สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทดสอบการทำงานของชุดหัวพ่นสำหรับปั๊มน้ำบาดาล

Testing of Ejector for Well Water Pump

T119253

นางสาวจุฑารัตน์ หน่อแก้ว

นายชยานันท์ ธาดานุกูลวัฒนา

นางสาวปริศนา เขียวสนิท

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119253
วัน,เดือน,ปี - 6 ส.ค. 2554

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทดสอบการทำงานของชุดหัวพ่นสำหรับปั๊มน้ำบาดาล

Testing of Ejector for Well Water Pump

ผู้จัดทำ

1. นางสาวจุฑารัตน์ หน่อแก้ว รหัสประจำตัว 50010255

2. นายชยานันท์ ธาดานุกูลวัฒนา รหัสประจำตัว 50010314

3.นางสาวปริศนา เขียวสนิท รหัสประจำตัว 50010929

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการทำงานของชุดหัวพ่นสำหรับปั๊มน้ำบาดาล

นางสาวจุฑารัตน์ หน่อแก้ว 50010255
นายชยานันท์ ธาดานุกูลวัฒนา 50010314
นางสาวปริศนา เขียวสนิท 50010929
ผศ.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุเพื่อที่จะทดสอบการทำงานของชุดหัวพ่นที่ติดตั้งอยู่ในท่อทางดูด (4 นิ้ว) เพื่อช่วยเพิ่มแรงดูดของปั๊มน้ำบาดาล ชุดหัวพ่นจะมีท่อน้ำไหลกลับขนาด 2 และ 2.5 นิ้ว เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบแรงดูดของปั๊มน้ำ กำลังงาน และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ได้ทำการติดตั้งปั๊มน้ำพร้อมอุปกรณ์ทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาเพื่อทำการทดลอง ทำการสูบน้ำที่ระดับความลึก 6 เมตร โดยใช้ความเร็วรอบของปั๊มน้ำที่ 1200 1300 และ 1400 รอบต่อนาที ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของน้ำสูงสุด และแรงดูดของปั๊มน้ำมีค่าเท่ากับ 8.68 ลูกบาศก์เมตร และ 9 บาร์ ตามลำดับที่ความเร็วรอบ 1400 รอบต่อนาที และใช้ท่อไหลกลับขนาด 2.5 นิ้ว ในขณะที่มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.4 ลิตรต่อชั่วโมง ดังนั้นชุดหัวพ่นนับมีประโยชน์ ซึ่งสามารถเพิ่มแรงดูดของปั๊มน้ำบาดาลได้

คำสำคัญ: ชุดหัวพ่น , อัตราการไหล, อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Testing of Ejector for Well Water Pump

Jutarat Norkaew 50010255

Chayanun Thadanukoonwattana 50010314

Prissana Kheawsani 50010929

Asst Porf. Dr.Songvoot Sangchan Advisor

2010

Abstract

The objective of this project was to test the ejector which installed in suction pipe (4 inches) to increase suction head of well water pump. For ejector set, there are 2 return pipes (2 and 2.5 inches) for comparison the suction head, power and fuel consumption. Water pump and all accessories was installed for testing at the study area. Pumping water at 6 meters depth with speed 1200, 1300, and 1400 rpm, respectively. The results of experiment shown that, maximum discharge and suction head were 8.68 m^3/sec and 9 bar, respectively at speed 1400 rpm using return pipe 2.5 inches, While the rate of fuel consumption was 2.4 liters/hr. So the ejector set will be helpful and can be increased suction head of well water pump.

Key wards : ejector, flow rate, suction head

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่าน ซึ่งอันได้แก่ ผศ.ดร. ทรงวุฒิ แสงจันทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา ให้ความรู้ และความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดจนให้ความเอาใจใส่ดูแลอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาในการทำโครงงาน คณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณ ผศ.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์ นี้เป็นอย่างสูง

ขอบคุณ คุณนวลจันทร์ หมู่โสภิญ , ดต.ประมวล หมู่โสภิญ , คุณสรรพวุธ หมู่โสภิญ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลอง

ขอบคุณ อ.ทวีศักดิ์ โคตรโสภา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเอื้อเฟื้อสถานที่พักระหว่างทำการทดลอง

ขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ทุกคน ที่มาช่วยเหลือในการทำงานจนกระทั่งงานสำเร็จ

ขอบคุณพี่แฮ๋ พี่ตุ้ม และพี่ชยันต์ ที่ Shop ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือพวกข้าพเจ้าทำงานจนกระทั่งสำเร็จ และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้เป็นที่ศึกษา

ขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ ตลอดจนครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้ทุนการศึกษา ประกอบกับคำแนะนำดีๆ

ขอขอบคุณคณาจารย์ ข้าราชการ และลูกจ้าง ของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มีส่วนให้การดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่เกี่ยวข้องอีกหลายท่าน ซึ่งไม่อาจกล่าวนามในที่นี้ได้ทั้งหมด คณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณท่านทั้งหลายไว้ ณ โอกาสนี้

1.นางสาวจุฑารัตน์ หน่อแก้ว

2. นายชยานันท์ ธาดานุกูลวัฒนา

3. นางสาวปริศนา เขียวสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**ก**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ข**
กิตติกรรมประกาศ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญรูปภาพ	**ฉ**
สารบัญตาราง	**ซ**
บทที่1 บทนำ	**1**
1.1 ที่มาแหละความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนิน	2
บทที่2 หลักการและทฤษฎี	**3**
2.1 ลักษณะและการทำงานของปั๊ม	3
2.2 การแยกประเภทปั๊ม	4
2.3 การทำงานของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล	6
2.3.1 แบบต่างๆ ของปั๊มประเภทเซนตริฟูกอล	8
2.3.2 ลักษณะใบพัดของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล	13
2.4 ลักษณะและการทำงานของปั๊มแบบโรตารี่	14
2.5 ลักษณะและการทำงานของปั๊มแบบลูกสูบชัก	19
2.6 ปั๊มชนิดนอกแบบ (Special)	23
2.7 ชนิดของ Ejector สำหรับการศึกษา	29
2.8 การเลือกใช้ Ejector	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3 วิธีการดำเนินงาน **31**

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ 31

3.2 วัสดุอุปกรณ์การสร้างฝายสามเหลี่ยมจำลอง 33

3.3 ข้อมูลที่ต้องรวบรวมผลในการทดลอง 35

3.4 การติดตั้งการทดลอง 36

3.5 ขั้นตอนการทดลอง 37

3.6 การทดสอบประสิทธิภาพ 38

3.7 สถานที่ทำการทดลอง 40

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง **41**

4.1 ค่าความดัน 41

4.2 ค่าของ Vacaum Gage 42

4.3 ค่าความเร็วของการไหลในท่อจากเครื่องวัดความเร็ว 43

4.4 ค่าของระดับน้ำที่ฝายสามเหลี่ยม 44

4.5 ค่า Brake Horsepower 45

4.6 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 46

บทที่5 สรุปผลการทดลอง **47**

5.1 สรุป 47

5.2 ข้อเสนอแนะ 47

ภาคผนวก ก **48**

ภาคผนวก ข **53**

บรรณานุกรม **55**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 การจำแนกประเภทของปั๊ม 5
รูปที่ 2.2 ทิศทางการไหลของของเหลวขณะผ่านออกจากใบพัด ของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล 6
รูปที่ 2.3 ลักษณะทั่วไปของเรือนปั๊ม (Casing) ของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล 7
รูปที่ 2.4 ปั๊มเซนตริฟูกอลแบบหอยโข่งที่เรือนปั๊มมีช่องทางเดินของของเหลวเพียง
ช่องเดียวและสองช่อง 8
รูปที่ 2.5ปั๊มเซนตริฟูกอลแบบมีครีบผันน้ำ 9
รูปที่ 2.6 ปั๊มเซนตริฟูกอลแบบเทอร์ไบน์ 9
รูปที่ 2.7 ปั๊มแบบ Vertical Turbine ขนาด 3 ชั้น (Stage) และรูปขยายของโบว์ล 11
รูปที่ 2.8 ทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด 12
รูปที่ 2.9 ลักษณะใบพัดของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล 15
รูปที่ 2.10 ปั๊มโรตารี่แบบเฟือง 17
รูปที่ 2.11 ปั๊มโรตารี่แบบครีบ 17
รูปที่ 2.12 ปั๊มโรตารี่แบบลอน 18
รูปที่ 2.13 ปั๊มโรตารี่แบบสว่าน 18
รูปที่ 2.14 กราฟแสดงอัตราการไหลของปั๊มลูกสูบชักแบบลูกสูบเดียวและอัดจังหวะเดียว 19
รูปที่ 2.15 ปั๊มลูกสูบชักแบบอัดสองจังหวะ 20
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างกราฟแสดงอัตราการไหลของปั๊ม 20
รูปที่ 2.17 ปั๊มแบบไดอาแฟรม 22
รูปที่ 2.18 ปั๊มแบบ Rotary-piston และ Rotary block 22
รูปที่ 2.19 ลักษณะการทำงานและองค์ประกอบของ Jet Pump 24
รูปที่ 2.20 ลักษณะและการทำงานของ Air-Lift pump 26
รูปที่ 2.21a องค์ประกอบและลักษณะการทำงานของ Hydraulic Ram 27
รูปที่ 2.21b Hydraulic Ram ที่ประกอบขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ท่อที่มีขายในท้องตลาด 27
รูปที่ 2.22 Ejector 29
รูปที่ 2.23 Ejector Pipe ที่ใช้ในการทดลอง 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 ปั๊มน้ำ 31

รูปที่ 3.2 Ejector 31

รูปที่ 3.3 วัสดุอุปกรณ์ 32

รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ 33

รูปที่ 3.5 ฝายสามเหลี่ยมจำลอง 34

รูปที่ 3.6 การไหลของน้ำที่ฝายสามเหลี่ยม 34

รูปที่ 3.7 เครื่อง Ultrasonic Velocity Monitor 35

รูปที่3.8 แสดงลักษณะการติดตั้งการทดลอง 36

รูปที่ 3.9 การวัดความเร็วรอบของปั๊ม 37

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าVacumgage กับ ค่าความเร็วรอบ 42

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำในท่อ กับ ความเร็วรอบ 43

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับ
ความเร็วรอบที่ฝายสามเหลี่ยมจำลอง 45

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ BHP 45

รูปที่ 4.5 กราฟระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันกับความเร็วรอบ 46

รูปที่ ก1 การประกอบชุดท่อทางดูด Foot Valve 49

รูปที่ ก2 การประกอบชุดท่อ ejector 49

รูปที่ ก3 การติดตั้งท่อทางด้านจ่าย กับปั๊ม และวาวล์ปิด-เปิดชุดหัวพ่น 50

รูปที่ ก4 การประกอบชุด ejector และท่อทางดูดเข้ากับปั๊ม 50

รูปที่ ก5 ติดตั้งเครื่องต้นกำลังพร้อมทั้งสายพานเข้ากับปั๊มหอยโข่ง 51

รูปที่ ก6 การเปลี่ยนขนาดท่อ 51

รูปที่ ก7 รูปการทำงานของการทดลองและการเก็บค่า 52

รูปที่ ก8 การเก็บค่าระดับน้ำฝายสามเหลี่ยม 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ค่าความดันที่ได้จาก Pressure Gage 41

ตารางที่ 4.2 ค่า Vacaum Gage 42

ตารางที่ 4.3 ความเร็วของการไหลในท่อจากเครื่องวัดความเร็ว Ultrasonic Velocity Monitor 43

ตารางที่ 4.4.1ค่าของระดับน้ำที่ฝายสามเหลี่ยม 44

ตารางที่ 4.4.2 ค่าอัตราการไหลของน้ำที่ฝายสามเหลี่ยม 44

ตารางที่ 4.5 ค่าของ BHP 45

ตารางที่ 4.5 อัตราการใช้น้ำมันของเครื่องต้นกำลัง 46

ตารางที่ 1ข อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยม ซึ่งคำนวณโดยสมการ $Q = 0.0138H^{5/2}$ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของโครงงาน

ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม เกษตรกรส่วนมากทำนาปลูกข้าวปลูกอยู่ในที่ที่เป็นที่ดอนโดยใช้ปั๊มสูบน้ำเข้ามาในพื้นที่นา ลักษณะการติดตั้งปั๊มน้ำจะกระทำอยู่ 2 ลักษณะคือ 1) ติดตั้งปั๊มน้ำโดยเจาะท่อทางดูดลงไปใต้ดิน 2) ติดตั้งปั๊มน้ำโดยให้ตำแหน่งท่อทางดูดลงสู่คลองส่งน้ำชลประทาน โดยมีระยะการส่งน้ำ (elevation head) ประมาณ 10-30 เมตร

การใช้ปั๊มน้ำสูบน้ำจากบ่อบาดาลที่มีระดับความลึกนั้นต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากเพราะระยะการดูดน้ำของปั๊มน้ำ (suction lift) มีข้อจำกัดซึ่งปกติจะอยู่ที่ประมาณ 10 เมตร ถ้ามากกว่านี้แล้วปั๊มก็ไม่สามารถสูบน้ำได้แล้ว เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการนำหัวพ่น (ejector) เข้ามาช่วยเพิ่มแรงดันทางด้านดูด (suction pressure)ในขณะทำการสูบน้ำ ซึ่งมีผลทำให้ช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ขับปั๊มน้ำแก่เกษตรกร อีกทั้งวัสดุและชิ้นส่วนที่นำมาใช้ในการสร้างก็สามารถหาได้จากโดยทั่วๆไป

1.2 วัตถุประสงค์

1) ศึกษาการทำงานของปั๊มน้ำ (Water pump) เครื่องยนต์ต้นกำลัง และการติดตั้งปั๊มน้ำสำหรับบ่อน้ำบาดาล

2) ศึกษาการทำงานหัวพ่น (ejector) และการนำมาดัดแปลงใช้กับท่อทางดูดของปั๊มน้ำสำหรับบ่อบาดาล

3) ทดสอบสมรรถนะการทำงานของปั๊มน้ำ (water pump)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาการทำงานของปั๊มน้ำสำหรับบ่อบาดาลและชุดหัวพ่น (Ejecter) พร้อมทั้งทำการทดสอบสมรรถนะของปั๊มน้ำที่ติดตั้งชุดหัวพ่นเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มที่ติดตั้งชุดหัวพ่นและท่อ Return ที่ขนาดต่างๆ กับปั๊มที่ไม่ได้ติดตั้งชุดหัวพ่น โดยใช้เครื่องยนต์ต้นกำลังเป็นเครื่องยนต์ดีเซล และทำที่ความลึกของบ่อบาดาลไม่เกิน 6 - 10 เมตร

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) เข้าใจการทำงานของปั๊มน้ำ (water pump) เครื่องยนต์ต้นกำลัง และการติดตั้งปั๊มน้ำสำหรับบ่อน้ำบาดาล

2) สามารถใช้หัวพ่น (ejector) กับท่อทางดูดของปั๊มน้ำสำหรับบ่อบาดาลได้มีประสิทธิภาพสูงสุด และนำไปใช้งานจริงได้

3) สามารถช่วยลดภาระของเครื่องต้นกำลัง และลดการอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.ศึกษาปั๊มน้ำแบบต่างๆ

2.ทดสอบชุดพ่นกับปั๊มน้ำแบบหอยโข่ง

3.วิเคราะห์ชุดพ่นกับปั๊มน้ำแบบหอยโข่ง

4.สรุปผล รวบรวมข้อมูลและทำปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ลักษณะและการทำงานของปั๊ม

ปั๊ม หรือ **เครื่องสูบ** อาจให้คำจำกัดความได้ว่า เป็นเครื่องกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้นอาจได้มาจากเครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงลม แรงคน หรือพลังงานแหล่งอื่นๆ ก็ได้

กล่าวได้ว่า ปั๊มมีส่วนในการพัฒนาความเป็นอยู่ของมนุษย์ชาติมาตั้งแต่อดีตและจะมีมากยิ่งๆ ขึ้นต่อไปในอนาคต ในอดีตประชากรส่วนใหญ่ต้องอาศัยอยู่ใกล้ๆ กับแหล่งน้ำเพื่อความสะดวกในการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคและทำการเกษตร แหล่งน้ำใดที่อยู่ต่ำกว่าผิวดินมากไม่สะดวกต่อการใช้ มนุษย์ก็ได้พยายามคิดค้นเครื่องมือซึ่งมีลักษณะเป็นปั๊มหรือเครื่องสูบชนิดต่างๆ เพื่อนำมาใช้ให้สะดวกขึ้น เพื่อให้สามารถทำการเพาะปลูกได้มากและห่างไกลจากแหล่งน้ำมากขึ้น ปั๊มหรือเครื่องมือที่คิดค้นขึ้นมาหลายร้อยปีแล้ว บางชิ้นก็ยังคงมีใช้อยู่ในหลายๆ ประเทศในปัจจุบัน

ปั๊มสมัยใหม่ได้เริ่มมีวิวัฒนาการมาตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ.1840 โดยเป็นแบบลูกสูบชัก (Reciprocating) ชนิดต่อตรงเข้ากับเครื่องจักรไอน้ำ นับตั้งแต่สมัยนั้นเป็นต้นมาก็ได้มีวิวัฒนาการมากขึ้นในทุกๆ ด้านจนอาจกล่าวได้ว่า ปั๊มเป็นเครื่องมือสำคัญที่จำเป็นต่อความอยู่ดีกินดีของมนุษย์ชาติทุกด้าน นำตั้งแต่งานจัดหาและส่งน้ำเพื่ออุปโภคบริโภค การเกษตร งานอุตสาหกรรม คมนาคม หรือแม้กระทั่งงานแพทย์ที่ใช้ปั๊มทำหน้าที่หัวใจเทียม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ปั๊มที่จะกล่าวถึงในที่นี้จะเน้นเฉพาะแบบทั่วๆ ไปที่ใช้กันในงานจัดหาน้ำ ส่งน้ำ และระบายน้ำ หรือปั๊มน้ำเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การแยกประเภทปั๊ม

ปัจจุบันได้มีการผลิตปั๊มออกจำหน่ายมากมายหลายชนิด และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปจนบางครั้งทำให้เกิดการสับสน ดังนั้นจึงได้มีการจัดหมวดหมู่เพื่อให้สามารถแยกประเภทและเรียกชื่อได้ชัดเจนขึ้นการแยกประเภทอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบด้วยกัน คือ

1.แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม ซึ่งได้แก่

ก. ประเภทเซนตริฟูกอล (Centrifugal) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง ปั๊มประเภทนี้บางครั้งเรียกว่าเป็นประเภท **Roto-dynamic**

ข. ประเภทโรตารี่ (Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง

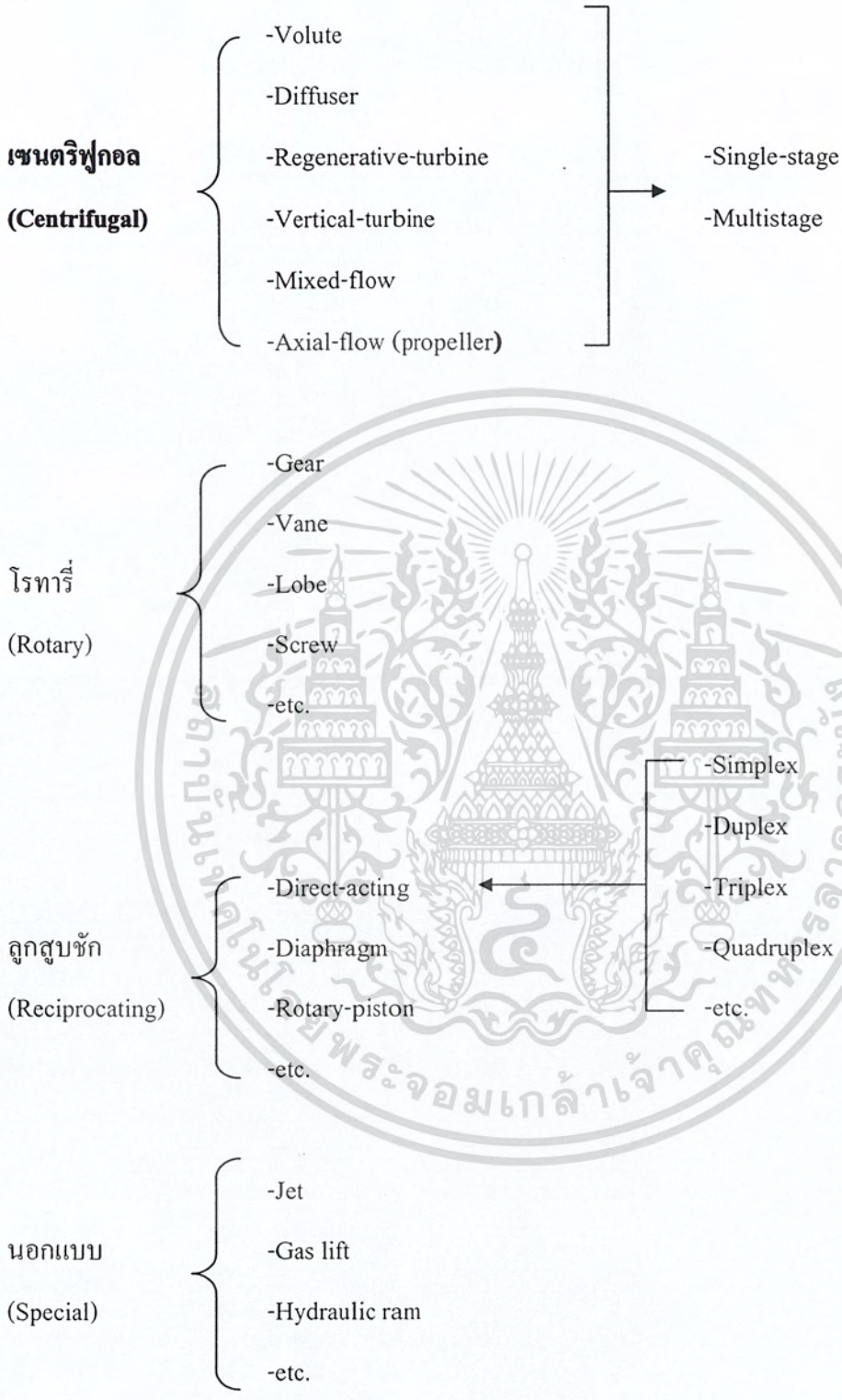
ค. ประเภทลูกสูบชัก (Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ

ง. นอกแบบ (Special) ซึ่งเป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษ ไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้

ในแต่ละประเภทตามที่กล่าวมานี้ยังมีการดัดแปลงออกไปเป็นแบบต่างๆ อีกหลายแบบและมีชื่อเรียกของแต่ละแบบแตกต่างกันออกไป ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1

2. แยกประเภทตามลักษณะการขับดันของเหลวในเครื่องสูบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การจำแนกประเภทของปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

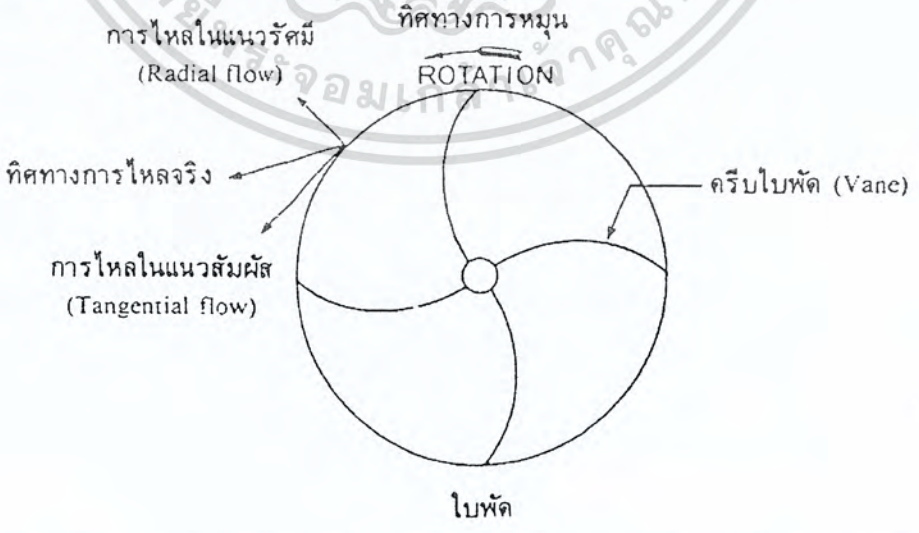
ก. **ทำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Non-Positive Displacement)** ปั๊มประเภทอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางอาจจัดให้อยู่ในกลุ่มนี้ได้

ข. **ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลวในห้องสูบด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนของเครื่องสูบ** ปั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารี่และลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.3 การทำงานของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล

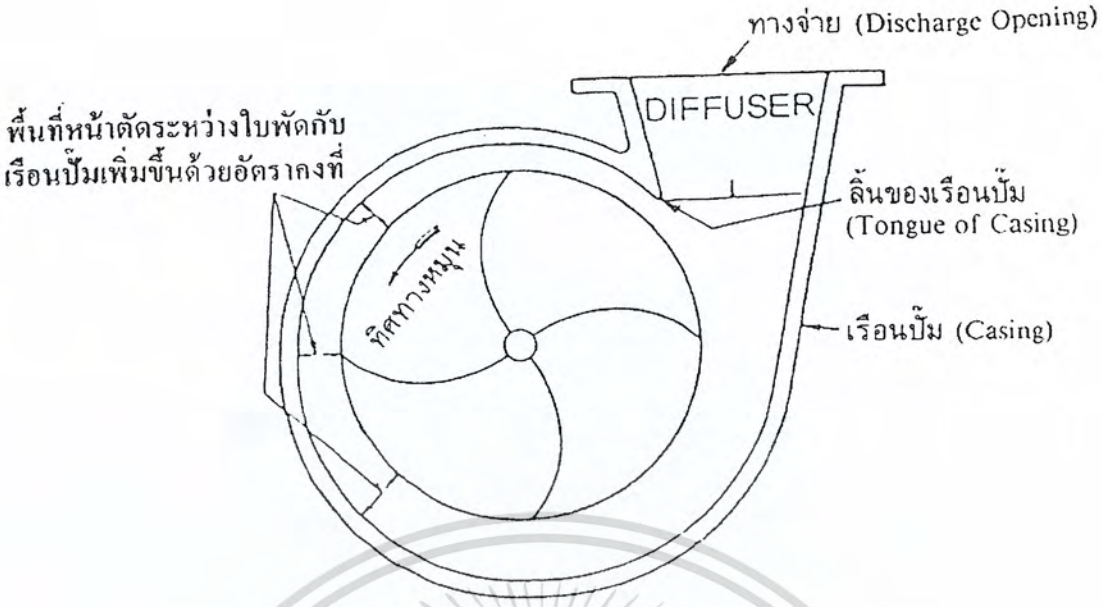
ปั๊มแบบนี้ทำงานโดยอาศัยการหมุนของใบพัดหรืออิมเพลเลอร์ (Impeller) ที่ได้รับการถ่ายเทกำลังเครื่องยนต์ต้นกำลังหรือมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อใบพัดหมุนพลังงานจากเครื่องยนต์ก็จะถูกถ่ายเทโดยการผลักดันของครีบใบพัด (vane) ต่อของเหลวที่อยู่รอบๆ ทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง (Tangential flow) เมื่อมีการไหลในลักษณะดังกล่าวก็จะเกิดแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง (Centrifugal force) และเป็นผลให้มีการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทาง (Radial flow) ดังนั้นของเหลวที่ถูกใบพัดผลักดันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เป็นผลรวมของแนวทั้งสอง ดังรูปที่ 2.2

โดยหลักชลศาสตร์ เมื่อของเหลวถูกหมุนให้เกิดแรงหนีจุดศูนย์กลาง ความกดดันของของเหลวจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของใบพัดมากขึ้น เมื่อความเร็วของใบพัดซึ่งหมุนอยู่ในภาชนะปิดมากพอ ความกดดันที่จุดศูนย์กลางก็ต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ ดังนั้นปั๊มแบบอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางที่แท้จริงจึงมีทางให้ของเหลวไหลเข้าหรือ**ทางดูด (Suction Opening)** อยู่ที่ศูนย์กลางใบพัด



รูปที่ 2.2 ทิศทางการไหลของของเหลวขณะผ่านออกจากใบพัด (Impeller) ของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะทั่วไปของเรือนปั๊ม (Casing) ของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล

ของเหลวที่ถูกดันเข้าทางศูนย์กลาง เมื่อถูกผลักดันออกไปด้วยแรงผลักดันของครีบใบพัด และแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง ก็จะไหลออกมาตามแนวเส้นรอบวง ดังนั้นใบพัดจึงจำเป็นต้องอยู่ใน **เรือนปั๊ม (Casing)** เพื่อทำหน้าที่รวบรวมและผันของเหลวเหล่านี้ไปสู่**ทางจ่าย (Discharge Opening)** เพื่อต่อเข้ากับท่อส่งหรือระบบใช้งานต่อไป ในการรวบรวมของเหลวที่ถูกผลักดันออกมานี้จำเป็นจะต้องเริ่มต้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นรอบวงของใบพัด ดังนั้นจะมีจุดหนึ่งซึ่งผนังภายในเรือนปั๊มเข้ามาชิดกับขอบขอบใบพัดมาก จุดดังกล่าวนี้เรียกว่า**ลิ้นของเรือนปั๊ม (Tongue of the casing)** ลักษณะโดยทั่วๆ ไปของเรือนปั๊มจะดูได้จากรูปที่ 2.3

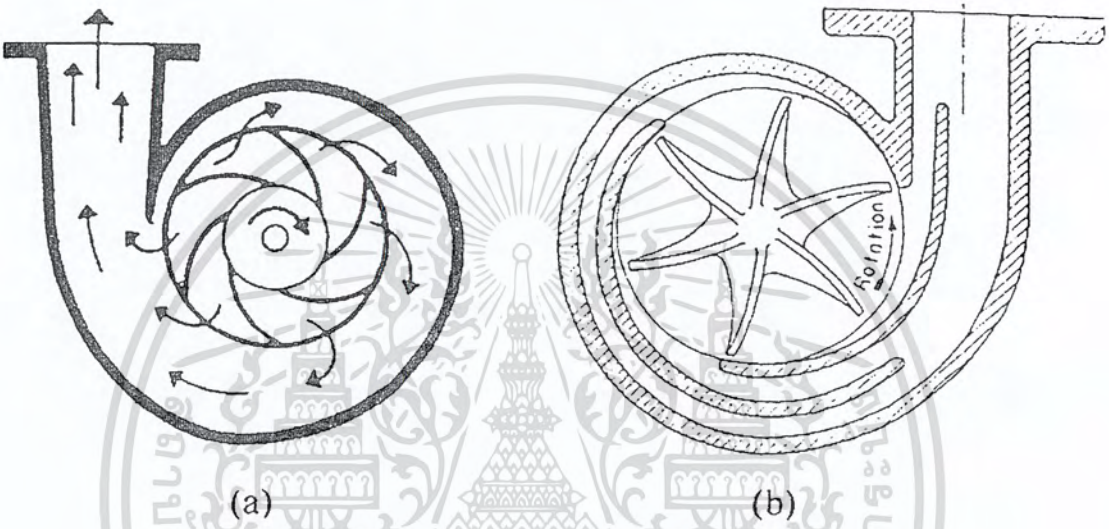
จากลิ้นของเรือนปั๊มไปตามทิศทางการหมุนของใบพัด จะมีของเหลวไหลออกมามากขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวงของใบพัดก็จะต้องเพิ่มขนาดขึ้นด้วย โดยหลักการแล้วอัตราการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดจะคงที่เพื่อให้ความเร็วของการไหลสม่ำเสมอซึ่งจะเป็นผลให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลงนั่นเอง อย่างไรก็ตาม ความเร็วของการไหลจะลดลงเนื่องจากพลังงานบางส่วนถูกเปลี่ยนมาเป็นพลังงานศักย์ (Potential Energy) ในรูปของความดัน (Pressure head) แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 แบบต่างๆ ของปั๊มประเภทเซนตริฟูกอล

ตามรูปที่ 2.1 ปั๊มประเภทเซนตริฟูกอลสามารถแบ่งแยกออกไปได้อีกหลายแบบคือ

1.แบบหอยโข่ง (Volute Type-รูปที่ 2.4) เป็นแบบพื้นฐานของปั๊มประเภทนี้ กล่าวคือเป็นแบบที่ของเหลวที่ไหลเข้ามาสู่ศูนย์กลางของใบพัดมีทิศทางขนานกับแกนของเพลา แล้วไหลออกทำมุม 90 องศา



รูปที่ 2.4 ปั๊มเซนตริฟูกอลแบบหอยโข่ง (Volute) ที่เรือนปั๊มมีช่องทางเดินของของเหลวเพียงช่องเดียว (a) และสองช่อง (b)

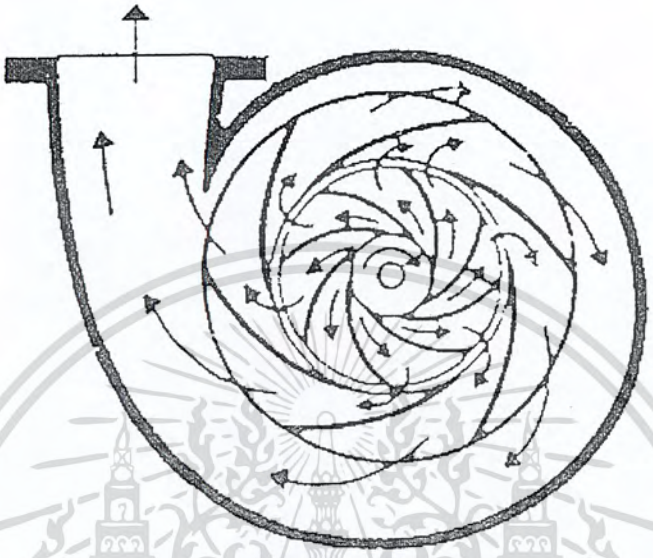
กับทิศทางที่ไหลเข้า ช่องทางเดินของของเหลวจากลิ้นของเรือนปั๊มมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวงในทิศทางการหมุนของใบพัด บางแบบมีการเพิ่มช่องทางเดินให้มากขึ้นเช่นในรูปที่ 2.4(b) การดัดแปลงดังกล่าวนี้จะช่วยให้แรงกดบนเพลาของปั๊มมีความสมดุลย์ดีขึ้น

2.แบบมีครีบผันน้ำ (Diffuser Type-รูปที่ 2.5) ปั๊มแบบนี้มีลักษณะของใบพัดและรูปร่างภายนอกของเรือนปั๊ม (Casing) เหมือนกับแบบแรกทุกประการ จะผิดกันก็เพียงแต่ว่าภายในจะมีครีบผันน้ำ (Guide Vanes) เพิ่มขึ้นมา ครีบดังกล่าวซึ่งติดอยู่กับเรือนปั๊มจะช่วยให้ของเหลวที่ถูกผลักดันออกมาค่อยๆ เบนทิศทางไปสู่ช่องทางเดินซึ่งเป็นส่วนโค้งได้ดีขึ้น ทำให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลง

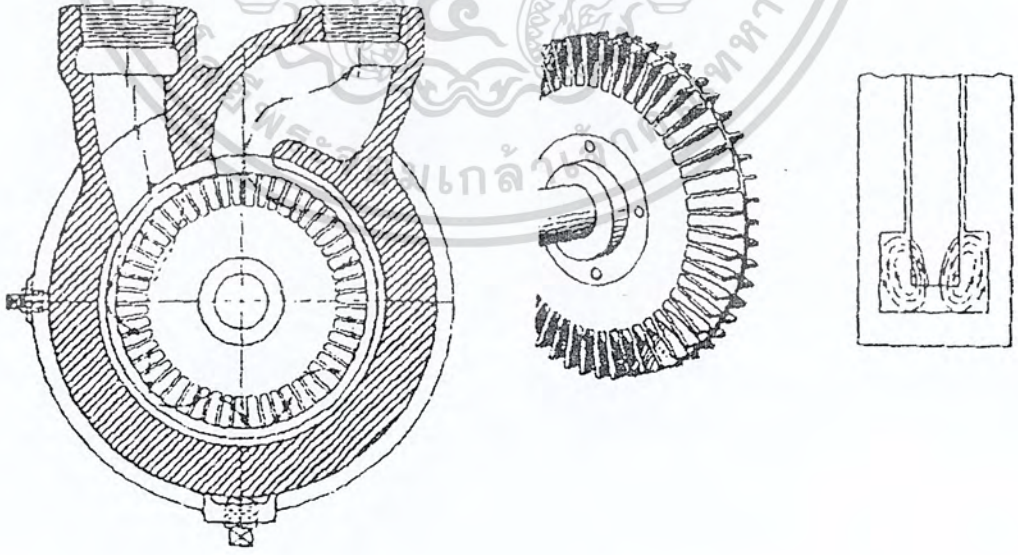
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเป็นผลให้การเปลี่ยนพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) มาเป็นพลังงานศักย์ในรูปของความดัน (Pressure head) มีประสิทธิภาพดีขึ้น

3.แบบเทอร์ไบน์ (Turbine Type-รูปที่ 2.6) ปั๊มแบบนี้บางครั้งเรียกว่าแบบ Vortex, Periphery



รูปที่ 2.5 ปั๊มเซนตริฟูกอลแบบมีครีบผันน้ำ (Diffuser Type) ซึ่งมีครีบช่วยให้การเปลี่ยนทิศทางการไหลของของเหลวในห้องสูบสม่ำเสมอดีขึ้น



รูปที่ 2.6 ปั๊มเซนตริฟูกอลแบบเทอร์ไบน์ (Regenerative Turbine)

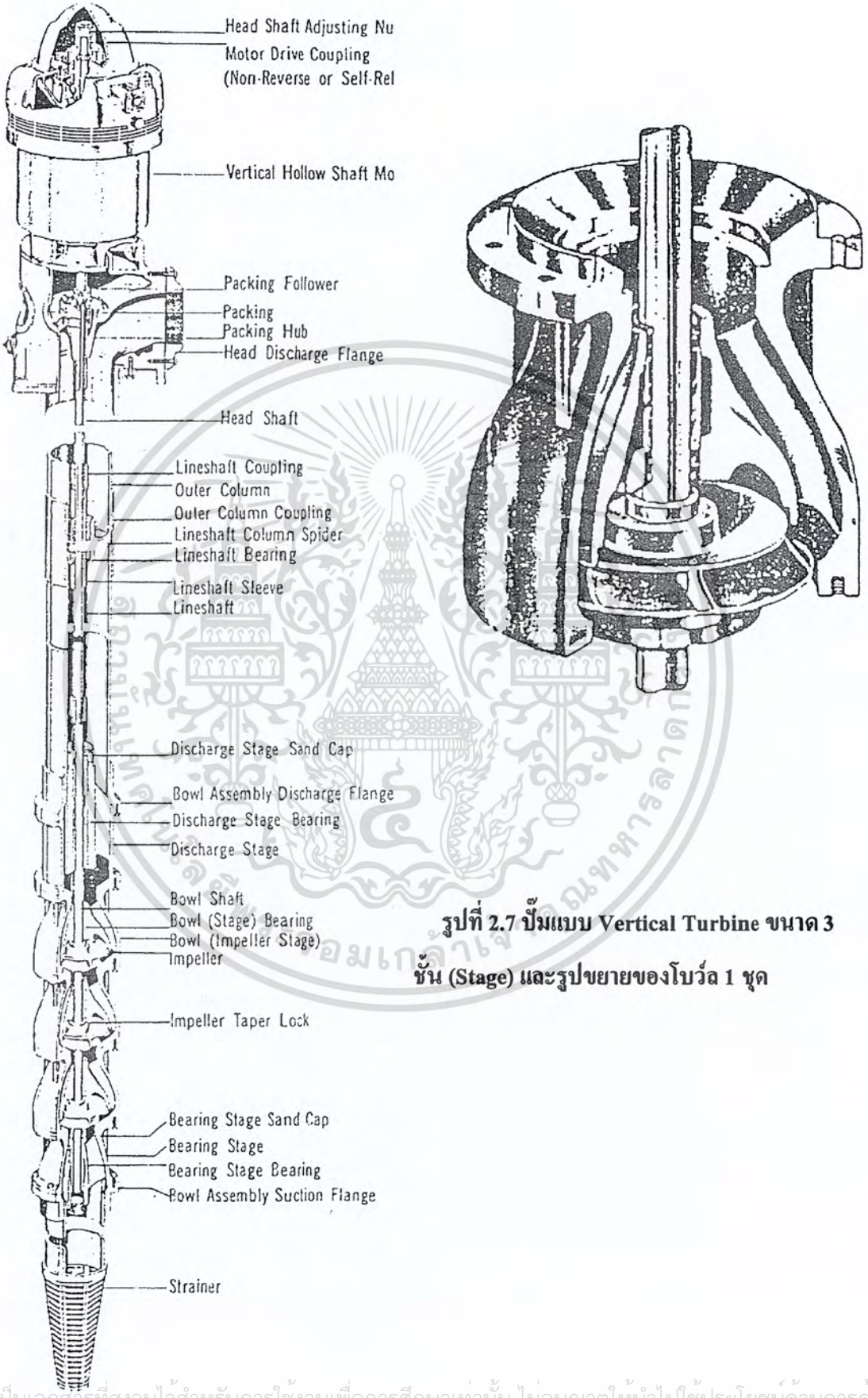
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ Regenerative Turbine ลักษณะพิเศษของมันคือใบพัดจะเป็นแผ่นแบนกลมมีความหนา ครีบของใบพัดเกิดการเซาะร่องบนขอบของแผ่นใบพัด ทำให้เกิดเป็นแผ่นครีบแคบๆ และสั้นในแนวรัศมี (Radial Direction) ขณะที่ของเหลวไหลเข้ามาจากทางดูดสู่ช่องว่างระหว่างครีบของใบพัดมันจะถูกเหวี่ยงออกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง แต่เนื่องจากผนังของเรือนปั๊มปิดกั้นอยู่ ของเหลวดังกล่าวก็จะวิ่งย้อนกลับเข้ามาสู่ช่องว่างระหว่างใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปอีก ขบวนการดังกล่าวจะซ้ำกันอยู่เช่นนี้จนกว่าจะถึงช่องทางจ่าย (Discharge Opening) พลังงานที่ของเหลวได้รับจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่ของเหลววิ่งเข้ามาสู่ช่องว่างระหว่างครีบของใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปซึ่งมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 50 ครั้ง ถ้าจำนวนครั้งมากพลังงานศกย์ของของเหลวก็จะมากตามขึ้นไปด้วย

4.แบบ Vertical Turbine (Vertical Turbine Type –รูปที่ 2.7) ปั๊มแบบนี้เดิมทีเดียวผลิตขึ้นมาสำหรับสูบน้ำจากบ่อบาดาล ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกว่าปั๊มน้ำบาดาล (Deep Well หรือ Deep Well Turbine Pump) โดยแท้จริงแล้วใบพัดของปั๊มแบบนี้ไม่ใช่เป็นแบบเทอร์ไบน์ แต่เป็นแบบ Radial Floe หรือ Mixed Flow ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป เนื่องจากส่วนประกอบทั้งหมดของปั๊มจะต้องประกอบกันเป็นท่อนทรงกระบอกเพื่อให้สามารถบรรจุลงในท่อบ่อบาดาลได้ และบ่อบาดาลส่วนใหญ่มีระดับน้ำลึกมาก ปั๊มชุดเดียวอาจให้พลังงานศักย์ไม่พ่อ ปั๊มแบบนี้จึงต้องออกแบบให้ใบพัดและเรือนปั๊มหลายชุดต่อเข้าด้วยกันได้เป็นชั้นๆ โดยอาศัยเพลาหมุนใบพัดท่อนเดียวกัน เรือนปั๊ม (Casing) ก็จะต้องดัดแปลงให้รับน้ำจากใบพัดแล้วส่งขึ้นไปสู่ทางดูดของใบพัดตัวบนได้ และเนื่องจากลักษณะของเรือนปั๊มแตกต่างจากแบบหอยโข่ง (Volute) ชื่อของส่วนนี้จึงเปลี่ยนไปเรียกว่า**โบว์ล (Bowl)** ภายในโบว์ลจะประกอบด้วยครีบผันน้ำซึ่งมีลักษณะของแบบมีครีบผันน้ำ (Diffuser) โบว์ลหนึ่งชุดจะเทียบได้กับปั๊ม 1 เครื่อง ปั๊มแบบ Vertical Turbine โดยทั่วๆ ไปมีโบว์ลมากกว่าหนึ่งชั้น (Stage) ซ้อนกัน ในกรณีที่ว่านี้ก็อาจจำเป็นต้องบอกจำนวนชั้นควบคู่ไปกับการเรียกชื่อปั๊มด้วย เช่น Single-stage Vertical Turbine, Three-stage Deep well Turbine สำหรับปั๊มที่มีโบว์ลชั้นเดียว และสามชั้นเป็นต้น

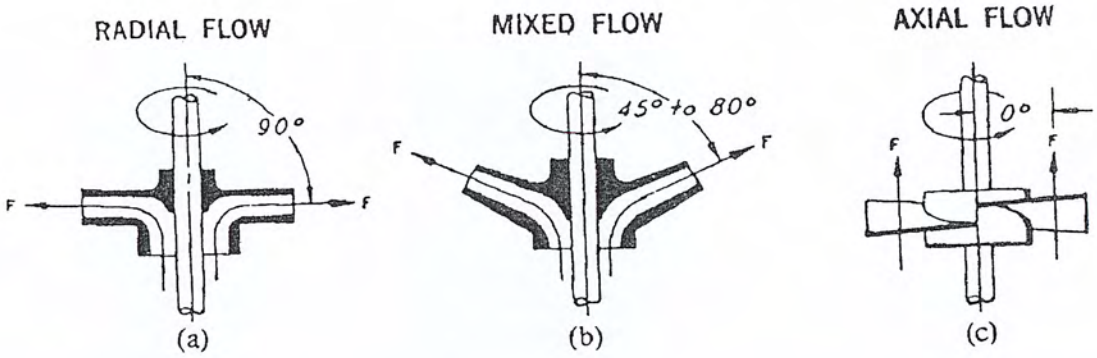
5. Mixed Flow ปั๊มสองแบบแรกที่กล่าวถึงข้างต้น คือแบบหอยโข่ง (Volute) และแบบมีครีบผันน้ำ (Diffuser) เป็นแบบที่เรียกชื่อตามลักษณะของเรือนปั๊มที่ทำหน้าที่รวบรวมหรือผันของเหลวที่ไหลออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ปั๊มแบบ Vertical Turbine ขนาด 3 ชั้น (Stage) และรูปขยายของโบว์ล 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด (a) ในแนวรัศมี (Radial Floe) (b) ในแนวทำมุมเอียงกับเพลา (Mixed Flow) และ (c) ในแนวขนานกับเพลา (Axial Flow)

จากใบพัดไปสู่ช่องทางจ่าย ใบพัดที่ใช้กับปั๊มทั้งสองแบบส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น Radial Flow คือของเหลวไหลเข้าสู่ศูนย์กลางของใบพัดในแนวขนานกับเพลาแล้วไหลออกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพียงอย่างเดียว ทิศทางการไหลออกจะทำมุม 90 องศากับทิศทางที่มันไหลเข้าดังรูปที่ 2.8a

สำหรับปั๊มแบบ Mixed Flow นั้นเป็นชื่อที่เรียกตามลักษณะของใบพัด หรือทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด ปั๊มหรือใบพัดแบบนี้จะเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยทั้งแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางและแรงผลักดันของแผ่นใบพัดในแนวขนานกับแกนของเพลา ขแงเหลวที่ไหลออกจะทำมุม 45 ถึง 80 องศากับแกนของเพลา (รูปที่ 2.8b) ปั๊มแบบนี้ให้เฮด (Head) น้อยกว่าแบบ Radial Flow แต่จะให้อัตราการสูบสูงกว่า ใบพัดแบบ Mixed Flow ใช้กันมากในแบบ Vertical Turbine

ปั๊มแบบ Mixed Flow นี้จะให้เฮดตั้งแต่ 3 ถึง 50 เมตรต่อใบพัด 1 ชุด อัตราการสูบมากได้ถึง 7,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความเร็วปกติของใบพัด 1,450 รอบต่อนาทีหรือมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Axial Flow (รูปที่ 2.8c) ในปั๊มแบบ Axial Flow ของเหลวที่ไหลเข้าและออกจากใบพัดมีทิศทางขนานกับแกนของเพลา แรงที่เพิ่มพลังงานให้กับของเหลวเป็นแรงผลักดันในทิศทางการไหลเพียงอย่างเดียว ไม่มีแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง ปั๊มแบบนี้ให้เฮดตั้งแต่ประมาณ 50 เซนติเมตร ถึง 7 เมตรต่อใบพัด 1 ชุด อัตราการสูบอาจมากได้ถึง 100,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความเร็วปกติของใบพัด 1,160 รอบต่อนาทีหรือมากกว่า

2.3.2 ลักษณะใบพัดของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล

เนื่องจากว่าใบพัดของปั๊มแบบเซนตริฟูกอลได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานมากมายหลายชนิด การจำแนกประเภทอาจจะพิจารณาได้จากลักษณะของแผ่นใบพัด จานประกับ (Shroud) ลักษณะการไหลของของเหลวเข้าและออกจากใบพัด หรือวัตถุประสงค์ใช้งานของมัน ใบพัดที่ได้รับการแยกประเภทตามหลักการข้างต้นมีดังนี้

1.ใบพัดเปิด (Open Impeller) โดยทั่วๆ ไปแล้วครีบของใบพัด จะยึดติดอยู่กับจานประกับ (Shroud) สำหรับใบพัดที่จัดอยู่ในประเภทนี้จะมีแผ่นครีบบางส่วนยื่นออกมาจากจาน คือรัศมีของจานจะเล็กกว่ารัศมีของใบพัด ดังรูปที่ 2.9a

2. ใบพัดกึ่งเปิด (Semi-open Impeller) เป็นแบบมีรัศมีของจานประกับเท่ากับรัศมีของใบพัด ใบพัดประเภทนี้มีจานประกับเพียงด้านเดียว อีกด้านหนึ่งของใบพัดจะไม่มีฝาปิดดังรูปที่ 2.9a

3.ใบพัดปิด (Closed Impeller) (รูปที่ 2.9a และ d) เป็นแบบที่ใบพัดปิดอยู่ด้วยจานประกับ 2 แผ่น ในรูป 2.9c มีทางให้ของเหลวไหลเข้าหรือทางดูดเพียงด้านเดียว เรียกว่าเป็นแบบใบพัดปิด ดูดด้านเดียว (Closed, single suction impeller) สำหรับรูป 2.9d มีทางดูด 2 ด้านเรียกว่าเป็นแบบใบพัดปิดดูดสองด้าน (Closed, double suction impeller)

4. Paper-stock Impeller (รูปที่ 2.9a) เป็นใบพัดที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษให้ใช้กับของเหลวที่มีความข้นเหลว (Consistency) สูง เดิมทีเดียวใบพัดแบบนี้ออกแบบไว้ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ต่อมานำมาใช้กับของเหลวอื่นด้วยแต่ก็ยังเรียกชื่อเดิมอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Propeller (รูปที่ 2.9f) เป็นใบพัดที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยการผลักดันในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการไหลเข้ามาสู่ใบพัดเพียงอย่างเดียว ไม่มีแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง ปั๊มที่มีใบพัดประเภทนี้เรียกว่า Axial Flow Pump.

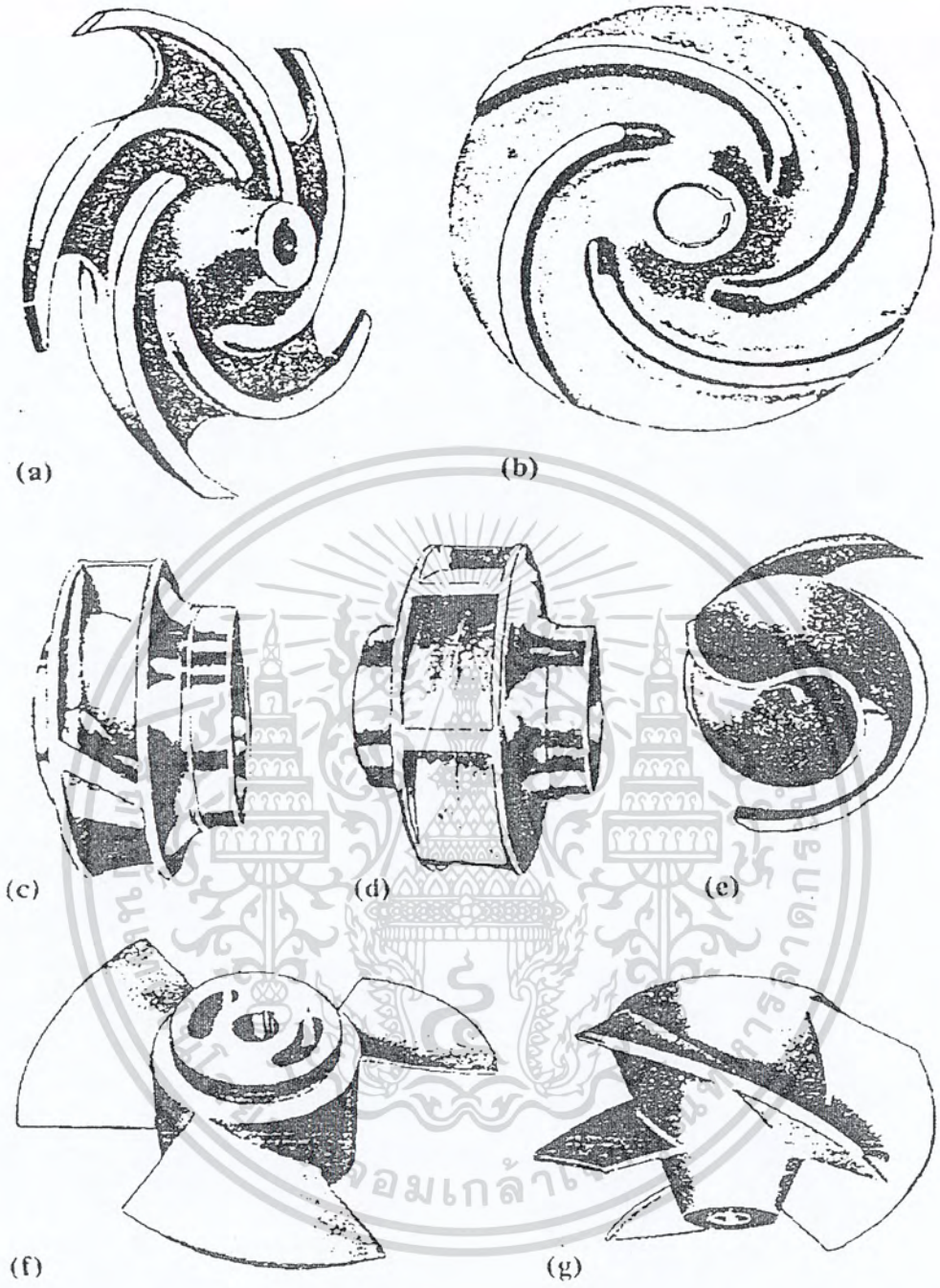
6. Mixed Flow (รูปที่ 2.9g) เป็นแบบที่ของเหลวไหลเข้ามาสู่ใบพัดในแนวขนานกับแกนของเพลา แต่ตอนไหลออกจะทำมุม 45 อาศง ถึง 80 องศา กับทิศทางเดิม กล่าวคือ การขับดันของเหลวมีทั้งแรงขับดันในทิศทางเดียวกันกับการไหลเข้าสู่ใบพัดและแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง

7. Radial Flow เป็นใบพัดแบบที่ของเหลวถูกขับดันออกไปโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางเพียงอย่างเดียว ทิศทางการไหลออกทำมุมฉากกับการไหลเข้า

2.4 ลักษณะและการทำงานของปั๊มแบบโรตารี่

ปั๊มโรตารี่ เป็นแบบที่ทำงานโดยของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออกโดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกลซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับชิ้นส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์ (Rotor) จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์จะก่อให้เกิดการแทนที่ที่เป็นการเพิ่มปริมาตรของของเหลว (Positive Displacement) ให้ทางด้านจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Open Impeller

(b) Semi-open Impeller

(c) Closed, single suction

(d) Closed, double suction

(e) Paper Stock

(f) Propeller (Axial flow impeller)

(g) Mixed flow Impeller

รูปที่ 2.9 ลักษณะใบพัดของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล (Centrifugal Pump)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการสูบของปั๊มแบบนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการแทนที่ของเหลวของโรเตอร์ซึ่งโดยทั่วๆ ไปแล้วจะต่ำกว่าแบบอื่น ประสิทธิภาพของการทำงานขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ช่องว่าง (Clearance) ระหว่างโรเตอร์กับผนังของห้องสูบ ความแตกต่างของความดันระหว่างด้านสูบกับด้านจ่าย ความข้นเหนียว (Viscosity) ของของเหลว และความเร็วของการหมุน เป็นต้น ปั๊มแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงได้ถึง 80-85% ถ้าใช้กับของเหลวที่มีความข้นเหนียวสูง

ผู้ผลิตได้ออกแบบปั๊มประเภทนี้ต่างๆ กันมากมายหลายแบบ ลักษณะการทำงานของทุกแบบคล้ายคลึงกัน จะผิดกันก็คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่หมุนเพื่อก่อให้เกิดการแทนที่ของเหลว การเรียกชื่อจึงเรียกตามลักษณะรูปร่างของส่วนนี้เป็นหลัก ตัวอย่างของปั๊มประเภทนี้ได้แก่

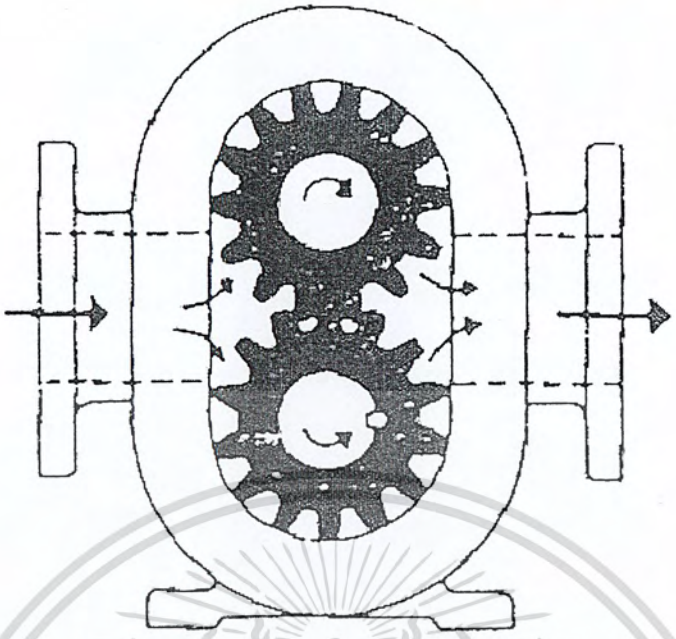
1.ปั๊มโรตารี่แบบเฟือง (Gear Pump-รูปที่ 2.10) เป็นแบบที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด ปั๊มแบบนี้ประกอบด้วยฟันเฟืองหรือเกียร์สองตัวหมุนขบกันในห้องสูบ ของเหลวจากทางดูดจะไหลเข้าไปอยู่ในร่องฟันซึ่งจะหมุนและพาของเหลวเข้าไปสู่ทางจ่าย ซี่ของฟันเฟืองซึ่งอยู่ชิดกับผนังของห้องสูบป้องกันไม่ให้ของเหลวไหลย้อนมาสู่ทางดูดได้ เมื่อมาถึงทางจ่ายแล้วร่องฟันเฟืองซึ่งมีของเหลวบรรจุอยู่ก็จะถูกแทนที่ด้วยฟันจากเฟืองอีกตัวหนึ่งซึ่งขบกันสนิทจนของเหลวไม่สามารถไหลผ่านฟันเฟืองไปสู่ด้านดูดได้

2.ปั๊มโรตารี่แบบครีบ (Vane Pump-รูปที่ 2.11) ปั๊มแบบนี้มีห้องสูบเป็นรูปทรงกระบอกและมีโรเตอร์ซึ่งเป็นทรงกระบอกเหมือนกันวางเยื้องศูนย์ให้ผิวนอกของโรเตอร์สัมผัสกับผนังของห้องสูบที่กึ่งกลางทางดูดกับทางจ่าย

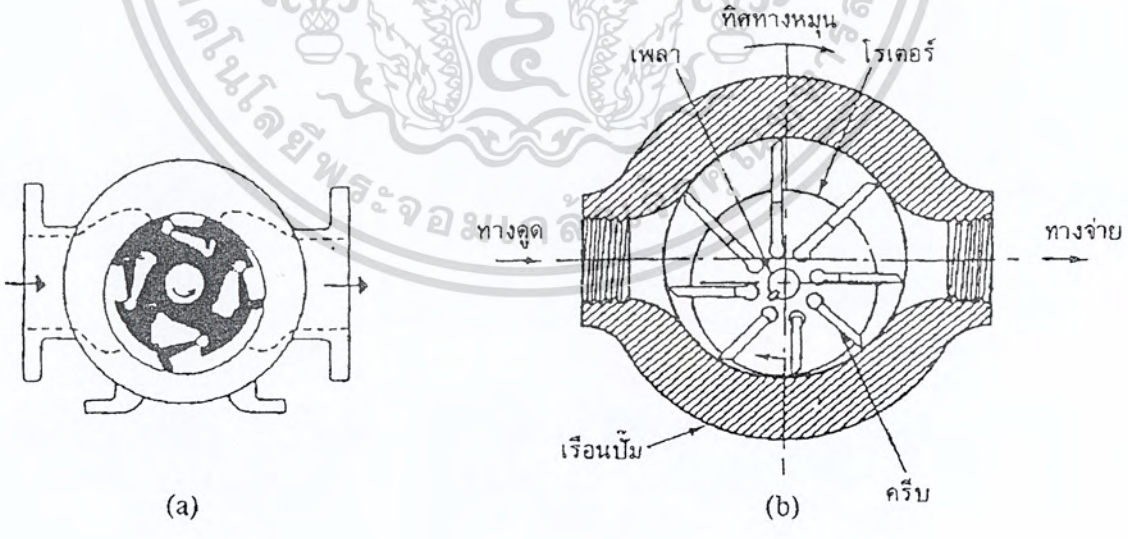
รอบๆ โรเตอร์จะมีครีบซึ่งเลื่อนได้ในแนวเข้าออกจากศูนย์กลางมาชนกับผนังของห้องสูบ เมื่อโรเตอร์หมุนครีบเหล่านี้ก็จะกวาดเอาของเหลวซึ่งอยู่ระหว่างโรเตอร์กับห้องสูบไปสู่ทางจ่าย **ปั๊มแบบนี้ได้เปรียบแบบเฟือง (Gear Pump) 9ตรงที่ว่า การสึกหรอของผนังห้องสูบหรือปลายครีบจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานมากเหมือนการสึกหรอของฟันเฟือง** เพราะครีบสามารถเลื่อนออกมาจนชนกับผนังของห้องสูบได้สนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

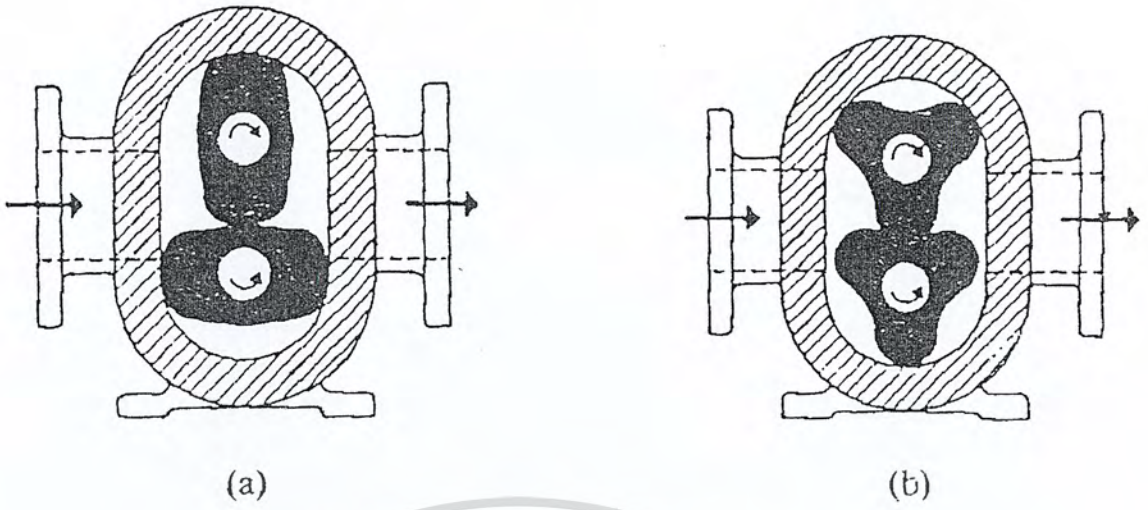


รูปที่ 2.10 ปั๊มโรตารี่แบบเฟือง (Gear Pump)

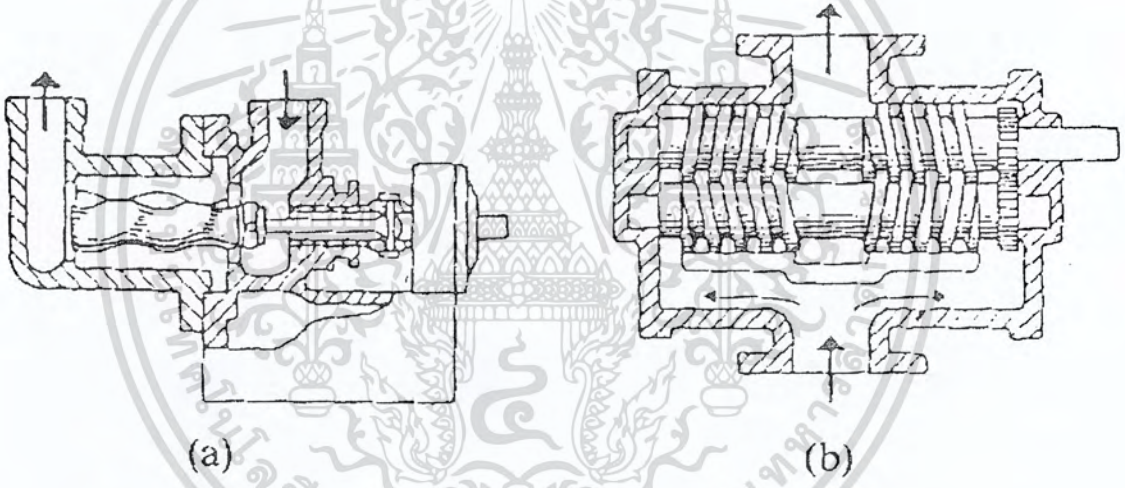


รูปที่ 2.11 ปั๊มโรตารี่แบบครีบ (Vane) (a) Swing-vane Pump และ (b) Slide-vane Pump.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
119253



รูปที่ 2.12 ปั๊มโรตารี่ (a) สองฉอน (Two-lobe) (b) สามฉอน (Three-lobe)



รูปที่ 2.13 ปั๊มโรตารี่แบบสว่าน (Screw Pump) (a) สว่านเดียว (Single-screw) (b) สองสว่าน (Two-screw)

3.ปั๊มโรตารี่แบบฉอน (Lobe Pump รูปที่ 2.12) ปั๊มแบบนี้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับแบบเฟือง (Gear Pump) แต่โรเตอร์มีลักษณะเป็นฉอนหรือพูสองถึงสี่ฉอน ช่องว่างระหว่างฉอนมีลักษณะแบนและกว้าง ดังนั้นอัตราการสูบจึงสูงกว่าแบบแรก แต่เนื่องจากการถ่ายทอดกำลังหมุนของโรเตอร์แบบนี้มีประสิทธิภาพต่ำมาก จึงจำเป็นต้องมีเฟืองนอกห้องสูบอีกชุดหนึ่งเพื่อช่วยให้จังหวะการหมุนของโรเตอร์ทั้งสองเข้ากันให้พอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ปั๊มโรตารี่แบบสว่าน (Screw Pump รูปที่ 2.13) ปั๊มแบบนี้เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุนในลักษณะขับดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกกับผนังของห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางจ่าย จำนวนสว่านหรือโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว

2.5 ลักษณะและการทำงานของปั๊มแบบลูกสูบชัก

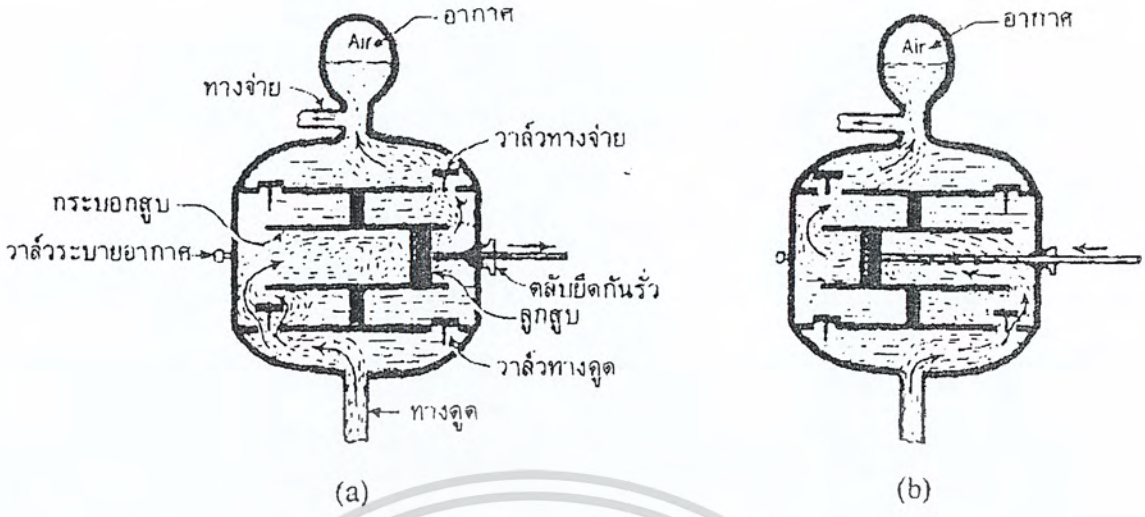
ปั๊มแบบลูกสูบชัก (Reciprocating Pump) เป็นแบบที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบเข้าไปอัดของเหลวให้ไหลไปสู่ทางจ่าย ปริมาตรของของเหลวที่สูบได้ในแต่ละครั้งจะเท่าดับผลคูณของพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบนั้น **ปั๊มชนิดนี้ต่างกับแบบโรตารี่ตรงที่ว่า การเคลื่อนที่ของตัวถ่ายเทพลังงานของแบบโรตารี่เป็นการหมุนรอบแกน แต่ปั๊มแบบลูกสูบชักเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง** ตัวอย่างของปั๊มประเภทนี้ได้แก่

1.แบบขับดันโดยตรง (Direct-acting) เป็นปั๊มลูกสูบชักที่มีต้นกำเนิดมาจากเครื่องจักรไอน้ำ การเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวมีลักาณะเป็นการอัดหรือผลักดันจากต้นกำลังโดยตรง

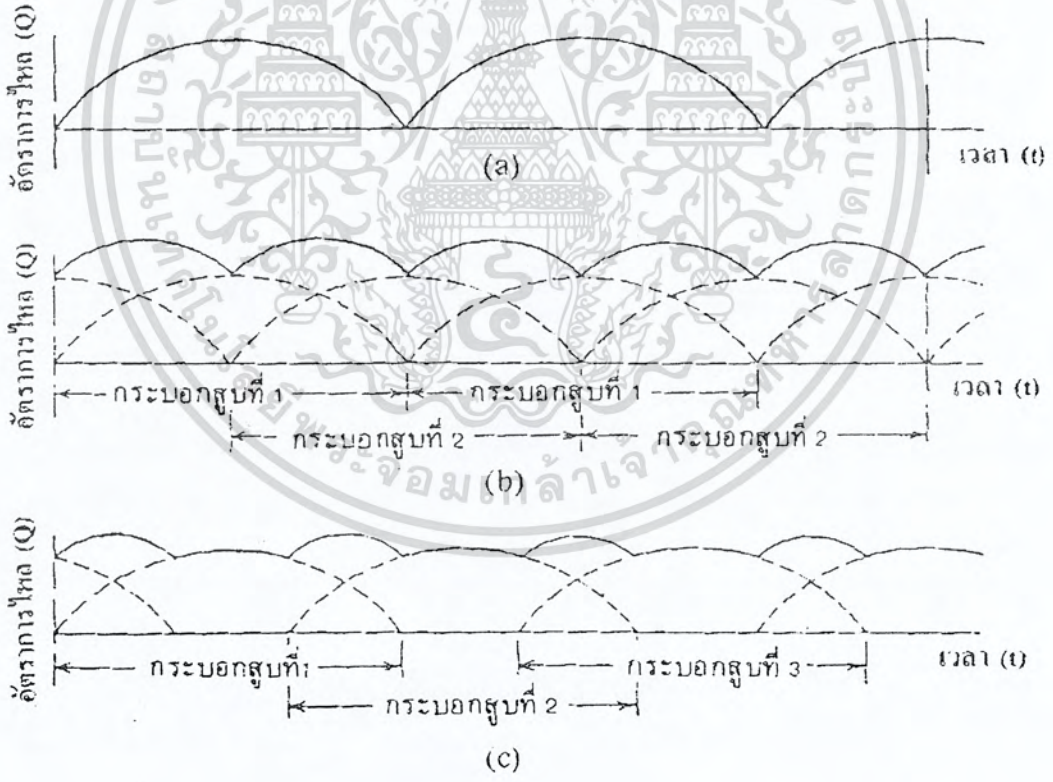
ในปั๊มแบบลูกสูบเดียวซึ่งเป็นแบบที่ง่ายที่สุดมีลักษณะการทำงานคล้ายกระบอกสูบของเครื่องยนต์ กล่าวคือ เมื่อมีการอัดของเหลวไปสู่ทางจ่ายแล้วก็จะต้องมีการดูดของเหลวที่ต้องการสูบเข้ามาแทนที่ ในช่วงดังกล่าวนี้การไหลของของเหลวก็จะขาดตอนไปจนกว่าจะถึงจังหวะอัดในรอบต่อไป การไหลจากปั๊มแบบนี้

รูปที่ 2.14 กราฟแสดงอัตราการไหลของปั๊มลูกสูบชักแบบลูกสูบเดียวและอัดจังหวะเดียว (Simplex, Single acting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ปั๊มลูกสูบชักแบบอัดสองจังหวะ (Double Acting) (a) กระบอกสูบด้านซ้ายมือทำหน้าที่ดูด ด้านขวามือทำหน้าที่อัด (b) กระบอกสูบด้านซ้ายมือทำหน้าที่อัด ด้านขวามือทำหน้าที่ดูด



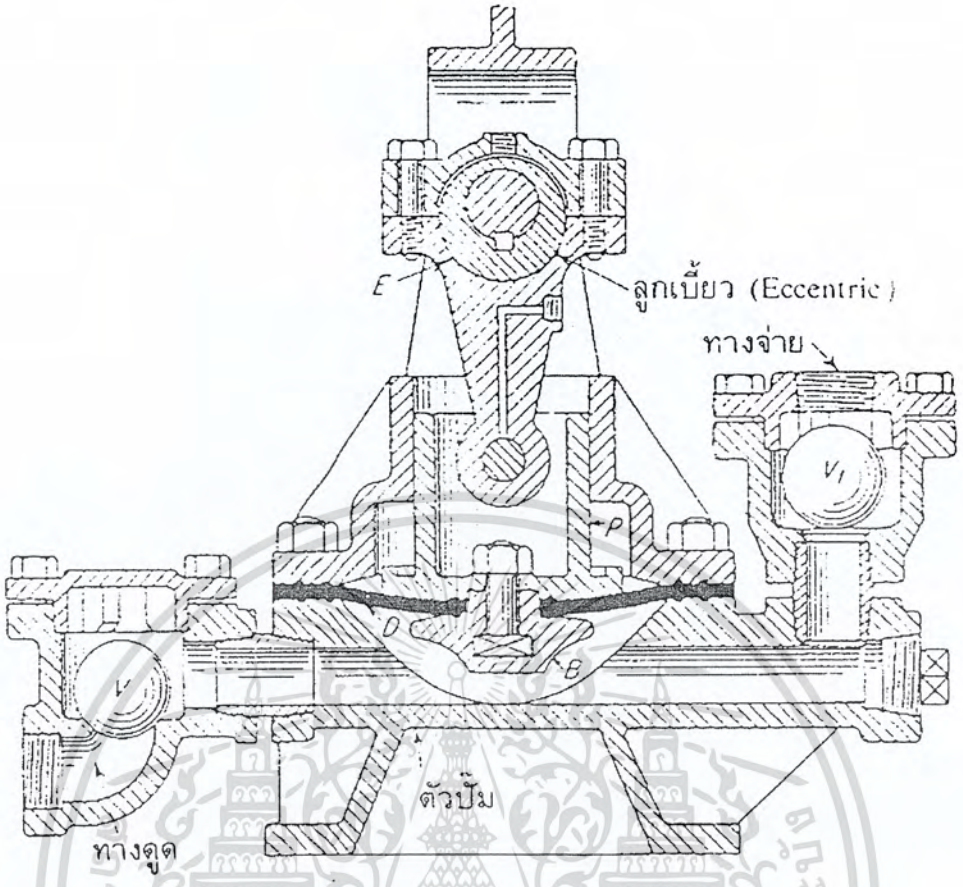
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างกราฟแสดงอัตราการไหลของปั๊มลูกสูบชัก (a) ลูกสูบเดียวขอัดสองจังหวะ (Simplex, double-acting), (b) สองสูบ-อัดสองจังหวะ (Duplex, double-acting) และ (c) สามสูบ-อัดจังหวะเดียว (Triplex, single-acting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

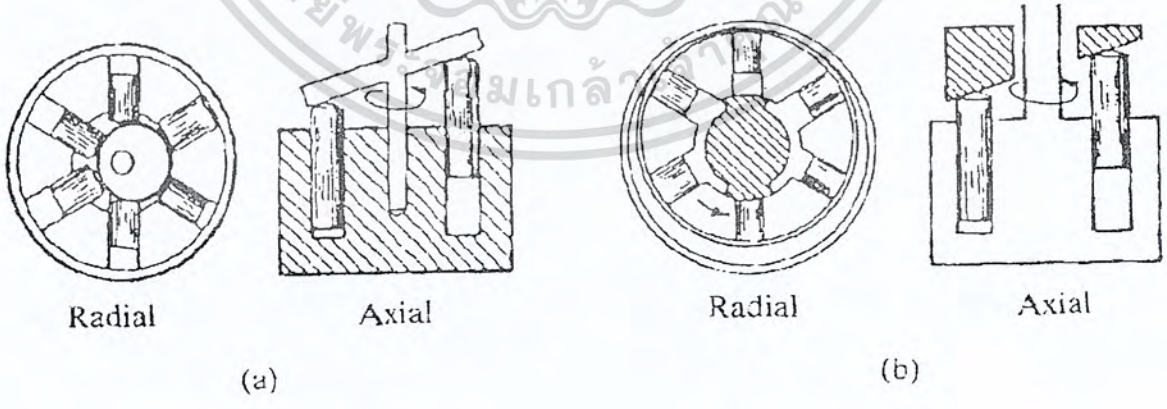
จะมีลักษณะดังเช่นรูปที่ 2.14 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานส่วนใหญ่ต้องการอัตราการไหลที่สม่ำเสมอ จึงได้มีการดัดแปลงกระบอกสูบให้ทำงานได้ทั้งในจังหวะอัดและในจังหวะดูด โดยเพิ่มความยาวของกระบอกสูบขึ้น จังหวะอัดของปลายกระบอกสูบด้านหนึ่งก็จะกลายเป็นจังหวะดูดของปลายกระบอกสูบของอีกด้านหนึ่งดังเช่นรูปที่ 2.15 ปั๊มที่มีลักษณะเช่นนี้เรียกว่าแบบอัดสองจังหวะ (Double-acting) ส่วนแบบแรกเป็นแบบอัดจังหวะเดียว (Single acting) การดัดแปลงดังกล่าวทำให้การไหลของของเหลวต่อเนื่องกันดีขึ้นดังเช่นรูปที่ 2.16 (a) แต่ก็ยังไม่ทำให้สม่ำเสมอได้ถ้าหากปั๊มดังกล่าวมีกระบอกสูบเพียงชุดเดียว (Simplex) การทำให้ความดันหรืออัตราการไหลสม่ำเสมออาจทำได้โดยการเพิ่มจะวนกระบอกสูบขึ้นเป็นสอง สาม สี่สูบ (Duplex, Triplex Quadruplex) หรือมากกว่าแล้วให้จังหวะการอัดเหลื่อมกันก็จะช่วยแก้ปัญหาได้ดังเช่นรูปที่ 2.16 (b) และ (c) นอกจากนั้นอาจแก้ปัญหาโดยการปั๊มของเหลผ่านเข้าไปในหม้อลมก่อนจ่ายออกไปเข้าระบบ อากาศซึ่งมีการขยายและหดตัวได้ดีจะช่วยทำให้อัตราการไหลสม่ำเสมอดีขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลา (Discharge Curve) ของรูปที่ 2.16 แตกต่างจากของรูปที่ 1.14 ตรงที่ว่า ก้านสูบ (Piston Rod) ของปั๊มในรูปที่ 2.14 เคลื่อนที่ในแนวตรงและมีความเร็วสม่ำเสมอโดนอาศัยแรงดันจากไอน้ำ ดังนั้นอัตราการไหลจะสม่ำเสมอตลอดช่วงจังหวะอัด ส่วนรูปที่ 2.16 การส่งกำลังดันของเหลวทำโดยใช้เครื่องยนต์หรือมอเตอร์ผ่านข้อเหวี่ยง (Crank Shaft) ดังนั้น อัตราการไหลจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและลดลงตามจังหวะการเคลื่อนที่ของก้านสูบที่ถูกดันโดยข้อเหวี่ยง ปั๊มลูกสูบชักแบบหลังนี้เรียกว่า **Power Pump**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ปั๊มแบบไดอาแฟรม (Diaphragm pump)



รูปที่ 2.18 ปั๊มแบบ (a) Rotary-piston และ (b) Rotary block.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.แบบไดอาแฟรม (Diaphragm pump) เป็นแบบที่กระบอกสูบซึ่งทำหน้าที่ดูดและอัดของเหลว ได้รับการดัดแปลงไปเป็นแผ่นอโลหะ ซึ่งยืดหยุ่นได้ดังรูปที่ 2.17 แผ่นอโลหะถูกยึดติดอยู่กับที่ โดยจะมีชิ้นส่วนของปั๊มมาดันและดึงทำให้เกิดจังหวะดูดและอัดสั้นๆ ปั๊มแบบนี้ใช้สำหรับอัตราการสูบน้อยๆ เท่านั้น

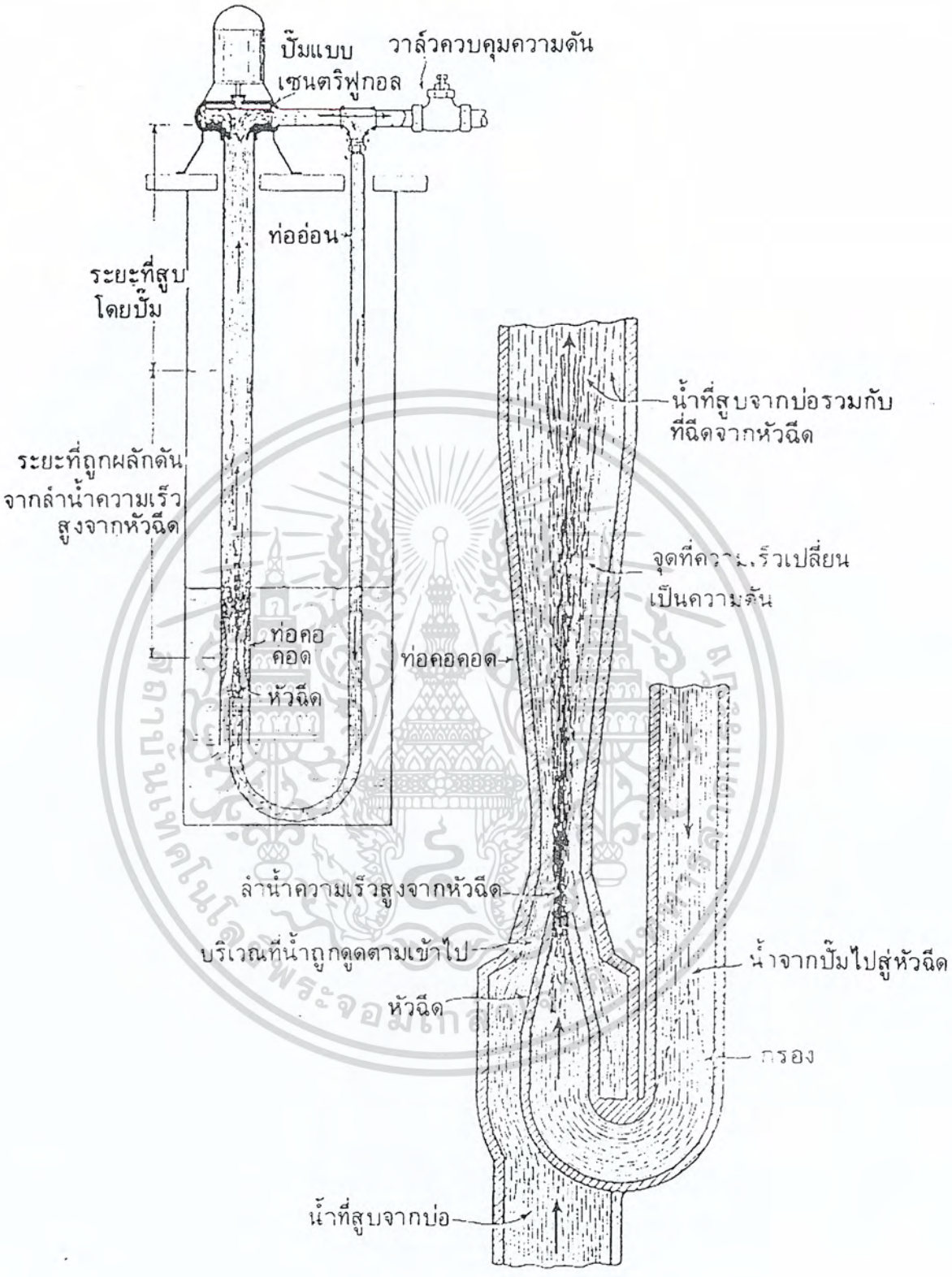
3.แบบ (Rotary-piston) เป็นแบบที่ลูกสูบวางเรียงกันในแนวตั้ง (Axial) หรือแนวนอน (Radial) เป็นวงกลม ดังรูปที่ 2.18 การดูดและอัดเกิดขึ้นได้โดยมีโรเตอร์หมุนก่อให้เกิดการกดและคลายบนลูกสูบรอบๆ เวียนกันไป การทำงานของแต่ละกระบอกสูบมีลักษณะเป็นแบบอัดจังหวะเดียว (Single-acting) ในทางตรงกันข้ามถ้าหากส่วนที่ติดตั้งกระบอกสูบทำหน้าที่หมุนโดยชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่กดกระบอกสูบเข้าไปในเสื้อสูบอยู่กับที่ เราเรียกปั๊มประเภทนี้ว่าแบบ Rotary block

2.6 ปั๊มชนิดนอกแบบ (Special)

ปั๊มที่ใช้กันอยู่โดยทั่วๆ ไปเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางหรือโดยแทนที่ของเหลวในห้องสูบด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนเครื่องสูบ อย่างไรก็ตาม ยังมีปั๊มบางแบบที่ทำงานนอกเหนือกฎเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น ปั๊มที่กล่าวถึงในที่นี้ก็มี **Jet Pump, Air-Lift Pump และ Hydraulic Ram.**

1.Jet Pump โดยแท้จริงแล้วปั๊มแบบนี้เรียกว่า Jet pump นั้นประกอบขึ้นด้วยปั๊มแบบเซนตริฟูกอลทำงานร่วมกับหัวฉีด น้ำจากหัวฉีดซึ่งมีแรงดันสูงจะพุ่งผ่านช่องแคบของท่อซึ่งมีรูปทรงเป็นท่อคอคอด (Venturi) ด้วยความเร็วของลำน้ำที่พุ่งออกจากหัวฉีด ทำให้น้ำส่วนที่อยู่รอบๆ ไหลตามสายน้ำผ่านท่อคอคอดเข้าไปด้วย ท่อคอคอดจะต่อตรงไปยังทางดูดของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล ปริมาณน้ำที่ส่งออกจากปั๊มนี้ส่วนหนึ่งจะถูกส่งเข้าท่อย้อนกลับไปเข้าหัวฉีดใหม่อีก ส่วนที่เหลือก็จ่านออกไปใช้งานต่อไป ลักษณะและการทำงานของ Jet Pump แสดงไว้ในรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ลักษณะการทำงานและองค์ประกอบของ Jet Pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากลักษณะการทำงานของปั๊มแบบนี้แล้ว จะเห็นว่าประสิทธิภาพของ Jet Pump จะอยู่ในระดับต่ำ แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าปั๊มชนิดนี้ไม่มีประโยชน์เสียเลยทีเดียว เพราะมีบางกรณีที่มันสามารถทำงานได้ดีกว่าแบบอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้สูบน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในบ้าน **ข้อดีสำหรับปั๊มแบบนี้ก็คือ**

(1) ใช้ได้ดีกับบ่อบาดาลที่มีขนาดเล็กและลึก ในกรณีที่ระดับน้ำอยู่ลึกจนมาสามารถตั้งปั๊มที่ปากบ่อได้ และบ่อมีขนาดเล็ก เช่น ขนาด 2 นิ้ว ขนาดดังกล่าวนี้จะเล็กเกินไปสำหรับปั๊มน้ำบาดาล (Vertical Turbine) ทั่วๆ ไป หรือแบบปั๊มจุ่ม (Submersible) แต่สามารถใช้ Jet Pump ได้

(2) ส่วนประกอบที่ต้องดูแลบำรุงรักษาเป็นประจำอยู่บนผิวดิน ทำให้สามารถดูแลรักษาได้ง่าย

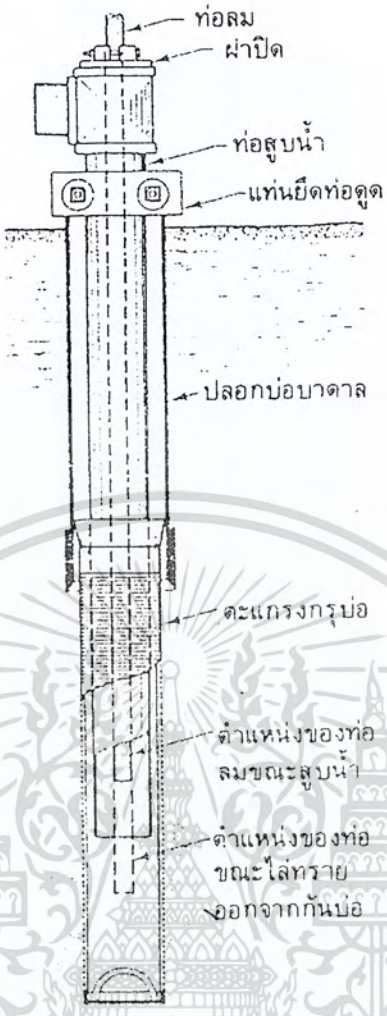
(3) ปั๊มเซนตริฟูกอลที่นำมาใช้เป็นแบบธรรมดาซึ่งมีราคาถูก ดังนั้นค่าลงทุนครั้งแรกและค่าบำรุงรักษาจะไม่สูงนัก

(4) ตำแหน่งที่ตั้งปั๊มเซนตริฟูกอลไม่จำเป็นต้องอยู่ที่ปากบ่อบาดาลก็ได้

อย่างไรก็ตามปั๊มแบบนี้ไม่เหมาะสำหรับบ่อบาดาลที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามฤดูกาลมากๆ หรือในกรณีที่น้ำบาดาลมีสารเคมีที่กัดกร่อนโลหะ ซึ่งจะทำให้ขนาดของหัวฉีดขยายกว้างขึ้นหรือทำให้หัวฉีดอุดตันได้

2. Air-Lift Pump เป็นปั๊มที่ส่วนใหญ่ใช้ในงานสูบน้ำจากบ่อบาดาล ทำงานโดยการปล่อยลมจากเครื่องอัดลมความดันสูงผ่านท่อลงไปสู่ก้นบ่อบาดาล ฟองอากาศผสมกับน้ำในบ่อจะทำให้ความถ่วงจำเพาะของน้ำลดลงและจะถูกฟองอากาศดันขึ้นมาสู่ปากบ่อ ดังรูปที่ 1.20 เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มแบบนี้ต่ำมากจึงใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะเท่านั้น เช่นในการพัฒนาบ่อบาดาลเพื่อกำจัดทรายที่ก้นบ่อให้หมดไป เพราะถ้าใช้ปั๊มแบบธรรมดาแล้วทรายเหล่านี้จะทำให้ใบพัดสึกกร่อนและเสียหายอย่างรวดเร็ว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

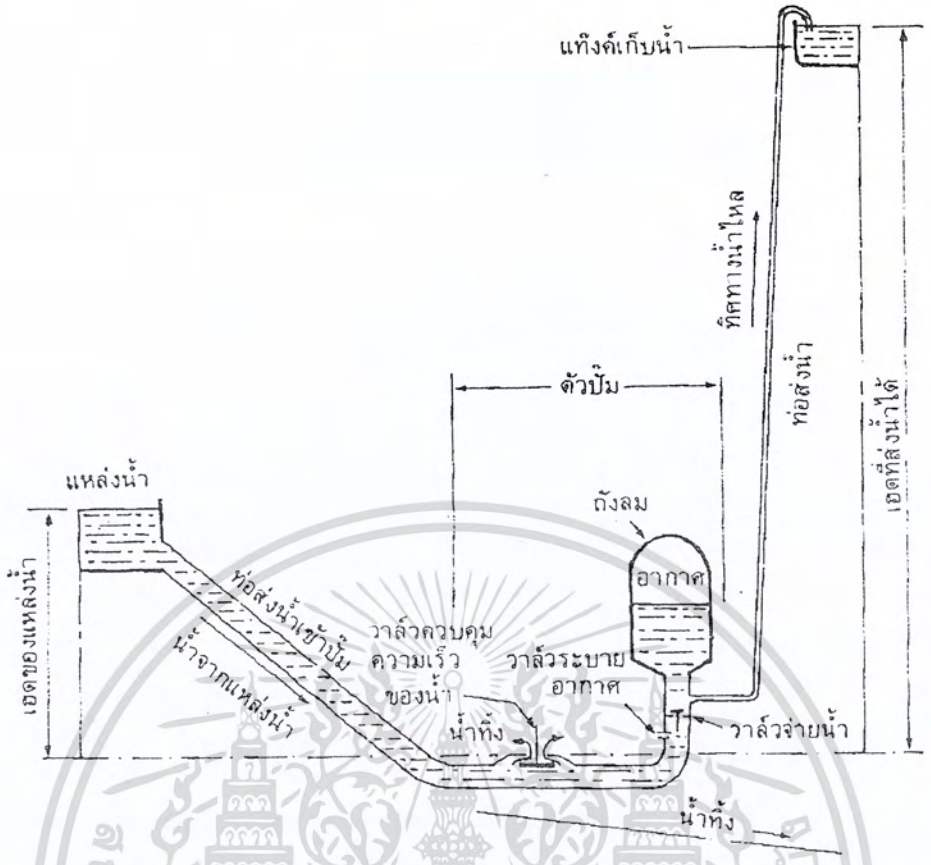


รูปที่ 2.20 ลักษณะและการทำงานของ Air-Lift pump

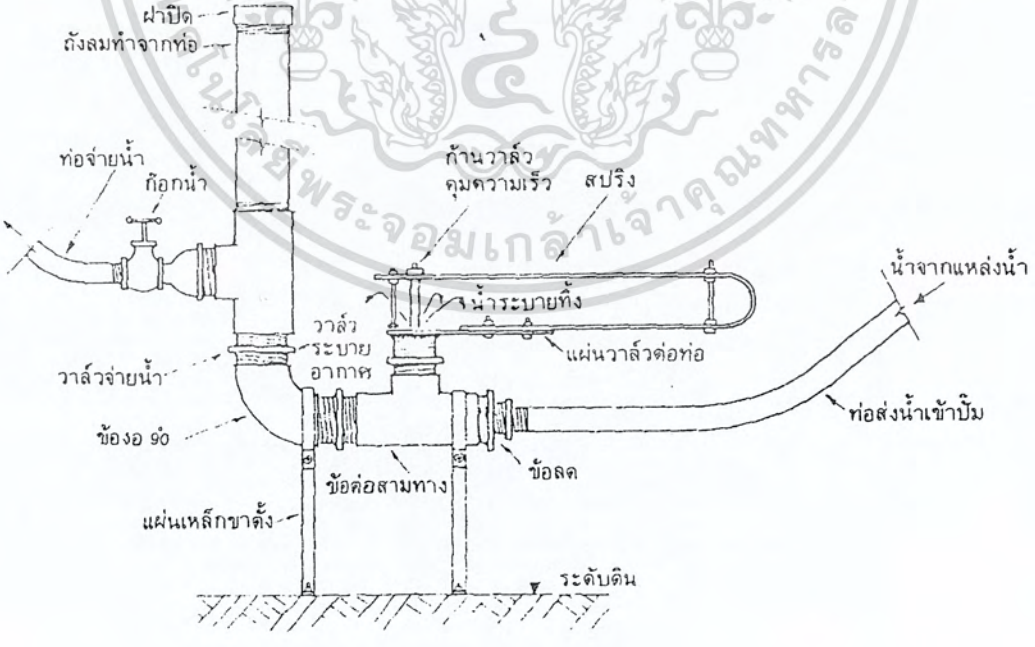
3. Hydraulic Ram หรือตะบันน้ำเป็นปั๊มที่ทำงานโดยอาศัยแรงกระแทกของน้ำในท่อที่ถูกให้หยุดไหลอย่างกะทันหัน (Water Hammer) รูปร่างลักษณะของ Hydraulic Ram แสดงไว้ในรูปที่ 2.21 a

การทำงานของ Hydraulic Ram เริ่มต้นโดยน้ำไหลจากแหล่งน้ำผ่านท่อส่งและไหลออกทางวาล์วควบคุมความเร็วของน้ำ (Impulse Valve) ถ้าความเร็วของการไหลผ่านวาล์วดังกล่าวสูงพอความเร็วและแรงดันน้ำจะทำให้วาล์วปิดทันทีทันใด การปิดนี่จะทำให้น้ำซึ่งกำลังไหลมาตามท่อกระแทกกับผนังท่อในบริเวณนั้นและทำให้ความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความดันที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้วาล์วจ่ายน้ำ (Delivery Valve) ที่ถังลม (Air Chamber) เปิดให้น้ำไหลเข้าไปและไหลผ่านท่อส่งไปสู่ถังเก็บน้ำ เมื่อน้ำไหลเข้าไปในถังลมแล้วความดันก็จะลดลงพร้อมกันนั้นแรงกระแทกของน้ำ (Water Hammer) ก็จะสะท้อนกลับ วาล์วจ่ายน้ำปิด และวาล์วควบคุมความเร็ว (Impulse Valve) ตกลงตามเดิม น้ำจะไหลผ่านใหม่อีกครั้งและจะเวียนเป็นวงจรอยู่อย่างนี้ตลอดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 (a) องค์ประกอบและลักษณะการทำงานของ Hydraulic Ram



รูปที่ 2.21 (b) Hydraulic Ram ที่ประกอบขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ท่อที่มีขายในท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าในขบวนการสูบน้ำของปั๊มแบบนี้ต้องมีการสูญเสียน่ำผ่านวาล์วควบคุมความเร็วเป็นจำนวนมาก แต่ก็**มีข้อดีหลายอย่างด้วยกัน คือ**

(1) ใช้พลังงานจากแหล่งน้ำที่มีอยู่แล้ว ไม่ต้องการพลังงานเพิ่มเติมจากแหล่งอื่นอีกและไม่มีค่าใช้จ่ายประจำในการเดินเครื่องเหมือนปั๊มแบบอื่น

(2) มีชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่และมีการสึกฟรอได้เพียงสองชิ้น คือวาล์วควบคุมความเร็ว (Impulse Valve) และวาล์วจ่ายน้ำ (Delivery Valve) ทั้งสองชิ้นมีราคาถูกและซ่อมแซมได้ง่าย

(3) ถ้ามีการปรับจังหวะการปิดเปิดของวาล์วควบคุมความเร็วได้พอเหมาะจะให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงเกือบตลอดช่วงอัตราการไหล

(4) สามารถประกอบขึ้นได้จากอุปกรณ์ท่อที่มีขายอยู่แล้วในท้องตลาด และไม่ต้องการเครื่องมือเพื่อประกอบมากนัก แบบขยายของปั๊มแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.21 b

สำหรับข้อเสียของปั๊มแบบนี้นอกเหนือจากมีการสูญเสียน้ำผ่านวาล์วควบคุมความเร็วเป็นจำนวนมากแล้ว (อัตราส่วนระหว่างปริมาตรที่สูญเสียต่อปริมาตรที่สูบได้จะอยู่ระหว่าง 6:1 ถึง 2:1 ขึ้นอยู่กับเฮดของแหล่งน้ำและความสูงของระดับน้ำที่ต้องการส่ง) ในขณะที่ปั๊มกำลังทำงานจะมีเสียงดังอยู่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ชนิดของ Ejector สำหรับการศึกษา

ระบบการทำงานของเครื่องสูบชนิดแบบสูบลึกโดยการสูบของเหลวที่มีความดันผ่าน nozzle ใน ejector การเพิ่มสูญญากาศบน suction side ของ ejector น้ำหรืออากาศหลังจากนั้นจะถูกดึงจากบ่อไปสู่ suction tube ที่เชื่อมต่อกับ suction side ของแต่ละ ejector

การศึกษาเริ่มต้นกับ ejector 3 รูปแบบ การออกแบบพื้นฐานมาจากนิยามพื้นฐานของการดัดแปลง และการพัฒนาการใช้ที่เลือกการออกแบบในรูปของเทคนิค ejector รูปแบบที่ 1- 3 แสดงในรูปที่ 2.22 ในรูปของภาพตัด

Model 1 Model 2 Model 3

(Oklahoma, 2007) (Myers and Bros, 1956) (Vortex Ventures Inc, 1998)

รูปที่ 2.22 Ejector model 1, model 2 และ model 3

Model 1 (Oklahoma, 2007) เป็นพื้นฐานของ ejector เป็น ejector ที่เพิ่มสูญญากาศบน suction side ของ ejector น้ำหรืออากาศหลังจากนั้นจะถูกสูบจากบ่อไปสู่ suction tube ที่เชื่อมต่อกับ suction side ของ ejector

Model 2 (Myers and Bros, 1956) เป็นการทำงานภายใต้หลักการของ jet และ venturi tube ส่วนประกอบเหล่านี้ใช้ในการเชื่อมต่อกับเครื่องสูบแบบหอยโข่ง องค์ประกอบใช้ในจุดเชื่อมต่อกับเครื่องสูบแบบหอยโข่ง จาก jet-centrifugal หรือ jet pump เครื่องสูบแบบสูบลึกใช้ท่อ nozzle pipe ในด้านข้างของท่อดูด ejector มีท่อ nozzle สองส่วน และส่วนของ venturi เชื่อมต่อกับท่อดูด

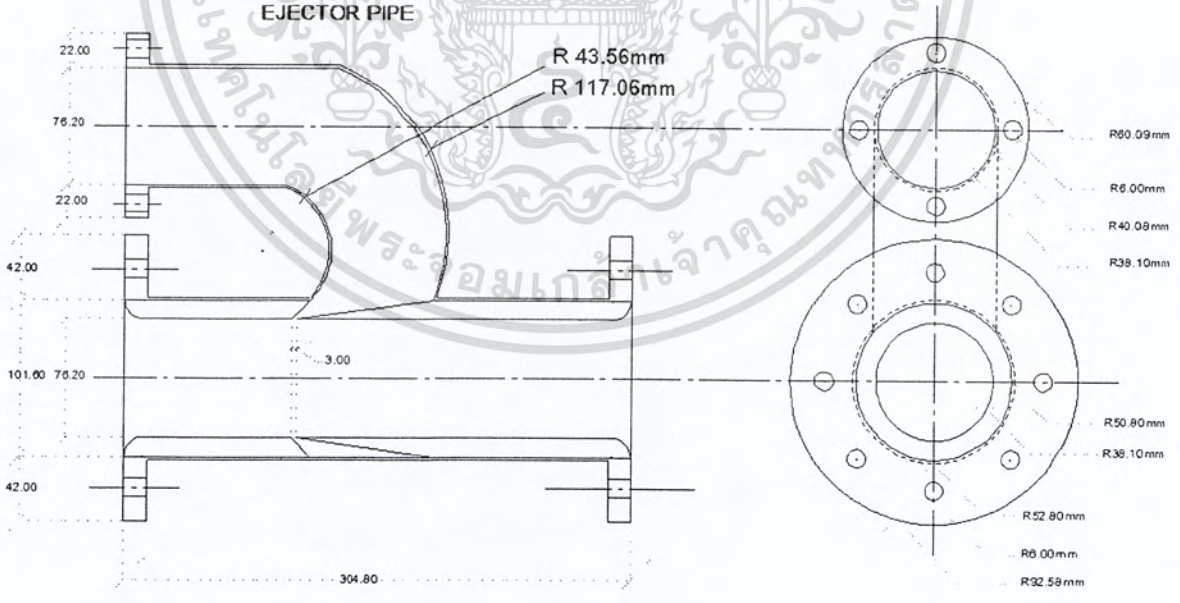
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model 3 (Vortex Ventures Inc, 1998) ใช้ circumferential nozzle ในส่วนกลางของ venturi tube ejector ออกแบบด้วยการยกแรงที่เคลื่อนที่บนน้ำที่ช่วยในการไหลผ่าน suction pipe annular nozzle ต้องใช้ในส่วนกลางของปริมาณดินที่สูงกว่าในการทดลองหรือการทำงานเล็กน้อย

2.8 การเลือกใช้ Ejector

การเลือก ejector เราใช้ ejector Model 3 (Vortex Venture Inc, 1998) ติดตั้งกับท่อดูดขนาด 4"และ ท่อไหลกลับขนาด 2 " กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 2 ลูกสูบ 12.5 แรงม้าเท่านั้นที่ใช้เครื่องปั๊มในงานชลประทานได้ศึกษาเป็นการออกแบบง่ายๆที่ใช้ในเขตการดำเนินการ การเลือกการออกแบบ ejector ทำได้ดังนี้

1. ทำให้สูญเสียความเสียดทานต่ำที่ระบบ
2. สร้าง ejector ต้นทุนต่ำ
3. ใช้และดำเนินการติดตั้งภายในเครื่องปั๊มน้ำ



รูปที่ 2.23 Ejector Pipe ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

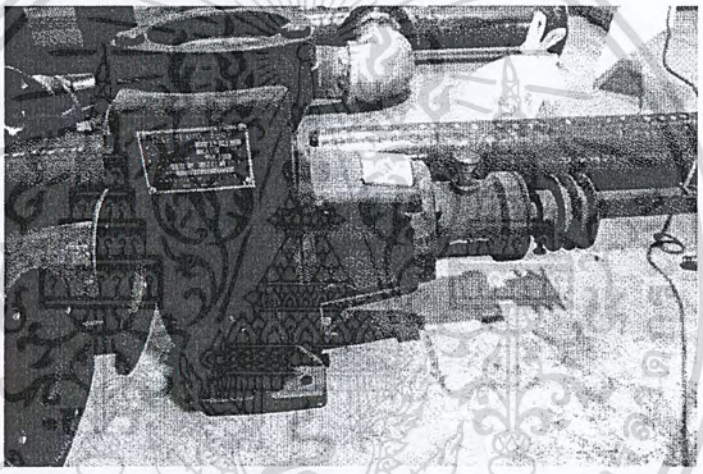
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการทดสอบสมรรถนะการทำงานของชุดหัวพ่นกับปั๊มน้ำสำหรับบ่อบาดาล จะต้องเตรียมวัสดุอุกปรณ์ สถานที่ ขั้นตอนการติดตั้ง รวมทั้งวิธีการทดลองที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

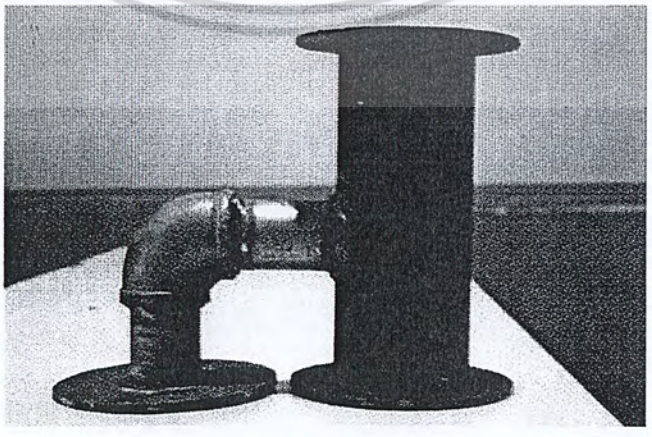
3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) เครื่องปั๊มน้ำ (water pump) ขนาด 4 x 4 inches



รูปที่ 3.1 ปั๊มน้ำ

2) ชุดพ่นขนาด 2"(ejector set)



รูปที่ 3.2 Ejector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เครื่องยนต์ Kubota ET 95

4) ท่อเหล็กยาว 2 เมตร ขนาด 4 นิ้ว จำนวน 3ท่อน

5) ท่อเหล็กยาว 1 เมตร ขนาด 2 นิ้ว จำนวน 1 ท่อน

6) ท่อเหล็กยาว 1เมตร ขนาด 2.5 นิ้ว จำนวน 1 ท่อน

7) ท่อเหล็กยาว 1 เมตร ขนาด 4 นิ้ว จำนวน 1 ท่อน

8)ข้อ 90^0 ขนาด 4" 1 ตัว

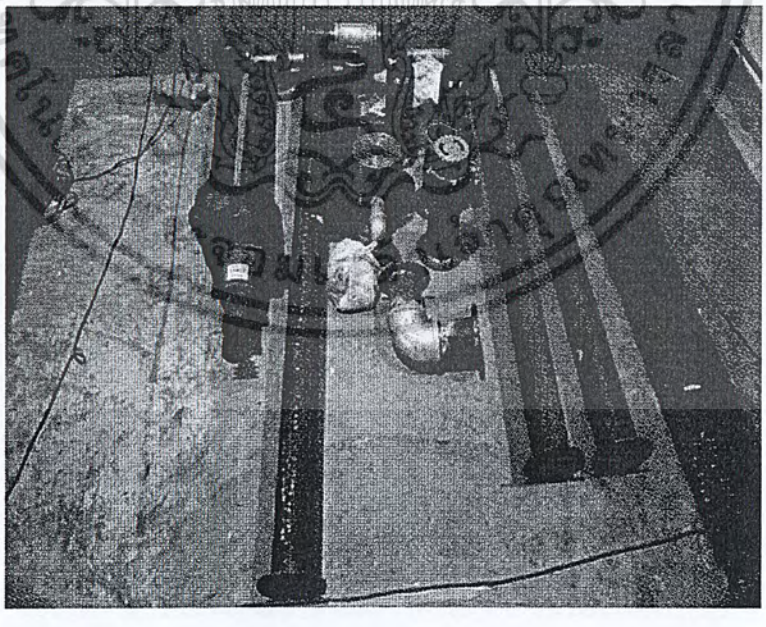
9) ข้อ 90^0 ขนาด 2" 1 ตัว

10)ข้อต่อ 3 ทาง ขนาด 4" 1 ตัว

11) Pressure gage , Vacaum gage

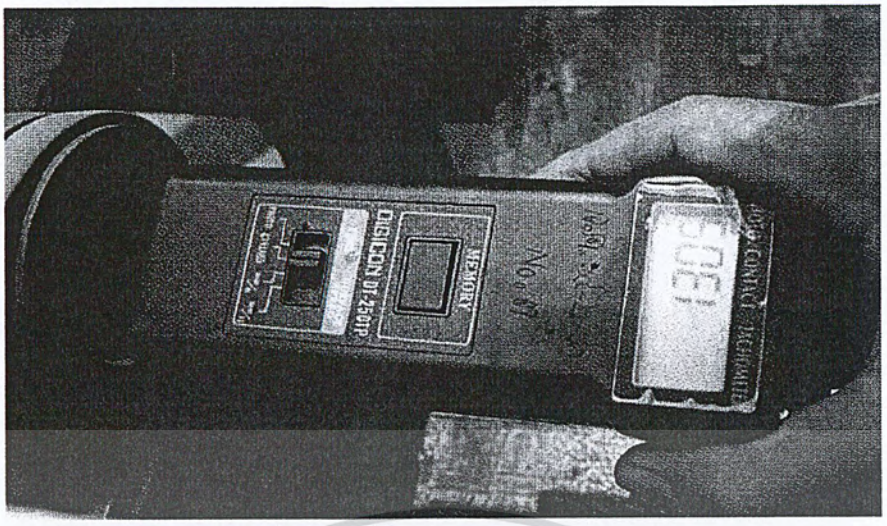
12) เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ

13) foot valve จำนวน 1 ตัว



รูปที่ 3.3 วัสดุอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ

3.2 วัสดุอุปกรณ์การสร้างฝายสามเหลี่ยมจำลอง

1.เหล็กฉากยาว 1 เมตร 4 ท่อน

2. .เหล็กฉากยาว 0.7 เมตร 6 ท่อน

3. .เหล็กฉากยาว 0.6 เมตร 4 ท่อน

4. .เหล็กแผ่นขนาด 1x0.6 m 1 แผ่น

5.เหล็กแผ่นขนาด 1x0.7 m 1 แผ่น

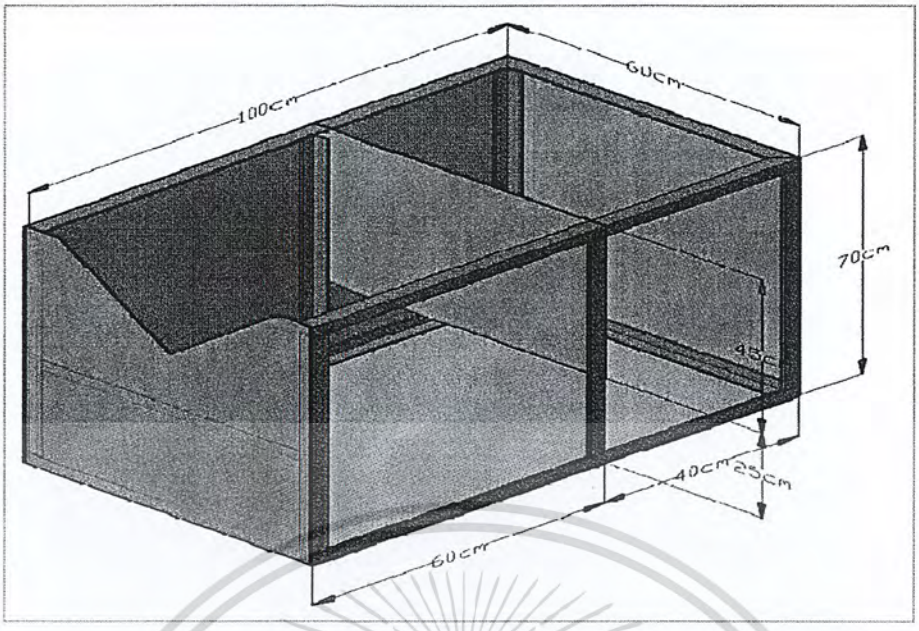
6.เหล็กแผ่นขนาด 0.6x0.7 m 1 แผ่น

7.เหล็กแผ่นขนาด 0.6x0.45 m 1 แผ่น

8.แผ่นเหล็กฝายสามเหลี่ยม 1 แผ่น

9.แผ่นอะคลิลิกขนาด 0.6x0.7 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ฝายสามเหลี่ยมจำลอง

รูปที่ 3.6 การไหลของน้ำที่ฝายสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ข้อมูลที่ต้องรวบรวมผลในการทดลอง

1. ความเร็วของน้ำ (โดยเครื่อง Ultrasonic Velocity Monitor)

2. ความเร็วรอบของเครื่องสูบและเครื่องยนต์ (โดยเครื่องวัดวามเร็ว (tachometer), รอบต่อนาที)

3. total dynamic head (โดยการคำนวณเป็นเมตร)

4. การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ (สอบเทียบเป็นมิลลิลิตร)

5. พลังงานที่สร้างโดยเครื่องยนต์ (โดยการคำนวณในแรงม้า)

6. อัตราการไหลของน้ำ(โดยฝายสามเหลี่ยม)

7. ความดันในท่อ(โดย pressure gage)

รูปที่ 3.7 เครื่อง Ultrasonic Velocity Monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การติดตั้งการทดลอง

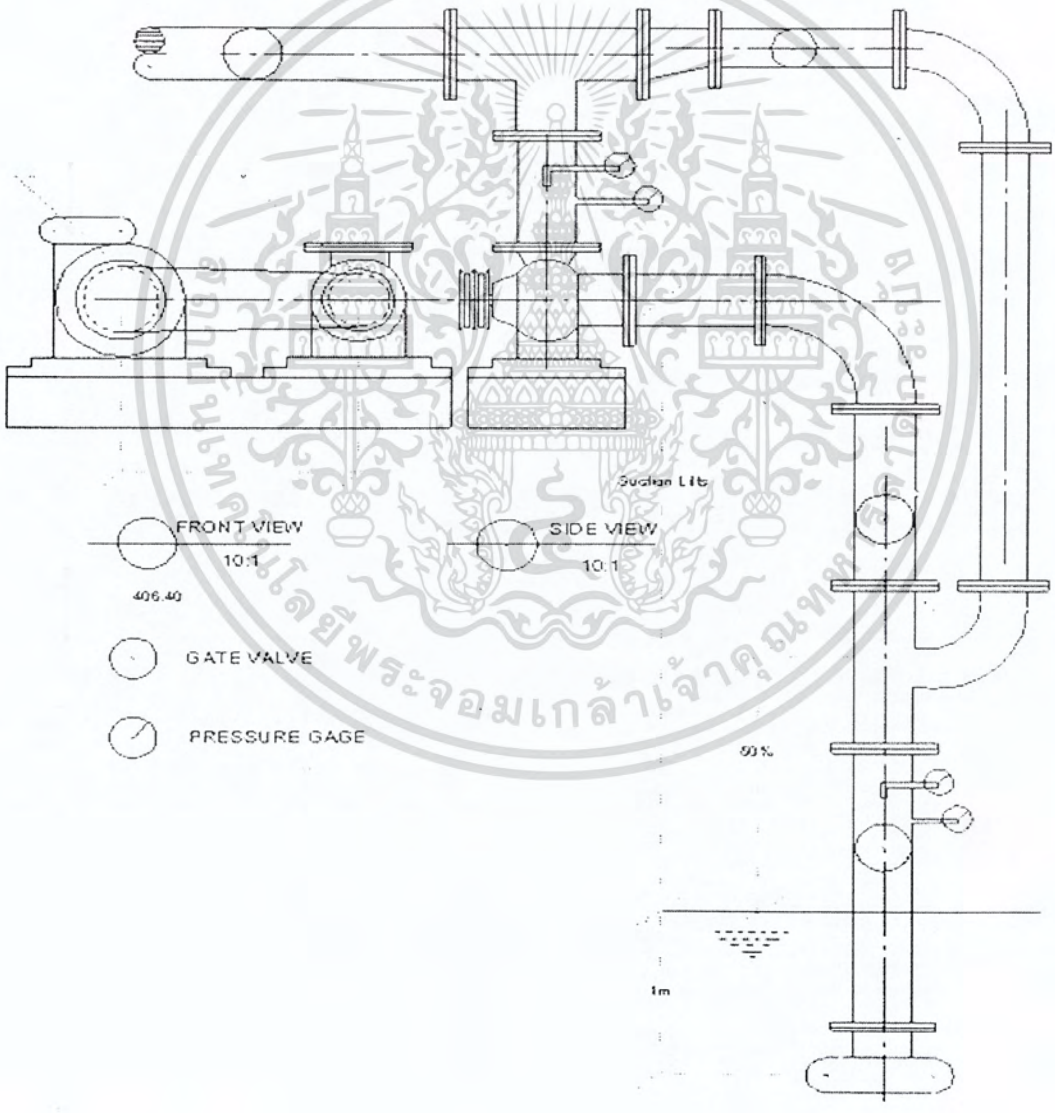
1.สร้างแท่นเพื่อติดตั้งเครื่องยนต์ต้นกำลังและปั๊มน้ำ

2.ประกอบชุดท่อทางดูดและชุดท่อ ejector

3.ติดตั้งชุดท่อทางจ่ายและชุดวาล์วเปิด-ปิด ejector

4.ประกอบชุด ejector และท่อทางดูดเข้ากับปั๊มน้ำ

5.ติดตั้งเครื่องต้นกำลังพร้อมทั้งสายพานเข้ากับปั๊มน้ำ



รูปที่3.8 แสดงลักษณะการติดตั้งการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องต้นกำลัง Pump โดยเราจะเริ่มทดลองจากการไม่ติดตั้ง ejector โดยปิดวาล์ว ejector

2. ติดตั้งเครื่องต้นกำลัง แล้วรันเครื่องให้ได้ความเร็วรอบตามต้องการ ซึ่งความเร็วรอบที่เราใช้ในการเก็บค่า เท่ากับ 1,200 , 1,300 , 1,400 RPM โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบ จากนั้นจับ เวลา 5 นาที บันทึกค่า โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3. ทดลองโดยการติดตั้ง ejector โดยติดตั้งท่อขนาด 2'' ที่ ejector จากนั้นเปิด Vale ejector ติดเครื่องต้นกำลังที่ความเร็วรอบที่กำหนด คือ 1,200 , 1,300 , 1,400 RPM จากนั้นจับเวลา 5 นาที บันทึกค่า โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4. เปลี่ยนท่อจากขนาด 2" เป็น 2.5" แล้วทำการทดลองและเก็บค่าเหมือนเดิม

5. เก็บค่าความดันที่ Pressure Gage และ Vacaum Gage

6. วัดความเร็วของน้ำโดยใช้ Ultrasonic Velocity Monitor ที่ท่อทางออก และวัดระดับที่ฝายสามเหลี่ยม

7. นำค่าที่ได้รับไปวิเคราะห์

รูปที่ 3.9 การวัดความเร็วรอบของปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทดสอบประสิทธิภาพ

ข้อมูลต่อไปนี้รวบรวมการประเมินประสิทธิภาพทางเทคนิคของปั๊มน้ำสำหรับบ่อบาดาล

A. เฮดความเร็ว (Velocity Head, H_v)

$$H_v = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$$

เมื่อ H_v = เฮดความเร็ว (เมตร)

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลที่จุดวัด (เมตรต่อวินาที)

g = specific gravity (m/s^2)

B. เฮดความดัน (Pressure Head, Hp)

$$H_p = (p_1 - p_2)/\omega$$

เมื่อ H_p = เฮดความดัน (เมตร)

P = ความดันเฉลี่ยของการไหลที่จุดวัด (บาร์)

ω = น้ำเฉพาะของน้ำ (1 กิโลกรัมต่อลิตร)

C. เฮดสถิตย์ (Static Head, Hs)

$$H_S = Z_1 - Z_2$$

เมื่อ Hs = เฮดสถิตย์ (เมตร)

Z1 = เฮดสถิตย์ด้านดูด (เมตร)

Z2 = เฮดสถิตย์ด้านจ่าย (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D. เฮดความฝืด (Friction Head, H_L)

$$HL = h_c + h_e + h_g + h_b + h_f$$

เมื่อ h_c = การสูญเสียเฮดที่เกิดจากท่อลด (เมตร)

h_e = การสูญเสียเฮดที่เกิดจากท่อขยาย (เมตร)

h_g = การสูญเสียเฮดที่เกิดจากสิ่งกีดขวาง เช่น เกจหรือวาล์ว (เมตร)

h_b = การสูญเสียเฮดที่เกิดจากการโค้งหรือเส้นโค้งในท่อ(เมตร)

h_f = การสูญเสียเฮดอย่างต่อเนื่องจากรูปแบบของท่อได้แก่ ความยาว ขนาด และคุณภาพของท่อ (เมตร)

E. เฮดรวม (Total Dynamic Head, TDH)

$$H_U = H_v + H_p + H_s + H_L$$

เมื่อ H_U = เฮดของเครื่องสูบน้ำหรือเฮดรวม

F. การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงวัดโดยใช้เครื่องมือภายใน 5 นาทีและค่า shuting off ของเชื้อเพลิง และรวบรวมการใช้เชื้อเพลิงในทดสอบแต่ละครั้ง

G. การวัดอัตราการไหลด้วยฝาย (Q)

การวัดอัตราการไหลของน้ำด้วยฝายสี่เหลี่ยม

$$Q = 0.00138(\mathrm{H})^{5/2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

H = ความสูงของน้ำเหนือฝายที่วัดหลังขอบฝาย (cm)

H. Water Horsepower (WHP)

$$WHP = (Q \times TDH \times SqGr)/273$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

TDH = เฮดรวม (เมตร)

SpGr = ความถ่วงจำเพาะของของเหลว

I. Brake Horsepower, (BHP)

$$BHP = (Q \times THD \times SqGr)/(273 \times Eff)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

THD = ความแตกต่างของเฮดรวม Total differential Head (เมตร)

Sp.Gr = ความถ่วงจำเพาะของของเหลว

Eff = ประสิทธิภาพปั๊ม (%)

3.7 สถานที่ทำการทดลอง

สถานที่ทำการติดตั้งเครื่อง ได้ทำการติดตั้งเครื่องที่บ้านเชียงยืน ต.เชียงยืน อ.เมือง จ.อุดรธานี ซึ่งมีการขุดบ่อบาดาลเพื่อทำการเกษตรมาก ซึ่งบ่อบาดาลที่เราทำการทดลองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปากบ่อเท่ากับ 0.75 เมตร และความลึกเท่ากับ 3.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

โดยจะเริ่มทดลองจากการ ไม่ติดตั้ง ejector โดยปิดวาล์ว ejector แล้วรันเครื่องให้ได้ความเร็วรอบตามต้องการ ซึ่งความเร็วรอบที่เราใช้ในการเก็บค่า เท่ากับ 1,200 , 1,300 , 1,400 RPM โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบ จากนั้นจับ เวลา 5 นาที บันทึกค่า โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

และติดตั้ง ejector โดยติดตั้งท่อขนาด 2''และ2.5" ที่ ejector จากนั้นเปิด Vale ejector ติดเครื่องต้นกำลังที่ความเร็วรอบที่กำหนด คือ 1,200 , 1,300 , 1,400 RPM จากนั้นจับเวลา 5 นาที บันทึกค่า โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ บันทึกค่า

4.1 ค่าความดัน

เมื่อเดินเครื่องยนต์ต้นกำลัง และวัดความเร็วรอบของปั๊มน้ำ ให้ได้รอบที่ 1200,1300,1400 rpm ทดลองโดยใช้และไม่ใช้ท่อรีเทิร์น แล้วเก็บค่าความดันจากPressure Gage

ตารางที่ 4.1 ค่าความดันที่ได้จาก Pressure Gage (Bar)

ความเร็วรอบ ปั๊มน้ำ	ไม่ใช้ท่อรีเทิร์น				ใช้ท่อรีเทิร์นขนาด 2 นิ้ว				ใช้ท่อรีเทิร์นขนาด 2.5 นิ้ว			
(RPM)	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย
1200	0.2/0.1	0.2/0.1	0.2/0.3	0.25/0.1	0.3/0.2	0.4/0.2	0.4/0.2	0.35/0.2	0.3/0.2	0.3/0.1	0.4/0.2	0.3/0.15
1300	0.4/0.2	0.5/0.3	0.5/0.3	0.45/0.25	0.6/0.4	0.5/0.3	0.6/0.4	0.55/0.35	0.5/0.3	0.5/0.3	0.5/0.4	0.5/0.3
1400	0.6/0.4	0.6/0.4	0.7/0.5	0.65/0.45	0.7/0.4	0.8/0.6	0.8/0.6	0.75/0.55	0.7/0.5	0.7/0.5	0.7/0.5	0.7/0.5

นำค่าที่ได้ไปคำนวน Pressure Head และ Total Dynamic Head

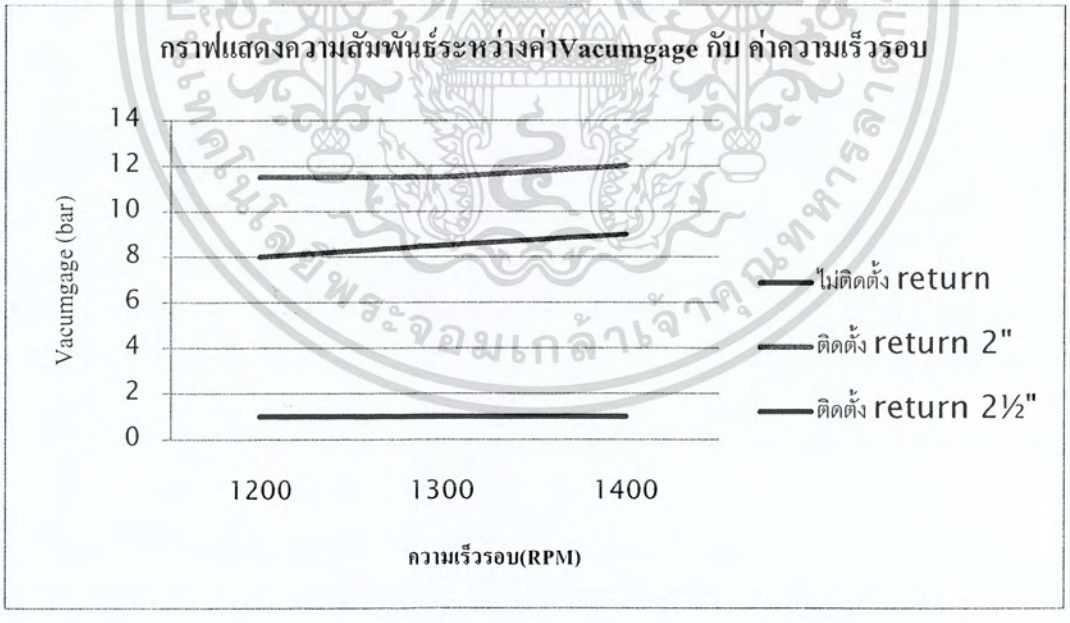
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ค่าของ Vacaum Gage

เมื่อเดินเครื่องยนต์ต้นกำลัง และวัดความเร็วรอบของปั๊มน้ำ ให้ได้รอบที่ 1200,1300,1400 rpm ทดลองโดยใช้และไม่ใช้ท่อรีเทิร์น แล้วเก็บค่าความดันจาก Vacaum Gage

ตารางที่ 4.2 ค่า Vacaum Gage(Bar)

ความเร็วรอบปั๊มน้ำ(RPM)	ไม่ใช้ท่อรีเทิร์น				ใช้ท่อรีเทิร์นขนาด 2 นิ้ว				ใช้ท่อรีเทิร์นขนาด 2.5 นิ้ว			
	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย
1200	1	1	1	1	11	11	12	11.5	8	8	8	8
1300	1	1	1	1	11	12	12	11.5	8	9	9	8.5
1400	1	1	1	1	12	12	12	12	9	9	9	9



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าVacumgage กับ ค่าความเร็วรอบ

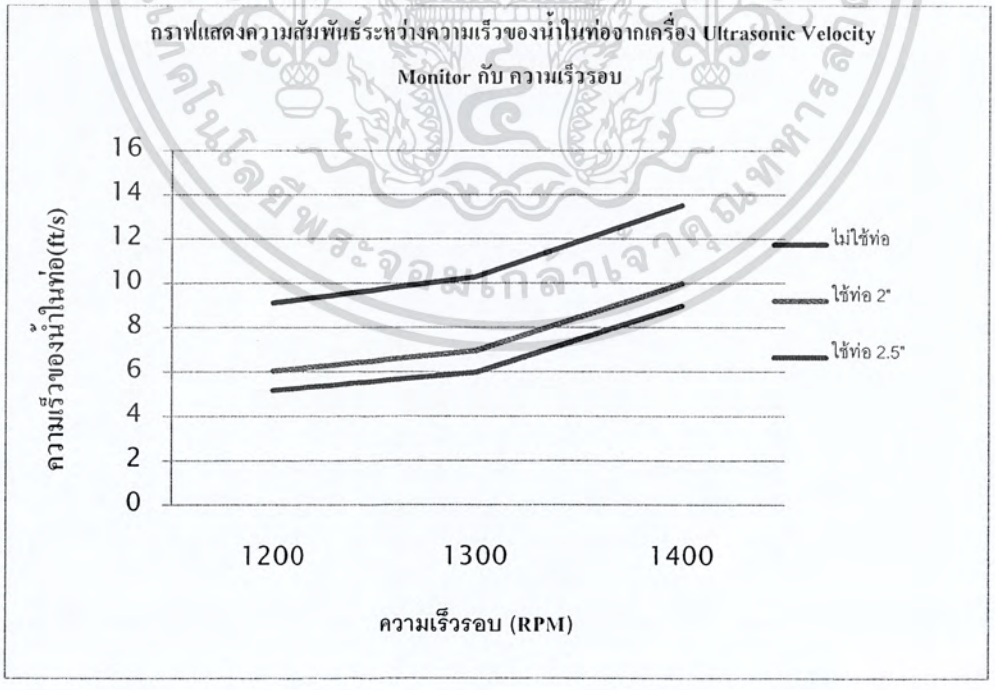
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ค่าความเร็วของการไหลในท่อจากเครื่องวัดความเร็ว Ultrasonic Velocity Monitor (ft/s)

เมื่อเดินเครื่องยนต์ต้นกำลัง และวัดความเร็วรอบของปั๊มน้ำ ให้ได้รอบที่ 1200,1300,1400 rpm ทดลองโดยใช้และไม่ใช้ท่อรีเทิร์น แล้วเก็บค่าความเร็วของการไหลในท่อจากเครื่องวัดความเร็ว Ultrasonic Velocity Monitor (ft/s)

-ตารางที่ 4.3 ความเร็วของการไหลในท่อจากเครื่องวัดความเร็ว Ultrasonic Velocity Monitor (ft/s) ในความเร็วรอบต่างๆ

ความเร็วรอบปั๊มน้ำ	ไม่ใช้ท่อรีเทิร์น				ใช้ท่อรีเทิร์นขนาด 2 นิ้ว				ใช้ท่อรีเทิร์นขนาด 2.5 นิ้ว			
(RPM)	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย
1200	3.2	3.1	3	3.1	2	2.1	2.1	2.06	1.8	1.8	1.7	1.76
1300	3.6	3.5	3.4	3.5	2.4	2.2	2.5	2.37	2	2	2.1	2.03
1400	4.7	4.5	4.6	4.6	3.7	3.1	3.4	3.4	3	3.2	3	3.06



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำในท่อจากเครื่อง Ultrasonic Velocity Monitor กับ ความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ค่าของระดับน้ำที่ฝายสามเหลี่ยม (cm)

เมื่อเดินเครื่องยนต์ต้นกำลัง และวัดความเร็วรอบของปั๊มน้ำ ให้ได้รอบที่ 1200,1300,1400 rpm ทดลองโดยใช้และไม่ใช้ท่อรีเทิร์น แล้วเก็บค่าของระดับน้ำที่ฝายสามเหลี่ยม และนำไปคำนวนหาอัตราการไหล

- ตารางที่ 4.4.1ค่าของระดับน้ำที่ฝายสามเหลี่ยม (cm)

ความเร็วรอบปั๊มน้ำ	ไม่ใช้ท่อรีเทิร์น				ใช้ท่อรีเทิร์นขนาด 2 นิ้ว				ใช้ท่อรีเทิร์นขนาด 2.5 นิ้ว			
(RPM)	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย
1200	12.8	12.3	12.2	12.4	11	10.5	11	10.83	10	10.5	10	10.17
1300	13.5	13	13	13.16	12.5	12	12	12.17	11	11	10.5	10.83
1400	14.2	14	14	14.07	13.5	13	13	13.17	11.5	12	12	11.83

- อัตราการไหล

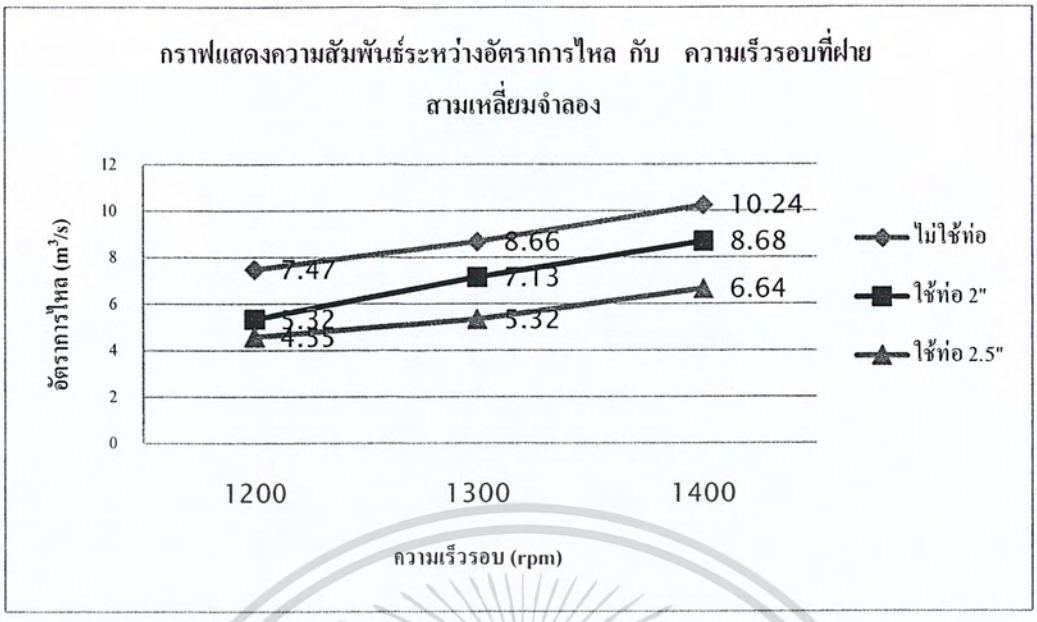
สูตรที่ใช้ในการหาอัตราการไหล คือ $Q = 0.00138(\mathrm{H})^{5/2}$

โดยที่ L คือ ค่าของระดับน้ำที่ฝายสามเหลี่ยม (cm)

ตารางที่ 4.4.2 ค่าอัตราการไหลของน้ำที่ฝายสามเหลี่ยม(m^3/s)

ความเร็วรอบ	1200	1300	1400
ไม่ใช้ท่อ	7.47	8.66	10.24
ใช้ท่อ 2"	5.32	7.13	8.68
ใช้ท่อ 2.5"	4.55	5.32	6.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

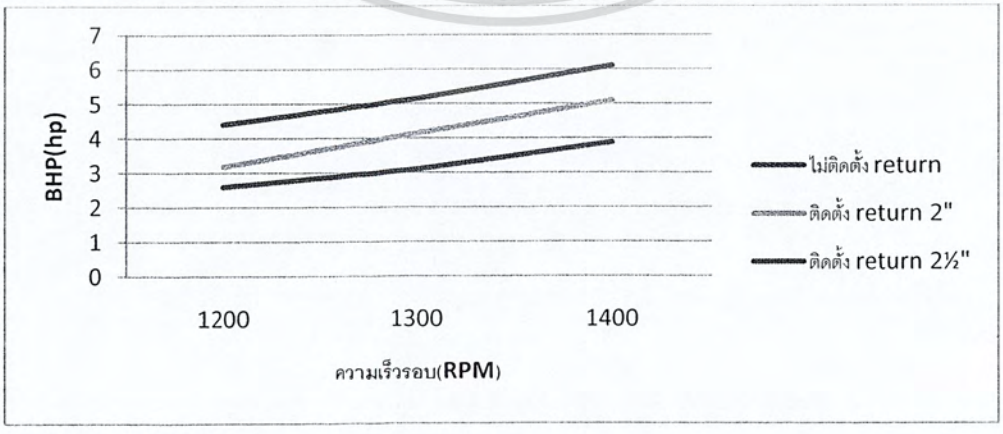


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล กับ ความเร็วรอบที่ฝายสามเหลี่ยมจำลอง

4.5 Brake Horsepower ,BHP

-ตารางที่ 4.5 ค่าของ BHP(hp)

ความเร็วรอบ	ไม่ติดตั้ง return	ติดตั้ง return 2"	ติดตั้ง return 2½"
1200	4.4	3.167	2.58
1300	5.133	4.13	3.08
1400	6.1	5.08	3.87



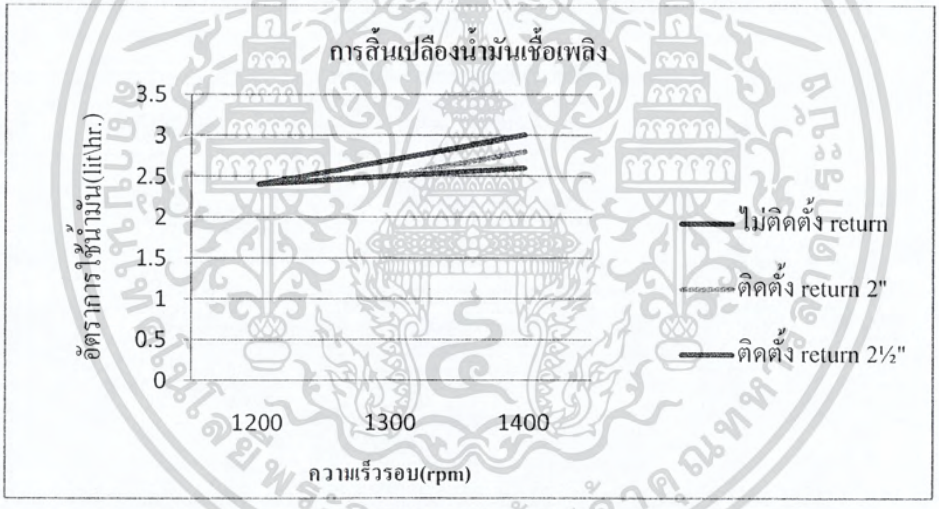
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ BHP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (lit/hr.)

-ตารางที่ 4.5 อัตราการใช้น้ำมันของเครื่องต้นกำลัง(lit/hr.)

ความเร็วรอบปั๊มน้ำ (RPM)	ไม่ใช้ท่อรีเทิร์น				ใช้ท่อรีเทิร์นขนาด 2 นิ้ว				ใช้ท่อรีเทิร์นขนาด 2.5 นิ้ว			
	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย	R_1	R_2	R_3	เฉลี่ย
1200	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.4	2.4
1300	2.6	2.8	2.7	2.7	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
1400	2.9	3	3.1	3	2.8	2.8	2.7	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6



รูปที่ 4.5 กราฟระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันกับความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุป

การทดสอบสมรรถนะการติดตั้งชุดหัวพ่นกับปั๊มน้ำที่ใช้ในบ่อบาดาล การทดลองได้ทดสอบที่ความเร็วรอบ 1200 ,1300 และ 1400 รอบ โดยทดสอบโดยเปรียบเทียบระหว่างการไม่ติดตั้งชุดหัวพ่นในระบบ กับการทดสอบโดยติดตั้งชุดหัวพ่น 2 นิ้ว และ2.5 นิ้ว ตามลำดับ

จากการทดสอบพบว่าเฮดความเร็วของระบบจะมากที่สุดคือ 9.952 เมตร เมื่อติดตั้งชุดหัวพ่นขนาด 2 นิ้ว ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบ

จากการทดลองพบว่า อัตราการไหลของน้ำมากที่สุด 8.68 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที เมื่อติดตั้งชุดหัวพ่นขนาด 2.5 นิ้ว ที่ความเร็วรอบ 1300 รอบ

จากการทดลองพบว่าแรงม้าสุทธิ เมื่อติดตั้งชุดหัวพ่นขนาด 2 นิ้ว และ 2.5 นิ้วมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ติดตั้งชุดหัวพ่นในระบบ ที่ทุกความเร็วรอบที่ทำการทดลอง คือ 4.4,5.1,6.1 hp เมื่อไม่ติดตั้ง เป็น 2.58,3.08,3.87 เมื่อติดตั้งชุดหัวพ่นขนาด 2.5 นิ้ว

จากการทดลองพบว่าเมื่อติดตั้งชุดหัวพ่นที่ท่อทางดูด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเมื่อติดตั้งชุดหัวพ่นจะมีค่าน้อยกว่า เมื่อไม่ติดตั้งชุดหัวพ่นในระบบ ที่ทุกความเร็วรอบที่ทำการทดลอง คือจาก 3 ลิตร/ชม. เมื่อไม่ติดตั้งชุดหัวพ่นที่ความเร็วรอบ 1400 rpm เป็น 2.6 ลิตร/ ชม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.ในการทดลองอาจมีอุปสรรค์ต่างๆ เช่น สภาพภูมิประเทศ สภาพอากาศ ที่มีผลต่อการทดลองได้

2. สามารถทดสอบใช้กับแหล่งน้ำอื่นๆได้ เช่น คลองส่งน้ำ แม่น้ำ ฯลฯ เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำน้ำมาใช้ในทางเกษตรมากขึ้น

3. เพื่อเป็นการสะดวกในการเคลื่อนย้าย อาจเปลี่ยนเป็นวัสดุอุปกรณ์ให้มีน้ำหนักที่เบาลงได้ เช่น PVC เป็นต้น หรือออกแบบชุดเคลื่อนย้ายเพื่อย้ายอุปกรณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

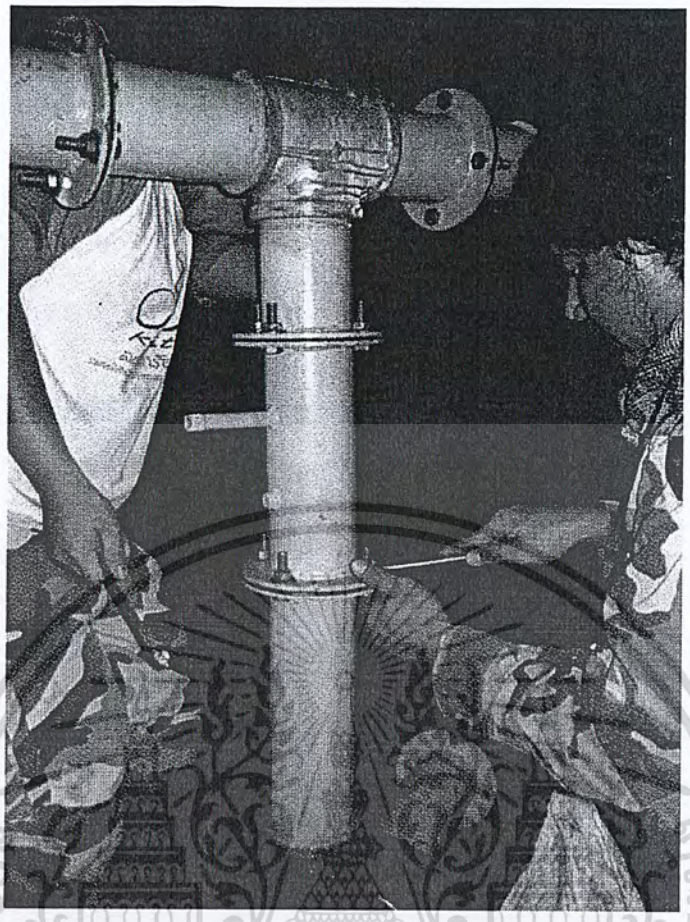
ภาคผนวก ก

ภาพการติดตั้งอุปกรณ์และการทดลอง

รูปที่ ก1 การประกอบชุดท่อทางดูด Foot Valve

รูปที่ ก 2 การประกอบชุดท่อ ejector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก3 การติดตั้งท่อทางด้านจ่าย กับปั๊ม และวาวล์ปิด-เปิดชุดหัวพ่น

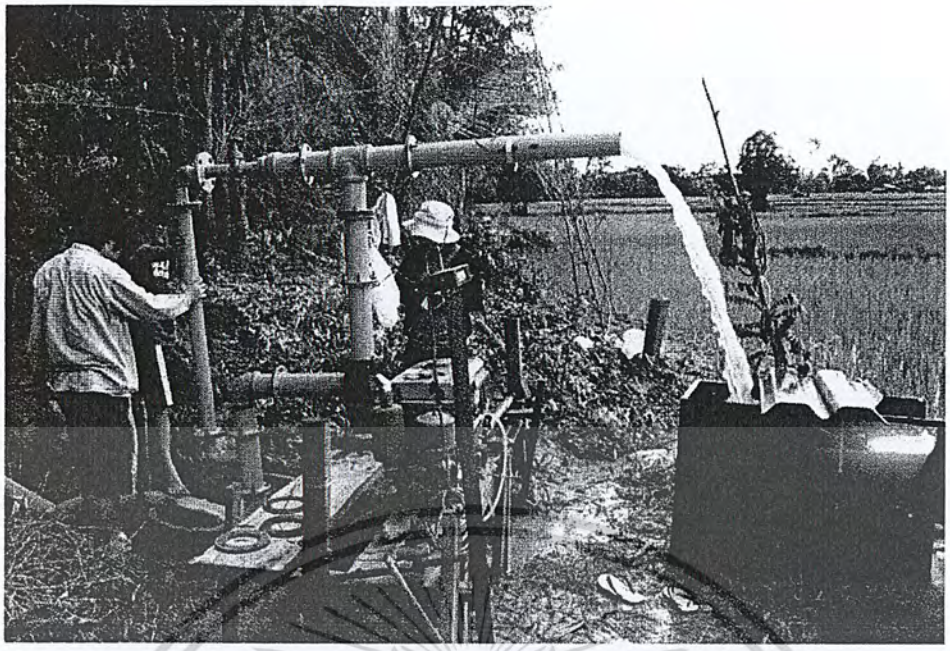
รูปที่ ก4 การประกอบชุด ejector และท่อทางดูดเข้ากับปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

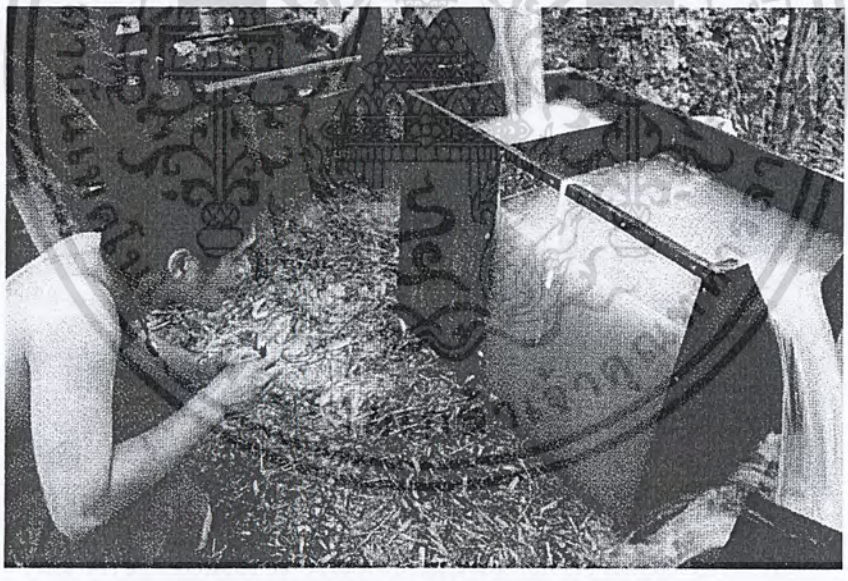
รูปที่ ก5 ติดตั้งเครื่องต้นกำลังพร้อมทั้งสายพานเข้ากับปั๊มหอยโข่ง

รูปที่ ก6 การเปลี่ยนขนาดท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก7 รูปการทำงานของการทดลองและการเก็บค่า



รูปที่ ก8 การเก็บค่าระดับน้ำฝายสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงค่ามาตรฐานของฝายสามเหลี่ยม

ตารางที่ 1ข อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยม (V- notch Weir) ซึ่งคำนวณโดยสมการ

$$Q = 0.0138H^{5/2}$$

เฮด (H) ซม.	Q ลิตร/วินาที	เฮด (H) ซม.	Q ลิตร/วินาที	เฮด (H) ซม.	Q ลิตร/วินาที
1.0	0.014	15.5	13.1	30.0	68.0
1.5	0.038	16.0	14.1	30.5	70.9
2.0	0.078	16.5	15.3	31.0	73.8
2.5	0.136	17.0	16.4	31.5	76.9
3.0	0.215	17.5	17.7	32.0	79.9
3.5	0.316	18.0	18.9	23.5	83.1
4.0	0.441	18.5	20.3	33.0	86.4
4.5	0.592	19.0	21.7	33.5	89.7
5.0	0.731	19.5	23.2	34.0	93.0
5.5	0.977	20.0	24.7	34.5	96.5
6.0	1.21	20.5	26.2	35.0	100
6.5	1.49	21.0	27.9	35.5	104
7.0	1.79	21.5	29.5	36.0	107
7.5	2.11	22.0	31.3	36.5	111
8.0	2.49	22.5	33.1	37.0	115
8.5	2.90	23.0	35.1	37.5	117
9.0	3.34	23.5	37.0	38.0	123
9.5	3.85	24.0	38.9	38.5	127
10.0	4.36	24.5	41.0	39.0	131
10.5	4.92	25.0	43.1	39.5	135
11.0	5.54	25.5	45.3	40.0	140
11.5	6.20	26.0	47.6	40.5	144
12.0	6.91	26.5	49.9	41.0	148
12.5	7.65	27.0	52.3	41.5	153
13.0	8.41	27.5	54.8	42.0	158
13.5	9.27	28.0	57.3	42.5	163
14.0	10.2	28.5	59.9	43.0	167
14.5	11.0	29.0	62.5	43.5	172
15.0	12.0	29.5	65.3	44.0	177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1]Kristal&Annett.1977."Pumps",New York,N.Y:McGrew-hill Book

[2]ภัทราภรณ์ เมฆพฤกษาวงศ์ และ วัชระ เพิ่มชาติ .2543."เครื่องสูบในงานวิศวกรรมศาสตร์" กรุงเทพฯ:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[3]วิบูลย์ บุญยธโรกุล.2526."หลักการชลประทาน "กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4]วิบูลย์ บุญยธโรกุล.2529."ปั๊มและระบบสูบน้ำ"กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้