

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมความเร็วของปั๊มหอยโข่งตามสภาวะใช้งาน

FLOW RATE CONTROL OF CENTRIFUGAL PUMP DEPEND ON WORK  
CONDITION



เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 50161

วัน,เดือน,ปี 2 1 ส.ย. 2547

.b.....  
.i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความเร็วของปั๊มหอยโข่งตามสภาวะใช้งาน  
FLOW RATE CONTROL OF CENTRIFUGAL PUMP DEPEND ON WORK  
CONDITION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมความเร็วของปั๊มหอยโข่งตามสภาวะใช้งาน

FLOW RATE CONTROL OF CENTRIFUGUL PUMP DEPEND ON WORK CONDITION

ผู้จัดทำ

1. นาย เจริญพงษ์ หงษ์โต รหัสประจำตัว 42010482
2. นาย วิโรจน์ วิจิราณาญาณ รหัสประจำตัว 42010627
3. นาย สราวุธ สุทธิอนันต์ รหัสประจำตัว 42010655



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศศ. จำลอง ปราบแก้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมความเร็วของปั๊มหอยโข่งตามสภาวะใช้งาน

นาย เจริญพงษ์ หงษ์โต 42010482

นาย วิโรจน์ วิจารณ์ญาณ 42010627

นาย สราวุธ สุทธิอนันต์ 42010655

ผศ. จำลอง ปรามแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2545

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาถึงวิธีการควบคุมอัตราการไหลของปั๊มหอยโข่ง ให้เป็นไปตามความต้องการใช้งาน กล่าวคือเมื่อต้องการอัตราการไหลมากก็ให้ปั๊มหมุนด้วยความเร็วสูง และเมื่อต้องการอัตราการไหลน้อยก็ให้ปั๊มหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำ การควบคุมจะใช้สัญญาณป้อนกลับจากอุปกรณ์วัดการไหลระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยผ่านชุดแปลงสัญญาณและอินเวอร์เตอร์มาควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ เพื่อให้ความเร็วรอบในการหมุนสัมพันธ์กับอัตราการไหลที่ต้องการ แล้วศึกษาถึงการสูญเสียพลังงานที่สภาวะการใช้งานเดียวกันเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการควบคุมความเร็ว โดยใช้วิธีการทดลองจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# FLOW RATE CONTROL OF CENTRIFUGAL PUMP DEPEND ON WORK CONDITION

Charoenpong Hongto

Wiroj Wijaranayan

Sarawut Sutthianan

Assist. Prof, Chamlong Prabkeo      Advisor

## ABSTRACT

This paper is a report which study about how to control flow rate of the centrifugal pump. Feedback control signal from electronic instrument was used for adjusting the motor speed which related to the pump flow rate. The energy loss and pump performance were included in this study. They can be investigated by centrifugal pump testing equipment.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึง เพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จเสร็จสิ้นลงได้ก็คือ ผศ. จำลอง ปรามแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ เอาใจใส่ แนะนำ และเป็นกำลังใจให้นักศึกษาดำเนินงานเป็นกันเองเสมอมา ซึ่งพวกผมได้ซาบซึ้งและต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

อีกสองท่านที่ไม่อาจจะลืมได้เหมือนกัน เพราะถ้าหากไม่มีทั้งสองท่านนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็ไม่อาจเสร็จสิ้นได้เหมือนกัน เพราะพวกท่านได้ให้คำปรึกษาทางด้าน ไฟฟ้า และ อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญอย่างมากกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แต่ในที่นี้ไม่อาจกล่าวชื่อท่านเหล่านั้นได้ ( เพราะพวกท่านไม่ประสงค์จะออกนาม ) แต่ซึ่งใจก็ตาม ต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมากมาย ที่นี้ด้วย

และยังมีอีกหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ไม่ว่าจะเป็นท่านอาจารย์ ( พี่เป่า ) และเพื่อนนักศึกษา ไม่ว่าจะเป็น ที่ภาคเครื่องกล หรือ ภาควิชาอื่นๆ หรือมหาวิทยาลัยอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็น ชาย หรือ หญิง ก็ตามที่ได้คอยให้กำลังใจเวลาารู้สึก เหนื่อย ท้อแท้ และหมดหวัง ซึ่งท่านเหล่านี้ก็เปรียบเสมือน จิ๊กซอ ที่มาประกอบรวมกันให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้

และสุดท้ายที่ลืมเสียมิได้ ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เจริญพงษ์ หงษ์โต  
 วิโรจน์ วิจารณ์านูญ  
 สราวุธ สุทธิอนันต์

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญภาพ .....	VIII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับปั๊ม	
2.1 ชนิดของปั๊ม (Pump Classification) .....	3
2.2 เซดปั๊ม (Head Pump) .....	5
2.2.1 เซดความดัน (Pressure Head: $H_p$ ) .....	5
2.2.2 เซดความเร็ว (Velocity Head: $H_v$ ) .....	5
2.2.3 เซดสถิตย (Static Head: $H_s$ ) .....	5
2.2.4 เซดความเสียด (Friction Head: $H_f$ ) .....	5
2.2.5 เซดรวม (Total Head: $H$ ) .....	6
2.3 สมการออยเลอร์ (Euler's Equation) .....	7
2.4 ความเร็วจำเพาะ .....	8
2.5 Net Positive Suction Head (NPSH) .....	9
2.6 คาวิเทชัน (Cavitation) .....	10
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์	
3.1 ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ .....	11
3.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ .....	13
3.3 การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ .....	17
3.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงความถี่ต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ .....	18

## บทที่ 4 การทดสอบสมรรถนะของปั๊ม

4.1 กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊มและที่ปั๊มให้แก่ น้ำ .....	19
4.2 การวัดค่าจากการทดสอบสมรรถนะของปั๊ม .....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ ( ต่อ )

หน้า

4.2.1 อัตราการไหล ( m <sup>3</sup> /min ) .....	20
4.2.2 เสดราม (m) .....	20
4.2.3 กำลังงานที่ปั๊ม (kW) .....	21
4.2.4 ความเร็วรอบ (rpm) .....	21
4.3 การแปลงหน่วยจากเครื่องมือวัดความดัน .....	21
4.3.1 เสดความดันทางเข้า (Suction pressure head) .....	21
4.3.2 เสดความดันทางออก ( Discharge pressure head) .....	22
4.4 วิธีการทดลอง .....	22
4.5 ผลการทดลอง .....	22
บทที่ 5 ระบบควบคุมปั๊มหยอโข่งตามภาระการทำงาน .....	
5.1 หลักการควบคุมการทำงานของปั๊มหยอโข่ง .....	24
5.2 ชุดประกอบสวิตซ์เกียร์ ( บล็อกกันมอเตอร์ ) .....	25
5.2.1 คอนแทกเตอร์ .....	27
5.2.2 รีเลย์โหดกลับ .....	28
5.2.3 เซอร์คิตเบรกเกอร์ .....	29
5.3 Flow Sensor ชนิด Paddle-Wheel .....	30
5.3.1 โครงสร้างของ Paddle-Wheel Flow Sensor .....	30
5.3.2 ค่า K-factor .....	30
5.4 อินเวอร์เตอร์ .....	32
5.4.1 ความถี่กระแสสลับ (AC Frequency) .....	33
5.4.2 ขนาดของแรงดันกระแสสลับ (Magnitude of AC Voltage) .....	33
5.4.3 การรับคำสั่งของ อินเวอร์เตอร์ .....	33
5.5 วงจร Converter .....	34
5.5.1 ส่วนของ Power supply .....	34
5.5.2 วงจร Converter .....	37
บทที่ 6 อุปกรณ์และผลการทดลองเมื่อใช้ระบบควบคุม .....	
6.1 อุปกรณ์ .....	45
6.2 วิธีการทดลอง .....	45
6.3 ผลการทดลอง .....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ ( ต่อ )

หน้า

บทที่ 7 สรุปผลและวิจารณ์	
7.1 สรุปผล .....	59
7.2 วิจารณ์การทดลอง .....	59
บรรณานุกรม .....	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

หน้า

## บทที่ 6 อุปกรณ์และผลการทดลองเมื่อใช้ระบบควบคุม

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1500 rpm .....	47
ตารางที่ 6.2 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1400 rpm .....	48
ตารางที่ 6.3 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1300 rpm .....	49
ตารางที่ 6.4 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1200 rpm .....	50
ตารางที่ 6.5 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1100 rpm .....	51
ตารางที่ 6.6 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1000 rpm .....	52
ตารางที่ 6.7 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 900 rpm .....	53
ตารางที่ 6.8 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊ม โดยใช้ระบบควบคุมอัตราการไหล .....	54



## สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 1	บทนำ	
รูปที่ 1.1	วงจรการควบคุมอัตราการไหล	1
บทที่ 2	หลักการและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับปั๊ม	
รูปที่ 2.1	แสดงลักษณะโครงสร้างของปั๊มหอยโข่ง	4
รูปที่ 2.2	การคำนวณเฮดระหว่างจุดที่ทางเข้าและจุดที่ทางออก	6
รูปที่ 2.3	ความเร็วของอนุภาคของของเหลวไหลเข้าและไหลออกจากใบพัด	7
บทที่ 3	หลักการและทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์	
รูปที่ 3.1	ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก	12
รูปที่ 3.2	ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบซลาคพัน	12
รูปที่ 3.3	หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	13
รูปที่ 3.4	สนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำ	14
รูปที่ 3.5	แสดงคุณลักษณะแรงบิด/กระแส-ความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	15
รูปที่ 3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและโพลของไหล	16
รูปที่ 3.7	จุดสมมูลของมอเตอร์ 3 เฟส	16
บทที่ 4	การทดสอบสมรรถนะของปั๊ม	
รูปที่ 4.1	ระบบของชุดทดสอบสมรรถนะของปั๊ม	19
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง	23
บทที่ 5	ระบบควบคุมปั๊มหอยโข่งตามภาระการทำงาน	
รูปที่ 5.1	Block Diagram แสดงระบบควบคุมปั๊มหอยโข่ง	24
รูปที่ 5.2	แสดง วงจรไฟฟ้าในระบบควบคุมปั๊มหอยโข่ง	25
รูปที่ 5.3	ชุดประกอบสวิตซ์เกียร์	26
รูปที่ 5.4	แสดงชุดประกอบสวิตซ์เกียร์ที่ได้จัดทำขึ้น	26
รูปที่ 5.5	ส่วนประกอบของคอนแทกเตอร์แบบหนึ่ง	27
รูปที่ 5.6	แสดงรูปของรีเลย์ความร้อนเกิน	28
รูปที่ 5.7	แผนภาพแสดงขดลวดคอนแทกเตอร์และหลอดไฟซีนา	29
รูปที่ 5.8	โครงสร้างของ Paddle-Wheel Flow Sensor	30

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.9	K- factor Curve .....	30
รูปที่ 5.10	วงจรสัญญาณของ Flow Sensor แบบ Paddle-Wheel .....	31
รูปที่ 5.11	แสดง Inverter ที่ใช้ใน โครงการงาน .....	32
รูปที่ 5.12	แสดงการรับคำสั่งของเครื่องอินเวอร์เตอร์ .....	33
รูปที่ 5.13	วงจรถบรีดส์เรกติไฟายเออร์ .....	34
รูปที่ 5.14	แสดงการทำงานของ วงจรถบรีดส์เรกติไฟเออร์ .....	35
รูปที่ 5.15	แสดง IC Regulator เบอร์ 79XX .....	36
รูปที่ 5.16	แสดง IC Regulator เบอร์ 78XX .....	36
รูปที่ 5.17	แสดงการกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ .....	36
รูปที่ 5.18	แสดงตัวอย่างวงจร Regulator แปลงไฟเป็น 5 VDC .....	37
รูปที่ 5.19	แสดง Block Diagram ระบบควบคุม ทั้งหมด .....	38
รูปที่ 5.20	แสดงการ “Cutoff” ของวงจร .....	38
รูปที่ 5.21	แสดงตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำ แบบพื้นฐาน .....	39
รูปที่ 5.22	แสดง IC สำเร็จ CD4093B Schmitt Trigger .....	40
รูปที่ 5.23	แสดงการเปลี่ยนสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณแรงดัน .....	40
รูปที่ 5.24	วงจรถบรีดส์เรกติไฟายเออร์ที่เปลี่ยนสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณแรงดัน .....	41
รูปที่ 5.25	แสดง Internal Block Diagram ของ IC สำเร็จ LM331 .....	42
รูปที่ 5.26	แสดงการใช้อ้างจรออปโตคอปเปอร์เป็นบัฟเฟอร์สำหรับแยกวงจร 2 ชุดออกจากกัน ...	42
รูปที่ 5.27	แสดงวงจร Converter ที่ได้จัดทำขึ้น .....	43
บทที่ 6	อุปกรณ์และผลการทดลองเมื่อใช้ระบบควบคุม	
รูปที่ 6.1	ชุดระบบควบคุมปั๊มที่ได้ออกแบบและจัดทำขึ้น .....	44
รูปที่ 6.2	แสดง ชุดทดลองที่ได้ประกอบขึ้นจริง .....	44
รูปที่ 6.3	H - Q Curve ของปั๊มหอยโข่งที่ความเร็วรอบต่างๆ .....	55
รูปที่ 6.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับกำลังที่ได้จากปั๊ม .....	56
รูปที่ 6.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับประสิทธิภาพปั๊ม .....	57
รูปที่ 6.6	กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างใช้ระบบควบคุม ความเร็วรอบกับไม่ใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบ .....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

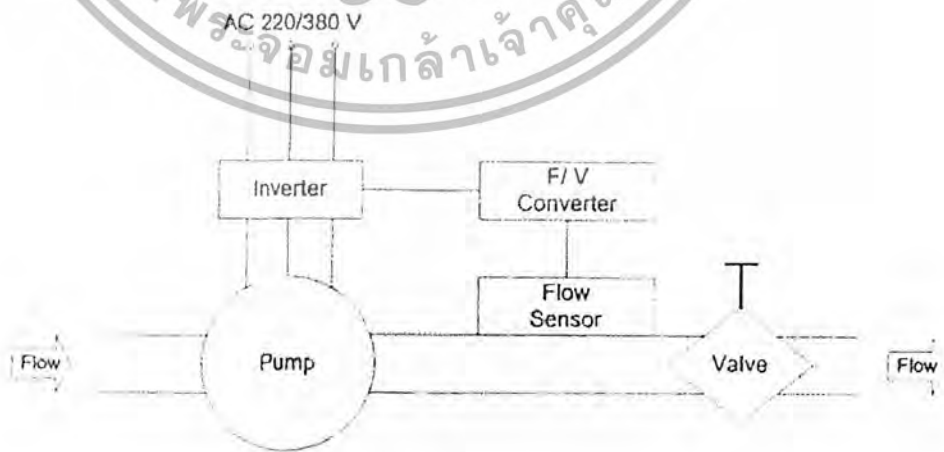
สิ่งที่จำเป็นสำหรับการใช้ปั๊มคือ การที่สามารถทำให้ปั๊มมีสมรรถนะหรือประสิทธิภาพสูง และเป็นที่เชื่อถือได้ และใช้พลังงานในการขับปั๊มน้อยที่สุด การประหยัดพลังงานซึ่งสามารถทำได้โดยการออกแบบปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวปั๊มให้สูงขึ้น รวมถึงการปรับปรุงระบบที่เกี่ยวข้องกับปั๊มโดยรวม

ในงานบางประเภท อัตราการใช้งานของปั๊มไม่คงที่ตลอดเวลา บางช่วงจะใช้น้ำมาก คือต้องการอัตราการไหลสูง และบางช่วงอาจจะใช้น้อย คือต้องการอัตราการไหลต่ำ ในสภาวะปกติที่ไม่มีการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ มอเตอร์จะทำงานที่ความเร็วรอบก่อนข้างจะคงที่ ซึ่งถ้าพิจารณาจากสมการกำลังที่ได้จากมอเตอร์ ( สมการที่ 1.1 )

$$P = T\omega \tag{1.1}$$

$$\omega = 2\pi N \tag{1.2}$$

จะเห็นได้ว่ากำลังที่ให้มอเตอร์นั้น จะขึ้นอยู่กับ ค่า ทอร์ก ( T ) และ ค่าความเร็วเชิงมุม (  $\omega$  ) ซึ่งจะสัมพันธ์กับ ความเร็วรอบ ตามสมการที่ 1.2 ซึ่งเมื่อมีการหริวาล์ว ( ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลในท่อลดลง ) จะทำให้เกิดการอื่นในท่อ มีผลทำให้ค่าทอร์ก ( T ) สูงขึ้น ในขณะที่ ความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่ ซึ่งจะมีผลทำให้กำลังของมอเตอร์สูงขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง ซึ่งโครงการนี้จะทำการปรับลดค่ากำลังของมอเตอร์ลงมาโดยการลดความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยการจัดทำวงจรควบคุมขึ้นมาตามรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 วงจรการควบคุมอัตราไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากเราสามารถทำให้มอเตอร์ ทำงานที่ความเร็วรอบที่เหมาะสมกับอัตราการใช้ โดยถ้ามีอัตราการใช้ต่ำ ก็ให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำกว่าตอนที่อัตราการใช้สูง ก็จะทำให้เป็นการประหยัดพลังงานที่มอเตอร์

โครงการนี้จะศึกษาวิธีควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อน โดยการให้ความเร็วรอบสัมพันธ์กับอัตราการใช้ที่ต้องการ ซึ่งจะใช้สัญญาณป้อนกลับจาก Flow Sensor มาผ่านชุดแปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า VDC (Frequency to Voltage Converter) จากนั้นจึงใช้สัญญาณแรงดัน VDC ไปควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งใช้ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อน ให้มอเตอร์ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบได้สัมพันธ์กับสัญญาณแรงดัน VDC ที่ส่งเข้าไปที่อินเวอร์เตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับปั๊ม

ปั๊มเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทของไหลผ่านทางท่อ ปั๊มมีอยู่หลายชนิดซึ่งออกแบบมาใช้งานในรูปแบบที่แตกต่างกัน จะขอยกตัวอย่างประเภทของปั๊มที่มีใช้กันและจะแสดงให้เห็นแนวทางที่จะใช้ประโยชน์ในการเลือกประเภทของปั๊มสำหรับงานเฉพาะอย่าง และจะอธิบายรวมถึง วิธีการทดสอบปั๊ม การนำผลที่ได้มาใช้งานในการเลือกขนาดปั๊ม ซึ่งจะครอบคลุมถึงเรื่อง Cavitation และการหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์นี้ ด้วยการออกแบบปั๊มให้เหมาะสม ซึ่งจะครอบคลุมถึงการคำนวณ Net Positive Suction Heads (NPSH)

#### 2.1 ชนิดของปั๊ม (Pump Classification)

โดยทั่วไปปั๊มมีอยู่ 2 ประเภทคือ

1. Non-Positive displacement
2. Positive displacement

Non-Positive displacement มักจะใช้นิยามของความเร็วรอบ เป็นการส่งถ่ายกำลัง ไปยังของไหลในรูปของความเร็วและ แรงดัน ส่วนปั๊มแบบ Positive displacement มีการจำกัดปริมาณหรือการเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของ chamber ซึ่งรับและปล่อยของไหลออกจากปั๊ม

การจำแนกปั๊มแบบ Non-Positive displacement มักจะอ้างอิงทิศทางการไหลของของไหลนั้นว่าเป็นลักษณะตามแนวแกนของกรวยหมุน หรือ ขนานกับแกนหมุน (ของไหลไหลผ่านเข้ามาในแนวรัศมีของปั๊มในทิศทางตั้งฉากกับแกนหมุนของปั๊ม) ในการหมุนแบบผสม ทิศทางการไหลของของไหล ไม่ได้ไหลแบบผ่านในแนวแกนหรือตั้งฉากกับแนวแกนอย่างสมบูรณ์ แต่มีการผสมผสาน ในสองรูปแบบจึงสามารถแบ่งประเภทของปั๊ม ตามทิศทางการไหลได้ 3 แบบคือ

- ปั๊มแบบไหลตามแกน ( Propeller Pump or Turbine Pump ) ใช้ในการยกระดับของไหล ที่ไม่สูงมากนักขึ้นไป มอเตอร์หรือ เครื่องยนต์ สามารถนำมาใช้เป็นต้นกำลัง ให้แก่ปั๊ม โดยส่งผ่านกำลังไปยังเพลลาของใบพัด ซึ่งหมุนอยู่ในเรือนปั๊ม และถูกจำกัดบังคับทิศทางการไหลอยู่ภายในนั้น
- ปั๊มแบบการไหลผสม ( Mixed Pump ) เป็นหนึ่งในประเภทของการไหลที่ impeller ไม่ได้มีการไหลโดยสมบูรณ์ หรือตามแนวรัศมีอย่างสมบูรณ์
- ปั๊มแบบไหลตามแนวรัศมี (Centrifugal Pump) ของไหลไหลผ่าน Casing เข้ามาและออกในทิศทางการไหลในแนวรัศมีของการหมุนของ impeller

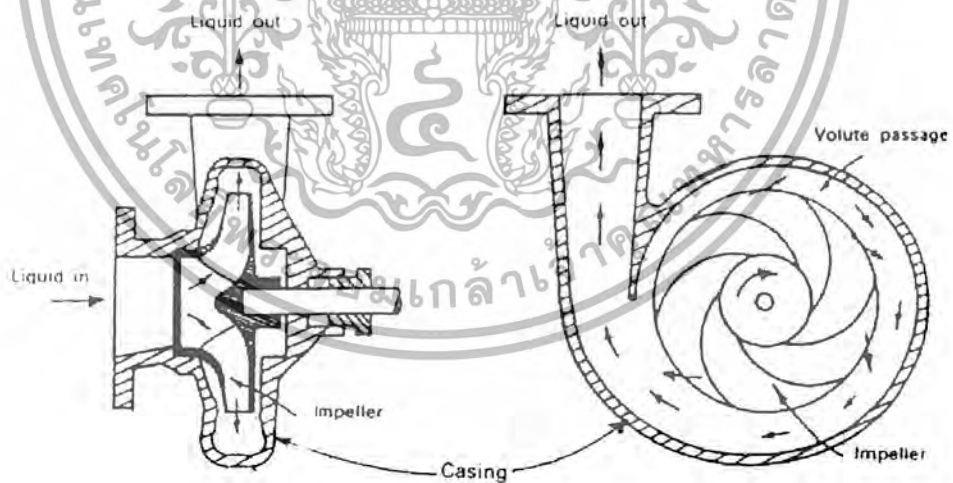
ในการออกแบบปั๊มบางอย่าง เราสามารถนำใบพัดมาต่อกัน เรียกว่า Multi-State Turbine Pump โดยนำไปใช้ในการดูดน้ำที่อยู่ลึกมากๆ เมื่อใบพัดตัวแรก ขับดันของเหลวขึ้นมา ก็จะถูกส่งต่อ ไปยังใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวที่ 2 และจะส่งไปยังตัวถัดไป จนกระทั่งถึงตัวที่ 4 โดยเรือนใบพัดจะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน จำนวนใบพัดที่จะกำหนดไปใช้ในการออกแบบปั๊มจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

สำหรับปั๊มแบบ Positive displacement มีการออกแบบเพื่อการใช้งานในหลายๆแบบ เช่น Reciprocating Pump ใช้สูบน้ำด้วยโคลนหรือซีเมนต์ โดยมีลูกสูบของเหลวเข้ามาในจังหวะดูด และดันของเหลวออกในจังหวะคาย และมีลิ้นปิดเปิดแบบทางเดียวเพื่อควบคุมทิศทางการไหล Rotary Gear Pump เป็นปั๊มแบบ Positive displacement อีกประเภทหนึ่ง ประกอบด้วยเฟือง 2 ตัวซึ่งหมุนขบกันอยู่ภายในเรือนปั๊ม เมื่อเฟืองหมุนของเหลวจะถูกขับดันเข้าไปในช่องว่างระหว่างฟันเฟือง 2 ตัว และจะถูกส่งออกไปยังอีกด้านหนึ่ง การเลือกใช้ปั๊มจะต้องพิจารณาตามที่คุณผลิตได้ออกแบบและทำการทดสอบกำหนดสมรรถนะ ของปั๊มไว้เพื่อนำไปใช้ในสภาพการทำงานที่เหมาะสม

สำหรับโครงการนี้ ได้เลือกใช้ปั๊มแบบไหลตามแนวรัศมี (Centrifugal Pump) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ ปั๊มหอโย่ง ” ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญสองส่วนคือ ส่วนใบพัด (Impeller) ซึ่งมีลักษณะเป็นใบโค้งมนหล่อยึดติดกับแผ่นประกอบสำหรับประกอบเข้ากับเพลา และส่วนตัวเรือนปั๊ม (housing) เป็นชิ้นส่วนที่อยู่กับที่สำหรับห่อหุ้มตัวใบพัด และทวกรเบริงรองผลภายในตัวปั๊ม การทำงานของปั๊มหอโย่งเริ่มจากการหมุนของต้นกำลังซึ่งอาจเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์ถ่ายทอดพลังงานผ่านปั๊มไปยังใบพัดให้หมุนด้วยความเร็วสูงทำให้ของเหลวที่มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ของเหลวจึงไหลเข้าไปในเรือนปั๊มแล้วถูกใบพัดขับดันห้วงของเหลวออกไปทางช่องส่งออกซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนเพลาเข้าไปสู่ระบบท่อ



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของปั๊มหอโย่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 เฮดปั๊ม ( Head Pump )

ในการศึกษาการทำงานของปั๊ม จำเป็นต้องทราบทฤษฎี เบื้องต้นเกี่ยวกับ Head ซึ่งสามารถจำแนกได้หลายชนิด เช่น

### 2.2.1 เฮดความดัน ( Pressure Head ; $H_p$ )

ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ เช่น  $N/m^2$  หรือ psi ถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็น แท่งความสูงของของเหลว ที่จะก่อให้เกิดความดัน ที่กำหนดบนผิวหน้า ซึ่งรองรับแท่งของเหลว นั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน ( Pressure Head ) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างความดัน และ เฮดความดัน คือ

$$H_p = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \quad (2.1)$$

โดย  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของเหลว

$\rho$  = ความหนาแน่นของของเหลว ( $kg/m^3$ )

$g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $m/s^2$ )

### 2.2.2 เฮดความเร็ว ( Velocity Head ; $H_v$ )

ของเหลวที่ไหลในท่อ หรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใด ๆ นั้นจะมีพลังงานจลน์อยู่ พลังงานส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเฮด คือ

$$H_v = \frac{V^2}{2g} \quad (2.2)$$

เฮดความเร็วอาจให้ค่าจำกัดความอีกอย่างหนึ่งว่า เป็นความสูงของของเหลวที่ตกลงมา ด้วยแรงดึงดูดของโลกจนได้ความเร็วเท่ากับความเร็วในกรณีไหลของของเหลว นั้น

### 2.2.3 เฮดสถิตย ( Static Head ; $H_s$ )

ในการทำงานของปั๊มโดยทั่วไป ของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้มันไหลจากจุดๆหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่า ความดัน (ซึ่งคิดเป็นแท่งความสูงของๆเหลว) ที่กระทำต่อ สก. ของปั๊ม ทั้งทางด้านดูดและทางด้านจ่ายในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์ เรียกว่า เฮดสถิตย ( Static Head )

สำหรับเฮดรวม ( Total Static Head ) ก็คือผลต่างของเฮดสถิตยด้านจ่ายกับเฮดสถิตยด้านดูด ค่าดังกล่าวนี้เป็นเฮดต่ำสุดที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวก่อนที่จะมีการไหลเกิดขึ้น

### 2.2.4 เฮดความเสียด ( Friction Head ; $H_f$ )

ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านระบบทั้งทางด้านดูดและด้านจ่าย พลังงานหรือเฮดในการไหลส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความเสียดระหว่างของเหลวกับผนังท่อและส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งรวมเรียกว่า เฮดความเสียด หรือ ( Friction Head )

ในระบบสูบน้ำต่างๆ ไปการเสียดเนื่องจากความฝืดอาจเกิดขึ้นได้หลายจุด การเสียดทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่านระบบท่อ ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น

### 2.2.5 เสดรวม (Total Head ; $H_T$ )

เสดรวมของน้ำ ณ จุดหนึ่งจุดใดก็คือพลังงานทั้งหมดของน้ำในรูปของเสดของน้ำ ณ จุดๆ นั้น

เสดรวม = เสดความดัน + เสดความเร็ว + เสดสถิตย์

$$H_T = H_p + H_v + H_s = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \quad (2.3)$$

ความแตกต่างระหว่างเสดรวมของ 2 จุด ในกรณีที่ไม่มีการเพิ่มพลังงานให้กับของเหลวก็คือเสดความฝืดระหว่างสองจุดนั้น

ดังนั้นจะได้ว่าเสดความฝืดระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2

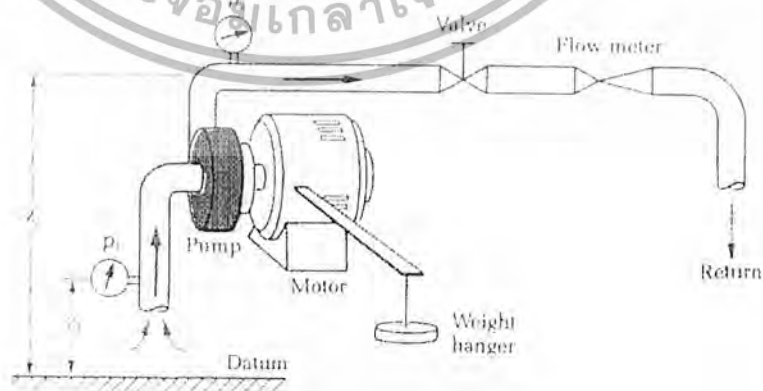
$$H_{f1-2} = \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right) + \left( \frac{V_1^2 + V_2^2}{2g} \right) + (Z_1 + Z_2) \quad (2.4)$$

ในกรณีที่จุดที่ 1 อยู่ที่ทางเข้าของปั๊มและจุดที่ 2 อยู่ที่ทางออกของปั๊มเสดที่เพิ่มขึ้นก็คือเสดที่ปั๊มให้แก่น้ำ เรียกว่า เสดรวมของปั๊ม (Total Dynamic Head ;  $H_{TDH}$ )

$$H_{TDH} = H_T + H_{f1-2} + H_s \quad (2.5)$$

ในกรณีที่  $H_s$  น้อยมากก็อาจเท่ากับศูนย์ และระดับทางเข้าออกของปั๊มอยู่ในระดับเดียวกัน ( $Z_1 = Z_2$ ) สมการจะเป็น

$$H_{TDH} = \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right) + \left( \frac{V_1^2 + V_2^2}{2g} \right) \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.2 การคำนวณเสดระหว่างจุดที่ทางเข้าและจุดที่ทางออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 สมการออยเลอร์ ( Euler's Equation )

ขณะที่ใบพัดของปั๊มซึ่งทำงานโดยอาศัยแรงเหวี่ยงเพียงอย่างเดียว ของเหลว ( ในที่นี้คือน้ำที่อุณหภูมิห้อง ) จะถูกเหวี่ยงโดยครีบบพัด ( Vane ) ให้ไหลออกจากศูนย์กลางผ่านช่องว่างระหว่างงานประกอบในรูปที่ 2.3 ใบพัดหมุนด้วยความเร็วเท่ากับ  $\omega$  ของเหลวไหลเข้ามาในใบพัดซึ่งมีรัศมี  $r_1$  ที่จุดนี้ จะมีความเร็วตามเส้นรอบวง เท่ากับ  $v_1 = r_1 \omega$  และความเร็วสัมบูรณ์ ( Absolute Velocity ;  $V_1$  ) โดย  $V_1$  เป็นความเร็วรวมของ  $v_1$  และความเร็วสัมผัสของครีบบพัด  $u_1$

ในทำนองเดียวกันที่ขอบนอกของใบพัด ของเหลวไหลออกจากใบพัดที่ความเร็วสัมบูรณ์  $V_2$  โดย  $V_2$  เป็นความเร็วรวมของ  $v_2 = r_2 \omega$  และความเร็วที่ปลายครีบบพัด  $u_2$



รูปที่ 2.3 ความเร็วของอนุภาคของของเหลวไหลเข้าและไหลออกจากใบพัด

แรงที่กระทำต่ออนุภาคของเหลวโดยพัดทำให้เกิดโมเมนตัม ตามกฎของโมเมนตัม การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมในแนวเส้นรอบวงจะมีค่าเท่ากับแรงเหวี่ยง หรือ

$$T = \rho Q (v_{w2} r_2 - v_{w1} r_1) \quad (2.7)$$

โดย  $T =$  แรงเหวี่ยง (N-m)

$Q =$  อัตราการไหล ( $m^3/s$ )

สมการที่ 2.7 คือ สมการออยเลอร์ ( Euler's Equation )

กำลังงานที่เกิดขึ้นจากแรงเหวี่ยง  $T$  สามารถหาได้จากผลคูณระหว่าง  $T$  และความเร็วรอบ หรือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = T\omega = \rho Q (v_{w2} r_2 - v_{w1} r_1) \omega \quad (2.8)$$

แต่  $\omega r_1 = v_1$  และ  $\omega r_2 = v_2$  เพราะฉะนั้นจะได้

$$P = \rho Q (v_{w2} v_2 - v_{w1} v_1) \quad (2.9)$$

ส่วนมากการวิเคราะห์เกี่ยวกับปั๊ม มักนิยมเขียนกำลังงานในรูปของ เหนด ฉะนั้นเราสามารถเขียนสมการที่ 2.9 ใหม่ได้ดังนี้

$$P = \rho g Q H$$

ดังนั้น

$$H = \frac{\rho Q (v_{w2} v_2 - v_{w1} v_1)}{\rho Q g} = \frac{v_{w2} v_2 - v_{w1} v_1}{g} \quad (2.10)$$

สมการที่ 2.10 เรียกว่า ค่าเหนดของอองเกอร์ ( Euler Head )

#### 2.4 ความเร็วจำเพาะ

ในปั๊มแบบ Centrifugal Pump ของเหลวที่ไหลเข้ามาสู่ศูนย์กลางของใบพัด จะถูกเพิ่มพลังงานโดยแรงกระแทกของครีบบใบพัดและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง อัตราการเพิ่มพลังงานต่อ หนึ่งหน่วยปริมาตรของของเหลวจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปทรงของใบพัดและอัตราการหมุน ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงของใบพัดที่ผู้ออกแบบกำหนดขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานก็มี ขนาด ศก. และ ความหนาของใบพัด ทิศทางการไหลออกจากใบพัด จำนวนและความโค้งของครีบบใบพัด เป็นต้น ใบพัดที่มีรัศมีโตและความหนาของใบพัดน้อย จะให้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของเหลวมากกว่าใบพัดที่มีรัศมีเล็กและมีความหนามาก ดังนั้น จึงเหมาะกับงานที่ต้องการเหนดสูงแต่อัตราการสูบไม่มาก

การที่จะเลือกปั๊มที่มีใบพัดลักษณะไหนนั้น พิจารณาได้จากความเร็วจำเพาะ ( Specific Speed ) ซึ่งคำนวณ โดย

$$N_s = \frac{rpm \sqrt{gpm}}{H^{0.75}} \quad (2.11)$$

โดย  $N_s$  = ความเร็วจำเพาะ ( rpm )

rpm = ความเร็วรอบของใบพัด ( rpm )

gpm = อัตราการไหล ( gpm )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H$  = เสดรวม หรือ Total Dynamic Head ; TDH ( ft )

สำหรับการคำนวณในระบบ SI สมการสำหรับความเร็วจำเพาะคือ

$$N_s = \frac{1.633 \text{ rpm} \sqrt{\text{Ips}}}{H_m^{0.75}} \quad (2.12)$$

โดย Ips = อัตราการไหล

$H_m$  = TDH (m)

ในความเป็นจริงแล้วความเร็วจำเพาะไม่ได้เป็นความเร็วในความหมายที่ใช้กันโดยทั่วไป แต่เป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงลักษณะการออกแบบของใบพัดมากกว่า เช่น บั้มซึ่งมีความเร็วจำเพาะระหว่าง 500 - 3000 จะมีทิศทางการไหลออกตั้งฉากกับเพลลา ( Radial Flow ) เป็นต้น ขณะที่ความเร็วจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นรัศมีของใบพัดจะเล็กลง และทิศทางการไหลออกจะเปลี่ยนจากในแนวตั้งฉากกับเพลลาเป็นในแนวขนานกับเพลลา ใบพัด 2 ขนาดที่มีรูปร่างลักษณะเหมือนกัน แต่เพิ่มหรือลดขนาด ในสัดส่วนเดียวกันทุกด้านจะมีความเร็วเท่ากัน

## 2.5 Net Positive Suction Head ( NPSH )

เมื่อพิจารณาลักษณะทางเข้าของปั้มหอยโข่งจะมี 2 แบบ คือ ระดับของเหลวต่ำกว่าใบพัดของปั้ม และระดับของเหลวสูงกว่าใบพัดของปั้ม เมื่อปั้มทำงานแล้วถ้าความดันของของเหลวก่อนเข้าปั้มมีค่าน้อยกว่าความดันไอของของเหลว ที่อุณหภูมิเดียวกัน ของเหลวจะเดือดที่บริเวณใบพัด ทำให้เกิดการควาวิเทิร์น สำหรับระดับของเหลวที่ต่ำกว่าใบพัดของปั้มจะมีโอกาสเกิดควาวิเทิร์น ได้มากกว่า เราสามารถพัฒนาสมการเบอร์นูลลีเพื่อในกรหาค่า Net Positive Suction Head Availation ( NPSH<sub>a</sub> ) ดังนั้นสมการต่อไปนี้

$$NPSH_a = h_f - h_z - h_f - h_{fp} \quad (2.13)$$

โดย NPSH<sub>a</sub> คือ เสดทางเข้าของเสดสุทธิ

$h_p$  คือ เสดความดันของเหลวที่ทางเข้าปั้ม

$h_z$  คือ เสดความสูงของปั้มเทียบกับระดับของเหลว

$h_f$  คือ เสดความเสียดทานทางเข้า

$h_{fp}$  คือ เสดความดันไอ

ปั้มแต่ละแบบ ทางผู้ผลิตจะทำการทดสอบและกำหนดค่า Net Positive Suction Head Required ถ้า NPSH<sub>a</sub> มากกว่า NPSH<sub>r</sub> จะไม่ทำให้เกิดควาวิเทิร์น และควรจะมีมากกว่ากัน 1 เมตร เป็นอย่างน้อยเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 คาวิทชัน ( Cavitation )

เป็นที่ทราบกันดีว่าความดันด้านดูดของปั๊มหรือโซ่จะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ถ้าหากว่าลดความดันนี้มีค่าไม่เพียงพอ ของเหลวจะเริ่มเดือดที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างเช่น น้ำเดือดที่  $33^{\circ}\text{C}$  ที่ความดัน 5.1 kPa การเดือดด้วยตัวมันเองมีความเกี่ยวข้องกับรูปของฟองอากาศความดันที่เกิดขึ้น และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในปั๊มนี้เราจะเรียกว่า Cavitation

การเกิดคาวิทชันในปั๊มหรือโซ่ ฟองเดือดจากความดันมักจะเกิดขึ้นที่ขอบของใบพัด และในขณะที่ของเหลวเคลื่อนที่ในแนวรัศมีผ่านใบพัด ฟองอากาศจะปะทะกับของเหลวย่านความดันสูง ทำให้เกิดการพังทลายและส่งผ่านคลื่นความดันออกไป คลื่นความดันจะกัดเซาะใบพัดและเรือนปั๊มให้สึกกร่อนที่รู้จักกันดีในนามของ Cavitation Erosion เมื่อเกิด Cavitation Erosion ขึ้น ตัวใบพัดจะไม่สามารถจับดันของเหลวผ่านไปตามเรือนปั๊มได้ทั้งหมด จากผลเช่นนี้ประสิทธิภาพของปั๊มจะตกลงอย่างมาก หากสถานการณ์นี้ไม่ได้รับการแก้ไข ตัวปั๊มอาจจะเสียหายได้ อันเนื่องมาจากการกัดกร่อน และเกิดจากการล้าที่ตัวเพลลา แบริ่ง และซีล

คาวิทชันไม่ใช่ปัญหาที่ควรจะเป็นภายหลังจากติดตั้งระบบแต่การพิจารณาตั้งแต่ขั้นออกแบบในทางตรงกันข้ามการเกิดคาวิทชันสามารถทำนายได้ และวิศวกรควรจะแน่ใจว่าเมื่อทำการออกแบบระบบ คาวิทชันจะไม่เกิดขึ้น ผู้ผลิตปั๊มจะทำการทดสอบปั๊มและหาข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำนายการเกิดปรากฏการณ์ Cavitation

## บทที่ 3

### หลักการและทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์

สืบเนื่องจากมาตรการในการประหยัดพลังงาน ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนอัตราการใช้พลังงานของปั๊มตามภาระการใช้งานที่ไม่คงที่ ซึ่งสามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด การปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของปั๊มเป็นวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้ เนื่องจากอัตราการใช้พลังงานแปรผันตามความเร็วรอบและมีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้น

$$Q \propto N$$

(3.1)

ดังนั้น จึงสามารถออกแบบวงจรควบคุมได้โดยเทียบค่าแบบสัดส่วน การลดความเร็วรอบก็ทำให้ต้นทุนค่าใช้ค่าใช้น้อย ซึ่งจะตอบสนองมาตรการในการประหยัดพลังงานได้ และเพื่อการควบคุมให้เป็นอย่างดีอัตโนมัติและการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาระการใช้งานได้ดี จะใช้วิธีการป้อนกลับสัญญาณเพื่อนำไปแปลงค่าความเร็วรอบ สำหรับต้นกำลังที่ใช้ในการขับปั๊มจะใช้มอเตอร์ในการพิจารณา เพราะสามารถควบคุมได้ง่ายและเป็นต้นขยับใช้ในการต่อเข้ากับปั๊ม ดังนั้นในการควบคุมความเร็วรอบปั๊มก็คือการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์นั่นเอง

#### 3.1 ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

- ส่วนที่ไม่มีการเคลื่อนที่ ( Stator )
- ส่วนที่เคลื่อนที่ ( Rotor )

สเตเตอร์ ( Stator ) เป็นส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ที่ประกอบด้วยโครง ( Frame ) ซึ่งภายในจะมีร่องอยู่โดยรอบ เพื่อใช้ฝังขดลวด จำนวนวงจรจะเท่ากับเฟสของแหล่งจ่ายไฟเมน

โรเตอร์ ( Rotor ) เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ของมอเตอร์ซึ่งจะผูกโพลส ประกอบด้วยเหล็กกล้าประกอบแผ่นบางๆ เป็นรูปทรงกระบอก โรเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

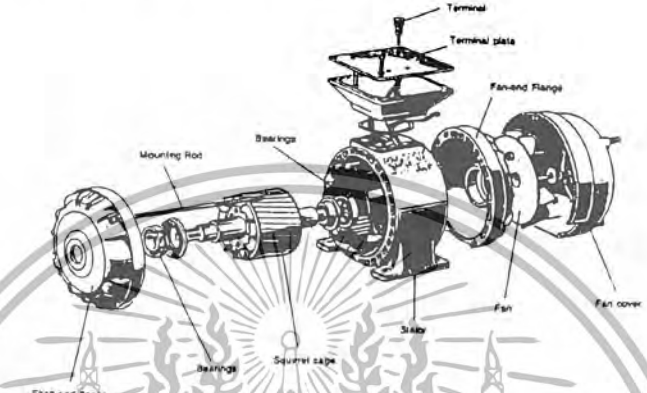
- โรเตอร์แบบกรงกระรอก ( Squirrel Cage Rotor )
- โรเตอร์แบบขดลวดพัน ( Wound Rotor )

1. โรเตอร์แบบกรงกระรอก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- แบบกรงกระรอกเดี่ยว ( Single Cage Motor ) ในร่องภายนอกของทรงกระบอกจะมีคานำฝังอยู่โดยรอบและมีทิศทางขนานกับแกน โดยที่แต่ละปลายจะต่ออยู่กับวงแหวนโลหะ มอเตอร์แบบนี้จะให้แรงบิดเริ่มต้นต่ำ ส่วนกระแสเริ่มต้นจะมีค่าสูงกว่ากระแสปกติมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

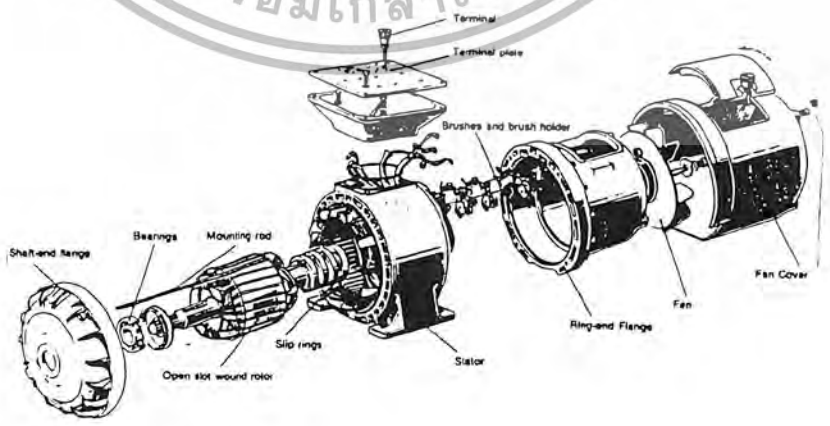
- แบบกรงกระรอกคู่ ( Double Cage Rotor ) โรเตอร์ประกอบด้วยกรงร่วมศูนย์กลาง 2 กรง ซึ่งจะเป็นลักษณะฝั่งตัวนำ 2 ชั้นรอบโรเตอร์ โดยที่ด้านนอกจะมีตัวนำที่มีความต้านทานสูงกว่าตัวนำด้านใน ขณะเริ่มเดินเครื่องจะเกิดฟลักซ์ ที่มีความถี่สูงกระแสเหนี่ยวนำจะต้านฟลักซ์ ไม่ให้ไปสู่กรงด้านในเป็นผลให้เกิดแรงบิดค่าสูงที่กรงด้านนอก และกระแสก็จะมีค่าลดลง หลังจากนั้นความถี่ก็จะลดลง ทำให้ฟลักซ์ผ่านเข้าสู่กรงด้านในได้ง่าย เป็นผลให้มอเตอร์มีโครงสร้างคล้ายกรงกระรอกเดี่ยว มอเตอร์แบบนี้ จะให้แรงบิดที่มีค่าเริ่มต้นที่สูงและกระแสเริ่มต้นที่ต่ำ



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

2. โรเตอร์แบบขดลวดพัน ( วงแหวนสั้น )

โรเตอร์จะประกอบด้วยขดลวดพันอยู่ในร่อง เช่นเดียวกับสเตเตอร์โดยปรกติเป็นแบบ 3 เฟส ปลายข้างหนึ่งของขดลวดจะต่อเรียงกันทั้งความและปลายอีกข้างหนึ่งของขดลวดทั้ง 3 เฟส จะต่อกับวงแหวนทองแดงซึ่งติดอยู่กับโรเตอร์ มอเตอร์แบบนี้จะให้แรงบิดเริ่มต้นสูงถึง 2.5 เท่าของแรงบิดพิกัดและกระแสเริ่มต้นจะเป็นสัดส่วนเดียวกับกระแสที่ระบุ



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์เหนี่ยวนำ ( Induction Motor ) เป็นมอเตอร์ที่แพร่หลายและใช้งานกันมากที่สุด เพราะราคาของมอเตอร์ถูกและเรายังควบคุมได้ง่าย จึงได้ถูกนำมาใช้เป็นกำลังให้กับปั๊มในโครงการนี้ ในกรณีที่ต้องการปรับความเร็วของการหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เราสามารถพิจารณาการทำงานขอมอเตอร์ซึ่งมีการทำงานสัมพันธ์กับความเร็วรอบ ตามทฤษฎีการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำเบื้องต้นที่จะอธิบายต่อไป

### 3.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นผลมาจากสนามหมุน ( Rotating Field ) ในสเตเตอร์ซึ่งทำให้โรเตอร์สามารถหมุนได้ หลักการทำงานสามารถพิจารณาจากตัวอย่างนี้ คือใช้แม่เหล็กรูปตัวยู แทนสนามหมุนในสเตเตอร์และจานทองแดง แทนตัวนำที่โรเตอร์ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ถ้าหมุนแม่เหล็กรอบแกน XY จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนไปรอบๆจานทองแดง จะเกิดการเหนี่ยวนำผ่านช่องอากาศ ก่อให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้น กระแสนี้จะทำให้เกิดแรงบิด ทำให้จานทองแดงหมุนในทิศเดียวกับแม่เหล็กหมุน โดยมีอัตราเร็วน้อยกว่าสนามแม่เหล็กหมุน ถ้าจานทองแดงหมุนด้วยอัตราเร็วเดียวกับที่สนามแม่เหล็กหมุน เรียกว่า อัตราเร็วซิงโครนัส ก็จะไม่เกิดกระแสเหนี่ยวนำเป็นผลให้ไม่เกิดแรงบิด แต่ในความเป็นจริงจานทองแดงจะอัตราเร็วต่ำกว่าสนามแม่เหล็กหมุนเสมอ เรียกว่า อัตราเร็วอะซิงโครนัส เช่นเดียวกันกับโรเตอร์ซึ่งมีอัตราเร็วต่ำกว่าสนามแม่เหล็กหมุนในสเตเตอร์ จึงเรียกชื่อของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า มอเตอร์อะซิงโครนัส

สนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส จะเกิดจากขดลวด 3 ขด วางห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.3 เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้ง 3 เฟส เข้าไปยังขดลวดทั้ง 3 ในสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นทั้ง 3 เฟส เมื่อรวมสนามแม่เหล็กหมุนเข้าด้วยกัน โดยวิธีเวกเตอร์จะได้สนามแม่เหล็กหมุนที่มีขนาดคงที่หมุนไปรอบๆมอเตอร์ ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การใช้นโยบายการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (3.2)$$

โดยที่  $N_s$  = ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน ( rpm )

$f$  = ความถี่ของแรงดันป้อนเข้า ( Hz )

$P$  = จำนวนขั้วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เกิดจากรูปแบบของการวางขดลวด



รูปที่ 3.7 สนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เมื่อเกิดการเหนี่ยวนำที่ Rotor ทำให้ Rotor หมุนด้วยความเร็วรอบต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส จึงเกิดค่า Slip (S) ขึ้น โดยมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบ (N) โดยที่

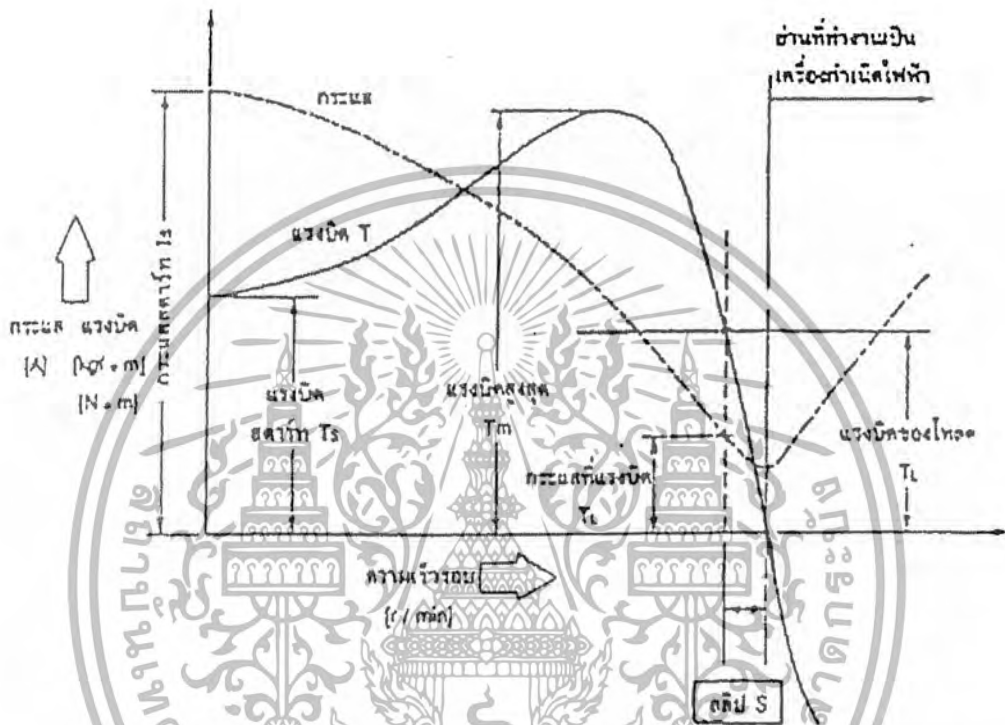
$$N_s = 120 \frac{f}{P} (1-S) \quad (3.3)$$

เมื่อมอเตอร์ขับโหลด ความเร็วรอบของมอเตอร์จะต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส ซึ่งขึ้นกับปริมาณโหลด ขนาดความเร็วที่ลดลงต่อความเร็วซิงโครนัส เรียกว่า Slip(S) โดย

$$S = \frac{(N_s - N)}{N_s} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะสตาร์ทมอเตอร์ มอเตอร์จะหยุดนิ่งสลิปจะมีค่าเป็น 1 เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุน ความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้น ค่าสลิปจะลดลง และถ้าให้มอเตอร์ขับโหลดที่แรงบิดที่พิกัด ค่าสลิปจะมีค่าระหว่าง 3.5% ถ้าโหลดเพิ่มมากขึ้น ค่าสลิปจะมีค่ามากขึ้น และกระแสขั้วมอเตอร์ก็จะสูงด้วย สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกอย่างก็คือ แรงบิดเริ่มหมุน (Starting torque) ควรมากกว่าแรงบิดของโหลด มอเตอร์จึงสามารถต่อกับโหลดขณะเริ่มหมุนได้ทันที ซึ่งพิจารณาได้ ดังรูปที่ 3.5



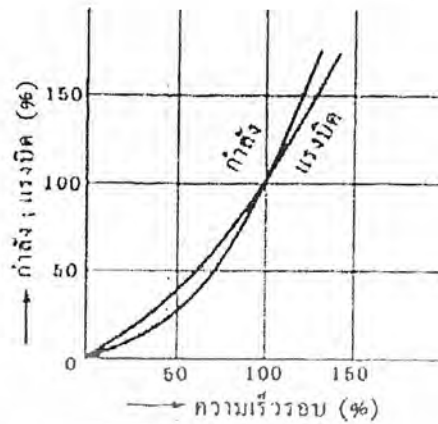
รูปที่ 3.5 แสดงคุณลักษณะแรงบิด/กระแส-ความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

สำหรับโหลดที่ใช้กับมอเตอร์ในโรงงานนี้เป็นโหลดของไหล คือกำลังที่ใช้ในการผลักดัน หรือ เร่งของไหลให้เคลื่อนที่เพื่อให้เกิดการไหล จะต้องมีความเร็วที่จุดเริ่มต้นของการไหลนั้น ๆ ซึ่งได้จากใบพัด โดยส่วนหนึ่งของกำลังงานที่ใช้เหล่านี้เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการสูญเสียจากความฝืดจาก ความหนืดของตัวของไหลเอง และความฝืดจะแปรตามกำลังสองของอัตราการไหล ซึ่งแปรตามความเร็ว รอบอีกที ดังนั้น จากเหตุผลดังกล่าวโหลดของไหลจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ ระหว่างโหลดของไหลกับความเร็วรอบจะเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power :  $P \propto N^3$

Torque :  $T \propto N^2$

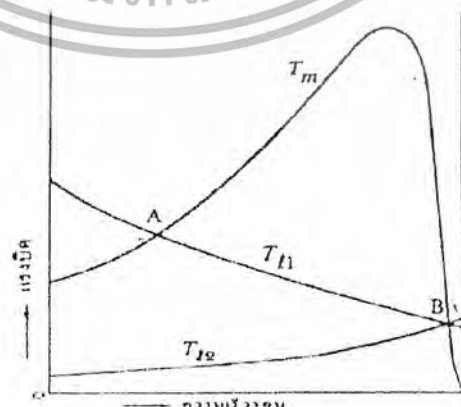


รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและโหลดของไหล

แต่ในความเป็นจริงจะมีแรงบิดของของไหลในการออกตัวตอนเริ่มต้นอยู่ด้วย เพื่อการเดินเครื่องอย่างมีประสิทธิภาพ แรงบิดของมอเตอร์ต้องมีค่ามากพอในการรุดเพลาให้หมุนเร็วขึ้น เพื่อเข้าสู่จุดเสถียรภาพและคงความเป็นเสถียรภาพไว้ที่จุดนั้น ๆ โดยพิจารณาได้จากสมการการเคลื่อนที่ เมื่อโมเมนต์ความเฉื่อยรวมเท่ากับ  $J$  ค่าแรงบิดมอเตอร์เท่ากับ  $T_m$  และค่าแรงบิดที่ต้องการของไหลเท่ากับ  $T_L$  ดังนั้น

$$J\alpha\theta = T_m - T_L \tag{3.5}$$

ก่อนถึงจุดสมดุล  $T_m$  ต้องมากกว่า  $T_L$  และที่จุดสมดุล  $T_m = T_L$  อัตราเร่งเชิงมุมเป็น 0 ความเร็วรอบจะไม่เพิ่มมากกว่านี้ นั่นคือ  $T_m < T_L$  เมื่อความเร็วรอบเลยจุดสมดุล



รูปที่ 3.7 จุดสมดุลของมอเตอร์ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญเห็นหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7  $T_{L1}$  เป็นโหลดที่ไม่เสถียรภาพ และ  $T_{L2}$  เป็นโหลดที่มีเสถียรภาพในการเดินเครื่อง ดังนั้น จึงควรเลือกให้มอเตอร์มีการใช้งานเหมาะสมกับโหลด

### 3.3 การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ

สำหรับการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ มีวิธีการควบคุมได้หลายแบบ เช่น

1. ปรับความถี่ของแรงดัน
2. เปลี่ยนขั้ว
3. ปรับค่าแรงดันที่ป้อนให้
4. ป้อนแรงดันในขดลวดโรเตอร์
5. ปรับค่าความต้องทานในขดลวดโรเตอร์
6. การคาสเคด (Cascading)
7. คอมมิวเตเตอร์มอเตอร์
8. ใช้ทรินสเตอร์ควบคุม

สำหรับในโครงการนี้จะสนใจเฉพาะการควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความถี่ เนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วได้อย่างต่อเนื่องทั้งในย่านความเร็วสูงกว่าและต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด จากสมการที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าความเร็วเชิงโรตอร์สขึ้นกับความถี่ ดังนั้น ถ้าเราออกแบบควบคุมมอเตอร์ด้วยแหล่งจ่ายแรงที่ปรับความถี่ได้ ก็สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ได้ หรือถ้าเราปรับจำนวนขั้วของสเตเตอร์ได้เราก็จะได้ความเร็วต่างๆ ได้ แต่เราจะมุ่งเน้นการปรับความถี่เพราะสามารถปรับได้อย่างต่อเนื่อง

ส่วนแรงบิด (Torque) จะแปรโดยตรงกับความถี่ของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นมอเตอร์ที่มีแรงบิดสูงต้องให้จำนวนเส้นแรงได้มากโดยที่ยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว ยกตัวอย่างโรตอร์ตามจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กก็ยังคงขึ้นอยู่กับแรงดันและความถี่ตามสัมพันธ์

$$V = k\phi f \tag{3.6}$$

- เมื่อ  $V$  คือ แรงดันที่ป้อนเข้าที่ขั้วของมอเตอร์  
 $k$  คือ คงที่ขึ้นอยู่กับรูปแบบการพันขดลวด  
 $\phi$  คือ เส้นแรงแม่เหล็ก

จากกรณีนี้จะเห็นว่า แรงบิดจะเป็นสัดส่วนในรูป  $V/kf$  สำหรับการควบคุมความถี่ของแรงดันจะมีการปรับแรงดันตามความถี่ด้วยคือเมื่อลดความถี่ของแรงดันสเตเตอร์ลง ก็ต้องลดแรงดันสเตเตอร์ตามไปด้วย เพื่อให้อัตราส่วน  $V/f$  คงที่ ซึ่งจะทำให้สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ (Air Gap Flux) มีค่าคงที่ นั่นคือแรงบิดคงที่ แต่สำหรับช่วงความถี่เกินความถี่มูลฐานจะไม่ปรับแรงดันเกินแรงดันที่กัก ดังนั้น ถ้าปรับความถี่เกินจากนี้  $V/f$  จะลดลง แรงบิดก็ลดลง และช่วงความถี่ต่ำ ๆ เนื่องจากที่ความถี่ต่ำ ๆ มีผลจากแรงดันตกคร่อม  $R$  และ  $L$  ที่ Stator ซึ่งจะทำให้ Output Torque ของมอเตอร์ลดลง และประสิทธิภาพของมอเตอร์จะลดลงด้วย ในทางปฏิบัติเราจึงพยายาม Boost ค่า  $V/f$  ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงความถี่ต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การเปลี่ยนแปลงความถี่ของแหล่งจ่ายไฟจะมีผลต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำดังนี้

1. อัตราเร็ว (speed) อัตราเร็วเชิงโคจรของมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นสัดส่วนกับความถี่ ดังนั้นเราสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนความถี่ของแหล่งจ่ายไฟได้ ซึ่งขึ้นกับลักษณะของงาน

2. แรงบิด (torque) เมื่อแรงดันคงที่ แรงบิดจะเป็นสัดส่วนกลับกับความถี่กำลังสอง นั่นคือ ถ้าความถี่เพิ่มขึ้นจะได้แรงบิดมอเตอร์ลดลง ในทางกลับกันถ้าความถี่ลดลงจะได้แรงบิดเพิ่มขึ้น

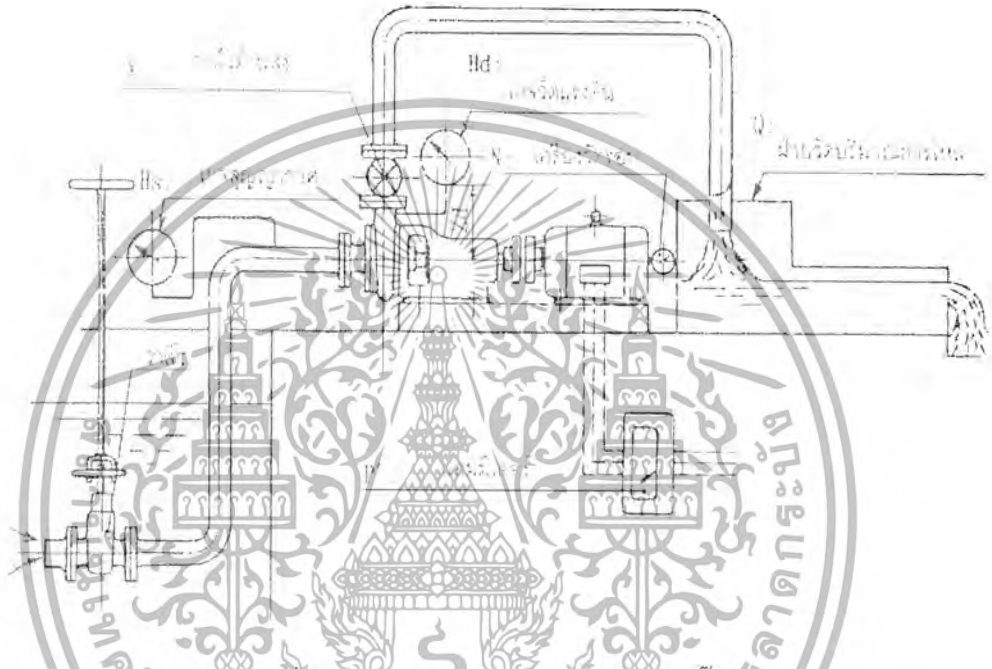
3. กระแสเริ่มต้น (Starting Current) เมื่อแรงดันคงที่ กระแสเริ่มต้นจะเป็นสัดส่วนกลับกับความถี่ สำหรับกระแสทำงาน จะเป็นสัดส่วนกลับกับความถี่เหมือนกัน



# บทที่ 4

## การทดสอบสมรรถนะของปั๊ม

ในบทนี้จะเป็นการอธิบาย วิธีการทดสอบสมรรถนะรวมถึงหลักการที่ใช้คำนวณหาสมรรถนะของปั๊มหอยโข่งที่ใช้ในโครงการนี้ สำหรับการออกแบบระบบทดสอบปั๊มหอยโข่งจะใช้หลักการตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระบบของชุดทดสอบสมรรถนะปั๊ม

### 4.1 กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊มและที่ปั๊มให้แก่ น้ำ

กำลังงาน หมายถึง อัตราการทำงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยของกำลังงานที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่ แรงม้าและวัตต์ ซึ่ง 1 แรงม้า = 745.7 วัตต์ หรือนิวตันเมตรต่อวินาที หรือ 550 ฟุตปอนด์ต่อวินาที

ประสิทธิภาพของปั๊ม หมายถึง ร้อยละของกำลังงานที่ปั๊มผลิตได้ เมื่อเทียบกับกำลังงานที่จ่ายให้ของเหลวโดยผ่านเพลลาจากต้นกำลังและใบพัด ดังสมการ

$$\eta_p = \frac{W_o}{W_i} \tag{4.1}$$

กำลังงานที่ปั๊มผลิตได้สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$W_o = pg \left( \frac{Q}{60} \right) \left( \frac{H}{1000} \right) \tag{4.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	$W_o$	=	กำลังงานที่ได้จากปั๊ม ( Pump Output; kW )
	$\rho$	=	ความหนาแน่นของของเหลว ( kg/m <sup>3</sup> )
	$Q$	=	อัตราการไหล ( m <sup>3</sup> /min )
	$H$	=	เฮดรวมของปั๊ม ( m )

สมการที่ 4.1 สามารถลดรูปให้เหลือได้โดย

$$W_o = 0.163\gamma QH \quad (4.3)$$

โดย  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของเหลว ( ถ้าเป็นน้ำจะเท่ากับ 1 )

ส่วน Input ให้กับปั๊มหรือ Output ของมอเตอร์นั้น คือ กำลังเพลขาขับของมอเตอร์ หาได้โดยการวัดกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้แล้วคูณกับประสิทธิภาพของมอเตอร์ ดังสูตร

$$W_i = P' \eta_m \quad (4.4)$$

โดย  $W_i$  กำลังงานที่ได้จากมอเตอร์ (Pump Input ; kW)  
 $P'$  กำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากมอเตอร์ (kW)  
 $\eta_m$  ประสิทธิภาพมอเตอร์ (ในโครงการนี้กำหนดเป็น 80%)  
 เมื่อแทนสมการที่ 4.3 และ 4.4 ลงในสมการที่ 4.1 จะได้ประสิทธิภาพปั๊ม คือ

$$\frac{0.163\gamma QH}{(P')(\eta_m)} \quad (4.5)$$

#### 4.2 การวัดค่าจากการทดสอบสมรรถนะของปั๊ม

ในการทดสอบสมรรถนะของปั๊มจำเป็นต้องวัดค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณและเขียนกราฟแสดงสมรรถนะ ค่าที่ทำการวัด มีดังนี้

##### 4.2.1 อัตราการไหล ( m<sup>3</sup>/min )

ในการทดลองนี้จะใช้วิธีวัดอัตราการไหลโดยใช้ Flow meter ชนิด Paddle-Wheel โดยสัญญาณที่ได้ ออกมาจาก Flow meter จะเป็นสัญญาณแบบ Pulse จากนั้นจะต้องใช้ Scope วัดสัญญาณ Pulse ที่ได้นั้น โดยอ่านค่าความกว้างของคลื่นในหนึ่งคาบ จากนั้นจึงนำค่าที่อ่านได้ไปคูณกับสเกลของ Scope ค่าที่ได้หน่วยจะเป็น ms แล้วต้องแปลงให้เป็นหน่วย Hz จากนั้นจึงนำไปคำนวณโดยใช้สูตรตาม Spec. ของ Flow meter (ซึ่งจะแสดงในบทที่ 5) จึงจะได้ค่าอัตราการไหลออกมาในหน่วยลิตรต่อนาที

##### 4.2.2 เฮดรวม (m)

เราสามารถคำนวณเฮดรวมได้โดยหาจากค่าเฮดต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H_u$  เป็นเฮดความดันทางออกสามารถอ่านค่าได้จาก Pressure Gauge ซึ่งติดตั้งไว้ทางด้านจ่ายได้โดยตรง มีหน่วยเป็น  $\text{kg/cm}^2$

$H_v$  เป็นเฮดความดันทางดูด สามารถอ่านค่าได้จาก Vacuum Gauge ซึ่งติดตั้งไว้ทางด้านดูดได้โดยตรง มีหน่วยเป็น  $\text{cm Hg}$

$Z_u$  เป็นความแตกต่างระหว่างความสูงที่ติดตั้ง Gauge ทั้งสองด้าน ซึ่งในชุดทดลองนี้มีค่าเท่ากับ  $0.27 \text{ m}$ .

$\Delta H_v$  เป็นความแตกต่างของเฮดความเร็ว สามารถหาค่าได้โดยการนำค่าอัตราการไหลที่วัดได้มาหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของท่อทั้งทางเข้าและทางออก ก็จะได้ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านท่อทั้งทางเข้าและทางออก แล้วจึงใช้สมการที่ 2.5 หา  $H_v$  ของแต่ละด้าน หลังจากนั้นจึงนำมาลบกันโดยให้

$$H_{v_{out}} - H_{v_{in}}$$

สำหรับท่อทางเข้าใช้ขนาด 1 นิ้ว (เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อเท่ากับ  $0.025 \text{ m}$ ) และท่อทางออกใช้ขนาด  $1 \frac{1}{4}$  นิ้ว (เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อเท่ากับ  $0.0375 \text{ m}$ )

#### 4.2.3 กำลังงานที่ให้ปั๊ม (kW)

สามารถหาได้จาก มอเตอร์ และ จาลต์มิเตอร์ แต่ต้องนำค่าที่ได้ไปคูณกับประสิทธิภาพของมอเตอร์ด้วย เพื่อที่จะให้ได้ค่าที่เป็น Input จริง ๆ ที่ให้เสียม

#### 4.2.4 ความเร็วรอบ (rpm)

สามารถกำหนดได้จาก Inverter ที่ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังให้กับปั๊ม

### 4.3 การแปลงหน่วยจากเครื่องมือวัดความเร็วดัน

เนื่องจากสเกลที่วัดได้จากเครื่องมือวัดความดัน ไม่ได้อยู่ในรูปเฮด ดังนั้นค่าที่ได้จากการวัดจึงต้องทำการแปลงหน่วยซึ่งได้แก่ เฮดความดันทางเข้า เฮดความดันทางออก ซึ่งเราจะคำนวณได้ดังนี้

#### 4.3.1 เฮดความดันทางเข้า (Suction pressure head)

เกจวัดที่ใช้วัดความดันทางเข้ามีสเกลอยู่ใน  $\text{cmHg}$  โดยสามารถแปลงให้อยู่ในรูปเฮดของน้ำ (m) ได้ดังนี้

เนื่องจากที่ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำสามารถดันตัวขึ้นไปได้สูง  $10.33 \text{ m}$ . และปรอทสามารถดันตัวขึ้นไปได้สูง  $76 \text{ cm}$ . ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีการเทียบสัดส่วนกัน เพื่อหาความดันให้อยู่ในรูปเฮดน้ำ โดย

$$\frac{H_s}{10.33} = \frac{H_{\text{cmHg}}}{76}$$

$$H_s = 0.1359 H_{\text{cmHg}}$$

โดยปกติความดันทางเข้าจะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ และความดันที่วัดได้อยู่ในรูปความดันเกจ ดังนั้นค่าที่ได้จะติดลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 เหนือความดันทางออก ( Discharge pressure head)

เกจวัดที่ใช้วัดความดันทางออกมีสเกลอยู่ในรูปความดันคือ  $\text{kg/cm}^2$  โดยสามารถแปลงให้อยู่ในหน่วยเมตรของน้ำ (m) ได้ดังนี้

$$P_{\text{meter}} H_d = P_{(\text{kg/cm}^2)}$$

$$0^3 H_d = 10^4 P_{(\text{kg/cm}^2)}$$

$$H_d = 10P_{(\text{kg/cm}^2)}$$

สำหรับความหนาแน่นของน้ำจะขึ้นกับอุณหภูมิ แต่ในการการคำนวณนี้เราประมาณให้ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ  $1000 \text{ kg/m}^3$  เพราะการแปรผันกันดังกล่าวมีค่าไม่มากนัก สามารถไม่นำมาคิดได้

#### 4.4 วิธีการทดลอง

4.4.1 ทำการล่อน้ำที่ตัวปั๊มหอยโข่งให้เต็ม

4.4.2 ดึงสวิตช์ Power ไปที่ "ON" ขณะนี้อินเวอร์เตอร์พร้อมจะทำงาน

4.4.3 ปิดประตูน้ำไปให้สุด

4.4.4 กดปุ่ม Run ที่ตัวอินเวอร์เตอร์จะทำให้ปั๊มทำงาน ปรับความเร็วรอบที่อินเวอร์เตอร์ไปที่ ความเร็วรอบที่ต้องการ

4.4.5 บันทึกข้อมูล ดังนี้

- ความเร็วรอบ (rpm)

- กำลังไฟฟ้าที่ วัดจากแอมมิเตอร์ และ วัตต์มิเตอร์ (kW)

- ความดันที่ดูด (cmHg)

- ความดันที่ส่ง ( $\text{kg/cm}^2$ )

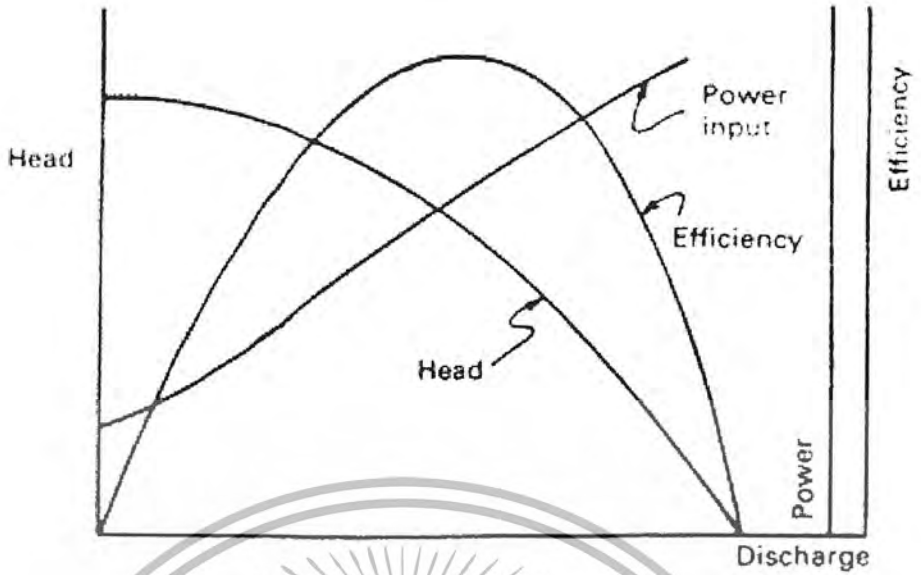
- อัตราการไหล (l/min)

4.4.6 หรีวาล์วไป 4, 4 1/6, 4 2/3, 4 1/2 รอบ และปิดสนิท ตามลำดับแล้วบันทึกข้อมูลตามข้อ 4.5 ต่อการหมุนวาล์วแต่ละครั้ง

#### 4.5 ผลการทดลอง

สำหรับผลการทดลองจะแสดงในรูปของกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจากกราฟจะพบว่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับปั๊มเมื่อไม่มีระบบควบคุม จะทำงานที่ความเร็วรอบค่อนข้างจะคงที่ ( ตามที่ผู้ผลิตกำหนด )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มทอยโข่ง



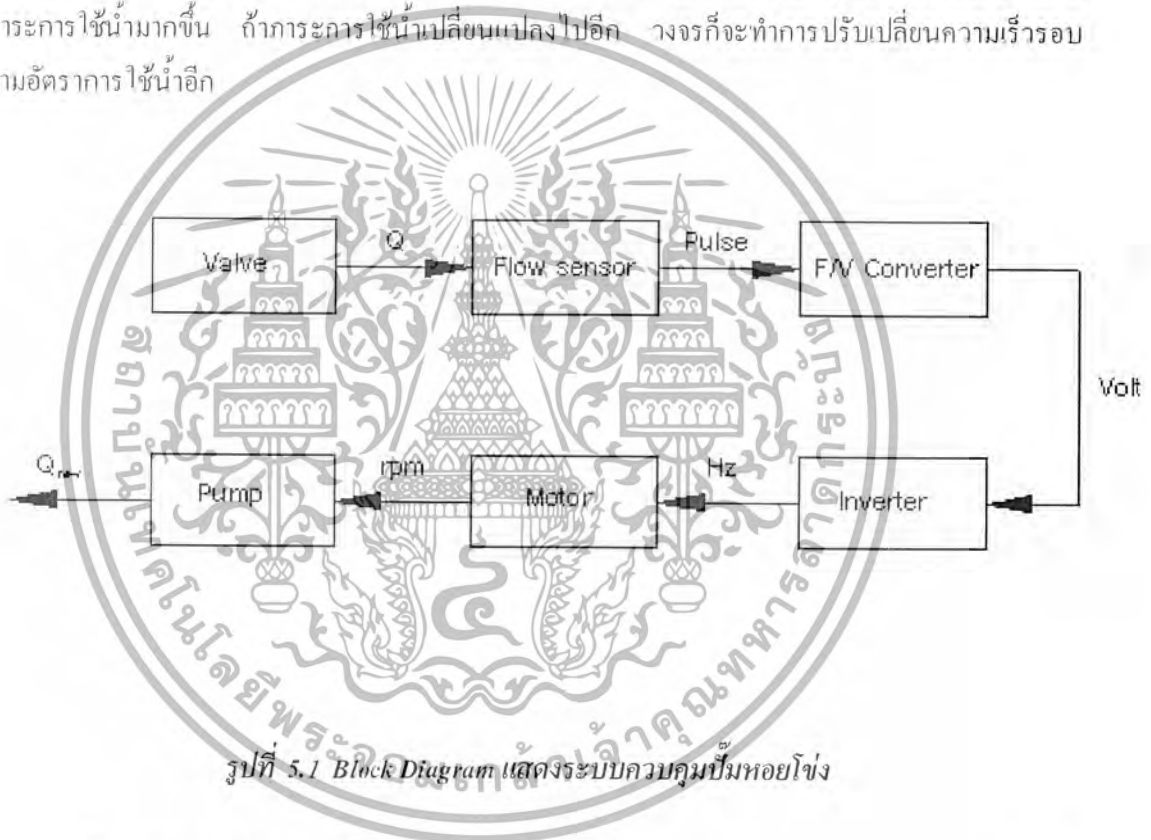
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ระบบควบคุมปั๊มหอยโข่งตามภาระการทำงาน

#### 5.1 หลักการควบคุมการทำงานของปั๊มหอยโข่ง

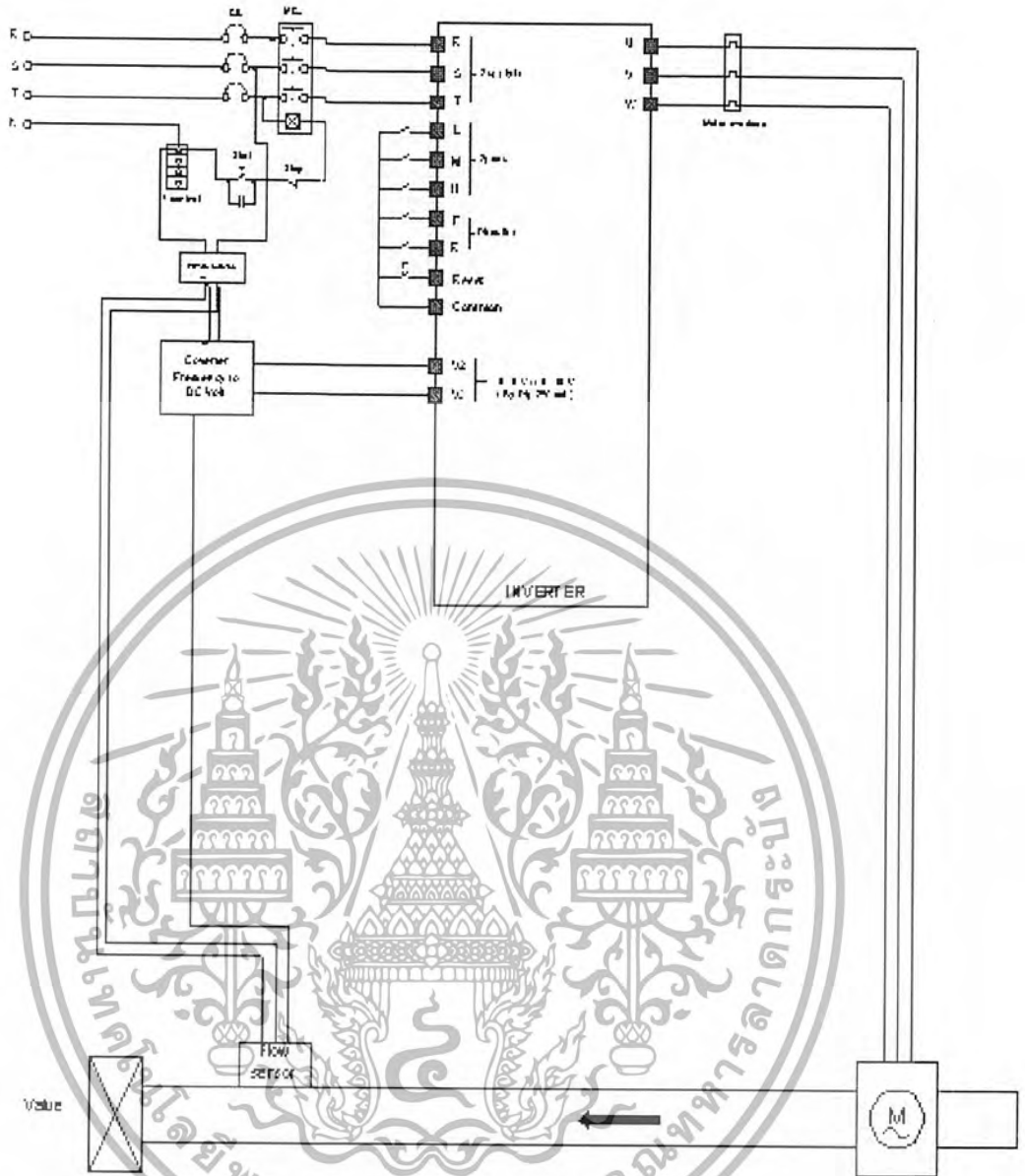
ที่ภาระการใช้น้ำเต็มที (วาล์วเปิดสุด) ปั๊มจะทำงานที่ความเร็วรอบตามพิกัดที่กำหนดไว้ เมื่อภาระการใช้น้ำลดลง (หรือวาล์ว) นั้นคืออัตราการไหลลดน้อยลง Flow Sensor ก็จะส่งสัญญาณผ่านตัวแปลงสัญญาณเข้าอินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์ก็จะปรับความถี่ของแรงดันไฟลดลงตาม Gain ที่ได้กำหนดไว้ เมื่อความถี่ลดลงความเร็วรอบก็จะลดลง นั่นหมายความว่า ปั๊มไปทำงานที่จุดทำงานที่เหมาะสมกับภาระการใช้น้ำมากขึ้น ถ้าภาระการใช้น้ำเปลี่ยนแปลงไปอีก วงจรก็จะทำการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบตามอัตราการใช้น้ำอีก



รูปที่ 5.1 Block Diagram แสดงระบบควบคุมปั๊มหอยโข่ง

เนื่องจากมอเตอร์ของเราเป็นมอเตอร์ 3 เฟส 380 V ฉะนั้น กระแสไฟหลักในวงจรของเราต้องใช้ไฟ 3 เฟส 380 V ด้วย เริ่มจากดึงไฟผ่านตัว เซอร์คิตเบรกเกอร์ , คอนแทกเตอร์ แล้วเข้าตัว อินเวอร์เตอร์ ออกจากตัว อินเวอร์เตอร์ ก็ไปเข้า รีเลย์ไหลลเกิน แล้วจึงไปเข้ามอเตอร์อีกครั้งหนึ่ง เราเรียกชุดประกอบชนิดนี้ว่า “ ชุดประกอบสวิทซ์เกียร์ ( ป้องกันมอเตอร์ ) ” แต่เนื่องจากว่า ตัว Flow sensor และ Converter ของเราต้องการไฟ DC 5 V ฉะนั้น เราจึงต้องทำการแปลงไฟ ให้เป็น DC 5 V ด้วย และ เราได้ออกแบบวงจรไฟฟ้าในระบบควบคุมปั๊มหอยโข่งดังรูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดง วงจรไฟฟ้าในระบบควบคุมปั๊มหยอโข่ง

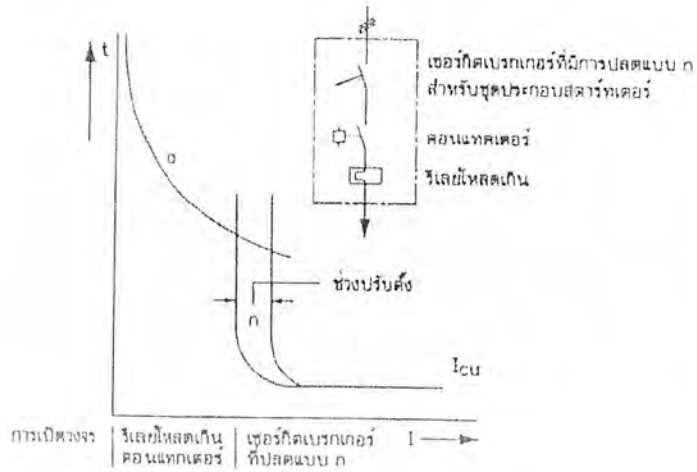
5.2 ชุดประกอบสวิตช์เกียร์ ( ป้องกันมอเตอร์ )

เป็นชุดอุปกรณ์ที่ติดตั้งเข้าไปเพื่อป้องกันมอเตอร์ไม่ให้เกิดความเสียหาย เมื่อเกิดการลัดวงจร ภายใต้อภาวะกระแสลัดวงจร ชุดสวิตช์เกียร์จะสามารถขจัดความผิดพลาดได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อบุคคล และอุปกรณ์ไฟฟ้า ประกอบด้วย คอนแทกเตอร์ + รีเลย์ไหลเกิน + เซอร์คิตเบรกเกอร์

คอนแทกเตอร์ + รีเลย์ไหลเกิน + เซอร์คิตเบรกเกอร์

เซอร์คิตเบรกเกอร์มีการปรับตั้งการปลดแบบ n เมื่อกระแสลัดวงจรได้ ตามรูปที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

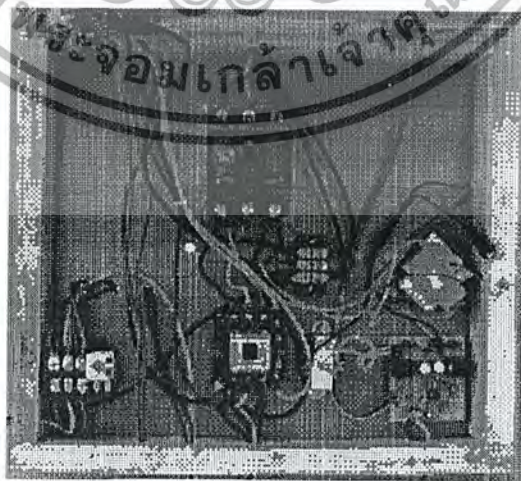


รูปที่ 5.3 ชุดประกอบสวิตช์เกียร์

- a เส้นโค้งลักษณะสมบัติของรีเลย์ความร้อน
- b เส้นโค้งลักษณะสมบัติของการปลดกระแสลัดวงจรกับฟลักซ์ซึ่งปรับค่าได้

- ป้องกันไหลเกินได้โดยรีเลย์ไหลเกิน
- ป้องกันกระแสลัดวงจรได้โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์
- การเปิดปิดวงจรโดยคอนแทกเตอร์
- เซอร์กิตเบรกเกอร์ใช้ในการเริ่มเดินเครื่องได้ประเภทยกเว้นที่เป็นแบบ
- เครื่องปลดวงจรแบบ 3 ขั้ว
- สามารถปิดวงจรอีกครั้งได้ทันทีหลังจากที่ขจัดความผิดปกติแล้ว

ชุดประกอบสวิตช์เกียร์แบบที่ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ในการเริ่มเดินเครื่อง ได้รับความนิยมมากขึ้น ในขณะที่การใช้ฟิวส์ในระบบไฟฟ้าในอุตสาหกรรมได้รับความนิยมน้อยลง



รูปที่ 5.4 แสดง ชุดประกอบสวิตช์เกียร์ที่ได้จัดทำขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คอนแทกเตอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับตัดต่อวงจรไฟฟ้า ซึ่งควบคุมโดยแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าของคอนแทกเตอร์ คอนแทกเตอร์จะทำงาน ทำให้หน้าสัมผัสของมันต้อถึงกัน วงจรไฟฟ้าที่ควบคุมโดยคอนแทกเตอร์ดังกล่าวจะครบวงจร ทำให้แหล่งจ่ายไฟสามารถจ่ายกระแสไฟให้กับโหลดได้ ถ้าไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า แรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่ขั้วค้ำหน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์ติดกันก็จะหมดไป เป็นผลให้หน้าสัมผัสแยกออกจากกัน วงจรไฟฟ้าที่ควบคุมก็จะไม่ครบวงจร และไม่มีกำลังกำลังไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลด

การควบคุมวงจรไฟฟ้าโดยใช้คอนแทกเตอร์มีข้อดีหลายอย่าง ได้แก่

- ตัดต่อวงจรไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าปริมาณมากไหลผ่านได้ด้วยอุปกรณ์ควบคุมซึ่งกินกระแสต่ำ
- ใช้ได้กับงานที่วงจรไฟฟ้าทำงาน โดยต่อเนื่อง และงานที่ต้องการการตัดต่อวงจรบ่อยๆ
- สามารถควบคุมการทำงานของวงจรไฟฟ้าได้จากระยะไกล โดยใช้สายไฟขนาดเล็ก ทำให้ประหยัด
- มีสถานีควบคุมได้หลายจุด สามารถติดตั้งได้ใกล้กับผู้ใช้ปฏิบัติงาน

### 5.2.2 รีเลย์ไหลลัดเกิน

รีเลย์ไหลลัดเกินแบบโลหะคู่ เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรมและมีระดับในการป้องกันสูงต่อสภาวะไหลลัดเกินที่ยาวนานหรือต่ำๆซึ่งมีใช้ทั้งกระแสไฟตรงและสลับ



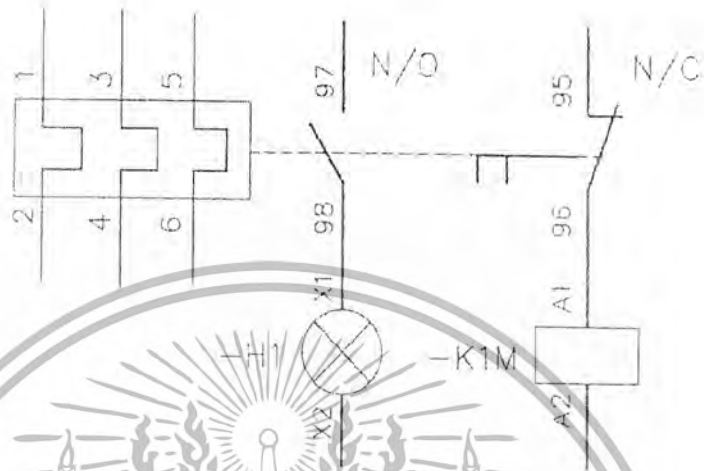
รูปที่ 5.6 แสดงรูปของรีเลย์ความร้อนเกิน

หลักการทำงานของรีเลย์ไหลลัดเกินแบบ 3 เฟส

รีเลย์ไหลลัดเกินแบบโลหะคู่จะมีโลหะคนละชนิด 2 แถบเชื่อมต้อเข้าด้วยกัน โดยต้องเลือกโลหะที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวแตกต่างกัน เมื่อโลหะได้รับความร้อน แผ่นโลหะก็จะมีการโค้งงอในทิศทางที่ถูกกำหนด รีเลย์ชนิดนี้จะมีแผ่นโลหะคู่ 3 ชุด ( 1 ชุด ต่อ 1 เฟส ) แต่ละชุดจะถูกพันรอบด้วยขดลวดทำความร้อนที่มีการไหลของกระแสในแต่ละเฟส ขณะที่มอเตอร์ที่การดึงกระแส ผลของความร้อนจะถูกวัดได้โดยโลหะคู่และมันจะเริ่มโค้ง ปริมาณการ โค้งจะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแส โลหะคู่จึงถูกใช้ในการควบคุมและตัดกลไกการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากระแสถูกดึงโดยโหลดเกินค่าที่ตั้งไว้ โลหะคู่จะไต่จนถึงจุดตัดและจะปลดสลักทำให้หน้าสัมผัสช่วยเปิด เมื่อหน้าสัมผัสเปิดก็จะเป็นการหยุดการทำงานของมอเตอร์ ส่วนหน้าสัมผัสที่ปิดจะใช้ควบคุมหลอดไฟขึ้นมา เพื่อส่งสัญญาณว่ามีารตัดตามรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 แผนภาพแสดงชุดควบคุมมอเตอร์และหลอดไฟขึ้นมา

5.2.3 เซอร์คิตเบรกเกอร์

เซอร์คิตเบรกเกอร์ คือ อุปกรณ์ป้องกันที่เปิด-ปิด อย่างไม่อัตโนมัติ และจะเปิดวงจรอย่างอัตโนมัติ เมื่อเกิดโหลดเกินหรือมีกระแสลัดวงจร หรือตามฟังก์ชันบางอย่าง ที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับงานแต่ละประเภท ขนาดพิกัดในการตัด

พิกัดที่สำคัญของเซอร์คิตเบรกเกอร์ ตามมาตรฐาน IEC 947-2

1. แรงดันพิกัด

- $U_i$  = แรงดันการฉนวนพิกัด ( Rated Insulation Voltage )
- $U_c$  = แรงดันการทำงานพิกัด ( Rated Operation Voltage )
- $U_{imp}$  = แรงดันทนอิมพัลส์ ( Rated Impulse Withstand Voltage )

2. กระแสพิกัด

คือ ค่าของกระแสที่ซึ่งเซอร์คิตเบรกเกอร์รับได้โดยไม่ตัดกระแส

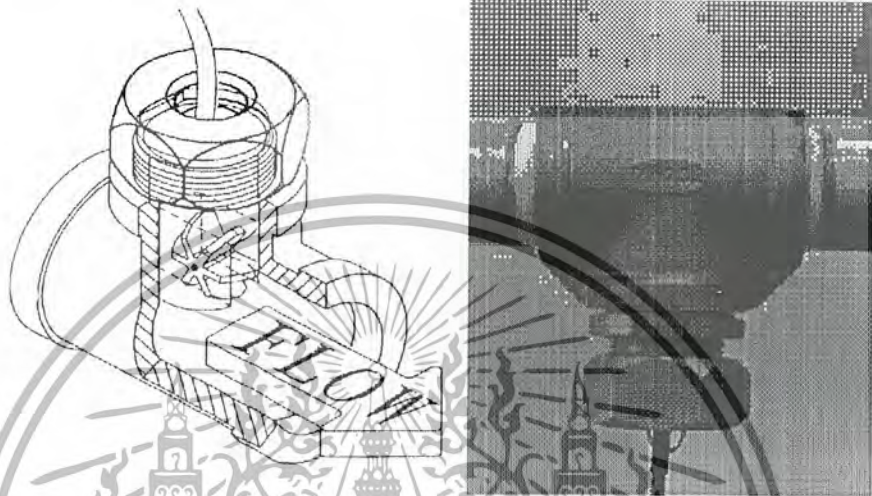
เซอร์คิตเบรกเกอร์จะทำหน้าที่คล้ายฟิวส์แต่มีข้อดีมากกว่าหลายประการ แบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ

- เซอร์คิตเบรกเกอร์แบบปลดทันที
- เซอร์คิตเบรกเกอร์แบบเวลาผกผัน

### 5.3 Flow Sensor ชนิด Paddle-Wheel

สำหรับโครงการนี้เราได้ใช้ Flow meter ชนิด Paddle-Wheel เพราะเป็น Flow meter แบบส่งสัญญาณได้ ซึ่งต้องใช้เป็นสัญญาณป้อนกลับในการควบคุมความเร็วรอบปั๊ม และราคาถูกกว่าแบบอื่นที่ส่งสัญญาณได้เช่นกัน ซึ่งราคาสูงมาก

#### 5.3.1 โครงสร้างของ Paddle-Wheel Flow Sensor

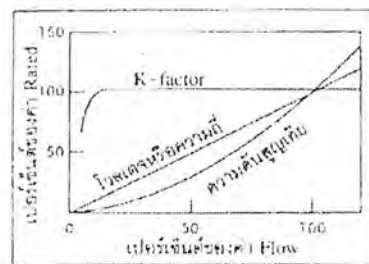


รูปที่ 5.8 โครงสร้างของ Paddle-Wheel Flow Sensor

จากรูปที่ 5.8 โครงสร้างของตัว Paddle-Wheels มีใบพัดตามแนวทิศทางการไหล ขณะที่ของไหลไหลผ่านจะท้งให้ใบพัดหมุนไปตามอัตราการไหล ที่ตัว Housing มี Pick Off Coil เป็นตัวรับรู้ความเร็วรอบของใบพัด เมื่อใบพัดหมุนผ่าน Pick Off Coil ที่พื้นอยู่บนแท่งแม่เหล็กถาวร จะเกิดสัญญาณ Pulse ขึ้น โดยใช้สัญญาณช่วงมาก เป็นตัวกำหนดค่าความถี่ของ Pulse หรือบอกหน่วยเป็น Hz

#### 5.3.2 ค่า K-factor

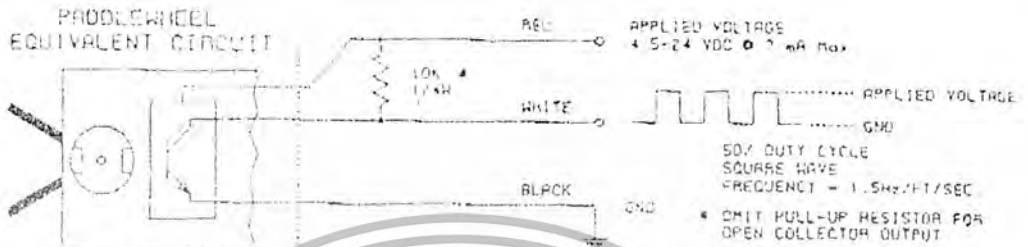
K-factor เป็นค่าสัมประสิทธิ์ประจำของ Flow Sensor แบบใบพัด มีหน่วยเป็น Pulse/หน่วยปริมาตร โดยบริษัทผู้ผลิตจะกำหนดค่านี้มาด้วยทุกครั้ง โดยปกติ K-factor Curve เมื่อ Plot เทียบกับค่า Flow Rate จะเป็นดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 K-factor Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วง Flow Rate ต่ำๆ ค่า K-factor จะต่ำและสูงเมื่อสูงถึง Flow Rate ค่าหนึ่ง ค่า K-factor นี้จะมีค่าคงที่โดยปกติประมาณ 10 % ขึ้นไป การใช้งานจะใช้งานในช่วงที่ค่า K-factor มีค่าคงที่หรืออยู่ในย่านที่มีความผิดพลาดอยู่ในพิกัด ค่า K-factor นี้เป็นค่าสำคัญ เพราะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงไปหมายถึงค่าที่วัดได้จะผิดไปด้วย



FORMULAR FOR FLOW IN A PIPE

$GPM = FT/SEC \times ID^2 \times 2.45$   
 WHERE  
 GPM = GALLONS PER MINUTE  
 FT/SEC = VELOCITY OF FLUID = (FREQ. / 1.5)  
 ID = PIPE INSIDE DIAMETER IN INCHES

EXAMPLE

PROPELLER WHEEL FREQUENCY = 30 Hz  
 THEN VELOCITY = 30 / 1.5 = 20 FT/SEC  
 PIPE SIZE = 2" (SCH 40), ACTUAL ID = 2.067"  
 USING FORMULA  
 $GPM = (20) \times (2.067^2) \times 2.45$   
 $GPM = 209.4$

รูปที่ 5.10 วงจรสัญญาณของ Flow Sensor แบบ Paddle-Wheel

ค่า Output Voltage และ Pressure Drop จะเพิ่มขึ้นเมื่อ Flow Sensor มีค่าความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นในภาวะที่ Flow Rate มีค่ามากขึ้น

สำหรับ Flow Sensor ที่ใช้ในโครงการนี้ มีค่า K-factor เท่ากับ 1.5 Hz/ft/sec ดังรูปที่ 5.10 ซึ่งแปลงเป็นหน่วย GPM ได้เมื่อทราบขนาดท่อ โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$GPM = \frac{FT}{SEC} (ID^2) (2.45) \tag{5.1}$$

โดยที่ GPM = Gallons per minute

FT / SEC = ความเร็วของของไหล (Freq / 1.5)

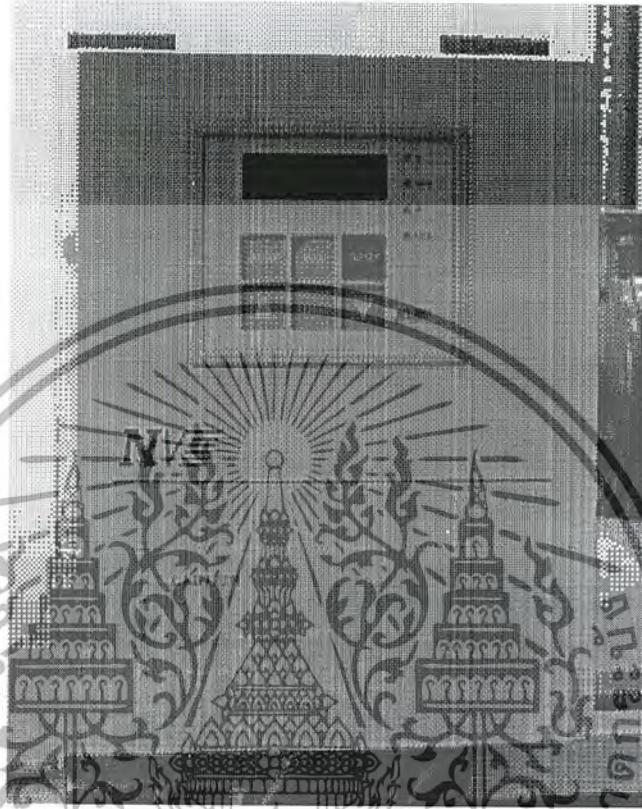
ID = Pipe inside diameter in inches

สำหรับการเลือกช่วงการวัดที่เหมาะสม ควรพิจารณา Specification ของ Flow Sensor ว่ากำหนดไว้เท่าไร และควรติดตั้ง Flow Sensor ให้ห่างจากวาล์ว ข้อต่อ ข้อลวดหรือข้อเพิ่ม เป็นระยะไม่น้อยกว่า 10 เท่าของขนาดท่อ เพื่อให้ได้ค่าการวัดที่ถูกต้องมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ของแรงดันใช้งาน จึงสามารถนำไปควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ได้



รูปที่ 5.11 แสดง Inverter ที่ใช้ในโครงการ

โดยลักษณะทั่วไปของอินเวอร์เตอร์ มีดังนี้

- 1) อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันกระแสตรง (DC Voltage) ทางด้านขาเข้า (Input) ไปเป็นแรงดันสมมาตรกระแสสลับ (Symmetrical AC Voltage) ทางด้านขาออก (Output) โดยที่มีขนาดและความถี่ของแรงดันได้ตามต้องการ
- 2) อินเวอร์เตอร์ จะประกอบด้วยวงจรควบคุมการ Switching ซึ่งต้องใช้สัญญาณ Pulse ในการ On/Off อุปกรณ์ที่ใช้ในการ Switching
- 3) แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ ในทางอุดมคติแล้วจะเป็น Sinusoid แต่ในทางปฏิบัติแล้ว รูปคลื่นแรงดันขาออกมักจะไม่เป็น Sine Wave มักจะมีฮาร์มอนิกมาปนอยู่ด้วย ซึ่งแรงดันที่เป็น Sine Wave จะถูกใช้งานทางกำลังสูง
- 4) การใช้งานทางกำลังต่ำและกำลังปานกลาง มักจะใช้แรงดันที่มีรูปคลื่นเป็น Square Wave หรือ Quasi-Square Wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1 ความถี่กระแสสลับ (AC Frequency)

ความถี่กระแสสลับสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้โดยการเปลี่ยนที่ค่าความถี่ในการสวิตช์ (Switch Frequency) ของอุปกรณ์สวิตช์ในอินเวอร์เตอร์ โดยพิจารณาที่ความถี่ของ Clock Oscillator ส่วนควบคุมการสวิตช์

5.4.2 ขนาดของแรงดันกระแสสลับ (Magnitude of AC Voltage)

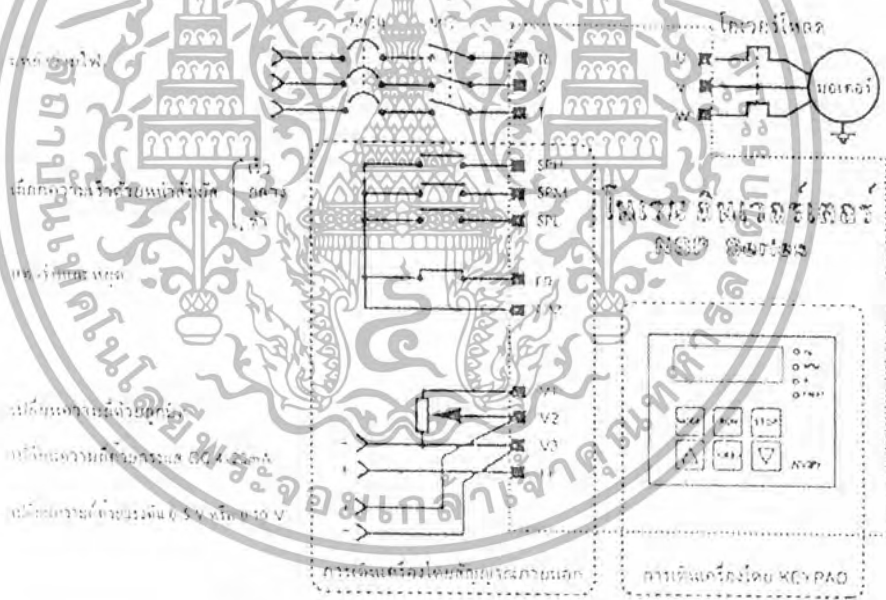
สามารถจะเปลี่ยนได้ 2 ทาง คือ

1) ปรับภายนอกวงจรอินเวอร์เตอร์ คือปรับค่าแรงดันกระแสตรงทางขาเข้า โดยคงค่าอัตราขยาย (Gain) ของอินเวอร์เตอร์ไว้ โดยวิธีจะไม่ขึ้นกับการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์

2) ปรับอัตราขยายของอินเวอร์เตอร์ โดยคงค่ากระแสตรงขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ไว้ โดยปกติวิธีนี้จะอาศัยหลักการ Pulse Width Modulation (PWM) มาควบคุมอินเวอร์เตอร์

5.4.3 การรับคำสั่งของ อินเวอร์เตอร์

ข้อดีของอินเวอร์เตอร์ คือ สามารถรับคำสั่งสัญญาณได้จากแหล่งจ่ายสัญญาณต่างๆ ได้หลายวิธี เพื่อนำมาสั่งให้ สตาร์ท หยุด กลับทางหมุน และ เปลี่ยนความเร็วให้เร็วหรือช้าได้



รูปที่ 5.12 แสดงการรับคำสั่งของเครื่องอินเวอร์เตอร์

- การเดินเครื่องโดยสัญญาณภายนอก เป็นการสั่งการด้วยสัญญาณภายนอกเช่น สวิตช์ คอนแทค ของระบบควบคุมต่างๆ และสามารถ เปลี่ยนแปลงความถี่ด้วยสัญญาณ อานาลอก เช่น แรงดัน 0- 10 V , 0-5 V หรือ กระแสมาตรฐาน 4-20 mA

- การเดินเครื่องโดย Keypad เป็นวิธีสั่งงานที่สะดวกที่สุด สามารถนำไปใช้งานได้ทันทีโดยต่อเพียงวงจร ก็สั่งก็จะใช้ Keypad ควบคุมการทำงานทั้งหมดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 วงจร Converter

วงจร Converter ที่เราได้จัดทำขึ้น แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ส่วนของ Power Supply
2. ส่วนของ วงจร Converter

### 5.5.1 ส่วนของ Power supply

ในส่วนของ Power supply เนื่องจากในวงจร Converter ของเราต้องการไฟเลี้ยง DC 5 V แต่ไฟหลักในวงจรของเราเป็นไฟ AC 380 V ฉะนั้นเราจึงต้องแปลงไฟ จาก AC 380 V ให้เป็น DC 5 V โดยแปลงเป็น 220 V AC ก่อน แล้วใช้ หม้อแปลง แปลง Volt ให้ต่ำลงมา และในวงจรนี้ เราได้แปลงไฟลงมาเหลือ 18 v และ 9 v ( แต่ยังเป็นไฟ AC อยู่ ) เราใช้หม้อแปลง 2 ตัว เนื่องจาก ในวงจรของเราใช้ไฟอยู่ 2 แบบ และใช้ “ วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ ( Bridge rectifier ) ” เพื่อแปลงไฟ AC เป็น DC และในขณะนี้ เราได้ ไฟ DC 18V และ 9V แล้ว หลังจากนั้นเราได้ติดตั้ง “ IC Regulator ” 7805,7815 และ 7915 เข้าไปเพื่อแปลง ไฟให้ได้ +5V,+15V และ -15V ตามลำดับ และยังติดตั้ง “ ตัวเก็บประจุ ( C ) ” เพื่อกรองสัญญาณอีกด้วย

- วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ ( Bridge rectifier )

วงจรที่ให้สัญญาณออกมาเป็นฟูลเวฟ ( full wave ) อีกแบบหนึ่งคือวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ แรงดันไฟสลับจะต่อเข้าที่สองมุมของวงจรบริดจ์ และเอาที่พ่วงจะถูกนำออกที่สองมุมที่เหลือดังวงจรในรูป 5.13

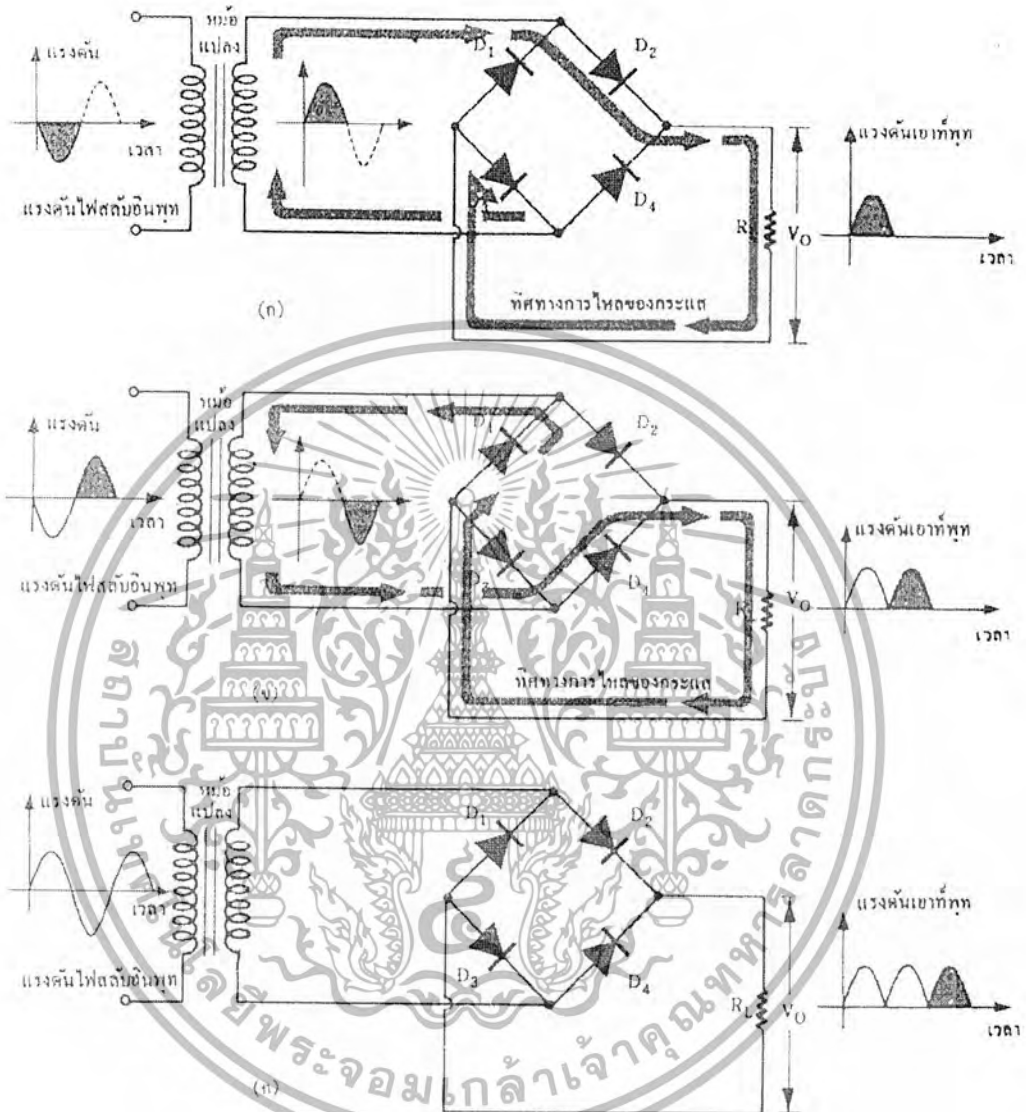


รูปที่ 5.13 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์

ในแต่ละครึ่งไซเคิลของวงจรอิมพุตสมมติว่าขั้วบนของหม้อแปลงมีค่าบวก และขั้วล่างมีค่าลบ หรือครึ่งไซเคิลกลับถูกป้อนเข้าทางขดทุติยภูมิของหม้อแปลง ไดโอด  $D_2$  และ  $D_4$  จะอยู่ในลักษณะไบเอสตรง ดังนั้นกระแสจึงไหลครบวงจร จากขั้วบนของหม้อแปลงผ่านไดโอด  $D_2$  และความต้านทานโหลด ไดโอด  $D_4$  แล้วกลับเข้าขั้วล่างของหม้อแปลง และเมื่อแรงดันไฟสลับเปลี่ยนข้างมาเป็นบวกที่ขั้วล่าง และเป็นลบที่ขั้วบนของขดทุติยภูมิ การนำกระแสของไดโอดจะเป็นไปโดยเริ่มจากจุดล่างของหม้อแปลงผ่านไดโอด  $D_3$  ความต้านทานโหลด ไดโอด  $D_1$  กลับเข้าขั้วบนของหม้อแปลง ทุกทางแรงดันคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีทิศทางเดียวกันกับตอนแรก คือ มีทิศทางอยู่ด้านบน ดังนั้นการนำกระแสของไดโอดจะเกิดสลับกันทีละ 2 ตัว คือ  $D_2$  กับ  $D_4$  และ  $D_3$  กับ  $D_1$  ดังรูปที่ 5.14



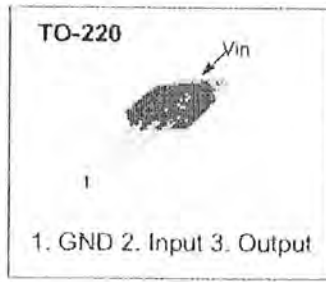
รูปที่ 5.14 แสดงการทำงานของ วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์

จึงเห็นได้ว่าวงจรฟูลเวฟแบบบริดจ์ให้ผลดีจึงมีผู้นิยมใช้กันมากในวงจรจ่ายไฟกระแสตรง

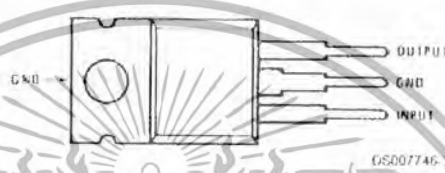
- IC Regulator

เป็น IC สำเร็จที่เราติดตั้งเข้าไป เพื่อที่จะให้ Voltage ที่ออกมา เป็นไปตามที่เราต้องการ ( ตามเบอร์ ที่ตัว IC เช่น 7805 จะได้ +5V) เนื่องจาก IC ตัวนี้ ต้องการ Voltage ที่ด้าน Input มากกว่าตัวมันเอง เล็กน้อย ฉะนั้น เราจึงแปลงไฟ 18V และ 9V รอไว้ก่อนแล้ว( 18V แปลงเหลือ 15V และ 9V แปลงเหลือ 5V )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



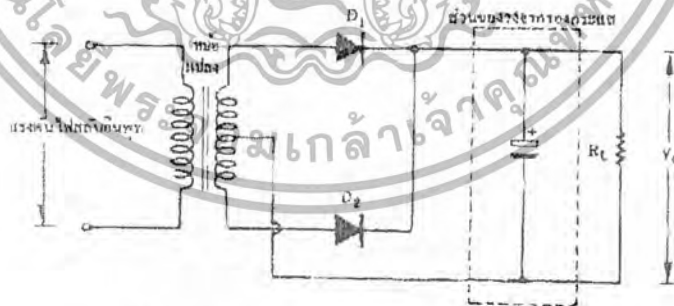
รูปที่ 5.15 แสดง IC Regulator เบอร์ 79XX



รูปที่ 5.16 แสดง IC Regulator เบอร์ 78XX

- การกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ

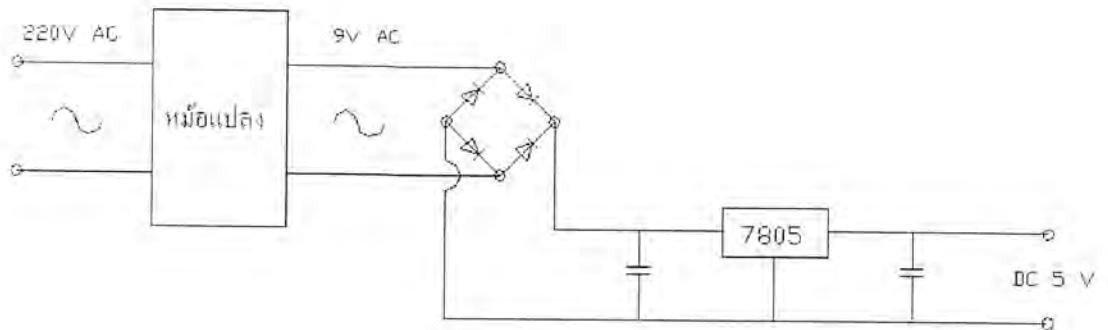
แรงดันรีปเปลมีความถี่เหมือนกับกระแสไหลคเป็นรูป pulse แรงดันรีปเปลนี้สามารถทำให้ลดลงได้ถ้ามีพลังงานบางส่วนที่เอาที่ฟูด ถูกเก็บไว้พร้อมที่จะจ่ายออกมาเมื่อถึงจังหวะที่ไม่มีพลังงานจ่ายออกจากตัวเรกติฟายเออร์ซึ่งหลักการนี้เป็นหลักการเบื้องต้นของวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ



รูปที่ 5.17 แสดงการกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ

วงจรกรองแรงดันแบบนี้ประกอบด้วยตัวเก็บประจุต่อเชื่อมคร่อมเอาท์พุท ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เก็บประจุไว้ในตัวมัน ในขณะที่แรงดันเอาท์พุทเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุก็จะมีค่าสูงสุดด้วย เมื่อแรงดันเอาท์พุทลดลงมาเป็นศูนย์ ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยจ่ายประจุให้ไหลค ทำให้แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุค่อยๆลดลงจนกระทั่งแรงดันเอาท์พุทของเรกติไฟเออร์มีค่ามากกว่าที่เก็บประจุเข้าไปยังตัวเก็บประจุอีกครั้ง เป็นเช่นนี้เรื่อยไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

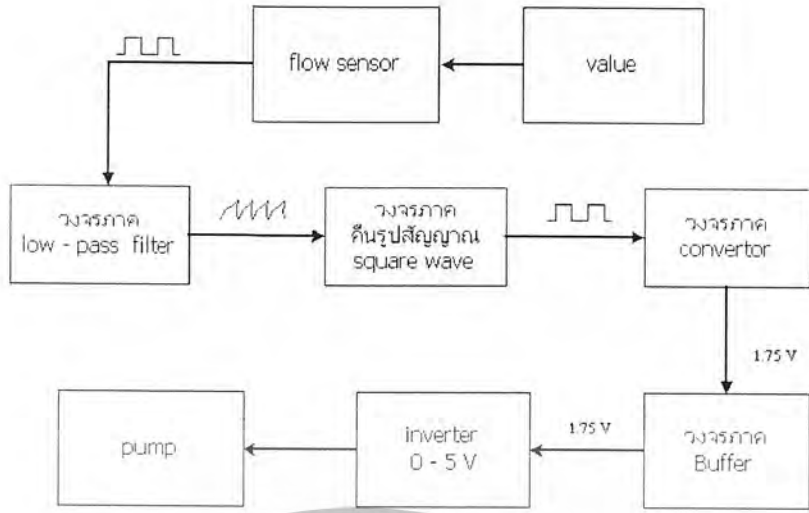


รูปที่ 5.18 แสดงตัวอย่างวงจร Regulator แปลงไฟเป็น 5 V DC

### 5.5.2 วงจร Converter

เนื่องจาก “วงจร Converter” ของเรา จะทำหน้าที่เปลี่ยน ความถี่เป็นสัญญาณแรงดัน เพื่อนำสัญญาณแรงดัน ส่งต่อไปควบคุม Inverter อีกครั้งหนึ่ง แต่จากถาวรวัด Inverter ปรากฏว่า Inverter ต้องการ Voltage เพื่อจะนำไปแปลงค่าเป็นสัญญาณความถี่ เพื่อไปควบคุมให้มอเตอร์ ทำงานที่ 1500 rpm เท่ากับ 1.75 Volt ดังนั้นเราจึงต้องทำวงจร Converter ที่รับสัญญาณ Hz จาก Flow sensor ให้ได้เป็น 1.75 Volt และจากการวัด Hz ที่ออกจาก Flow sensor ที่รอบมอเตอร์ 1500 rpm ได้ความถี่ออกมาประมาณ 10 – 12 Hz ซึ่งค่าที่ได้แต่ละครั้งจะไม่เท่ากัน เนื่องจากปัญหา จากตัวมอเตอร์ และ Flow sensor เอง

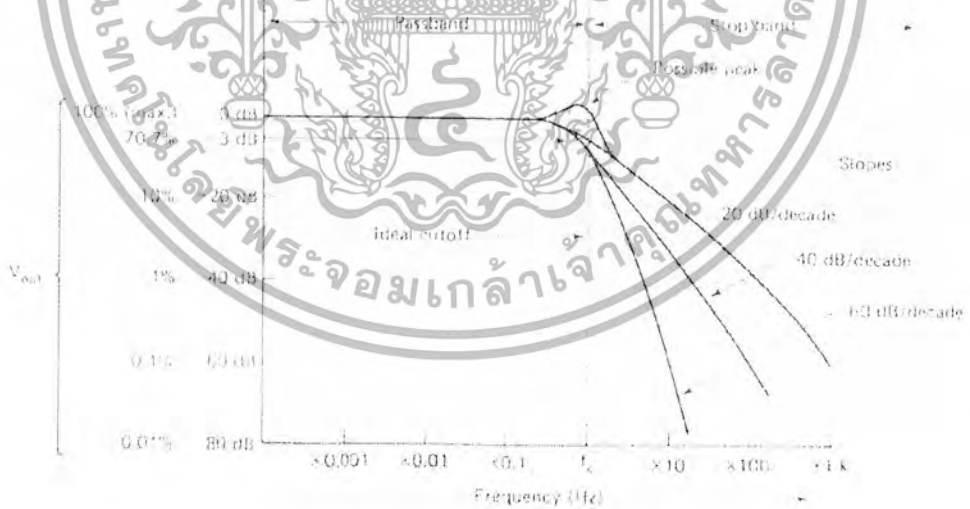
ฉะนั้นเราจึงขอให้ Converter ของเราทำการแปลงสัญญาณจาก 11.5 Hz = 1.75 Volt เนื่องจากปัญหาที่กล่าวมาแล้ว คือ ค่าความถี่ที่ได้แต่ละครั้งไม่เท่ากัน เราจึงได้ติดตั้ง “วงจร Low-pass Filter” เพิ่มเข้าไป และตั้งค่า Cut off = 12.5 Hz เพราะว่าถ้าบางครั้งที่ Flow sensor ให้ความถี่ออกมาเกิน 11.5 Hz (ซึ่งเราได้เซตค่า = 1.75 volt) เช่น ออกมา 13 Hz จะมีผลทำให้ converter แปลงค่าออกมามากกว่า 1.75 Volt และจะทำให้ รอบมอเตอร์ หมุนเกิน 1500 rpm และ flow ก็จะหมุนเร็วขึ้นอีก Hz ก็จะมากขึ้นอีก ซึ่งถ้าปล่อยให้เป็นอย่างนี้ อาจจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ฉะนั้นจึงใส่วงจร Low-pass Filter เข้าไป แต่ก็ยังมีปัญหาอีก เนื่องจากสัญญาณที่ออกมาจาก วงจร Low-pass Filter เป็นสัญญาณ ลักขณะ ซึ่ง Converter ต้องการสัญญาณ input เป็น squar wave ดังนั้นเราจึงต้องติดตั้งวงจร คั้นรูปสัญญาณเข้าไปอีก เรียกว่า “ วงจรคั้นรูปสัญญาณ ( Schmitt Trigger ) ” เราจึงได้สัญญาณ squar wave เข้าวงจร Converter แต่ก็มีปัญหาอีก เนื่องจากว่า Voltage ที่ออกจาก Converter = 1.75 Volt แต่ตัววงจรมอง Inverter เป็น โหลดอีกตัวหนึ่ง ทำให้ output ของเราที่ส่งออกไปถึง Inverter ไม่ถึง 1.75 Volt ดังนั้นเราจึงติดตั้ง “ วงจรขยายที่เป็นบัฟเฟอร์ ” เพิ่มเข้าไป เพื่อให้ voltage ที่เข้า inverter = 1.75 Volt



รูปที่ 5.19 แสดง Block Diagram ระบบควบคุม ทั้งหมด

- วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-pass filter)

ในการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์บางครั้ง เราอาจต้องการให้สัญญาณบางความถี่ผ่านเข้ามาเท่านั้น โดยที่สัญญาณซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากนั้นจะถูกกำจัดออกไป และนี่คือประโยชน์ของวงจรกรองความถี่แบบต่างๆ



รูปที่ 5.20 แสดงการ “Cut off” ของวงจร

ในอุดมคติ วงจรกรองความถี่ต่ำจะกันไม่ให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ คัทออฟ ( $f_c$ ) ผ่านเข้าไปในวงจรเลย แต่ในทางปฏิบัติ ลักษณะของความถี่สูงที่ถูกกันออกไปนั้นจะไม่เป็นเช่นนั้น แต่จะค่อยๆ ถูกลดอัตราขยายลงเรื่อยๆ จุดที่ความถี่มีค่าเท่ากับ  $f_c$  ถูกเรียกได้หลายชื่อ เช่น ความถี่ 0.707

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( ขนาดของ  $V_{out}$  ลดลงเหลือเพียง 70.7 % เทียบกับ  $V_{in}$  สูงสุด) ความถี่ -3 db ( อัตราขยายของแรงดัน เอาท์พุทลดลง 3 db ) หรือ ความถี่หักมุม เป็นต้น กล่าวโดยสรุปแล้ว วงจรนี้จะลดทอนขนาดของ สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า  $f_c$  และเรียกช่วงของสัญญาณที่มีค่าต่ำกว่า  $f_c$  ว่า “ ช่วงที่ผ่านได้ ( Pass Band ) ” และช่วงที่มีความถี่สูงกว่า  $f_c$  ว่า “ ช่วงที่ถูกกัก ( Stop Band ) ”

จากกราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ ในรูปที่ 5.20 จะพบว่า เมื่อสัญญาณมีความถี่สูงกว่า ความถี่ คัทออฟแล้ว สัญญาณบางเส้นอาจถูกลดทอนด้วยอัตราที่น้อยกว่าสัญญาณเส้นอื่น เช่น สัญญาณที่มีความชัน -20db/decade ( อัตราการขยายลดลง 20 db ต่อความถี่ที่เพิ่มขึ้น 10 เท่า) จะมีความชันน้อยกว่าสัญญาณที่มีค่า -60db/decade คุณสมบัตินี้เกิดขึ้นจากการออกแบบวงจรกรองความถี่ และเป็นที่น่าสนใจว่า ยิ่งค่าความชันนี้มีขนาดลบมากเท่าไร วงจรก็จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวงจร ในอุดมคติมากขึ้น



รูปที่ 5.21 แสดงตัวอย่างของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพื้นฐาน

ซึ่งใช้ขั้วบ่อป้อนที่ถูกต้องในลักษณะของวงจรตามแรงดันและใช้หลักการแบ่งแรงดันธรรมดา ณ ขั้วอินพุทบวก โดยที่ผู้ใช้คุณสมบัติที่ว่า ความถี่ของสัญญาณอินพุทจะมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บ ประจุคังสมการ

$$X_c = \frac{1}{W_c}$$

$$X_c = \left( \frac{1}{2\pi f_c} \right) \tag{5.2}$$

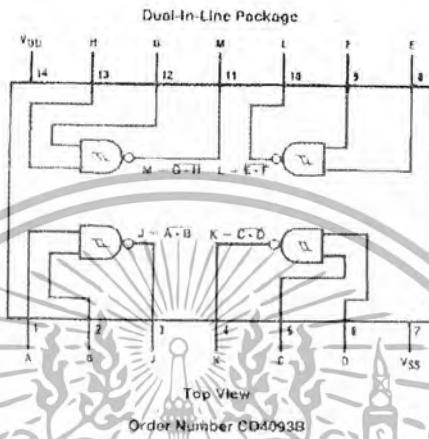
โดยที่  $f_c$  คือ ความถี่ของสัญญาณอินพุท ดังนั้น เมื่อสัญญาณอินพุทที่มีความถี่ต่ำ  $X_c$  จะมีค่าสูง ทำให้แรงดันเกือบทั้งหมดจากอินพุทตกคร่อมตัวเก็บประจุ และเป็นผลให้แรงดัน เอาท์พุท  $V_o$  มีค่า ประมาณเท่ากับ  $V_{in}$  ด้วย ในขณะที่สัญญาณที่มีความถี่สูงจะทำให้  $X_c$  มีค่าต่ำเป็นผลให้ตัวเก็บประจุ เสมือนถูกกัคขวาง ดังนั้น  $V_{out}$  จึงต่ำด้วย สรุปได้ว่า ช่วงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำจะผ่านไปปรากฏที่ เอาท์พุทได้ โดยที่สัญญาณที่มีความถี่สูงจะถูกกักเอาไว้ และเราสามารถหาความถี่  $f_c$  ที่แบ่งช่วงสัญญาณ ออกเป็นสองส่วน ดังสมการ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_c = \left( \frac{1}{2\pi RC} \right) \tag{5.3}$$

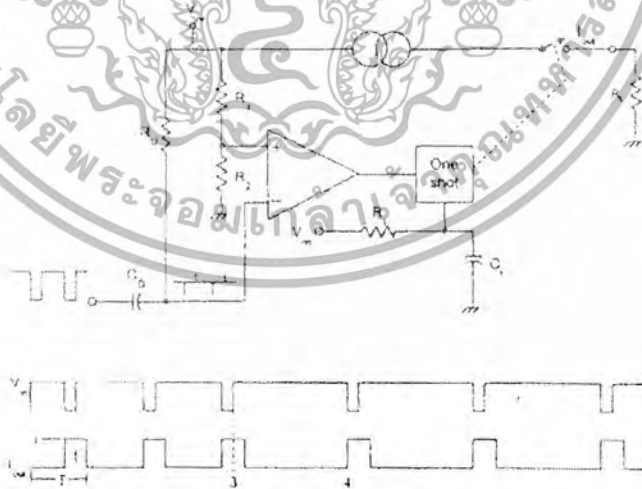
- วงจรอินรูปสัญญาณ ( Schmitt Trigger )

เป็น IC สำเร็จที่ต่อเข้าไปในวงจร เพื่อแปลงสัญญาณให้ออกมาในรูป squar wave หรือเราเรียก IC ตัวนี้ว่า “ CD4093B Schmitt Trigger”



รูปที่ 5.22 แสดง IC สำเร็จ CD4093B Schmitt Trigger

- วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณแรงดัน ( Frequency-to-Voltage Converter )



รูปที่ 5.23 แสดงการเปลี่ยนสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณแรงดัน

จากรูป 5.23 R จะต่ออยู่กับ +V ทำให้ขาอินพุท ทางด้านลบของวงจรเปรียบเทียบกับแรงดันมีค่าเท่า

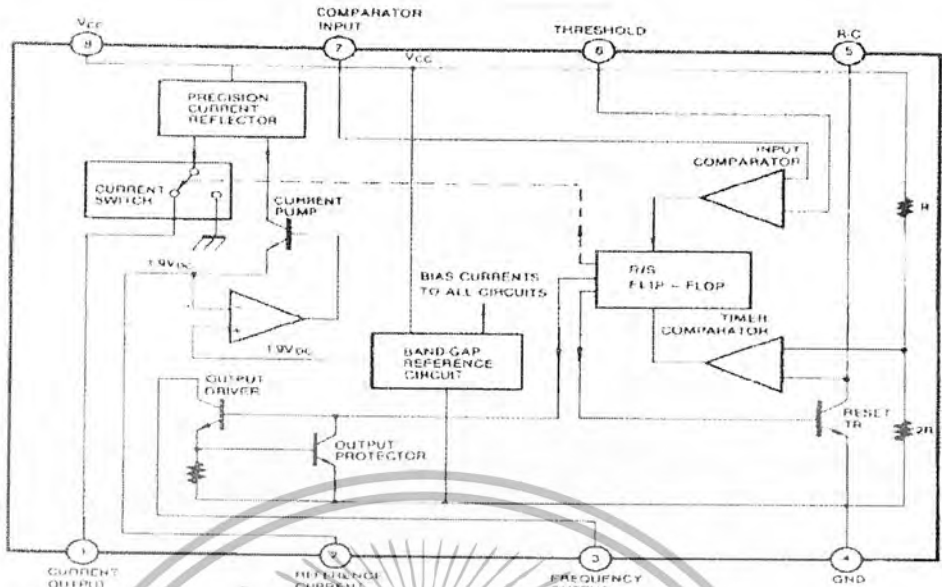
กับ +V ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าแรงดันที่ขาอินพุท ทางด้านบวก จึงทำให้ยังไม่มี pulse ที่จะไปทรiggerวงจรตั้งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นไปเซประยะขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(One-Short Time) และสวิตช์ที่ยังเปิดอยู่ C และ R จะทำหน้าที่ร่วมกันเป็นตัวอนุพันธ์ เมื่อสัญญาณความถี่เข้ามาทางอินพุต เปลี่ยนสถานะจาก High เป็น Low ก็จะทำได้ค่าแรงดันที่ขาลบของออปแอมป์มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ขาบวก ทำให้เกิดสัญญาณไปทริกวงจรถ่วงเวลา ซึ่งจะทำได้สัญญาณ pulse ออกมา 1 ลูก สัญญาณนี้จะทำให้สวิตช์ปิด และกระแสจากแหล่งจ่ายไหลผ่านโหลด โดยที่ระยะเวลาที่สวิตช์ปิดจะขึ้นอยู่กับค่า R และ C แล้วสวิตช์ก็จะเปิดขึ้นอีกครั้ง และจะเกิดเช่นนี้เรื่อยไป จะเห็นว่าเมื่อความถี่ที่เข้ามามีค่าต่ำลง ก็จะทำให้มีช่วงเวลาในการเปิดสวิตช์นานขึ้น ซึ่งจะทำได้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณเอาต์พุตต่ำลงเช่นกัน โดยที่กระแสเฉลี่ยหาได้ดังนี้

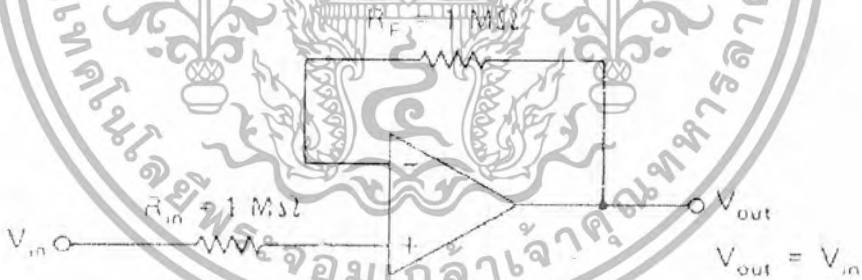


รูปที่ 5.24 วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณแรงดัน



รูปที่ 5.25 แสดง Internal Block Diagram ของ IC สำเร็จ LM331

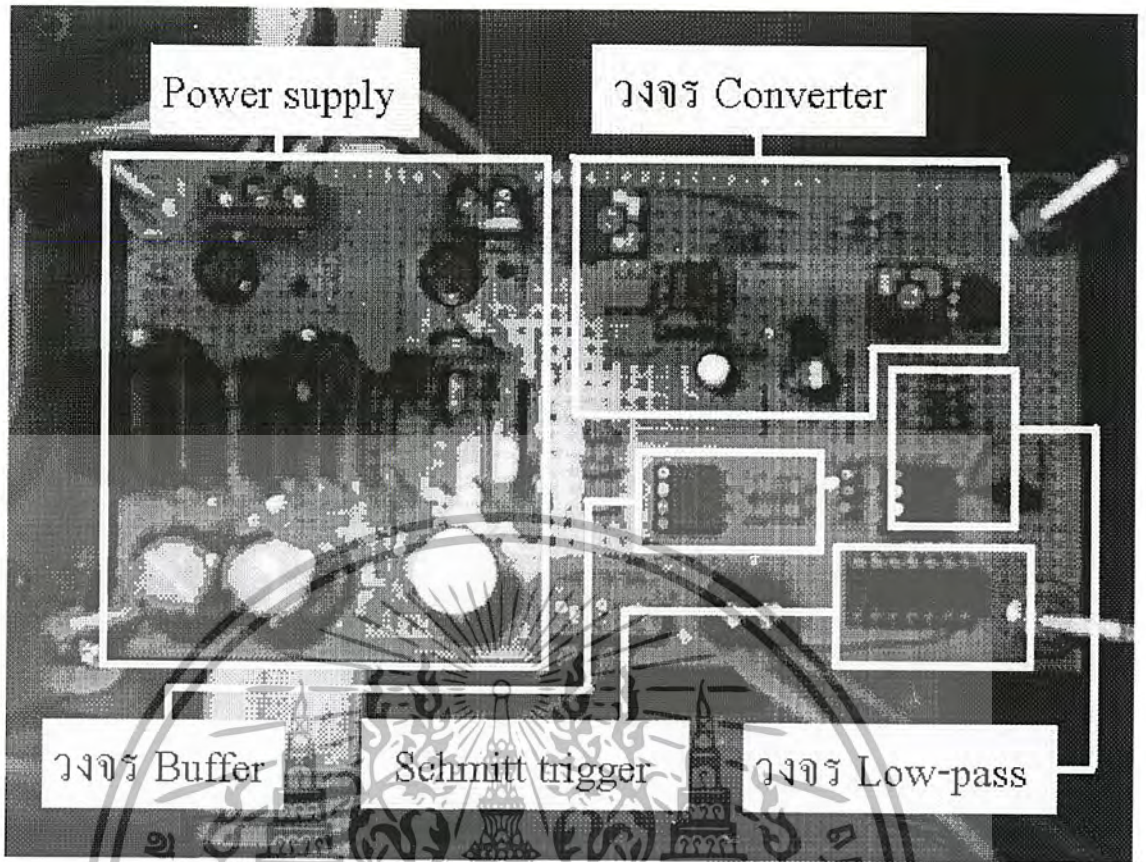
- วงจรขยายที่เป็นบัฟเฟอร์หรือวงจรขยาย Voltage follower



รูปที่ 5.26 แสดงการใช้วงจรออปแอมป์เป็นบัฟเฟอร์สำหรับแยกวงจร 2 ชุดออกจากกัน

เนื่องจากบัฟเฟอร์จะทำตัวเป็นโหลดที่มีอิมพีแดนซ์สูงมาก ซึ่งคล้ายวงจรเปิดนั่นเอง หากความต้านทาน 1 เมกกระโอม มีค่าสูงเกินไปจนทำให้เกิดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนเราอาจลดค่าของตัวต้านทานลงได้ คราบไลต์ที่ตัวต้านทานตัวใหม่ยังคงมีค่าเป็น 10 เท่าของอิมพีแดนซ์ในวงจรก่อนหน้าภาคบัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



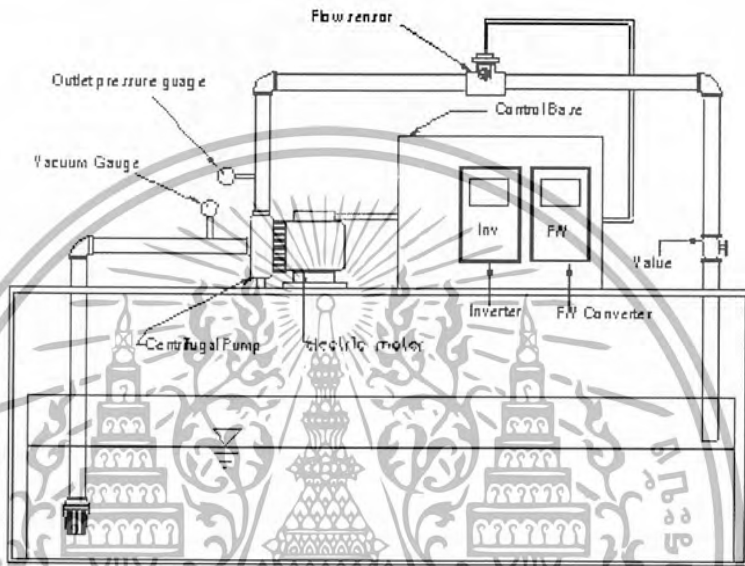
รูปที่ 5.27 แสดงวงจร Converter ที่ได้จัดทำขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

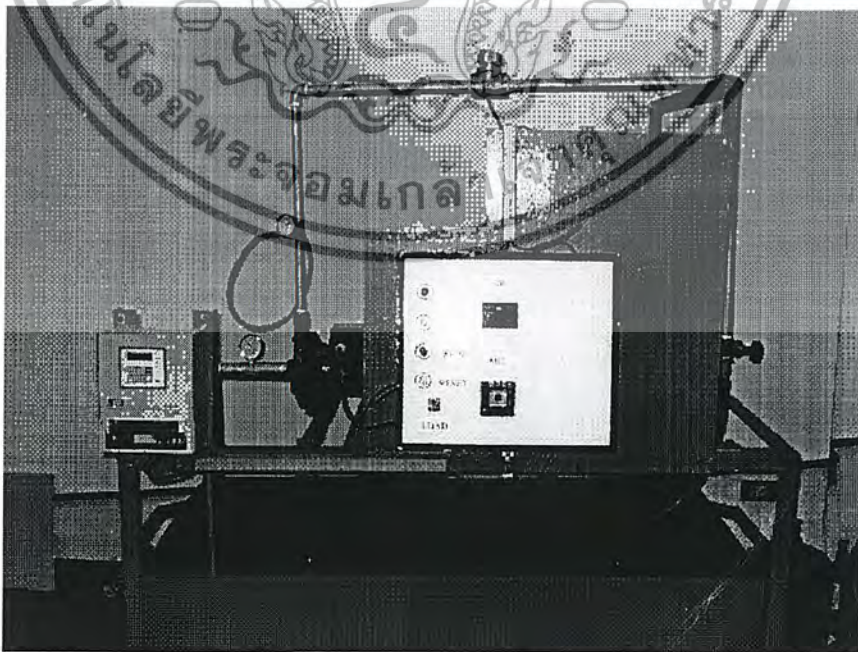
## บทที่ 6

### อุปกรณ์และผลการทดลองเมื่อใช้ระบบควบคุม

ในโครงการนี้ได้จัดทำระบบควบคุมความเร็วรอบของปั๊มหอยโข่งและสามารถใช้ทดสอบสมรรถนะของปั๊มได้ดังรูป 6.1



รูปที่ 6.1 ชุดระบบควบคุมปั๊มที่ได้ออกแบบ และจัดทำขึ้น



รูปที่ 6.2 แสดง ชุดทดลองที่ได้ประกอบขึ้นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.1 อุปกรณ์

1. ปัมป์หอยโข่ง (Centrifugal Pump) Flow rate 10/105 LPM, Head 26.5/14 m, Duct size 1 inch
2. มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) ขนาด 0.8 Hp, 3 Phase 220/380 V, 50 Hz
3. เกจวัดความดัน (Pressure Gauge)
4. เกจสุญญากาศ (Vacuum Gauge)
5. อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ยี่ห้อ NOVEM ขนาด 1 kw, AC 3 Phase 380 V
6. เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter) ชนิด Paddle wheel, Flow range 1.5 to 70 l/s, Frequency range 2 to 105 Hz
7. วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน (Frequency to Voltage Converter)
8. ประตูน้ำ (Flow Control Valve)

## 6.2 วิธีการทดลอง

- 6.2.1 ทำการต่อน้ำที่ตัมป์หอยโข่งให้เต็ม
- 6.2.2 กดสวิตช์ Power ไปที่ "ON" ขณะนี้อินเวอร์เตอร์พร้อมจะทำงาน
- 6.2.3 เปิดประตูน้ำไปให้สุด
- 6.2.4 คอลิสัญญาณความถี่จาก Flow meter ไปเข้ากับวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน
- 6.2.5 คอลิสัญญาณแรงดันที่ได้ไปเข้ากับอินเวอร์เตอร์
- 6.2.6 กดปุ่ม Run ที่อินเวอร์เตอร์จะทำให้ปั๊มทำงาน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm
- 6.2.7 เปลี่ยน Mode ที่อินเวอร์เตอร์ไปที่ Mode ควบคุมรับสัญญาณแรงดันจากภายนอก 0-5 VDC
- 6.2.8 ห้รั้วลวดไป 4, 4 1/6, 4 1/3, 4 1/2 รอบ และปิดสวิตช์ ตามลำดับแล้วบันทึกข้อมูลดังนี้ (ต่อการหมุนลวดแต่ละครั้ง)
  - ความเร็วรอบ (rpm)
  - กำลังไฟฟ้า ( kw)
  - ความดันที่ดูด (cmHg)
  - ความดันที่ส่ง (kg/cm<sup>2</sup>)
  - อัตราการไหล (l/min)
- 6.2.9 เปรียบเทียบกับผลที่ได้เมื่อไม่ใช้ระบบควบคุม โดยในที่นี้จะเลือกเปรียบเทียบกับการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1500 rpm
- 6.2.10 เมื่อเลิกทดลอง กดปุ่ม Stop ที่อินเวอร์เตอร์แล้วจึงกดสวิตช์ Power ไปที่ "OFF"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะนำเสนอในรูปแบบของตารางในหน้าถัดไป จากนั้นได้นำข้อมูลจากตารางมาพล็อตเป็นกราฟ

ตารางที่ 6.1 – 6.7 จะเป็นผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มที่ความเร็วรอบต่างกัน แล้วจึงนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟรูปที่ 6.2 – 6.4 เพื่อเปรียบเทียบค่าต่างๆที่ความเร็วรอบต่างกัน

โดยในตารางที่ 6.8 จะเป็นผลการทดสอบระบบควบคุมความเร็วรอบตามภาระการใช้งาน ส่วนกราฟรูปที่ 6.5 คือการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานระหว่างในการใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบกับไม่ใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1500 rpm

Test No.	Flow rate		$H_s$ (cmHg)	$H_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$H_d - H_s$ (m)	$Z_d$ (m)	Total Head (m)	Input Power (KW)	Output Power (KW)	$\eta_p$ (%)
	Hz	m <sup>3</sup> /s (10 <sup>-5</sup> )								
1	15.1	105.64	66	0.1	9.9694	0.35	10.3194	0.6617	0.1070	16.17
2	14.6	102.14	65	0.5	13.8335	0.35	14.1835	0.6687	0.1421	21.47
3	13.8	96.54	65	0.6	14.8335	0.35	15.1835	0.6758	0.1438	21.73
4	13.0	90.95	64	1.1	19.2564	0.35	18.0476	0.6811	0.1602	24.21
5	10.7	74.86	59	1.5	22.5865	0.35	27.3681	0.6887	0.2010	30.38
6	0	0	5	3.4	34.0679	0.35	34.4179	0.6974	0	0

หมายเหตุ Test No. 1 คือเมื่อเปิดวาล์วเต็มที

Test No. 2-5 คือเมื่อหริวาล์วลงไปตามลำดับ จนปิดสนิทที่ Test No.6

ตารางที่ 6.2 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1400 rpm

Test No.	Flow rate		$H_s$ (cmHg)	$H_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$H_d - H_s$ (m)	$Z_d$ (m)	Total Head (m)	Input Power (KW)	Output Power (KW)	$\eta_p$ (%)
	Hz	m <sup>3</sup> /s (10 <sup>-5</sup> )								
1	14.3	100.04	66	0.05	9.4694	0.35	9.8194	0.5965	0.0964	16.16
2	14.0	97.94	66	0.30	11.9694	0.35	12.3194	0.5998	0.1184	19.85
3	13.70	95.84	66	0.40	12.9694	0.35	13.3194	0.6054	0.1252	20.99
4	13.4	93.74	66	0.55	14.4694	0.35	14.8194	0.6095	0.1363	22.85
5	10.2	74.15	64	1.10	18.5062	0.35	23.0476	0.6161	0.1676	28.11
6	0	0	5	2.90	30.5795	0.35	30.9295	0.6205	0	0

หมายเหตุ Test No. 1 คือเมื่อเปิดวาล์วเต็มที่

Test No. 2-5 คือเมื่อหรี่วาล์วลงไปตามลำดับ จนปิดสนิทที่ Test No.6

ตารางที่ 6.3 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1300 rpm

Test No.	Flow rate		$H_s$ (cmHg)	$H_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$H_d - H_s$ (m)	$Z_d$ (m)	Total Head (m)	Input Power (KW)	Output Power (KW)	$\eta_p$ (%)
	Hz	m <sup>3</sup> /s (10 <sup>-5</sup> )								
1	13.3	93.04	63	0.2	10.560	0.35	10.910	0.5632	0.100	17.76
2	12.5	87.44	60	0.6	14.154	0.35	14.504	0.5689	0.124	22.01
3	12.4	86.74	59	0.7	15.020	0.35	15.370	0.5748	0.132	23.44
4	12.0	83.95	55	1.2	19.475	0.35	19.825	0.5793	0.163	28.94
5	9.4	66.74	39	1.7	22.300	0.35	22.650	0.5847	0.148	26.28
6	0	0	5	2.5	25.679	0.35	26.029	0.5903	0	0

หมายเหตุ Test No. 1 คือเมื่อเปิดวาล์วเต็มที่

Test No. 2-5 คือเมื่อหรี่วาล์วลงไปตามลำดับ จนปิดสนิทที่ Test No.6

ตารางที่ 6.4 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1200 rpm

Test No.	Flow rate		$H_s$ (cmHg)	$H_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$H_d - H_s$ (m)	$Z_d$ (m)	Total Head (m)	Input Power (KW)	Output Power (KW)	$\eta_p$ (%)
	Hz	m <sup>3</sup> /s (10 <sup>-5</sup> )								
1	10.60	74.15	64	0.08	9.4976	0.35	9.8476	0.4590	0.0716	15.60
2	10.30	72.06	63	0.40	12.5617	0.35	12.9117	0.4657	0.0912	19.87
3	10.20	71.36	62	0.55	13.9258	0.35	14.2758	0.4712	0.1000	21.79
4	9.72	68.00	58	1.05	18.3822	0.35	18.7322	0.4783	0.1250	27.23
5	7.75	54.22	40	1.44	19.8360	0.35	20.1860	0.4865	0.1070	23.31
6	0	0	5	2.10	21.6795	0.35	22.0295	0.4912	0	0

หมายเหตุ Test No. 1 คือเมื่อเปิดวาล์วเต็มที่

Test No. 2-5 คือเมื่อหริ้วาล์วลงไปตามลำดับ จนปิดสนิทที่ Test No.6

ตารางที่ 6.5 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1100 rpm

Test No.	Flow rate		$H_s$ (cmHg)	$H_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$H_d - H_s$ (m)	$Z_d$ (m)	Total Head (m)	Input Power (KW)	Output Power (KW)	$\eta_p$ (%)
	Hz	m <sup>3</sup> /s (10 <sup>-5</sup> )								
1	9.22	64.50	64.5	0.05	9.27	0.35	9.61	0.3989	0.0600	15.04
2	8.77	61.35	63	0.25	11.06	0.35	11.41	0.4048	0.0680	17.05
3	8.62	60.30	62	0.35	11.92	0.35	12.27	0.4096	0.0720	18.05
4	8.54	59.74	61	0.60	14.92	0.35	14.64	0.4171	0.0860	21.56
5	7.09	49.60	44	1.00	15.98	0.35	16.33	0.4222	0.0790	19.8
6	0	0	5	1.80	18.68	0.35	19.03	0.4285	0	0

หมายเหตุ Test No. 1 คือเมื่อเปิดวาล์วเต็มที่

Test No. 2-5 คือเมื่อหรี่วาล์วลงไปตามลำดับ จนปิดสนิทที่ Test No.6

ตารางที่ 6.6 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 1000 rpm

Test No.	Flow rate		$H_s$ (cmHg)	$H_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$H_d - H_s$ (m)	$Z_d$ (m)	Total Head (m)	Input Power (KW)	Output Power (KW)	$\eta_p$ (%)
	Hz	m <sup>3</sup> /s (10 <sup>-5</sup> )								
1	8.47	59.25	63	0.01	8.66	0.35	9.01	0.3427	0.052	15.17
2	8.14	56.95	62	0.20	10.43	0.35	10.78	0.3486	0.059	17.22
3	8.01	56.04	61.5	0.40	12.40	0.35	12.75	0.3541	0.071	20.72
4	7.81	54.64	56	0.50	12.61	0.35	12.96	0.3599	0.076	22.18
5	6.28	43.93	38	0.80	13.16	0.35	13.51	0.3647	0.058	16.92
6	0	0	6	1.30	13.81	0.35	14.16	0.3695	0	0

หมายเหตุ Test No. 1 คือเมื่อเปิดวาล์วเต็มที

Test No. 2-5 คือเมื่อหรี่วาล์วลงไปตามลำดับ จนปิดสนิทที่ Test No.6

ตารางที่ 6.7 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มที่ความเร็วรอบ 900 rpm

Test No.	Flow rate		$H_s$ (cmHg)	$H_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$H_d - H_s$ (m)	$Z_d$ (m)	Total Head (m)	Input Power (KW)	Output Power (KW)	$\eta_p$ (%)
	Hz	m <sup>3</sup> /s (10 <sup>-5</sup> )								
1	6.57	45.96	62	0	8.426	0.35	8.776	0.3128	0.0400	12.79
2	6.06	42.39	62	0.05	8.790	0.35	9.140	0.3175	0.0430	13.75
3	5.98	41.83	60	0.10	9.154	0.35	9.504	0.3233	0.0440	14.07
4	5.78	40.44	56	0.20	9.610	0.35	9.960	0.3291	0.0468	14.96
5	5.05	35.33	44	0.45	10.480	0.35	10.830	0.3333	0.0375	11.99
6	0	0	7	1.10	11.951	0.35	12.300	0.3381	0	0

หมายเหตุ Test No. 1 คือเมื่อเปิดวาล์วเต็มที่

Test No. 2-5 คือเมื่อหริ้วาล์วลงไปตามลำดับ จนปิดสนิทที่ Test No.6

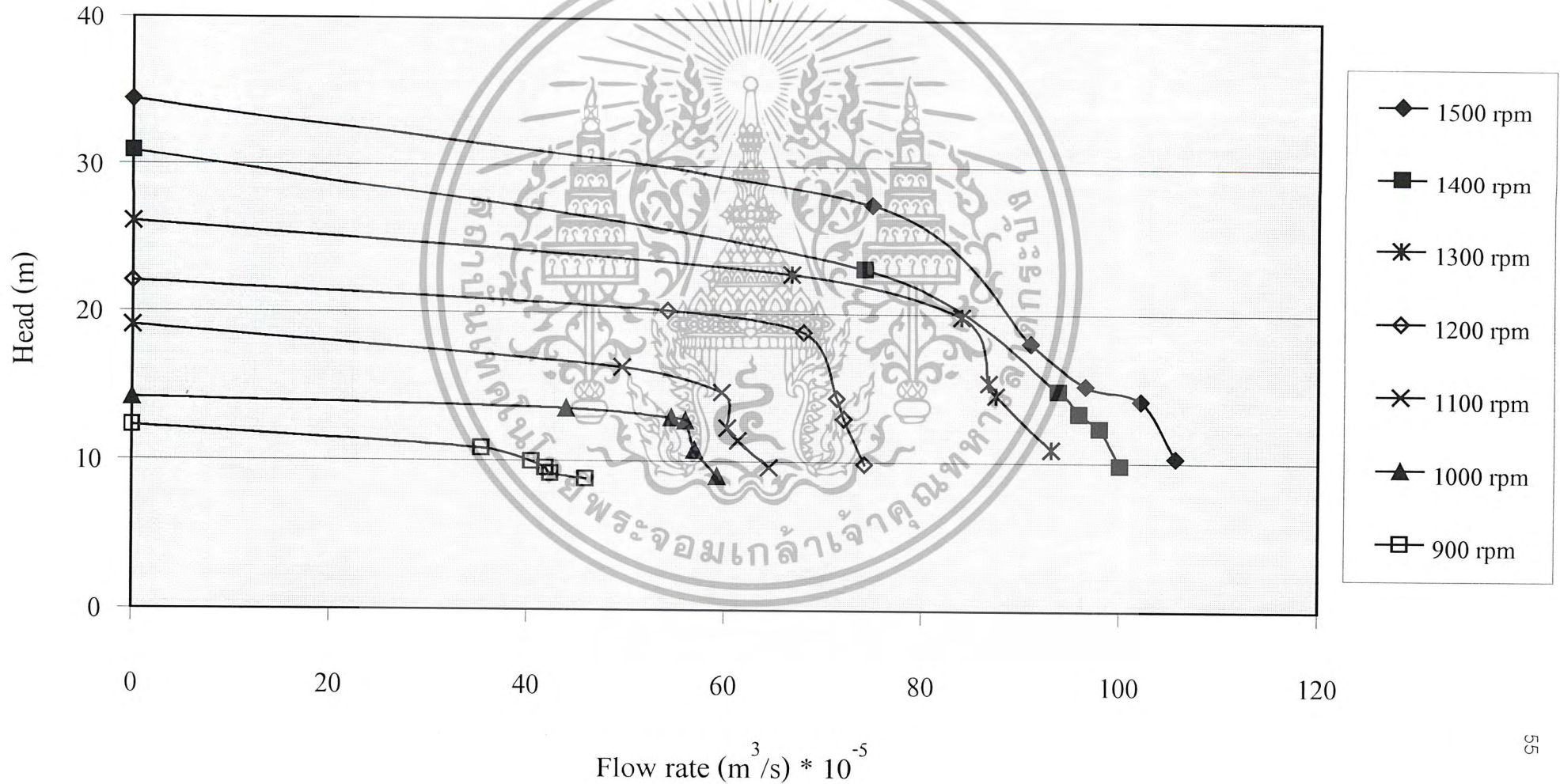
ตารางที่ 6.8 ข้อมูลจากการทดสอบปั๊มโดยใช้ระบบควบคุมอัตราการไหล

Test No.	N (rpm)	Flow rate		$H_s$ (cmHg)	$H_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$H_d - H_s$ (m)	$Z_d$ (m)	Total Head (m)	Input Power (KW)	Output Power (KW)	$\eta_p$ (%)
		Hz	m <sup>3</sup> /s (10 <sup>-5</sup> )								
1	1500	15.20	106.34	65	0.18	10.63	0.35	10.98	0.6617	0.1145	17.30
2	1476	14.80	103.54	64	0.55	14.20	0.35	14.55	0.6488	0.1478	22.78
3	1458	14.50	101.44	64	0.70	15.69	0.35	16.05	0.6326	0.1597	25.24
4	1404	13.90	97.24	62	1.15	19.92	0.35	20.27	0.5987	0.1934	32.30
5	1272	11.80	82.55	54	1.40	21.34	0.35	21.69	0.5108	0.1756	34.38
6	1154	9.72	68.00	53	1.60	23.20	0.35	23.55	0.4972	0.1571	31.60

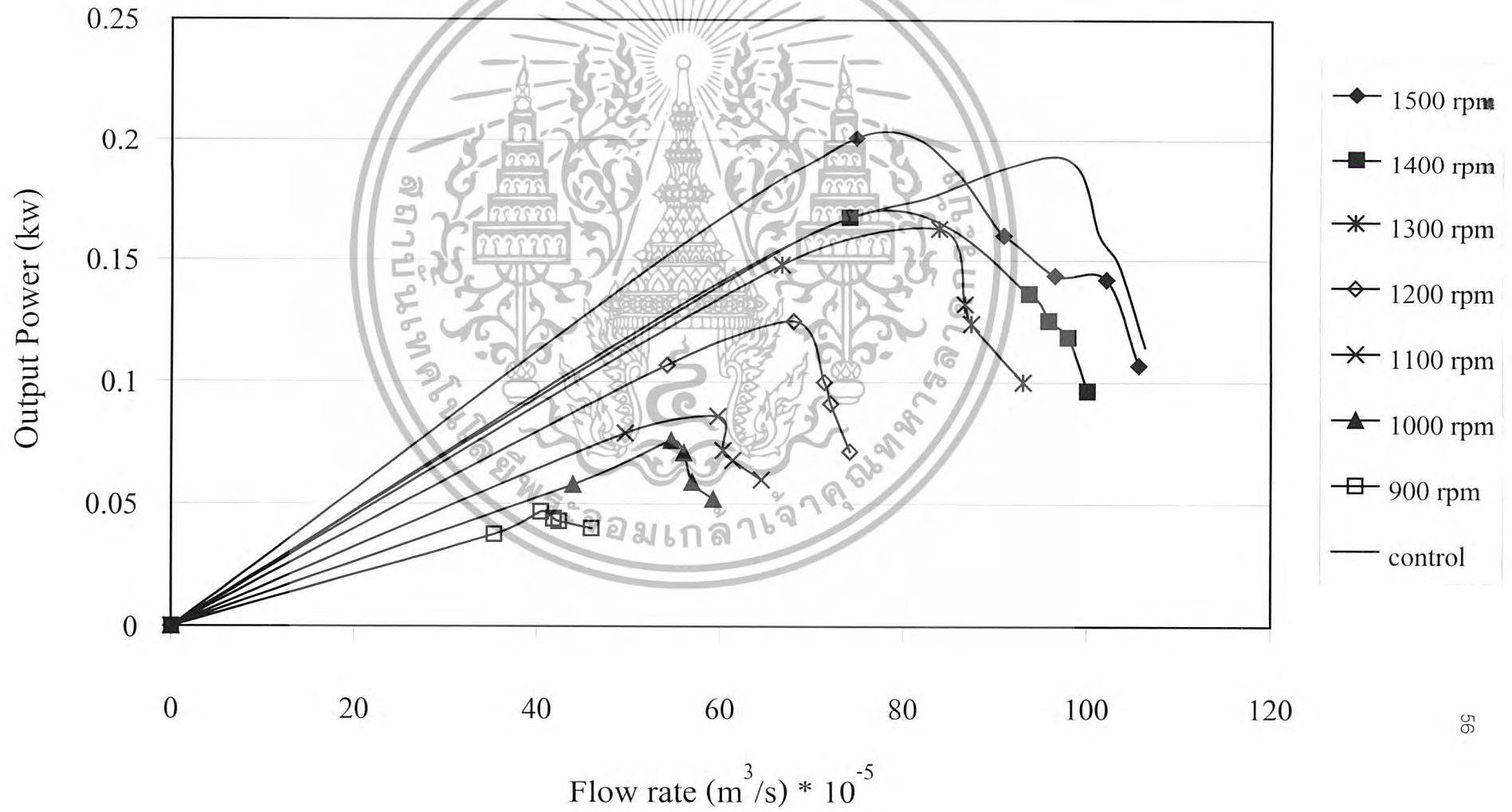
หมายเหตุ Test No. 1 คือเมื่อเปิดวาล์วเต็มที

Test No. 2-6 คือเมื่อหริ้วาล์วลงไปตามลำดับ

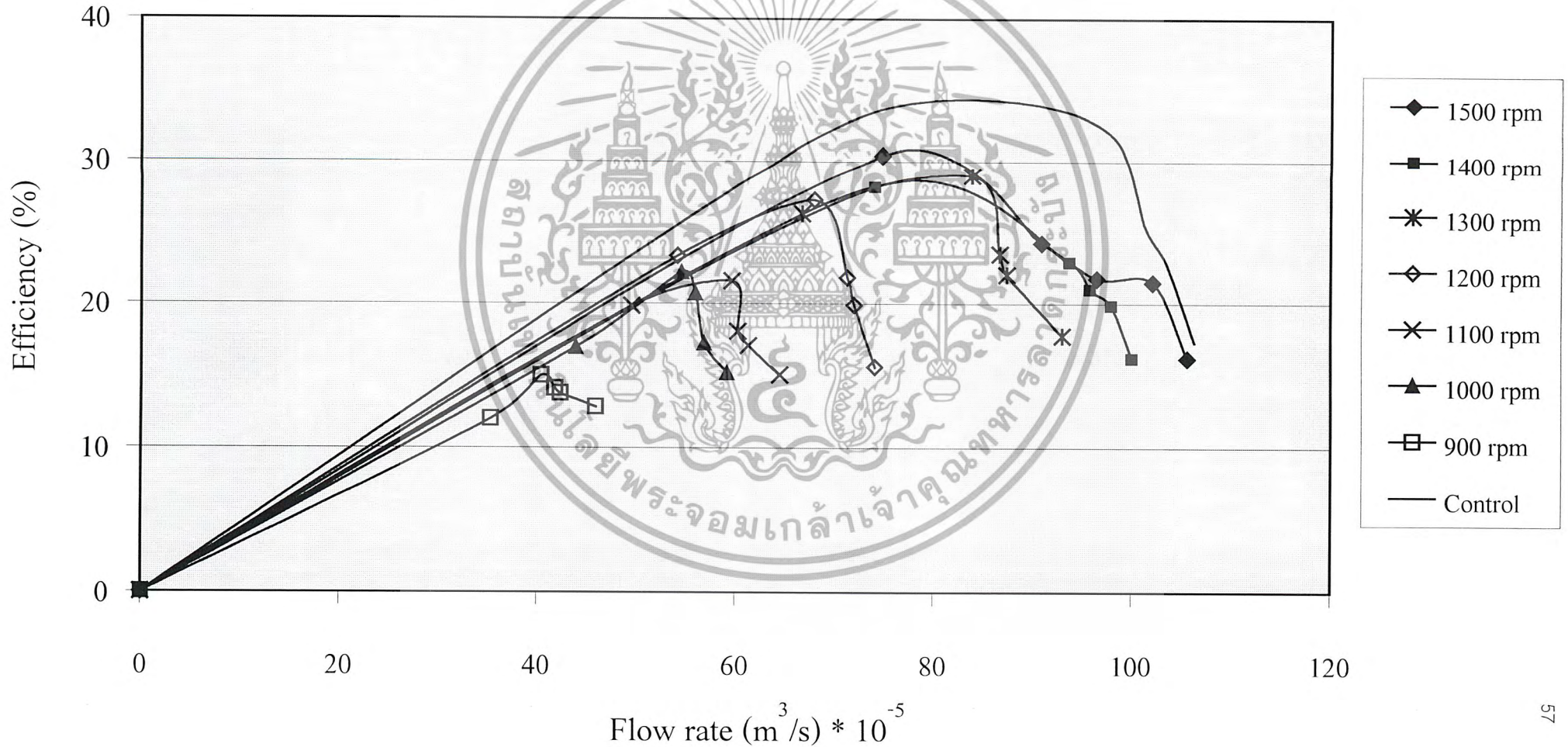
รูปที่ 6.3 H - Q Curve ของปั๊มห้องที่ความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับกำลังที่ได้จากปั๊ม

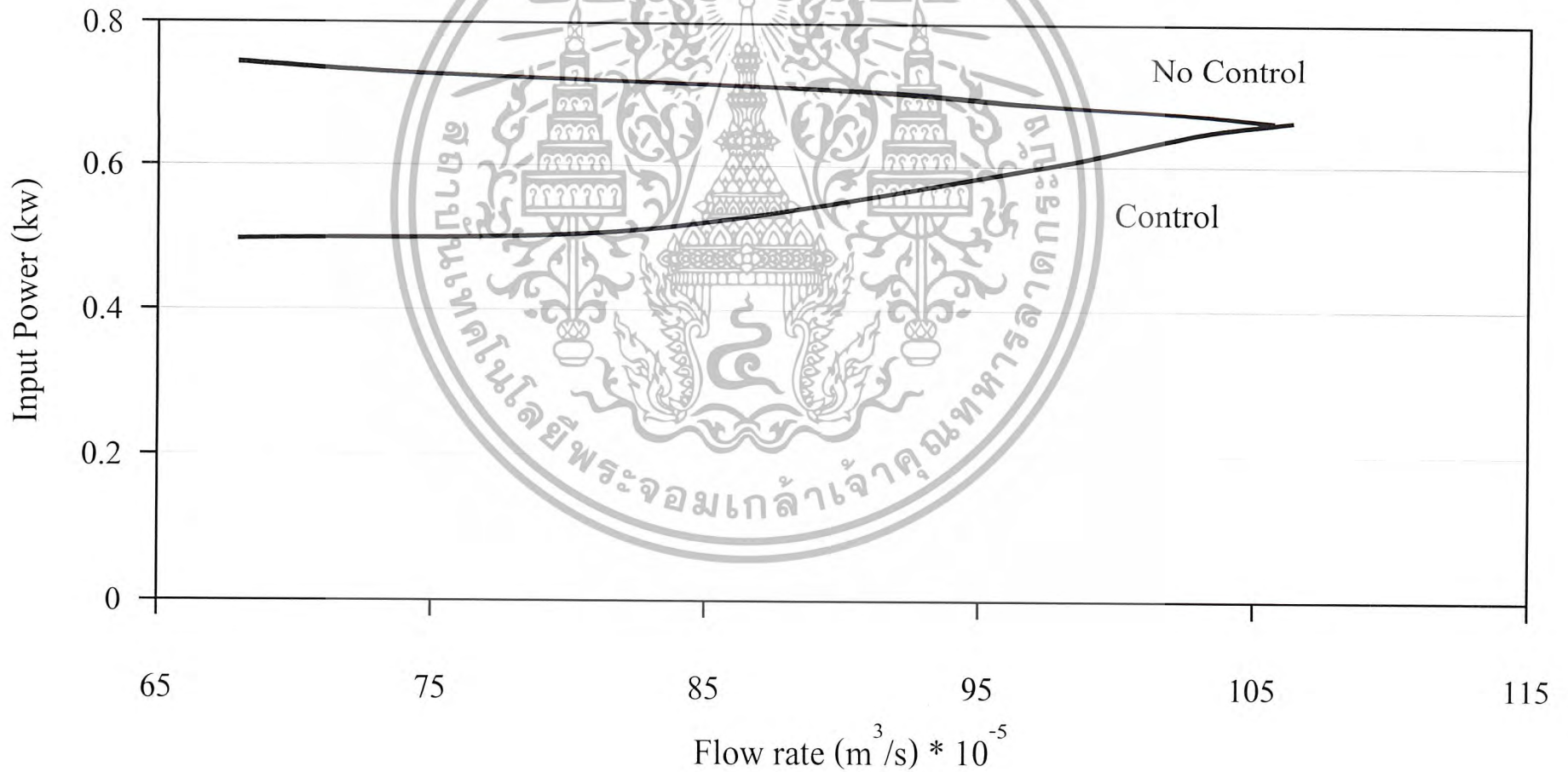


รูปที่ 6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับประสิทธิภาพปั๊ม



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างใช้ระบบควบคุม

ความเร็วรอบกับไม่ใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบ



## บทที่ 7

### สรุปผลและวิจารณ์

#### 7.1 สรุปผล

1. ปัมป์ที่ไม่มีการควบคุมความเร็ว มอเตอร์จะทำงานที่รอบคงที่ กำลังไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจาก เมื่อเราทำการปิดหรือวาล์ว ( อัตราการไหลลดลง) จะทำให้เกิดการอื่นภายในท่อ ซึ่งจะมีผลทำให้ T เพิ่มขึ้นเล็กน้อย มีผลทำให้ กำลังที่ต้องให้กับมอเตอร์มีค่ามากขึ้นด้วย ตามสมการที่ 1.1 และ 1.2

2. เมื่อทำการทดสอบสมรรถนะของปัมป์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H-Q จะเห็นว่าที่อัตราการไหลสูงค่า Head จะต่ำลง และเมื่อความเร็วรอบต่ำลงค่า Head และค่าอัตราการไหลก็จะลดลงตามไปด้วย

3. เมื่อปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหล (ติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แล้ว) ความเร็วรอบของปัมป์ก็จะลดลงส่งผลให้กำลังที่ใช้ปั๊ม ปัมป์ลดลง ในทางกลับกันถ้าปรับวาล์วเพิ่มขึ้นความเร็วรอบของปัมป์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยส่งผลให้กำลังที่ใช้ปั๊มเพิ่มขึ้น

#### 7.2 วิจารณ์การทดลอง

1. ความเร็วรอบที่บันทึกไว้ซึ่งอ่านจากอินเวอร์เตอร์อาจไม่ใช่ความเร็วรอบที่แท้จริงที่ถูกส่งไปให้กับใบพัดของปัมป์ ซึ่งถ้ามีการปรับปรุงใช้เครื่องวัดรอบที่จับการหมุนของแกนเพลาก็จะได้ค่าที่เที่ยงตรงขึ้น แต่เนื่องจากตัวโครงสร้างของปัมป์ที่ใช้เป็นลักษณะ Build-in กับมอเตอร์ จึงเป็นการลำบากถ้าจะใช้เครื่องมือวัดดังกล่าว

2. เราไม่สามารถหา input power ของปัมป์ได้โดยตรงจาก สมการ  $P = T\omega$  เพราะโครงสร้างของปัมป์ที่ใช้ เป็นลักษณะ Build-in กับมอเตอร์ ทำให้ต้องหา input power ของมอเตอร์แทน และนำไปคูณกับ ประสิทธิภาพของมอเตอร์ อีกครั้ง เพื่อให้เป็น input power ของปัมป์ ซึ่งค่า จะคลาดเคลื่อนไป

3. Flow meter ที่ใช้อัตราการไหลนั้น ค่าสัญญาณ Pulse ที่ส่งออกมาจะเป็นไปตามความเร็วของของไหลที่ไหลในท่อ แต่ถ้าหากความเร็วของของไหลไม่สม่ำเสมอตลอดหน้าตัด การหาค่าอัตราการไหลจะต้องหาค่าความเร็วเฉลี่ยออกมา ส่วนค่าที่ Flow meter วัดได้จะเป็นค่าความเร็วของไหลตรงจุดที่ไหลผ่านใบพัด ไม่ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัด แต่พื้นที่หน้าตัดท่อที่ใช้ในชุดทดลองนี้มีขนาดไม่ใหญ่มาก จึงไม่ค่อยมีผลนัก และสิ่งที่ควรระวังอีกประการหนึ่งคือความไม่ราบเรียบของกรวยไหล เพราะจะทำให้ค่าการวัดที่ได้มีความผิดพลาดไปมาก เราสามารถแก้ปัญหาตรงจุดนี้ได้ถ้าใช้ Flow meter ชนิด Variable area หรือชนิดอื่นที่สามารถวัดปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดของท่อโดยตรง ซึ่งจะมีค่าความถูกต้องแม่นยำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วงจรที่ใช้แปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า เป็นการแปลงแบบ Analog จึงทำให้มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างมาก และสัญญาณที่ได้ก็ไม่ราบเรียบเพียงพอ เกิดการแกว่งขึ้นลง จึงทำให้ความเร็วรอบมีค่าไม่คงที่

5. ที่ความเร็วรอบต่ำเกินไปจะทำให้ปั๊มไม่สามารถผลิตอัตราการไหลได้ตามต้องการ จึงมีผลกับสัญญาณที่ป้อนกลับไปควบคุมอินเวอร์เตอร์ ทำให้ความเร็วรอบที่อินเวอร์เตอร์ลดลงเรื่อย ๆ จนเป็นศูนย์ไม่สามารถควบคุมความเร็วรอบให้คงที่ไว้ได้

6. h-q curve จะเป็นไปตามทฤษฎี แต่กราฟที่ได้จะไม่เรียบเนื่องมาจากสัญญาณที่ได้รับจาก flow sensor ไม่นิ่ง ทำให้อัตราการไหลที่ได้คลาดเคลื่อนไป

7. ในการเริ่มต้นการทำงานของระบบแต่ละครั้ง ในสภาวะปกติที่ 1500 rpm ค่าอัตราการไหลที่ได้ จะไม่เท่ากันตลอด เนื่องจากปั๊มที่ใช้ คุณภาพไม่ดีพอ ซึ่งจะแก้ปัญหาได้โดยใช้ปั๊มที่มี คุณภาพดีมากกว่านี้ แต่ราคาก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. ฉัตรชัย มานะดี, โคลิจิ โอนิชิ, “คู่มือการใช้งานปั๊มชนิดทันทันต่อการกัดกร่อน”, ปี พ.ศ. 2542
2. วิบูลย์ บุญชูโรกุล, “ปั๊มและระบบสูบน้ำ”
3. EBARA Hatakeyama Memorial Fund, “Fundamentals of Pump Technology”, Doc.No.EHMF-7D230, 1997.
4. ผศ.จำลอง ปรามแก้ว, อ. มณฑล ใจกุศล, “เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง ปั๊ม ท่อ วาล์ว”
5. ชนบูรณ์ ศศิกานูเดช, “การออกแบบระบบไฟฟ้า”, ปี 2521
6. บัณฑิต บัวบุชา, “การคำนวณวงจรถานซิสเตอร์”
7. นภัทร วัฒนเทพินทร์, “ทฤษฎีและการออกแบบวงจร pulse”
8. แบบฝึกหัดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้