



เครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอย่างธรรมดา

A SIMPLE CENTRIFUGAL PUMP

โดย

นายไพโรจน์ ห่อสุวรรณชัย

นายภาสิน โกมลชัยศักดิ์

นายเมธา อินทริตัมภ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.มิ่ง โดกิจแสงทอง



เลขที่.....  
เลขทะเบียน..... 42356  
วัน, เดือน, ปี 17 พ.ค. 2545

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

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางธรรมดา

A Simple Centrifugal Pump

ผู้จัดทำ

- |                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| 1. นายไพโรจน์ ห่อสุวรรณชัย | รหัสประจำตัว 40010539 |
| 2. นายภาสิน โกมลชัยศักดิ์  | รหัสประจำตัว 40010564 |
| 3. นายเมธา อินทธีสัมพันธ์  | รหัสประจำตัว 40010606 |

  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผศ. มิ่ง โลกิจแสงทอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอย่างธรรมดา

นายไพโรจน์ ห่อสุวรรณชัย  
 นายภาสิน โคมลชัยศักดิ์  
 นายเมธา อินทรธัมภ์  
 ผศ. มิ่ง โลกิจแสงทอง อาจารย์ที่ปรึกษา  
 ปีการศึกษา 2543

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการคิดคำนวณและออกแบบหลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอย่างธรรมดา แล้วทำการทดลองเพื่อการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการวัดต่างๆ และทำการเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี เครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอย่างธรรมดามีลักษณะใบพัดเป็นรูปตัวที เพื่อให้มีการทำงานที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยาก ง่ายต่อการเข้าใจและพิสูจน์ทางทฤษฎี หรืออาจจะใช้ในการพัฒนาเป็นต้นแบบให้สามารถใช้งานจริงได้ในอนาคต โดยหลักการการทำงานของเครื่องพิจารณาจากทฤษฎีของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation), ความเร่งในแนวสัมผัส (Coriolis Acceleration), การกระจายความดัน (Pressure Distribution) เป็นพื้นฐานในการคำนวณ และรูปแบบการทำงานจะใช้ลักษณะการทำงานของเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทั่วไป เป็นพื้นฐานในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## A Simple Centrifugal Pump

Pairoj Hosuwanchai

Phasin Komonchaisak

Mayta Intathisan

Asst. Prof. Ming Lokitsangtong Advisor

### ABSTRACT

The purpose of this thesis is to present calculations and designs of a centrifugal pump. In order to study in parameter relationships and compare with the theoretical values. A T-tube blade, impeller of a simple centrifugal pump, is designed for using in laboratory. Since it has a simply work form and easily to conceivably. And it can applied for a prototype, which can work in the future. A simple centrifugal pump is based on the theory of Bernoulli's Equation, Coriolis Acceleration and Pressure Distribution. And design of work form is based on the general centrifugal pump.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์และโครงการนี้คงไม่สำเร็จลุล่วงได้ถ้าขาดหลายๆสิ่ง เช่น คำแนะนำทางวิชาการดีๆ จากอาจารย์ มิ่ง โลกิงแสงทอง ข้อเสนอแนะในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์จากพี่มณฑาและพี่โก้ กล้องดิจิตอลจากพี่รักเกียรติ กำลั้งใจและเสียงหัวเราะของเพื่อนๆ รวมทั้งอีกหลายๆ สิ่งที่ประกอบเป็นโครงการนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

และที่สำคัญที่สุดคือ พ่อแม่ และอาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้พวกเรา ถ้าไม่มีพวกท่านก็ไม่มีเราในวันนี้ เราจะไม่มีพระคุณของทุกท่านตลอดไป

ไพโรจน์ ห่อสุวรรณชัย  
ภาสิน โคมลชัยศักดิ์  
เมธา อินทรสิทธิ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและแนวคิดของ โครงการงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน	2
1.3 ขอบเขตของ โครงการงาน	2
1.4 วิธีดำเนินงาน	2
บทที่ 2 รูปแบบของเครื่องสูบน้ำทั่วไป	4
2.1 นิยามของเครื่องสูบน้ำ	4
2.2 การจำแนกประเภทของเครื่องสูบน้ำ	4
2.2.1 เครื่องสูบน้ำแบบของไหลไหลต่อเนื่อง(Dynamic Pump)	4
2.2.2 เครื่องสูบน้ำแบบส่งของไหลทีละก้อน(Positive Displacement Pump)	4
2.3 การทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	6
2.3.1 แบบหอยโข่ง(Volute Pump)	6
2.3.2 แบบมีครีบริบผันน้ำ(Diffuser Type)	7
2.3.3 แบบเทอร์ไบน์(Turbine Type)	7
2.3.4 แบบเทอร์ไบน์แนวตั้ง(Vertical Turbine)	8
2.3.5 แบบเหวี่ยงแนวผสม(Mixed Flow)	9
2.3.6 แบบเหวี่ยงแนวแกน(Axial Flow)	10
2.4 ลักษณะใบพัดของเครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	10
2.5 ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบโรตารี	12
2.5.1 เครื่องสูบน้ำโรตารีแบบเฟือง(Gear Pump)	12
2.5.2 เครื่องสูบน้ำโรตารีแบบครีบริบ(Vane Pump)	12
2.5.3 เครื่องสูบน้ำโรตารีแบบลอน(Lobe Pump)	12
2.5.4 เครื่องสูบน้ำโรตารีแบบสว่าน(Screw Pump)	13
2.6 ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก	14
2.6.1 แบบขับเคลื่อนโดยตรง(Direct-Acting)	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 แบบไดอะแฟรม(Diaphragm Pump)	15
2.6.3 แบบโรตารีพิสตัน(Rotary-Piston)	15
2.7 เครื่องสูบลชนิดนอกแบบ(Special)	16
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องสูบลใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	17
3.1 สมการแบร์นูลลี(Bernoulli's equation)	17
3.2 ความเร่งโคริโอลิส(Coriolis Acceleration)	18
3.3 การกระจายแรงดันภายในใบพัด(Pressure Distribution)	20
3.4 โมเมนตัมของโมเมนตัม(Moment of Momentum)	22
3.4.1 การวิเคราะห์แบบปริมาตรควบคุมอยู่กับที่(Fixed Control volume)	22
3.4.2 การวิเคราะห์แบบปริมาตรควบคุมหมุน(Rotate control volume)	23
3.5 หัวความดันรวม(Total Head)	24
3.6 ความคล้ายคลึงกันของกันของใบพัด	25
3.7 ความเร็วจำเพาะ(Specific Speed)	27
3.8 เส้นโค้งแสดงคุณสมบัติ(Characteristic Curve)	28
3.9 ผลกระทบของความเร็วจำเพาะต่อลักษณะการทำงานของเครื่องสูบล	31
บทที่ 4 การออกแบบชุดอุปกรณ์การทดลอง	33
4.1 การแตกต่างความดัน	33
4.2 ความเร่งในแนวสัมผัสของของไหล	34
4.3 การกระจายความดันภายในใบพัด	35
4.4 หลักการพิจารณาออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์การทดลอง	39
บทที่ 5 การสร้างชุดการทดลองและเครื่องมือวัด	41
บทที่ 6 การทดลอง, ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล	46
6.1 วิธีการทดลอง	46
6.2 ผลการทดลอง	47
6.2.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาผลการทดลอง	48
6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	65
6.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเฮดกับอัตราการไหล	65
6.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหล	68
6.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราการไหล	71
6.3.4 ความเร็วจำเพาะ	73
บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	75
7.1 สรุปการดำเนินการ	75
7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินโครงการ	75
ภาคผนวก	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 4-1 ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆเมื่อรัศมีแกนของท่อเปลี่ยนไป	38
ตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆเมื่อความสูงของท่อเปลี่ยนไป	38
ตารางที่ 4-3 ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆเมื่อพื้นที่หน้าตัดของท่อเปลี่ยนไป	39
ตารางที่ 4-4 ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆเมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนไป	39
ตารางที่ 6-1 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวก้านท่อ 9 เซนติเมตร	49
ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวก้านท่อ 11 เซนติเมตร	53
ตารางที่ 6-3 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวก้านท่อ 13 เซนติเมตร	59



## สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 1-1 การทำงานของเครื่องฉีดน้ำชนิดหมุน(Springkler)	1
รูปที่ 2-1 การจำแนกประเภทของเครื่องสูบลตามลักษณะการไหลของของเหลวในเครื่องสูบล	5
รูปที่ 2-2 ทิศทางการไหลของของเหลวขณะผ่านออกจากใบพัด(Impeller)ของเครื่องสูบล ใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	6
รูปที่ 2-3 เครื่องสูบลใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบหอยโข่ง(Volute)	7
รูปที่ 2-4 เครื่องสูบลใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบมีกรวยคั่นน้ำ(Diffuser Type)	7
รูปที่ 2-5 เครื่องสูบลใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบเทอร์ไบน์(Turbine)	8
รูปที่ 2-6 เครื่องสูบลแบบเทอร์ไบน์แนวตั้ง(Vertical Turbine)	9
รูปที่ 2-7 ทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด	9
รูปที่ 2-8 ลักษณะใบพัดของเครื่องสูบลแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	11
รูปที่ 2-9 เครื่องสูบลโรตารีแบบเฟือง(Gear Pump)	12
รูปที่ 2-10 เครื่องสูบลโรตารีแบบครีป(Vane Pump)	13
รูปที่ 2-11 เครื่องสูบลแบบลอน(Lobe Pump)	13
รูปที่ 2-12 เครื่องสูบลโรตารีแบบสว่าน(Screw Pump)	13
รูปที่ 2-13 เครื่องสูบลแบบลูกสูบชักแบบอัด 2 จังหวะ (Double Acting)	14
รูปที่ 2-14 เครื่องสูบลแบบไดอะแฟรม	15
รูปที่ 2-15 เครื่องสูบลแบบโรตารีพิสตัน (Rotary-Piston)	15
รูปที่ 3-1 พลังงานของไหลที่ถูกสูบล	17
รูปที่ 3-2 การเคลื่อนที่ของจุด A และ B บนระนาบ x-y	18
รูปที่ 3-3 ระนาบ x-y ที่หมุนไปเป็นมุม $d\theta$	18
รูปที่ 3-4 เวกเตอร์ 1 หน่วยบนระนาบ x-y-z	19
รูปที่ 3-5 ความแตกต่างของเฮดความดัน (Head)	20
รูปที่ 3-6 ปริมาตรควบคุมของสปริงเกิ้ล (Sprinkler)	22
รูปที่ 3-7 เสดรวมของเครื่องสูบลใช้แรงเหวี่ยงแบบเพลาอน	24
รูปที่ 3-8 เสดรวมของเครื่องสูบลที่มีเพลาอยู่ในแนวตั้ง	25
รูปที่ 3-9 ใบพัดคั่นแบบ และ ใบพัดที่จำลองให้มีความคล้ายคลึงกันทางเรขาคณิต	26
รูปที่ 3-10 ลักษณะรูปตัดของใบพัดซึ่งมีความเร็วจำเพาะขนาดต่างๆ	28
รูปที่ 3-11 เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของเครื่องสูบลน้ำ	29
รูปที่ 3-12 การสูบลที่อัตราการสูบลสูงกว่าที่ออกแบบ	29
รูปที่ 3-13 การสูบลที่อัตราการสูบลต่ำกว่าที่ออกแบบ	30
รูปที่ 3-14 ลักษณะการทำงานของเครื่องสูบลที่มีความเร็วจำเพาะขนาดต่างกัน	32
รูปที่ 4-1 ปริมาตรควบคุม และทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหล	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-2 การเคลื่อนที่ของของไหลขณะที่ใบพัดข้างหนึ่งกำลังหมุน	34
รูปที่ 4-3 ปริมาตรของของไหลขึ้นเล็กๆ ภายในท่อที่มีขนาดหน้าตัดเท่ากัน	35
รูปที่ 4-4 การกระจายของแรงบนใบพัดเมื่อมองจากด้านบน	35
รูปที่ 4-5 การกระจายความดันของของไหลในแนวภาพตัดขวาง	35
รูปที่ 4-6 ทิศทางความเร็วของของไหล	36
รูปที่ 4-7 แบบจำลองชุดอุปกรณ์การทดลอง	37
รูปที่ 5-1 ท่อใบพัดรูปตัวที่พร้อมพูลเลย์	41
รูปที่ 5-2 กล้องพลาสติกกรองรับน้ำที่สูบขึ้นมา	42
รูปที่ 5-3 ถังเก็บน้ำ (Reservoir)	42
รูปที่ 5-4 อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า (Variat)	42
รูปที่ 5-5 ชุดอุปกรณ์การทดลอง	43
รูปที่ 5-6 ชุดอุปกรณ์วัดค่าแรงบิด (Prony Brake)	43
รูปที่ 5-7 เครื่องมือวัดค่าความเร็วรอบ (Tachometer) , มัลติมิเตอร์ (Multimeter) และ โวลท์-โอห์มมิเตอร์ (Volt-Ohm Meter)	45
รูปที่ 6-1 ใบพัดต่อรูปตัวที่ขณะที่ชุดอุปกรณ์ทำงาน	47
รูปที่ 6-2 น้ำถูกสูบขึ้นจากถังเก็บน้ำยังกล้องพลาสติก	47
รูปที่ 6-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฮดกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมี รัศมีก้านท่อ 9 เซนติเมตร	65
รูปที่ 6-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฮดกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมี รัศมีก้านท่อ 11 เซนติเมตร	66
รูปที่ 6-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฮดกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมี รัศมีก้านท่อ 13 เซนติเมตร	66
รูปที่ 6-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฮดกับอัตราการไหล ของเครื่องสูบลมเหวี่ยง โดยทั่วไป	67
รูปที่ 6-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 9 เซนติเมตร	68
รูปที่ 6-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 11 เซนติเมตร	69
รูปที่ 6-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 13 เซนติเมตร	69
รูปที่ 6-10 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังงานที่ของไหลกับอัตราการไหล ของเครื่องสูบลมเหวี่ยง โดยทั่วไป	70
รูปที่ 6-11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพรวมกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 9 เซนติเมตร	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพรวมกับอัตราการใช้ไฟ ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 11 เซนติเมตร	72
รูปที่ 6-13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพรวมกับอัตราการใช้ไฟ ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 13 เซนติเมตร	72
รูปที่ 6-14 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพกับอัตราการใช้ไฟ ของเครื่องสูบลมเหวี่ยง โดยทั่วไป	73



# บทที่ 1

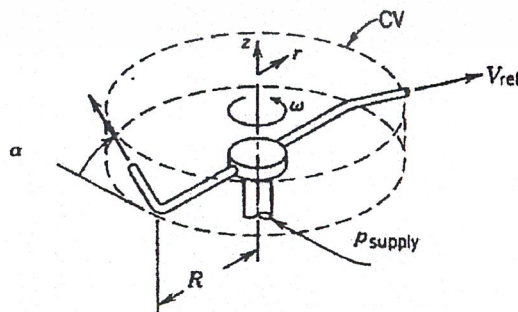
## บทนำ

### 1.1 ที่มาและแนวความคิดของโครงการ

เครื่องสูบลม(Pump) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อกิจกรรมต่างๆตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นการใช้ในงานเกษตรกรรมเพื่อสูบน้ำใช้รดพืชผลทางการเกษตร งานอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆในโรงงาน หรือแม้กระทั่งใช้เพื่อการดำรงชีวิตประจำวันในการส่งผ่านน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ลักษณะในการนำไปเครื่องสูบน้ำไปใช้อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ การนำไปใช้เพื่อเป็นการส่งผ่านกำลังงาน เช่น เครื่องสูบลมในงานไฮดรอลิก (Hydraulic) และการนำไปใช้เพื่อการส่งผ่านของไหล เช่น เครื่องสูบลมในอาคารบ้านเรือน

จากประโยชน์ที่ได้รับจากเครื่องสูบลมทำให้เราจำเป็นต้องทำการศึกษาให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ว่าการทำงานของเครื่องสูบลมมีหลักการทำงานอย่างไร แต่ในปัจจุบันอุปกรณ์การศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องสูบลมยังต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง ทำให้บางครั้งการเรียนการสอนเกี่ยวกับเครื่องสูบลมต้องเป็นไปอย่างขาดแคลนเครื่องมือ โครงการนี้จึงเป็นการออกแบบเครื่องสูบลมเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบการศึกษาในหลักสูตรทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในระดับราคาที่ต่ำลง และให้สามารถเข้าใจเกี่ยวกับหลักการของเครื่องสูบลมได้ง่ายและเห็นภาพพจน์มากยิ่งขึ้น สามารถใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบการทดลองในห้องทดลอง (Laboratory) ได้ อีกทั้งยังศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำไปปรับปรุงเพื่อใช้ในอนาคต

ในการทำโครงการนี้ได้ศึกษาถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเร่งคอริโอลิส (Coriolis Acceleration) ของของไหลที่เกิดการเหวี่ยงในใบพัด(Blade) การกระจายความดันในใบพัด สมการการอนุรักษ์พลังงาน สมการของเบอร์นูลลี (Bernulli's Equation) เป็นต้น โดยทำการออกแบบเป็นเครื่องสูบลมชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง(Centrifugal Pump) แต่มีความแตกต่างกันบ้างในบางจุด คือ โดยทั่วไปส่วนที่ใช้ในการเหวี่ยงของไหลจะมีลักษณะเป็นใบพัด ส่วนในโครงการนี้จะเป็นการออกแบบส่วนที่ใช้ในการเหวี่ยงของไหลเป็นท่อที่เชื่อมไว้ที่ลักษณะคล้ายตัวที (T) ลักษณะของการดูจะเป็นการดูจากทางด้านล่างของแนวตั้งของตัวที ขึ้นมายังแขนทั้งสองข้าง แล้วเหวี่ยงออกไปทั้งสองด้าน



รูปที่ 1-1 การทำงานของ เครื่องฉีดน้ำชนิดหมุน (Sprinkler)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวคิดอีกประการของแนวความคิดในการสร้างเครื่องสูบน้ำที่ในใบพัด เป็นทอรูปตัวที คือเมื่อสังเกตการทำงานของ เครื่องฉีดน้ำในสนามหญ้าแบบหมุนด้วยแรงน้ำ(Sprinkler) ดังรูปที่ 1-1 การหมุนตัวของ เครื่องฉีดจะเป็นไปตามทฤษฎีโมเมนตัมของโมเมนตัม (Moment of Momentum) ดังนั้นถ้าเกิดการดำเนินงาน กลับกันคือเราทำการหมุนหัวฉีดน้ำ(หรือในโครงการก็คือทอตัวที) ด้วยความเร็ว ก็น่าจะสามารรถทำการดูดน้ำ ขึ้นการได้เช่นกัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อทำการศึกษาออกแบบ และทำการสร้าง เครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง(Centrifugal Pump) โดยการใช้ท่อที่เชื่อมเป็นรูปตัวที (T) เป็นส่วนสำหรับเหวี่ยงของไหลออกจากศูนย์กลางการดูด
- เพื่อทำการทดลอง เก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆที่ได้จากการทดลอง นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี และเปรียบเทียบกับเครื่องสูบน้ำชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่จำหน่ายอยู่ทั่วไป
- ทำการศึกษาถึงแนวทางการเป็นไปได้ในการใช้งานในอนาคต การนำไปประยุกต์ใช้กับกิจกรรมต่างๆ เช่นการใช้กับงานสูบน้ำบาดาล การใช้พลังงานชนิดอื่น(นอกจากพลังงานไฟฟ้า) มาเป็นพลังงานต้นกำลังของเครื่องสูบน้ำชนิดนี้

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้จะเป็นการออกแบบเพื่อสร้างเครื่องสูบน้ำเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์การทดลอง ในรูปแบบที่ถูกกำหนดไว้แล้วว่าจะมีลักษณะของส่วนที่ใช้เหวี่ยงของไหลเป็นทอ โดยการออกแบบจะเป็นการออกแบบเพื่อให้ง่ายต่อการทดลอง และง่ายต่อการสังเกตวิธีการทำงานของชุดการทดลอง

ทำการจัดสร้างชุดการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ รวมทั้งทำการทดลองและคำนวณ หาค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีความจำเป็นต่อการเลือกใช้เครื่องสูบน้ำ เช่น การหาค่าความสัมพันธ์ของเฮด (Head) ที่ได้เทียบกับอัตราการไหล เป็นต้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องสูบน้ำที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ทั้งในแง่ประสิทธิภาพ และความเป็นไปได้ในการนำไปใช้

และเนื่องจากโครงการนี้เป็นารออกแบบและสร้างเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการทดลอง ดังนั้นจึงอาจจะมีข้อจำกัดในการทดลองบ้างเช่น การทดลองที่ความเร็วรอบการทอที่มีจำกัดไม่สามารถทำได้ที่ความเร็วสูง การเชื่อมต่อให้ได้ขนาดตามต้องการ เป็นต้น

## 1.4 วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ซึ่งจะประกอบไปด้วยเนื้อหาของ การจัดแบ่งประเภทเครื่องสูบน้ำ, ความเร่งคอริโอลิส (Coriolis Acceleration), สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation), ความเร็วจำเพาะ (Specific Speed), เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยง ซึ่งมีรายละเอียดแสดงอยู่ในบทที่ 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบชุดการทดลอง เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการสร้าง โดยนำทฤษฎีที่ได้ศึกษามาทำการประยุกต์คำนวณให้ได้ค่าตามต้องการ รายละเอียดนี้จะแสดงอยู่ในบทที่ 4

การดำเนินการทดลอง ลักษณะวิธีการวัดการเก็บการข้อมูลดิบในการทดลอง และการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ จะนำเสนออยู่ในบทที่ 5, 6

ในระหว่างการดำเนินโครงการนี้ ผู้จัดทำโครงการได้พบปัญหาและข้อจำกัดในการทดลองบ้างบางประการ จึงทำการรวบรวมปัญหาต่างๆ เหล่านี้รวมวิธีในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ไว้ในบทที่ 7 และในบทนี้ยังได้นำเสนอแนวความคิดที่จะปรับปรุง พัฒนาให้โครงการนี้มีความเป็นไปมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# รูปแบบของเครื่องสูบน้ำทั่วไป

### 2.1 นิยามของเครื่องสูบน้ำ

ปั๊ม หรือ เครื่องสูบน้ำ คือ เครื่องมือกลที่ทำหน้าที่ถ่ายโอนพลังงานกลจากเครื่องต้นกำลังที่ใช้ขับให้แก่งของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามต้องการ การใช้งานทั่วไปได้แก่ การลำเลียงของเหลวผ่านท่อ

- ก. จากบริเวณที่มีระดับต่ำไปสู่บริเวณที่มีระดับสูงกว่า
- ข. จากบริเวณที่มีความดันต่ำไปยังบริเวณที่มีความดันสูงกว่า
- ค. ที่มีระยะทางไกลๆ

### 2.2 การจำแนกประเภทของเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำสามารถจำแนกประเภทได้หลายวิธี เช่น ตามลักษณะการใช้งาน (เช่น Suction System, Flood Suction System, Siphon System) หรือตามชนิดของตัวขับ (ขับด้วยมือ, ขับด้วยเครื่องยนต์ ฯลฯ) หรือตามลักษณะรูปร่าง (เพลาอนอน, เรือนผ่า, เพลาตั้ง) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัด ข้อแตกต่างและมีการเหลื่อมล้ำกัน การจำแนกประเภทที่วัดกุม ปราศจากอิทธิพลภายนอก และได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน คือ การจำแนกประเภท โดยพิจารณาหลักการเพิ่มพลังงานแก่งของเหลว โดยวิธีนี้ สูบน้ำจะแยกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

#### 2.2.1 เครื่องสูบน้ำแบบของไหลไหลต่อเนื่อง (Dynamic Pump)

เป็นเครื่องสูบน้ำที่เพิ่มพลังงานให้แก่งของเหลว โดยการเพิ่มความเร็วให้แก่งของเหลวก่อน แล้วหลังจากนั้นจะลดความเร็วของของเหลวลงเพื่อเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานศักย์ หรือพลังงานความดันที่ปากท่อส่ง

#### 2.2.2 เครื่องสูบน้ำแบบส่งของไหลทีละก้อน (Positive Displacement Pump)

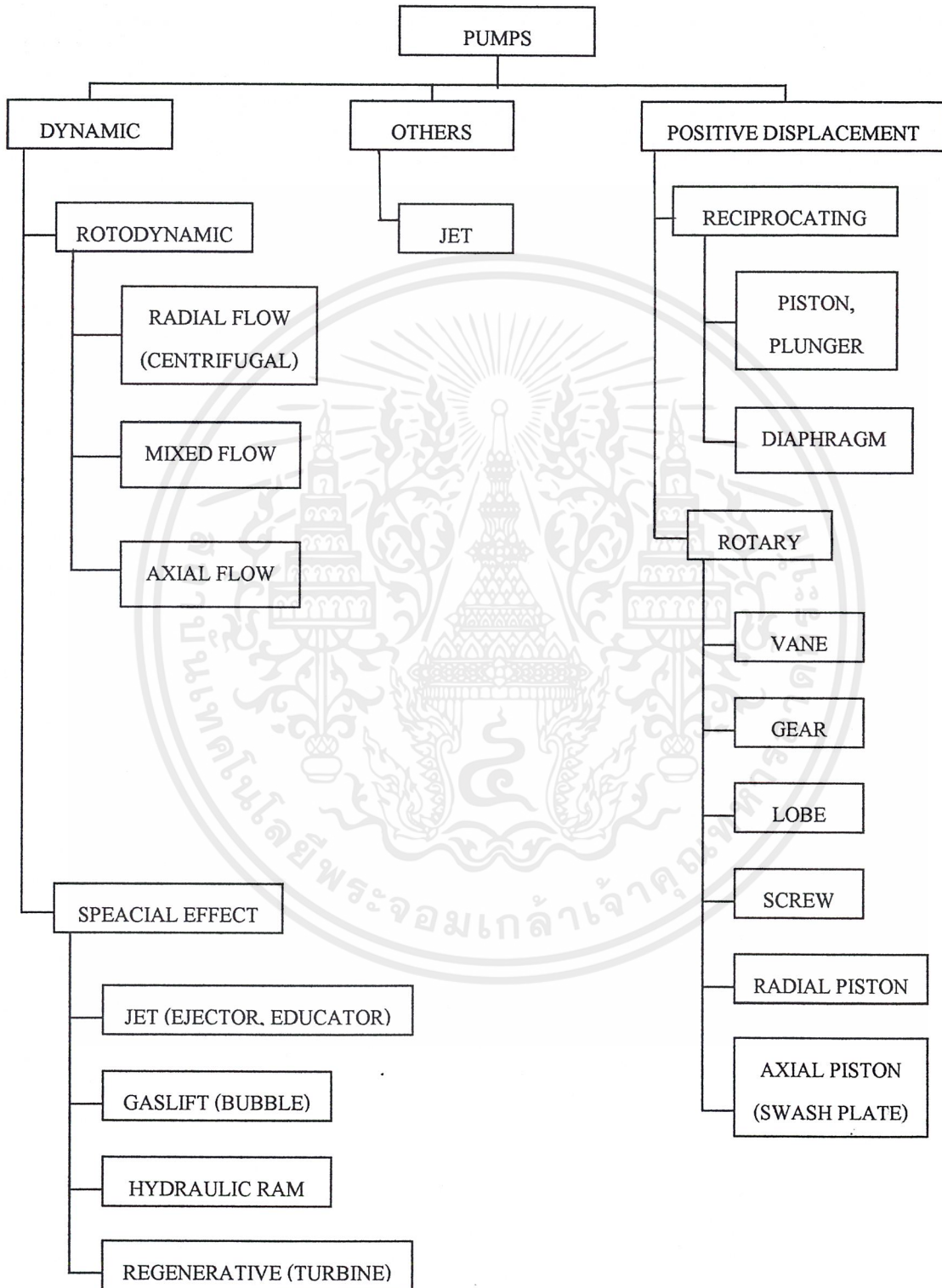
เป็นสูบน้ำที่เพิ่มพลังงานให้แก่งของเหลวโดยใช้ชิ้นส่วนเคลื่อนที่ อัดหรือดันของเหลวภายในปริมาตรปิดให้มีความดันสูงขึ้นพอที่จะไหลผ่านลิ้นหรือช่อง (Port) ออกไปสู่ท่อส่งได้โดยตรง

จาก 2 ประเภทใหญ่นี้สูบน้ำยังถูกแยกประเภทย่อยลงไปได้อีกคือแบ่งตามการไหลของของเหลวในเครื่องสูบน้ำ ซึ่งได้แก่

- ก. ประเภทใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal) เพิ่มพลังงานให้แก่งของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เครื่องสูบน้ำประเภทนี้บางครั้งเรียกว่าประเภท Roto-dynamic
- ข. ประเภทโรตารี (Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเพื่อรอบแกนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค. ประเภทลูกสูบชัก (Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ
- ง. นอกแบบ (Special) ซึ่งเป็นเครื่องสูบที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้



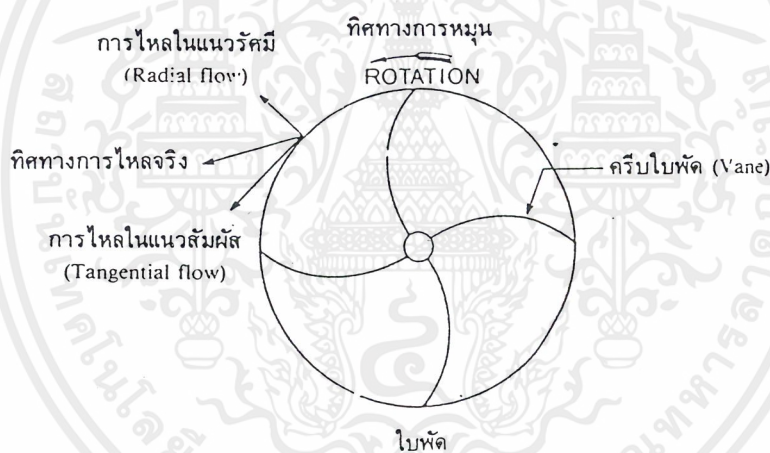
รูปที่ 2-1 การจำแนกประเภทเครื่องสูบตามลักษณะการไหลของของเหลวในเครื่องสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การทำงานของเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

เครื่องสูบน้ำแบบนี้ทำงานโดยอาศัยการหมุนของใบพัดหรืออิมเพลเตอร์ (Impeller) ที่ได้รับการถ่ายทอดกำลังจากเครื่องยนต์ดีเซลหรือมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อใบพัดหมุนพลังงานจากเครื่องยนต์ก็จะถูกถ่ายเทโดยการผลัดกันของครีบบใบพัด (Vane) ต่อของเหลวที่อยู่รอบๆ ทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง (Tangential flow) เมื่อมีการไหลในลักษณะดังกล่าวก็จะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) และเป็นผลให้มีการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทาง (Radial flow) ดังนั้นของเหลวที่ถูกใบพัดผลัดกันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เป็นผลรวมของแนวทั้งสอง

โดยหลักกลศาสตร์ เมื่อของเหลวถูกหมุนให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง ความกดดันของของเหลวจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของใบพัดมากขึ้น เมื่อความเร็วของใบพัดซึ่งหมุนอยู่ในภาวะปิดมากพอ ความกดดันที่จุดศูนย์กลางก็จะต่ำกว่าความกดดันของบรรยากาศ ดังนั้นเครื่องสูบน้ำอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่แท้จริงจึงมีทางให้ของเหลวไหลเข้าหรือทางดูด (Suction Opening) อยู่ที่ศูนย์กลางใบพัด

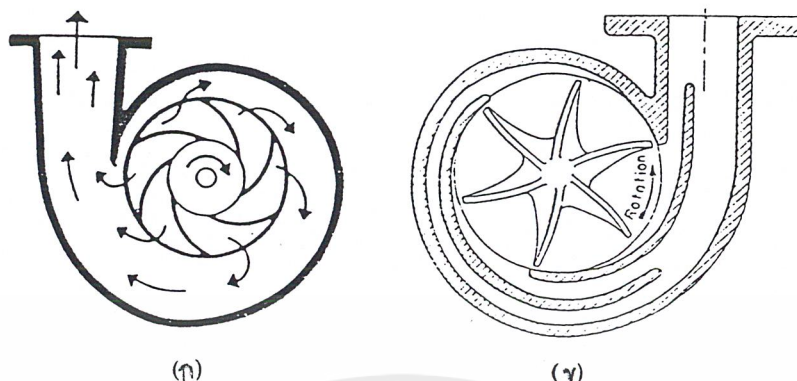


รูปที่ 2-2 ทิศทางการไหลของของเหลวขณะผ่านออกจากใบพัด (Impeller) ของเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

## แบบต่างๆของเครื่องสูบน้ำประเภทใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

### 2.3.1 แบบหอยโข่ง (Volute Type)

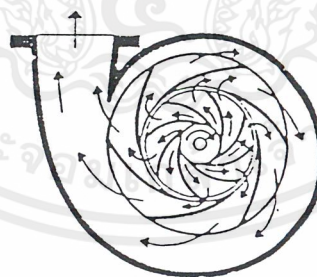
เป็นแบบพื้นฐานของเครื่องสูบน้ำประเภทนี้ กล่าวคือเป็นแบบที่ของเหลวที่ไหลเข้ามาสู่ศูนย์กลางของใบพัดมีทิศทางการไหลตามแนวเส้นรอบวงของเพลา แล้วไหลออกทำมุม 90 องศา กับทิศทางที่ไหลเข้า ช่องทางเดินของของเหลวจากลิ้นของเรือนเครื่องสูบน้ำมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวงในทิศทางการหมุนของใบพัด บางแบบมีการเพิ่มช่องทางเดินให้มากขึ้น การดัดแปลงดังกล่าวนี้จะช่วยให้แรงกดบนเพลาของเครื่องสูบน้ำมีความสมดุลยิ่งขึ้น



รูปที่ 2-3 เครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบหอยโข่ง (Volute) ที่เรือนเครื่องสูบน้ำ  
ช่องทางเดินของของเหลวเพียงช่องเดียว (ก.) และสองช่อง (ข.)

### 2.3.2 แบบมีครีบริบผันน้ำ (Diffuser Type)

เครื่องสูบน้ำแบบนี้มีลักษณะของใบพัดและรูปร่างภายนอกของเรือนเครื่องสูบน้ำ (Casing) เหมือนกับแบบแรกทุกประการ เพียงแต่ภายในจะมีครีบริบผันน้ำ (Guide Vanes) เพิ่มขึ้นมา ครีบริบดังกล่าวซึ่งติดอยู่กับเรือนเครื่องสูบน้ำจะช่วยให้ของเหลวที่ถูกผลักดันออกมาค่อยๆ เบนทิศทางไปสู่ช่องทางเดินซึ่งเป็นส่วนโค้งได้ดีขึ้น ทำให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลง และเป็นผลให้การเปลี่ยนพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) มาเป็นพลังงานศักย์ในรูปของความดัน (Pressure Head) มีประสิทธิภาพดีขึ้น



รูปที่ 2-4 เครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบมีครีบริบผันน้ำ (Diffuser Type) ซึ่งมี  
ครีบริบช่วยเปลี่ยนทิศทางการไหลของของเหลวในห้องสูบน้ำเสมอดีขึ้น

### 2.3.3 แบบเทอร์ไบน์ (Turbine Type)

เครื่องสูบน้ำแบบนี้บางครั้งเรียกว่าแบบ เวอร์เทค (Vortex), เพอร์ริฟี (Periphery) หรือ รีเจนเนอเรทีฟ เทอร์ไบน์ (Regenerative Turbine) ลักษณะพิเศษของมัน คือ ใบพัดจะเป็นแผ่นแบนกลมมีความหนา ครีบริบของใบพัดเกิดจากการเซาะร่องบนขอบของแผ่นใบพัด ทำให้เกิดเป็นแผ่นครีบริบแคบๆ และสั้นในแนวรัศมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Radial Direction) ขณะของเหลวไหลเข้ามาจากทางศูนย์กลางระหว่างครีบริบของใบพัดมันจะถูกเหวี่ยงออกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง แต่เนื่องจากผนังของเรือนเครื่องสูบลิดกั้นอยู่ ของเหลวดังกล่าวก็จะวิ่งย้อนกลับเข้ามาสู่ช่องว่างระหว่างใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปอีก ขบวนการดังกล่าว จะซ้ำกันอยู่เช่นนี้จนกว่าจะถึงช่องทางจ่าย (Discharge Opening) พลังงานที่ของเหลวได้รับจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่ของเหลววิ่งเข้ามาสู่ช่องว่างระหว่างครีบริบของใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปซึ่งมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 50 ครั้ง ถ้าจำนวนครั้งมาพลังงานศักย์ของของเหลวก็จะมากตามขึ้นไปด้วย

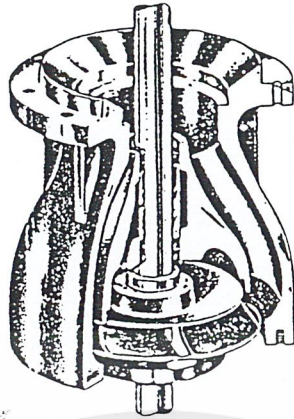


รูปที่ 2-5 เครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบเทอร์ไบน์

#### 2.3.4 แบบเทอร์ไบน์แนวตั้ง (Vertical Turbine)

เครื่องสูบน้ำแบบนี้เดิมทีเคยผลิตขึ้นมาสำหรับสูบน้ำจากบ่อบาดาล ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกว่าเครื่องสูบน้ำบาดาล (Deep Well หรือ Deep Well Turbine Pump) โดยแท้จริงแล้ว ใบพัดของเครื่องสูบน้ำแบบนี้ไม่ใช่เป็นแบบเทอร์ไบน์ แต่เป็นแบบเหวี่ยงแนวรัศมี(Radial Flow) หรือเหวี่ยงแนวผสม(Mixed Flow) เนื่องจากส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องสูบน้ำจะต้องประกอบกันเป็นท่อนทรงกระบอกเพื่อให้สามารถบรรจุลงในบ่อบาดาลได้ และบ่อบาดาลส่วนใหญ่มีระดับน้ำลึกมาก เครื่องสูบน้ำชนิดเดียวอาจให้พลังงานศักย์ไม่พอ เครื่องสูบน้ำแบบนี้จึงต้องออกแบบให้ใบพัดและเรือนเครื่องสูบลายชุดต่อเข้าด้วยกันได้เป็นชั้นๆ โดยอาศัยเพลาหมุนใบพัดท่อนเดียวกัน เรือนเครื่องสูบน้ำ(Casing) ก็จะต้องตัดแปลงให้รับน้ำจากใบพัดแล้วส่งขึ้นไปสู่ทางออกของใบพัดตัวบนได้ และเนื่องจากลักษณะของเรือนเครื่องสูบน้ำแตกต่างจากแบบหอยโข่ง(Volute) ชื่อของส่วนนี้จึงเปลี่ยนไปเรียกว่า โบริล(Bowl) ภายในโบริลจะประกอบด้วยครีบริบผันน้ำซึ่งมีลักษณะของแบบมีครีบริบผันน้ำ (Diffuser) โบริลหนึ่งชุดจะเทียบได้กับเครื่องสูบน้ำ 1 เครื่อง เครื่องสูบน้ำแบบเทอร์ไบน์แนวตั้ง โดยทั่วไปมีโบริลมากกว่าหนึ่งชั้น (Stage) ซ้อนกัน ในกรณีนี้ก็อาจจำเป็นต้องบอกจำนวนชั้นควบคู่ไปกับการเรียกชื่อเครื่องสูบน้ำด้วย เช่น เทอร์ไบน์แนวตั้งแบบขั้นเดียว(Single-stage Vertical Turbine), Three-stage Deep well Turbine สำหรับเครื่องสูบน้ำที่มีโบริลขั้นเดียว และสามขั้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

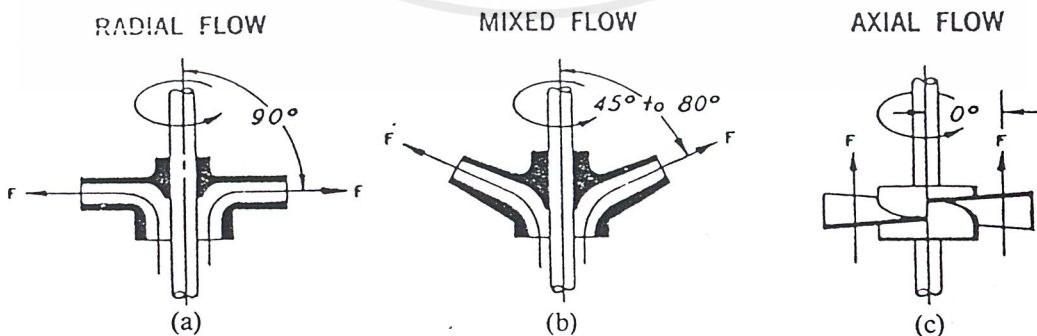


รูปที่ 2-6 เครื่องสูบบแบบแนวตั้ง

### 2.3.5 แบบเหวี่ยงแนวผสม (Mixed Flow)

เครื่องสูบบแบบแรกทีกล่าวถึงข้างต้น คือแบบหอยโข่ง (Volute) และแบบมีครีบริบผันน้ำ (Diffuser) เป็นแบบที่เรียกชื่อตามลักษณะของเรือนเครื่องสูบบที่ทำหน้าที่รวบรวมหรือผันของเหลวที่ไหลออกจากใบพัดไปสู่ช่องทางจ่าย ใบพัดที่ใช้กับเครื่องสูบบทั้งสองแบบส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น Radial Flow คือของเหลวไหลเข้าสู่ศูนย์กลางของใบพัดในแนวขนานกับเพลาแล้วไหลออกด้วยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางเพียงอย่างเดียว ทิศทางการไหลออกจะทำมุม 90 องศากับทิศทางที่มันไหลเข้า

สำหรับเครื่องสูบบแบบเหวี่ยงแนวผสม นั้นเป็นชื่อที่เรียกตามลักษณะของใบพัด หรือทิศทาง การไหลของของเหลวออกจากใบพัด เครื่องสูบบหรือใบพัดแบบนี้จะเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยทั้งแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางและแรงผลักดันของแผ่นใบพัดในแนวขนานกับแกนของเพลา ของเหลวที่ไหลออกจะทำมุม 45 ถึง 80 องศา กับแกนของเพลา เครื่องสูบบแบบนี้ให้เฮด (Head) น้อยกว่าแบบเหวี่ยงแนวรัศมี แต่จะให้อัตราการสูบบสูงกว่า



รูปที่ 2-7 ทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด (a) ในแนวรัศมี (Radial Flow)

(b) ในแนวทำมุมเอียงกับเพลา (Mixed Flow) และ (c) ในแนวขนานกับเพลา (Axial Flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

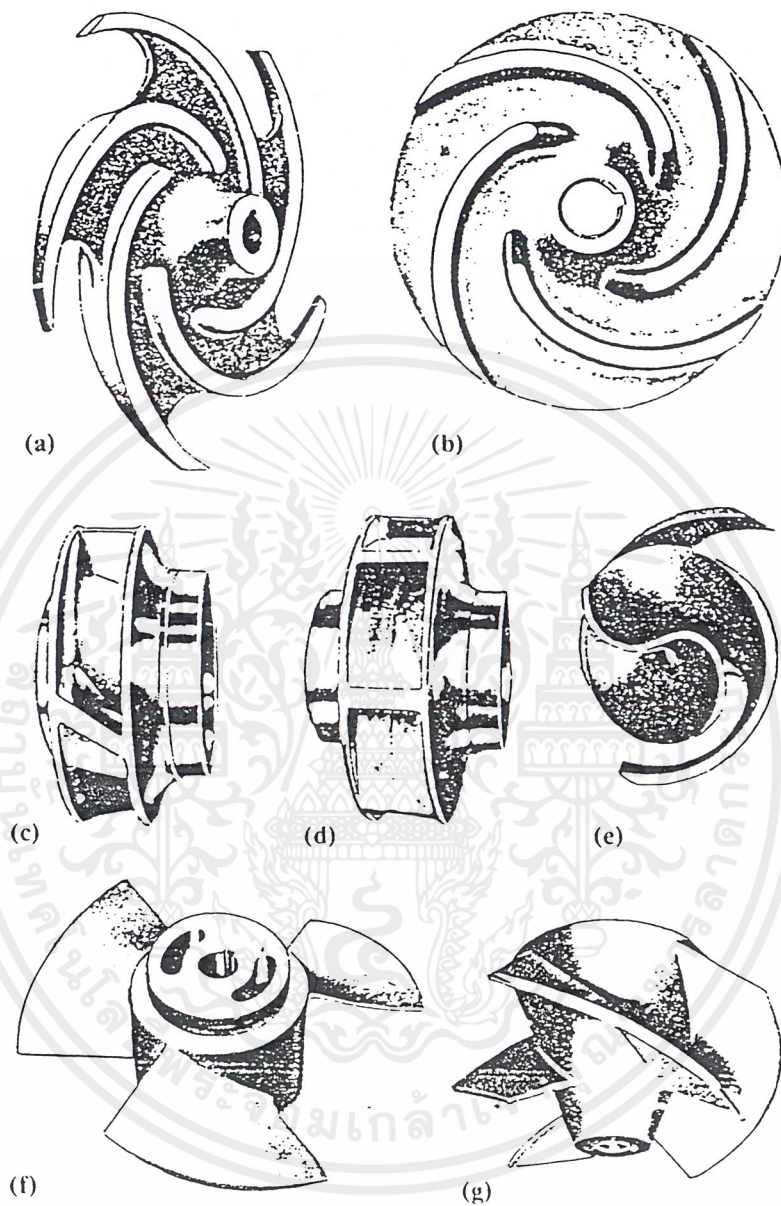
### 2.3.6 แบบเหวี่ยงแนวแกน (Axial Flow)

ในเครื่องสูบบแบบเหวี่ยงแนวแกนของเหลวที่ไหลเข้าและออกจากใบพัดมีทิศทางขนานกับแกนของเพลลา แรงที่เพิ่มพลังงานให้กับของเหลวเป็นแรงผลักดันในทิศทางการไหลเพียงอย่างเดียว ไม่มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

### 2.4 ลักษณะใบพัดของเครื่องสูบบแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

เนื่องจากว่าใบพัดของเครื่องสูบบแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานมากมายหลายชนิด การจำแนกประเภทอาจจะพิจารณาได้จากลักษณะของแผ่นใบพัด งานประทับ (Shroud) ลักษณะการไหลของของเหลวเข้าและออกจากใบพัด หรือวัตถุประสงค์ใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

- 2.4.1 ใบพัดเปิด (Open Impeller) โดยทั่วไปแล้วครีบบางของใบพัดจะยึดติดอยู่กับงานประทับ (Shroud) สำหรับใบพัดที่จัดอยู่ในประเภทนี้จะมีแผ่นครีบบางส่วนยื่นออกมาจากงานคือ รัศมีของงานจะเล็กกว่ารัศมีของใบพัด
- 2.4.2 ใบพัดกึ่งเปิด (Semi-open Impeller) เป็นแบบที่รัศมีของงานประทับเท่ากับรัศมีของใบพัด ใบพัดประเภทนี้มีงานประทับเพียงด้านเดียว อีกด้านหนึ่งของใบพัดจะไม่มีฝาปิด
- 2.4.3 ใบพัดปิด (Closed Impeller) เป็นแบบที่ใบพัดปิดอยู่ด้วยงานประทับ 2 แผ่น มีทางให้ของเหลวไหลเข้าหรือทางดูดเพียงด้านเดียว เรียกว่าเป็นแบบใบพัดปิด ดูดด้านเดียว (Closed, single suction impeller) สำหรับแบบที่มีทางดูด 2 ด้านเรียกว่า ใบพัดปิด ดูดสองด้าน (Closed, double suction impeller)
- 2.4.4 Paper-stock Impeller เป็นใบพัดที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษให้ใช้กับของเหลวที่มีความข้นเหลว (Consistency) สูง
- 2.4.5 Propeller เป็นใบพัดที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว โดยการผลักดันในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการไหลเข้ามาสู่ใบพัดเพียงอย่างเดียว ไม่มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เครื่องสูบบประเภทนี้เรียกว่า Axial Flow Pump
- 2.4.6 Mixed Flow เป็นแบบที่ของเหลวไหลเข้ามาสู่ใบพัดในแนวขนานกับแกนของเพลลา แต่ตอนไหลออกจะทำมุม 45 ถึง 80 องศา กับทิศทางเดิม กล่าวคือ การขับเคลื่อนของเหลวมีทั้งแรงขับเคลื่อนในทิศทางเดียวกันกับการไหลเข้ามาสู่ใบพัดและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
- 2.4.7 Radial Flow เป็นใบพัดแบบที่ของเหลวถูกขับเคลื่อนออกไปโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพียงอย่างเดียว ทิศทางการไหลออกทำมุมฉากกับการไหลเข้า



- |                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| (a) Open Impeller          | (e) Paper Stock                     |
| (b) Semi-open Impeller     | (f) Propeller (Axial flow impeller) |
| (c) Closed, single suction | (g) Mixed flow Impeller             |
| (d) Closed, double suction |                                     |

**รูปที่ 2-8 ลักษณะใบพัดของเครื่องสูบบแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบบนโรตารี

เครื่องสูบบนโรตารี เป็นแบบที่ทำงานโดยของเหลวถูกดูดและอัดปล่อยออกโดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมีกลซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบบนกับชิ้นส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์ (Rotor) จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์จะก่อให้เกิดการแทนที่ที่เป็นการเพิ่มปริมาตรของของเหลว (Positive Displacement) ให้ทางด้านจ่าย อัตราการสูบของเครื่องสูบบนนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการแทนที่ของเหลวของโรเตอร์ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต่ำกว่าแบบอื่น ประสิทธิภาพของการทำงานขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ช่องว่าง (Clearance) ระหว่างโรเตอร์กับผนังของห้องสูบ ความแตกต่างของความดันระหว่างด้านสูบบนกับด้านจ่าย ความข้นเหนียว (Viscosity) ของของเหลว และความเร็วของการหมุน เป็นต้น เครื่องสูบบนโรตารีแบ่งออกเป็น

### 2.5.1 เครื่องสูบบนโรตารีแบบเฟือง (Gear Pump)

เป็นแบบที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด เครื่องสูบบนแบบนี้ประกอบด้วยฟันเฟืองหรือเกียร์สองตัว หมุนขบกันในห้องสูบ ของเหลวจากทางดูดจะไหลเข้าไปอยู่ในร่องฟันซึ่งจะหมุนและพาของเหลวเข้าไปสู่ทางจ่าย ซึ่งของฟันเฟืองซึ่งอยู่ชิดกับผนังของห้องสูบป้องกันไม่ให้ของเหลวไหลย้อนมาสู่ทางดูดได้ เมื่อมาถึงทางจ่ายแล้วร่องฟันเฟืองซึ่งมีของเหลวบรรจุอยู่ก็จะถูกแทนที่ด้วยฟันจากเฟืองอีกตัวหนึ่งซึ่งขบกันสนิทจนของเหลวไม่สามารถไหลผ่านฟันเฟืองไปสู่ด้านดูดได้



รูปที่ 2-9 เครื่องสูบบนโรตารีแบบเฟือง

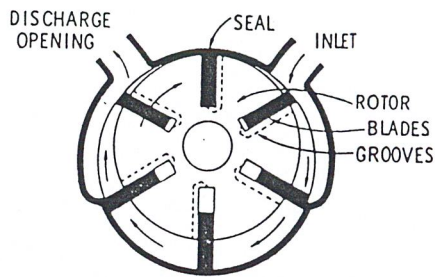
### 2.5.2 เครื่องสูบบนโรตารีแบบครีป (Vane Pump)

เครื่องสูบบนแบบนี้มีห้องสูบเป็นทรงกระบอกและมีโรเตอร์ซึ่งเป็นทรงกระบอกเหมือนกันวางเยื้องศูนย์กลางให้ผิวนอกของโรเตอร์สัมผัสกับผนังของห้องสูบที่กึ่งกลางทางดูดกับทางจ่าย

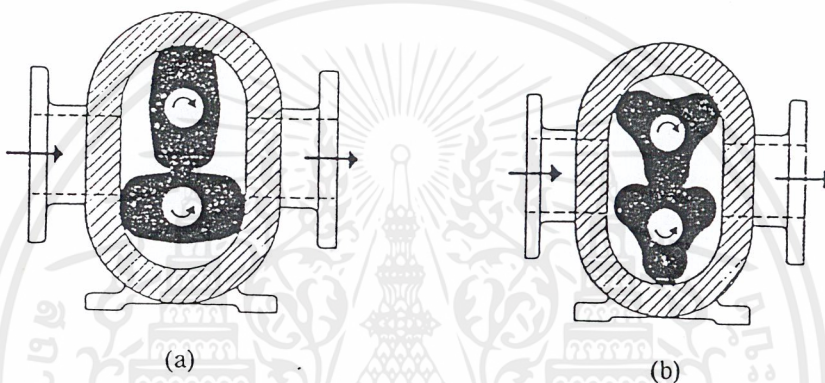
### 2.5.3 เครื่องสูบบนโรตารีแบบลอน (Lobe Pump)

เครื่องสูบบนแบบนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับแบบเฟือง (Gear Pump) แต่โรเตอร์มีลักษณะเป็นลอนหรือพู สองถึงสี่ลอนช่องว่างระหว่างลอนมีลักษณะแบนและกว้าง ดังนั้นอัตราการสูบจึงสูงกว่าแบบแรก แต่เนื่องจากกรถ่ายทอดกำลังหมุนของโรเตอร์แบบนี้มีประสิทธิภาพต่ำมากจึงจำเป็นต้องมีเฟืองนอกห้องสูบบนอีกชุดหนึ่งเพื่อช่วยให้จังหวะการหมุนของโรเตอร์ทั้งสองเข้ากันได้พอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



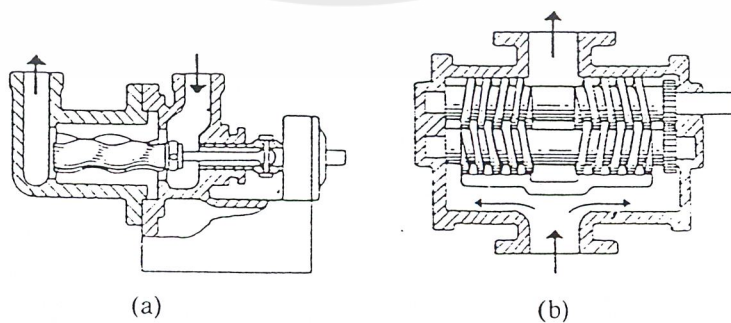
รูปที่ 2-10 เครื่องสูบล้อโรตารีแบบครีบ



รูปที่ 2-11 เครื่องสูบบแบบลอน (a)สองลอน(Two-lobe) (b) สามลอน (Three-lobe)

2.5.4 เครื่องสูบล้อโรตารีแบบสว่าน(Screw Pump)

เครื่องสูบบแบบนี้เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว โดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุนในลักษณะขั้วคั่นให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังของห้องสูบบจากทางดูดไปสู่ทางจ่าย จำนวนสว่านหรือ โรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว



รูปที่ 2-12 เครื่องสูบล้อโรตารีแบบสว่าน (Screw Pump) (a) ส่วนเดียว (Single-screw) (b) สองสว่าน (Two-screw)

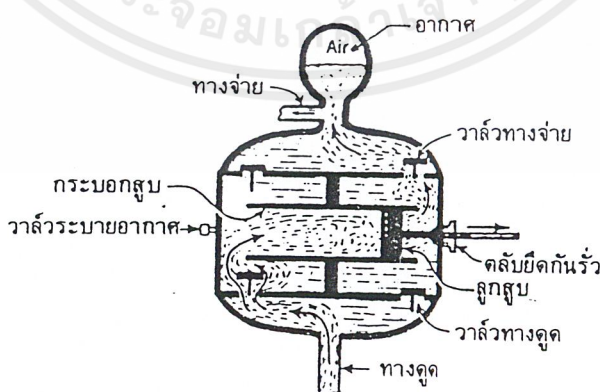
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบลูกสูบชัก

เครื่องสูบลูกสูบชัก(Reciprocating Pump) เป็นแบบที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบเข้าไปอัดของเหลวให้ไหลไปสู่ทางจ่าย ปริมาตรของของเหลวที่สูบได้ในแต่ละครั้งจะเท่ากับผลคูณของพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบกับช่วงชักของกระบอกสูบนั่น เครื่องสูบลูกสูบประเภทนี้ต่างกับแบบโรตารีตรงที่ว่าเคลื่อนที่ของตัวถ่ายทอดพลังงานของแบบโรตารีเป็นการหมุนรอบแกน แต่เครื่องสูบลูกสูบชักเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง ตัวอย่างของเครื่องสูบลูกสูบประเภทนี้ได้แก่

2.6.1 แบบขับเคลื่อนโดยตรง(Direct-Acting) เป็นเครื่องสูบลูกสูบชักที่มีต้นกำเนิดมาจากเครื่องจักรไอน้ำ การเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวมีลักษณะเป็นการอัดหรือผลักดันจากคันท่ำโดยตรง

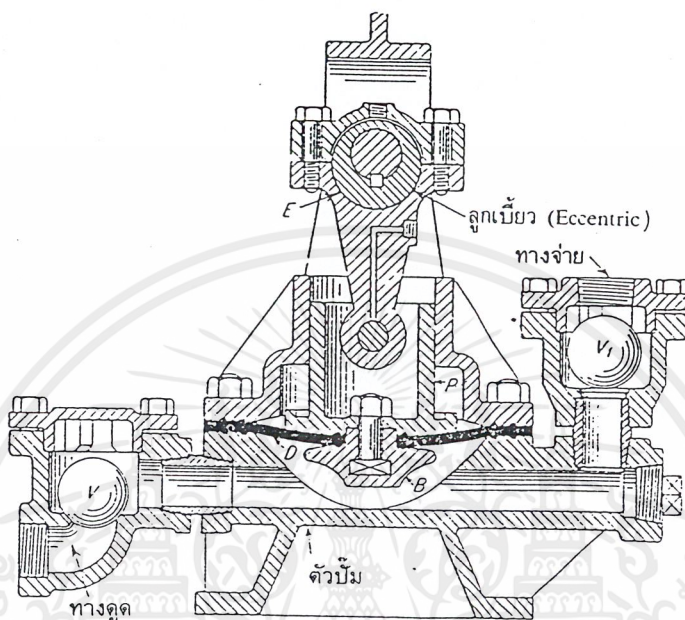
ในเครื่องสูบลูกสูบเดี่ยวซึ่งเป็นแบบที่ง่ายที่สุดมีลักษณะการทำงานคล้ายกระบอกสูบของเครื่องยนต์กล้ำวคือ เมื่อมีการอัดของเหลวไปสู่ทางจ่ายแล้วก็ต้องมีการดูดของเหลวที่ต้องการสูบเข้ามาแทนที่ ในช่วงดังกล่าวนี้การไหลของของเหลวก็จะขาดตอนไปจนกว่าจะถึงจังหวะอัดในรอบต่อไป อย่างไรก็ตามเนื่องจากงานส่วนใหญ่ต้องการอัตราการไหลที่สม่ำเสมอ จึงได้มีการดัดแปลงกระบอกสูบให้ทำงานได้ทั้งในจังหวะอัดและในจังหวะดูด โดยเพิ่มความยาวของกระบอกสูบขึ้นจังหวะอัดของปลายกระบอกสูบด้านหนึ่งก็จะกลายเป็นจังหวะดูดของปลายกระบอกสูบของอีกด้านหนึ่ง เครื่องสูบลูกสูบที่มีลักษณะเช่นนี้เรียกว่าแบบอัดสองจังหวะ(Double-acting) ส่วนแบบแรกเป็นแบบอัดจังหวะเดียว(Single acting) การดัดแปลงดังกล่าวทำให้การไหลของของเหลวต่อเนื่องกันดีขึ้น แต่ก็ยังไม่ทำให้สม่ำเสมอได้ถ้าหากเครื่องสูบลูกสูบดังกล่าวมีกระบอกสูบเพียงชุดเดียว(Simplex) การทำให้ความดันหรืออัตราการไหลสม่ำเสมออาจทำได้โดยการเพิ่มจำนวนกระบอกสูบขึ้นเป็นสอง สาม สี่สูบ(Duplex, Triplex, Quadruplex) หรือมากกว่าแล้วให้จังหวะการอัดเหลื่อมกันก็จะช่วยแก้ปัญหาได้ นอกจากนี้อาจแก้ปัญหาโดยการสูบของเหลวผ่านเข้าไปในหม้อลมก่อนจ่ายออกไปเข้าระบบ อากาศซึ่งมีการขยายและหดตัวได้จะช่วยทำให้อัตราการไหลสม่ำเสมอดีขึ้น



รูปที่ 2-13 เครื่องสูบลูกสูบชักแบบอัดสองจังหวะ(Double Acting)

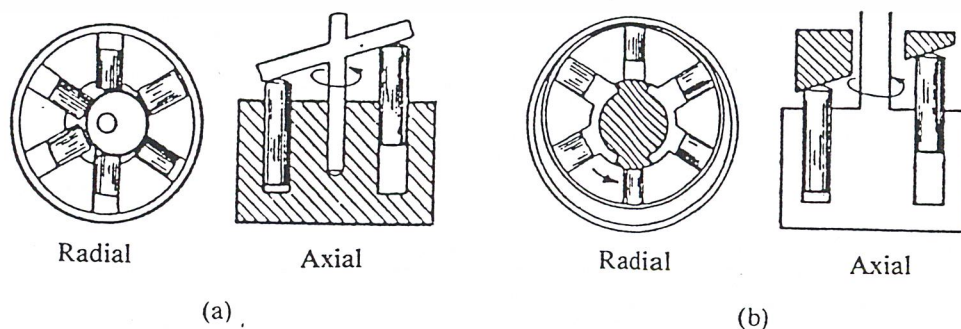
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 แบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) เป็นแบบที่กระบอกสูบซึ่งทำหน้าที่ดูดและอัดของเหลวได้รับการดัดแปลงไปเป็นแผ่นอโลหะซึ่งยืดหยุ่นได้ แผ่นอโลหะถูกยึดติดอยู่กับที่ โดยจะมีชิ้นส่วนของเครื่องสูบลมดันและดึงทำให้เกิดจังหวะดูดและอัดสั้นๆ เครื่องสูบบแบบนี้ใช้สำหรับอัตราการสูบน้อยๆ เท่านั้น



รูปที่ 2-14 เครื่องสูบบแบบไดอะแฟรม

2.6.3 แบบโรตารีพิสตัน (Rotary-Piston) เป็นแบบที่ลูกสูบลวางเรียงกันในแนวตั้ง(Axial) หรือแนววนอน(Radial) เป็นวงกลม การดูดและอัดเกิดขึ้นได้โดยมีโรเตอร์หมุนก่อให้เกิดการกดและคลายบนลูกสูบลรอบๆ เวียนกันไป การทำงานของแต่ละกระบอกสูบลมีลักษณะเป็นแบบอัดจังหวะเดียว(Single-acting) ในทางตรงกันข้ามถ้าหากส่วนที่ติดตั้งกระบอกสูบลทำหน้าที่หมุน โดยมีชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่กดกระบอกสูบลเข้าไปในลึบสูบลอยู่กับที่ เราเรียกเครื่องสูบลประเภทนี้ว่าแบบ Rotating-block



รูปที่ 2-15 เครื่องสูบบแบบ (a) Rotary-piston และ (b) Rotating block

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 เครื่องสูบน้ำชนิดนอกแบบ (Special)

เครื่องสูบน้ำที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือโดยการแทนที่ของขึ้นส่วนเครื่องสูบน้ำ อย่างไรก็ตาม ยังมีเครื่องสูบน้ำบางแบบที่ทำงานนอกเหนือกฎเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น เช่น

Jet pump โดยแท้จริงแล้วเครื่องสูบน้ำแบบที่เรียกว่า Jet pump นั้นประกอบขึ้นด้วยเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำงานร่วมกับหัวฉีด น้ำจากหัวฉีดซึ่งมีแรงดันสูงจะพุ่งผ่านช่องแคบของท่อซึ่งมีรูปทรงเป็นท่อคอขวด (Venturi) ด้วยความเร็วของลำน้ำที่พุ่งออกจากหัวฉีด ทำให้น้ำส่วนที่อยู่รอบๆ ไหลตามสายน้ำผ่านท่อคอขวดเข้าไปด้วย ท่อคอขวดจะต่อตรงไปยังทางดูดของเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ปริมาณน้ำที่ส่งออกจากเครื่องสูบน้ำส่วนหนึ่งจะถูกส่งเข้าท่อย้อนกลับ ไปเข้าหัวฉีดใหม่อีก ส่วนที่เหลือก็จ่ายออกไปใช้งานต่อไป

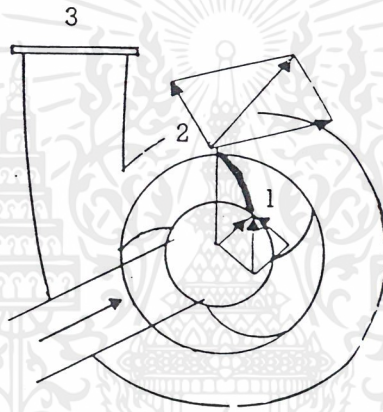


### บทที่ 3

## ทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

หลักการที่สำคัญของเครื่องสูบน้ำในการสูบน้ำ คือ การที่ใบจักร (Impellers) ซึ่งถูกแรงบิดของเพลาบิดให้เคลื่อนที่รอบแกนเพลาด้วยความเร็วสูงในก้อนของเหลว บานกังหัน (Blade) จะเบียดกับของเหลว ทำให้ของเหลววิ่งเร็วขึ้น และมีความเร็วเชิงมุมสูงขึ้น มีหัวความดันสูง เมื่อหลุดออกจากบานกังหันแล้วก็ยังสามารถวิ่งด้วยความเร็วสูงต่อไป ในสูบบางชนิดจะลดความเร็วของของเหลวนี้ลงด้วยเปลือกหอยโข่ง (Volute Casing) จะทำให้ความเร็วลดลงแต่หัวความดันเพิ่มขึ้น ของไหลไปได้ไกลยิ่งขึ้น หรือขึ้นสูงได้กว่าเดิม

### 3.1 สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's equation)



รูปที่ 3-1 พลังงานของไหลที่ถูกสูบ

พลังงานที่จุด 1 (ปากทางเข้าใบจักร) ที่จุด 2 (ปากทางออกใบจักร) และที่จุด 3 (ปากทางออกของเปลือกหอยโข่ง) จะสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3 \quad (3.1)$$

$P_1, P_2, P_3$  = ความดันที่จุด 1, 2 และ 3

$V_1, V_2, V_3$  = ความเร็วที่จุด 1, 2 และ 3

$Z_1, Z_2, Z_3$  = ระดับของจุดทั้ง 3

$H_p$  = หัวพลังงานที่ได้รับ มาจากเพลา

กำลังงานได้จากของไหล  $P = \rho \cdot Q \cdot H_p$

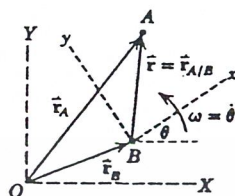
กำลังงานจากเพลา  $P_w = \rho \cdot Q \cdot H_p / e$

เมื่อ  $e$  = ประสิทธิภาพการส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ความเร่งคอริโอลิส(Coriolis)

เมื่อใดก็ตามที่จุดๆหนึ่งในวัตถุชิ้นหนึ่งเคลื่อนที่ไปตามทางเดินที่อยู่บนวัตถุชิ้นที่สองซึ่งกำลังหมุนอยู่ ความเร่งของจุดบนวัตถุชิ้นที่หนึ่งสัมพันธ์กับจุดที่ทับกันบนวัตถุชิ้นที่สองจะมีส่วนประกอบของความเร่งคอริโอลิส(Coriolis)



รูปที่ 3-2 การเคลื่อนที่ของจุด A และ B บนระนาบ x-y

พิจารณาอนุภาค A และ B ซึ่งเคลื่อนที่อย่างอิสระต่อกันในระนาบ ตั้งแกน x-y ผ่านจุด B ซึ่งเป็นผู้สังเกตการเคลื่อนที่ของ A และขณะเดียวกันแกน X-Y หมุนไปด้วย ความเร็วเชิงมุม  $\omega = \dot{\theta}$  ซึ่งเขียนในรูปเวกเตอร์ได้  $\vec{\omega} = \vec{k}\omega = \vec{k}\dot{\theta}$  ( $\vec{k}$  คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแนวแกน z) ความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ตำแหน่งระหว่างอนุภาค A และ B คือ

$$\vec{r}_A = \vec{r}_B + \vec{r}_{A/B} = \vec{r}_B + \vec{i}x + \vec{j}y \quad (3.2)$$

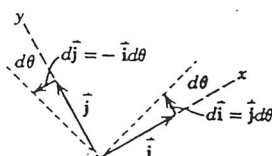
เมื่อ  $\vec{i}, \vec{j}$  คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแกน x และ y ตามลำดับ

$\vec{r}_A, \vec{r}_B$  คือเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค A และ B ตามลำดับ ซึ่งวัดเทียบกับแกนอ้างอิง X-Y

$\vec{r}_{A/B} = \vec{r}$  คือเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค A เทียบกับ B ซึ่งเป็นค่าสัมพันธ์ เนื่องจากวัดเทียบกับแกน x-y ที่มีการหมุน

เมื่อหาอนุพันธ์ของสมการ (3.2) เทียบกับเวลาจะได้

$$\vec{V}_A = \vec{V}_B + (\vec{i}\dot{x}' + \vec{j}\dot{y}') + (\dot{\vec{i}}x + \dot{\vec{j}}y) \quad (3.3)$$



รูปที่ 3-3 ระนาบ x-y ที่หมุนไปเป็นมุม  $d\theta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3-3 จะได้ว่า

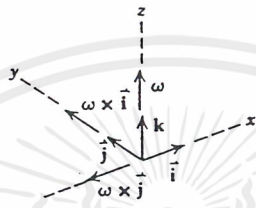
$$d\vec{i} = \vec{j}d\theta \quad \text{และ} \quad d\vec{j} = -\vec{i}d\theta$$

ดังนั้น 
$$\frac{d\vec{i}}{dt} = \vec{j} \frac{d\theta}{dt} = \vec{j}\omega$$

นั่นคือ 
$$\vec{i}' = \vec{j}\omega$$

และ 
$$\frac{d\vec{j}}{dt} = -\vec{i} \frac{d\theta}{dt} = -\vec{i}\omega$$

นั่นคือ 
$$\vec{j}' = -\vec{i}\omega$$



รูปที่ 3-4 เวกเตอร์ 1 หน่วยบนระนาบ x-y-z

จากรูปที่ 3-4 จะได้ว่า

$$\vec{\omega} \times \vec{i} = \vec{j}\omega \quad \text{และ} \quad \vec{\omega} \times \vec{j} = -\vec{i}\omega$$

ดังนั้นจะได้

$$\vec{i} = \vec{\omega} \times \vec{i} \quad \text{และ} \quad \vec{j} = \vec{\omega} \times \vec{j}$$

แทนค่าต่างๆที่ได้ ในสมการ (3.4) จะได้

$$\vec{V}_A = \vec{V}_B + \vec{\omega} \times \vec{r} + \vec{V}_{rel} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $\vec{V}_A$  คือความเร็วสัมบูรณ์ของอนุภาค A

$\vec{V}_B$  คือความเร็วสัมบูรณ์ของอนุภาค B

$\vec{\omega}$  คือความเร็วเชิงมุมของแกน x-y ซึ่งมีจุดกำเนิดอยู่ที่ B

$\vec{r}$  คือเวกเตอร์ตำแหน่งของ A เทียบกับ B ซึ่งวัดตามแนวแกน x-y

$\vec{V}_{rel}$  คือความเร็วสัมพัทธ์เทียบกับแกน x-y (ความเร็วของ A เทียบกับแกน x-y)

จากสมการ (2.2) เมื่อหาอนุพันธ์เทียบกับเวลาจะได้ว่า

$$\vec{a}_A = \vec{a}_B + \vec{\omega}' \times \vec{r} + \vec{\omega} \times \vec{r}' + \vec{V}_{rel}'$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $\vec{\omega} \times \vec{r}' = \vec{\omega} \times \frac{d(\vec{i}x + \vec{j}y)}{dt}$   
 $= \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}') + \vec{\omega} \times \vec{V}_{rel}$

และ  $\vec{V}_{rel} = \frac{d(\vec{i}x' + \vec{j}y')}{dt}$   
 $= (\vec{i}'x' + \vec{j}'y') + \vec{i}x'' + \vec{j}y''$   
 $= \vec{\omega} \times (\vec{i}'x' + \vec{j}'y') + \vec{i}x'' + \vec{j}y''$   
 $= \vec{\omega} \times \vec{V}_{rel} + \vec{a}_{rel}$

ดังนั้น ได้สมการความเร่งสัมพัทธ์ดังนี้

$$\vec{a}_A = \vec{a}_B + \vec{\omega}' \times \vec{r}' + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}') + 2\vec{\omega} \times \vec{V}_{rel} + \vec{a}_{rel} \tag{3.5}$$

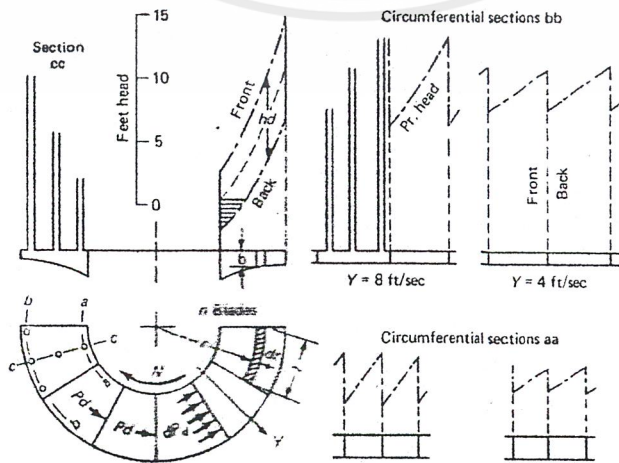
ในการวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับความเร่งประเภทแกนหมุนนี้มักนิยมตั้งแกน x-y ให้จุดกำเนิดผ่านจุด P ซึ่งซ้อนทับกับจุด Aพอดี ในขณะที่พิจารณานั้น ทำให้สามารถจัดเทอมที่มี  $\vec{r}'$  ออกไปได้เนื่องจาก  $\vec{r}'$  เป็นศูนย์ ดังนั้นจะเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\vec{a}_A = \vec{a}_P + 2\vec{\omega} \times \vec{V}_{rel} + \vec{a}_{rel} \tag{3.6}$$

ซึ่งความเร่งรวม (Absolute Acceleration) ของจุดที่เคลื่อนที่ที่อยู่บน เฟรมหนึ่งๆเกิดจากการรวมกันของความเร่งเบส (Base Acceleration), ความเร่งสัมพัทธ์ (Relative Acceleration), และความเร่งคอริโอลิส(Coriolis acceleration) ซึ่งค่าความเร่งคอริโอลิสจะมีค่าเท่ากับ  $2\omega V$

### 3.3 การกระจายแรงดันภายในใบพัด (Pressure Distribution)

เนื่องมาจากความเร่งในแนวสัมผัส (Tangential Acceleration) ที่กคอยู่บนของไหลจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างใบพัด



รูปที่ 3-5 ความแตกต่างของเฮดความดัน (Head)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3-5 จะเห็นว่าความดันจะเพิ่มขึ้นจากด้านหลังของใบพัดใบหนึ่งไปยังด้านหน้าของใบพัดอีกใบหนึ่ง เมื่อเราพิจารณาของไหลปริมาตรเล็กๆที่ไหลจากจุดหมุนสู่ ปลายของใบพัดแบบ Radial Blade จากรูปจะได้ว่า

หาความยาวของปริมาตรเล็กๆจาก

$$L = 2\pi r dr/n$$

โดย  $L$  คือ ความยาวของปริมาตรเล็กๆ

$dr$  คือ ความหนาแนวรัศมีของใบพัด

$n$  คือ จำนวนของใบพัด

หาปริมาตรของของไหลชิ้นเล็กๆจาก

$$V = Lb dr$$

โดย  $V$  คือ ปริมาตร

$b$  คือ ความหนาของใบพัด

หามวลของของไหลชิ้นเล็กๆจาก

$$M = \rho Lb dr$$

$M$  คือ มวลของของไหล

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล

จากกฎข้อที่สองของนิวตันจะได้ว่า

$$F = Ma$$

ซึ่งความเร่งที่เกิดขึ้นเป็นความเร่งในแนวสัมผัสหรือความเร่งคอริโอลิสที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$a_c = 2V\omega$$

โดย  $\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุม

$V$  คือ ความเร็วในแนวรัศมี

จึงสามารถหาค่าของแรงและความแตกต่างของความดันระหว่างด้านหน้าของใบพัดและด้านหลังที่กระทำบนใบพัดเนื่องจากความดันนี้จะเท่ากับ

$$dF = \left(\frac{\gamma}{g}\right) Lb \cdot dr \cdot 2V\omega \quad (3.7)$$

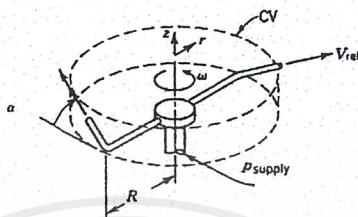
$$\Delta p = \left(\frac{\gamma}{g}\right) \left(\frac{8\pi^2}{60}\right) \left(\frac{rV^2}{n}\right) \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงทำให้สามารถหาค่าความแตกต่างระหว่างหัวความดันรวมได้เป็น

$$h_d = \left( \frac{8\pi^2}{60} \right) \left( \frac{rVN}{gn} \right) \quad (3.9)$$

### 3.4 โมเมนต์ของโมเมนตัม (Moment of Momentum)



รูปที่ 3-6 ปริมาตรควบคุมของสปริงเกอร์ (Sprinkler)

จากรูป 3-6 หลักการทำงานของสปริงเกอร์ (sprinkler) จะให้พลังงานแก่ของไหลที่เข้าไปในท่อเคลื่อนที่ผ่านตัวใบพัดแล้วจึงเกิดความเร่งสัมผัส (ความเร่ง coriolis) ของไหลจะส่งถ่ายผ่านพลังงานแก่ตัวใบพัดทำให้ใบพัดหมุนสามารถรดน้ำต้นไม้ได้โดยที่ปราศจากการให้กำลังในการหมุนจากเพลาคู่ทั้งสิ้นซึ่งในการพิจารณาเราจะพิจารณาได้ 2 แบบ คือ 1. fixed control volume และ 2. rotate control volume

#### 3.4.1 การวิเคราะห์แบบ fixed control volume

ผู้สังเกตจะอยู่ ณ ตำแหน่งจุดหมุนซึ่งอยู่บนกรอบอ้างอิงย่อยแล้วหมุนไปตามการหมุนของใบพัดจากการพิจารณาแบบ fixed control volume เนื่องจากผู้สังเกตอยู่บนกรอบอ้างอิงย่อยแล้วหมุนไปตามใบพัดเวลาคิดจึงจะไม่เกิดพจน์ที่เกี่ยวข้องกับความเร่งสัมผัส (ความเร่ง coriolis)

จากทฤษฎีของโมเมนตัมเชิงมุมจะได้ว่า

$$\vec{T} = \left. \frac{d\vec{H}}{dt} \right)_{system}$$

ซึ่ง  $\vec{T}$  = ผลรวมของแรงบิดที่ใช้อยู่ในระบบเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อม

$\vec{H}$  = โมเมนตัมเชิงมุมของระบบ

$$\vec{H} = \int_{M(system)} \vec{r} \times \vec{V} dm = \int_{V(system)} \vec{r} \times \vec{V} \rho dV$$

และจาก

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}_S + \int_{M(system)} \vec{r} \times \vec{g} dm + \vec{T}_{shaft}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับ fixed control volume เป็นไปตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left. \frac{dN}{dt} \right)_{system} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \eta \rho dV + \int_{cs} \eta \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

โดย  $N_{system} = \int_{M(system)} \eta dm$

ถ้าเรากำหนดให้  $N = \vec{H}$ , เมื่อ  $\eta = \vec{r} \times \vec{v}$

ดังนั้นแทนค่าต่างๆได้

$$\vec{r} \times \vec{F}_s + \int_{M(system)} \vec{r} \times \vec{g} dm + \vec{T}_{shaft} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \vec{r} \times \vec{V} \rho dV + \int_{cs} \vec{r} \times \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

.....(3.10)

เมื่อเราพิจารณาทั้งระบบและปริมาตรควบคุมเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นร่วมกันที่เวลา  $t_0$

$$\vec{T}_{system} = \vec{T}_{cv}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\vec{r} \times \vec{F}_s + \int_{cv} \vec{r} \times \vec{g} dm + \vec{T}_{shaft} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \vec{r} \times \vec{V} \rho dV + \int_{cs} \vec{r} \times \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

.....(3.11)

ซึ่งจากสมการที่ 3.11 เป็นสมการทั่วไปสำหรับ โมเมนตัมเชิงมุมสำหรับปริมาตรควบคุมเริ่มต้น

### 3.4.2 การวิเคราะห์แบบ Rotate Control Volume

ผู้สังเกตจะอยู่ ณ ตำแหน่งจุดซึ่งอยู่บนกรอบอ้างอิงหลัก ซึ่งเป็นจุดหมุนจุดเดียวกันกรอบอ้างอิงย่อย แต่ผู้สังเกตไม่ได้หมุนตามการหมุนของใบพัดจากการพิจารณาแบบ rotate control volume เนื่องจากผู้สังเกตอยู่บนกรอบอ้างอิงหลัก ซึ่งอยู่กับที่ในการพิจารณาจึงเกิดพจน์ที่เกี่ยวข้องกับความเร่งสัมผัส(ความเร่ง coriolis)

ซึ่งจากการแทนค่าต่างๆเหมือนในกรณีของ fixed control volume เพียงแต่ผู้สังเกตอยู่ในกรอบอ้างอิง ดังนั้นจะได้สมการ rotate control volume เป็น

$$\begin{aligned} \vec{r} \times \vec{F}_s + \int_{cv} \vec{r} \times \vec{g} \rho dV + \vec{T}_{shaft} - \int_{cv} \vec{r} \times \left[ 2\vec{\omega} \times \vec{V}_{xyz} + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}) + \vec{\omega} \times \vec{r} \right] \rho dV \\ = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \vec{r} \times \vec{V}_{xyz} \rho dV + \int_{cs} \vec{r} \times \vec{V}_{xyz} \rho \vec{V}_{xyz} \cdot d\vec{A} \end{aligned} \quad (3.12)$$

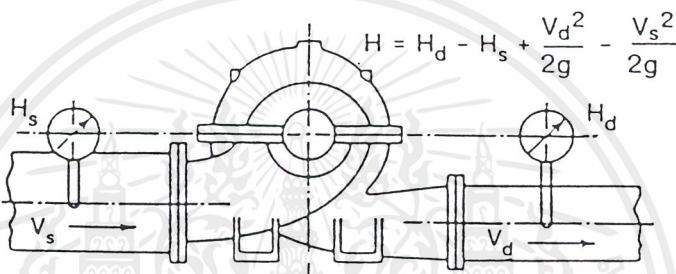
### 3.5 หัวความดันรวม(Total Head)

หัวความดันรวมหมายถึงพลังงานรวมที่เครื่องสูบจะต้องถ่ายทอดให้กับของเหลว พลังงานดังกล่าวนี้จะเท่ากับผลรวมของพลังงานศักย์ ความดัน และความเร็วที่ได้แปลงให้เป็นแท่งความสูงของของเหลว การเปลี่ยนแปลงความดันจากปาสคาล (Pa) ให้เป็นหัวความดันรวม (m) ทำได้โดยใช้สมการ

$$H = \frac{P}{\rho g} \quad (3.13)$$

โดย  $\rho$  = ความหนาแน่นของของเหลว ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )



รูปที่ 3-7 เฮอร์รวมของเครื่องสูบใช้แรงเหวี่ยงแบบเพลานอน

สำหรับเครื่องสูบแบบเพลานอนดังรูปที่ 3-7 หัวความดันรวมจะหาได้จากสมการ

$$H = H_d - H_s + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} \quad (3.14)$$

โดย  $H$  = หัวความดันรวมของเครื่องสูบ (m)

$H_d$  = หัวความดันทางด้านจ่าย โดยวัดเทียบกับศูนย์กลางของเครื่องสูบ (m)

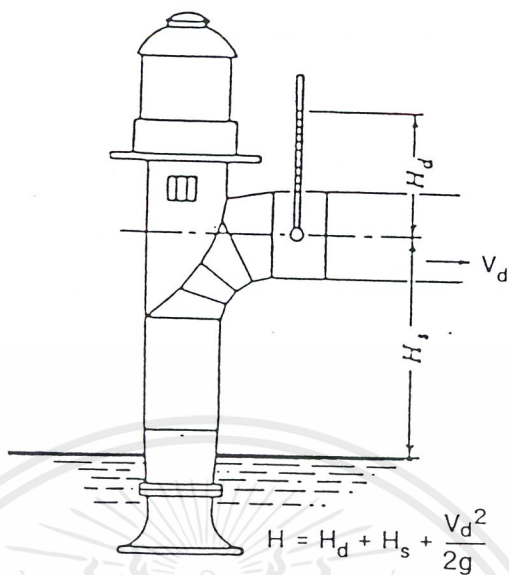
$H_s$  = หัวความดันทางด้านดูด โดยวัดเทียบกับศูนย์กลางของเครื่องสูบ (m)

$V_d^2 / 2g$  = หัวความเร็วทางด้านจ่าย (m)

$V_s^2 / 2g$  = หัวความเร็วทางด้านดูด (m)

สำหรับเครื่องสูบซึ่งมีเพลานอนอยู่ในแนวตั้งและใบพัดจมอยู่ในน้ำ หัวความดันรวมจะหาได้จากสมการ

$$H = H_d + H_s + \frac{V_d^2}{2g} \quad (3.15)$$



รูปที่ 3-8 เฮอร์รวมของเครื่องสูบลมซึ่งมีผลอยู่ในแนวตั้ง

- โดย  $H_d$  = หัวความดันทางด้านจ่ายโดยวัดจากศูนย์กลางของท่อจ่าย (m)  
 $H_s$  = หัวความดันทางด้านดูดโดยวัดจากผิวของของเหลวถึงจุดศูนย์กลางของท่อจ่าย (m)  
 $V_d^2 / 2g$  = หัวความเร็วทางด้านจ่าย (m)

ข้อสังเกต การสูญเสียหัวความดันจากปลายท่อสุดถึงจุดที่วัดหัวความดันด้านจ่ายจะมีค่าน้อยมากจนสามารถยกเว้นได้

**3.6 ความคล้ายคลึงกันของใบพัด**

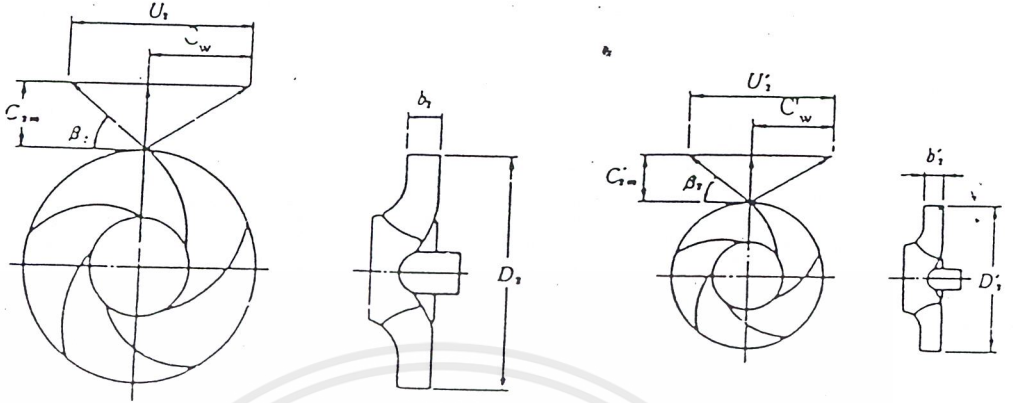
จากการพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างหัวความดันรวมกับอัตราการสูบ (H-Q Curve) พบว่าเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความเร็วรอบของใบพัดเปลี่ยนแปลงไป ใบพัดสองใบซึ่งได้รับการออกแบบให้มีความคล้ายคลึงกันทางเรขาคณิต ลักษณะงานที่ได้จากเครื่องสูบลมจะมีความคล้ายคลึงกันจนยึดถือเป็นกฎเกณฑ์ได้

พิจารณาจากใบพัดสองใบในรูป 3-9 ถ้าให้ใบพัดต้นแบบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $d_1$  มีช่องเปิดระหว่างครีบบใบพัด  $b_1$  และหมุนด้วยความเร็วรอบ  $N_1$  ส่วนใบพัดซึ่งจำลองจากต้นแบบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $d_2$  ช่องเปิดระหว่างครีบบใบพัด  $b_2$  และความเร็วรอบ  $N_2$  ดังนั้นจะได้ว่า

$$U_1 = \frac{N_1}{60} \cdot \pi D_1 \quad ; \quad U_2 = \frac{N_2}{60} \cdot \pi D_2$$

$$Q_1 = \pi D_1 b_1 \cdot C_{m1} \quad ; \quad Q_2 = \pi D_2 b_2 \cdot C_{m2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Prototype

Model

รูปที่ 3-9 ใบพัดต้นแบบและใบพัดที่จำลองให้มีความคล้ายคลึงกันทางเรขาคณิต

เนื่องมาจากความคล้ายคลึงกันทางเรขาคณิต

$$\begin{aligned} \frac{b_1}{D_1} &= \frac{b_2}{D_2} \\ \frac{C_{m1}}{U_1} &= \frac{C_{m2}}{U_2} = \frac{D_1 N_1}{D_2 N_2} \end{aligned}$$

จากสมการข้างต้นจะได้ว่า

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \tag{3.16}$$

สำหรับหัวความดันรวมของเครื่องสูบล  $H_1/H_2 = U_1 C_{u1}/U_2 C_{u2}$  .ในเมื่อ  $C_{u1}/C_{u2} = U_1/U_2 = D_1 N_1/D_2 N_2$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \tag{3.17}$$

สำหรับกำลังงานจากเพลาดันกำลังให้  $L_1$  และ  $L_2$  เป็นกำลังงานสำหรับใบพัดต้นแบบและจำลองตามลำดับ ถ้าสมมุติว่าประสิทธิภาพของใบพัดทั้งสองเท่ากันดังนั้น  $L_1/L_2 = \rho_1 Q_1 H_1/\rho_2 Q_2 H_2$

จากสมการ 3.16 และ 3.17 จะได้ว่า

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (3.18)$$

เมื่อเครื่องสูบลูทั้งสองมีขนาดใบพัดเท่ากัน แต่หมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน จะได้

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3.19)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (3.20)$$

และ

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (3.21)$$

จากสมการที่ 3.19 ถึง 3.21 จะเห็นได้ว่าถ้าใบพัดมีขนาดคงที่แต่หมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกันออกไป อัตราการสูบ หัวความดันรวม(Head) และกำลังงานของเพลลาที่ได้ใหม่จะเปลี่ยนไปเป็นสัดส่วนโดยตรง สัดส่วนกำลังสอง และกำลังสามของสัดส่วนระหว่างความเร็วรอบใหม่กับความเร็วรอบเดิมตามลำดับ

### 3.7 ความเร็วจำเพาะ(Specific Speed)

เมื่อแทนอัตรา  $D_1/D_2$  ในสมการที่ 3.17 ลงใน แล้วจัดเรียงให้ตัวแปรของใบพัดเดียวกันอยู่ข้างเดียวกันของสมการ จะได้ว่า

$$\frac{N_1^2 Q_1}{H_1^{3/2}} = \frac{N_2^2 Q_2}{H_2^{3/2}} \quad (3.22)$$

ถ้าให้เครื่องสูบลูต้นแบบสูบของไหลด้วยอัตรา 1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ได้หัวความดันรวมเท่ากับ 1 เมตร โดยมีความเร็วรอบเท่ากับ  $N_s$  จะได้ว่า

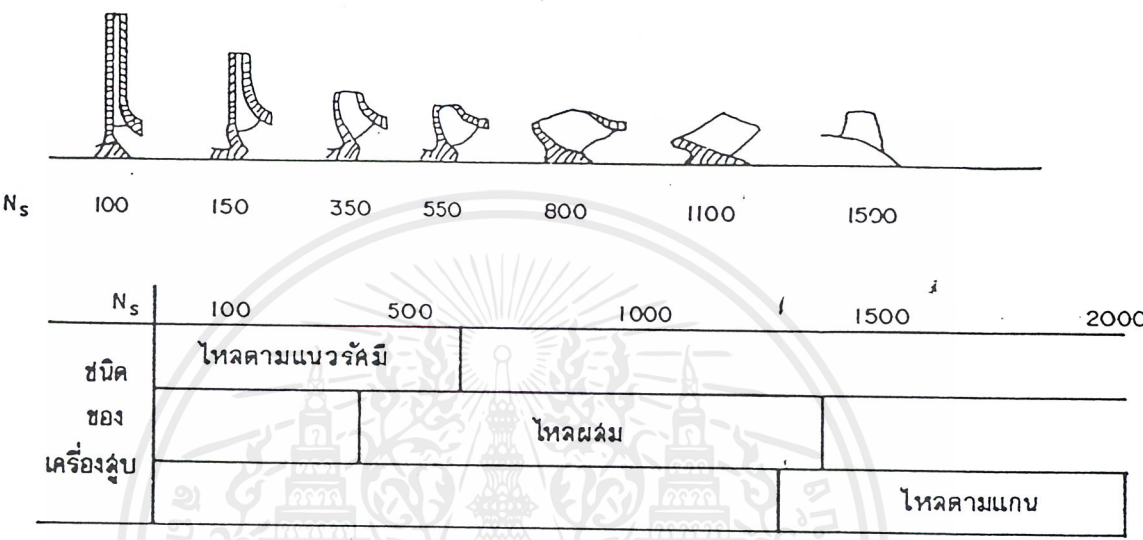
$$N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (3.23)$$

โดยค่า  $N_s$  เป็นค่าซึ่งเรียกว่าความเร็วจำเพาะ(Specific Speed) ซึ่งหมายถึงความเร็วรอบของใบพัดซึ่งจะผลิตอัตราการไหล 1 หน่วย (1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที) ได้หัวความดันรวมเท่ากับ 1 หน่วย(1 เมตร) ภายใต้การทำงานแบบเดียวกันกับเครื่องสูบลูต้นแบบ

ใบพัดที่มีความคล้ายคลึงกันทางเรขาคณิตทุกใบจะมีค่าความเร็วจำเพาะค่าเดียวกัน ดังนั้นค่าความเร็วจำเพาะนี้จะเป็นค่าตัวเลขที่ถูกใช้เป็นเบอร์ระบุสัดส่วนและรูปร่างของใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบเครื่องสูบลำดับประสิทธิภาพที่สำคัญๆ ในการออกแบบจะถูกกำหนดให้ความสัมพันธ์กับค่าความเร็วจำเพาะ ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวได้จากข้อมูลซึ่งเป็นซึ่งเป็นผลจากการทดลองเครื่องสูบล้นแบบสำหรับค่าความเร็วจำเพาะค่าหนึ่ง รูปทรงและสัดส่วนของใบพัดอาจจะแตกต่างกันออกไปตามวิธีการออกแบบที่เลือกใช้



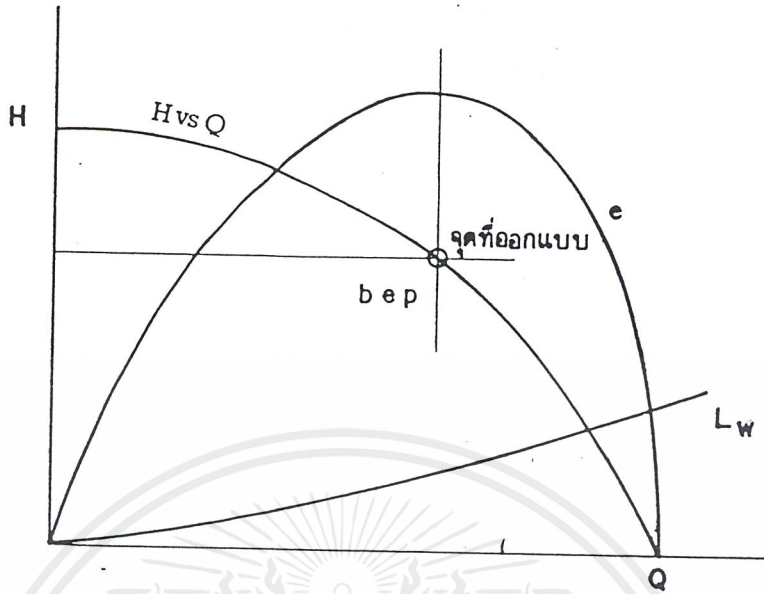
รูปที่ 3-10 ลักษณะรูปตัดของใบพัดซึ่งมีความเร็วจำเพาะขนาดต่างๆ

รูปที่ 3-10 แสดงให้เห็นถึงรูปตัดขวางจากศูนย์กลางของใบพัดเครื่องสูบลที่มีค่าความเร็วจำเพาะขนาดต่างๆ (หน่วยที่ใช้เป็น ลูกบาศก์เมตร/นาทึ , เมตร และนาทึ) ในรูปได้แสดงให้เห็นถึงชนิดของใบพัดว่าเป็นแบบอาศัยแรงเหวี่ยง(Radial Flow) แบบผลัดคั้นขนานกับเพลลา(Axial Flow) หรือแบบผสม(Mixed Flow) เพื่อบอกขอบเขตการใช้งานของแต่ละแบบไว้ด้วย

โดยทั่วไปเครื่องสูบลที่มีค่าความเร็วจำเพาะต่ำจะเหมาะกับงานที่ต้องการหัวความดัน (Head) สูง และอัตราการสูบลต่ำ ในทางตรงกันข้ามเครื่องสูบลที่มีค่าความเร็วจำเพาะสูงจะเหมาะกับงานที่ต้องการหัวความดัน (Head) ต่ำ แต่ต้องการอัตราการสูบลสูง เครื่องสูบลที่มีค่า  $N_s$  สูงจะมีขนาดเล็กกว่า

3.8 เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของเครื่องสูบลน้ำ

เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของเครื่องสูบลน้ำ จะประกอบไปด้วยตัวแปรอิสระ คือ ค่าอัตราการสูบล Q, ตัวแปรตามคือหัวความดัน H, ประสิทธิภาพ e และกำลังที่เพลลาให้กับของไหล  $L_w$  ณ จุดออกแบบจะเป็นจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด (best efficiency point : Bep) เพราะเป็นจุดที่กระแสน้ำที่มีความเร็วสัมพันธ์เทียบกับบานใบพัดอยู่ในแนวเดียวกับแนวบานพอดี



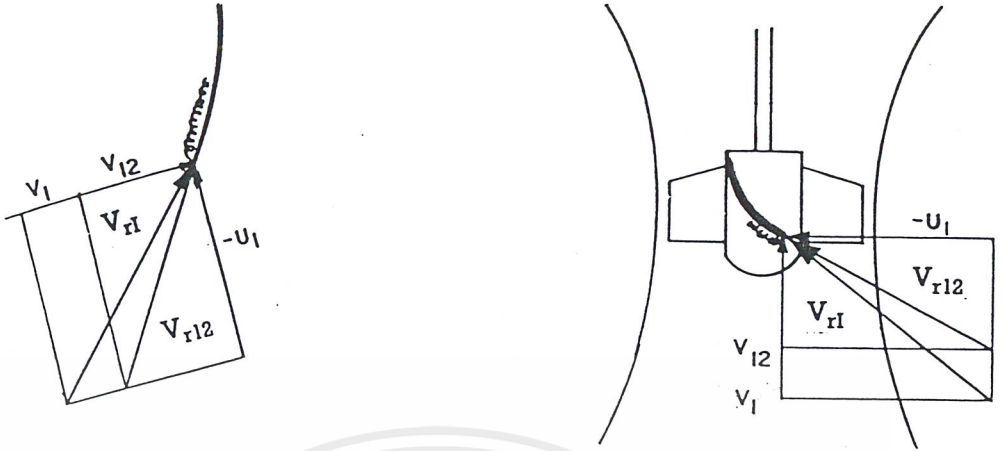
รูปที่3-11 เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะเครื่องสูบน้ำ

ถ้าอัตราการสูบเพิ่มขึ้นค่า  $V_1$  จะมากขึ้นเป็น  $V_{II}$  เส้นแทนความเร็ว  $V_{II}$  จะยาวขึ้น ทำให้แนวความเร็วสัมผัสรัศมีเทียบกับแนวแกนบนใบพัด ทำให้เกิดฟองไอน้ำหน้าบานเกิดการแยกตัว ประสิทธิภาพของเครื่องก็จะลดลง



รูปที่3-12 การสูบที่อัตราการสูบสูงกว่าที่ออกแบบ

ถ้าอัตราการสูบลดลง ค่า  $V_{12}$  ก็มีค่าลดลงด้วย เส้นแทนความเร็ว  $V_{12}$  จะสั้นลง ทำให้แนวความเร็วสัมผัสรัศมีเทียบกับแนวแกนของบานใบพัดทำให้เกิดการแยกตัวจากบาน เกิดฟองน้ำ หลังบานประสิทธิภาพก็ลดลงเช่นกัน



รูปที่ 13 การสูบที่อัตราการสูบต่ำกว่าที่ออกแบบ

จากกราฟเส้นโค้งแสดงสมรรถนะที่ได้มาตรวจสอบดังต่อไปนี้

- 1) หัวรวมของเครื่องสูบและอัตราการสูบ การพิจารณาแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ
  - ก) เครื่องสูบสำหรับใช้งานทั่วไป อัตราการสูบ ณ หัวรวมที่กำหนดจะต้องวัดได้เท่ากับหรือมากกว่าอัตราการสูบที่กำหนด
  - ข) เครื่องสูบสำหรับใช้งาน ณ จุดที่กำหนด จะต้องเป็นไปตามข้อใดข้อหนึ่งใน 2 ข้อที่กำหนดคือ
    - ข.1) อัตราการสูบ ณ อัตราการสูบที่กำหนดจะต้องวัดได้ในช่วง 95% ถึง 106% ของความจุที่กำหนด
    - ข.2) หัวรวม ณ อัตราการสูบที่กำหนดจะต้องวัดได้ภายในช่วง 97% ถึง 106% ของหัวรวมของเครื่องสูบที่กำหนด
- 2) กำลังที่เพลลาและอัตราการสูบ กำลังที่ใช้ขับเคลื่อนเพลลาสูงจะต้องไม่สูงกว่าค่าที่กำหนด ณ อัตราการสูบของหัวรวมของเครื่องสูบที่กำหนด
- 3) ประสิทธิภาพของเครื่องสูบและความจุ ประสิทธิภาพของการสูบคำนวณจากสมการ

$$e = \frac{L_w}{L} \times 100 \tag{3.24}$$

และ  $L_w = \text{WaterPower} = \frac{\gamma QH}{10^3} \text{ (kw)}$  (3.25)

- เมื่อ
- $e$  = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบ(%)
  - $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (N/m<sup>3</sup>)
  - $Q$  = อัตราการสูบ (m<sup>3</sup>/s)
  - $H$  = หัวรวมของเครื่องสูบ (m-water)
  - $L$  = กำลังที่เพลลาของเครื่องสูบ (kw)

โดยสามารถคิดให้เหลืออยู่ในรูปสมการ

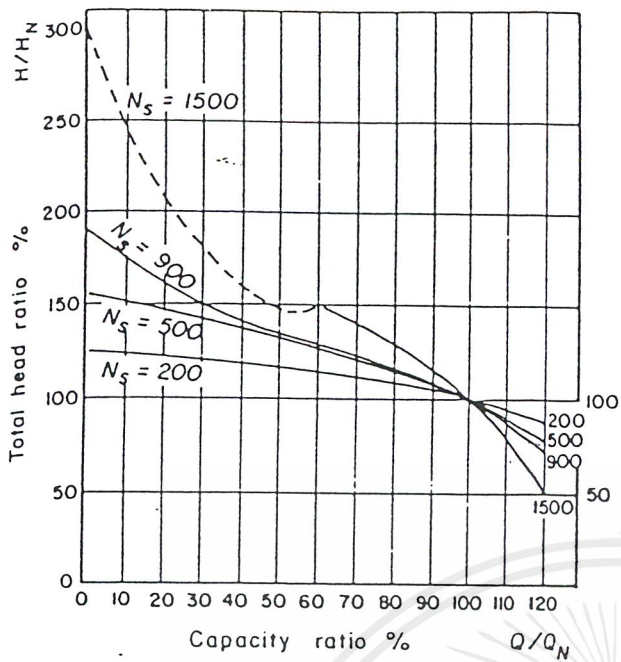
$$L_w = 0.163\gamma QH(kw) \quad (3.26)$$

### 3.9 ผลกระทบของความเร็วจำเพาะต่อลักษณะการทำงานของเครื่องสูบ

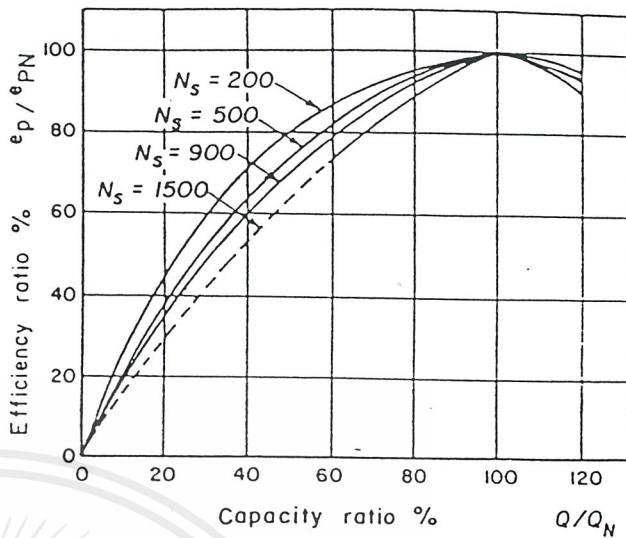
ลักษณะงานที่เครื่องสูบผลิตออกมานั้นสามารถบอกได้ด้วยเส้นกราฟที่พล็อตระหว่างอัตราการสูบบนแกน x กับหัวความดัน กำลังงาน และประสิทธิภาพบนแกน y รูปร่างของเส้นกราฟจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความเร็วจำเพาะดังนี้คือ

1. กราฟหัวความดันรวม-อัตราสูบ สำหรับกรณีที่มีความเร็วจำเพาะน้อยเส้นกราฟจะแบนราบ และมีอัตราส่วนของหัวความดันต่ำ เส้นกราฟนี้จะชันขึ้นเมื่อความเร็วจำเพาะเพิ่มขึ้น
2. กราฟกำลังงานที่ได้จากเพลลา อัตราส่วนของกำลังงานจากเพลลาจะมีค่าต่ำสุดเมื่อเปิดวาล์วง่าย น้ำสนิท ( $Q = 0$ ) และความเร็วจำเพาะค่าและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น สำหรับเครื่องสูบบแบบผสม (Mixed Flow) ค่าอัตราส่วนของกำลังงานจะมีค่าเกือบคงที่ตลอดช่วง แต่ถ้าเป็นแบบ Axial Flow อัตราส่วนดังกล่าวจะมีค่าสูงมากเมื่ออัตราการไหลเข้าใกล้ศูนย์
3. กราฟประสิทธิภาพ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของประสิทธิภาพจะเป็นไปในด้านดีสำหรับเครื่องสูบที่มีความเร็วจำเพาะต่ำ

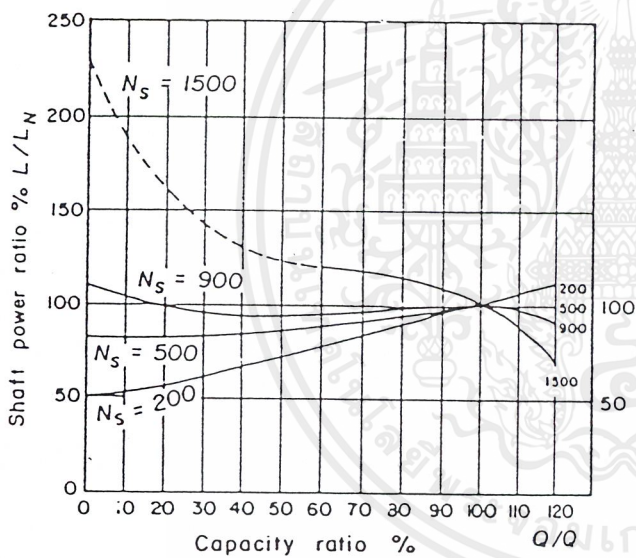
ถ้ามีการเลือกกำหนดค่าความเร็วจำเพาะสำหรับอัตราการสูบและหัวความดันที่ต้องการ ลักษณะการทำงานของเครื่องสูบที่ต้องการจะประมาณได้โดยใช้ข้อมูลจากรูปที่ 3-13 ค่าความเร็วจำเพาะที่จะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการสูบขนาดต่างๆ อาจดูได้จากรูปที่ 3-13 (d)



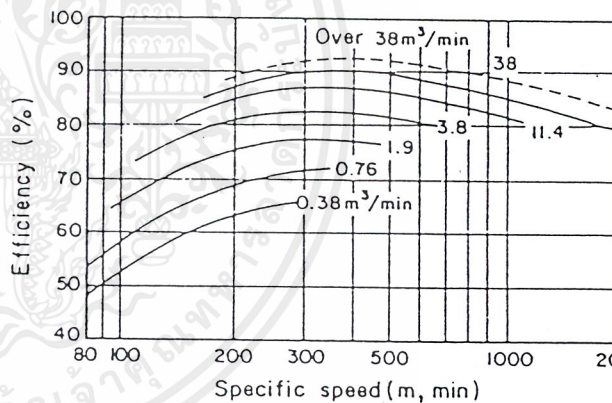
(a) Total head vs. capacity



(c) Efficiency vs. capacity



(b) Shaft power vs. capacity



(d) Max. efficiency vs. specific speed

รูปที่ 3-14 ลักษณะการทำงานของเครื่องสูบน้ำที่มีความเร็วจำเพาะขนาดต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

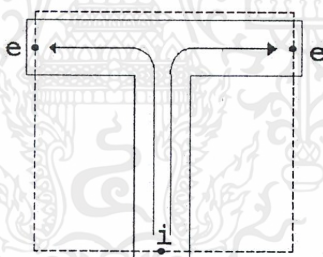
### การออกแบบชุดอุปกรณ์การทดลอง

การออกแบบชุดอุปกรณ์การทดลองนั้นจำเป็นต้องทราบถึงหลักการทำงานพื้นฐานของเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางซึ่งจะอาศัยทฤษฎีพื้นฐาน 3 ส่วนดังนี้

#### 4.1 ความแตกต่างความดัน

เนื่องจากเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่จะส่งผ่านของไหลไปได้ นั่น ชั้นแรกของไหลต้องไหลเข้าไปในใบพัดก่อน ส่วนมากจะใช้วิธีการดูดขึ้น หรือการให้อ่างเก็บน้ำอยู่เหนือเครื่องสูบน้ำ แต่ในกรณีชุดอุปกรณ์การทดลองที่เราจะทำการสร้างนั้นอ่างเก็บน้ำอยู่ใต้ใบพัด ซึ่งสามารถใช้ สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation) ในการอธิบายความสามารถของการไหลขึ้นในแนวตั้งจากกับพื้นโลกไปยังใบพัด

$$\left[ \frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g} \right]_i = \left[ \frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g} \right]_e \quad (4.1)$$



รูปที่ 4-1 ปริมาตรควบคุมและทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหล

จากรูปที่ 4-1 โดยใช้สมการเบอร์นูลลีจะได้

$$P_i - P_e = \rho \frac{(V_e^2 - V_i^2)}{2} + \gamma Z_e \quad (4.2)$$

เมื่อ  $P$  = ความดันของของไหล,  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของเหลว,  $Z$  = ความสูงจากระดับอ้างอิง,  $V$  = ความเร็วของของไหล,  $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก,  $I$  = ทางเข้าของไหล,  $e$  = ทางออกของไหล,  $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล

โดยที่  $V_c > V_r$  ดังนั้น  $P_r - P_c$  จะมีค่าเป็นบวก ของไหลจึงสามารถไหลขึ้นไปตามทางเดินของท่อได้เนื่องจากของไหลจะไหลจากที่มีความดันสูงไปยังที่มีความดันต่ำ

4.2 ความเร่งในแนวสัมผัสของของไหล

จากทฤษฎีที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ซึ่งคิดค้นโดย G.G. de Coriolis ;วิศวกรชาวฝรั่งเศส ค้นพบว่า เมื่อใดก็ตามที่จุดๆหนึ่งเคลื่อนที่ไปตามทางเดินที่อยู่บนวัตถุสองชิ้นซึ่งกำลังหมุนอยู่ ความเร่งของจุดบนวัตถุชิ้นที่หนึ่งสัมพันธ์กับจุดที่ทับกันบนวัตถุชิ้นที่สอง พจน์ของตัวแปรความเร่งจะมีส่วนประกอบของความเร่งในแนวสัมผัส



รูปที่4-2 การเคลื่อนที่ของของไหลขณะที่ใบพัดข้างหนึ่งกำลังหมุน

จากรูปที่4-2 เมื่อเราพิจารณาการเคลื่อนที่ของของไหลชิ้นเล็กๆภายในแกนของท่อตัวT ข้างหนึ่งขณะที่กำลังหมุน ในช่วงเวลาสั้นๆ

$$\begin{aligned} \overline{AB} &= dr \cdot \omega dt = V \cdot dt \cdot \omega dt \\ \overline{AB} &= (1/2) a_c (\Delta t)^2 \\ V(\Delta t)(\omega \Delta t) &= (1/2) a_c (\Delta t)^2 \\ a_c &= 2V\omega \end{aligned} \tag{4.3}$$

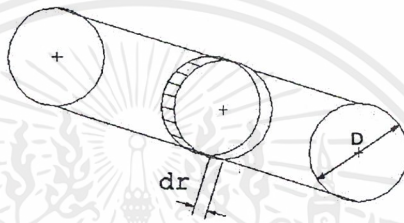
เมื่อ  $\overline{AB}$  = ระยะห่างระหว่างจุดAและจุดB, r = รัศมีของแกนท่อ,  $\omega$  = ความเร็วเชิงมุม, dt = ช่วงระยะเวลาสั้นๆ,  $a_c$  = ความเร่งในแนวสัมผัส

การที่ของไหลเคลื่อนที่จากแกนหมุนของแขนท่อตัวT ไปยังส่วนปลายท่อพร้อมกับการที่แขนหมุนนั้นจะทำให้เกิดแรงและความเร่งขึ้นในแนวสัมผัสแก่ของเหลว ถ้าพิจารณาการเคลื่อนที่ของของไหลจากจุดอ้างอิงที่เริ่มเคลื่อนที่ ถ้าสมมติให้ตัวท่อทำจากวัสดุที่อ่อนหรือลักษณะที่พบได้ที่จุด C อย่างอิสระ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

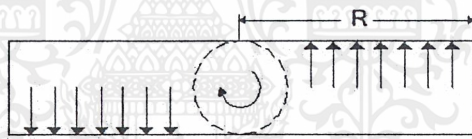
ของไหลจะสามารถเคลื่อนที่ได้ถึงจุด A กรณีที่ตัวท่อเป็นของแข็งซึ่งเป็นกรณีจริงที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดของไหลสามารถเคลื่อนที่ได้ถึงจุด B ดังนั้นระยะทางของของไหลที่เพิ่มขึ้นนั้นเนื่องมาจากความเร่งในแนวสัมผัส (ความเร่งคอริโอลิส,  $a_c$ )

#### 4.3 การกระจายความดันภายในใบพัด

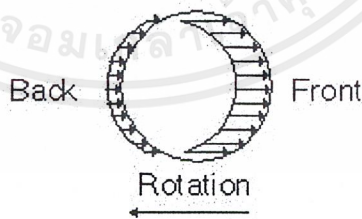
เนื่องมาจากความเร่งในแนวสัมผัสจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความดันที่แตกต่างระหว่างใบพัด โดยที่ความดันจะเพิ่มขึ้นจากด้านหลังของใบพัดใบหนึ่ง ไปยังด้านหน้าของใบพัดอีกใบหนึ่ง เมื่อเราพิจารณาของไหลปริมาตรเล็กๆที่ไหลจากจุดหมุนสู่ปลายของใบพัดที่อัตรา  $T$  แรงและความแตกต่างของความดันระหว่างด้านหน้าและด้านหลังที่กระทำบนใบพัดเนื่องจากความดันนี้จะเท่ากับ



รูปที่ 4-3 ปริมาตรของของไหลชิ้นเล็กๆภายในท่อที่มีขนาดหน้าตัดเท่ากัน



รูปที่ 4-4 การกระจายของแรงบนใบพัดเมื่อมองจากด้านบน



รูปที่ 4-5 การกระจายความดันของของไหลในแนวภาคตัดขวาง

จากรูปที่ 4-3 จะได้

$$\text{ปริมาตรของของไหลชิ้นเล็กๆ} = \pi \left( \frac{D^2}{4} \right) (dr)$$

$$\text{น้ำหนักของของไหลชิ้นเล็กๆ} = \gamma \cdot \pi \left( \frac{D^2}{4} \right) \cdot dr$$

พื้นที่ที่รับแรงดันของของไหลชั้นเล็กๆ  $A = \pi \frac{D}{2}(dr)$

จากกฎของนิวตัน

$$\sum \bar{F} = m\bar{a} \quad ; \quad \bar{a} = \bar{a}_c$$

$$dF = (\gamma / g) \cdot \pi \left( \frac{D^2}{4} \right) \cdot dr \cdot (2V\omega)$$

$$F = \rho \cdot \pi \left( \frac{D^2}{4} \right) \cdot R \cdot (2V\omega) \quad (4.4)$$

หาค่าความแตกต่างความดันจาก  $P = \frac{F}{A} \quad ; \quad A = \pi \frac{D}{2}(dr)$

$$\Delta P = (\gamma / g) \left( \frac{D}{2} \right) \cdot (2V\omega)$$

$$= (\gamma / g) D \left( \frac{2\pi N}{60} \right) V$$

$$\Delta P = (\gamma / g) D \cdot \left( \frac{\pi N}{30} \right) V \quad (4.5)$$

หาค่าหัวความแตกต่างความดัน(Head) จาก  $P = \rho gh$

$$h_d = \frac{D\pi NV}{30g} \quad (4.6)$$

หาค่าแรงบิด(Torque) จาก  $T = F \cdot \frac{D}{2} \quad ; \quad F = \rho \cdot \pi \left( \frac{D^2}{4} \right) \cdot R \cdot (2V\omega)$

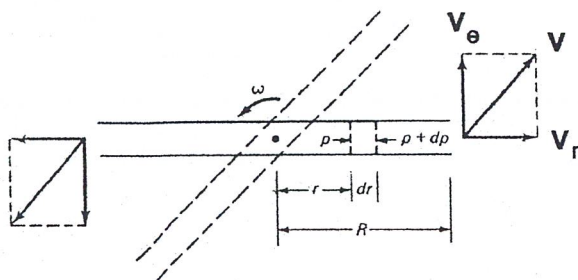
$$T = \rho \cdot \pi \left( \frac{D^2}{4} \right) \cdot R^2 \cdot (2V\omega) \quad ; \quad V = \frac{Q}{2A}, \text{ พื้นที่หน้าตัด } A = \pi \left( \frac{D^2}{4} \right)$$

$$T = \rho R^2 \omega Q \quad (4.7)$$

หาค่ากำลังงานที่ใช้(Power) จาก  $P = T \cdot \omega$

$$P = \rho R^2 \omega^2 Q \quad (4.8)$$

หาค่าความเร็วรวม(V) ของของไหลที่ไหลออกมาจากใบพัด



รูปที่ 4-6 ทิศทางความเร็วของของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-6 จะได้

$$V_r = Q/2A$$

$$V_\theta = R\omega$$

$$V = \sqrt{(R\omega)^2 + (Q/2A)^2} \quad (4.9)$$

หาค่ากำลังงานของของไหลที่ได้รับในรูปของพลังงานศักย์กับพลังงานจลน์จากการสูญเสียพลังงาน

$$P = \rho gh + \left(\frac{1}{2}\right)\rho Q \left[ (R\omega)^2 + (Q/2A)^2 \right] \quad (4.10)$$

ดังนั้นเราจะได้ 3 สมการหลักในการออกแบบชุดอุปกรณ์การทดลอง

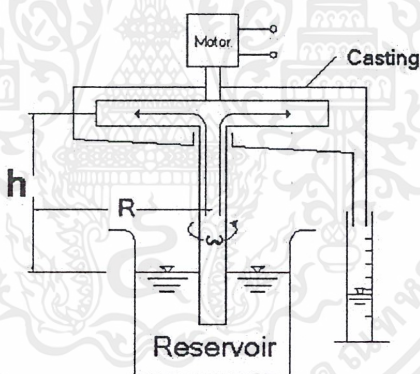
$$Q = 2A\sqrt{R^2\omega^2 - 2gh} \quad (4.11)$$

$$T = 2A\rho R^2\omega\sqrt{R^2\omega^2 - 2gh} \quad (4.12)$$

$$P = 2A\rho R^2\omega^2\sqrt{R^2\omega^2 - 2gh} \quad (4.13)$$

จาก 3 สมการหลักนี้จะได้ว่า  $\omega$  ที่น้อยที่สุดที่มีค่าเป็นไปได้มีค่าเท่ากับ

$$\omega_{\min} = \sqrt{2gh/R^2} \quad (4.14)$$



รูปที่ 4-7 แบบจำลองชุดอุปกรณ์การทดลอง

จากสมการทั้งหมดที่ได้นำมาทำการคำนวณ โดยมีการกำหนดตัวแปรบางค่าให้คงที่ และเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรบางค่า เพื่อหาค่า ความเร็วรอบ, กำลังงาน และหาขนาดที่เหมาะสมแก่การสร้าง ดังนี้

เมื่อกำหนดให้  $h = 0.2$  เมตร  $A = 0.000285$  ตารางเมตร (รัศมีท่อ =  $\frac{3}{4}$  นิ้ว) และ  $Q = 0.001$  ลูกบาศก์เมตร ต่อวินาที โดยทำการเปลี่ยนค่ารัศมีแขนท่อในช่วงที่เหมาะสมแก่การทดลอง จะได้

R (m)	$\omega$ (rad/sec)	N (rpm)	P (Watts)	T (N.m)	$\omega_{\min}$ (rad/sec)
0.1	26.46	252.68	7.00	0.26	19.80
0.2	13.23	126.34	7.00	0.52	9.90
0.3	8.82	84.22	7.00	0.79	6.60
0.4	6.61	63.17	7.00	1.05	4.95
0.5	5.29	50.53	7.00	1.32	3.96
0.6	4.41	42.11	7.00	1.58	3.30
0.7	3.78	36.09	7.00	1.85	2.82
0.8	3.30	31.58	7.00	2.11	2.47
0.9	2.94	28.07	7.00	2.38	2.20
1	2.64	25.26	7.00	2.64	1.98

ตารางที่ 4-1 ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆเมื่อรัศมีของท่อเปลี่ยนไป

เมื่อกำหนดให้  $R = 0.1$  เมตร  $A = 0.000285$  ตารางเมตร (รัศมีท่อ =  $\frac{3}{4}$  นิ้ว) และ  $Q = 0.001$  ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แล้วทำการเปลี่ยนค่าความสูงในช่วงที่เหมาะสมแก่การทดลองจะได้

h. (m)	$\omega$ (rad/sec)	N (rpm)	P (Watts)	T (N.m)	$\omega_{\min}$ (rad/sec)
0.2	26.46	252.68	7.00	0.26	19.80
0.3	29.93	285.90	8.96	0.29	24.26
0.4	33.05	315.64	10.92	0.33	28.01
0.5	35.89	342.81	12.88	0.35	31.32
0.6	38.53	367.98	14.84	0.38	34.31
0.7	41.00	391.54	16.81	0.41	37.05
0.8	43.32	413.75	18.77	0.43	39.61
0.9	45.53	434.84	20.73	0.45	42.02
1	47.64	454.95	22.69	0.47	44.29

ตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆเมื่อความสูงของท่อเปลี่ยนไป

เมื่อกำหนดให้  $R = 0.1$  เมตร  $h = 0.2$  เมตร และ  $Q = 0.001$  ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และเปลี่ยนค่ารัศมีของท่อเป็น  $\frac{3}{4}$  นิ้ว, 1 นิ้ว, 1.5 นิ้ว ตามลำดับ เนื่องจากเป็นขนาดท่อที่มีขอบข่ายที่เหมาะสมและหาได้ง่ายตามท้องตลาด จะได้

A (m <sup>2</sup> )	$\omega$ (rad/sec)	N (rpm)	P (Watts)	T (N.m)	$\omega_{\min}$ (rad/sec)
0.0002	26.46	252.68	7.00	0.26	19.80
0.0005	22.12	211.30	4.89	0.22	19.80
0.0011	20.28	193.74	4.11	0.20	19.80

ตารางที่ 4-3 ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ เมื่อพื้นที่หน้าตัดของท่อเปลี่ยนไป

เมื่อกำหนดให้  $R = 0.1$  เมตร  $h = 0.2$  เมตร และ  $A = 0.000285$  ตารางเมตร (รัศมีท่อ =  $\frac{3}{4}$  นิ้ว) โดยทำการเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของน้ำที่จุดได้ในช่วงที่เหมาะสมแก่การทดลองจะได้

Q (m <sup>3</sup> /s)	$\omega$ (rad/sec)	N (rpm)	P (Watts)	T (N.m)	$\omega_{\min}$ (rad/sec)
0.003	56.23	537.01	94.87	1.68	19.81
0.002	40.29	384.77	32.47	0.80	19.81
0.001	26.46	252.68	7.00	0.26	19.81
0.0007	23.30	222.56	3.80	0.16	19.81
0.0005	21.66	206.87	2.34	0.10	19.81
0.0003	20.49	195.72	1.26	0.06	19.81

ตารางที่ 4-4 ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆเมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนไป

จากการคำนวณค่าต่างๆตามตารางทั้ง4ตารางแล้วเราจึงทำการเลือกขนาดชุดอุปกรณ์การทดลอง เครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เหมาะสม คือ

- มอเตอร์(Motor) ขนาด  $\frac{1}{2}$  แรงม้า
- ขนาดรัศมีของท่อประมาณ  $\frac{3}{4}$  นิ้ว
- รัศมีของแขนท่อประมาณ 9 เซนติเมตร แต่เราได้ทำการเลือกเพื่อทำการทดลอง3 ค่าคือ 9,11,13 เซนติเมตร
- ความสูงที่ใช้ในการดูดประมาณ 20,30,40,50 และ 60 เซนติเมตร

เมื่อเราได้ขนาดที่เหมาะสมแก่การทดลองอย่างคร่าวๆแล้ว จึงทำการสร้างชุดอุปกรณ์การทดลอง โดยยึดหลักในการออกแบบสร้างที่เหมาะสมคือ

### 3.4 หลักการพิจารณาออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์การทดลอง

1. พิจารณาความสมดุลย์ในการสร้าง
2. พิจารณาถึงความสะดวกในการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พิจารณาความสูงสนกรูด และความเหมาะสมในการทดลอง
4. พิจารณาอัตราการไหลของน้ำที่ต้องการดูด
5. พิจารณาความเหมาะสมของราคาค่าใช้จ่ายในการสร้างชุดการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การสร้างชุดการทดลองและเครื่องมือวัด

#### ชุดการทดลองและเครื่องมือวัด

##### 1. ไบพัตต์รูปตัวที

- ท่อทำจากสแตนเลส(เพื่อกันสนิม)มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 19 มิลลิเมตร(3/4 นิ้ว) และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 17 มิลลิเมตร

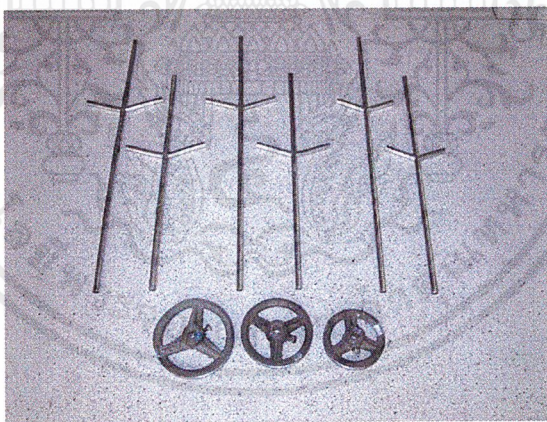
- มีรัศมีของแขนท่อที่จะเชื่อมติดกับท่อหลักยาว 9, 11, 13 เซนติเมตร

- รัศมีของแขนท่อเอียงเล็กน้อยเพื่อประโยชน์ในการไล่อากาศภายในท่อ(priming) โดยทำการเชื่อมติดกับส่วนของท่อหลักที่ได้เจาะรูตามขนาดประมาณ 17 มิลลิเมตรไว้ทั้งสองข้าง

- แกนด้านที่ไว้ติดกับพุลเลย์ยาว 35 เซนติเมตร

- ระยะที่ดูค้ำไค้ของท่อยาว 65 เซนติเมตร และ 45 เซนติเมตร ในแต่ละความยาวของรัศมีท่อ 9, 11, 13 เซนติเมตร ตามลำดับ (ที่ต้องมีท่อ 2 ท่อของแต่ละความยาวรัศมีท่อเพื่อสามารถปรับระยะความสูงที่จะทดลองได้)

##### 2. พุลเลย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6, 7, 8 นิ้ว พร้อมชุดสายพานส่งกำลัง



รูปที่ 5-1 ท่อไบพัตต์รูปตัวที พร้อมพุลเลย์

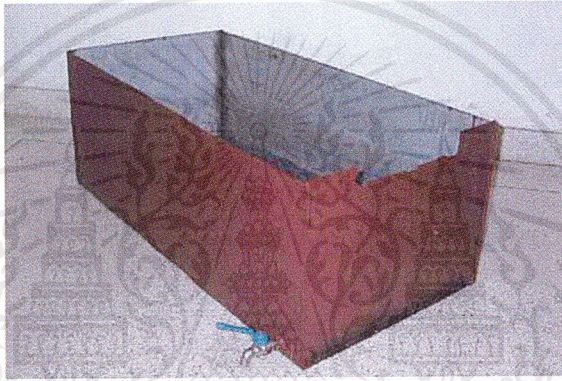
3. กล่องพลาสติกใสรองรับน้ำที่ดูค้ำไค้(case) ขนาด 30x30x15 เซนติเมตร ติดก๊อ๊กเพื่อระบายน้ำที่ดูค้ำไค้ได้ กั้นกล่องเจาะรูติดซีลยางกันน้ำรั่วไว้สำหรับใส่ท่อไบพัตต์รูปตัวที (ที่ออกแบบให้พลาสติกใสเนื่องจากจะให้เห็นการทำงานของเครื่องสูบลมได้อย่างชัดเจน)

4. ฝาปิดกล่องพลาสติกเพื่อป้องกันน้ำกระเด็น



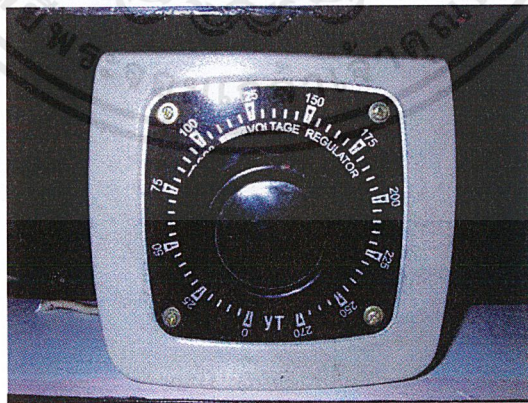
รูปที่5-2 กล่องพลาสติกกรองรับน้ำที่สูบขึ้นมา

5. ถังเก็บน้ำ(reservoir)ขนาด50x40x100 เซนติเมตร มีก๊อกลำสำหรับระบายน้ำทิ้ง



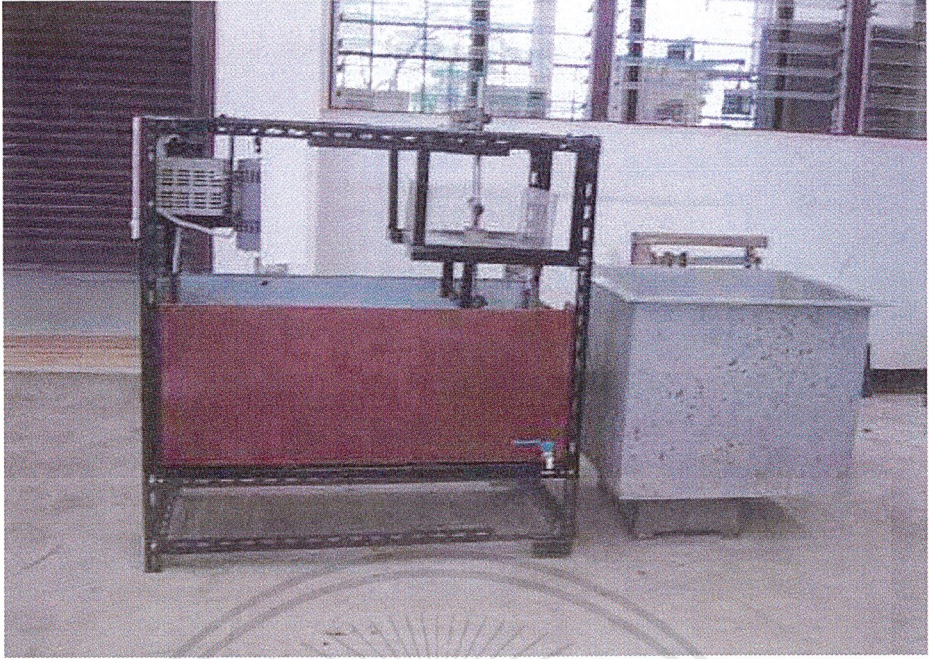
รูปที่5-3 ถังเก็บน้ำ (Reservoir)

6. อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า

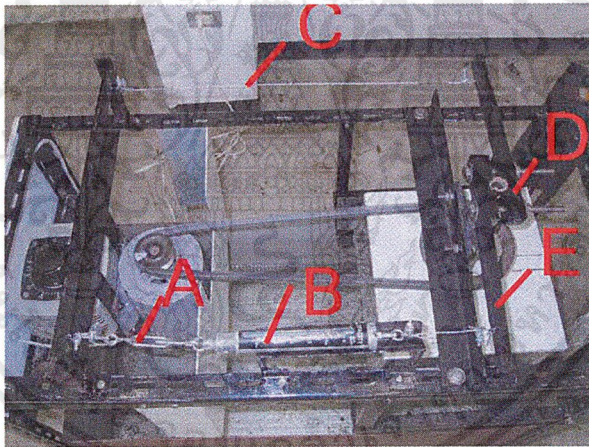


รูปที่5-4 อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า(Variac)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-5 ชุดอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 5-6 ชุดอุปกรณ์วัดค่าแรงบิด (prony brake)

- A : เกรียวสำหรับปรับระยะสลิง
- B : สปริงสำหรับอ่านค่าแรงดึง
- C : สลิงข้างหนึ่งสำหรับช่วยพยุง
- D : ตัวจับยึดกับท่อนโดยมีเกรียว 2 ตัว  
สำหรับปรับแรงจับยึด
- E : แขนข้างหนึ่งของก้านที่ใช้จับแกนท่อน

7. มอเตอร์ 0.5 hp. ติดพูลเลย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว พร้อมทั้งมีแผ่นกันกันน้ำกระเด็น
8. ชุดอุปกรณ์การทดลอง ทำจากเหล็กฉากสำเร็จรูป

จากรูปที่ 5-5 เป็นชุดการทดลองที่พร้อมจะดำเนินการทดลอง โดยมีคางพร้อมถึงที่ใส่น้ำที่สูบได้ เพื่อที่จะหาปริมาตรของเครื่องสูบน้ำได้ภายใน 1 นาที

#### 9. ชุดอุปกรณ์วัดแรงบิด (Prony Break)

- โดยติดหนังไว้ในด้านที่ยึดจับกับแกนท่อนเพื่อให้เกิดการไถลได้
  - มีระยะของแขนแต่ละข้างยาว 20 เซนติเมตร
  - ติดสลิงทั้งสองข้างกับเหล็กที่ยึดกับชุดอุปกรณ์การทดลอง
  - มีสกรูเกลียวปรับระยะที่จับแกนท่อน
  - มีสกรูปรับระยะสลิงกับตาชั่งสปริงเพื่ออ่านค่าแรงบิดที่ได้ออกมาเป็นกิโลกรัม
10. คางพร้อมถึงใส่น้ำที่สูบได้
  11. นาฬิกาจับเวลา
  12. เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)
  13. มัลติมิเตอร์ (Multimeter)
  14. โวลท์-โอห์ม มิเตอร์ (Volt-Ohm Meter)
  15. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

จากรูปที่ 5-6 วิธีที่จะวัดค่าแรงบิด (torque) โดยการติดชุดอุปกรณ์วัดค่าแรงบิดกับแกนของใบพัดต่อรูปตัวที แล้วขันสกรูเกลียวการจับแกนอย่าให้แน่นเกินไป โดยเมื่อเครื่องเดินแล้วจะสามารถหมุนได้ โดยเกิดการสลิปกับหนังที่เราพันไว้รอบแกน แขนของโพนีเบรคจะเกิดการเอียงโดยการหมุนของใบพัดต่อรูปตัวที เราจึงต้องทำการปรับสกรูปรับระยะ โดยพยายามให้แขนของโพนีเบรคกับสลิงตั้งฉากกันอยู่เสมอ จะทำให้เกิดค่าที่สปริงออกมาเป็น กิโลกรัม ซึ่งเราสามารถหาค่าแรงบิดจาก

$$T = FR$$

โดยที่ T : ค่าแรงบิด (N-m)

F : แรง (N)

R : รัศมีแขนของโพนีเบรค (m)

ซึ่งเราทราบค่ารัศมีแขนของโพนีเบรคซึ่งมีค่าเท่ากับ 20 เซนติเมตร และค่าแรงหาได้จากการคำนวณมวลที่ตาชั่งอ่านค่าคูณกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก  $F = mg$



รูปที่ 5-7 เครื่องมือวัดค่าความเร็วรอบ (Tachometer) มัลติมิเตอร์ (Multimeter)  
และโวลท์-โอห์ม มิเตอร์ (Volt-Ohm Meter)



## บทที่ 6

### การทดลอง ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล

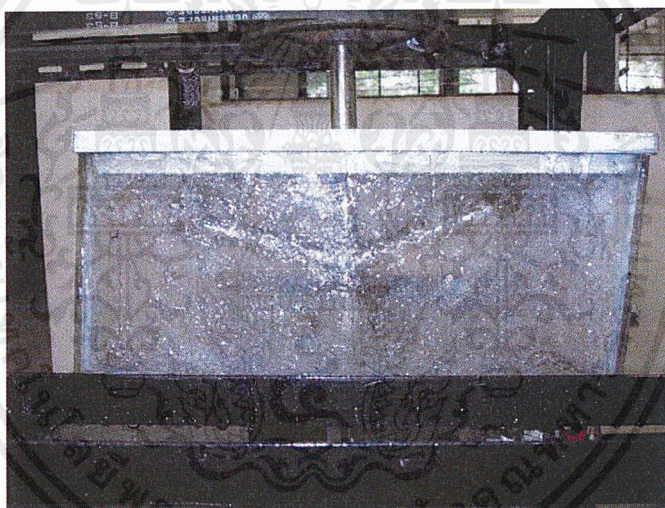
#### 6.1 วิธีการทดลอง

1. ดำเนินการติดใบพัดต่อรูปตัวทีและชุดสายพานกับชุดอุปกรณ์การทดลอง โดยเริ่มจากใบพัดต่อรูปตัวทีที่มีขนาดรัศมีของแกนท่อ 9 cm. พูลเลย์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว
2. ทำการไล่อากาศออกจากใบพัดต่อรูปตัวที (prime) โดยการให้น้ำไหลผ่านท่อแล้วใช้จุกยางอุดด้านล่างของท่อ และปิดปากก้านท่อทางออกด้วยจุกยางที่เจาะรูให้มีพื้นที่ลดลงเล็กน้อย เพื่อป้องกันน้ำกระเด็นออกจากท่อก่อนที่ความเร็วจะเท่ากับที่ต้องการ
3. ทำการเดินเครื่อง เปิดจุกยางที่อุดด้านล่างออก ให้เครื่องสูบน้ำทำงานสูบน้ำจากถังเก็บ (reservoir) โดยปรับ variac ค่าเริ่มแรกของการทดลอง 220 โวลต์ซึ่งเป็นค่า max สูงสุดของการทดลอง
4. ปรับระยะความสูงของการสูบน้ำจากถังเก็บน้ำโดยให้มีระยะการสูบน้ำจากผิวน้ำ 23 เซนติเมตร
5. ทำการวัดปริมาตรของน้ำที่ไหลได้ภายใน 1 นาที โดยต่อก๊อกจากกล่องพลาสติกรองรับน้ำที่สูบได้ (case) มายังถังที่ขังบนตาชั่ง ทำการคำนวณค่าออกมาโดยนำน้ำหนักที่ชั่งได้จากถังทั้งหมด ลบด้วยน้ำหนักถังและหารด้วยความหนาแน่นของน้ำ ( $1,000 \text{ kg/m}^3$ ) จะได้ค่าปริมาตรที่เครื่องสูบน้ำสามารถสูบน้ำได้ภายใน 1 นาที ซึ่งก็คืออัตราการสูบน้ำนั่นเอง
6. วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก โวลท์มิเตอร์ (voltmeter)
7. วัดค่ากระแสไฟฟ้าจากมัลติมิเตอร์ (multimeter)
8. ติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดค่าแรงบิด (prony brake) และทำการวัดค่าแรงบิดที่ได้โดยอ่านค่าจากตาชั่งสปริง พยายามทำให้สลิกับแกนของชุดอุปกรณ์วัดค่าแรงบิด ตั้งฉากและขนานกับทิศทางการหมุนของท่อ
9. ทำการปรับความเร็วรอบของการหมุนของใบพัดต่อรูปตัวทีโดยใช้ Variac ปรับลดค่าแรงดันไฟฟ้าให้ความเร็วรอบลดลงประมาณ 10 rpm. และทำการวัดค่าต่างๆดังข้อ 5, 6, 7, 8 ไปจนกระทั่งไม่สามารถสูบน้ำได้
10. จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ เป็น 7, 8 นิ้ว โดยแต่ละขนาดของพูลเลย์ให้ทำการทดลองวัดค่าตามข้อ 5, 6, 7, 8
11. ทำการปรับระยะความสูงของการสูบน้ำ 30, 40, 50, 60 ตามลำดับ โดยที่แต่ละความสูงให้ทำการทดลองวัดค่าตามข้อ 5, 6, 7, 8, 10
12. ทำการเปลี่ยนท่อเป็นรัศมีของแกนท่อ 11, 13 cm. ตามลำดับ โดยที่แต่ละท่อให้ทำการทดลองวัดค่าตามข้อ 5, 6, 7, 8, 10, 11
13. ทำการหาค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) จากออสซิลโลสโคป (oscilloscope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-1 ใบพัดที่รูปตัวทีขณะที่ชุดอุปกรณ์ทำงาน



รูปที่ 6-2 น้ำถูกสูบขึ้นมาจากถังเก็บน้ำมายังบนกล่องพลาสติก

จากรูปที่ 6-1 และ 6-2 จะเห็นว่าน้ำจะถูกสูบจากถังเก็บน้ำขึ้นมายังบนกล่องพลาสติกรองรับน้ำได้เมื่อเราทำการวัดปริมาตรที่เครื่องสูบสามารถสูบได้ภายใน 1 นาที จะต่อสายยางมายังถังที่อยู่บนตาชั่ง

## 6.2 ผลการทดลอง

ในการดำเนินการทดลอง สามารถหาค่าตัวแปรต่างๆ ได้หลายชุดข้อมูล โดยหลักๆ แล้วแบ่งชุดข้อมูลออกตามความยาวของก้านท่อ ค่าตัวแปรเหล่านั้นได้แสดงอยู่ในตารางที่ 6-1 ถึง 6-3 โดยตารางที่ 6-1 เป็นผลการทดลองของท่อที่มีความยาวก้านท่อ 9 เซนติเมตร ตารางที่ 6-2 เป็นผลการทดลองของท่อที่มี

ความยาวก้านท่อ 11 เซนติเมตร และตารางที่ 6-3 เป็นผลการทดลองของท่อที่ความยาวก้านท่อ 13 เซนติเมตร

ในตารางที่ใช้แสดงผลการทดลองนั้นสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ส่วน คือส่วนที่ได้จากการวัดผลโดยตรง ส่วนที่เป็นค่าทางทฤษฎีที่ควรจะเป็นเมื่อมีสภาวะต่างๆที่กำหนด และส่วนที่นำข้อมูลจากส่วนแรกมาทำการคำนวณหาต่อเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ส่วนที่ได้จากการวัดผลโดยตรง ได้แก่ ค่าน้ำหนักของน้ำที่สามารถดูดขึ้นมาได้รวมกับ น้ำหนักถังที่ใช้บรรจุ (น้ำหนักถังบรรจุเท่ากับ 12.85 กิโลกรัม) ค่าแรงบิดที่อ่านได้จากชุดวัดแรงบิด (Prony Break) ค่ากระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์

ส่วนที่เป็นค่าทางทฤษฎี ค่าทางทฤษฎีที่ได้เป็นค่าจากการคำนวณโดยใช้สมการต่างๆ ในบทที่ 3 และ 4 อธิบายในการคำนวณ โดยให้ตัวแปรต้นคือค่า ความเร็วรอบของท่อ ความสูงที่ใช้ในการดูด

ส่วนที่ต้องเป็นการคำนวณต่อจากผลที่ทำการวัดได้นั้น เพราะว่าข้อมูลที่ได้จากวัดค่าอย่างเดียว นั้นไปเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบกับเครื่องสูบลมที่มีอยู่ทั่วไป อีกทั้งยังต้องนำข้อมูลเหล่านั้นมาวาดกราฟ แสดงความสัมพันธ์ต่างๆตามที่เรากำลังต้องการอีกด้วย ค่าต่างๆเหล่านี้ได้แก่ ค่าเฮดที่น้ำได้รับ ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตร ประสิทธิภาพทั้งหมด(เปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้กับกำลังที่น้ำได้รับ) ค่าความเร็วจำเพาะ

### 6.2.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาผลการทดลอง

การคำนวณเพิ่มเติมจากผลการทดลองทำได้โดยสมการต่อไปนี้

$$Head(m) = h + \frac{\left(\frac{Q}{2A}\right)^2 + (R\omega)^2}{2g}$$

$$P_{electrical} = VI \cos \theta$$

ซึ่งจากการใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) วัดค่าตัวประกอบกำลัง(Power Factor) ได้เท่ากับ 0.37 ซึ่งจะทำให้หาค่า  $\theta = 68$  องศา

$$P_{fluid} = \rho g Q H$$

$$\eta_{vol} = \frac{Q_{actual}}{Q_{theory}} \times 100$$

$$\eta_{total} = \frac{P_{fluid}}{P_{electrical}} \times 100$$

$$N_s = \frac{N\sqrt{60Q}}{H^{3/4}}$$

ได้จากกรวัด										ทางพฤษฏี					ได้จากกรคำนวณ				
ความเร็ว การหมุน (rpm)	ความสูง ในการดูด (m.)	น.น.ของ ไหลรวม กับถัง(kg)	อัตราการ ไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจาก ชุดวัดแรง บิด (kg.)	แรงบิดที่ ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความ ต่างศักย์ (Volt)	ความเร็ว การหมุน สุดท้าย(rad/s)	อัตราการ ไหล(m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เฮด (m)	ประสิทธิภาพ เชิงประมาตร (%)	ความเร็ว จำเพาะ	กำลังงานที่ ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงานทาง ไฟฟ้าที่ใช้ (Watts)	ประสิทธิภาพ ทั้งหมด (%)		
642.7	0.23	30.65	0.000297	4.8	9.4176	3.82	220	23.603201	0.0026054	1.4203658	95.595429	2.121343	11.38651	48.78207	6.173743	634.502	0.973006		
630.7	0.23	30.43	0.000293	1.3	2.5506	2.01	115	23.603201	0.0025499	1.3641317	90.096463	2.051639	11.49073	48.78166	5.897087	174.5183	3.379066		
620.9	0.23	28.92	0.000268	1.6	3.1392	2.08	95	23.603201	0.0025044	1.3198856	85.761097	1.992698	10.69448	46.92978	5.235704	149.188	3.509467		
609.8	0.23	28.24	0.000257	1.1	2.1582	2.27	805	23.603201	0.0024528	1.2686955	81.016493	1.929415	10.45758	46.21016	4.85492	1379.649	0.351895		
599.4	0.23	27.82	0.00025	1.2	2.3544	2.66	75	23.603201	0.0024042	1.2223906	76.728259	1.871625	10.37746	45.83144	4.58098	150.6225	3.041365		
590.6	0.23	27.04	0.000237	1.3	2.5506	2.91	74	23.603201	0.0023631	1.1838239	73.216533	1.822688	10.00809	44.84875	4.228755	162.5817	2.601003		
577.8	0.23	26.67	0.00023	1.3	2.5506	2.99	70.2	23.603201	0.002303	1.1287315	68.296239	1.754284	10.00132	44.56118	3.963927	158.473	2.501327		
567.7	0.23	26.53	0.000228	1.3	2.5506	3.03	69.5	23.603201	0.0022555	1.0860997	64.567982	1.701646	10.10876	44.56665	3.806038	158.9917	2.39386		
560.3	0.23	26.29	0.000224	1.4	2.7468	3.19	69.2	23.603201	0.0022205	1.0553342	61.921186	1.663419	10.0877	44.34749	3.655263	166.6647	2.193183		
550.2	0.23	26.41	0.000226	1.4	2.7468	3.25	69	23.603201	0.0021727	1.0139839	58.422516	1.612857	10.40187	44.76653	3.575801	169.3088	2.112		
552.8	0.23	26.28	0.000224	5	9.81	3.87	220	23.603201	0.002185	1.0246579	59.310716	1.625605	10.24401	44.49843	3.569512	642.807	0.555301		
541.2	0.23	25.69	0.000214	1.2	2.3544	1.86	98	23.603201	0.0021299	0.9777592	55.413848	1.567111	10.04739	43.784	3.289899	137.6214	2.390544		
531.2	0.23	25.46	0.00021	1	1.962	1.94	80	23.603201	0.0020822	0.9381963	52.189174	1.518167	10.0935	43.614	3.130059	117.176	2.671245		
521.2	0.23	25.13	0.000205	1	1.962	2.11	73	23.603201	0.0020343	0.8993554	49.086763	1.46997	10.06083	43.26355	2.951377	116.2927	2.537888		
511.6	0.23	24.67	0.000197	1.2	2.3544	2.69	65	23.603201	0.0019881	0.8627463	46.221311	1.424338	9.908942	42.66084	2.752633	132.0118	2.085143		

ตารางที่ 6 -1 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวก้านท่อ 9 เซนติเมตร

ได้จากการวัด										ทางทฤษฎี							ได้จากทฤษฎีคำนวณ				
ความเร็ว การหมุน (rpm)	ความสูง ในการดูด (m.)	น.น.ของ ไหลรวม กับถัง(kg)	อัตราการ ไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจาก ชุดวัดแรง บิด (kg.)	แรงบิดที่ ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความ ต่างศักย์ (Volt)	ความเร็ว การหมุนต่ำ สุด(rad/s)	อัตราการ ไหล(m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เขต (m)	ประสิทธิภาพ เชิงประมาตร (%)	ความเร็ว จำเพาะ (Watts)	กำลังงานที่ ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงานทาง ไฟฟ้าที่ใช้ (Watts)	ประสิทธิภาพ ทั้งหมด (%)				
499.6	0.23	24.56	0.000195	1.3	2.5506	2.87	63	23.603201	0.0019301	0.8179172	42.791783	1.369228	10.11189	42.71143	2.621503	136.5116	1.920353				
486.4	0.23	23.9	0.000184	1.3	2.5506	2.98	60	23.603201	0.0018658	0.7697987	39.210229	1.309296	9.870543	41.77307	2.365472	134.994	1.752279				
490.7	0.23	23.88	0.000184	2	3.924	1.98	135	23.603201	0.0018868	0.7853366	40.355294	1.328288	9.743122	41.65189	2.395441	201.8115	1.186969				
480.4	0.23	23.79	0.000182	1.2	2.3544	1.82	87	23.603201	0.0018365	0.748339	37.64697	1.282871	9.928515	41.68448	2.294659	119.5467	1.919466				
470.4	0.23	23.07	0.00017	1.1	2.1582	2.03	70	23.603201	0.0017873	0.713144	35.129597	1.238803	9.530229	40.49871	2.070002	107.2855	1.929433				
460.3	0.23	22.65	0.000163	1	1.962	2.04	66	23.603201	0.0017373	0.6783197	32.696708	1.195681	9.401454	39.8513	1.91584	101.6532	1.884682				
449.9	0.23	22.48	0.000161	0.9	1.7658	2.03	60	23.603201	0.0016855	0.6432172	30.30416	1.152603	9.522413	39.68892	1.814779	91.959	1.973466				
439.5	0.23	21.92	0.000151	1.2	2.3544	2.57	56	23.603201	0.0016333	0.6088786	28.023233	1.110023	9.255456	38.70467	1.646104	108.6596	1.514918				
644	0.3	28.75	0.000265	4.7	9.2214	3.82	220	26.956755	0.0025554	1.3958893	94.13811	2.194618	10.37037	45.03656	5.705239	634.502	0.899168				
639	0.3	28.32	0.000258	1.9	3.7278	2.29	147	26.956755	0.0025317	1.3722438	91.824961	2.16467	10.18409	44.53508	5.475197	254.1557	2.154269				
630.6	0.3	28.25	0.000257	1.2	2.3544	1.99	110	26.956755	0.0024919	1.3329271	88.021542	2.116243	10.29984	44.60055	5.328487	165.2695	3.22412				
620.2	0.3	27.67	0.000247	1.1	2.1582	2.1	94	26.956755	0.0024425	1.284957	83.454346	2.056173	10.11239	43.97047	4.982252	149.037	3.342963				
611.6	0.3	27.23	0.00024	1.1	2.1582	2.2	84	26.956755	0.0024016	1.2458802	79.794396	2.007351	9.979584	43.48901	4.719542	139.524	3.382602				

ตารางที่ 6-1 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวเท่ากับ 9 เซนติเมตร (ต่อ)

ได้จากการวัด										ทางฤษฎี										ได้จากการคำนวณ									
ความเร็ว การหมุน (rpm)	ความสูง ในการดูด (m.)	น.น.ของ ไหลรวม กับถัง(kg)	อัตราการ ไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจาก ชุดวัดแรง บิด (kg.)	แรงบิดที่ ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความ ต่างศักย์ (Volt)	ความเร็ว การหมุนต่ำ สุด(rad/s)	อัตราการ ไหล(m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เขต (m)	ประสิทธิภาพ เชิงประมาตร (%)	ความเร็ว จำเพาะ	กำลังงานที่ ขดลวดได้รับ (Watts)	กำลังงานทาง ไฟฟ้าที่ใช้ (Watts)	ประสิทธิภาพ ทั้งหมด (%)												
600.4	0.3	27.16	0.000239	1.1	2.1582	2.5	76	26.956755	0.002348	1.1957905	75.183825	1.94576	10.15752	43.59569	4.552465	143.45	3.173555												
589.5	0.3	26.61	0.000229	1.3	2.5506	2.82	74	26.956755	0.0022957	1.1479113	70.863202	1.886005	9.989788	42.96709	4.243058	157.5534	2.693092												
579.7	0.3	26.38	0.000226	1.3	2.5506	3.07	70	26.956755	0.0022484	1.1055945	67.116264	1.833708	10.02923	42.7912	4.056447	162.2495	2.500129												
568.3	0.3	25.76	0.000215	1.4	2.7468	3.12	70.2	26.956755	0.0021932	1.0572374	62.918561	1.773358	9.81056	42.01878	3.743177	165.3631	2.263611												
557	0.3	25.02	0.000203	4.4	8.6328	3.18	70	26.956755	0.0021382	1.0102246	58.925291	1.714543	9.486156	41.00994	3.411589	168.063	2.029947												
554.4	0.3	25.16	0.000205	5	9.81	3.82	220	26.956755	0.0021255	0.9995368	58.029743	1.701691	9.652612	41.28495	3.424968	634.502	0.539788												
541.8	0.3	24.89	0.000201	1.2	2.3544	1.89	97	26.956755	0.0020637	0.9484269	53.811052	1.638717	9.723531	41.04632	3.225881	138.4142	2.3306												
529.7	0.3	24.32	0.000191	1	1.962	2.02	76	26.956755	0.002004	0.9004105	49.945818	1.57912	9.539272	40.27173	2.961395	115.9076	2.554962												
640.1	0.4	27.31	0.000241	4.8	9.4176	3.81	220	31.12698	0.002454	1.3324033	89.312482	2.269011	9.820708	41.63461	5.364419	632.841	0.847673												
630.2	0.4	26.75	0.000232	1.3	2.5506	2.1	110	31.12698	0.0024055	1.2868735	84.860434	2.21101	9.630689	40.97725	5.024851	174.405	2.88114												
619.5	0.4	26.11	0.000221	1	1.962	2.05	90	31.12698	0.0023528	1.2363701	80.208133	2.149305	9.392879	40.18737	4.659714	139.2975	3.345152												
609.4	0.4	26.08	0.000221	1.1	2.1582	2.38	80	31.12698	0.0023029	1.1903903	75.966207	2.093058	9.574923	40.28064	4.527505	143.752	3.149525												
599.3	0.4	25.68	0.000214	1.1	2.1582	2.52	76	31.12698	0.0022527	1.1451347	71.866991	2.03709	9.492416	39.81072	4.273213	144.5976	2.955245												
588	0.4	25.49	0.000211	1.2	2.3544	2.67	75	31.12698	0.0021962	1.0953578	67.446892	1.976024	9.592478	39.66493	4.08373	151.1888	2.70108												

ตารางที่ 6-1 ผลการทดลองเพื่อใช้ทดสอบความยาวก้านท่อ 9 เซนติเมตร (ต่อ)

ได้จากกรวัด										ได้จากกรคำนวณ									
ทางทฤษฎี					ทางทฤษฎี					ทางทฤษฎี					ทางทฤษฎี				
ความเร็ว การหมุน (rpm)	ความสูง ในการดูด (m.)	น.น.ของ ไหลรวม กับถัง(kg)	อัตราการ ไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจาก ชุดวัดแรง บิด (kg.)	แรงบิดที่ ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความ ต่างศักย์ (Volt)	ความเร็ว การหมุนต่ำ สุด(rad/s)	อัตรา การไหล (m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เขต (m)	ประสิทธิภาพ เชิงประมาทร (%)	ความเร็ว จำเพาะ	กำลังงานที่ ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงานทาง ไฟฟ้าที่ใช้ (Watts)	ประสิทธิภาพ ทั้งหมด (%)		
569	0.4	25.12	0.000205	1.3	2.5506	2.81	74.5	31.12698	0.0021003	1.0136895	60.401236	1.875881	9.736756	39.32155	3.763289	158.0555	2.380992		
541.1	0.5	28.23	0.000256	4.7	9.2214	3.82	215	34.801022	0.0023732	1.2905629	86.643016	2.376654	10.80103	41.53646	5.976406	620.0815	0.96381		
629.4	0.5	27.78	0.000249	2	3.924	2.31	150	34.801022	0.0023138	1.2352826	81.418233	2.308441	10.75431	41.0646	5.63503	261.6075	2.154002		
619.2	0.5	26.47	0.000227	1.3	2.5506	2.17	130	34.801022	0.0022616	1.1878688	77.024348	2.248272	10.03696	39.35799	5.006608	212.9855	2.35068		
609.8	0.5	26.15	0.000222	1.2	2.3544	2.25	92	34.801022	0.0022133	1.1448133	73.105611	2.195391	10.01536	38.99234	4.773987	156.285	3.054668		
599.6	0.5	26.04	0.00022	1.2	2.3544	2.44	85	34.801022	0.0021604	1.098784	68.992609	2.139347	10.17552	38.92899	4.61364	156.587	2.946375		
590	0.5	25.41	0.000209	1.3	2.5506	2.69	80	34.801022	0.0021103	1.0561149	65.251698	2.086555	9.91957	38.0868	4.284866	162.476	2.63723		
580.9	0.5	24.73	0.000198	1.3	2.5506	2.72	78	34.801022	0.0020625	1.0162488	61.820146	2.0372	9.600198	37.13081	3.957016	160.1808	2.470344		
568.9	0.5	24.62	0.000196	1.4	2.7468	2.95	75	34.801022	0.0019988	0.964535	57.462239	1.974559	9.814243	37.05285	3.799831	167.0438	2.274752		

ตารางที่ 6-1 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวต่างกันท่อ 9 เซนติเมตร(ต่อ)

ได้จากกรวัด										ทางพฤษณี										ได้จากกรคำนวณ									
ความเร็ว การหมุน (rpm)	ความสูง ในการดูด (m.)	น.น.ของ ไหลรวม กับถัง(kg)	อัตราการ ไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจากชุด วัดแรงบิด (kg.)	แรงบิดที่ ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความต่าง ศักย์ (Volt)	ความเร็ว การหมุนต่ำ สุด(rad/s)	อัตราการ ไหล(m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เขต (m)	ประสิทธิภาพ ภาพเชิงประ มาตฐ(%)	ความเร็ว จำเพาะ	กำลังงานที่ ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงาน ทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิ ภาพทั้งหมด												
642.7	0.23	34.05	0.00035	4.7	9.2214	3.7898	220	19.31171	0.003257	2.653	178.537	3.054	10.847	40.509	10.585	629.486	1.682												
636.2	0.23	33.85	0.00035	1.9	3.7278	2.2741	145	19.31171	0.003221	2.597	173.015	2.997	10.865	40.476	10.290	248.957	4.133												
628.1	0.23	33.78	0.00035	1.4	2.7468	2.1175	120	19.31171	0.003177	2.528	166.292	2.927	10.981	40.601	10.018	191.846	5.222												
622.2	0.23	33	0.00034	1.3	2.5506	2.0726	102.5	19.31171	0.003144	2.479	161.504	2.875	10.682	39.998	9.473	160.393	5.906												
611.2	0.23	32.79	0.00033	1.2	2.3544	2.0912	90	19.31171	0.003083	2.388	152.821	2.783	10.780	40.054	9.074	142.097	6.385												
600.7	0.23	33.15	0.00034	1.2	2.3544	2.2113	83	19.31171	0.003025	2.302	144.823	2.698	11.186	40.655	8.955	138.571	6.462												
588.7	0.23	32.72	0.00033	1.1	2.1582	2.5064	76	19.31171	0.002958	2.206	136.024	2.600	11.196	40.525	8.448	143.817	5.874												
580.7	0.23	31.36	0.00031	1.4	2.7468	3.001	75.5	19.31171	0.002913	2.144	130.356	2.534	10.589	39.342	7.668	171.065	4.482												
570.9	0.23	31.95	0.00032	1.4	2.7468	3.0017	74.7	19.31171	0.002859	2.068	123.626	2.459	11.136	40.183	7.678	169.291	4.536												
553.4	0.23	31.49	0.00031	1.8	3.5316	1.8102	150	19.31171	0.002761	1.936	112.180	2.325	11.254	40.134	7.084	205.005	3.456												
540.1	0.23	31.22	0.00031	1.1	2.1582	1.6943	100	19.31171	0.002686	1.838	103.960	2.225	11.399	40.175	6.684	127.920	5.225												
530.2	0.23	30.3	0.00029	0.9	1.7658	1.7168	82	19.31171	0.00263	1.767	98.102	2.152	11.058	39.424	6.139	106.287	5.776												
519.9	0.23	29.98	0.00029	0.9	1.7658	1.844	75	19.31171	0.002572	1.694	92.240	2.078	11.101	39.319	5.819	104.417	5.573												
510.4	0.23	29.85	0.00028	0.9	1.7658	1.9231	70	19.31171	0.002518	1.628	87.039	2.011	11.252	39.404	5.590	101.636	5.500												

ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวก้านท่อ 11 เซนติเมตร

ได้จากกรวัด										ทางทฤษฎี										ได้จากกรคำนวณ									
ความเร็ว การหมุน (rpm)	ความสูง ในการจุด (m.)	น.น.ของ ไฮดรอม กับถัง(kg)	อัตรากว ไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจากชุด วัดแรงบิด (kg.)	แรงบิดที่ ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความต่าง ศักย์ (Volt)	ความเร็ว การหมุนต่ำ สุด(rad/s)	อัตรากว ไหล(m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เขต (m)	ประสิทธิภาพ ภาพเงา(% มาตร(%))	ความเร็ว จำเพาะ	กำลังงานที่ ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงาน ทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิภาพ ภาพทั้งหมด (%)												
499.4	0.23	29.63	0.00028	1.1	2.1582	2.3315	65	19.31171	0.002455	1.554	81.259	1.936	11.390	39.421	5.310	114.418	4.641												
490.8	0.23	29.16	0.00027	1.1	2.1582	2.3315	65	19.31171	0.002406	1.497	76.917	1.877	11.296	39.088	5.005	114.418	4.375												
482	0.23	28.6	0.00026	1.2	2.3544	2.5021	64	19.31171	0.002356	1.439	72.633	1.818	11.141	38.638	4.681	120.901	3.872												
494	0.23	28.66	0.00026	3.5	6.867	2.6721	177	19.31171	0.002425	1.518	78.515	1.897	10.867	38.424	4.904	357.086	1.373												
481.4	0.23	28.41	0.00026	1.2	2.3544	1.873	85	19.31171	0.002353	1.435	72.346	1.814	11.023	38.425	4.614	120.200	3.838												
470.8	0.23	28.18	0.00026	1.1	2.1582	2.0088	70	19.31171	0.002292	1.367	67.406	1.745	11.148	38.397	4.373	106.165	4.119												
461.3	0.23	27.64	0.00025	1.3	2.5506	2.6101	64	19.31171	0.002237	1.308	63.168	1.684	11.019	37.953	4.072	126.120	3.229												
451.4	0.23	27.05	0.00024	1.4	2.7468	2.8917	60	19.31171	0.00218	1.247	58.938	1.622	10.857	37.433	3.765	130.994	2.874												
441.8	0.23	26.83	0.00023	1.4	2.7468	2.9786	57	19.31171	0.002124	1.189	55.013	1.563	10.969	37.366	3.573	128.184	2.787												
428.2	0.23	26.06	0.00022	1.4	2.7468	3.0342	55	19.31171	0.002045	1.109	49.745	1.482	10.768	36.645	3.200	125.995	2.540												
641.5	0.3	34.29	0.00036	3.3	6.4746	2.6897	215	22.05553	0.003206	2.606	175.059	3.114	11.146	40.070	10.916	436.606	2.500												
630.2	0.3	34.02	0.00035	1.4	2.7468	2.1089	120	22.05553	0.003143	2.509	165.607	3.016	11.228	40.065	10.439	191.066	5.464												
620.4	0.3	33.26	0.00034	1.3	2.5506	2.1343	103	22.05553	0.003087	2.427	157.684	2.931	11.018	39.566	9.781	165.974	5.893												
610.5	0.3	33	0.00034	1.2	2.3544	2.3116	91	22.05553	0.003032	2.345	149.934	2.848	11.077	39.530	9.383	158.818	5.908												
599	0.3	32.4	0.00033	1.2	2.3544	2.3958	84	22.05553	0.002967	2.252	141.249	2.752	10.983	39.195	8.797	151.942	5.790												

ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวเท่ากับ 11 เซนติเมตร (ต่อ)

ได้จากการวัด										ทางทฤษฎี					ได้จากการคำนวณ				
ความเร็ว การหมุน (rpm)	ความสูง ในการดูด (m.)	น.น.ของ ไหลรวม กับถัง(kg)	อัตราการ ไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจากชุด วัดแรงบิด (kg.)	แรงบิดที่ ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความต่าง ศักย์ (Volt)	ความเร็ว การหมุน สุด(rad/s)	อัตราการ ไหล(m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เสด (m)	ประสิทธิภาพ มาตรา(%)	ความเร็ว จำเพาะ	กำลังงานที่ ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงาน ทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิภาพ ภาพทั้งหมด (%)		
588.9	0.3	32.2	0.00032	1.3	2.5506	2.6419	80	22.05553	0.00291	2.171	133.896	2.671	11.084	39.213	8.449	159.571	5.295		
579.5	0.3	31.98	0.00032	1.3	2.5506	2.8152	76	22.05553	0.002856	2.097	127.279	2.596	11.162	39.194	8.119	161.539	5.026		
569.7	0.3	30.89	0.0003	1.4	2.7468	2.9244	75	22.05553	0.002801	2.022	120.611	2.517	10.736	38.293	7.424	165.594	4.483		
554	0.3	30.71	0.0003	1.5	2.943	3.0234	74.5	22.05553	0.002711	1.903	110.406	2.397	10.980	38.431	7.000	170.059	4.116		
540.4	0.3	30.42	0.00029	1.2	2.3544	1.7467	100	22.05553	0.002633	1.803	102.031	2.296	11.121	38.407	6.595	131.876	5.001		
529.7	0.3	29	0.00027	0.9	1.7658	1.7498	80	22.05553	0.002571	1.726	95.737	2.215	10.467	37.074	5.849	105.688	5.534		
520.7	0.3	29.7	0.00028	0.9	1.7658	1.8823	74	22.05553	0.002519	1.662	90.642	2.153	11.146	38.032	5.931	105.164	5.639		
509.7	0.3	28.26	0.00026	0.9	1.7658	1.9197	70	22.05553	0.002456	1.586	84.654	2.073	10.459	36.625	5.223	101.456	5.148		
500.4	0.3	28.31	0.00026	1	1.962	2.144	65	22.05553	0.002402	1.523	79.794	2.010	10.729	36.864	5.079	105.217	4.828		
488.9	0.3	28.2	0.00026	1.1	2.1582	2.3924	64	22.05553	0.002334	1.446	74.036	1.932	10.960	36.958	4.850	115.601	4.195		
490	0.3	28.11	0.00025	1.6	3.1392	1.8911	115	22.05553	0.002341	1.453	74.575	1.939	10.865	36.831	4.839	164.195	2.947		
479.9	0.3	27.73	0.00025	1.1	2.1582	1.8054	80	22.05553	0.002281	1.387	69.720	1.872	10.870	36.572	4.555	109.046	4.177		
470.5	0.3	27.54	0.00024	1.1	2.1582	2.0928	70	22.05553	0.002226	1.327	65.385	1.812	10.999	36.519	4.351	110.604	3.934		
460.3	0.3	26.92	0.00023	1.4	2.7468	2.8396	62	22.05553	0.002165	1.263	60.880	1.746	10.829	35.943	4.017	132.922	3.022		
450	0.3	26.68	0.00023	1.3	2.5506	2.9736	57	22.05553	0.002104	1.200	56.534	1.682	10.955	35.825	3.804	127.969	2.973		

ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวเท่ากับ 11 เซนติเมตร (ต่อ)

ได้จากการวัด										ทางทฤษฎี							ได้จากการคำนวณ				
ความเร็วในการหมุน (rpm)	ความสูงในการดูด (m.)	น.น.ของไหลรวมกับถัง(kg)	อัตราการไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจากรัดแรงบิด (kg.)	แรงบิดที่ดูด (N.m)	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)	ความเร็วการหมุนต่าสุด(rad/s)	อัตราการไหล(m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เขต (m)	ประสิทธิภาพประมาตร(%)	ความเร็วจำเพาะ	กำลังงานที่ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงานทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิภาพทั้งหมด (%)				
442.1	0.3	26.27	0.00022	1.3	2.5506	3.0314	55	22.05553	0.002057	1.152	53.337	1.634	10.876	35.438	3.585	125.879	2.848				
431.2	0.3	25.84	0.00022	1.4	2.7468	3.0314	55	22.05553	0.001991	1.088	49.115	1.569	10.875	35.060	3.332	125.879	2.647				
642.3	0.4	33.15	0.00034	4.9	9.6138	3.9261	220	25.46753	0.003145	2.560	172.176	3.218	10.757	38.091	10.680	652.125	1.638				
630.4	0.4	33.09	0.00034	1.4	2.7468	2.0564	120	25.46753	0.003077	2.458	162.262	3.115	10.963	38.248	10.309	186.310	5.533				
620.2	0.4	32.86	0.00033	1.2	2.3544	2.1062	100	25.46753	0.003019	2.372	154.064	3.028	11.048	38.217	9.907	159.018	6.230				
609.3	0.4	32.25	0.00032	1.2	2.3544	2.2889	89	25.46753	0.002956	2.282	145.603	2.936	10.939	37.837	9.313	153.803	6.055				
597	0.4	31.9	0.00032	1.2	2.3544	2.4175	82	25.46753	0.002885	2.182	136.421	2.835	11.007	37.717	8.829	149.667	5.899				
553.8	0.4	29.78	0.00028	3.6	7.0632	2.5342	220	25.46753	0.002632	1.847	107.127	2.493	10.719	36.315	6.902	420.931	1.640				
539.9	0.4	29.53	0.00028	1.1	2.1582	1.7249	100	25.46753	0.00255	1.745	98.641	2.390	10.901	36.275	6.518	130.230	5.005				
639	0.5	33.66	0.00035	4.8	9.4176	3.8306	220	28.47356	0.003059	2.477	165.763	3.291	11.336	37.730	11.196	636.263	1.760				
630	0.5	33.02	0.00034	1.9	3.7278	2.2667	144	28.47356	0.003007	2.400	158.351	3.212	11.180	37.295	10.591	246.436	4.298				
620	0.5	32.96	0.00034	1.4	2.7468	2.0723	116	28.47356	0.002948	2.316	150.367	3.127	11.369	37.391	10.281	181.492	5.665				
611	0.5	32.71	0.00033	1.3	2.5506	2.1374	105	28.47356	0.002895	2.241	143.404	3.051	11.434	37.297	9.908	169.442	5.847				
600	0.5	32.51	0.00033	1.2	2.3544	2.1858	95	28.47356	0.00283	2.151	135.176	2.961	11.579	37.274	9.517	156.777	6.070				
590	0.5	32.11	0.00032	1.2	2.3544	2.2933	90	28.47356	0.00277	2.071	127.960	2.879	11.587	37.046	9.066	155.830	5.818				

ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวก้านท่อ 11 เซนติเมตร (ต่อ)

ได้จากการวัด										ทางทฤษฎี										ได้จากการคำนวณ				
ความเร็ว การหมุน (rpm)	ความสูง ในการจุด (m.)	น.น.ของ ไหลรวม กับถัง(kg)	อัตราการ ไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจากชุด วัดแรงบิด (kg.)	แรงบิดที่ ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความต่าง ศักย์ (Volt)	ความเร็ว การหมุน สุด(rad/s)	อัตรา การไหล (m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เสด (m)	ประสิทธิภาพ ภาพเชิงประ มาตร(%)	ความเร็ว จำเพาะ	กำลังงานที่ ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงาน ทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิ ภาพทั้งหมด							
579	0.5	30.94	0.0003	1.2	2.3544	2.3676	85	28.47356	0.002705	1.984	120.308	2.789	11.148	36.082	8.250	151.941	5.430							
569	0.5	30.14	0.00029	1.3	2.5506	2.4874	82	28.47356	0.002644	1.907	113.608	2.710	10.897	35.426	7.660	153.995	4.974							
557	0.5	30.08	0.00029	1.3	2.5506	2.528	80	28.47356	0.002572	1.815	105.881	2.618	11.165	35.522	7.376	152.691	4.830							
550	0.5	29.67	0.00028	5	9.81	3.8432	220	28.47356	0.002529	1.763	101.530	2.565	11.083	35.195	7.053	638.356	1.105							
540	0.5	29.46	0.00028	1.4	2.7468	2.0016	110	28.47356	0.002468	1.689	95.509	2.491	11.215	35.103	6.764	166.233	4.069							
531	0.5	28.59	0.00026	1.3	2.5506	2.0768	93	28.47356	0.002413	1.624	90.284	2.424	10.871	34.297	6.237	145.823	4.277							
520	0.5	28.27	0.00026	1.3	2.5506	2.264	81	28.47356	0.002345	1.545	84.142	2.345	10.959	34.079	5.911	138.455	4.270							
511	0.5	27.26	0.00024	1.3	2.5506	2.3634	76	28.47356	0.002289	1.482	79.313	2.280	10.492	33.061	5.372	135.612	3.961							
499	0.5	27.17	0.00024	1.4	2.7468	2.6459	72	28.47356	0.002214	1.400	73.142	2.198	10.781	33.081	5.146	143.831	3.578							
491	0.5	26.94	0.00023	1.4	2.7468	2.8213	70	28.47356	0.002163	1.346	69.195	2.144	10.856	32.897	4.939	149.106	3.312							
480	0.5	25.94	0.00022	1.5	2.943	2.9317	68	28.47356	0.002093	1.273	63.982	2.070	10.425	31.826	4.430	150.513	2.943							
470	0.5	25.76	0.00022	1.5	2.943	3.0123	67	28.47356	0.002028	1.208	59.452	2.005	10.608	31.692	4.232	152.377	2.778							
469	0.5	25.5	0.00021	1.2	2.3544	1.8635	84	28.47356	0.002022	1.202	59.010	1.998	10.428	31.384	4.133	118.183	3.497							
460	0.5	25.48	0.00021	1.2	2.3544	2.0557	74	28.47356	0.001963	1.144	55.118	1.942	10.723	31.428	4.010	114.852	3.491							
451	0.5	25.42	0.00021	1.2	2.3544	2.1618	70	28.47356	0.001904	1.088	51.380	1.886	11.005	31.416	3.877	114.251	3.393							

ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวเท่ากับ 11 เซนติเมตร (ต่อ)

ได้จากกรวด										ได้จากกากคาร์บอน							
ทางทฤษฎี					ทางปฏิบัติ					ได้จากการคำนวณ							
ความเร็วในการหมุน (rpm)	ความสูงในการดูด (m.)	น.น.ของไหลรวมกับถัง (kg)	อัตราการไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจากชุดวัดแรงบิด (kg.)	แรงบิดที่ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)	ความเร็วการหมุนต่อชุด (rad/s)	อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เขต (m)	ประสิทธิภาพภาพเชิงประมาตรา (%)	ความเร็วจำเพาะ	กำลังงานที่มอเตอร์ได้รับ (Watts)	กำลังงานทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิภาพทั้งหมด (%)
441	0.5	25.02	0.0002	1.5	2.943	2.8399	65	28.47356	0.001837	1.026	47.405	1.825	11.042	30.981	3.632	139.368	2.606
431	0.5	24.38	0.00019	1.6	3.1392	2.9246	64	28.47356	0.001769	0.966	43.611	1.765	10.861	30.220	3.328	141.317	2.355
423	0.5	24.02	0.00019	1.6	3.1392	3.0176	63	28.47356	0.001714	0.919	40.703	1.718	10.859	29.786	3.138	143.532	2.187

ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวเท่ากับ 11 เซนติเมตร (ต่อ)

ได้จากการวัด										ทางทฤษฎี					ได้จากการคำนวณ				
ความเร็ว การหมุน (rpm)	ความสูง ในการดูด (m.)	น.น.ของ ไหลรวม กับถัง(kg)	อัตราการไหล ที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจาก ชุดวิดแรง บิด(kg.)	แรงบิดที่ ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความต่าง ศักย์ (Volt)	ความเร็ว การหมุนต่ำ สุด(rad/s)	อัตรา การไหล (m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เสต (m)	ประสิทธิภาพ มาตร(%)	ความเร็ว จำเพาะ	กำลังงานที่ ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงาน ทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิ ภาพทั้งหมด (%)		
639.7	0.23	40.48	0.000461	4.8	9.4176	3.85	220	16.341	0.003879	2.105	141.000	4.147	11.872	36.593	18.733	639.485	2.929		
630.5	0.23	39.65	0.000447	3.2	6.2784	2.91	189	16.341	0.00382	2.043	134.878	4.033	11.694	36.267	17.673	415.242	4.256		
620	0.23	39.46	0.000444	1.4	2.7468	2.18	110	16.341	0.003752	1.973	128.108	3.909	11.821	36.383	17.005	181.049	9.392		
610.2	0.23	38.56	0.000429	1.3	2.5506	2.21	99	16.341	0.003689	1.909	121.995	3.791	11.617	36.009	15.938	165.186	9.648		
599.6	0.23	38.42	0.000426	1.3	2.5506	2.41	90	16.341	0.00362	1.841	115.602	3.670	11.773	36.161	15.343	163.760	9.369		
590.1	0.23	37.94	0.000418	1.3	2.5506	2.54	85	16.341	0.003558	1.781	110.064	3.561	11.752	36.054	14.610	163.005	8.963		
580	0.23	37.5	0.000411	1.3	2.5506	2.59	82	16.341	0.003493	1.718	104.371	3.448	11.762	35.985	13.898	160.347	8.667		
569.2	0.23	36.15	0.000388	1.4	2.7468	2.86	80	16.341	0.003423	1.653	98.501	3.327	11.346	35.271	12.674	172.744	7.337		
562.5	0.23	35.91	0.000384	1.5	2.943	2.91	79	16.341	0.003379	1.612	94.971	3.254	11.374	35.253	12.270	173.567	7.069		
548.8	0.23	35.56	0.000379	1.5	2.943	3.02	77	16.341	0.00329	1.531	88.013	3.110	11.505	35.318	11.546	175.568	6.576		
551.7	0.23	35.43	0.000376	5	9.81	3.85	220	16.341	0.003309	1.548	89.457	3.139	11.374	35.151	11.590	639.485	1.812		
540.6	0.23	35.62	0.00038	1.3	2.5506	1.82	106	16.341	0.003236	1.484	84.013	3.025	11.726	35.561	11.263	145.655	7.733		
529.4	0.23	32.31	0.000324	1.1	2.1582	1.93	85	16.341	0.003163	1.420	78.746	2.903	10.254	33.208	9.236	123.858	7.457		
520.1	0.23	31.75	0.000315	1.1	2.1582	2.05	76	16.341	0.003102	1.369	74.540	2.809	10.154	32.952	8.681	117.629	7.380		
509.9	0.23	31.46	0.00031	1.1	2.1582	2.23	72	16.341	0.003035	1.313	70.099	2.709	10.219	32.941	8.243	121.223	6.800		

ตารางที่ 6-3 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวก้านท่อ 13 เซนติเมตร

ได้จากการวัด										ทางทฤษฎี					ได้จากการคำนวณ				
ความเร็วในการหมุน (rpm)	ความสูงในการดูด (m.)	น.น.ของไหลรวมกับถัง(kg)	อัตราการไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงดันดูด (kg.)	แรงบิดที่ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)	ความเร็วการหมุนต่ำสุด(rad/s)	อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เมตร (m)	ประสิทธิภาพประมาตร(%)	ความเร็วจำเพาะ	กำลังงานที่ขอลงไหลได้รับ (Watts)	กำลังงานทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิภาพทั้งหมด (%)		
501.4	0.23	30.86	0.0003	1.1	2.1582	2.33	70	16.341	0.002979	1.267	66.534	2.626	10.075	32.614	7.734	123.141	6.281		
491.6	0.23	30.72	0.000298	1.2	2.3544	2.46	68	16.341	0.002915	1.215	62.573	2.534	10.218	32.718	7.404	126.296	5.863		
481.7	0.23	30.33	0.000291	1.3	2.5506	2.67	66	16.341	0.00285	1.164	58.731	2.442	10.224	32.599	6.980	133.046	5.246		
490.9	0.23	30.19	0.000289	2.3	4.5126	2.14	144	16.341	0.00291	1.212	62.296	2.526	9.930	32.257	7.163	232.661	3.079		
480.1	0.23	30	0.000286	1.2	2.3544	1.76	90	16.341	0.002839	1.156	58.125	2.427	10.068	32.334	6.805	119.592	5.690		
470.1	0.23	29.78	0.000282	1.1	2.1582	2.01	74	16.341	0.002773	1.106	54.429	2.337	10.176	32.364	6.468	112.299	5.760		
460.6	0.23	29.51	0.000278	1.2	2.3544	2.4	66	16.341	0.00271	1.059	51.063	2.253	10.247	32.333	6.136	119.592	5.131		
451.6	0.23	29.15	0.000272	1.4	2.7468	2.98	61	16.341	0.00265	1.015	48.002	2.174	10.252	32.201	5.795	137.244	4.222		
440.1	0.23	28.97	0.000269	1.5	2.943	3.01	60	16.341	0.002573	0.961	44.268	2.077	10.442	32.297	5.474	136.353	4.015		
432.3	0.23	27.98	0.000252	1.5	2.943	3.11	58	16.341	0.002521	0.924	41.846	2.011	10.003	31.492	4.974	136.187	3.652		
639	0.3	39.31	0.000441	4.9	9.6138	3.93	220	18.662	0.003837	2.080	139.165	4.204	11.494	35.404	18.187	652.773	2.786		
630	0.3	38.33	0.000425	1.8	3.5316	2.31	135	18.662	0.003778	2.019	133.205	4.093	11.240	34.949	17.050	235.447	7.242		
620	0.3	38.51	0.000428	1.4	2.7468	2.19	113	18.662	0.003713	1.953	126.783	3.975	11.518	35.278	16.678	186.840	8.926		
610.9	0.3	37.99	0.000419	1.3	2.5506	2.18	102	18.662	0.003654	1.893	121.118	3.868	11.468	35.121	15.897	167.882	9.469		
599.8	0.3	37.51	0.000411	1.3	2.5506	2.33	93	18.662	0.003581	1.822	114.435	3.739	11.477	35.029	15.076	163.601	9.215		

ตารางที่ 6-3 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวก้านท่อ 13 เซนติเมตร (ต่อ)

ได้จากกราฟวัด										ทางทฤษฎี					ได้จากภาคคำนวณ				
ความเร็วในการหมุน (rpm)	ความสูงในการดูด (m.)	น.น.ของไฮดรอมกับถัง(kg)	อัตราการไหลที่ได้ (m <sup>3</sup> /s)	แรงจากชุดวัดแรงบิด (kg.)	แรงบิดที่ได้ (N.m)	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)	ความเร็วการหมุนต่ำสุด(rad/s)	อัตราการไหล(m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เสด (m)	ประสิทธิภาพประมาตร(%)	ความเร็วจำเพาะ	กำลังงานที่ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงานทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิภาพทั้งหมด (%)		
590.2	0.3	36.97	0.000402	1.2	2.3544	2.36	85.5	18.662	0.003518	1.761	108.855	3.629	11.427	34.859	14.313	152.344	9.395		
580.8	0.3	36.6	0.000396	1.3	2.5506	2.45	85	18.662	0.003456	1.703	103.566	3.524	11.452	34.798	13.685	157.229	8.704		
569.1	0.3	36.34	0.000392	1.3	2.5506	2.62	81	18.662	0.003379	1.631	97.222	3.396	11.585	34.864	13.044	160.226	8.141		
563.1	0.3	35.36	0.000375	1.4	2.7468	2.71	80	18.662	0.00334	1.595	94.070	3.329	11.233	34.279	12.253	163.684	7.485		
547.6	0.3	34.68	0.000364	1.4	2.7468	2.81	79	18.662	0.003238	1.504	86.236	3.164	11.238	34.101	11.295	167.602	6.739		
553.2	0.3	33.52	0.000345	5	9.81	3.81	220	18.662	0.003275	1.537	89.015	3.219	10.520	33.092	10.880	632.841	1.719		
539.9	0.3	33.08	0.000337	1.3	2.5506	1.84	104	18.662	0.003187	1.459	82.509	3.081	10.581	33.022	10.190	144.477	7.053		
529.8	0.3	32.25	0.000323	1.1	2.1582	1.9	85	18.662	0.00312	1.402	77.781	2.977	10.364	32.563	9.442	121.933	7.743		
520.5	0.3	31.89	0.000317	1.1	2.1582	2.02	77	18.662	0.003058	1.350	73.586	2.883	10.378	32.458	8.976	117.433	7.644		
510.1	0.3	31.57	0.000312	1.1	2.1582	2.16	73	18.662	0.002989	1.293	69.073	2.781	10.440	32.405	8.513	119.048	7.151		
497.3	0.3	30.89	0.000301	1.1	2.1582	2.26	70	18.662	0.002903	1.225	63.770	2.658	10.357	32.087	7.840	119.441	6.564		
489.5	0.3	30.33	0.000291	1.2	2.3544	2.45	66	18.662	0.002851	1.184	60.672	2.584	10.220	31.756	7.385	122.084	6.049		
482.4	0.3	29.6	0.000279	1.3	2.5506	2.82	65	18.662	0.002803	1.147	57.939	2.517	9.960	31.243	6.893	138.392	4.981		
490.4	0.3	29.48	0.000277	1.9	3.7278	2.03	130	18.662	0.002857	1.188	61.025	2.590	9.702	30.974	7.043	199.245	3.535		
479.4	0.3	29.35	0.000275	1.2	2.3544	1.93	82	18.662	0.002783	1.132	56.808	2.489	9.882	31.074	6.715	119.486	5.620		

ตารางที่ 6-3 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวเท่ากับ 13 เซนติเมตร (ต่อ)

ได้จากการวัด										ทางทฤษฎี										ได้จากการคำนวณ				
ความเร็วในการหมุน (rpm)	ความสูงในการดูด (m.)	น.น.ของไหลรวมกับถัง(kg)	อัตราการไหลที่ได้อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /s)	แรงดันดูด (kg.)	แรงบิดที่ได้อัตราการไหล (N.m)	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)	ความเร็วในการหมุนต่อวินาที (rad/s)	อัตราการใช้พลังงาน (m/s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เขต (m)	ประสิทธิภาพประมาศ (%)	ความเร็วเฉพาะ	กำลังงานที่ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงานทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิภาพทั้งหมด (%)							
469.9	0.3	29.3	0.000274	1.5	2.943	2.89	70	18.662	0.002719	1.084	53.322	2.404	10.085	31.218	6.465	152.737	4.233							
461.8	0.3	28.77	0.000265	1.1	2.1582	2.19	64	18.662	0.002664	1.043	50.461	2.331	9.961	30.882	6.069	105.821	5.735							
451.5	0.3	28.09	0.000254	1.4	2.7468	3.01	60	18.662	0.002594	0.993	46.969	2.241	9.792	30.430	5.584	136.353	4.096							
438.9	0.3	27.63	0.000246	1.5	2.943	3.21	56	18.662	0.002508	0.934	42.913	2.134	9.822	30.218	5.158	135.719	3.800							
427.9	0.3	27.3	0.000241	1.5	2.943	3.22	55	18.662	0.002432	0.883	39.561	2.044	9.901	30.095	4.828	133.711	3.611							
639.8	0.4	38.32	0.000425	4.9	9.6138	3.93	220	21.549	0.003788	2.056	137.731	4.310	11.207	34.134	17.949	652.773	2.750							
629.6	0.4	36.8	0.000399	1.7	3.3354	2.31	131	21.549	0.00372	1.987	131.000	4.183	10.729	33.313	16.379	228.471	7.169							
619.7	0.4	36.37	0.000392	1.4	2.7468	2.22	108	21.549	0.003655	1.921	124.677	4.065	10.725	33.200	15.631	181.019	8.635							
609.9	0.4	35.71	0.000381	1.3	2.5506	2.39	97	21.549	0.00359	1.857	118.616	3.949	10.613	32.919	14.759	175.032	8.432							
599.3	0.4	35.28	0.000374	1.3	2.5506	2.48	89	21.549	0.003519	1.789	112.280	3.826	10.622	32.807	14.032	166.644	8.421							
590.8	0.4	34.91	0.000368	1.3	2.5506	2.56	85	21.549	0.003463	1.735	107.361	3.730	10.618	32.695	13.452	164.288	8.188							
581.2	0.4	34.56	0.000362	1.3	2.5506	2.73	81	21.549	0.003399	1.676	101.977	3.622	10.646	32.614	12.858	166.953	7.702							
571.9	0.4	33.99	0.000352	1.4	2.7468	2.79	80	21.549	0.003336	1.619	96.931	3.519	10.560	32.360	12.165	168.516	7.219							
559.3	0.4	33.17	0.000339	1.4	2.7468	2.89	78	21.549	0.003252	1.543	90.357	3.383	10.415	31.965	11.238	170.192	6.603							
549.4	0.4	32.94	0.000335	1.4	2.7468	2.93	76	21.549	0.003185	1.484	85.399	3.278	10.512	31.963	10.768	168.123	6.405							

ตารางที่ 6-3 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวต่างกันที่ 13 เซนติเมตร (ต่อ)

ได้จากการวัด										ทางทฤษฎี					ได้จากการคำนวณ				
ความเร็วในการหมุน (rpm)	ความสูงในการดูด (m.)	น.น.ของไหลรวมกับถัง(kg)	อัตราการไหลที่ดูด (m <sup>3</sup> /s)	แรงจากชุดวัดแรงบิด (kg.)	แรงบิดที่ดูด (N.m)	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)	ความเร็วการหมุนต่ำสุด(rad/s)	อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เสด (m)	ประสิทธิภาพเชิงประมาตร(%)	ความเร็วจำเพาะ	กำลังงานที่ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงานทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิภาพทั้งหมด (%)		
554.2	0.4	32.81	0.000333	4.9	9.6138	3.41	220	21.549	0.003218	1.513	87.780	3.328	10.339	31.777	10.861	566.401	1.917		
540.8	0.4	32.28	0.000324	1.3	2.5506	1.83	105	21.549	0.003127	1.434	81.238	3.188	10.356	31.597	10.127	145.073	6.981		
530.7	0.4	31.64	0.000313	1	1.962	1.8	87	21.549	0.003059	1.377	76.520	3.084	10.239	31.259	9.475	118.233	8.014		
518.9	0.4	30.9	0.000301	1	1.962	1.92	77	21.549	0.002978	1.311	71.237	2.965	10.100	30.851	8.751	111.619	7.840		
511.1	0.4	30.15	0.000288	1.2	2.3544	2.42	71	21.549	0.002925	1.268	67.877	2.888	9.857	30.348	8.168	129.724	6.296		
499.7	0.4	29.54	0.000278	1.1	2.1582	2.22	69	21.549	0.002847	1.207	63.152	2.777	9.770	30.006	7.579	115.651	6.553		
487.8	0.4	28.9	0.000268	1.1	2.1582	2.33	68	21.549	0.002765	1.144	58.450	2.665	9.673	29.629	6.993	119.622	5.846		
480.1	0.4	28.41	0.000259	1.3	2.5506	2.51	68.5	21.549	0.002712	1.104	55.530	2.593	9.562	29.304	6.598	129.811	5.083		
638	0.5	35.84	0.000383	4.8	9.4176	3.85	220	24.093	0.003721	2.014	134.531	4.380	10.298	31.949	16.465	639.485	2.575		
630	0.5	35.14	0.000372	1.9	3.7278	2.35	144	24.093	0.003667	1.960	129.286	4.282	10.131	31.596	15.607	255.492	6.109		
620	0.5	35.06	0.00037	1.4	2.7468	2.18	115	24.093	0.0036	1.893	122.918	4.164	10.283	31.697	15.121	189.279	7.989		
610	0.5	34.51	0.000361	1.3	2.5506	2.26	101	24.093	0.003532	1.828	116.756	4.046	10.220	31.468	14.330	172.336	8.315		
600	0.5	34.29	0.000357	1.3	2.5506	2.35	92	24.093	0.003465	1.763	110.797	3.931	10.313	31.467	13.781	163.231	8.443		
591	0.5	33.81	0.000349	1.4	2.7468	2.72	83	24.093	0.003404	1.706	105.606	3.829	10.263	31.260	13.121	170.449	7.698		
579	0.5	33.73	0.000348	1.4	2.7468	2.95	79	24.093	0.003322	1.632	98.930	3.696	10.475	31.387	12.617	175.953	7.171		

ตารางที่ 6-3 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวก้านท่อ 13 เซนติเมตร (ต่อ)

ได้จากกรวัด										ทางทฤษฎี					ได้จากกรคำนวณ				
ความเร็วในการหมุน (rpm)	ความสูงในการดูด (m.)	น.น.ของไหลรวมกับถัง(kg)	อัตราการไหลที่ได้อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /s)	แรงจลน์ (kg.)	แรงบิดที่ได้อัตราการไหล (N.m)	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)	ความเร็วการหมุนต่อชุด(rad/s)	อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /s)	แรงบิด (N.m)	กำลังงาน (Watts)	เมตร (m)	ประสิทธิภาพประมาตร(%)	ความเร็วจำเพาะ	กำลังงานที่ของไหลได้รับ (Watts)	กำลังงานทางไฟฟ้า (Watts)	ประสิทธิภาพทั้งหมด (%)		
571	0.5	33.14	0.000338	1.4	2.7468	2.7	81	24.093	0.003268	1.583	94.635	3.607	10.349	31.073	11.967	165.119	7.248		
560	0.5	32.39	0.000326	1.4	2.7468	2.79	80	24.093	0.003192	1.516	88.926	3.488	10.201	30.671	11.143	168.516	6.612		
550	0.5	32.74	0.000332	5	9.81	3.85	220	24.093	0.003124	1.457	83.932	3.384	10.613	31.089	11.005	639.485	1.721		
540	0.5	32.47	0.000327	1.6	3.1392	2.1	117	24.093	0.003055	1.399	79.122	3.280	10.705	31.032	10.523	185.504	5.672		
530	0.5	31.99	0.000319	1.3	2.5506	2.08	96	24.093	0.002985	1.342	74.490	3.178	10.685	30.806	9.945	150.758	6.597		
520	0.5	31.87	0.000317	1.3	2.5506	2.23	85	24.093	0.002916	1.286	70.035	3.078	10.872	30.857	9.573	143.110	6.689		
510	0.5	31.1	0.000304	1.3	2.5506	2.33	80	24.093	0.002846	1.231	65.752	2.979	10.688	30.382	8.890	140.732	6.317		
499	0.5	30.27	0.00029	1.5	2.943	2.73	75	24.093	0.002769	1.172	61.237	2.872	10.486	29.850	8.181	154.586	5.292		
491	0.5	29.42	0.000276	1.6	3.1392	3.15	72	24.093	0.002712	1.130	58.080	2.796	10.182	29.233	7.574	171.234	4.423		
479	0.5	29.21	0.000273	1.8	3.5316	3.45	70	24.093	0.002627	1.067	53.538	2.685	10.380	29.207	7.183	182.333	3.939		
469	0.5	28.57	0.000262	1.9	3.7278	3.65	69	24.093	0.002555	1.017	49.929	2.594	10.253	28.766	6.668	190.147	3.507		

ตารางที่ 6-3 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อที่มีความยาวต่างกันที่ 13 เซนติเมตร (ต่อ)

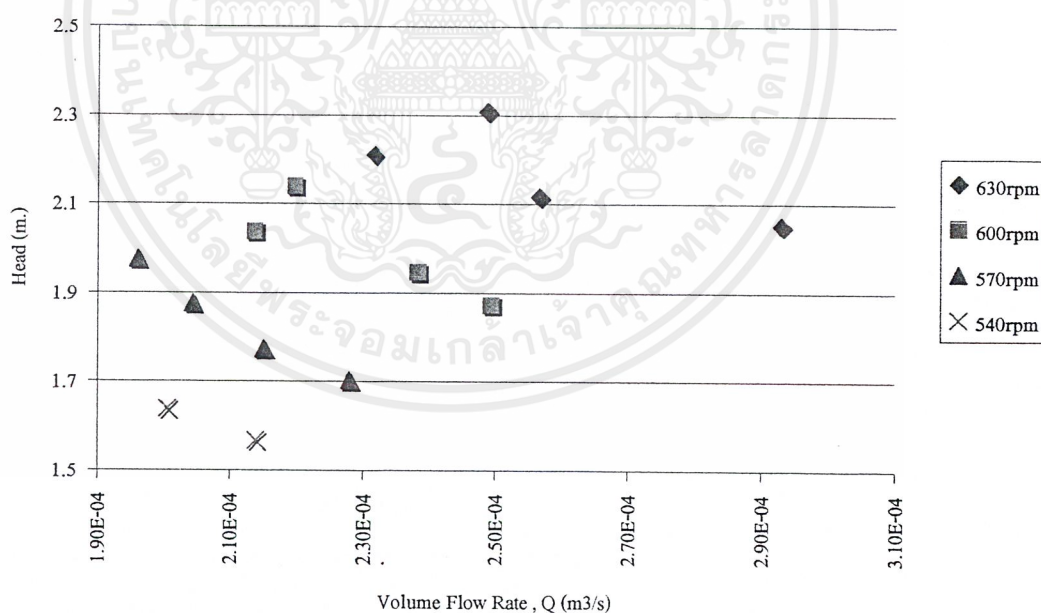
### 6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

โดยทั่วไปการเลือกใช้เครื่องสูบน้ำจะต้องคำนึงถึงค่า เสด(Head) อัตราการไหล ประสิทธิภาพ และค่าอื่นๆอีกหลายค่า ซึ่งตามปกติแล้วผู้ผลิตเครื่องสูบน้ำจะทำการบันทึกข้อมูลเหล่านี้ไว้ในรูปความสัมพันธ์ที่เปรียบเทียบค่าทุกค่ากับอัตราการไหล โดยการบันทึกจะกระทำที่ค่าความเร็วในการหมุนใบพัดคงที่ ที่ค่าต่างๆ

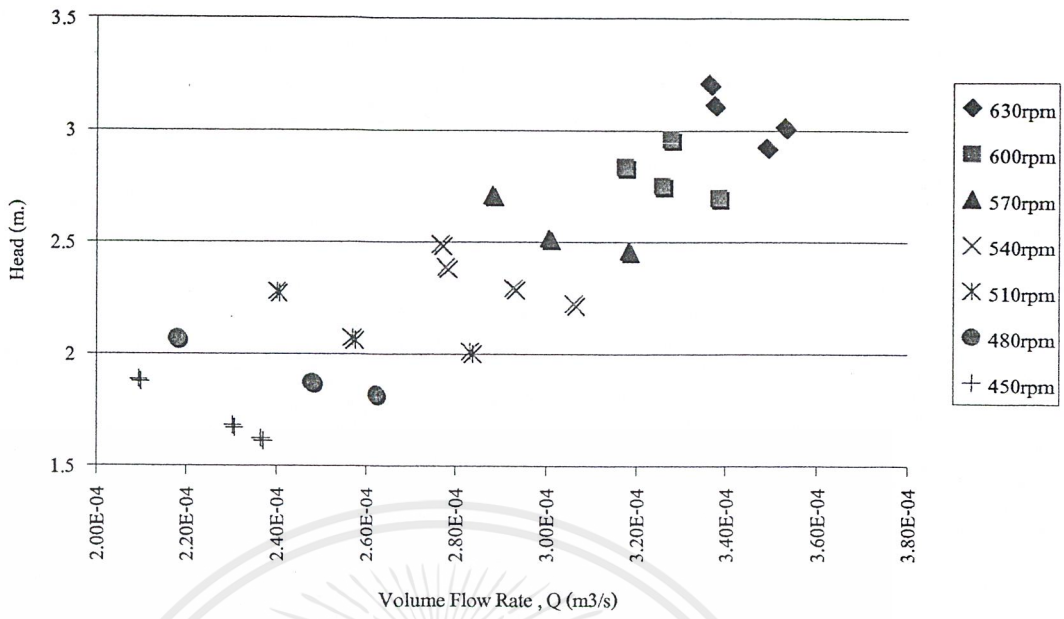
เส้นแสดงคุณลักษณะ(Characteristic Curve) ของเครื่องสูบน้ำชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยทั่วไปจะแสดงเป็น 3 เส้น คือ เสด กำลังงานที่ของไหลได้รับ และประสิทธิภาพ โดยทุกค่าทำการเขียนกราฟเปรียบเทียบกับอัตราการไหล ดังนั้นในหัวข้อนี้จะนำข้อมูลบางส่วนมาเขียนเป็นเส้นแสดงคุณลักษณะเครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่มีใบพัดเป็นท่อคั่วที่ การเขียนกราฟจะแบ่งออกเป็นสามกราฟต่อหนึ่งความสัมพันธ์คือ แยกตามความยาวก้านท่อที่ใช้ทำการทดลองซึ่งมีขนาดยาว 9 , 11 และ 13 เซนติเมตร

#### 6.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเสดกับอัตราการไหล

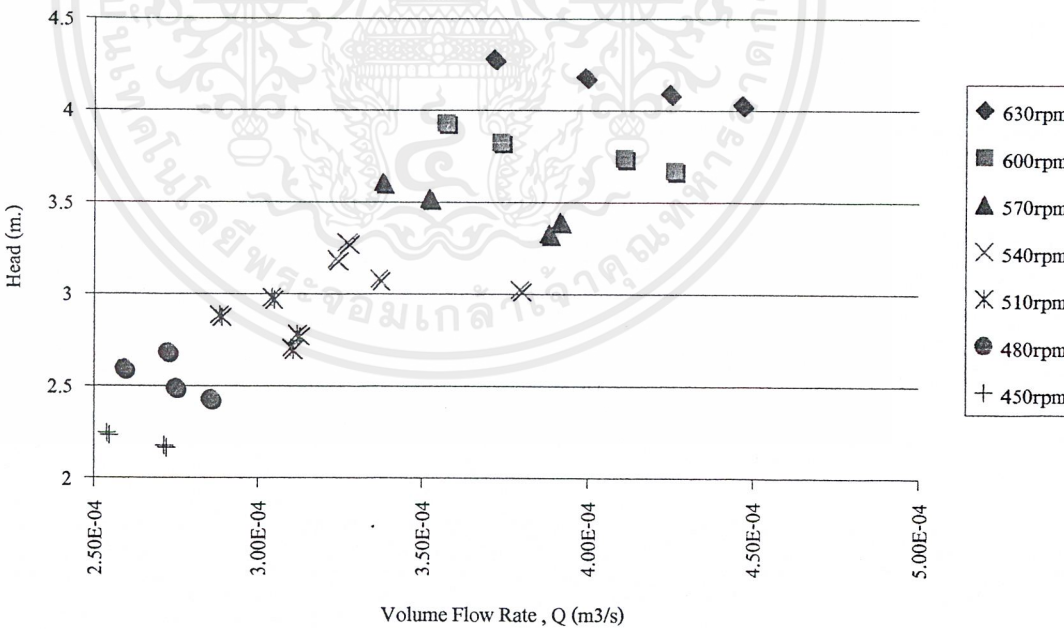
จากข้อมูลที่ได้จากตารางบันทึกผลข้อมูล และการคำนวณเพิ่มเติม นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เสดที่น้ำเพิ่มขึ้น เทียบกับอัตราการไหล โดยการเขียนจะเขียนแยกตามความเร็วในการหมุนต่างๆ จะเป็นดังนี้



รูปที่ 6-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลกับเสด ที่ความเร็วรอบต่างๆ  
เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 9 เซนติเมตร

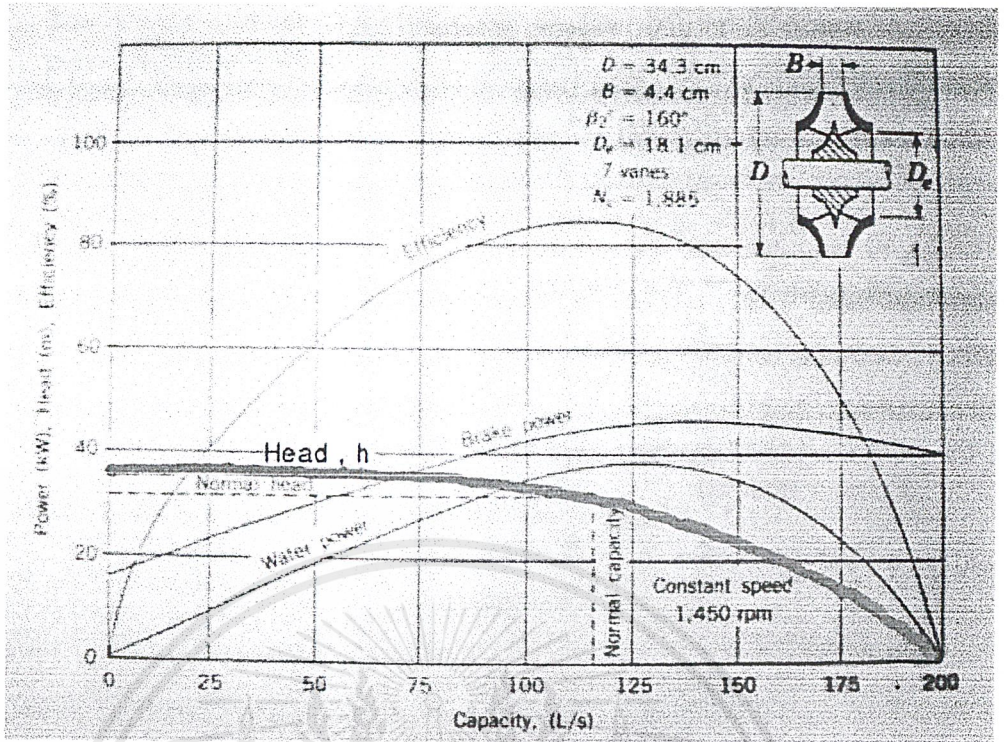


รูปที่ 6-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลกับเฮด ที่ความเร็วรอบต่างๆ  
เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 11 เซนติเมตร



รูปที่ 6-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลกับเฮด ที่ความเร็วรอบต่างๆ  
เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 13 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง เสดกับอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงโดยทั่วไป

สำหรับค่าความยาวก้านท่อ 9 เซนติเมตร ค่าจากการทดลองที่นำมาทำการวาดกราฟจะมีความเร็วในการหมุนเท่ากับ 540 จนถึง 630 รอบต่อนาที ที่ความเร็วการหมุนนี้จะทำให้เกิดอัตราการไหลระหว่าง 0.0002 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ถึง 0.0003 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และให้ค่าเสดระหว่าง 1.5 ถึง 3 เมตร

สำหรับท่อที่มีความยาวก้านท่อ 11 เซนติเมตร จะได้ค่าความเร็วการหมุนที่ 450 รอบต่อนาที ถึง 630 รอบต่อนาที ซึ่งทำให้ได้อัตราการไหลระหว่าง 0.0002 ถึง 0.00038 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และได้เสดที่ 1.5 ถึง 3.5 เมตร

และเมื่อความยาวก้านท่อเท่ากับ 13 เซนติเมตร มีค่าความเร็วในการหมุน ระหว่าง 450 รอบต่อนาที ถึง 630 รอบต่อนาที ทำให้เกิดอัตราการไหล 0.00025 ถึง 0.00045 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และได้ค่าเสดในการไหลเท่ากับ 2 ถึง 4.5 เมตร

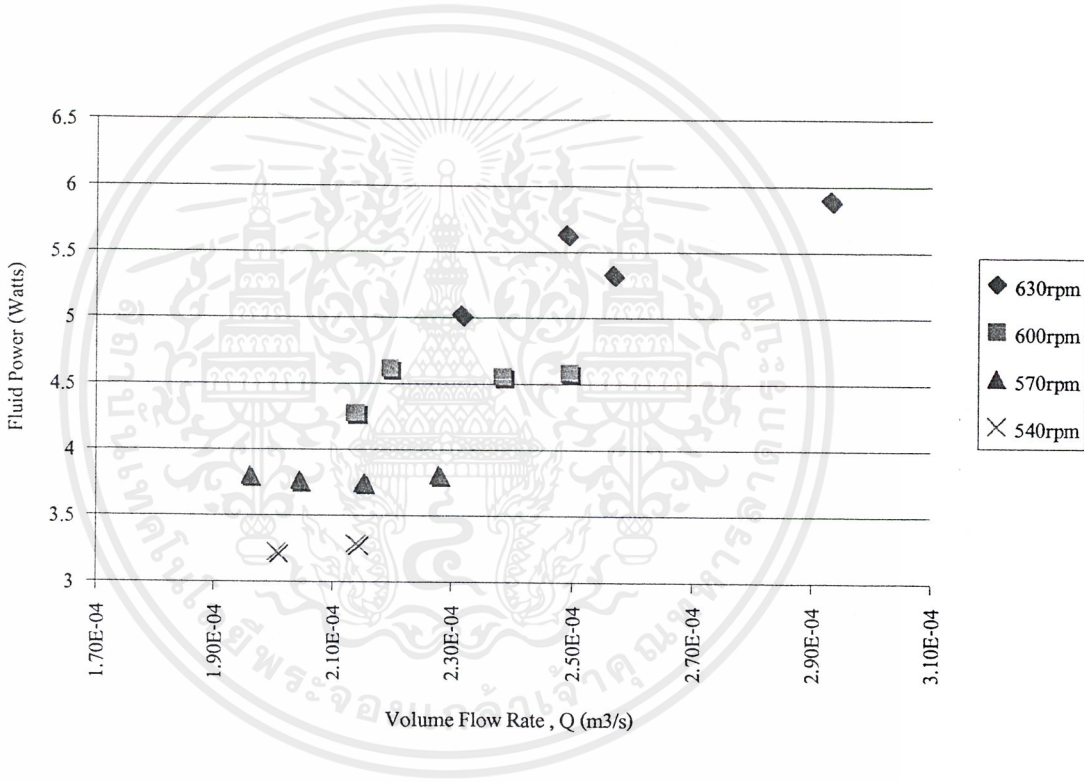
เมื่อพิจารณา กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเสดกับอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงทั่วไป จะมีลักษณะ ผกผันกัน คือเมื่อต้องการค่าเสดมาก จะทำให้อัตราการไหลลดลงไป และเมื่อต้องการให้อัตราการไหลมากขึ้น ค่าเสดจะลดลง โดยที่ลักษณะการลดจะลดลงเพียงเล็กน้อยในช่วงที่มีอัตราการไหลต่ำ แต่เมื่ออัตราการไหลเข้าใกล้กับการไหลสูงสุด ค่าเสดที่ได้จะลดลงอย่างรวดเร็ว

การเปรียบเทียบกราฟของค่าที่ได้จากการทดลองกับกราฟของเครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโดยทั่วไป จะทำให้เห็นได้ว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ เสดลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น แม้ว่ากราฟที่ได้จากการทดลอง จะมีจำนวนข้อมูลน้อย ไม่สามารถเขียนเป็นเส้นโค้งแบบเดียวกับกราฟเครื่องสูบน้ำโดยทั่วไปได้

จากการกราฟที่เขียนขึ้นจากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วในการหมุนมีค่ามากขึ้นจะทำให้เฮดเพิ่มขึ้นด้วย และถ้ามองในอีกลักษณะคือที่ความเร็วในการหมุนคงที่ จะได้อัตราการไหลและเฮดมากขึ้นเมื่อรัศมีด้านท่อเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ทั้งหมดเป็นไปตามทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ ที่ได้นำเสนอไปในบทที่ 4

**5.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหล**

จากข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง และการคำนวณเพิ่มเติม นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ กำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหล โดยเขียนกราฟแยกตามความเร็วในการหมุนคงที่ต่างๆ กัน จำได้เป็นลักษณะดังนี้

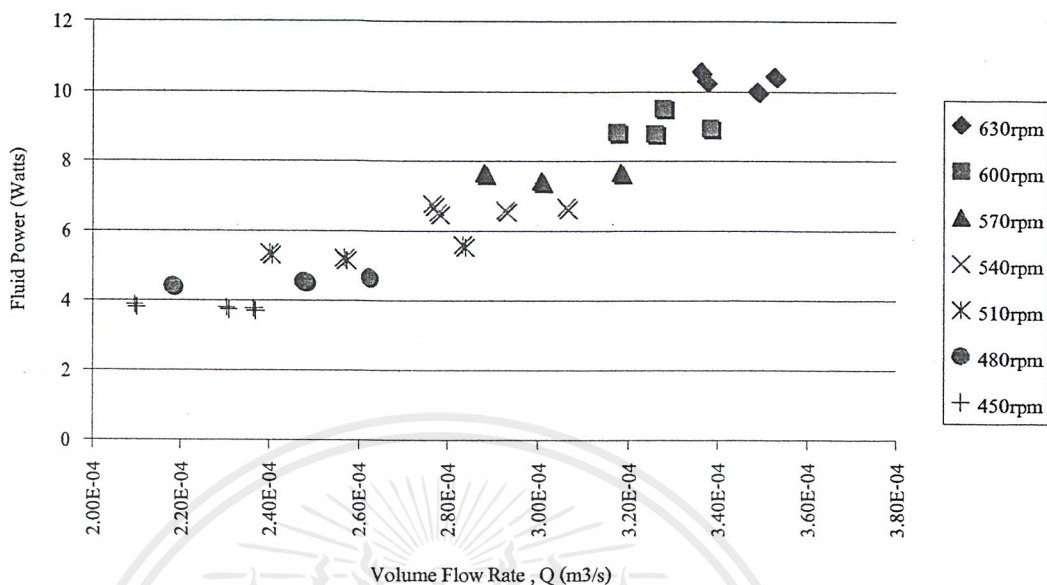


**รูปที่ 6-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 9 เซนติเมตร**

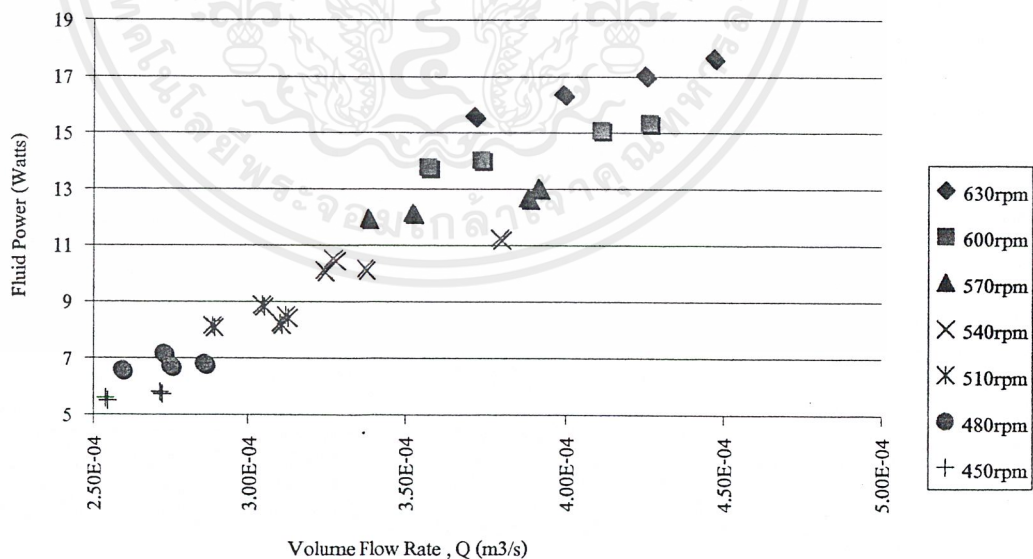
เมื่อท่อมีความยาวก้านท่อเท่ากับ 9 เซนติเมตร จากการทดลองจะให้ความเร็วในการหมุนระหว่าง 540 ถึง 630 รอบต่อนาที จะได้ว่าเกิดอัตราการไหลของน้ำที่ประมาณ 0.0002 ถึง 0.0003 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถให้กำลังงานแก่ของไหลได้ตั้งแต่ประมาณ 3 ถึง 6 วัตต์

เมื่อท่อมีความยาวก้านท่อเท่ากับ 11 เซนติเมตร จากการทดลองจะให้ความเร็วในการหมุนระหว่าง 450 ถึง 630 รอบต่อนาที จะได้ว่าเกิดอัตราการไหลของน้ำที่ประมาณ 0.0002 ถึง 0.00038 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถให้กำลังงานแก่ของไหลได้ตั้งแต่ประมาณ 4 ถึง 10 วัตต์

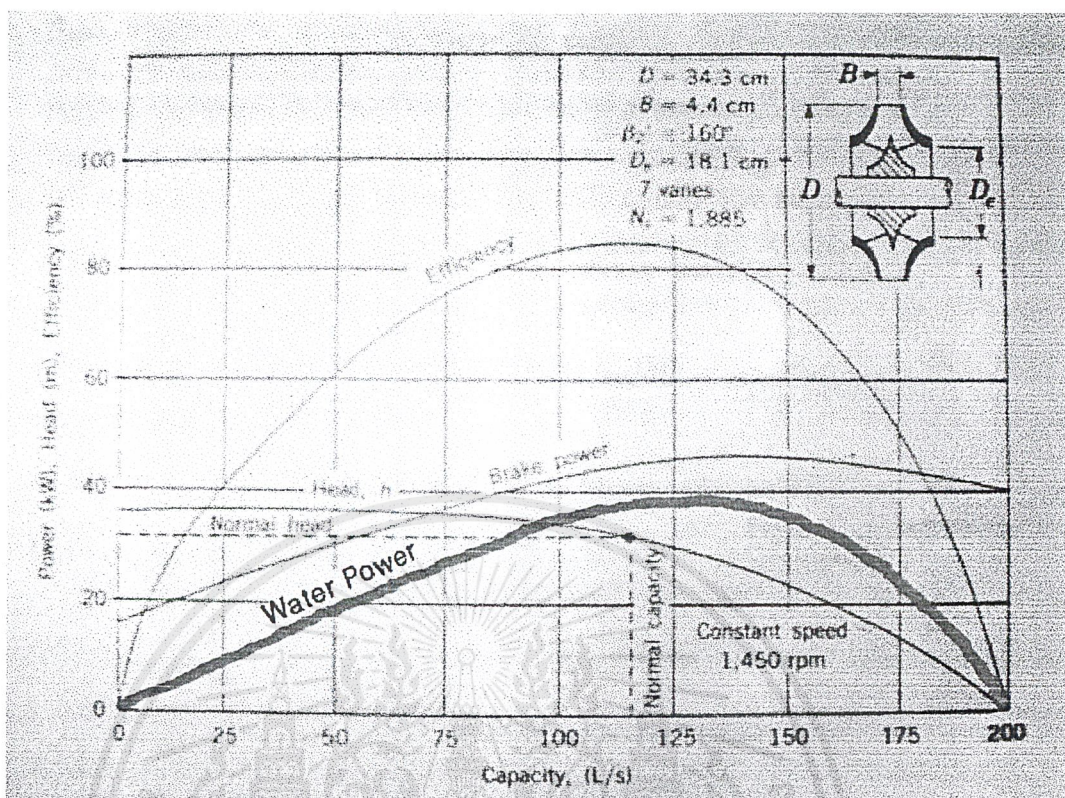
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหล ที่ความเร็รรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 11 เซนติเมตร



รูปที่ 6-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหล ที่ความเร็รรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 13 เซนติเมตร



รูปที่ 6-10 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหล ของเครื่องสูบน้ำทั่วไป

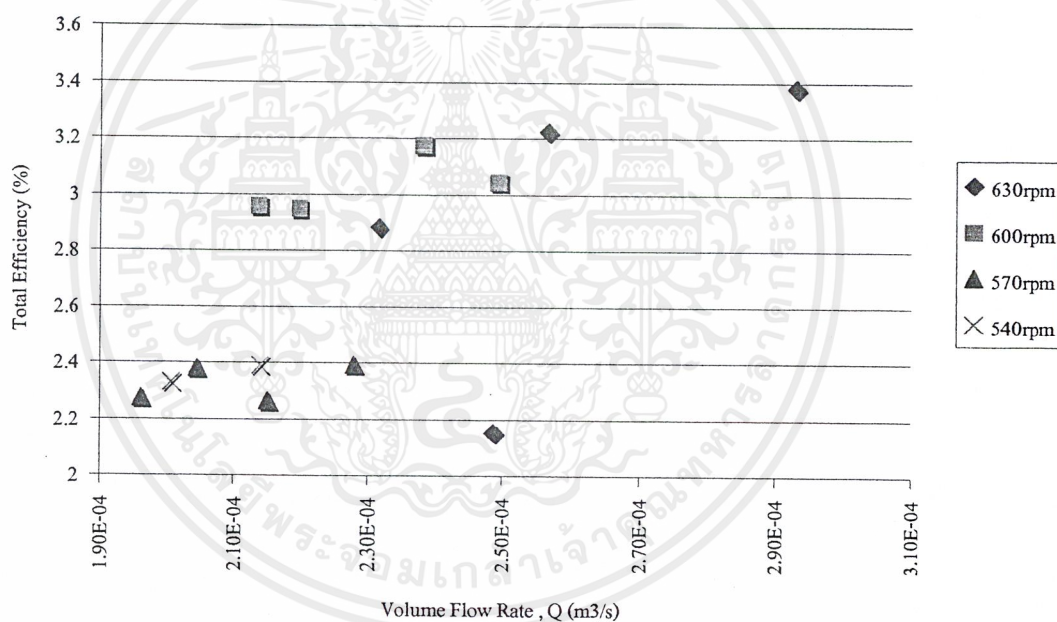
และ เมื่อท่อมีความยาวก้านท่อเท่ากับ 13 เซนติเมตร จากการทดลองจะให้ความเร็วในการหมุนระหว่าง 450 ถึง 630 รอบต่อนาที จะได้ว่าเกิดอัตราการไหลของน้ำที่ประมาณ 0.00025 ถึง 0.00045 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถให้กำลังงานแก่ของไหลได้ตั้งแต่ประมาณ 5 ถึง 18 วัตต์

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหล ของเครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโดยทั่วไป จะมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และจะหักลงอย่างรวดเร็ว เมื่อใกล้ถึงจุดอัตราการไหลสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 5-8 แต่ในกราฟที่เขียนจะการทดลองนั้นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงค่อนข้างคงที่ มีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังงานที่ของไหลได้รับเล็กน้อย ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟของเครื่องสูบน้ำทั่วไปแล้ว จะคล้ายกับช่วงแรกที่ค่อยๆเพิ่มขึ้น การที่กราฟจากการทดลองไม่แสดงถึงส่วนที่ลดลง อาจจะเป็เพราะในการทดลองไม่ได้ทดลองไว้ในช่วงใกล้ถึงอัตราการไหลสูงสุด ซึ่งก็มีความเป็นไปได้ว่าถ้าทำชุดการทดลองให้มาสารทดลองได้ในจุดใกล้การไหลสูงสุดแล้วรูปกราฟจะมีลักษณะใกล้เคียงกันอยู่

จากการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า กำลังงานที่ของไหลได้รับจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อรัศมีก้านท่อยาวมากขึ้น และอีกปัจจัยที่สามารถทำให้กำลังงานที่ของไหลได้รับเพิ่มขึ้นคือ การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบในการหมุนต่อ

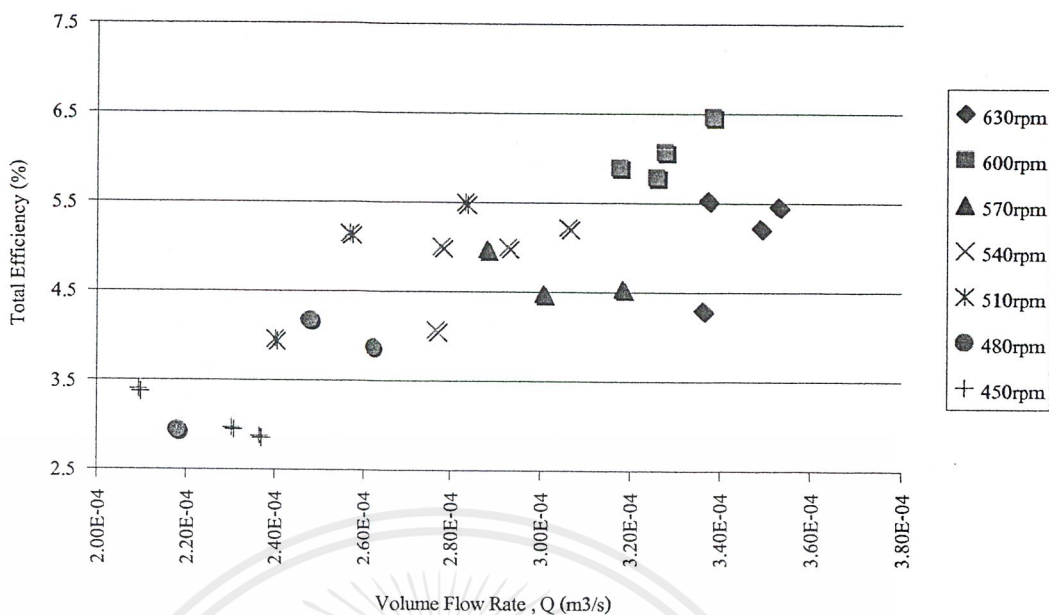
### 5.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราการไหล

สิ่งที่ต้องทำการพิจารณาในลำดับสุดท้าย คือความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพกับอัตราการไหล ตามปกติแล้ว ประสิทธิภาพที่จะนำมาพิจารณานั้น จะมาจากกำลังที่ส่งไปยังเพลลา เทียบกับกำลังงานที่ของเหลวได้รับ ประสิทธิภาพนี้เรียกว่า “ประสิทธิภาพใบพัด (Blade Efficiency)” ซึ่งการหาค่ากำลังที่ส่งไปยังเพลลานั้นจะต้องทำการคำนวณหาจาก แรงบิดคูณกับความเร็วยรอบการหมุน แต่ในการทดลองนี้ การหาแรงบิดที่เกิดขึ้นนั้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่สูง ซึ่งเป็นผลจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดยังไม่ได้มาตรฐานเท่าที่ควร จนไม่สามารถนำมาใช้พิจารณาความสัมพันธ์ได้ ในที่นี้จึง ใช้การหา “ประสิทธิภาพรวม” แทน ประสิทธิภาพรวมหมายถึงประสิทธิภาพทั้งหมดของชุดการทดลอง โดยทำการเปรียบเทียบค่า กำลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ เทียบกับกำลังงานที่ของไหลได้รับ การใช้ประสิทธิภาพรวมแทน ประสิทธิภาพใบพัด อาจจะทำให้รูปร่างลักษณะของกราฟที่ได้ผิดเพี้ยนไปบ้าง แต่ถ้าสมมุติให้ประสิทธิภาพมอเตอร์ และประสิทธิภาพของชุดส่งกำลังมีค่าคงที่ รูปร่างของกราฟที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

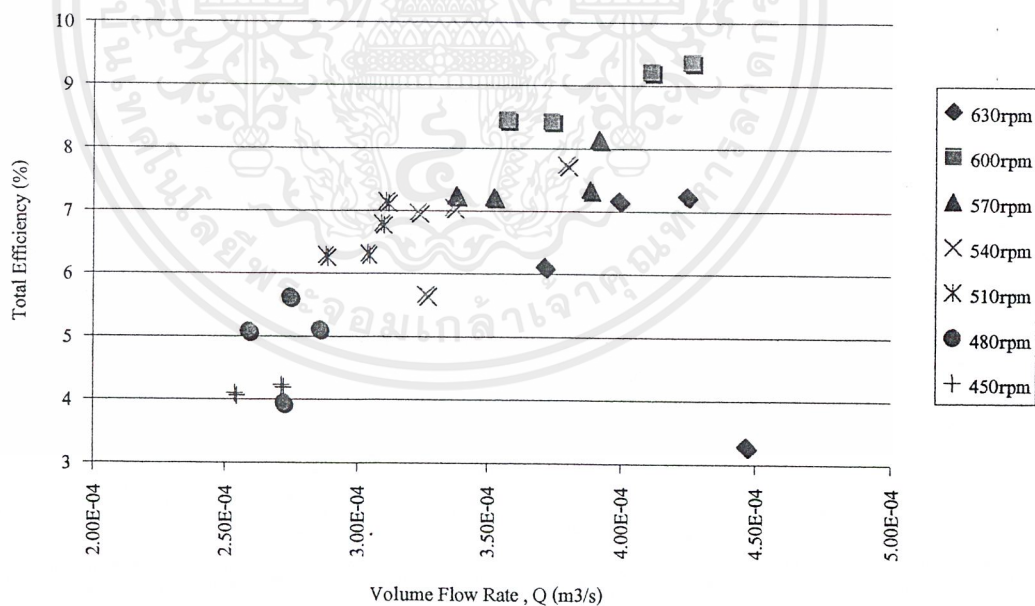


รูปที่ 6-11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพรวมกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 9 เซนติเมตร

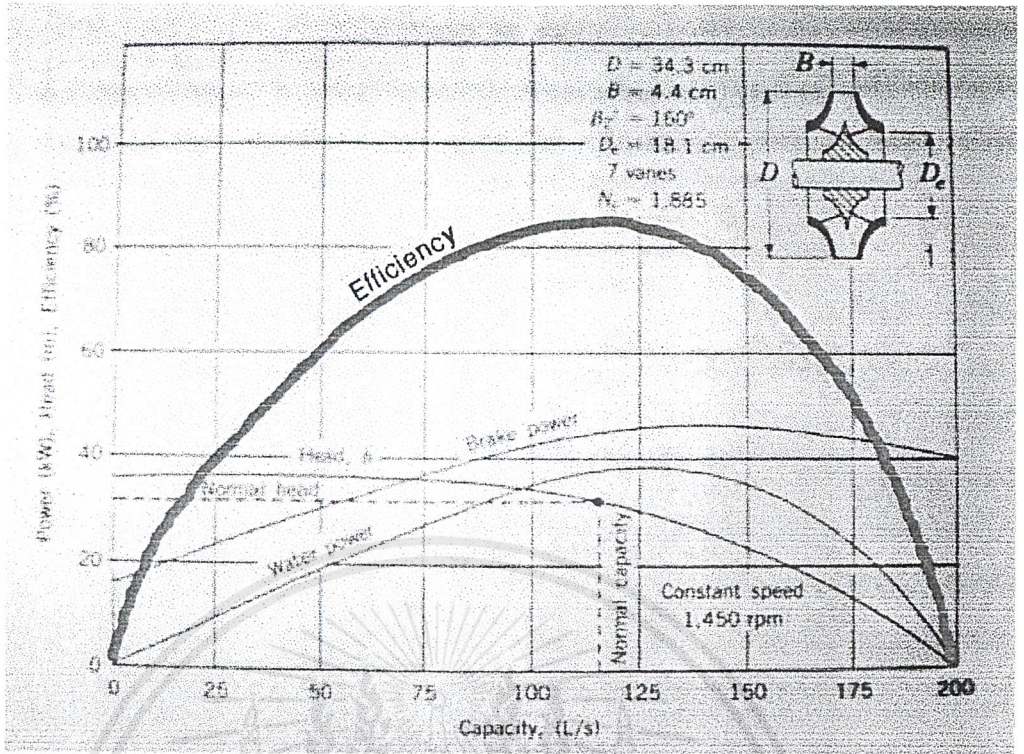
ผลการทดลองเมื่อใช้ความยาวก้านท่อ 9 เซนติเมตร โดยความเร็วที่ใช้ในการหมุน กับอัตราการไหลเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ก่อนหน้านี สามารถให้ประสิทธิภาพรวม ตั้งแต่ 2.1 ถึง 3.4 % สำหรับความยาวก้านท่อ 11 เซนติเมตร ให้ประสิทธิภาพ 3 ถึง 6.5 % และสำหรับความยาวก้านท่อ 13 เซนติเมตร ให้ประสิทธิภาพ 3 ถึง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 6-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพรวมกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 11 เซนติเมตร



รูปที่ 6-13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพรวมกับอัตราการไหล ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อมีรัศมีก้านท่อ 13 เซนติเมตร



รูปที่ 6-14 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพกับอัตราการไหล ของเครื่องสูบน้ำทั่วไป

กราฟเครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทั่วไป จะมีลักษณะเส้นโค้งนี้เป็นโค้งระฆังคว่ำ เกือบจะสมมาตรประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มมีอัตราการไหล และเพิ่มขึ้น ไปเรื่อยๆจนถึงจุดหนึ่งประสิทธิภาพจะเริ่มคงที่ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลอีกประสิทธิภาพจะเริ่มลดลง และกลายเป็นศูนย์ที่อัตราไหลใกล้จุดสูงสุด

แต่ในกราฟที่ได้จากการทดลองจะมีลักษณะส่วนใหญ่จะมีแต่ประสิทธิภาพในส่วนเพิ่มขึ้นเท่านั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปกราฟเครื่องสูบน้ำโดยทั่วไปแล้ว จะเปรียบได้กับส่วนเริ่มคั่นเท่านั้น เหตุผลที่ได้กราฟลักษณะเช่นนี้อาจเป็นเหตุผลเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของกำลังงานที่ของไหลได้รับกับอัตราการไหลคือ ชุดการทดลอง ไม่สามารถทำการทดลองในจุดที่อัตราการไหลเข้าใกล้จุดสูงสุดได้ และเมื่อนำความสัมพันธ์ทั้งสอง มาพิจารณาจะพบว่ากราฟที่ได้เป็นส่วนครึ่งแรกเช่นเดียวกัน จึงอาจใช้เป็นข้อพิสูจน์ได้ว่าเครื่องสูบน้ำชนิดที่ทำการทดลองจะมีลักษณะกราฟใกล้เคียงกับกราฟแรงเหวี่ยงศูนย์กลางโดยทั่วไป

6.3.4 ความเร็วจำเพาะ

ความเร็วจำเพาะจัดว่าเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญในเลือก และจัดแบ่งชนิดเครื่องสูบน้ำให้มีความเหมาะสม ในการคำนวณเพื่อหาค่า ความเร็วจำเพาะ ของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลองนั้น ทำได้โดยการหาค่าเฉลี่ย ความเร็วจำเพาะที่คำนวณได้จากการทดลองทุกครั้ง ค่าความเร็วจำเพาะที่แสดงนี้จะแบ่งเป็น 3 ค่า ตามค่าความยาวก้านท่อ เหตุผลที่ไม่ใช่ความเร็วจำเพาะค่าเดียวกันเพราะว่า ท่อที่นำมาใช้แทนใบพัดทั้ง 3 อันนั้น ไม่มีความคล้ายคลึงกันทางเรขาคณิต ค่าความเร็วจำเพาะจึงเป็นคนละค่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับท่อที่มีความยาวก้านท่อ 9 เซนติเมตร จะมีค่าความเร็วจำเพาะ เท่ากับ 42.25
- สำหรับท่อที่มีความยาวก้านท่อ 11 เซนติเมตร จะมีค่าความเร็วจำเพาะ เท่ากับ 37.05
- สำหรับท่อที่มีความยาวก้านท่อ 13 เซนติเมตร จะมีค่าความเร็วจำเพาะ เท่ากับ 32.57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 7.1 สรุปการดำเนินการ

จากการคำนวณและออกแบบทางทฤษฎีแล้วจึงทำการสร้างชุดอุปกรณ์การทดลอง โดยทำการพัฒนาติดตั้งหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งานจริง และทำการทดลอง, วัดผลการทดลองในรูปแบบของค่าอัตราการไหล (Q), และ เฮด(Head) ที่ใช้ในการดูด โดยการเปลี่ยนค่าความสูง, ความเร็วรอบในการหมุนของใบพัด, รัศมีของแกนท่อ(R) ในแต่ละการทดลอง แล้วจึงนำผลการทดลองมาหาความสัมพันธ์เพื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี จากผลการทดลองจะเห็นว่า ค่าอัตราการไหลของน้ำที่ดูดได้ แปรผันตามความเร็วรอบ, รัศมีของแกนท่อ แต่แปรผกผันกับค่าความสูงที่ใช้ในการดูด และมีแนวโน้มเป็นไปตามทฤษฎี แต่ค่าที่ได้อาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้นในการทดลองวัดค่าต่างๆบ้าง เนื่องจากปัจจัยสภาพแวดล้อมในการทดลอง ซึ่งในทางปฏิบัติจริงนั้นเป็นไปได้ยากที่จะทำให้ค่าที่ได้นั้นตรงตามทฤษฎีที่ออกแบบมา

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ชุดอุปกรณ์การทดลองเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอย่างธรรมดา มีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาทางด้านของไหล(Fluid Mechanic) และหลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยง ซึ่งจะทำให้ผู้ที่ได้ทำการทดลองมีความเข้าใจในหลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำได้ดียิ่งขึ้น แม้ว่าเครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอย่างธรรมดานี้อาจจะไม่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องไม่ดีพอ แต่อาจจะทำการพัฒนาต่อเพื่อให้ได้การทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและคุ้มค่ากับการลงทุน เนื่องจาก เครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอย่างธรรมดา มีข้อดีอีกหนึ่งอย่าง คือ ใบพัดที่ใช้นั้นมีลักษณะเป็นรูปร่างที่สามารถสร้างได้ง่าย และไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยเราอาจจะทำการประยุกต์ใช้งานจริง โดยการเปลี่ยนพลังงานที่ให้กับเครื่องสูบน้ำจากพลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานจากธรรมชาติอย่างอื่น เพื่อเป็นการอนุรักษ์พลังงานได้อีกด้วย

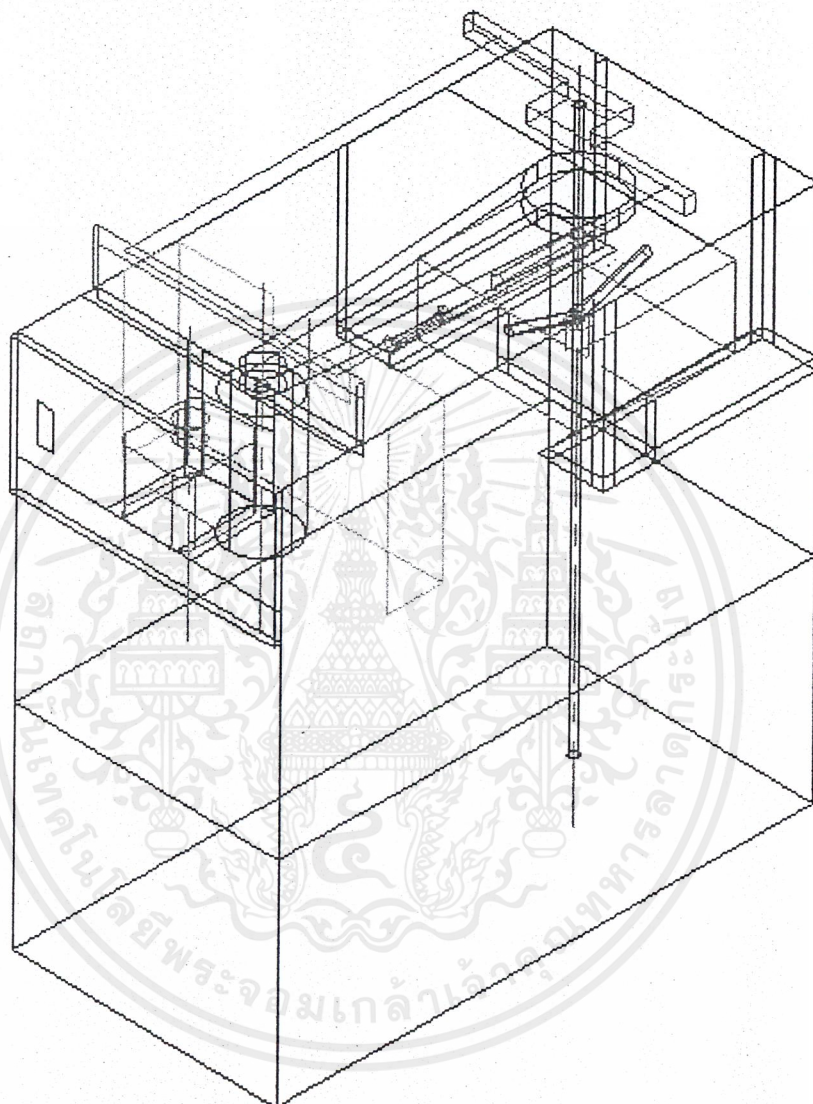
#### 7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินโครงการ

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับความเร็วรอบ การใช้ วารีแอค(Variac) เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนความเร็วรอบนั้น ไม่ได้ผลเท่าที่ควร เพราะโดยหน้าที่ของวารีแอค(Variac) แล้ว เป็นเพียงอุปกรณ์ในการปรับความดันไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้มีหน้าที่ปรับความเร็วรอบมอเตอร์โดยตรง การใช้วารีแอค(Variac) เพื่อการนี้จึงเป็นการปรับลดความต่างศักย์ ซึ่งก็จะทำให้แรงบิดที่ได้จากมอเตอร์ลดลงด้วย จึงไม่เป็นผลคือการทดลอง ทำให้ความกว้างของความแตกต่างความเร็วรอบน้อยมาก ไม่เพียงพอต่อการทดลอง สามารถแก้ปัญหาโดยการใช้ อัตราทดเพวลีย์ ทำให้ความแตกต่างความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และยังมีวิธีที่ดีกว่า คือการใช้อินเวอร์เตอร์(Inverter) แทน วารีแอค(Variac) ในการปรับความเร็วรอบ แต่ อินเวอร์เตอร์(Inverter) มีราคาแพงกว่ามาก

- อุปกรณ์การวัดแรงบิด แรงบิดสามารถทำการวัดได้หลายวิธี เช่นการวัดจากความเครียด(Strain) ที่เกิดขึ้นบนเพลลา, การใช้โหลดเซลล์ (Load Cell) วัดแรงบิด, การใช้ไดนาโมเทส (Dynamo Test) ซึ่งทุกวิธีที่กล่าวมา มีความยุ่งยากในการสร้างอุปกรณ์การวัดอยู่มาก ตัวอย่างความยุ่งยากเช่น การวัดโดยวัดความเครียด การที่จะสามารถวัดความเครียดของเพลลาที่กำลังหมุนอยู่นั้นจะต้องต่อสายไฟ สเตรนเกจ(Strain Gage) กับสลีปรริง(Slip Ring) ซึ่งยากมากในการสร้างขึ้นใช้เอง ในการทดลองนั้นจึงทำเป็นลักษณะของโพรนิเบรค (Prony Break) ซึ่งเป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุดในกระบวนการวัดแรงบิดทั้งหมด ถึงแม้จะเป็นวิธีที่เก่าแต่ก็สามารถแสดงให้เห็นภาพพจน์ของแรงบิดได้ดีที่สุด การใช้โพรนิเบรค(Prony Break) นั้นก็ยังมีปัญหาคือ สปริง(Spring) ที่ใช้วัดแรงนั้นจะต้องเป็นสปริง(Spring) ที่รับแรงที่เปลี่ยนแปลงไดนามิค(Dynamic) ได้เป็นอย่างดี มิฉะนั้น ค่าที่ได้จากสปริงจะสั้นจนอ่านค่าได้ยากถึงอ่านไม่ได้เลย

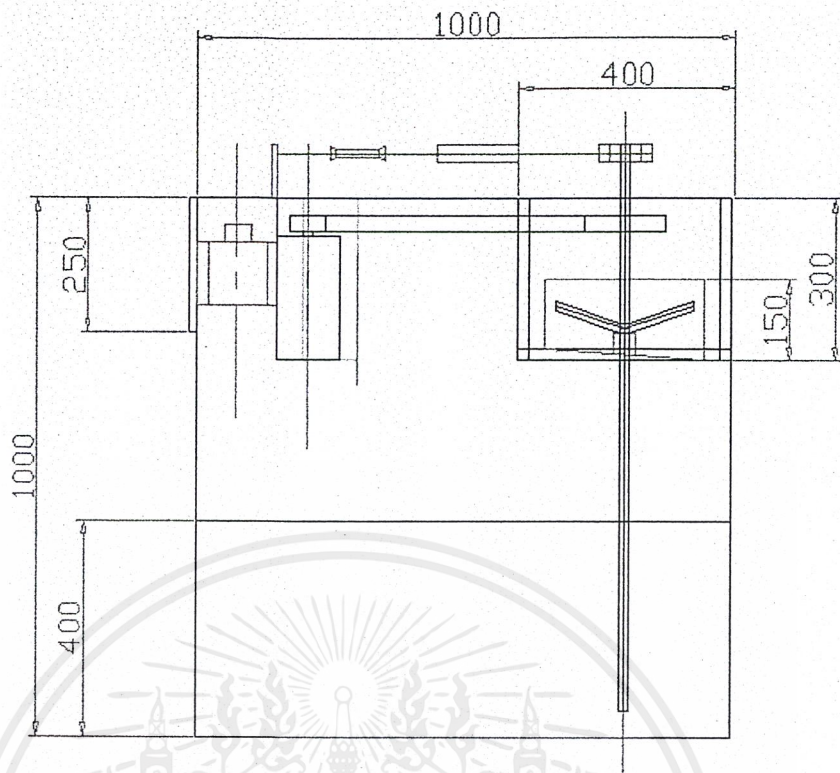


## ภาคผนวก

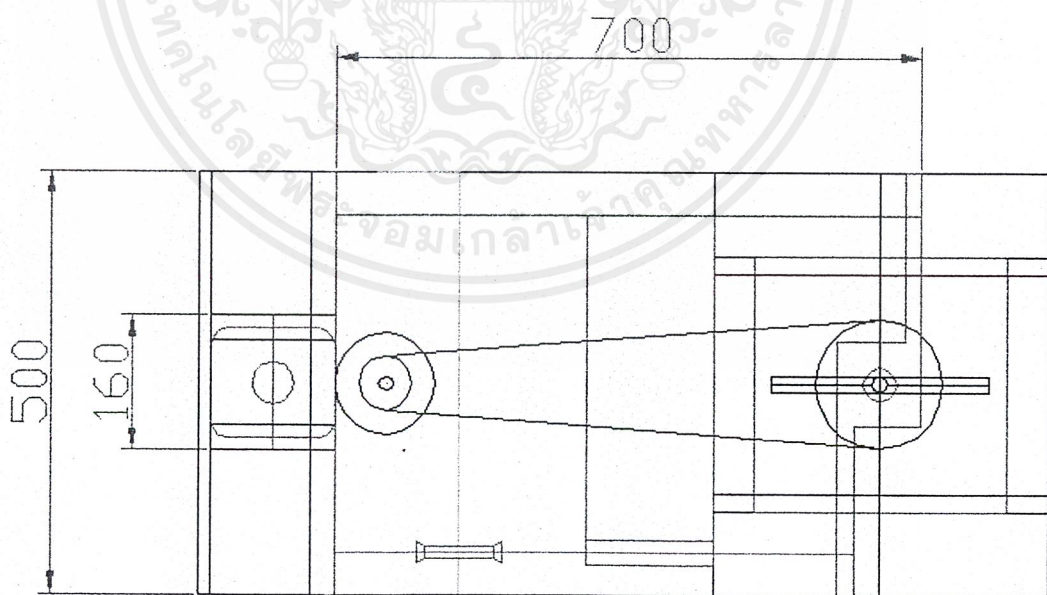


แบบไอโซเมตริก(Isometric) เครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

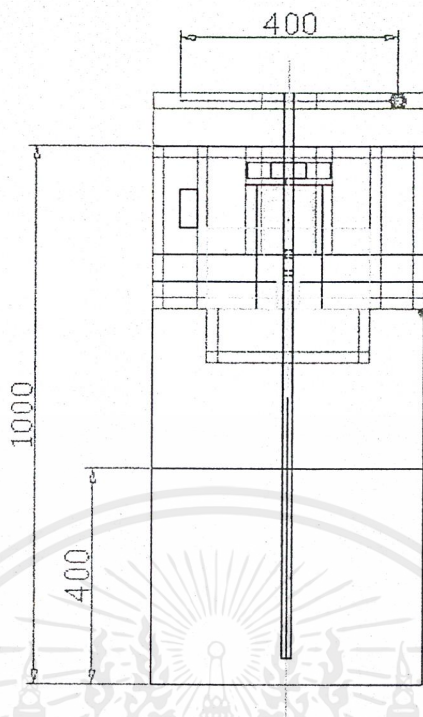


แบบแสดงด้านหน้า(Front view) เครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอย่างธรรมดา



แบบแสดงด้านบน(Top view) เครื่องสูบน้ำใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอย่างธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบแสดงด้านข้าง(Side view) เครื่องสูบน้ำใช้แรงเหยียงหนีศูนย์กลางอย่างธรรมดา

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ , “ กลศาสตร์เครื่องจักรกล ” , สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง , พ.ศ.2533. หน้า 117-119.
- [2] วิศิษฐ์ จาตุรमान และ ขวัญชัย สนิทพิทยัสมบุรณ์ , กลศาสตร์ของไหล , ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2538.
- [3] วิบูลย์ บุญยชโรกุล , “ ปั๊มและระบบสูบน้ำ ” , ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2538.
- [4] ชำรง เปรมปรีดิ์ , ดำรงค์ศักดิ์ มลิลลา , “ เครื่องสูบน้ำ : การออกแบบ การใช้งาน และการบำรุงรักษา ” , เอเชียเพรส , 2537.
- [5] Robert W. Fox and Alan T. McDonald , “ Introduction to Fluid Mechanics ” , John Wiley & Sons , Inc. 1985.
- [6] Ernest O. Doebelin . “Measurement Systems Application and Design ” , McGrawHill , 1990.
- [7] Harry L. Stewart , “ Pumps ” , Macmillan Publishing Company , New York , 1986.
- [8] Thomas G. Beckwith , Roy D. Marangone and John H. Liengard V , “ Mechanical Measurements ” , Addison-Wesley Inc. July 1993.
- [9] James W. Dally , William F. Riley and Kenneth G. McConnell , “ Instrumentation for Engineering Measurements ” , JohnWiley & Sons Inc. ,1984.