฎี 8.09 % ดังนั้นการต่อระบบขนานเหมาะสำหรับกับงานที่ต้องการเพิ่มอัตราการไหล

การทำงานร่วมกันของปั๊มระบบอนุกรมจะให้เสดมากกว่าการทำงานของปั๊มเพียงตัวเดียว(ทั้งสองตัว)และมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีโดยที่เสดของระบบอนุกรมเพิ่มขึ้นจากปั๊มตัวที่ 1 ที่ 64.50% และปั๊มตัวที่ 2 ที่ 36.66 % ประสิทธิภาพของระบบอนุกรมลดลงจากทฤษฎี 8.92 % ดังนั้นการต่อระบบอนุกรมเหมาะสมกับงานที่ต้องการเพิ่มระยะการส่งน้ำที่ไกลยิ่งขึ้นหรือเสดมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1.โรตารีเตอร์มีช่วงสเกลที่ไม่เพียงพอต่อการใช้ทดลองจริง
- 2.ค่าความเร็วรอบที่ให้แกตัวปั๊มยังไม่สามารถวัดได้ จึงใช้ค่าตามหน้าปั๊มในการคำนวณ
- 3.ค่าทอร์คอาจจะมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการสั่นของสั่นมอเตอร์และปั๊ม และสภาพแวดล้อมอื่นๆ
- 4.ชุดทดลองนี้ไม่สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และแรงดันไฟฟ้า (I) ได้

6 บรรณานุกรม

6.1 หนังสือ

- [1] วิบูลย์ บุญยธโรกุล (2529). *ปั๊มและระบบสูบน้ำ*, กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] Michael (2005). *Pump Characteristics and Applications*, New York: Taylor & Francis Group
- [3] นายปฐมชัย สุวรรณพิณฑะ, นายพิรล จันทนเสถียร, นายชัยญา ทิพย์วรรณ (2549). การออกแบบและจัดสร้างชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบปั๊มคู่, กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

6.2 เว็บไซต์

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, Thailand(2010).URL:http://www2.dede.go.th/bhrd/old/download/file_handbook/Pre_Fac/Fac_10.pdf, access on 24/09/2559.
- [2] Food Network Solution Co., Ltd (2017). *Rota meter / โรตاميเตอร์*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7251/rotameter-โรตاميเตอร์>, เข้าดูเมื่อวันที่ 03/09/2559.
- [3] IEnergyGuru (2015). *ปั๊ม (Pump)*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://www.ienergyguru.com/2015/09/pump/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 03/09/2559.
- [4] KTW Group เกรียงไทยวัฒนากรู๊ป (2015). *หลักการทํางานของปั้มนํ้าหอยโข่ง*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.ktwgroup-ebara.com/หลักการทํางานของปั้มนํ้าหอยโข่ง>, เข้าดูเมื่อวันที่ 02/09/2559.
- [5] McNally institute (2013). *Series and parallel operation of centrifugal pumps*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.mcnallyinstitute.com/18-htm/18-1.htm>, เข้าดูเมื่อวันที่ 02/09/2559.

- [6] NovaBizz (2017). เครื่องปั้มน้ำ (Pump), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://www.novabizz.com/CDC/System/เครื่องปั้มน้ำ.htm>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/10/2559.
- [7] 9engineer.com (2552). ความดันและหัวน้ำหรือเฮดของปั้ม (Pressure & head), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=show&article_id=461, เข้าดูเมื่อวันที่ 18/08/2559.
- [8] 9engineer.com (2552). คุณลักษณะของปั้มแบบต่างๆ (Characteristic Curves), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=463, เข้าดูเมื่อวันที่ 05/07/2559.
- [9] เพชรรวงข้าว | ablewaterpump (2012). ทำความเข้าใจกับปั้มหอยโข่งแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.ablewaterpump.com/web/allcontent/installation/problems1122installa/415-centrifugalpump?showall=1>, เข้าดูเมื่อวันที่ 26/10/2559.
- [10] ยานยนต์อุตสาหกรรม | ข้อมูลจำเพาะของส่วนต่างๆ (2558). แรงหนีจุดศูนย์กลาง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://vehicleindustrial.blogspot.com/2011/01/blog-post_29.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 04/12/2559.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Status Valve (Fully - Shut)	Vacuum (cmHg)	Pressure (Psi)	Force (N)	ω (rad/s)	Q (m ³ /s)	Hp (m)	Power input (Watt)	Power output (Watt)	η (%)
Fully	18	11	1.13	298.4513	0.002685	10.20803	595.516	268.0278	45.01
½	18	11.1	1.12	298.2634	0.002683	10.27852	591.235	269.7215	45.56
1	18	11.2	1.11	298.0324	0.002679	10.34902	584.155	271.1231	46.42
1 ½	17.9	11.3	1.1	297.2544	0.002612	10.40588	579.312	265.8375	46.21
2	17.9	11.5	1.1	295.5191	0.002574	10.54687	574.011	265.5197	46.26
2 ½	17.2	11.7	1.1	293.2559	0.002498	10.59244	567.354	258.7931	45.76
3	16.3	12	1.09	291.5398	0.002448	10.68124	561.133	255.7372	45.58
3 ½	15.8	13.2	1.09	280.7537	0.002215	11.45902	540.373	248.1917	45.93
4	11.8	14.8	1.1	251.6416	0.001916	12.04167	493.227	225.6215	46.97
4 ½	8.4	17	0.94	284.0000	0.000845	0.94	466.383	108.546	23.17

ตารางที่ 2ก. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบปั๊มตัวที่ 2

Status Valve (Fully - Shut)	Vacuum (cmHg)	Pressure (Psi)	Force (N)	ω (rad/s)	Q (m ³ /s)	Hp (m)	Power input (Watt)	Power output (Watt)	η (%)
Fully	18	11	1.13	298.4513	0.002685	10.20803	595.516	268.0278	45.01
½	18	11.1	1.12	298.2634	0.002683	10.27852	591.235	269.7215	45.56
1	18	11.2	1.11	298.0324	0.002679	10.34902	584.155	271.1231	46.42
1 ½	17.9	11.3	1.1	297.2544	0.002612	10.40588	579.312	265.8375	46.21
2	17.9	11.5	1.1	295.5191	0.002574	10.54687	574.011	265.5197	46.26
2 ½	17.2	11.7	1.1	293.2559	0.002498	10.59244	567.354	258.7931	45.76
3	16.3	12	1.09	291.5398	0.002448	10.68124	561.133	255.7372	45.58
3 ½	15.8	13.2	1.09	280.7537	0.002215	11.45902	540.373	248.1917	45.93
4	11.8	14.8	1.1	251.6416	0.001916	12.04167	493.227	225.6215	46.97
4 ½	8.4	17	0.94	284.0000	0.000845	0.94	466.383	108.546	23.17

ตารางที่ 2ก. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบปั๊มตัวที่ 2

Status Valve (Fully - Shut)	Vacuum From pump1 (cmHg)	Pressure From pump2 (Psi)	Force From pump1 (N)	ω From pump1 (rad/s)	Force From pump2 (N)	ω From pump2 (rad/s)	Q (m ³ /s)	Hp (m)	Power input (Watt)	Power output (Watt)	η (%)
Fully	14.8	25.8	1.08	297.4041	1.16	298.2419	0.003288	13.95	1178.066	448.5685	38.08
½	14.8	25.8	1.07	296.1024	1.16	296.7548	0.003267	13.95	1157.567	447.8126	38.14
1	14.8	25.8	1.07	292.6917	1.15	291.6445	0.003241	13.95	1145.247	442.2677	38.62
1 ½	16.3	24.5	1.07	290.3694	1.14	289.3648	0.003198	14.76	1137.321	457.9751	40.74
2	16.4	24.3	1.07	289.0265	1.13	287.9793	0.003178	14.87	1120.709	462.3030	41.25
2 ½	16.5	23.9	1.07	287.8964	1.12	286.3671	0.003157	14.98	1081.324	460.8431	41.96
3	16.7	23.8	1.065	286.9321	1.11	285.0472	0.00312	15.02	1098.301	458.2626	41.72
3 ½	19.9	19.4	1.055	279.7065	1.075	279.1829	0.002841	16.67	1051.025	463.3314	44.08
4	23	16.2	1.04	277.9262	1.05	273.3186	0.002431	18.42	1017.150	438.0331	43.06
4 ½	32.4	9.8	0.89	294.4720	0.925	288.5029	0.001221	24.18	934.0115	288.8303	30.93

ตารางที่ 3ก. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบปั๊มในระบบอนุกรม

Status Valve (Fully - Shut)	Pressure From pump1 (psi)	Vacuum From pump1 (cm.Hg)	Pressure From pump2 (psi)	Vacuum From pump2 (cm.Hg)	Force From pump1 (N)	ω From pump1 (rad/s)	Force From pump2 (N)	ω From pump2 (rad/s)	Q (m ³ /s)	Hp average (m)	Power input (Watt)	Power output (Watt)	η (%)
Fully	13	11	15.3	9.8	0.97	299.3938	0.93	300.5457	0.00338792	11.8155	1006.364	391.52	38.90
½	13	11	15.3	9.8	0.97	297.6364	0.92	297.214	0.00337623	11.8095	991.331	390.87	39.34
1	13	11	15.3	9.7	0.96	294.2625	0.91	296.5663	0.00336511	11.7952	975.370	388.21	39.80
1 ½	13	11	15.4	9.6	0.95	291.5487	0.91	291.4487	0.00332842	11.8286	964.238	384.98	39.94
2	13	11	15.4	9.5	0.95	289.0265	0.925	287.9793	0.00330396	11.8736	955.220	383.70	40.17
2 ½	13.2	11	15.5	9.5	0.92	286.3211	0.905	283.3648	0.00329754	11.9068	936.327	380.57	40.67
3	13.4	11	15.5	9.5	0.91	284.2094	0.905	273.9469	0.00320513	11.9373	894.471	374.21	41.84
3 ½	13.6	11	15.6	9.5	0.89	259.8097	0.88	257.1917	0.0028997	12.1488	807.959	344.55	42.64
4	14	11	16.8	9.4	0.87	263.9985	0.85	265.5693	0.00250627	12.5649	804.168	308.01	38.30
4 ½	15	10.4	17.6	8.6	0.745	293.4248	0.75	288.5029	0.00078544	12.8243	783.499	97.12	15.25

ตารางที่ 4ก. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบปั๊มในระบบขนาน



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ข.แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (อุณหภูมิหน่วยSI)

อุณหภูมิ °C	ความหนาแน่น $\rho, \frac{kg}{m^3}$	ความหนืด $\mu, 10^{-3} \times Pa \cdot s$	ความดันไอ P_v, kPa
0	999.9	1.792	0.6
5	1000.0	1.519	0.9
10	999.7	1.308	1.2
15	999.1	1.140	1.7
20	998.2	1.005	2.5
25	997.1	0.894	3.2
30	995.7	0.801	4.3
35	994.4	0.723	5.7
40	992.2	0.656	7.5
45	990.2	0.599	9.6
50	988.1	0.549	12.4
55	985.7	0.509	15.8
60	983.2	0.469	19.9
65	980.6	0.436	25.1
70	977.8	0.406	31.4
75	974.9	0.380	38.8
80	971.8	0.357	47.7
85	968.6	0.336	58.1
90	965.3	0.317	70.4
95	961.9	0.299	84.5
100	958.4	0.284	101.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

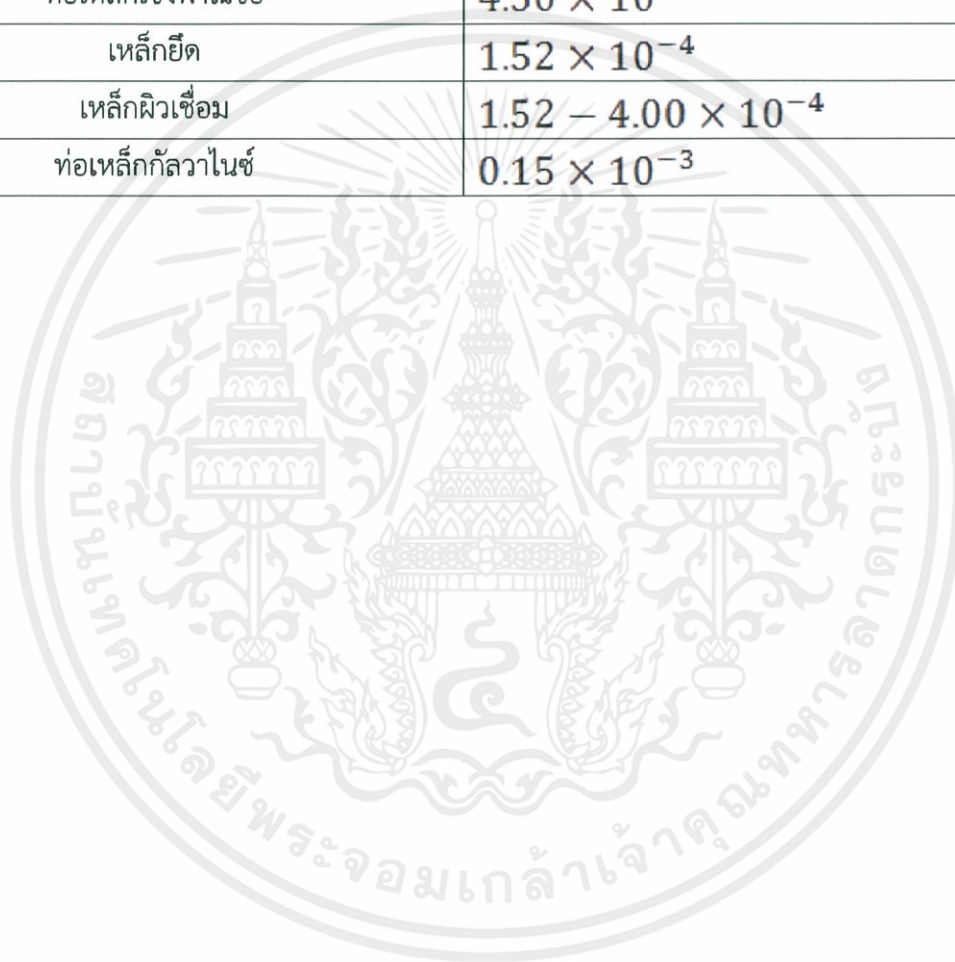
ตารางที่ 2ข.แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (K) สำหรับการไหลผ่านข้ออ ข้อต่อและวาล์ว

อุปกรณ์ในระบบท่อ	K
ข้ออ 90° , แบบเกลียว	1.50
ข้อต่อยูเนียน, แบบเกลียว	0.08
Globe Valve, Fully open	0.15
Globe Valve, Shut 1/6	0.26
Globe Valve, Shut 1/3	0.81
Globe Valve, Shut 1/2	2.06
Globe Valve, Shut 2/3	5.52
Globe Valve, Shut 5/6	97.80
ฟุตวาล์ว, แบบเกลียว	10.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

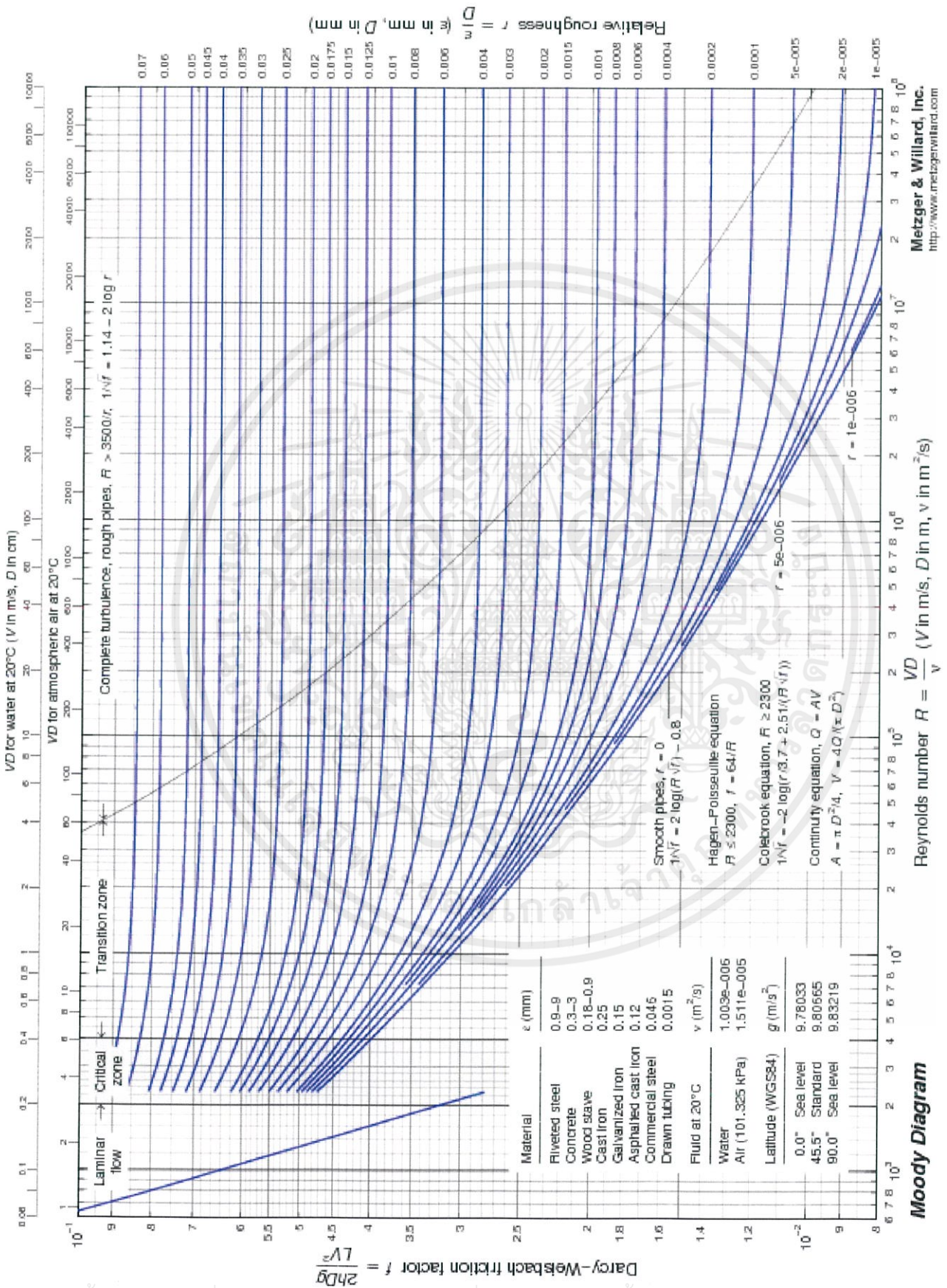
ตารางที่ 3ข. แสดงค่าความขรุขระสัมบูรณ์ ϵ สำหรับท่อชนิดต่างๆ

ท่อประเภทต่างๆ	ϵ (เมตร)
ทองแดง, ตะกั่ว, ทองเหลือง, อลูมิเนียม	$1.00 - 2.00 \times 10^{-6}$
พีวีซี, ท่อพลาสติก, ท่อแก้ว	$1.50 - 7.00 \times 10^{-6}$
ท่ออีพ็อกซี, ไวนิลเอสเทอร์	5.20×10^{-6}
เหล็กกล้าไร้สนิม	1.52×10^{-5}
ท่อเหล็กเชิงพาณิชย์	4.50×10^{-5}
เหล็กยัด	1.52×10^{-4}
เหล็กผิวเชื่อม	$1.52 - 4.00 \times 10^{-4}$
ท่อเหล็กกล้าไนซ์	0.15×10^{-3}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Moody Chart Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง

(Characteristics of the two stages centrifugal pump testing)

1. วัตถุประสงค์

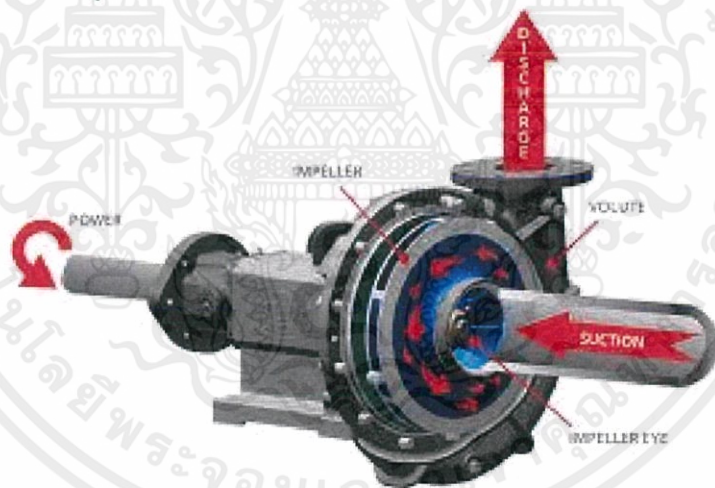
เพื่อทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งเมื่อปั๊มทำงานเพียงตัวเดียว, เมื่อปั๊มสองตัวทำงานร่วมกันในระบบขนาน และเมื่อปั๊มสองตัวทำงานร่วมกันในระบบอนุกรม โดยการหาค่าเฮด, กำลัง, อัตราการไหล และประสิทธิภาพของปั๊มหอยโข่งเพื่อเปรียบเทียบระหว่างปั๊มตัวเดียว (Single Stage) กับ ปั๊มในระบบอนุกรม (Serial pump), ปั๊มตัวเดียวกับปั๊มในระบบขนาน (Parallel pump)

2. ทฤษฎี

ปั๊มเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานของไหล พลังงานที่ใช้ขับปั๊มอาจจะได้มาจากเครื่องยนต์ หรือมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น

2.1 หลักการทำงานของปั๊มหอยโข่ง

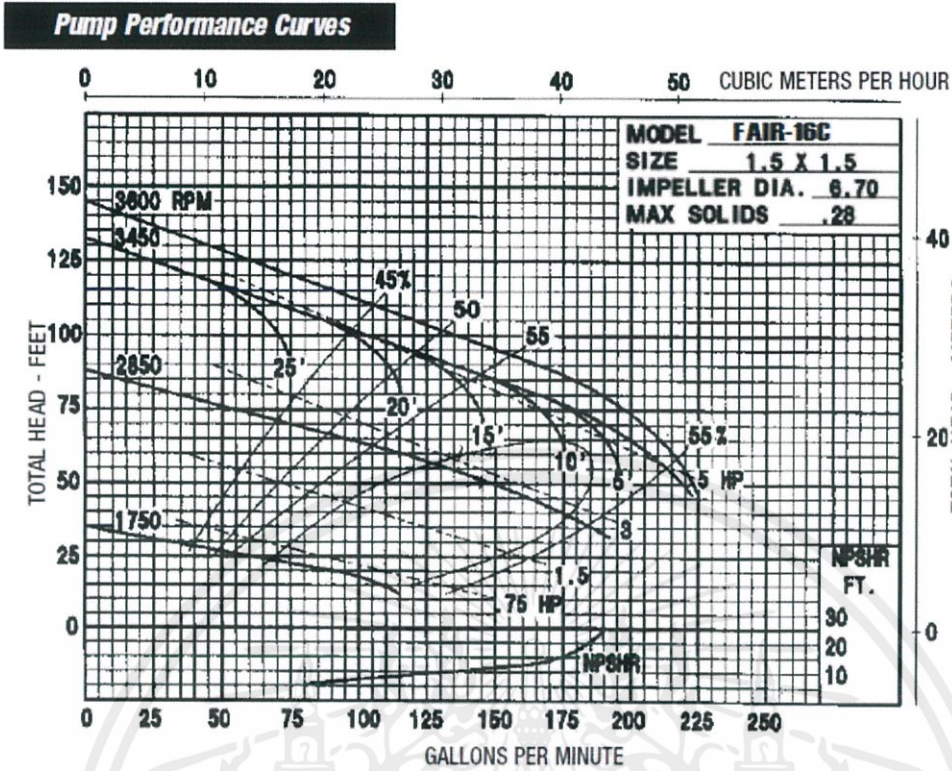
สำหรับปั๊มหอยโข่งของไหลจะเข้าสู่ตัวเรือนปั๊มทางช่องดูด (Suction) เนื่องจากพลังงานทางกลจากเพลาซึ่งถูกส่งมาโดยใบพัด (Impeller) ทำให้ความดันที่ช่องด้านดูดลดลง ของเหลวก็จะถูกผลักดันออกจากช่องทางส่ง (Discharge) ต่อไป ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของปั๊มหอยโข่ง

2.2 สมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง

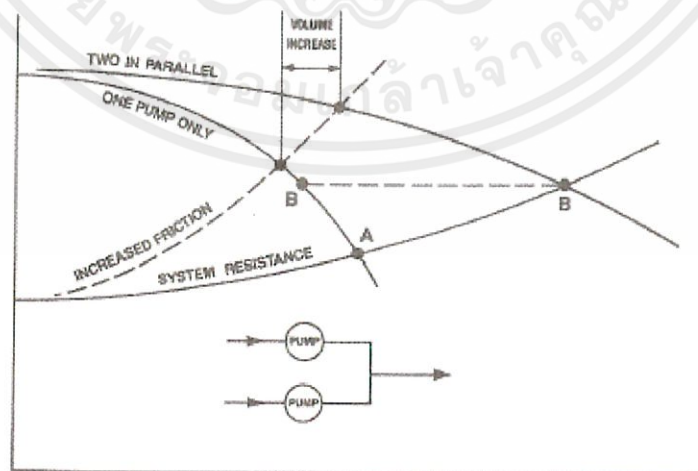
บริษัทผู้ผลิตปั๊มจะทำการทดสอบสมรรถนะของปั๊มที่ผลิตขึ้นแล้วเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฮดเทียบกับอัตราการไหล, ประสิทธิภาพเทียบกับอัตราการไหล และกำลังที่ต้องใช้ขับปั๊มเทียบกับอัตราการไหล จากรูปจะสังเกตเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลเริ่มจากศูนย์ประสิทธิภาพก็จะเริ่มจากศูนย์จนกระทั่งถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลง จุดให้ประสิทธิภาพสูงสุดเรียกว่า Best Efficiency Point (BEP) อัตราการไหล ณ จุดนี้เรียกว่า Design flow rate ในการเลือกปั๊มมาใช้งานจะต้องเลือกที่อัตราการไหลและประสิทธิภาพสูงสุดหรือใกล้เคียง รูปที่ 2 แสดงกราฟสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง (Performance curve หรือ Characteristics curve) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงกราฟสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง (Performance curve)

2.3 สมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบขนาน

เมื่อปั๊ม 2 ตัวทำงานร่วมกันในระบบขนาน อัตราการสูบของระบบจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าในกรณีที่เฮดเท่าเดิม แต่ความเป็นจริงแล้วอัตราการสูบจะไม่เป็นสองเท่า ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นการสูญเสียพลังงานในระบบท่อ ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจนกระทั่งเฮดสูงกว่าเมื่อปั๊มทำงานเพียงตัวเดียว อัตราการสูบก็จะลดลงกว่าสองเท่าและอาจหาได้จากจุดตัดของกราฟแสดงสมรรถนะใหม่ของระบบผสมกับกราฟเฮดของระบบ (System Head Curve) ดังแสดงในรูปที่ 3

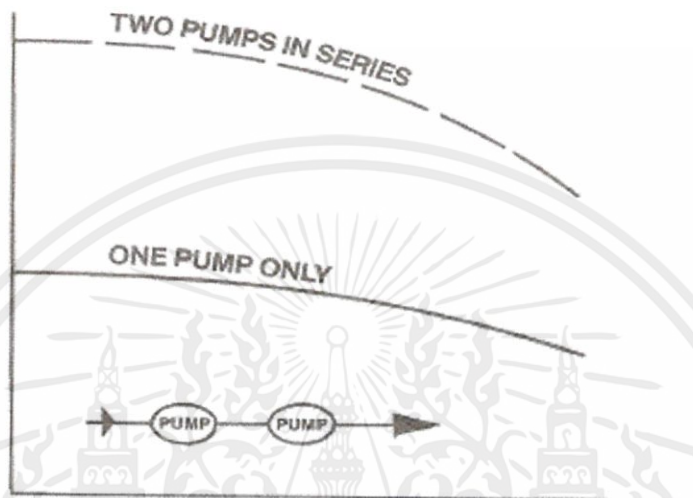


รูปที่ 3 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งในระบบขนานในทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สมรรถนะของปั๊มหอยโข่งในระบบอนุกรม

เมื่อปั๊ม 2 ตัวทำงานร่วมกันในระบบอนุกรม เหนือของระบบจะเพิ่มขึ้นสองเท่าที่อัตราการไหลเท่ากัน ในทางทฤษฎี ในความจริงจะเพิ่มขึ้นแต่จะไม่เท่ากับสองเท่าของปั๊มสองตัวมารวมกัน ในขณะที่อัตราการสูบจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก ปั๊มในระบบอนุกรมนี้เหมาะกับการใช้งานในลักษณะที่ต้องการเสถียรมาก เช่นในงานที่ต้องขนส่งทางน้ำไปยังที่สูง ซึ่งกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งระบบอนุกรมนี้ได้แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งระบบอนุกรม

3. การทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง

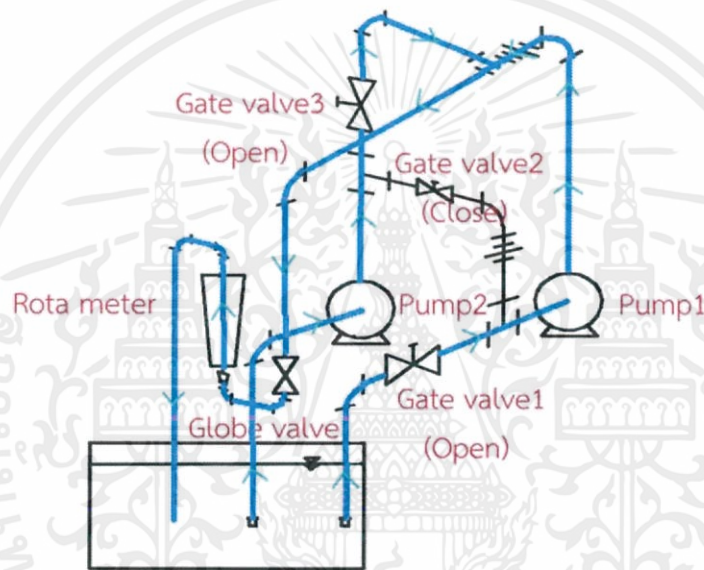


รูปที่ 5 ชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง

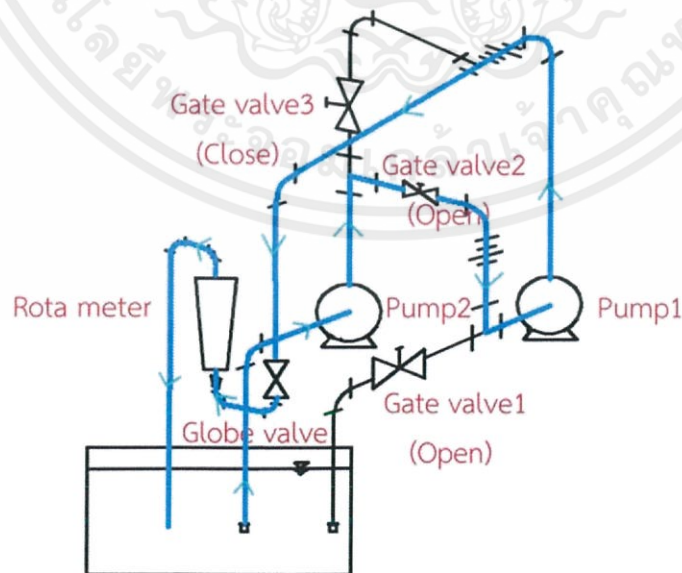
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับใช้เฉพาะในเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง

การทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งในกรณีต่างๆ ตามข้างต้นนั้น สามารถทำได้โดยชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบปั๊มคู่ ซึ่งสามารถใช้ทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งได้ ทั้งกรณีปั๊มตัวเดียว, ปั๊มสองตัวต่อกันอย่างขนาน และปั๊มสองตัวต่อกันอย่างอนุกรมโดยอาศัยหลักการเปิดปิดของ Gate valve รูปที่ 5 แสดงชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบปั๊มคู่ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 6 แสดงการเปิดปิดของวาล์วให้ปั๊มทำงานในระบบขนาน



รูปที่ 7 แสดงการเปิดปิดของวาล์วให้ปั๊มทำงานในระบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งตัวเดียวของปั๊ม 1 (Single Stage)

1. ทำการเปิด Gate valve ตัวที่ 1 และ Globe valve และปิด Gate valve ตัวที่ 2 และ 3
2. เปิดสวิตช์ On เครื่องวัดแรงตัวที่ 1 แล้วคล้องแขนทอร์ค จากนั้นกดปุ่ม Tare เพื่อเซตค่าให้เป็น 0 ในหน่วย kg จากนั้นกดปุ่มเปิดสวิตช์ให้ปั๊มตัวที่ 1 เริ่มทำงาน
3. บันทึกค่าต่างๆจากเครื่องวัดแรงบิด, เกจสูญญากาศ, เกจวัดความดันและอัตราการไหล
4. ทำการบันทึกค่าต่างๆเมื่อบันทึกจนครบให้ทำการหรี Globe valve ลงแล้วอ่านค่าใหม่ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ทำเช่นนี้ซ้ำจนหรี Globe valve สุด
5. เมื่อบันทึกค่าสุดท้ายเสร็จทำการปิด Globe valve และปิดสวิตช์เพื่อหยุดการทำงานของปั๊มหอยโข่งและปิดสวิตช์ Off เครื่องวัดแรง
6. นำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาประสิทธิภาพของปั๊มและเขียนกราฟแสดงคุณลักษณะของปั๊มหอยโข่งแบบทำงานตัวเดียว

3.3 การทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งตัวเดียวของปั๊ม 2 (Single Stage)

1. ทำการเปิด Gate valve ตัวที่ 3 และ Globe valve และปิด Gate valve ตัวที่ 1 และ 2
2. เปิดสวิตช์ On เครื่องวัดแรงตัวที่ 2 แล้วคล้องแขนทอร์ค จากนั้นกดปุ่ม Tare เพื่อเซตค่าให้เป็น 0 ในหน่วย kg จากนั้นกดปุ่มเปิดสวิตช์ให้ปั๊มเปิดสวิตช์ให้ปั๊มตัวที่ 2 เริ่มทำงาน
3. บันทึกค่าต่างๆจากเครื่องวัดแรงบิด, เกจสูญญากาศ, เกจวัดความดันและอัตราการไหล
4. ทำการบันทึกค่าต่างๆเมื่อบันทึกจนครบให้ทำการหรี Globe valve ลงแล้วอ่านค่าใหม่ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ทำเช่นนี้ซ้ำจนหรี Globe valve สุด
5. เมื่อบันทึกค่าสุดท้ายเสร็จทำการปิด Globe valve และปิดสวิตช์เพื่อหยุดการทำงานของปั๊มหอยโข่งและปิดสวิตช์ Off เครื่องวัดแรง
6. นำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาประสิทธิภาพของปั๊มและเขียนกราฟแสดงคุณลักษณะของปั๊มหอยโข่งแบบทำงานตัวเดียว

3.4 การทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบขนาน (Parallel pump)

1. ถ้าต้องการให้ระบบปั๊มหอยโข่งเป็นแบบขนาน ให้ทำการเปิด Gate valve ตัวที่ 1 และ 3 และ Globe valve และทำการปิด Gate valve ตัวที่ 2
2. เปิดสวิตช์ On เครื่องวัดแรงตัวที่ 1 และ 2 แล้วคล้องแขนทอร์ค จากนั้นกดปุ่ม Tare เพื่อเซตค่าให้เป็น 0 ในหน่วย kg จากนั้นกดปุ่มเปิดสวิตช์ให้ปั๊มหอยโข่งตัวที่ 1 และ 2 ทำงาน
3. บันทึกค่าต่างๆจากเครื่องวัดแรงบิด, เกจสูญญากาศ, เกจวัดความดันและอัตราการไหล
4. ทำการบันทึกค่าต่างๆเมื่อบันทึกจนครบให้ทำการหรี Globe valve ลงแล้วอ่านค่าใหม่ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ทำเช่นนี้ซ้ำจนหรี Globe valve สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อบันทึกค่าสุดท้ายเสร็จทำการปิด Globe valve และปิดสวิตช์เพื่อหยุดการทำงานของปั๊มหอยโข่งและปิดสวิตช์ off เครื่องวัดแรงทั้ง 2 ตัว
6. นำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาประสิทธิภาพของปั๊มและเขียนกราฟแสดงคุณลักษณะของปั๊มหอยโข่งแบบขนาน

3.5 การทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบอนุกรม (Serial pump)

1. ถ้าต้องการให้ระบบปั๊มหอยโข่งเป็นแบบอนุกรมให้ทำการเปิด Gate valve ตัวที่ 1, 2 และ Globe valve และทำการปิด Gate valve ตัวที่ 3
2. เปิดสวิตช์ on เครื่องวัดแรงตัวที่ 1และ2 แล้วคล้องแขนทอร์คจากนั้นกดปุ่มTareเพื่อเซตค่าให้เป็น 0 ในหน่วย kg จากนั้นกดปุ่มเปิดสวิตช์ให้แก่ปั๊มหอยโข่งตัวที่ 1 และ 2
3. บันทึกค่าต่างๆจากเครื่องวัดแรงบิด, เกจสูญญากาศ, เกจวัดความดันและอัตราการไหล
4. ทำการบันทึกค่าต่างๆเมื่อบันทึกจนครบให้ทำการหรี Globe valve ลงแล้วอ่านค่าใหม่ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ทำเช่นนี้ซ้ำจนหรี Globe valve สุด
5. เมื่อบันทึกค่าสุดท้ายเสร็จทำการปิด Globe valve และปิดสวิตช์เพื่อหยุดการทำงานของปั๊มหอยโข่งและปิดสวิตช์ off เครื่องวัดแรงทั้ง 2 ตัว
6. นำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาประสิทธิภาพของปั๊มและเขียนกราฟแสดงคุณลักษณะของปั๊มหอยโข่งแบบอนุกรม

4. การคำนวณหาประสิทธิภาพของปั๊มหอยโข่ง

4.1 การคำนวณหาเฮดของปั๊ม

$$H_p = \frac{\rho}{\gamma} = \frac{\rho}{\rho g}$$

เมื่อ	γ	=	น้ำหนักจำเพาะ
	ρ	=	ความหนาแน่นของของเหลว
	g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

4.2 กำลังที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊ม(Power input)

$$Power\ input = \tau \omega$$

เมื่อ	τ	=	แรงบิดที่ให้แต่ใบพัดปั๊ม
	ω	=	ความเร็วรอบของเพลามอเตอร์

และ

$$\tau = F \times R$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ F = แรงที่น้ำและใบพัดกระทำกลับ
 R = ความยาวแขนวัตทอร์ค (18 cm.)

4.3 กำลังที่ได้ (power output)

$$\text{Power output} = \rho g h_p Q$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของน้ำ
 g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก
 h_p = เฮดปั๊ม
 Q = อัตราการไหลของน้ำ

4.4 ประสิทธิภาพของปั๊มเพียงตัวเดียว

$$\eta = \text{Hydraulic efficiency} = \frac{\text{กำลังงานที่น้ำได้รับจากใบพัดปั๊ม}}{\text{กำลังงานที่ขับใบพัดปั๊ม}}$$

$$= \frac{P \cdot Q_{\text{actual}}}{T_{\text{actual}} \cdot \omega}$$

4.5 ประสิทธิภาพของปั๊มในระบบขนาน

$$\eta = \frac{\rho g Q h_{p(\text{average})}}{P_{\text{input1}} + P_{\text{input2}}}$$

เมื่อ $h_{p(\text{average})} = \frac{h_p(\text{pump1}) + h_p(\text{pump2})}{2}$

P_{input1} = กำลังที่ป้อนให้กับปั๊มตัวที่ 1

P_{input2} = กำลังที่ป้อนให้กับปั๊มตัวที่ 2

4.6 ประสิทธิภาพของปั๊มในระบบอนุกรม

$$\eta = \frac{\rho g Q h_{p2}}{P_{\text{input1}} + P_{\text{input2}}}$$

เมื่อ P_{input1} = กำลังที่ป้อนให้กับปั๊มตัวที่ 1

P_{input2} = กำลังที่ป้อนให้กับปั๊มตัวที่ 2

5. สรุปผลการทดลอง

การทำงานร่วมกันของปั๊มระบบขนานจะให้อัตราการไหลมากกว่าการทำงานของปั๊มเพียงตัวเดียว (ทั้งสองตัว) และเสถียรจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี โดยที่มีอัตราการไหลของระบบขนานเพิ่มขึ้นจากปั๊มตัวที่ 1 เป็น 29.31% และปั๊มตัวที่ 2 เป็น 26.20% ประสิทธิภาพของระบบขนานลดลงจากทฤษฎี 7.9 % ดังนั้นการต่อระบบขนานเหมาะสำหรับกับงานที่ต้องการเพิ่มอัตราการไหล

การทำงานร่วมกันของปั๊มระบบอนุกรมจะให้เสถียรมากกว่าการทำงานของปั๊มเพียงตัวเดียว (ทั้งสองตัว) และมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี โดยที่เสถียรของระบบอนุกรมเพิ่มขึ้นจากปั๊มตัวที่ 1 ที่ 116.15% และปั๊มตัวที่ 2 ที่ 87.73% ประสิทธิภาพของระบบอนุกรมลดลงจากทฤษฎี 9 % ดังนั้นการต่อระบบอนุกรมเหมาะสมกับงานที่ต้องการเพิ่มระยะการส่งน้ำที่ไกลยิ่งขึ้นหรือเสถียรมากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 หนังสือ

- [1] วิบูลย์ บุญยธโรกุล (2529). ปั๊มและระบบสูบน้ำ, กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] Michael (2005). Pump Characteristics and Applications, New York: Taylor & Francis Group
- [3] นายปฐมชัย สุวรรณปิณฑะ, นายพิรล จันทนเสถียร, นายชัยญา ทิพย์วรรณ(2549). การออกแบบและจัดสร้างชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบปั๊มคู่, กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

6.2 เว็บไซต์

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, Thailand (2010). Statistic Data, URL: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/download/file_handbook/Pre_Fac/Fac_10.pdf, access on 24/09/2559.
- [2] Food Network Solution Co., Ltd (2017). Rota meter / โรตاميเตอร์, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7251/rotameter-โรตاميเตอร์>, เข้าดูเมื่อวันที่ 03/09/2559.
- [3] IEnergyGuru (2015). ปั๊ม (Pump), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://www.ienergyguru.com/2015/09/pump/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 03/09/2559.
- [4] KTW Group เกรียงไทยวัฒนากรู๊ป (2015). หลักการทำงานของปั๊มน้ำหอยโข่ง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.ktwgroup-ebara.com/หลักการทำงานของปั๊มน้ำหอยโข่ง>, เข้าดูเมื่อวันที่ 02/09/2559.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [5] McNally institute (2013). *Series and parallel operation of centrifugal pumps*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.mcnallyinstitute.com/18-htm/18-1.htm>, เข้าดูเมื่อวันที่ 02/09/2559.
- [6] NovaBizz (2017). *เครื่องปั้มน้ำ (Pump)*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://www.novabizz.com/CDC/System/เครื่องปั้มน้ำ.htm>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/10/2559.
- [7] 9engineer.com (2552). *ความดันและหัวน้ำหรือเฮดของปั้ม (Pressure & head)*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=show&article_id=461, เข้าดูเมื่อวันที่ 18/08/2559.
- [8] 9engineer.com (2552). *คุณลักษณะของปั้มแบบต่างๆ (Characteristic Curves)*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=463, เข้าดูเมื่อวันที่ 05/07/2559.
- [9] เพชรรวงข้าว | ablewaterpump (2012). *ทำความเข้าใจกับปั้มหอยโข่งแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.ablewaterpump.com/web/allcontent/installation/problems1122installa/415-centrifugalpump?showall=1>, เข้าดูเมื่อวันที่ 26/10/2559.
- [10] ยานยนต์อุตสาหกรรม | ข้อมูลจำเพาะของส่วนต่างๆ (2558). *แรงหนีจุดศูนย์กลาง*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://vehicleindustrial.blogspot.com/2011/01/blog-post_29.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 04/12/2559.

Status Valve (Fully - Shut)	Vacuum (cm.Hg)	Pressure (psi)	Force (N)	ω (rad/s)	Q (m ³ /s)	Hp (m)	Power input (Watt)	Power output (Watt)	η (%)
Fully				299.4985	0.002620				
1/2				299.3456	0.002632				
1				299.1843	0.002643				
1 1/2				297.1554	0.002582				
2				295.5191	0.002548				
2 1/2				290.2645	0.002423				
3				284.9425	0.002385				
3 1/2				246.6150	0.002047				
4				236.3525	0.001822				
4 1/2				291.8540	0.000754				

ตารางที่ 1ค. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบปั๊มตัวที่ 1

Status Valve (Fully - Shut)	Vacuum (cmHg)	Pressure (Psi)	Force (N)	ω (rad/s)	Q (m ³ /s)	Hp (m)	Power input (Watt)	Power output (Watt)	η (%)
Fully				298.4513	0.002685				
1/2				298.2634	0.002683				
1				298.0324	0.002679				
1 1/2				297.2544	0.002612				
2				295.5191	0.002574				
2 1/2				293.2559	0.002498				
3				291.5398	0.002448				
3 1/2				280.7537	0.002215				
4				251.6416	0.001916				
4 1/2				284.0000	0.000845				

ตารางที่ 2ก. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบปั๊มตัวที่ 2

Status Valve (Fully - Shut)	Vacuum From pump1 (cmHg)	Pressure From pump2 (Psi)	Force From pump1 (N)	ω From pump1 (rad/s)	Force From pump2 (N)	ω From pump2 (rad/s)	Q (m ³ /s)	Hp (m)	Power input (Watt)	Power output (Watt)	η (%)
Fully				297.4041		298.2419	0.003288				
1/2				296.1024		296.7548	0.003267				
1				292.6917		291.6445	0.003241				
1 1/2				290.3694		289.3648	0.003198				
2				289.0265		287.9793	0.003178				
2 1/2				287.8964		286.3671	0.003157				
3				286.9321		285.0472	0.00312				
3 1/2				279.7065		279.1829	0.002841				
4				277.9262		273.3186	0.002431				
4 1/2				294.4720		288.5029	0.001221				

ตารางที่ 3ก. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบปั๊มในระบบอนุกรม

Status Valve (Fully - Shut)	Pressure From pump1 (psi)	Vacuum From pump1 (cm.Hg)	Pressure From pump2 (psi)	Vacuum From pump2 (cm.Hg)	Force From pump1 (N)	ω From pump1 (rad/s)	Force From pump2 (N)	ω From pump2 (rad/s)	Q (m ³ /s)	Hp average (m)	Power input (Watt)	Power output (Watt)	η (%)
Fully						299.3938		300.5457	0.00338792				
½						297.6364		297.214	0.00337623				
1						294.2625		296.5663	0.00336511				
1 ½						291.5487		291.4487	0.00332842				
2						289.0265		287.9793	0.00330396				
2 ½						286.3211		283.3648	0.00329754				
3						284.2094		273.9469	0.00320513				
3 ½						259.8097		257.1917	0.0028997				
4						263.9985		265.5693	0.00250627				
4 ½						293.4248		288.5029	0.00078544				

ตารางที่ 4ก. แสดงข้อมูลจากการทดสอบและการคำนวณผลจากการทดสอบปั๊มในระบบขนาน



ภาคผนวก ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีแก้ไขในทางแรกจะเหมือนกับวิธีแก้ไขเรื่องความดันเสด ไม่เพียงพอ นั่นคือการเปลี่ยนปั้มน้ำใหม่ที่มีอัตราการไหล เพียงพอกับระบบ อีกวิธีคือการต่อปั้มน้ำแบบขนาน ที่สามารถเพิ่มอัตราการไหลให้แก่ระบบของเราได้ โดยใช้ระบบปั้มน้ำที่มากกว่า 2 ตัวขึ้นไปมาทำการต่อแบบขนาน ซึ่งจะส่งผลให้มีอัตราการไหลในระบบมากยิ่งขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การต่อปั้มน้ำ ในแบบอนุกรมสามารถช่วยเพิ่มค่าความดันเสดได้ ส่วน การต่อปั้มน้ำแบบขนานจะเป็นการเพิ่มอัตราการไหลแทน โดยการต่อแต่ละระบบจะเพิ่มความสามารถแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายตามความต้องการของระบบที่เราจะใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ออกแบบชุดทดลองและจัดทำชุดทดลอง สมรรถนะของปั้มน้ำหอยโข่งแบบอนุกรมและขนานเพื่อใช้งานในห้องปฏิบัติการทดลองทางวิศวกรรมเครื่องกล

1.2.2 ทดสอบสมรรถนะของปั้มน้ำหอยโข่งและหาค่าต่างๆในการต่อแบบอนุกรมและการต่อแบบขนาน รวมไปถึงหาค่าต่างๆของปั้มน้ำเพียงตัวเดียวด้วย

1.2.3 จัดทำเอกสารประกอบการเรียนการสอน เพื่อใช้ในชุดปฏิบัติการ

1.2.4 นำเสนอแนวความคิดการออกแบบระบบปั้มน้ำเบื้องต้น

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นในการศึกษา และให้ความรู้ในการออกแบบปั้มน้ำระบบพื้นฐานโดยจะมีการทดสอบสมรรถนะของปั้มน้ำหอยโข่ง 2 ตัว ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทหลักคือ การทดสอบโดยปั้มน้ำเพียงตัวเดียว , การทดสอบปั้มน้ำ 2 ตัวโดยต่อแบบอนุกรม , การทดสอบปั้มน้ำ 2 ตัวโดยต่อแบบขนาน และนำค่าที่ได้จากระบบปั้มน้ำต่างๆมาทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงประสิทธิภาพ (Performance cave) เพื่อดูค่าที่เพิ่มขึ้นจากการต่อแบบระบบต่างๆ โดยที่ชุดอุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นจะนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ความรู้ด้านการออกแบบปั้มน้ำ

1.4 วิธีการดำเนินงาน

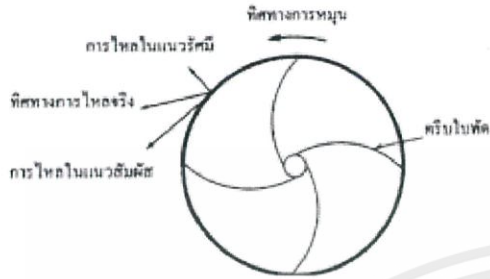
โครงการนี้เริ่มต้นจากคณะผู้จัดทำต้องการศึกษาเกี่ยวกับระบบปั้มน้ำที่พบเจอในชีวิตประจำวัน จึงทำการศึกษาทฤษฎีหลักการทํางานของปั้มน้ำ โดยเลือกใช้ปั้มน้ำหอยโข่งเพราะเป็นปั้มน้ำที่นิยมใช้งานอย่างมาก และเป็นพื้นฐานของปั้มน้ำที่สามารถศึกษาได้ง่าย โดยทำการติดตั้งปั้มน้ำแบบอนุกรมและแบบขนาน ซึ่งทำการออกแบบเดินระบบท่อโดยอาศัยการเปิดปิดของวาล์วน้ำ เพื่อสร้างชุดทดลองทดสอบสมรรถนะของปั้มน้ำหอยโข่งตามระบบที่กล่าวมาข้างต้นและทำการเก็บข้อมูลการทดลอง เพื่อหาแนวโน้มที่ถูกต้อง รวมไปถึงจัดทำเอกสารให้ความรู้เพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการทดลองทางวิศวกรรมเครื่องกล

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปั้มน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump)

ปั้มน้ำประเภทนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการสูบน้ำ นม สารหล่อลื่น สารละลายเคมี วัสดุทางการแพทย์ที่ใช้ในการแปรรูป ฯลฯ เป็นต้น มีประสิทธิภาพในการสูบน้ำสูงและยังให้ทำงานที่ระดับความดันสูงได้ ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในเรือนปั้มน้ำเรียกว่าโรเตอร์ (rotor) หรือใบพัด (Impeller) จะเป็นตัวทำให้เกิดการขับเคลื่อนของไหล ตัวแพร่กระจายน้ำ (Diffuser) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเสดความเร็ว (Velocity head) เป็นความดันสถิตย์ (Static pressure) ของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับแกนเพลลาแล้วถูกเหวี่ยงออกไปตามแนวรัศมีของใบพัดหรือโรเตอร์ กลไกการส่งผ่านพลังงานในโรเตอร์หรือใบพัด เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหล ก่อให้เกิดความแตกต่างความดันภายในระบบทำให้เกิดการไหลในแนวเส้นรอบวง (Tangential flow) เป็นผลให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) ทำให้เกิดการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้น รอบ

วงทุกทิศ ทางออกไปทางท่อส่ง ดังนั้น ของไหลที่ถูกขับ
ดันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เกิดจากผลรวมของแรง
ทั้งสอง ดังรูป



รูปที่ 1 แสดงทิศทางการไหลของของไหลขณะผ่านออก
จากใบพัดของ Centrifugal pump



รูปที่ 2 แสดงลักษณะทั่วไปของ Centrifugal pump

2.2 การวัดแรงบิด (ทอร์ค)

ในการวัดแรงบิดของปั๊มเราเลือกที่จะใช้วิธีที่ชื่อว่า
balance generator โดยที่สามารถคำนวณหาแรงบิดได้
จาก กำลังของเพลลาที่ส่งให้ตัวใบพัดปั๊มน้ำขณะที่ปั๊มน้ำมี
โหลดกระทำอยู่(น้ำถูกดูดไปใช้งาน) ซึ่งทุกสิ่งที่มีมวลจะมี
โมเมนต์ความเฉื่อย(Moment of Inertia)ที่เพลลาจะต้อง
ส่งกำลังไปขับโหลด(ตัวใบพัดและน้ำ) การที่เราต้องการ
จะวัดแรงบิดนั้น จำเป็นต้องทำให้ตัวเรือนปั๊มเป็นอิสระ
จากตัวมอเตอร์ที่ให้กำลัง ทำให้ไม่มีแรงต้านโมเมนต์ของ
โหลดที่ส่วนกลับมาได้ ดังนั้นจึงได้ทำการติดตั้งตัววัด
ค่าแรง ซึ่งการวัดค่านั้นจะดึงตัวมอเตอร์ให้กลับเข้าสู่
สมดุล(ตำแหน่งเดิมก่อนเริ่มทำงาน) เพื่อที่จะวัดแรงและ
นำไปคำนวณหาแรงบิดได้จากสมการ

3. สมการและกราฟแสดงความสัมพันธ์

3.1 สมการ (Equation)

3.1.1 Reynolds Equation

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

3.1.2 Major Loss Equation

$$h_{f,laminar} = f_{laminar} \frac{L V^2}{D 2g}$$

3.1.3 Minor Loss Equation

$$h_L = K \frac{V^2}{2g}$$

3.1.4 System Head Equation

$$h_{sys} = Z + h_f + h_L$$

3.1.5 Hydraulic efficiency Equation

$$\eta_h = \frac{PQ}{\tau\omega} \times 100\%$$

3.1.6 Serial efficiency Equation

$$\eta = \frac{(H_1 + H_2)}{\left(\frac{H_1}{\eta_1} + \frac{H_2}{\eta_2}\right)}$$

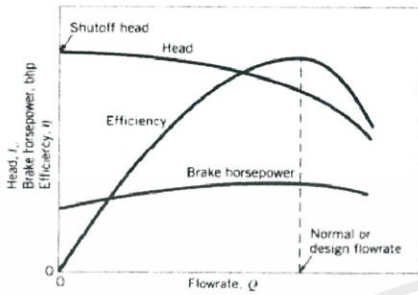
3.1.7 Parallel efficiency Equation

$$\eta = \frac{(Q_1 + Q_2)}{\left(\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2}\right)}$$

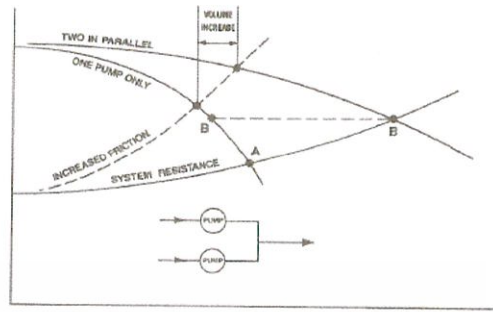
3.2 กราฟสมรรถนะและแสดงความสัมพันธ์

3.2.3 ปั๊ม 2 ตัวต่อขนาน

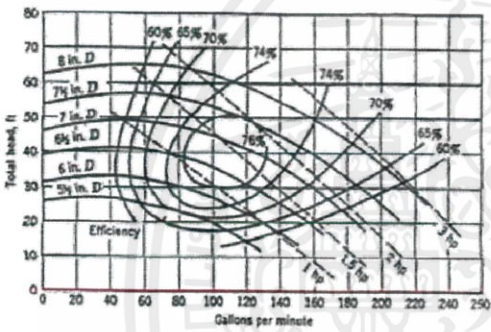
3.2.1 กรณีปั๊มตัวเดียว



รูปที่ 3 กราฟตัวอย่างแสดงสมรรถนะของปั๊ม



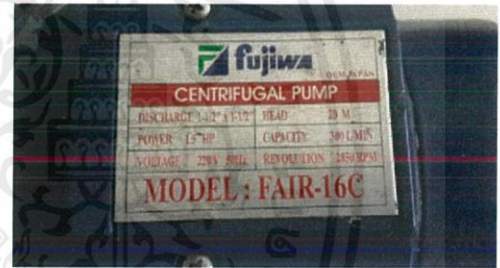
รูปที่ 6 กราฟตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ของปั๊มต่อแบบขนาน



รูปที่ 4 กราฟตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปั๊ม

4. ติดตั้งปั๊ม ต่อระบบท่อและอุปกรณ์อื่น

4.1 ปั๊ม fujiwa รุ่น FAIR-16C

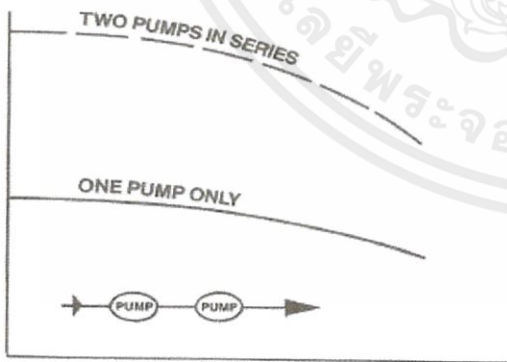


รูปที่ 7 ภาพแสดงรายละเอียดของปั๊ม

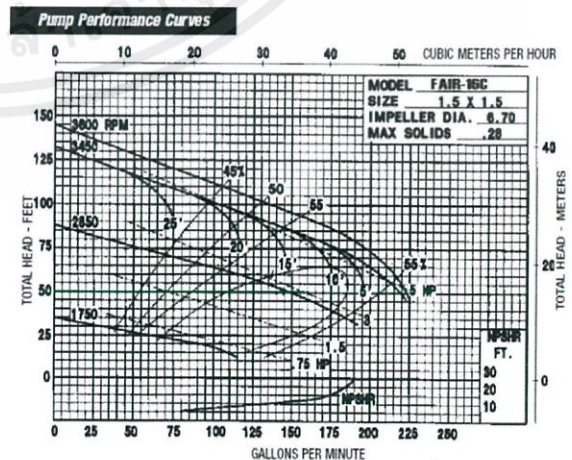
3.2.2 ปั๊ม 2 ตัวต่ออนุกรม

4.1.1 กราฟคุณลักษณะของปั๊ม fujiwa รุ่น FAIR-16C

(แคตตาล็อกได้รับเมื่อทำการซื้อปั๊ม)



รูปที่ 5 กราฟตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ของปั๊มต่อแบบอนุกรม



รูปที่ 8 กราฟคุณลักษณะของปั๊ม fujiwa

Ref : Catalog ฟุจิวา (fujiwa) - บริษัท อาเซ - ไทย

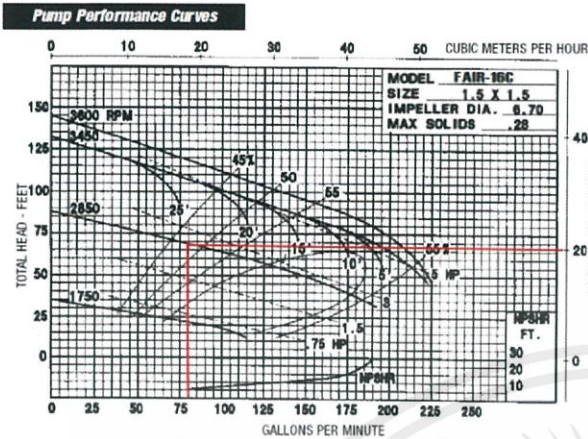
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาติให้วางใจประโยชน์ด้านการค้า

จำกัด | ARCE - THAI COMPANY

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลการทดลอง

4.1.2 ทำการหาประสิทธิภาพของปั้ม fujiwa



รูปที่ 9 กราฟคุณลักษณะของปั้ม fujiwa

ทำการหาประสิทธิภาพของปั้มแต่ละตัว

Capacity of pump 1 : 300L/min = 79.25 gpm

Capacity of pump 2 : 300L/min = 79.25 gpm

จะได้ว่าที่ Head 20 m.=65.7 ft. , Capacity 79.25 gpm , 1.5 Hp จะมีประสิทธิภาพประมาณ 47%

4.2 ท่อกล้าวไนซ์ 1.5 นิ้ว



รูปที่ 10 ท่อกล้าวไนซ์

4.3 ภาพรวมของระบบเมื่อต่อครบ



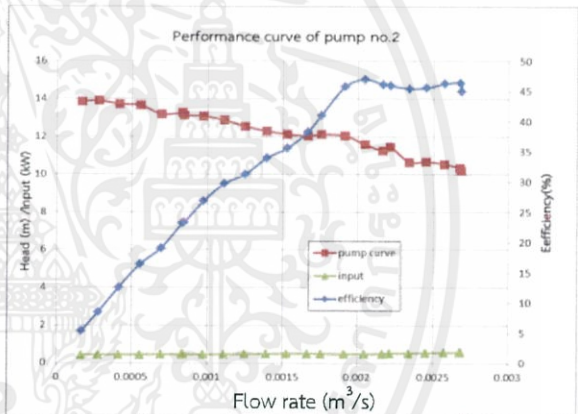
รูปที่ 11 ภาพรวมของระบบ

5.1 กราฟแสดงสมรรถนะของปั้ม1



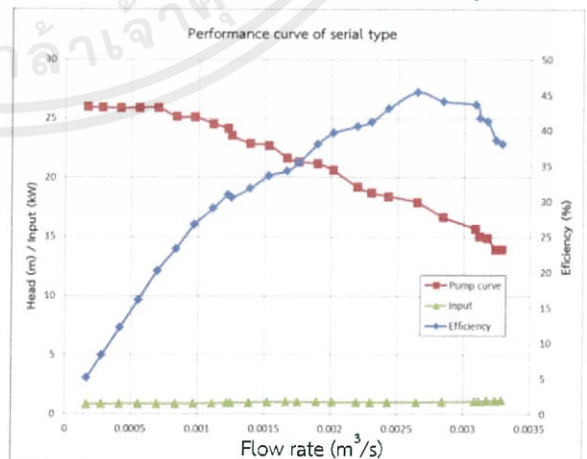
รูปที่ 12 กราฟแสดงสมรรถนะของปั้ม1

5.2 กราฟแสดงสมรรถนะของปั้ม2



รูปที่ 13 กราฟแสดงสมรรถนะของปั้ม2

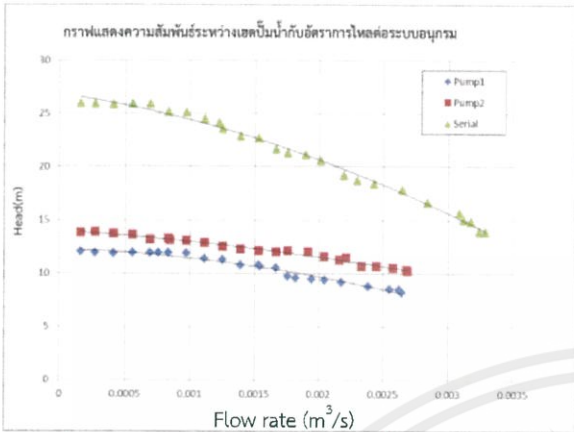
5.3 กราฟแสดงสมรรถนะของปั้ม2ตัวต่ออนุกรม



รูปที่ 14 กราฟแสดงสมรรถนะของปั้ม2ตัวต่ออนุกรม

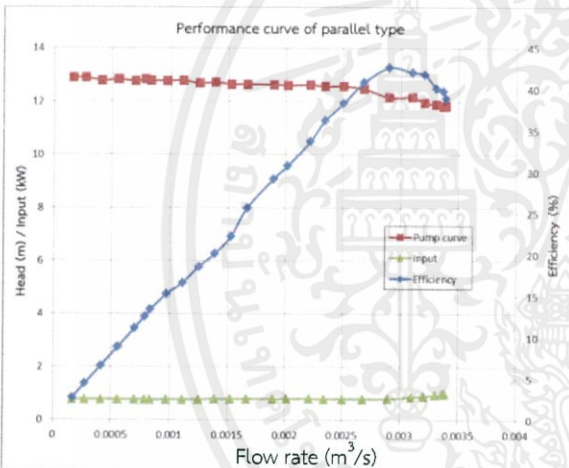
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 กราฟเปรียบเทียบระบบเมื่อต่อระบบอนุกรม



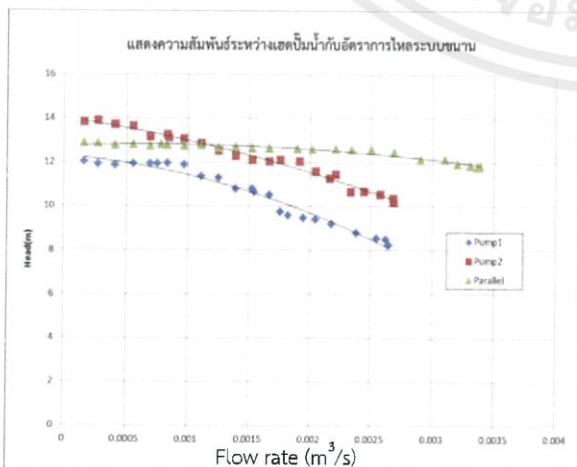
รูปที่ 15 กราฟเปรียบเทียบระบบเมื่อต่อระบบอนุกรม

5.5 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม 2 ตัวต่อขนาน



รูปที่ 16 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม 2 ตัวต่อขนาน

5.6 กราฟเปรียบเทียบระบบเมื่อต่อระบบขนาน



รูปที่ 17 กราฟเปรียบเทียบระบบเมื่อต่อระบบขนาน

6. สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดสอบ

การทำงานร่วมกันของปั๊มระบบขนานจะทำให้ อัตราการไหลมากกว่าการทำงานของปั๊มเพียงตัวเดียว(ทั้ง สองตัว)และเฮดจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับ ทฤษฎี โดยที่มีอัตราการไหลของระบบขนานเพิ่มขึ้นจาก ปั๊มตัวที่ 1 เป็น 29.31%และปั๊มตัวที่ 2 เป็น 26.20% ประสิทธิภาพของระบบขนานลดลงจากทฤษฎี 8.09 % ดังนั้นการต่อระบบขนานเหมาะสำหรับกับงานที่ต้องการ เพิ่มอัตราการไหล

การทำงานร่วมกันของปั๊มระบบอนุกรมจะให้ เฮดมากกว่าการทำงานของปั๊มเพียงตัวเดียว(ทั้งสองตัว) และมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้อง กับทฤษฎีโดยที่เฮดของระบบอนุกรมเพิ่มขึ้นจากปั๊มตัวที่ 1 ที่ 64.50 % และปั๊มตัวที่ 2 ที่ 36.66 % ประสิทธิภาพ ของระบบอนุกรมลดลงจากทฤษฎี 8.92 % ดังนั้นการต่อ ระบบอนุกรมเหมาะสมกับงานที่ต้องการเพิ่มระยะการส่ง น้ำที่ไกลยิ่งขึ้นหรือเฮดมากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้ได้รับการช่วยเหลือจากคณาจารย์ ภาควิศวกรรมเครื่องกลหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่ขอ กล่าวถึงบุคคลแรกที่ทำให้รายงานฉบับนี้มีความก้าวหน้า มากขึ้นก็คือ ผศ.ดร.มณฑล ใจกุลศล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ ปริญญาหลัก ให้คำแนะนำต่างๆตลอดจนความช่วยเหลือ ให้แก่คณะผู้จัดทำ อีกท่านหนึ่งคือ รศ.ดร.จำลอง ปราบ-แก้ว ที่ซึ่งเป็นที่ปรึกษาพร้อม ให้ความรู้ในการทำโครงการงาน เพิ่มเติม

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ คณาจารย์ ประจำภาควิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ให้ความรู้แก่ คณะผู้จัดทำ รวมทั้งผู้ที่มีส่วนร่วมในการทำโครงการงานนี้ที่

อาจจะไม่ได้กล่าวถึง ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณมา ณ
ที่นี้ด้วย

8. เอกสารอ้างอิง

8.1 หนังสือ

- [1] วิบูลย์ บุญยธโรกุล (2529). ปั๊มและระบบสูบน้ำ, กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] Michael (2005). Pump Characteristics and Applications, New York: Taylor & Francis Group
- [3] นายปฐมชัย สุวรรณปิณฑะ, นายพิรล จันทนเสถียร, นายชัยภูษา ทิพย์วรรณ (2549). การออกแบบและจัดสร้างชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งแบบปั๊มคู่, กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

8.2 เว็บไซต์

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, Thailand (2010). URL: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/download/file_handbook/Pre_Fac/Fac_10.pdf, access on 24/09/2559.
- [2] Food Network Solution Co., Ltd (2017). Rota meter / โรตاميเตอร์, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7251/rotameter-โรตاميเตอร์>, เข้าดูเมื่อวันที่ 03/09/2559.
- [3] IEnergyGuru (2015). ปั๊ม (Pump), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา

<https://www.ienergyguru.com/2015/09/pump/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 03/09/2559.

- [4] KTW Group เกรียงไทยวัฒนากรุป (2015). หลักการทำงานของปั๊มน้ำหอยโข่ง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.ktwgroup-ebara.com/> หลักการทำงานของปั๊มน้ำหอยโข่ง, เข้าดูเมื่อวันที่ 02/09/2559.
- [5] McNally institute (2013). Series and parallel operation of centrifugal pumps, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.mcnallyinstitute.com/18-html/18-1.htm>, เข้าดูเมื่อวันที่ 02/09/2559.
- [6] NovaBizz (2017). เครื่องปั๊มน้ำ (Pump), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://www.novabizz.com/CDC/System/เครื่องปั๊มน้ำ.htm>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/10/2559.
- [7] 9engineer.com (2552). ความดันและหัวน้ำหรือเฮดของปั๊ม (Pressure & head), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=show&article_id=461, เข้าดูเมื่อวันที่ 18/08/2559.
- [8] 9engineer.com (2552). คุณลักษณะของปั๊มแบบต่างๆ (Characteristic Curves), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา

<http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&articleid=463>, เข้าดูเมื่อวันที่ 05/07/2559.

[9] เพชรรวงข้าว | ablewaterpump (2012). *ทำความเข้าใจกับปั๊มหอยโข่งแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.ablewaterpump.com/web/allcontent/installation/problems1122installa/415centrifugalpump?showall=1>, เข้าดูเมื่อวันที่ 26/10/2559.

[10] ยานยนต์อุตสาหกรรม | ข้อมูลจำเพาะของส่วนต่างๆ (2558). *แรงหนีจุดศูนย์กลาง*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://vehicleindustrial.blogspot.com/2011/01/blog-post_29.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 04/12/2559.