โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 5 / 2552

เรื่อง

การศึกษาและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

(Study and Development of Wave Pump)

โดย

นางสาวขนิษฐา ศรีจรรยา

นางสาวสุชาดา เกตุโชติ

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2552

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมชลประทาน

เรื่อง : การศึกษาและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

(Study and Development of Wave Pump)

นามผู้ทำโครงงาน : นางสาวขนิษฐา ศรีจรรยา

นางสาวสุชาดา เกตุโชติ

ได้รับพิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี)

...../...../.....

หัวหน้าภาควิชา .....

(รศ.สันติ ทองพำนัก)

...../...../.....

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การศึกษาและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

โดย : นางสาวขนิษฐา ศรีจรรยา

นางสาวสุชาดา เกตุโชติ

ประธานที่ปรึกษาโครงงาน

.....

(อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี)

...../...../.....

โครงงานวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น ซึ่งเป็นเครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานน้ำ หรือที่เรียกว่า “คลื่นน้ำ” เครื่องสูบน้ำพลังงานทดแทนนี้สามารถทำงานได้โดยไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานงานเชื้อเพลิงใดๆทั้งสิ้น แต่จะอาศัยพลังงานจากการขึ้นลงของคลื่นในแม่น้ำหรือในทะเลเป็นตัวบังคับให้เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นทำงาน โดยทำการศึกษาและทดสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นในถังจำลองคลื่นที่มีความสามารถในการจำลองการขึ้นลงของคลื่น ซึ่งในการทดลองนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณการไหลของเครื่องสูบน้ำที่ใช้สแตนเลสเป็นวัสดุ

ลักษณะของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น เป็นเครื่องสูบน้ำที่จัดให้อยู่ในประเภทของเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชักที่มีกลไกการทำงานเฟสเดียว เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่จัดทำขึ้นทำจากสแตนเลส และมีส่วนประกอบอื่นๆเช่น วาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับทางเดียวแบบแนวนอนขนาด 2 นิ้วที่ทางน้ำเข้า ส่วนทางน้ำออกติดตั้งวาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับแบบแนวตั้งขนาด 0.5 นิ้ว ที่ได้มาตรฐานทางอุตสาหกรรม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นในแบบจำลองคลื่นที่มีคาบของคลื่นที่ 1นาที 30 วินาที สามารถสูบน้ำได้สูงสุด 3.2 เมตร ซึ่งแรงดันส่วนหนึ่งจะสูญเสียออกทางก้านลูกสูบชักและบางส่วนสูญเสียไปกับแรงเสียดทานของลูกสูบ โดยเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่จัดทำขึ้นมีอัตราการสูบสูงสุดประมาณ 12.305 ลิตร/ชั่วโมงที่ระดับสูง 1.0 เมตร มีอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่ใช้ยกเครื่องสูบน้ำเท่ากับ 1/174.83 และประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 94.59%

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นนี้สามารถสูบน้ำขึ้นที่สูงได้จริง ซึ่งเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นนี้จะสามารถทำงานได้ดีมากขึ้นถ้ามีการเพิ่มจำนวนของทุ่นลอย

ABSTRACT

Title : Study and Development of Wave Pump

By : Miss Khanittha Srijanya

Miss Suchada Ketchot

Project Advisor

.....

(Dr.Chirakarn Sirivitmaitrie)

...../...../.....

The objective of this Irrigation Engineering project is to study and create a wave pump. The pump obtains energy from different height of water or so called “water wave”. This alternative energy pump works without electricity or fossil fuel. Instead of using non-renewable energy, energy is obtained from fluctuations of the water wave. The pump was tested in the wave generator tank with 30 centimeters amplitude of wave. In this study, experimental is based on a pump that made from stainless steel material.

The wave pump contains a metal piston with a single phase pumping mechanism. The pump was made from stainless steel. Other parts of pump, such as a 2 inches horizontal check valve at the inlet and a 0.5 inch vertical check valve at the outlet, are commercial parts with industrial standards.

As a result, the wave pump in the wave generator with periods of 1 minute 30 seconds can pump water up to 3.2 m. Some pressure losses through the piston stroke. A part of energy is loosed from the friction at the piston. The wave pump provides of approximately 12.305 liters/hour at head 1 m. The ratio between water used to water lifted is approximately about 1 to 174.83 at height of 1 m and mechanism efficiency at 94.59%.

Analysis showed that the wave pump can pump water up high. The wave pump provides better result with a larger number of float.

คำนิยม

โครงงานวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี ประธานกรรมการโครงงานวิศวกรรมชลประทาน ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือเป็นอย่างดี อีกทั้งยังตรวจสอบแก้ไขโครงงานวิศวกรรมชลประทานให้มีความถูกต้องจนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำโครงงานขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ ที่ช่วยสอนและให้คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งวิธีการใช้อุปกรณ์ตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นในการทำโครงงานวิศวกรรมชลประทานจนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณสุรพล เจริญชีพ ที่ช่วยสอนและให้คำแนะนำต่างๆ ตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น ในการทำโครงงานวิศวกรรมชลประทานจนสำเร็จไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดารวมทั้งพี่น้องและเพื่อนๆทุกคนที่ให้เวลาในการให้คำปรึกษารวมทั้งกำลังใจในการจัดทำโครงงานนี้ด้วยความเต็มใจจนทำโครงงานนี้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน บุคลากรทุกท่านที่ให้คำปรึกษาตลอดการทำโครงงานนี้ ทำให้เกิดความสมบูรณ์ของโครงงานวิศวกรรมชลประทานในเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงมาด้วยดีโดยตลอด

นางสาวขนิษฐา ศรีจรรยา

นางสาวสุชาดา เกตุโชติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
คำนิยม	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญภาพ	vii
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 ความหมายของเครื่องสูบน้ำ	3
2.2 ชนิดและประเภทของเครื่องสูบน้ำ	4
2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำ	21
2.4 ทฤษฎีเบื้องต้นของคลื่นน้ำ	36

สารบัญ

หน้า

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์และวิธีการ 39

3.2 วิธีการทดสอบแบบจำลอง 54

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลการวิเคราะห์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น 58

4.2 ผลจากตารางการทดลอง 59

4.3 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง 60

4.4 วิจารณ์ผลการศึกษา 69

บทที่5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา 70

5.2 ข้อเสนอแนะ 72

เอกสารอ้างอิง 73

ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดลอง 74

ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ผลการทดลอง 99

ภาคผนวก ค. ภาพอุปกรณ์และส่วนประกอบเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น 105

ภาคผนวก ง. ภาพการจัดทำเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น 111

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในการยกน้ำและปริมาณน้ำที่สูบได้	17
ตารางที่ 2.2	ตารางแสดงค่าความขรุขระเฉลี่ยของวัสดุต่างๆที่ใช้ผลิตท่อ	28
ตารางที่ 5.1	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเครื่องสูบน้ำไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น	71
ตารางผนวกที่ 5.2	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 1 เมตร ครั้งที่1	75
ตารางผนวกที่ 5.3	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 1 เมตร ครั้งที่2	77
ตารางผนวกที่ 5.4	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 1 เมตร ครั้งที่3	79
ตารางผนวกที่ 5.5	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 2 เมตร ครั้งที่1	81
ตารางผนวกที่ 5.6	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 2 เมตร ครั้งที่2	83
ตารางผนวกที่ 5.7	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 2 เมตร ครั้งที่3	85
ตารางผนวกที่ 5.8	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 3 เมตร ครั้งที่1	87
ตารางผนวกที่ 5.9	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 3 เมตร ครั้งที่2	89
ตารางผนวกที่ 5.10	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 3 เมตร ครั้งที่3	91
ตารางผนวกที่ 5.11	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 3.2 เมตร ครั้งที่1	93
ตารางผนวกที่ 5.12	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 3.2 เมตร ครั้งที่2	95
ตารางผนวกที่ 5.13	ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 3.2 เมตร ครั้งที่3	97

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของปั๊มหอยโข่ง 5

ภาพที่ 2.2 การทำงานของ โรตารี่แบบเฟือง (Gear pump) 6

ภาพที่ 2.3 การทำงานของโรตารี่แบบครีบ (Vane) 6

(a) Swing Vane pump

(b) (b) Slide Vane pump

ภาพที่ 2.4 การทำงานของโรตารี่แบบลอน 7

(a) สองลอน (two lobe)

(b) สามลอน (Three lobe)

ภาพที่ 2.5 การทำงานของโรตารี่แบบสว่าน (Screw pump) 7

(a) สว่านเดียว (Singer Screw)

(b) สองสว่าน (Two Screw)

ภาพที่ 2.6 ลักษณะการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ 10

ภาพที่ 2.7 กราฟสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก 10

ภาพที่ 2.8 แผนผังสรุปการจำแนกประเภทของเครื่องสูบน้ำ 11

ภาพที่ 2.9 การทำงานของ Pulser pump 12

ภาพที่ 2.10 การทำงานของ Hydraulic Ram pump 14

ภาพที่ 2.11 กลไกการทำงานของตะบันน้ำ 15

ภาพที่ 2.12 ด้านข้างกังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอย 16

ภาพที่ 2.13 กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยตั้งอยู่บนบก 18

ภาพที่ 2.14 กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยติดตั้งอยู่ในน้ำ 18

ภาพที่ 2.15 ส่วนประกอบของกังกันลมสูบน้ำ 20

ภาพที่ 2.16 แผนภาพความดันบรรยากาศ 21

ภาพที่ 2.17 แผนภาพเฮดสถิตย์ 24

ภาพที่ 2.18 แผนภาพการสูญเสียเฮด 25

ภาพที่ 2.19 Moody Diagram 28

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 2.20 ลักษณะการลอยตัวของวัตถุ 31

ภาพที่ 2.21 รูปแบบของแรงลอยตัว 32

ภาพที่ 2.22 แรงต□างๆที่กระทำต่อของเหลวในวัตถุรูปทรงกระบอก 33

ภาพที่ 2.23 แรงดันบนระนาบ 35

ภาพที่ 2.24 ลักษณะของคลื่นน้ำ 37

ภาพที่ 3.1 ภาพสามมิติของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบท่อ PVC 44

ภาพที่ 3.2 ภาพด้านหน้าของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบท่อ PVC 45

ภาพที่ 3.3 ภาพด้านข้างเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบท่อ PVC 46

ภาพที่ 3.4 ภาพด้านบนของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบท่อ PVC 47

ภาพที่ 3.5 ทุ่นลอยแบบสมบูรณ์ 48

ภาพที่ 3.6 ภาพสามมิติของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบสแตนเลส 49

ภาพที่ 3.7 ภาพด้านหน้าของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบสแตนเลส 50

ภาพที่ 3.8 ภาพด้านข้างของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบสแตนเลส 51

ภาพที่ 3.9 ภาพด้านบนของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบสแตนเลส 52

ภาพที่ 3.10 ทุ่นลอยโดยสมบูรณ์ 53

ภาพที่ 3.11 แสดงลักษณะการทำงานของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นในถังจำลอง 55

ภาพที่ 4.3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระยะยกที่ความสูง 1 เมตร 60

ภาพที่ 4.3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 1 เมตร 61

ภาพที่ 4.3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับระยะยกที่ความสูง 2 เมตร 62

ภาพที่ 4.3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 2 เมตร 63

ภาพที่ 4.3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับระยะยกที่ความสูง 3 เมตร 64

ภาพที่ 4.3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 3 เมตร 65

ภาพที่ 4.3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับระยะยกที่ความสูง 3.2 เมตร 66

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.3.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 3.2 เมตร	67
ภาพที่ 4.3.9	Performance Chart	68
ภาพผนวกที่ 5.1	แรงต่างๆภายในแบบจำลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น	102
ภาพผนวกที่ ค.1.1	อุปกรณ์ที่ใช้	106
ภาพผนวกที่ ค.1.2	Check Vale	106
ภาพผนวกที่ ค.1.3	ลูกสูบและแกนลูกสูบ	107
ภาพผนวกที่ ค.1.4	ตัวเครื่องสูบน้ำ	107
ภาพผนวกที่ ค.1.5	ทุ่นลอย	108
ภาพผนวกที่ ค.1.6	เครื่องสูบน้ำที่ประกอบสมบูรณ์พร้อมใช้งาน	108
ภาพผนวกที่ ค.2.1	ลูกสูบกับตัวเครื่องสูบน้ำ	109
ภาพผนวกที่ ค.2.1	ทุ่นลอย	109
ภาพผนวกที่ ค.2.2	เครื่องสูบน้ำที่ประกอบสมบูรณ์	110
ภาพผนวกที่ ค.2.3	การทดลองเครื่องสูบน้ำ	110
ภาพผนวกที่ ง.1.1	ตัดท่อ PVC ขนาดต่างๆ	112
ภาพผนวกที่ ง.1.2	ประกอบตัวทุ่นลอย	112
ภาพผนวกที่ ง.1.3	แบบการประกอบตัวเครื่องสูบน้ำพลังคลื่น	113
ภาพผนวกที่ ง.1.4	หลังการประกอบตัวเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น	113
ภาพผนวกที่ ง.1.5	การนำตัวเครื่องสูบน้ำกับตัวทุ่นลอยมาประกอบกัน	114
ภาพผนวกที่ ง.2.1	ท่อ PVC ที่ตามขนาดที่วัดไว้เพื่อนำมาใช้เป็นทุ่นลอย	115
ภาพผนวกที่ ง.2.2	การประกอบตัวทุ่นลอย	115
ภาพผนวกที่ ง.2.3	การประกอบตัวเครื่องสูบน้ำกับตัวทุ่นลอยเข้าด้วยกัน	116
ภาพผนวกที่ ง.2.4	การนำเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นออกแสดงในงานเกษตร กำแพงแสน ปีพ.ศ. 2552	116

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบันนี้ประชากรโลกมีความต้องการในการใช้พลังงานต่างๆเป็นจำนวนมาก อาทิ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งทำให้ทรัพยากรทางธรรมชาติต่างๆมีปริมาณที่ลดน้อยลง ส่งผลกระทบให้ทรัพยากรทางธรรมชาติมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ ซึ่งในปัจจุบันนี้มีอัตราการนำพลังงานมาใช้มากกว่าปริมาณการผลิตของธรรมชาติถือว่าเป็นการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนและเนื่องจากพลังงานที่มีกำลังจะหมดไป จึงทำให้เกิดความคิดที่จะคิดค้นอุปกรณ์ที่จะตอบสนองความต้องการของมนุษย์โดยการประยุกต์ในการเปลี่ยนมาใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานคลื่น จึงได้สร้างเครื่องสูบน้ำที่มีกลไกการทำงานซึ่งอาศัยการขึ้น-ลงของคลื่นน้ำแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิง คือเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นนั่นเอง

เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump) เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีกลไกการทำงานโดยอาศัยพลังงานธรรมชาติจากคลื่นของน้ำ ลักษณะการทำงานเป็นเครื่องสูบน้ำประเภทแบบลูกสูบชัก เฟสเดียว คือ น้ำที่สูบมาได้จะได้จากการที่น้ำเคลื่อนที่ขึ้นเท่านั้น ส่วนช่วงที่น้ำเคลื่อนที่ลงจะเป็นการสูบน้ำเข้าในตัวปั๊ม ซึ่งการทำงานจะสลับกันแบบนี้เรื่อยไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่ใช้พลังงานทดแทนทางธรรมชาติ(พลังงานคลื่น)แทนการใช้พลังงานไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาถึงระบบการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นและปริมาณน้ำที่สูบได้
3. เพื่อเป็นการพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นให้สามารถสูบน้ำขึ้นที่สูงได้ อีกทั้งยังเป็นการลดใช้พลังงานและลดมลพิษได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษาและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นนี้ได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นโดยใช้วัสดุที่หาได้ง่ายตามท้องตลาดและราคาไม่แพง

โดยจัดให้มีการจำลองคลื่นให้มีการสูบน้ำเข้าสู่ระบบถังจำลองเพื่อให้เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสามารถทำงานได้ ซึ่งคาดว่าเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นนี้น่าจะนำไปใช้งานในสถานที่ๆมีคลื่นจริงโดยมีคาบแอมปลิจูดของคลื่นน้ำ เช่น คลื่นทะเล หรือสถานที่ที่มีเรือขนาดใหญ่สัญจรตลอดเวลาเท่านั้น

1.4 ผลประโยชน์ที่ได้รับ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา และจัดสร้างแบบจำลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นนี้ คือ

1.4.1 ทำให้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น รวมทั้งวิธีการผลิต วิธีการใช้งาน ข้อดี ข้อเสียที่เกิดขึ้นสำหรับเครื่องสูบน้ำประเภทนี้

1.4.2 ทำให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีต่างๆเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น และหลักการคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ต่างๆจากผลที่ได้ในการทดลอง

1.4.3 สามารถจัดทำเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่ใช้พลังงานทดแทนและช่วยลดพลังงานในการสูบน้ำตามบ้านเรือนในแต่ละหลังคาเรือน โดยที่ไม่ต้องใช้พลังงานสิ้นเปลืองหรือพลังงานเชื้อเพลิงใดๆทั้งสิ้น

1.4.4 สามารถประยุกต์นำพลังงานที่มีทางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายเนื่องจากการใช้งาน

1.4.5 สามารถเผยแพร่ผลงานให้กับผู้ที่สนใจในงานเปิดโลกวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน พ.ศ.2551 และ พ.ศ. 2552 ได้

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ความหมายของเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำ เป็นเครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้นอาจได้มาจากเครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงลม แรงคน หรือพลังงานแหล่งอื่นๆก็ได้

กล่าวได้ว่า ปั๊มมีส่วนในการพัฒนาความเป็นอยู่ของมนุษยชาติมาตั้งแต่อดีตและจะมีมากยิ่งๆขึ้นต่อไปในอนาคต ในอดีตประชากรส่วนใหญ่ต้องอาศัยอยู่ใกล้ๆ กับแหล่งน้ำเพื่อความสะดวกในการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคและทำการเกษตร แหล่งน้ำใดที่อยู่ต่ำจากผิวดินมากไม่สะดวกต่อการใช้ มนุษย์ก็ได้พยายามคิดค้นเครื่องมือซึ่งมีลักษณะเป็นปั๊มหรือเครื่องสูบน้ำชนิดต่างๆ เพื่อนำเอามาใช้ให้สะดวกขึ้น เพื่อให้สามารถทำการเพาะปลูกได้มากและห่างไกลจากแหล่งน้ำมากขึ้น

ปั๊มสมัยใหม่เริ่มมีวิวัฒนาการ โดยเป็นแบบลูกสูบชักชนิดต่อตรงเข้ากับเครื่องจักรไอน้ำ โดยมีวิวัฒนาการมากขึ้นในทุกๆด้านจนอาจกล่าวได้ว่า ปั๊มเป็นเครื่องมือจำเป็นต่อความอยู่ดีกินดีของมนุษยชาติทุกด้าน นับตั้งแต่งานจัดหาและส่งน้ำเพื่ออุปโภค บริโภค การเกษตร งานอุตสาหกรรม คมนาคม และในด้านอื่นๆ เป็นต้น (วิบูลย์,2529)

2.2 ชนิดและประเภทของเครื่องสูบน้ำ

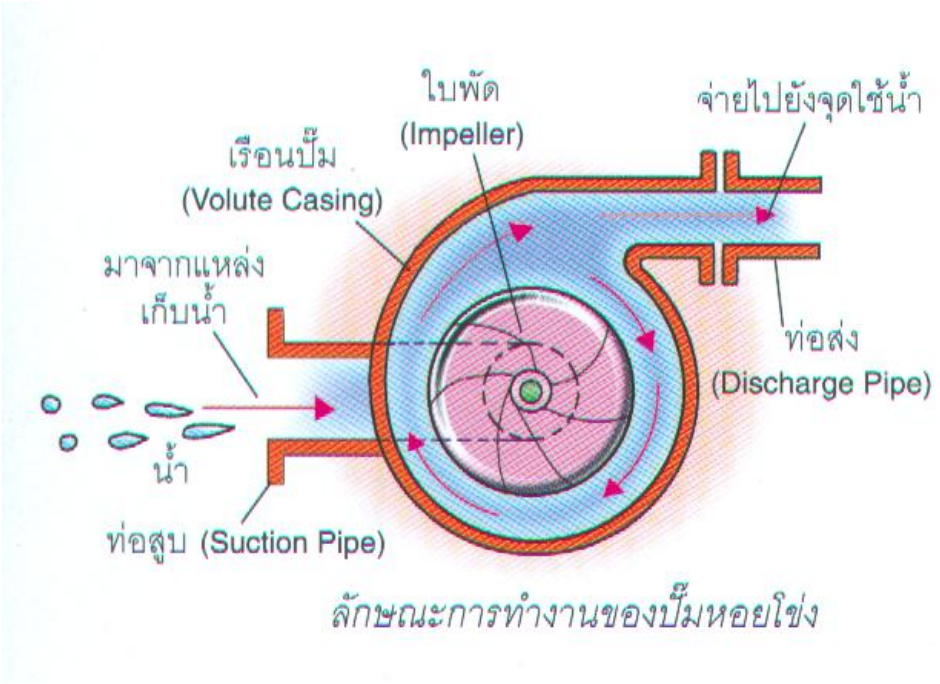
2.2.1 เครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานสิ้นเปลือง คือเครื่องมือกลชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งตามต้องการ ซึ่งพลังงานที่นำมาเพิ่มให้กับของเหลวนั้นอาจได้มาจาก เครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า หรือ พลังงานเชื้อเพลิง เป็นต้น สามารถแยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม ซึ่งได้แก่

2.2.1.1 ประเภทเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง เครื่องสูบน้ำแบบนี้บางครั้งเรียกว่าเป็นแบบ Roto – dynamic

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง

เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง เป็นเครื่องสูบน้ำที่ได้รับความนิยมในการใช้งานสูงสุดเมื่อเทียบกับเครื่องสูบน้ำชนิดอื่นเนื่องจากเครื่องสูบน้ำประเภทนี้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง เหมาะสมกับการใช้งานหลายประเภทประกอบกับการดูแลรักษาง่าย ส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงดังที่แสดงในรูป มีใบพัดอยู่ในเสื้อเครื่องสูบรูปหอยโข่ง (Volute Casing) ให้พลังงานแก่ของเหลวโดยการหมุนของใบพัด ทำให้สามารถยกน้ำจากระดับต่ำขึ้นไปสู่ระดับสูงได้

หลักการทำงาน คือ พลังงานจะเข้าสู่เครื่องสูบน้ำโดยผ่านเพลาซึ่งมีใบพัดติดอยู่ เมื่อใบพัดหมุนของเหลวภายในเครื่องสูบน้ำจะไหลจากส่วนกลางของใบพัดไปสู่ส่วนปลายของใบพัด (Vane) ซึ่งจากการกระทำของแรงเหวี่ยงจากแผ่นใบพัดนี้จะทำให้เฮดความดัน (pressure head) ของเหลวเพิ่มขึ้น เมื่อของเหลวได้รับความเร่งจากแผ่นใบพัดก็จะทำให้มีเฮดความเร็วสูงขึ้นส่งผลให้ของเหลวไหลจากปลายของใบพัดเข้าสู่เสื้อเครื่องสูบน้ำรูปหอยโข่ง แล้วออกไปสู่ทางออกของเครื่องสูบน้ำในขณะเดียวกันก็เปลี่ยนเฮดความเร็วเป็นความดัน ดังนั้นเฮดที่ให้แก่ของเหลวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักเรียกว่า เฮดรวมของเครื่องสูบน้ำ (อัครเดช,2533)



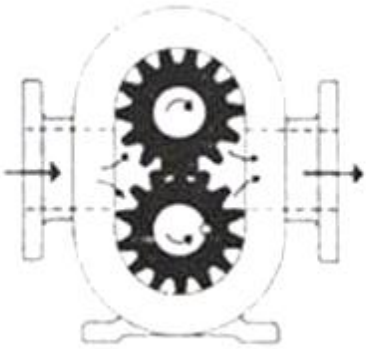
ภาพที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของปั๊มหอยโข่ง ที่มา : นิธิ,2552

2.2.1.2 ประเภทโรตารี่ (Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำโรตารี่

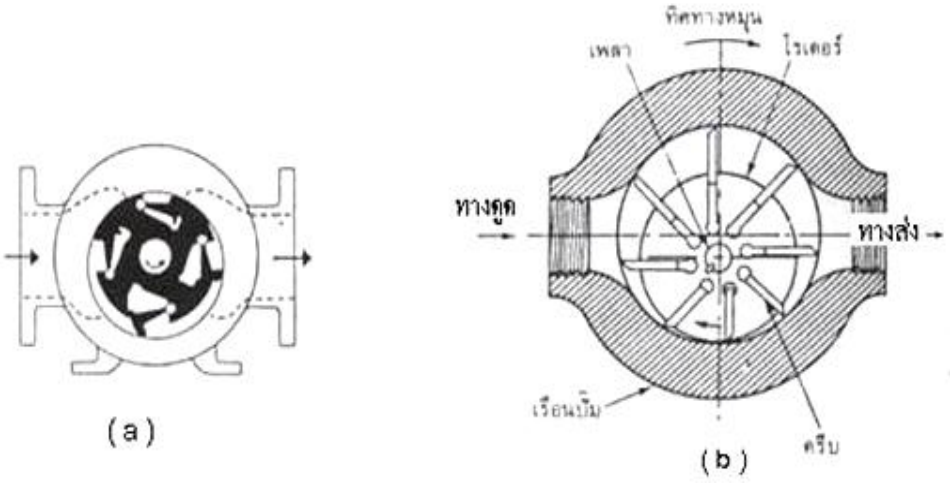
เครื่องสูบน้ำโรตารี่ ทำงานโดยของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออก โดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกล ซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูด และเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับชิ้นส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์ (Rotor) จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์จะก่อนให้เกิดการแทนที่เป็นการเพิ่มปริมาตรของของเหลว (positive Displacement) ให้ทางด้านจ่าย

1. เครื่องสูบน้ำโรตารี่ชนิดเฟือง (Gear Pump) เป็นชนิดที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด ซึ่งประกอบด้วยฟันเฟืองหรือเกียร์สองตัวหมุนขบกันในห้องสูบ ของเหลวจากทางด้านดูดจะไหลเข้าไปอยู่ในร่องฟันซึ่งจะหมุนและพาของเหลวเข้าไปสู่ทางด้านจ่าย ซี่ของฟันเฟืองซึ่งอยู่ชิดกับผนังของห้องสูบป้องกันไม่ให้ของเหลวไหลย้อนมาสู่ทางด้านดูดได้ เมื่อมาถึงทางด้านจ่ายแล้วร่องฟันเฟืองซึ่งมีของเหลวบรรจุอยู่ก็จะถูกแทนที่ด้วยฟันจากเฟืองอีกตัวหนึ่งซึ่งขบกันสนิทจนของเหลวไม่สามารถไหลผ่านฟันเฟืองไปสู่ด้านดูดได้ (อัครเดช,2533)



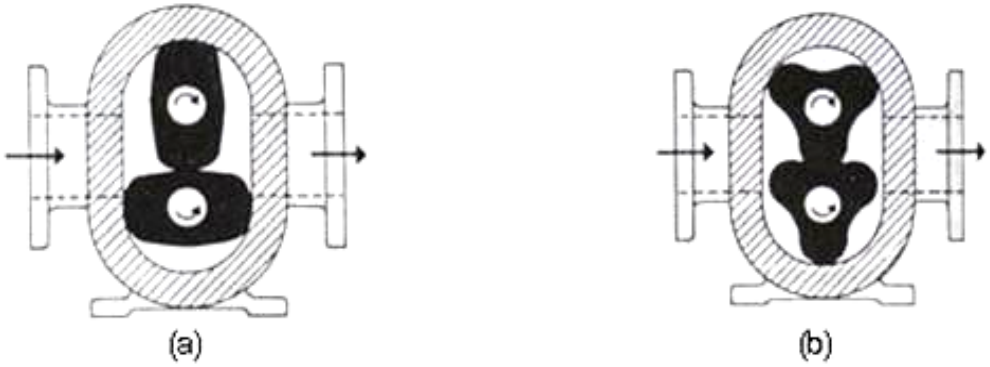
ภาพที่ 2.2 การทำงานของ โรตารี่แบบเฟือง (Gear pump) ที่มา :วิบูลย์,2529

2. เครื่องสูบน้ำโรตารี่ชนิดครีบ (Vane Pump) ปั๊มแบบนี้มีห้องสูบเป็นรูปทรงกระบอกและ มีโรเตอร์ซึ่งเป็นทรงกระบอกเหมือนกันวางเยื้องศูนย์ให้ผิวนอกของโรเตอร์สัมผัสกับผนังของห้องสูบที่กึ่งกลางทางดูดกับทางด้านจ่าย รอบ ๆ โรเตอร์จะมีครีบซึ่งเลื่อนได้ในแนวเข้าออกจากจุดศูนย์กลางมาชนกับผนังของห้องสูบ เมื่อโรเตอร์หมุนครีบเหล่านี้ก็จะกวาดเอาของเหลวซึ่งอยู่ระหว่างโรเตอร์กับห้องสูบไปสู่ทางด้านจ่าย ปั๊มแบบนี้ได้เปรียบชนิดเฟือง (Gear Pump) ตรงที่ว่า การสึกหรอของผนังห้องสูบหรือหลายครีบจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานมากเหมือนการสึกหรอของฟันเฟือง เพราะครีบสามารถเลื่อนออกมาจนชนกับผนังของห้องสูบได้สนิท (อัครเดช,2533)



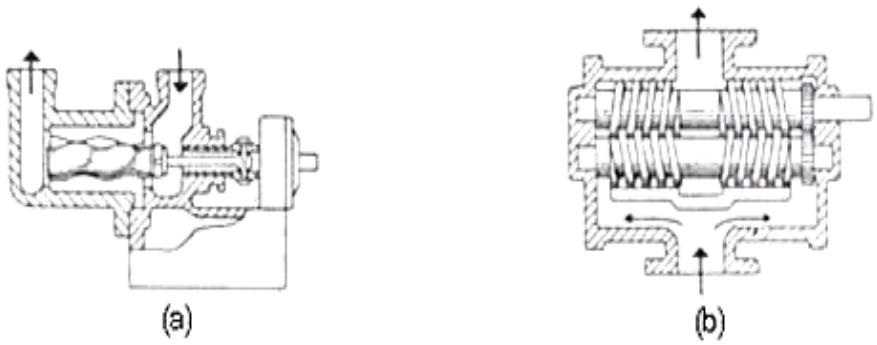
ภาพที่ 2.3 การทำงานของโรตารี่แบบครีบ (Vane) (a) Swing Vane pump (b) Slide Vane Pump
ที่มา : วิบูลย์,2529

3. เครื่องสูบน้ำโรตารี่ชนิดลอน (Lobe Pump) เครื่องสูบน้ำชนิดนี้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับชนิดเฟือง (Gear Pump) แต่โรเตอร์มีลักษณะเป็นลอนหรือพู สองถึงสี่ลอน ช่องว่างระหว่างลอนมีลักษณะแบนและกว้าง ดังนั้นอัตราการสูบจึงสูงกว่าชนิดแรง แต่เนื่องจากการถ่ายทอดกำลังหมุนของโรเตอร์แบบนี้มีประสิทธิภาพต่ำมาก จึงจำเป็นต้องมีเฟืองนอกห้องสูบอีกชุดหนึ่งเพื่อช่วยให้จังหวะการหมุนของโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว (อัครเดช,2533)



ภาพที่ 2.4 การทำงานของโรตารี่แบบลอน (a) สองลอน (two lobe) (b) สามลอน (Three lobe)
ที่มา: วิบูลย์,2529

4. เครื่องสูบน้ำโรตารี่ชนิดสว่าน (Screw Pump) เครื่องสูบน้ำชนิดนี้เพิ่มพลังงาน ให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุน ในลักษณะขับดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังของห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางจ่าย จำนวนสว่านหรือโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว (อัครเดช,2533)



ภาพที่ 2.5 การทำงานของโรตารี่แบบสว่าน (Screw pump) (a) สว่านเดียว (Singer Screw)
(b) สองสว่าน (Two Screw) ที่มา : วิบูลย์,2529

2.2.1.3 ประเภทลูกสูบชัก (Reciprocating) การทำงานโดยเพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ

เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก เป็นเครื่องสูบแบบที่ของเหลวจะต้องเข้าไปแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในเรือนสูบจากการเคลื่อนที่ของกลไก เช่นเดียวกับเครื่องสูบแบบโรตารี่ ต่างกันตรงที่เครื่องสูบแบบลูกสูบชักมีการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา จึงได้เรียกชื่อเครื่องสูบน้ำนี้ตามลักษณะการทำงาน ว่าเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก(Reciprocating Pump) ตัวอย่างได้แก่เครื่องสูบน้ำที่ใช้ลูกสูบ ซึ่งใช้งานมากในอาคารบ้านเรือน เครื่องสูบน้ำชนิดนี้จะมีปริมาณน้ำที่ตายตัว ปริมาณน้ำที่ได้ในการทำงานของลูกสูบแต่ละครั้งคือผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบกับความยาวช่วงชัก (Stroke length) แต่ก็เป็นเพียงในหลักการเท่านั้น ในความเป็นจริง ปริมาณน้ำที่ได้จะน้อยกว่า ทั้งนี้เพราะมีบางส่วนต้องสูญเสียไปกับการไหลย้อนกลับทาง (Slip loss) เช่นเดียวกับเครื่องสูบแบบโรตารี่ (อัครเดช, 2533)

ชนิดของเครื่องสูบแบบรีซีโปรเคท (Reciprocate)

เครื่องสูบแบบลูกสูบชักหรือแบบซีโปรเคท จะแบ่งออกมาเป็น 2 แบบคือ เครื่องสูบแบบส่งกำลังตรง และเครื่องสูบแบบส่งกำลังผ่านลูกเบี้ยว (Cam) หรือข้อเหวี่ยง (Crankshaft) เรียกว่า (Power Pump) แต่ได้มีการดัดแปลงเครื่องสูบทั้ง2แบบนี้ออกไปอย่างกว้างขวาง ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อใช้งานตามลักษณะงานต่างๆตามต้องการ เครื่องสูบใดๆก็ตามที่มีกลไกการสูบของเหลวที่มีการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา ไม่ว่าจะเป็นแบบลูกสูบ (Piston) พลังเจอร์(Plunger) หรือแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm) ถือว่าเป็นเครื่องสูบแบบซีโปรเคท (Reciprocate) (อัครเดช,2533)

1.เครื่องสูบแบบส่งกำลังตรง(Direct-acting Pump)

เครื่องสูบแบบส่งกำลังตรงคือเครื่องจักรไอน้ำโดยก้านสูบของลูกสูบแบบเครื่องจักรไอน้ำจะต่อตรงอยู่กับก้านสูบของตัวปั๊ม และเคลื่อนไปด้วยกันจังหวะต่อจังหวะ ซึ่งที่นิยมผลิตมากคือ แบบลูกสูบไอน้ำหนึ่งสูบต่อลูกสูบปั๊มหนึ่งสูบ (Simplex) และแบบลูกสูบไอน้ำและลูกสูบปั๊มอย่างละ2สูบ (Duplex) มีทั้งแบบสูบตั้ง (Vertical cylinder) และแบบสูบนอน (Horizontal cylinder) ทั้งสองแบบนี้มีการใช้อย่างกว้างขวาง รวมทั้งงานเติมเข้าหม้อน้ำที่ใช้แรงดันต่ำจนถึงปานกลาง งานสูบน้ำปูน โคลน หรือตะกอนตลอดจนงานสูบน้ำมันธรรมดา เนื่องจากสามารถปรับปริมาณน้ำ เฮด และความเร็วได้ง่าย ทำให้มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง (อัครเดช, 2533)

2. เครื่องสูบแบบส่งกำลังผ่านข้อเหวี่ยง (Crank-and-flywheel Power Pump)

เครื่องสูบแบบส่งกำลังผ่านข้อเหวี่ยงนี้จะรับกำลังจากเครื่องต้นกำลังผ่านเข้ามาทางข้อเหวี่ยง (Crankshaft) โดยมีล้อช่วยแรง (flywheel) เป็นอุปกรณ์ที่ทดความเร็วรอบที่ผ่านจากเครื่องต้นกำลังเข้ามาโดยมีเฟืองเกียร์ที่อยู่ภายในเรือนปั๊มเป็นตัวช่วยลดความเร็วของลูกสูบลง และยังช่วยรักษาเสถียรภาพในจังหวะการทำงานของลูกสูบด้วย

เครื่องสูบแบบข้อเหวี่ยงจะส่งน้ำได้ปริมาณเกือบคงที่ขณะที่เฮดอาจเปลี่ยนแปลงไปได้เป็นช่วงกว้างมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง ลูกสูบสามารถให้แรงดันที่สูงมาก บางทีอาจจะต้องใช้วาล์วลดแรงดันเข้าช่วยเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้กับเครื่องสูบและท่อปล่อย เครื่องสูบแบบข้อเหวี่ยงนี้มีทั้งสูบชนิดตั้งและสูบชนิดนอน แรงม้ามีขนาดไม่ใหญ่โตนัก ง่ายต่อการดูแลรักษา ลูกสูบแบบพลังเจอร์(Plunger) มักใช้กับเครื่องสูบที่ต้องการแรงดันตั้งแต่ 1000 จนถึง3000 psi ส่วนแบบลูกสูบ (Piston) สามารถสร้างแรงดันได้ประมาณ 1000 psi เท่านั้น (อัครเดช,2533)

3.เครื่องสูบแบบแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm Pump)

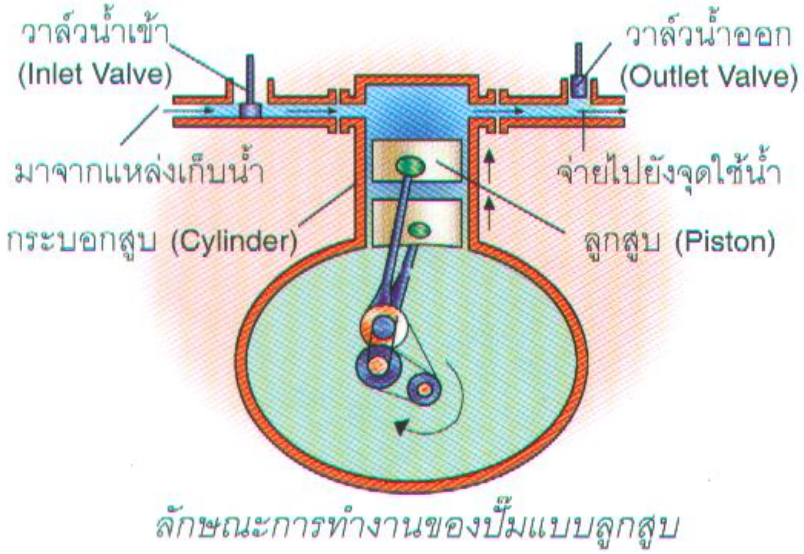
เครื่องสูบแบบแผ่นไดอะแฟรมทำงานโดยการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาของแผ่นไดอะแฟรมที่ทำด้วยวัสดุหยุ่นตัว เช่นยาง หรือวัสดุเทียมยาง จุดศูนย์กลางของแผ่นไดอะแฟรมจะมีก้านต่ออยู่กับแกนยกซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับเป็นก้านสูบ แกนยกนี้จะวางอยู่บนลูกเบี้ยว โดยตรงหรืออาจวางอยู่บนกระเดื่องอีกตัวหนึ่ง ลูกเบี้ยวจะรับกำลังมาจากการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว เมื่อเพลาหมุนไปลูกเบี้ยวก็จะดันกระเดื่องหรือแกนยกของแผ่นไดอะแฟรมเคลื่อนที่ไหมา ดึงแผ่นไดอะแฟรมให้ทำงาน นอกจากลูกเบี้ยวจะเป็นตัวยกก้านไดอะแฟรมแล้ว ก็ยังมีกลไกอื่นๆที่ใช้ยกก้านไดอะแฟรมอีก ซึ่งข้อเหวี่ยงยึดอยู่กับคานสามารถปรับความยาวได้ ทำให้สามารถปรับความยาวของช่วงชักของก้านยกไดอะแฟรมได้ จึงสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำได้ เครื่องสูบแบบแผ่นไดอะแฟรมยังสามารถใช้ได้ดีกับของเหลวข้นประเภทน้ำปนโคลนหรือน้ำที่มีตะกอนแขวนลอย หรือแม้แต่สารประเภทกรดด่าง ข้อดีคือแผ่นไดอะแฟรมทำด้วยยาง หรือวัสดุเทียมยางจะไม่ขึ้นสนิมและทนต่อการสึกกร่อนได้ดีกว่าเครื่องสูบแบบสูบชักอื่นๆ (อัครเดช,2533)

4.เครื่องสูบแบบปรับปริมาณได้ (Variable-capacity Power Pumps)

ปริมาณน้ำหรือของเหลวที่ได้จากเครื่องสูบแบบลูกสูบชักหรือแบบซีโปรเคท จะมีค่าคงที่ ถ้าความเร็วคงที่ เนื่องจากกระบอกสูบของเครื่องสูบน้ำซึ่งเข้ามาแทนที่นั้นมีปริมาตรคงที่ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ได้จากเครื่องสูบ จึงสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนความเร็วเท่านั้น หลักการของเครื่องสูบแบบนี้ คือ การเปลี่ยนแปลงความยาวของช่วงชักของก้านสูบซึ่งอาจทำได้โดยวิธีต่างๆกันไปเช่น ปรับความยาวของช่วงชักโดยใช้สกรู เป็นต้น (อัครเดช,2533)

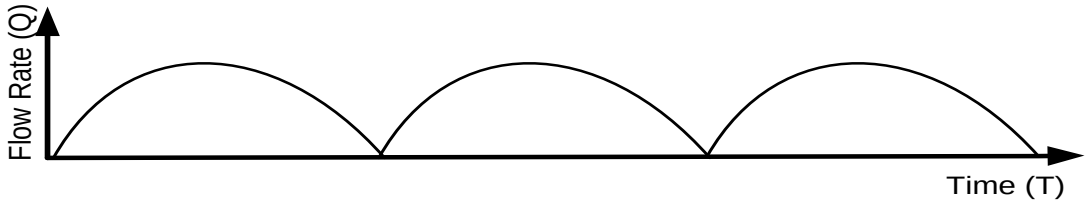
5.เครื่องสูบแบบลูกสูบชักแบบอื่นๆ

นอกจากจะมีเครื่องสูบแบบรีซีโปรเคท (Reciprocate)ในแบบที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีการออกแบบเครื่องสูบแบบรีซีโปรเคท ในลักษณะที่แตกต่างออกไปแล้วแต่ลักษณะการนำไปใช้งาน (อัครเดช,2533)



ภาพที่ 2.6 ภาพลักษณะการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ

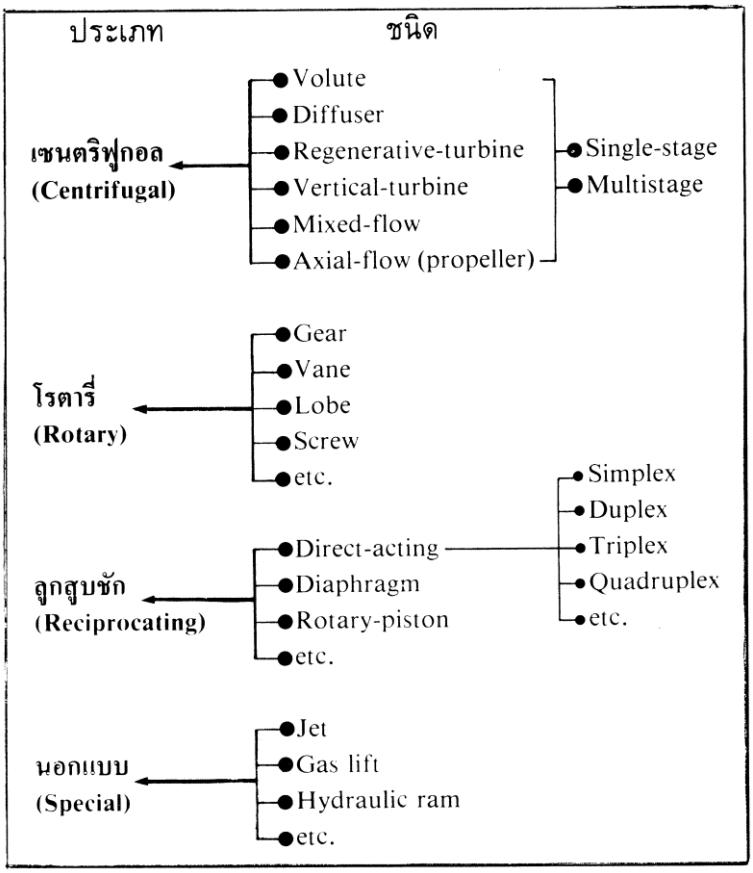
ที่มา : นิธิ ปรัสรา , 2552



ภาพที่ 2.7 กราฟสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก ที่มา : วิบูลย์,2529

2.2.1.4 ประเภทพิเศษ (Special Pump)

ประเภทพิเศษ (Special) ซึ่งเป็นเครื่องสูบน้ำที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้ เครื่องสูบน้ำที่ใช้อยู่โดยทั่ว ๆ ไปเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางหรือ โดยการแทนที่ของเหลวในห้องสูบด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนปั๊ม อย่างไรก็ตาม ยังมีเครื่องสูบน้ำบางประเภทที่ทำงานนอกเหนือกฎเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น (วิบูลย์,2529)

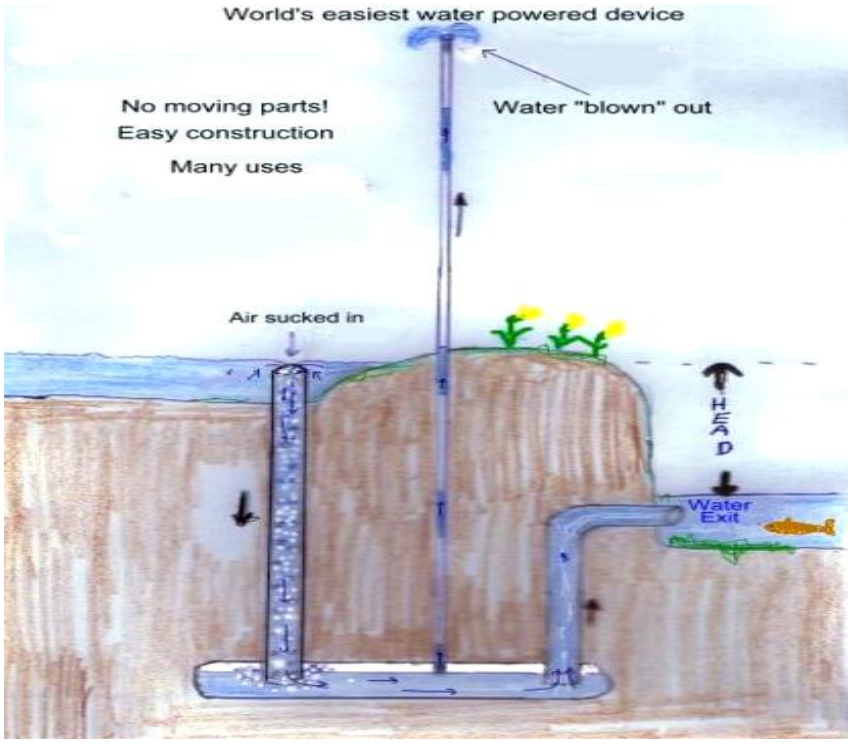


ภาพที่ 2.8 แผนผังสรุปการจำแนกประเภทของเครื่องสูบน้ำ
ที่มา : วิบูลย์ ,2529

2.2.2 เครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานทดแทน คือเครื่องมือกลชนิดหนึ่งทีทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว สร้างจากกลไกที่มนุษย์คิดค้นขึ้นจากพลังงานที่มีอยู่ธรรมชาติโดยประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งพลังงานที่นำมาเพิ่มให้กับของเหลวนั้นอาจได้มาจาก พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานคลื่นน้ำ พลังงานอากาศ เป็นต้น

2.2.2.1 Pulser pump

Pulser pump คือปั๊มที่ไม่มีส่วนเคลื่อนไหว ใช้อากาศดันน้ำขึ้นสูง ไปเก็บไว้ในถังเก็บเพื่อเอาไปรดน้ำต้นไม้ โดยไม่ใช้ไฟฟ้าหรือน้ำมัน มีความทนทานสูงมาก น้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ ด้านเหนือเขื่อนทางซ้ายในรูป มีท่อให้น้ำไหลลง โดยปลายท่อด้านบนอยู่ใกล้ผิวน้ำ ทำให้น้ำดูดฟองอากาศลงไปในท่อด้วย เมื่ออากาศลงไปปลายท่อ อากาศก็พยายามลอยขึ้นตามธรรมชาติ ก็จะถูกเก็บอยู่ในช่องเก็บอากาศเพื่อสร้างแรงดันอยู่ใต้เขื่อน จนมากขึ้นๆ พอมาเจอทางออกตรงท่อเล็กตรงกลางสันเขื่อน ก็จะพยายามหนีออก โดยดูดเอาน้ำขึ้นไปด้วย โผล่พรวดขึ้นมาด้วยความแรง (น้ำสลับกับอากาศ) ทำให้ Pulser pump สามารถยกน้ำขึ้นสูงกว่าสันเขื่อนได้ อันเป็นผลลัพธ์ของปั๊มที่เราต้องการ ทางส่วนใต้เขื่อน ท่อน้ำออกอยู่ต่ำกว่าท่อที่อากาศหนีออก จึงปล่อยเฉพาะน้ำออกไปทางด้านขวา ยิ่งกว่านั้น ปลายปล่องด้านน้ำไหลลงไปใต้เขื่อน หาก “ลอย” อยู่ใกล้ระดับผิวน้ำได้ ก็จะสามารถปรับตัวเองให้ใช้งานได้อัตโนมัติ โดยขึ้นกับระดับน้ำต้นทุนหน้าเขื่อน (Logos,2552)



ภาพที่ 2.9 ภาพการทำงานของ Pulser pump ที่มา Logos,2552

2.2.2.2 Hydraulic Ram Pump

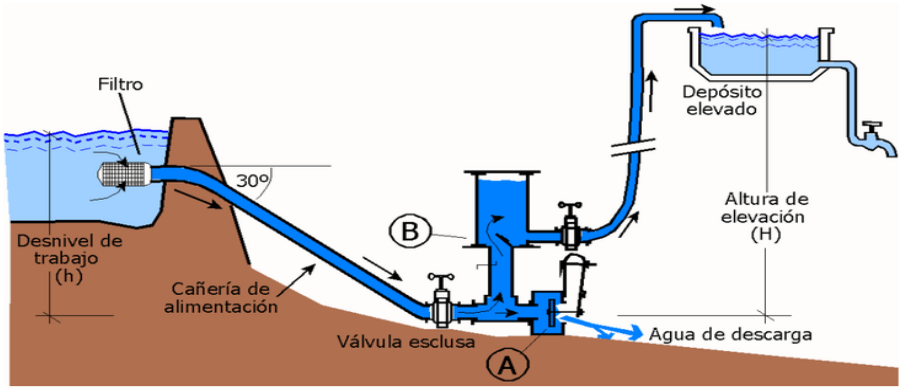
Hydraulic Ram Pump หรือ ตะบันน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้น และพัฒนามาอย่างต่อเนื่องตลอดหลายร้อยปี เป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งน้ำขึ้นไปบนที่สูง โดยใช้พลังงานที่มีอยู่ในตัวของมันเองไม่ต้องใช้ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์มาเป็นตัวขับดัน

ไฮดรอลิคแรมปั๊ม (Hydraulic ram pump) คือ อุปกรณ์ส่งน้ำที่สามารถทำงานด้วยพลังงานของตัวมันเอง โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานจากที่อื่น เช่น เครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องจักรไอน้ำ เข้ามาเป็นตัวช่วยให้กำลังงานแก่เครื่องนี้เลย จึงมองเห็นประโยชน์ของมันและนำมาเป็นหัวข้อในการศึกษาครั้งนี้ และเพื่อพัฒนาให้อุปกรณ์มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ใช้หลักการของวอเตอร์แฮมเมอร์ มีผู้ค้นพบหลักการนี้มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1772 คือประมาณ 200 กว่าปีมาแล้ว ผู้ค้นพบ คือ ช่างประปาของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในเมือง Bristol ในประเทศอังกฤษ และถูกพัฒนาแนวคิดโดยพี่น้องตระกูล Montgofier หรือที่รู้จักกันดีว่า เป็นผู้คิดค้นการทำงานของบอลลูนโดยใช้อากาศร้อน ในประเทศฝรั่งเศส เมื่อปี ค.ศ.1796 ต่อมาปี ค.ศ. 1956 ดร. มิยาซาวา ได้สร้างเครื่องสูบน้ำพลังน้ำขึ้นโดยเอาหลักการนี้ไปใช้เป็นผลสำเร็จแต่ไม่เป็นที่นิยม เพราะมีประสิทธิภาพต่ำ แต่ในอนาคตไฮดรอลิคแรมอาจมีประโยชน์มากก็ได้ ถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น

ในประเทศไทยได้มีการสร้างขึ้นเครื่องแรกเมื่อปี พ.ศ. 2516 โดยกองบริการอุตสาหกรรมภาคเหนือ และได้ทดลองติดตั้งใช้งานที่ไร่ 3 เขา ในเขตอำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ และต่อมาในปี พ.ศ. 2518 ได้ทำการปรับปรุงและสร้างขึ้นอีก 1 เครื่องได้ทำการทดลองระยะสั้น ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ และไฮดรอลิคแรมเครื่องใหม่มีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องแรกด้วย ขณะนี้ไฮดรอลิคแรมเครื่องนี้สามารถที่จะนำไปทดลองสาธิต และวิธีการทำงานได้

หลักการของไฮดรอลิคแรม คือ การนำเอาหลักการของวอเตอร์แฮมเมอร์มาใช้ ประสิทธิภาพการทำงานของไฮดรอลิคแรมต่ำมาก เพราะได้น้ำออกมาน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าตัวปั๊ม น้ำที่ไหลเข้าปั๊มนั้นสูญเสียไปมากกับการไหลออกทางวาล์วน้ำทิ้ง นอกจากนั้นแล้วน้ำที่ไหลเข้า ยังไหลขาดเป็นช่วงๆ ตามจังหวะการเปิดปิดของวาล์วที่ไม่สม่ำเสมอ เหมือนกับเครื่องสูบน้ำทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีหลายบริษัททำการพัฒนา และสร้างขึ้นออกจำหน่ายตามท้องตลาดแล้ว หลักการทำงานของไฮดรอลิคแรม เป็นปั๊มน้ำที่ไม่ใช้พลังงานจากไฟฟ้าขับตัวปั๊มให้ทำงาน แต่จะอาศัยหลักการกระแทกของน้ำในท่อซึ่งถูกทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลอย่างกะทันหัน ทำให้ความดันในตัวปั๊มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาสั้นๆ หลักการดังกล่าวเรียกว่าหลักการวอเตอร์แฮมเมอร์

วอเตอร์แฮมเมอร์ คือ ปรากฏการณ์ที่ความดันภายในท่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันและรุนแรง สาเหตุที่ทำให้เกิดวอเตอร์แฮมเมอร์ คือการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลภายในท่อหรือระบบที่มีการไหล เช่น การปิดประตูอย่างรวดเร็วทำให้ความเร็วในการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การทำเช่นนี้จะทำให้ โมเมนตัมของการไหลถูกเปลี่ยนไปกลายเป็นแรงกระทบบนประตูหรือผนังท่อ ถ้าหากแรงกระแทกที่เกิดขึ้น มากเกินไปที่วัสดุที่ใช้ทำประตูหรือท่อก็อาจทำให้เกิดการเสียหายได้ แต่ในที่นี้จะนำหลักการดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยสร้างอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมแรงดัน เพื่อที่จะนำน้ำที่มีอยู่ตามแหล่งน้ำธรรมชาติ มาใช้งานโดยอุปกรณ์ดังกล่าวเรียกว่า ไฮดรอลิกแรมปั๊ม (ธนากร,2552)



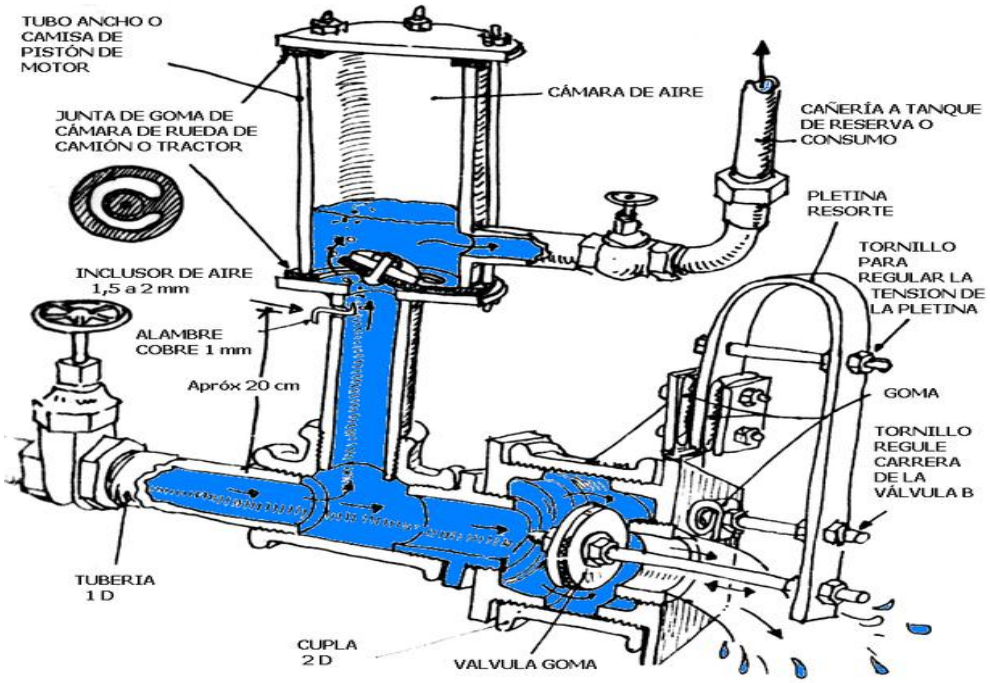
ภาพที่ 2.10 ภาพการทำงานของ Hydraulic Ram pump

ที่มา:ธนากร,2552

ลักษณะและการทำงานของตะบันน้ำ

น้ำที่กำลังไหลอยู่ในเส้นท่อจะมีพลังงานอยู่ในตัวของมันเอง พลังงานจะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในเส้นท่อ และความเร็วของการไหลที่ปลายเส้นท่อที่น้ำกำลังไหล ถ้าถูกปิดอย่างทันทีทันใด ด้วยแรงเฉื่อยของน้ำที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ จะทำให้เกิดแรงดันในเส้นท่อเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติอยู่ชั่วขณะหนึ่ง ด้วยปรากฏการนี้ได้ถูกนำมาสร้างเครื่องตะบันน้ำเริ่มโดยการต่อท่อขับดันน้ำ จากแหล่งน้ำทีมีระดับความสูงเพียงพอให้น้ำไหล ลงมาตามเส้นท่อได้ด้วยตัวของมันเอง ที่ปลายท่อด้านล่างสร้างกลไก ที่เป็นวาล์วเปิดปิดน้ำไว้สองตัว ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน ตัวหนึ่งมีขนาดใหญ่ปกติจะเปิดให้น้ำไหลออกได้ แต่จะปิดได้เองด้วยแรงผลักของน้ำที่ไหลผ่านวาล์ว วาล์วอีกตัวหนึ่งซึ่งมีขนาดเล็กกว่าจะเป็นวาล์วที่ยอมให้น้ำไหลผ่านได้ทางเดียวเมื่อวาล์วตัวใหญ่ถูกผลักให้ปิดตัวเอง แรงดันของน้ำที่เพิ่มขึ้นในขณะนั้นจะดันให้วาล์วตัวเล็กเปิดออก น้ำส่วนหนึ่งจะถูกดันผ่านเข้าไปในถังอัดอากาศ ที่จะทำการดูดซับแรงดันที่เกิดขึ้นในขณะนั้น

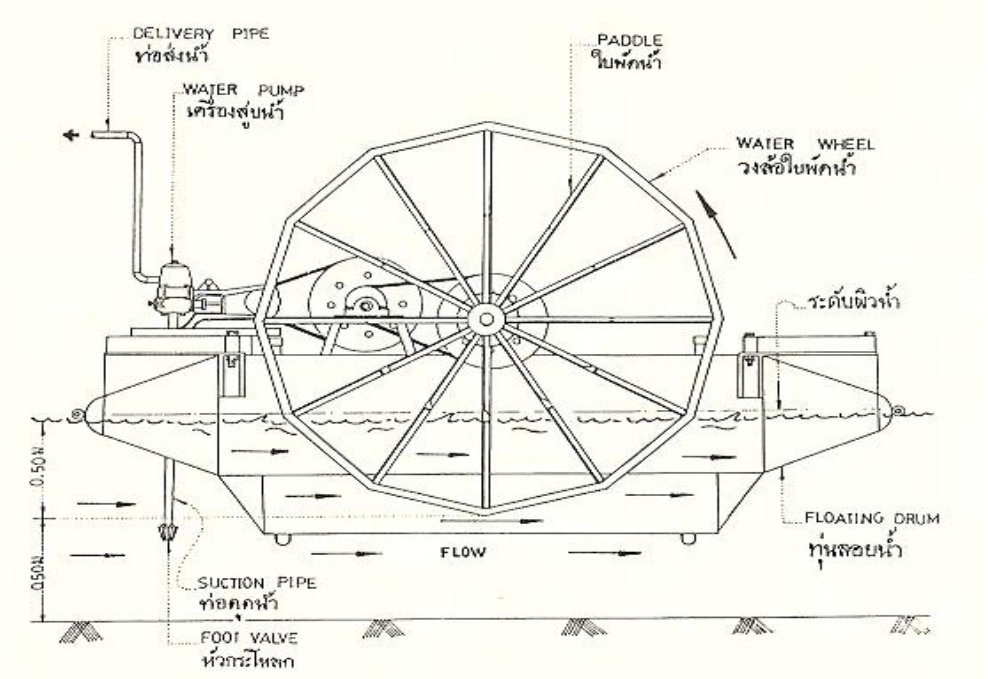
เมื่อแรงที่เกิดขึ้นหมดลง ลิ้นกันกลับตัวเล็ก จะปิดไม่ให้น้ำไหลกลับเข้ามาในเส้นท่อ แรงดันในเส้นท่อกลับมาอยู่ในสภาวะปกติ วาล์วตัวใหญ่จะเปิดออกเองด้วยน้ำหนักของตัววาล์ว น้ำก็จะเริ่มไหลออกผ่านวาล์วตัวใหญ่ เมื่อวาล์วตัวใหญ่เปิดออก น้ำในเส้นท่อจะเริ่มไหลอีกครั้ง ผ่านวาล์วตัวใหญ่ออกสู่บรรยากาศ ความเร็วของน้ำจะเพิ่มขึ้น จนแรงพอที่จะผลักให้วาล์วปิด แรงเฉื่อยของน้ำที่กำลังไหลจะผลักให้น้ำส่วนหนึ่งไหลผ่านลิ้นกันกลับ เข้าไปในถังอัดอากาศอีกครั้ง จังหวะการทำงานจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตราบที่ยังมีน้ำไหลเข้ามาในเส้นท่อ ความดันในถังอัดอากาศจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนสามารถดันให้น้ำที่ถูกส่งเข้ามาเป็นจังหวะ ส่งผ่านไปตามเส้นท่อขนาดเล็ก ขึ้นสู่ที่สูงได้ส่งน้ำได้สูงเท่าไร มากน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง สภาพพื้นที่ แหล่งน้ำต้นทุนขึ้นอยู่กับการออกแบบทั้งรูปแบบ และขนาดที่เหมาะสม รวมถึงการปรับตั้ง (ธนากร,2552)



ภาพที่ 2.11 ภาพกลไกการทำงานของตะบันน้ำ ที่มา ธนากร,2552

2.2.2.3 กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอย

กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยประดิษฐ์ขึ้นอันเนื่องมาจากเมื่อวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2524 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้เสด็จพระราชดำเนินทอดพระเนตร บริเวณพื้นที่ศูนย์ศิลปาชีพพิเศษ ห้วยเดื่อตำบลผาบ่อง อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอนริมฝั่งซ้ายของแม่น้ำปาย ซึ่งขาดแคลนน้ำเพื่อการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม ทรงมีพระราชกระแสว่า แม่น้ำปาย มีกระแสน้ำไหลเร็วน่าจะใช้พลังน้ำไหลมาใช้ประโยชน์เพื่อการสูบน้ำในระยะแรกเป็นการชั่วคราวก่อนจะมีการสร้างฝายทดน้ำได้ จึงพระราชทานพระราชดำริให้กรมชลประทานสร้างกังหันน้ำสูบน้ำทุ่นลอยขึ้นมา เพื่อใช้ติดตั้งในแม่น้ำปายสูบน้ำขึ้น สนับสนุนการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม อุปโภคและบริโภคและมีประราชกระแสว่า ถ้าสร้างเป็น กังหันกระบอกนั้นไม่แข็งแรงคงทน ใช้งานได้ปีเดียวน้ำมาแรงก็พังแล้วก็ลอยหายไปตามกระแสน้ำ เพราะแม่น้ำปายไหลแรงและมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของระดับน้ำอยู่เป็นประจำในฤดูฝน จึงมีพระราชดำริแก่กรมชลประทานให้ประดิษฐ์กังหันน้ำเป็นแบบทุ่นลอยให้มีความคงทนแข็งแรง ให้สามารถใช้งานได้ตามความเหมาะสม จึงได้มีการพัฒนากังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยขึ้นใช้กับโครงการจัดหาน้ำสนับสนุนเพื่อการเกษตรตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา



ภาพที่ 2.12 ด้านข้างกังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอย ที่มา :บรรจง ,2542

กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอย (Floatation Type Water Pump) ออกแบบสร้างขึ้นเพื่อติดตั้งในแม่น้ำลำธารเป็นกังหันน้ำชนิดสะเทินน้ำสะเทินบก เคลื่อนย้ายได้ง่าย สามารถปรับตัวตามระดับน้ำขึ้นลงได้เอง กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยนี้ประกอบด้วยทุ่นลอยคล้ายตอปิโด จำนวน 2 ทุ่นวงล้อใบพัดทำด้วยเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตร กว้าง 1.20. เมตร มีใบพัดขนาด 0.60 เมตร x 1.20 เมตร จำนวน 12 ใบ ใบพัดจะจะขับส่งกำลังไปยังเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบชักด้วยเฟืองจานโซ่และสายพาน อุปกรณ์ทั้งหมดประกอบอยู่บนทุ่นเหล็ก 2 ทุ่น โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเหล็กที่มีน้ำหนักเบา เหมาะที่จะนำไปใช้สูบน้ำในแม่น้ำลำธาร หรือคลองส่งน้ำที่มีความเร็วตั้งแต่ 1.00 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป โดยที่แม่น้ำจะต้องลึกไม่น้อยกว่า 1.00 เมตรและกว้างไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร กังหันน้ำสูบน้ำขับเคลื่อนด้วยความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลเข้าไปผลักดันให้ใบพัดหมุนแล้วส่งกำลังไปยังเครื่องสูบด้วยเฟืองจานโซ่และสายพาน สามารถสูบน้ำได้ตั้งแต่ 16.17 ลิตรต่อนาที และยกน้ำได้สูงถึง 45.00 เมตร ปริมาณน้ำที่ได้จะขึ้นอยู่กับความสูงในการยกน้ำโดยที่ความเร็วคงที่ ก่อนทำการติดตั้งนั้นจะต้องตรวจสอบสภาพแม่น้ำลำธารว่ามีความเร็ว ความลึก และความกว้างเพียงพอกับที่ออกแบบไว้ด้วย (บรรจง ,2542)

ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)	ความสูงในการยกน้ำ (เมตร)	ปริมาณน้ำที่สูบได้ (ลิตร/นาที)
1.00	1-5	166.67
1.00	6-7	133.34
1.00	8-11	83.34
1.00	12-14	66.67
1.00	15-19	50.00
1.00	20-29	33.34
1.00	30-38	25.00
1.00	39-45	16.67

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในการยกน้ำและปริมาณน้ำที่สูบได้
ที่มา :บรรจง ,2542

ภาพที่ 2.13 กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยตั้งอยู่บนบก ที่มา :บรรจง ,2542

ภาพที่ 2.14 กังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอยติดตั้งอยู่ในน้ำ
ที่มา : บรรจง ,2542

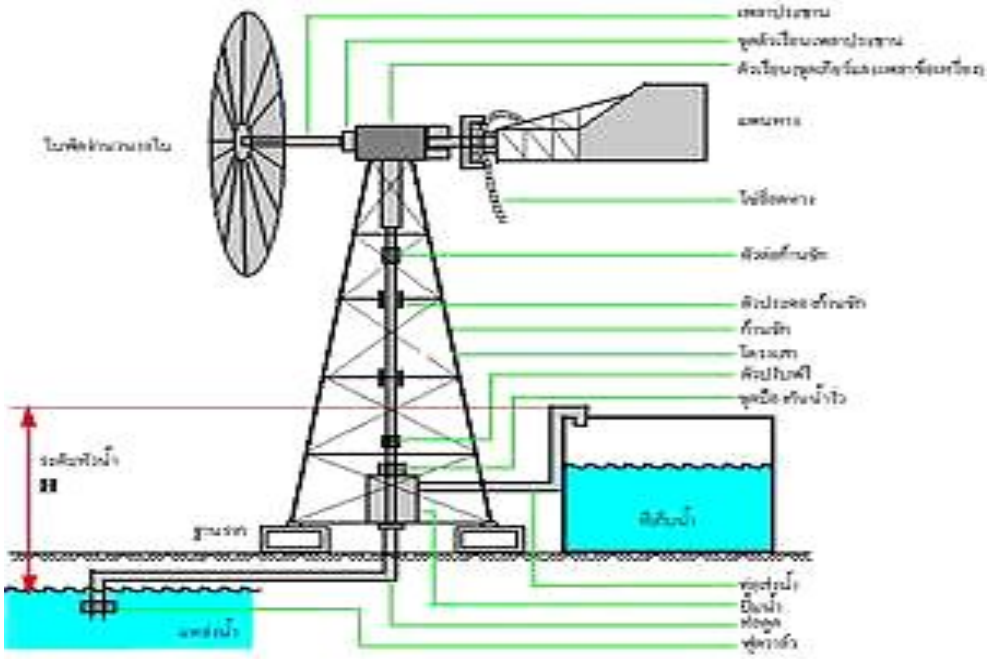
2.2.2.4 กังหันลมแบบสูบน้ำในปัจจุบัน

กังหันลมแบบสูบชักเป็นกังหันลมชนิดหลายใบ ส่วนใหญ่ใช้ในการสูบน้ำจากบ่อ สระน้ำ หนองน้ำ และแหล่งน้ำอื่นๆ ที่มีความลึกไม่มากนัก เพื่อใช้อุปโภค ใช้ในทางการเกษตรและใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มีความสามารถในการยกหรือดูดน้ำได้ในระยะที่สูงกว่าแบบระหัด เพื่อความแข็งแรงวัสดุที่ใช้ทำใบพัดและโครงสร้างเสาของกังหันลมชนิดนี้มักเป็นโลหะเหล็ก ถ้าผลิตในประเทศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัดประมาณ 4 - 6 เมตร จำนวนใบพัด 18, 24, 30, 45 ใบ การติดตั้งแกนใบพัดสูงจากพื้นดินประมาณ 12-15 เมตร ตัวห้องเครื่องถ่ายแรงจะเป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือเฟืองขับ กระบอกสูบน้ำมีขนาดตั้งแต่ 3-15 นิ้ว ปริมาณน้ำที่สูบได้ขึ้นอยู่กับขนาดกระบอกสูบน้ำและปริมาณความเร็วลม กังหันลมเริ่มหมุนทำงานที่ความเร็วลม 3.0 เมตร/วินาที ขึ้นไปและสามารถทำงานต่อเนื่องได้ด้วยแรงเฉื่อยที่ความเร็วลม 2.0 เมตร/วินาที แกนใบพัดสามารถหมุนเพื่อรับแรงลมลมได้รอบตัวโดยมีใบแพนหางเสือเป็นตัวควบคุมการหมุน มีระบบความปลอดภัยหยุดหมุนในกรณีที่ลมแรงเกินกำหนด (บรรจง ,2542)

ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลมแบบสูบชักเพื่อสูบน้ำ

1. ใบพัด ทำจากเหล็กกาวาไนท์หรือแผ่นสังกะสีชนิดหนาอย่างดี ไม่เป็นสนิมทนทานต่อกำลังลม ทำหน้าที่รับแรงลมแล้วเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมเป็นพลังงานกลและส่งต่อไปยังเพลาประธาน
2. ตัวเรือน ประกอบไปด้วยเพลาประธานหรือเพลาหลักทำด้วยเหล็กสแตนเลสที่มีความแข็งเหนียวทนต่อแรงบิดสูง ชุดตัวเรือนเพลาประธานเป็นตัวหมุนถ่ายแรงกลเข้าตัวห้องเครื่อง ภายในห้องเครื่องจะเป็นชุดถ่ายแรงและเกียร์ที่เป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือแบบเฟืองขับ เพื่อถ่ายเปลี่ยนแรงจากแนวราบเป็นแนวดิ่งเพื่อดึงก้านชักขึ้นลง ใช้น้ำมันเป็นตัวหล่อลื่นในห้องเครื่อง
3. ชุดแพนหาง ประกอบไปด้วยใบแพนหางทำจากเหล็กแผ่น ที่ทำหน้าที่บังคับตัวเรือนและใบพัดเพื่อให้หันรับแรงลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง และโซ่ล็อคแพนหางซึ่งทำหน้าที่ล็อคแพนหางให้พับขนานกับใบพัดเมื่อได้รับแรงลมที่ความเร็วลมเกิน 8 เมตร/วินาที และส่ายหนีแรงปะทะของแรงลม
4. โครงเสา ทำด้วยเหล็กประกอบเป็นโครงถัก (Truss Structure) ความสูงของกังหันลมสูบน้ำ มีความสำคัญอย่างมากในการพิจารณาติดตั้งกังลม เพื่อให้สามารถรับลมได้ดี กำหนดที่ความสูงประมาณ 12-15 เมตร และมีแกนกลางเป็นตัวบังคับก้านชักให้ชักขึ้นลงในแนวดิ่ง
5. ก้านชัก ทำด้วยเหล็กกลมตัน รับแรงชักขึ้นลงในแนวดิ่งจากเฟืองขับในตัวเรือน เพื่อทำหน้าที่ปั๊มอัดกระบอกสูบน้ำ และถูกบังคับให้ชักขึ้นลงได้ในแนวดิ่งด้วยตัวประคองก้านชัก (Slip Control) ที่อยู่กึ่งกลางโครงเสาในแต่ละช่วง

6. กระบอกสูบน้ำ ลูกสูบของกระบอกสูบน้ำวัสดุส่วนใหญ่เป็นทองเหลืองหรือสแตนเลส มีความคงทนต่อกรดและด่าง สามารถรับแรงดูดและแรงส่งได้สูง มีหลายขนาดแต่ที่ใช้ทั่วไปมีขนาด 3 - 15 นิ้ว ใช้สูบน้ำได้ทั้งจากบ่อบาดาลและแหล่งน้ำตามธรรมชาติอื่นๆ การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับระยะหัวน้ำและการออกแบบ
7. ท่อน้ำ ซึ่งจะประกอบไปด้วยท่อดูดขนาด 2 นิ้ว ต่อระหว่างปั๊มน้ำกับแหล่งน้ำที่จะสูบและติดฟุตวาล์วกันน้ำไหลกลับ ท่อส่งขนาด 1.5 นิ้ว ต่อระหว่างปั๊มน้ำกับถังกักเก็บน้ำเพื่อส่งน้ำที่ดูดได้ไปไว้ที่ถังเก็บน้ำ (กระทรวงพลังงาน,2553)



ภาพที่ 2.15 ส่วนประกอบของกังกันลมสูบน้ำ ที่มา : กระทรวงพลังงาน,2553

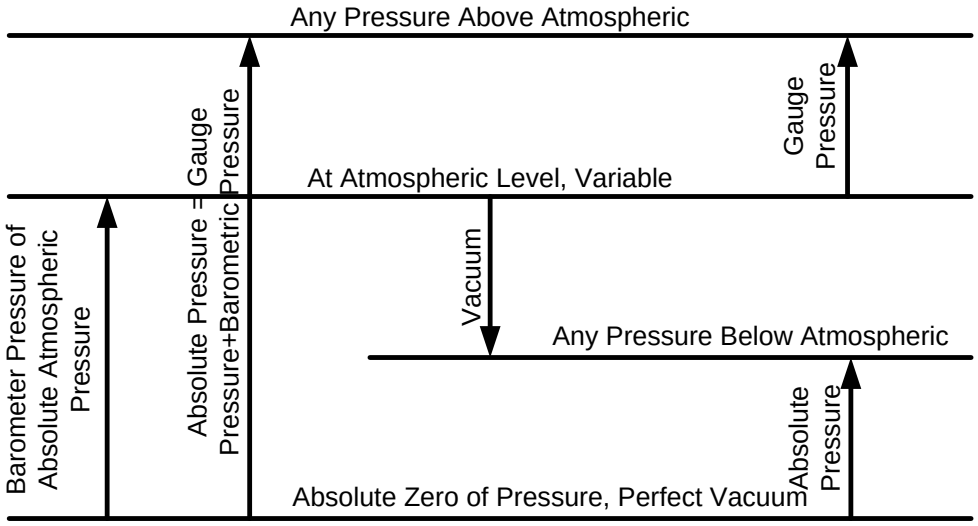
2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำ

2.3.1 ความดันและเฮด

ในการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของปั๊ม จำเป็นต้องทราบทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับของเหลว ความดันและหัวน้ำหรือเฮดของปั๊ม ดังนี้

1. ความดันของบรรยากาศ (Atmospheric Pressure)

คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนผิวโลกแต่เนื่องจากว่าลักษณะการวัดความดันมี 2 แบบ ตามภาพที่ 7.3



ภาพที่ 2.16 แผนภาพความดันบรรยากาศ ที่มา วิบูลย์,2529

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

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันโดยทั่ว ๆ ไปเป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าที่แตกต่างไปจากความกดดันของบรรยากาศ ค่าที่วัดได้เรียก ความดันจากเกจ (Gauge Pressure, P_g) ซึ่งอาจมีค่าได้ทั้งบวกและลบ จากภาพจะเห็นได้ว่าสามารถเปลี่ยนความดันจากเกจให้เป็นความดันสมบูรณ์ได้โดย

ความดันสมบูรณ์ = ความดันจากบาโรมิเตอร์ + ความดันจากเกจ

$$P_{abs} = P_b + P_g \qquad \text{..... 1}$$

ค่าความกดดันของบรรยากาศหรือความกดดันจากบาโรมิเตอร์

$$P_b = 1013 - 0.1055EL \qquad \text{..... 2}$$

ในเมื่อ P_b เป็นความดันของบรรยากาศมีหน่วยเป็นมิลลิบาร์หนึ่งมิลลิบาร์ เท่ากับ 0.0145 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือคิดเป็นความสูงของแท่งน้ำที่ 4 °C ได้เท่ากับ 0.010197 เมตร และ EL เป็นระดับความสูงของพื้นผิวที่ต้องการทราบความกดดันเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางมีหน่วยเป็นเมตร

ในการคำนวณเกี่ยวกับการติดตั้งปั๊ม ค่าความกดดันของบรรยากาศที่ใช้มีหน่วยเป็นความสูงของแท่งน้ำหรือเฮดเป็นเมตรค่าดังกล่าวจะคำนวณได้จากสมการ

$$H_p = 10.33 - 0.00108EL \qquad \text{..... 3}$$

โดย H_p เป็นความกดดันบรรยากาศเทียบให้เป็นความสูงของแท่งน้ำที่ 4 °C มีหน่วยเป็นเมตร

2. เฮดความดัน (Pressure Head, H_p)

ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือ ปอนด์ต่อตารานิ้ว (psi) แล้ว ถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลวนั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งวามสูงของของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure Head)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน p และเฮดความดัน H_p คือ

$$H_p = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \qquad \text{..... 4}$$

เมื่อ

γ = น้ำหนักจำเพาะ

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

3. เฮดความร็ว (Velocity Head, H_v)

ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใด ๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่พลังงานในส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเฮดคือ

$$H_V = \frac{V^2}{2g} \qquad \text{..... 5}$$

เมื่อ

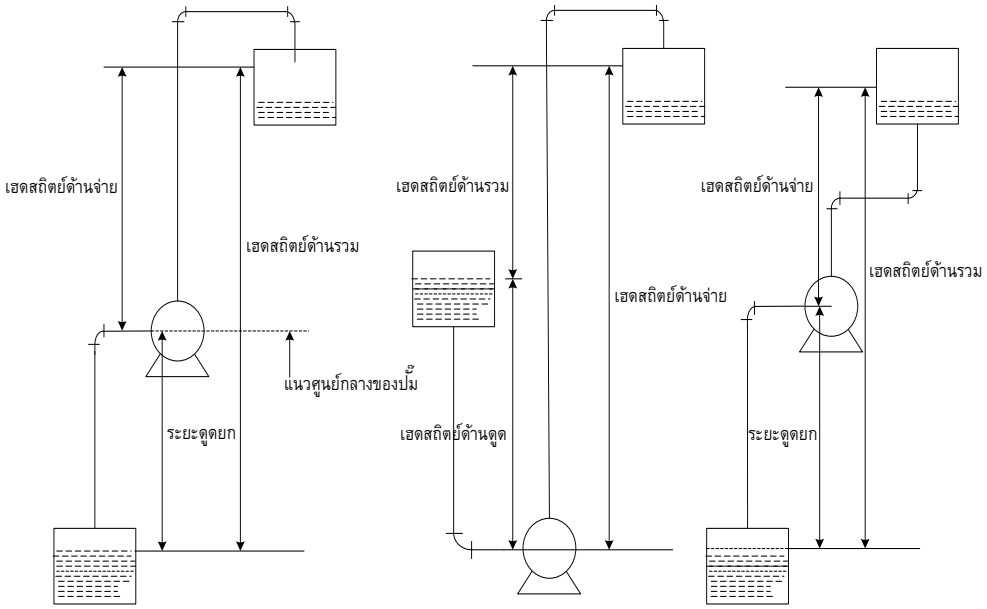
V = ความเร็วของการไหล

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

เฮดความเร็วอาจให้กำจัดความได้อีกอย่างหนึ่งว่า เป็นความสูงที่ของเหลวตกลงมาด้วย แรงดึงดูดของโลกจนได้ความเร็วเท่ากับความร็วในการไหลของของเหลวนั้น

4. เฮดสถิตย์ (Static Head, H_s)

ในการทำงานของปั๊มโดยทั่ว ๆ ไปของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้มันไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่า ความดันซึ่งคิดเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของปั๊มทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์เรียกว่า เฮดสถิตย์ (Static Head)



ภาพที่ 2.17 แผนภาพเฮดสถิตย์ ที่มา วิบูลย์,2529

ตามภาพระยะทางในแนวดิ่งที่บอกเป็นแท่งความสูงของของเหลว หรือเฮดจากศูนย์กลางของปั๊มถึงปลายของท่อจ่ายเรียกว่า เฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head)

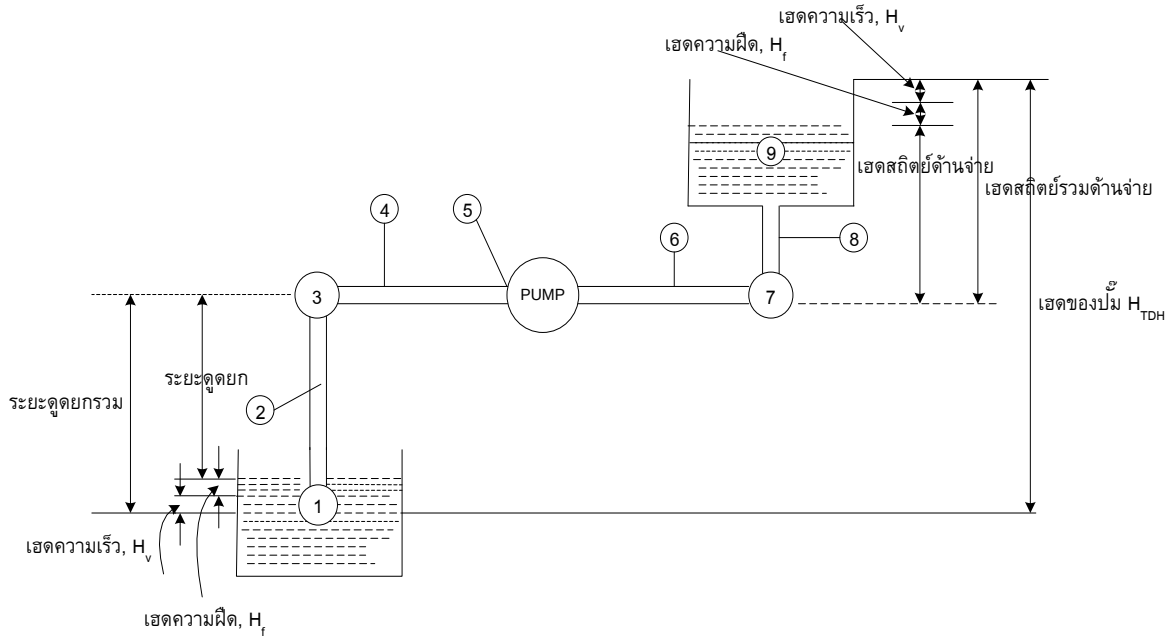
ระยะจากจุดศูนย์กลางของปั๊มถึงระดับผิวของของเหลวที่ปลายของท่อดูดซึ่งอยู่สูงกว่า เรียกว่า เฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ถ้าผิวของของเหลวอยู่ต่ำกว่า และความดันที่ศูนย์กลางของปั๊มจะมีค่าเป็นลบ ในกรณีนี้จะเรียกว่า ระยะดูดยก (Static Suction Lift) แทน

เฮดรวมสถิตย์รวม (Total Static Head) ก็คือผลต่างทางพีชคณิตของเฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head) กับเฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ค่าดังกล่าวนี้เป็นเฮดต่ำสุดที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวก่อนที่จะมีการไหลเกิดขึ้น (วิบูลย์,2529)

5. เฮดความฝืด (Friction Head, H_f)

ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านระบบท่อทั้งด้านดูดและจ่ายพลังงานหรือเฮดในการไหลส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังของท่อและส่วนประกอบต่าง ๆ ซึ่งเราเรียกว่า เฮดความฝืด (Friction Head) ในระบบสูบน้ำโดยทั่ว ๆ ไป การเสียเฮดเนื่องจากความฝืดอาจเกิดขึ้นได้หลายจุด ดังภาพข้างล่าง

การเสียเฮดทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่านระบบท่อซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ดังนั้นขณะที่ปั๊มกำลังทำงาน ระยะดูดยกรวมที่เกิดขึ้นจริงจะเท่ากับระยะดูดยก (Static Suction Lift) รวมกับเฮดความฝืดทางด้านดูดทั้งหมดตั้งแต่ จุดที่ 1 ถึง จุด 5 ในกรณีที่ของเหลวทางด้านดูดอยู่สูงกว่าศูนย์กลางของปั๊ม เฮดด้านดูดรวม (Total Static Head) ที่เกิดขึ้นจริงจึงเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) สำหรับทางด้านจ่ายก็เช่นเดียวกัน คืออาจจะรวมการเสียเฮดที่จุดที่ 6 ถึง 9 เข้าด้วยกันเป็นเฮดความฝืด และเฮดรวมด้านจ่าย (Total Discharge Head) ที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่ปั๊มการทำงานจะเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านจ่ายรวมกับเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านจ่าย (วิบูลย์,2529)



ภาพที่ 2.18 แผนภาพการสูญเสียเฮด ที่มา : วิบูลย์,2529

จุดที่ 1 เป็นการเสียเฮดความเร็วเนื่องจากการไหลเข้าท่อ (Entrance loss) ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปทรงและอุปกรณ์ที่ปลายท่อดูด

จุดที่ 2 เป็นการเสียเฮดเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังท่อ

จุดที่ 3 เป็นการเสียเฮดเนื่องจากมีการเปลี่ยนทิศทางการไหล

จุดที่ 4 เป็นการเสียเฮดในเส้นท่อเหมือนจุดที่ 2

จุดที่ 5 เป็นการเสียเฮดที่อุปกรณ์ทางด้านดูดของปั๊มลบด้วยเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านดูด

สำหรับทางด้านจ่ายก็เช่นเดียวกัน คืออาจจะรวมการเสียเฮดที่จุดที่ 6 ถึง 9 เข้าด้วยกันเป็นเฮดความฝืด และเฮดรวมด้านจ่าย (Total Discharge Head) ที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่ปั๊มการทำงานจะเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านจ่ายรวมกับเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านจ่าย (วิบูลย์,2529)

5.1. การหาค่าความสูญเสียหลัก (Major loss or Friction loss)

สูตรของของ Darcy-Weisbach

$$h_f = \frac{fLv^2}{D2g} \quad \text{..... 6}$$

เมื่อ

h_f	คือ	ค่าสูญเสียความดันหลักเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อ
f	คือ	ปัจจัยแรงเสียดทาน (friction factor)
L	คือ	ความยาวท่อ
D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ
v	คือ	ความเร็วของของไหลภายในท่อ
g	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ปัจจัยแรงเสียดทานเป็นพารามิเตอร์ไร้หน่วย ค่า Head loss มีค่าเป็นระยะทาง
ในการคำนวณจะต้องการสูญเสียความดันหลักจะคำนึงถึงลักษณะของการไหลด้วย เนื่องจากสูตรการคำนวณนี้มีการใช้ค่าปัจจัยแรงเสียดทานด้วย ซึ่งพารามิเตอร์ตัวนี้จะได้มาจากการเปิดตารางต่างกัน โดย

ลักษณะการไหลที่มีผลต่อการหาค่าปัจจัยแรงเสียดทาน มี 2แบบคือ

5.1.1 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

ของไหลที่ไหลลักษณะนี้จะมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์จะน้อยกว่า 2,000 พารามิเตอร์ค่า f หรือ ปัจจัยแรงเสียดทานจะขึ้นอยู่กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เพียงอย่างเดียว สมการที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$f = \frac{64}{R_e} \qquad \text{..... 7}$$

ส่วนสมการที่ใช้หาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์คือ

$$R_e = \frac{Dv\rho}{\upsilon} = \frac{Dv}{\upsilon} \qquad \text{..... 8}$$

เมื่อ

R_e คือ ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

v คือ ความเร็วของไหลภายในท่อ

υ คือ ความหนืดไคเนมาติกส์

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

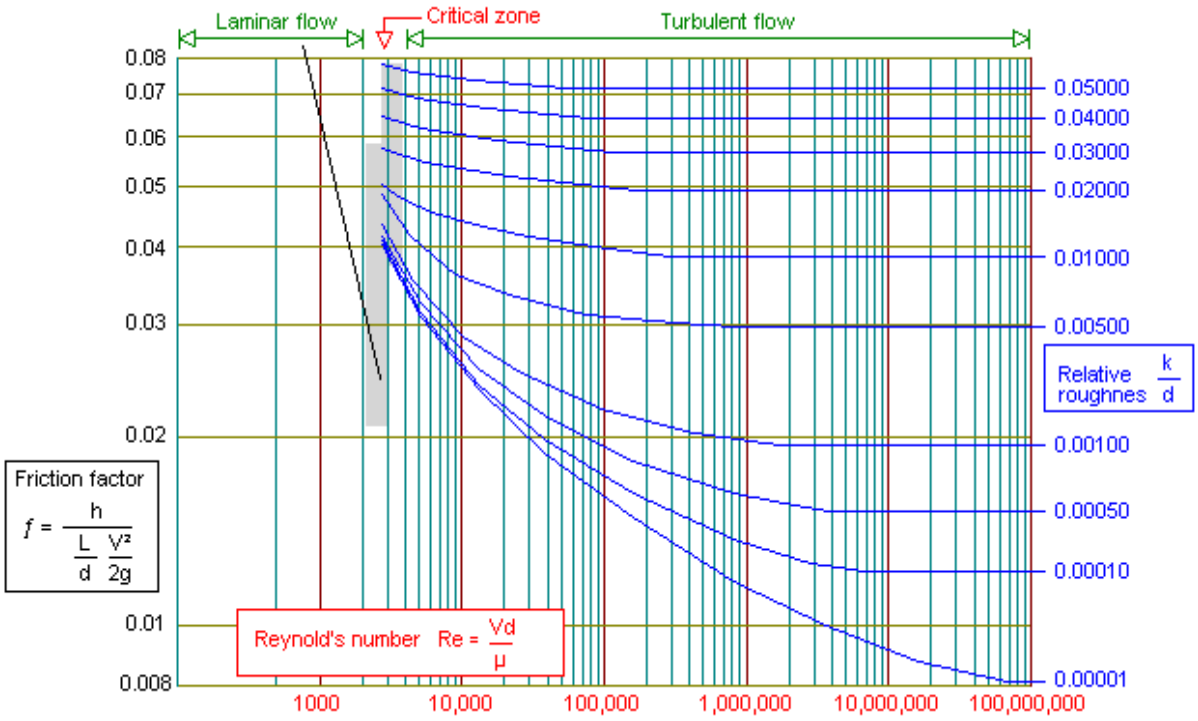
μ คือ ความหนืดไดนามิกส์

5.1.2 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

ของไหลที่ไหลแบบปั่นป่วนมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มากกว่า 4,000 พารามิเตอร์ค่า f จะขึ้นกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์และพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าความขรุขระสัมพัทธ์ภายในท่อ (Relative roughness) ค่าความขรุขระสัมพัทธ์ภายในท่อเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความขรุขระของผิวท่อเฉลี่ย (ε) และ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (D) ความขรุขระของผิวท่อขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพของวัสดุที่ใช้ สามารถเปิดตารางที่ 1 ใช้งานได้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความขรุขระเฉลี่ยของวัสดุต่างๆที่ใช้ผลิตท่อ

ชนิดของท่อ	Roughness (ε)	
	ft	mm
ท่อที่ได้จากการรีด ท่อทองเหลือง ท่อดีบุก หลอดแก้ว ท่อภายในที่เคลือบหรือฉาบด้วยบิทูมินัส ท่อซีเมนต์ที่หล่อโดยการเหวี่ยงหนีศูนย์	0.000005	0.0015
ท่อเหล็กกล้าหรือท่อเหล็กเหนียวที่ขายในท้องตลาด	0.00015	0.046
ท่อเหล็กกล้าที่ขึ้นรูปโดยการเชื่อม	0.00015	0.046
ท่อเหล็กหล่อที่เคลือบหรือฉาบด้วยยางมะตอย	0.0004	0.12
ท่อเหล็กอาบสังกะสี	0.00085	0.15
ท่อเหล็กหล่อ	0.0006 - 0.003	0.25
ท่อไม้	0.0006 - 0.003	0.18 - 0.9
ท่อคอนกรีต	0.001 - 0.01	0.3 - 3
ท่อเหล็กกล้าที่ย้ำด้วยหมุด	0.003 - 0.03	0.9 - 9



ภาพที่ 2.19 Moody diagram ที่มา: Darcy Weisbach, (ม.ป.ป.))

สูตรของ Hazen-Williams

สูตรของ Hazen-Williams ใช้กับของเหลวที่เป็นน้ำเท่านั้น เขียนอยู่รูปสมการของ

$$v = 0.0109CR^{0.63}S^{0.54} \qquad \text{..... 9}$$

เมื่อ

v = ความเร็วของการไหลในท่อ เมตร/วินาที

C = สัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของท่อ

R = Hydraulic Radius มิลลิเมตร

S = การเสียเฮดเนื่องจากความฝืดต่อหนึ่งหน่วยความยาวของท่อ

กำหนดให้ค่า C ของท่อ PVC มีค่าเท่ากับ 130 จากตารางค่าสัมประสิทธิ์สำหรับท่อชนิดต่างๆ เมื่ออัตราการไหลผ่านท่อ (Q) มีหน่วยเป็นลิตร/วินาที และขนาดของท่อ(D) เป็นมิลลิเมตร สูตรของ Hazen-Williams จะอยู่ในรูป

$$Q = 3.587 \times 10^{-6} CD^{2.63}S^{0.54} \qquad \text{..... 10}$$

5.2. การหาค่าความสูญเสียรอง(Minor loss)

Minor head loss เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลอย่างทันทีทันใด เช่น การกีดขวางของการไหล หรือการเปลี่ยนแปลงความเร็วหรือทิศทางของการไหล ดังนั้น จึงเกิดขึ้นในข้อลด ข้อขยาย วาล์ว ข้อต่อ ข้องอ ฯลฯ ทางเข้าและทางออกจากท่อ การพิจารณาในเชิงทฤษฎีของ Minor loss ชนิดต่างๆ เป็นเรื่องที่ซับซ้อนทีเดียว ปกติการหาค่า Minor loss กระทำโดยวิธีการทดลอง สมการที่ใช้ในการหาค่า Minor loss ต่างๆ คือ

$$h_m = \frac{kv^2}{2g} \qquad \text{..... 11}$$

เมื่อ

h_m คือ ค่าความสูญเสียรอง (Minor loss)

k คือ สัมประสิทธิ์ของ Minor loss

v คือ ความเร็วของของไหลภายในท่อ

g คือ Dimensional Constant

(มณฑล, (ม.ป.ป.))

6. เฮดรวม (Total Head, H_r)

เฮดรวมของน้ำ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ก็คือพลังงานทั้งหมดของน้ำที่บอกในรูปของเฮดของน้ำ ณ จุดนั้น

$\therefore$ เฮดรวม = เฮดความดัน + เฮดความเร็ว + เฮดสถิตย์

$$H_T = H_P + H_V + H_S = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \quad \text{..... 12}$$

เฮดสถิตย์ = Z = ความสูงของของเหลว

ความแตกต่างระหว่างเฮดรวมของ 2 จุด ในกรณีที่ไม่มีการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวก็คือเฮดความฝืดระหว่าง 2 จุดนั้น

ฉะนั้นเฮดความฝืดระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2

$$H_{f12} = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} + Z_1 - Z_2 \quad \text{..... 13}$$

ในกรณีที่จุดที่ 1 อยู่ที่ทางเข้าของปั๊ม และจุดที่ 2 อยู่ที่ทางออกของปั๊ม เฮดที่เพิ่มขึ้นก็คือเฮดที่ปั๊มให้แก่น้ำเฮดที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า เฮดของปั๊ม (Total Dynamic Head หรือ Total Discharge Head, H_{TDH})

$$H_{TDH} = H_{T2} - H_{T1} + H_T$$

$$= \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - \frac{P1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_T \quad \text{..... 14}$$

ในกรณีที่ H_T น้อยมากถือว่าเป็นศูนย์ และระดับทางเข้าและออกของปั๊มอยู่ในระดับเดียวกัน

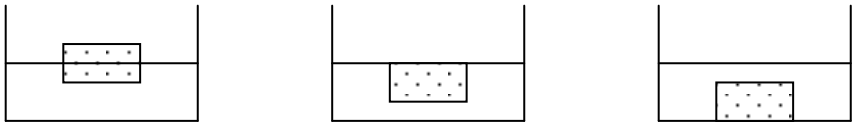
$$Z_1 = Z_2$$

$$H_{TDH} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad \text{..... 15}$$

(วิบูลย์,2529)

2.3.2 แรงลอยตัว (buoyant force)

แรงลอยตัว (buoyant force) หรือแรงพยุงของของเหลวทุกชนิดเป็นไปตามหลักของอาร์คิมีดิส (Archimedes' Principle) ซึ่งกล่าวว่า แรงลอยตัวหรือแรงพยุงที่ของเหลวกระทำต่อวัตถุ มีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมอยู่ในของเหลว



ρ วัตถุ < ρ ของเหลว ρ วัตถุ = ρ ของเหลว ρ วัตถุ > ρ ของเหลว

ภาพที่ 2.20 ภาพลักษณะการลอยตัวของวัตถุ

ที่มา : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล,2552

ความหนาแน่น $\rho = \frac{M}{V}$ หรือ $M = \rho V$

ดังนั้น $Mg = \rho Vg$ …….. 16

แรงลอยตัว = น้ำหนักของของเหลวปริมาตรเท่าวัตถุส่วนจม

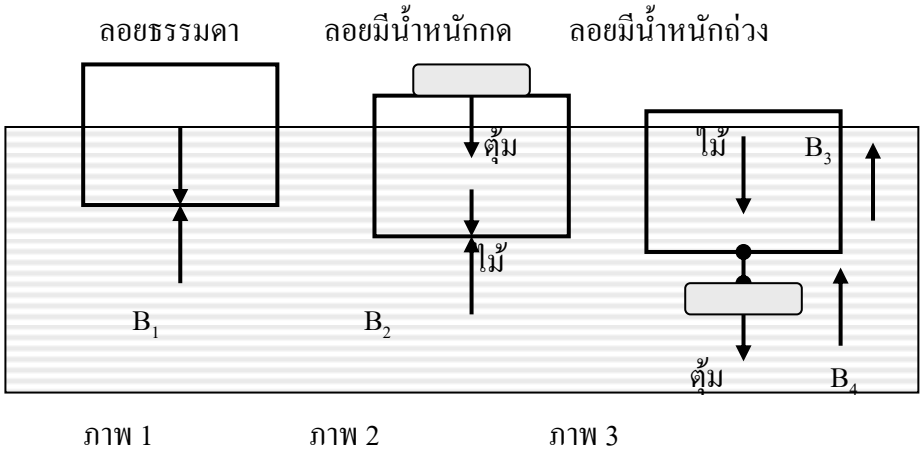
$= \rho_{\text{ของเหลว}} V_{\text{ส่วนจม}} g$

น้ำหนักของวัตถุ = น้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่

ถ้าวัตถุนั้นไม่ลอย เมื่อชั่งในของเหลวจะได้น้ำหนักน้อยกว่าชั่งในอากาศ น้ำหนักที่หายไปมีค่าเท่ากับน้ำหนักของเหลวปริมาตรเท่าวัตถุ

ของลอย วัตถุที่จัดว่า ลอยในของเหลว ต้องเข้าหลักดังนี้

1) ไม่มีเชือกผูก ก็ลอยนิ่งในของเหลวได้
2) ถ้ามีเชือกผูก เชือกต้องหย่อน
3) วัตถุอยู่ไม่ถึงก้นภาชนะ



ภาพที่ 2.21 รูปแบบของแรงลอยตัว

ที่มา : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล,2552

ของลอยที่ลอยนิ่งได้ แสดงว่า สมดุล

แรงขึ้น = แรงลง

ภาพ 1 $B_1 = W_{\text{ไม้ทั้งก้อน}}$

ภาพ 2 $B_2 = W_{\text{ไม้ทั้งก้อน}} + W_{\text{ตุ้ม}}$

ภาพ 3 $B_3 + B_4 = W_{\text{ไม้ทั้งก้อน}} + W_{\text{ตุ้ม}}$

การที่วัตถุไม่ขึ้นหรือลง แสดงว่า สมดุล ดังนั้น

น้ำหนักของเหลวที่ถูกแทนที่ = น้ำหนักวัตถุทั้งก้อนในอากาศ

<u>ข้อควรจำ</u>

1. " ของเหลวที่ถูกแทนที่" และ "น้ำหนักวัตถุในอากาศ" อาจมีมากกว่า 1 แรงก็ได้ เช่น ภาพที่ 3 (ต้องสังเกตแรงจากรูป)

คำว่า "น้ำหนักของวัตถุในอากาศ" หมายถึง น้ำหนักวัตถุทั้งก้อน

2. คำว่า "กด" แปลว่า มีตุ้มน้ำหนักวางทับอยู่ตอนบน

3. คำว่า "ถ่วง" แปลว่า มีตุ้มน้ำหนักดึงอยู่ตอนล่าง และตุ้มน้ำหนักแทนที่น้ำด้วย

4. ถ้าไม่จำเป็น ไม่ควรคิดน้ำหนักวัตถุในของเหลว ให้พิจารณาเป็นน้ำหนักวัตถุในอากาศทั้งหมด

แรงลอยตัว เท่ากับน้ำหนักของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุส่วนที่จม (หรือน้ำหนักของเหลวที่ถูกแทนที่)

แรงยกตัว เท่ากับน้ำหนักของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุส่วนที่ลอย (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ,2552)

2.3.3 ความดันในของไหล

จากความดันของของไหลสถิตจะเห็นได้ว่า ความดันกระทำ ณ ส่วนใดๆ ของของเหลวมีค่าเท่ากันทุกจุด โดยที่ยังไม่ได้คิดน้ำหนักของของไหล ในความเป็นจริงจะเห็นว่า ความดันอากาศที่ระดับนำทะเลจะมีค่ามากกว่าบนภูเขา และความดันของน้ำใต□ท□องทะเลลึกจะสูงกว□าที่ระดับน้ำทะเล ความดันของน้ำทะเลเพิ่มขึ้นตามความลึกยิ่งลึกมากความดันก็ยิ่งมากขึ้นเพราะว่าของไหลมีน้ำหนักนั่นเอง

จากนิยามของความดัน ถ□าพื้นที่ A เป□นพื้นที่ราบ ความดันจะเท่ากันตลอด

$$F = PA \qquad \text{..... 17}$$

หน่วยมาตรฐานของความดันคือ นิวตันต่อตารางเมตร ($1\ N/m^2$)

หน่วยปาสคาล เขียนด□วยอักษรย□อ

$$1\ Pa = 1\ N \cdot m^{-2}$$

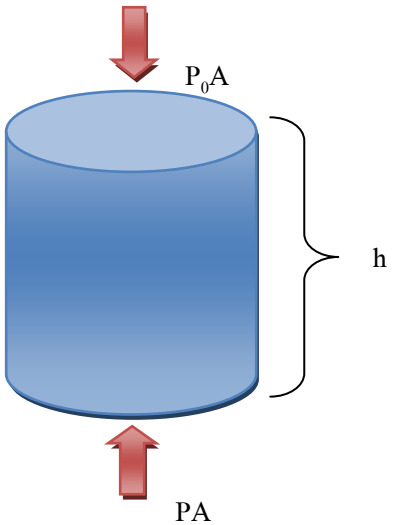
หน□วยวัดความดันอื่น ๆ ที่นิยมใช้

$$1\ bar\ (dyne/cm^2) = 10^5\ Pa$$

1 ทอร□ (Tor, Toricelli) = 1 mmHg

ความดันบรรยากาศมาตรฐานหรือความดันอากาศปกติ = $1\ atm = 1.01325\ 10^5\ Pa$

พิจารณาของเหลวที่มีความหนาแน□น ρ และอยู□นิ่งในภาชนะเป□ดให□คิดว□าของเหลวมีรูปทรงเป□น ทรงกระบอกที่มีความสูง h และมีหน้าตัด A ดังรูป



ภาพที่ 2.22 แรงต□างๆที่กระทำต่อของเหลวในวัตถุรูปทรงกระบอก

ที่มา : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล,2552

ให้ W เป็นน้ำหนักของของเหลวบนพื้นที่ A ดังนั้น

$$W = mg = \rho vg = \rho Ahg \quad \text{..... 18}$$

ให้ P_0 เป็นความดันบรรยากาศ ดังนั้นแรงที่อากาศกระทำพื้นที่ A ด้านบนคือ P_0A มีทิศลง

P เป็นความดันเนื่องจากน้ำหนักของของเหลวที่มีความลึก h บนพื้นที่ A ดังนั้นแรงที่ของเหลวกระทำต่อพื้นที่ A คือ PA มีทิศขึ้น

เนื่องจากของเหลวอยู่ในสมดุล แรงลัพธ์ที่กระทำในแนวดิ่งมีค่าเป็นศูนย์

ดังนั้น $P_A = 0 + \rho$

จะได้ $P = P_A.Ahg = P_0Pgh \quad \text{..... 19}$

จึงกล่าวได้ว่า ความดันในของเหลวที่มีความหนาแน่น ρ ที่ระดับความลึก h จากผิวของเหลวที่บรรจุในภาชนะเปิดสู่บรรยากาศเท่ากับผลรวมของความดันบรรยากาศ P_0 กับปริมาณ ρgh

ปริมาณ ρgh เป็นความดันในของเหลวที่ระดับความลึก h ซึ่งเกิดจากน้ำหนักของเหลวเพียงอย่างเดียว ความดันนี้เรียกว่า ความดันเกจ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล,2552)

การหาแรงดันในของไหล

การหาความดันในของเหลวบนพื้นผิวหนึ่งๆ หมายถึงปริมาตรบนพื้นผิวที่ความดันที่ของไหลกระทำโดยมีฐานของพื้นที่ระนาบที่พิจารณา ส่วนสูงเป็นความดันพิจารณาได้จาก $\int pdA$ ซึ่งพบว่า

แรงดันลัพธ์ที่กระทำต่อระนาบ = ปริมาตรของความดันบนระนาบ

F = ปริมาตรของความดัน = พื้นที่ฐานของระนาบ × ความสูง

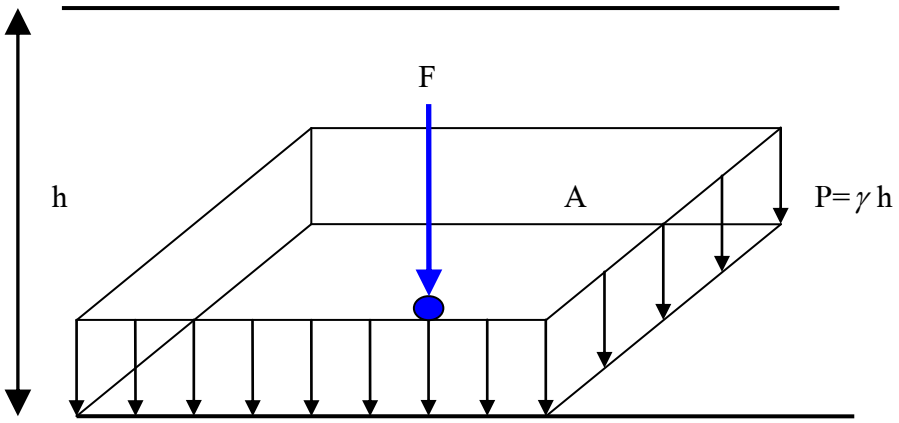
$$F = A \times \rho gh = \rho \gamma h$$

$$F = A \times P \quad \text{..... 20}$$

เมื่อ F คือแรงดันในของไหล

A คือพื้นผิวที่ความดันที่ของไหลกระทำ

P คือความดันในของไหล



ภาพที่ 2.23 แรงดันบนระนาบ ที่มา : วิบูลย์,2529

2.3.4 กำลังที่ต้องการและประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

กำลังงานหมายถึงอัตราการทำงานในหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยของกำลังงานที่นิยมใช้กันทั่ว ๆ ไป คือ 1 แรงม้ามีค่าเท่ากับ 745.7 วัตต์ (745.7 N-m/s) ซึ่งกำลังงานที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับปั๊มมีอยู่สองอย่างด้วยกัน คือ

1. แรงม้าทางทฤษฎี (Theoretical Horsepower) หรือบางครั้งเรียกว่า Water Horsepower, Whp เป็นจำนวนแรงม้าที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวไหลผ่านระบบด้วยอัตราที่กำหนด ค่า Whp สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Whp = \frac{Q \times TDH}{273} \qquad \text{..... 21}$$

Q = อัตราการสูบของปั๊ม (ลบ. เมตรต่อชั่วโมง)

TDH = หัวรวมของปั๊ม (เมตร)

2. แรงม้าของต้นกำลัง (Brake Horsepower, Bhp.) เป็นกำลังงานที่มอเตอร์ หรือเครื่องยนต์ต้นกำลังขับเคลื่อนปั๊ม เพื่อให้ปั๊มเพิ่มกำลังงานให้แก่ของเหลวเท่ากับ Whp. ดังนั้น

$$Bhp = Whp \ / \text{ประสิทธิภาพของปั๊ม} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 22$$

ในกรณีที่ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ พลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องการเป็นกิโลวัตต์ (kW) คำนวณได้จาก

$$Kw = 0.746Bhp \ / \text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 23$$

ประสิทธิภาพรวม = ประสิทธิภาพของมอเตอร์ / (ประสิทธิภาพของปั๊ม x ประสิทธิภาพของมอเตอร์)

(วิบูลย์,2529)

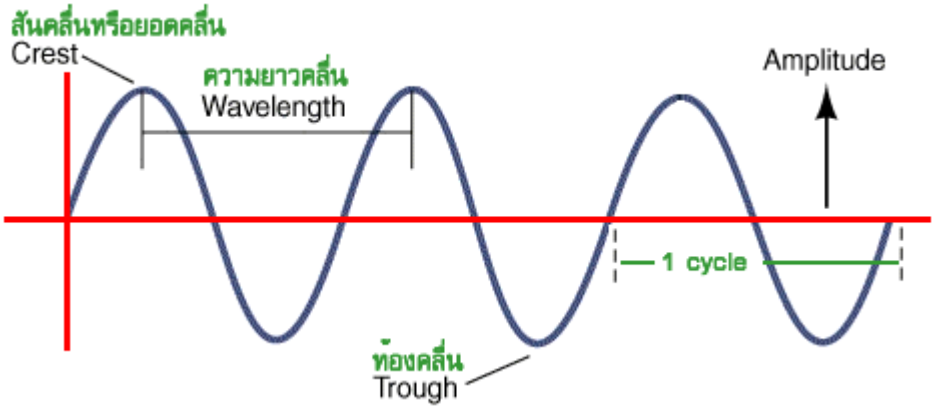
2.4 ทฤษฎีของคลื่นน้ำ

คลื่น คือ การเคลื่อนที่ของพลังงานผ่านตัวกลาง คลื่นเกิดได้โดยการบรรจบผิวของตัวกลาง 2 ชนิด เช่น ผิวทะเลกับบรรยากาศ บางครั้งเกิดคลื่นในตัวกลางชนิดเดียวแต่ต่างความหนาแน่นกัน คลื่นบนผิวทะเลเป็นแบบใช้แรงดึงดูดของโลกเป็นตัวการทำให้คลื่นสงบ คลื่นบนผิวทะเลอีกชนิดเป็นคลื่นพริ้วเล็กๆ ที่ใช้แรงตึงผิวของน้ำทำให้ผิวน้ำสงบเมื่อปราศจากลมพัด คลื่นผิวน้ำจัดเป็นคลื่นตามขวางโดยคลื่นและพลังงานคลื่นเคลื่อนที่ในแนวราบในขณะที่ผิวน้ำขยับขึ้นลงในแนวดิ่ง คลื่นในทะเลส่วนใหญ่เป็นสันคลื่นและท้องคลื่นเคลื่อนที่ผ่านจุดอ้างอิงใดๆ จุดหนึ่งในทะเลสลับกันไปอย่างต่อเนื่อง

สาเหตุของการเกิดคลื่น คลื่นอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. ลม
2. แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินใต้น้ำถล่ม
3. แรงดึงดูดจากดวงอาทิตย์และดวงจันทร์
4. การเปลี่ยนแปลงความกดดันอากาศ
5. ข้อแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างมวลน้ำชั้นบนและล่าง
6. เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านพื้นท้องทะเลซึ่งไม่เรียบ

คาบของคลื่น เป็นระยะเวลาที่ตำแหน่งใด ๆ บนคลื่นเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ มีหน่วยเป็น วินาที ซึ่งแทนด้วยแทนสัญลักษณ์คาบด้วยตัว **T**



ภาพที่ 2.24 ลักษณะของคลื่นน้ำ

ขณะที่คลื่นกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวามีการเคลื่อนที่ขึ้นและลงอยู่กับที่เมื่อเวลาผ่านไปคลื่นเคลื่อนที่ลงถึงจุดต่ำสุด (ท้องคลื่น)แล้วเคลื่อนขึ้นไปสู่ตำแหน่งสูงสุดอีกครั้งระยะเวลาที่เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นแล้ววนกลับมาสู่ตำแหน่งเดิมอีกครั้งซึ่งในช่วงเวลาหนึ่งคาบนี้ คลื่นจะเคลื่อนที่ได้ระยะทางหนึ่งความยาวคลื่น

จากภาพด้านบนเคลื่อนที่ขึ้นลงครบหนึ่งรอบ เคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้น เช่นสันคลื่นแล้วเคลื่อนที่ไปถึงท้องคลื่นและวนกลับขึ้นมายังตำแหน่งเดิมคือสันคลื่นอีกครั้ง ใช้เวลาไป 5 วินาที แสดงว่าคาบ ของคลื่นนี้มีค่าเท่ากับ 5 วินาที

สมการที่ใช้หาคาบของคลื่น $C = \frac{L}{T}$ 24

เมื่อ C = ความเร็วคลื่น เมตร/วินาที

L = ความยาวคลื่น เมตร

T = คาบของคลื่นเป็นวินาที

ความถี่ เป็นปริมาณที่แสดงว่าคลื่นเคลื่อนที่ไปได้กี่ลูกในหนึ่งวินาที หน่วยของความถี่คือ รอบต่อวินาที (1/s) หรือ เฮิรตซ์ (Hz) เราแทนสัญลักษณ์ความถี่ด้วย f

ความถี่ (f) และคาบ (T) มีความสัมพันธ์กัน ตามสมการ $f = \frac{1}{T}$ 25

อัตราเร็ว คือ ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$v = \frac{s}{t} \qquad \text{..... 26}$$

เมื่อ v = อัตราเร็ว

s = ระทางที่เคลื่อนที่ได้

t = เวลาที่ใช้ไป

ในเวลาหนึ่งคาบ คลื่นจะเคลื่อนที่ได้ระยะทางหนึ่งลูกคลื่น ดังนั้น $v = \frac{\lambda}{T}$ และเราทราบว่า $f = \frac{1}{T}$ ดังนั้น เราจึงได้ว่า $v = f\lambda$ เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง v, f และ λ นั่นเอง

อัตราเร็วของคลื่น ขึ้นอยู่กับตัวกลางเท่านั้น กล่าวคืออัตราเร็วของคลื่นจะเปลี่ยนไปตามสมบัติของตัวกลาง เช่น อากาศ เหล็ก จะให้อัตราเร็วคลื่นเสียงที่แตกต่างกัน ส่วนความถี่จะขึ้นกับอัตราการสั่นของแหล่งกำเนิดคลื่น การเพิ่มขึ้นของความถี่ไม่ได้หมายความว่าอัตราเร็วคลื่นจะต้องมากขึ้นด้วย (มหาวิทยาลัยมหิดล,ม.ป.ป.)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1.1 เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่ใช้ท่อ PVC เป็นวัสดุ

ก. อุปกรณ์

1. ข้อต่อแบบสามทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 9 ตัว
2. ข้อต่อแบบเกลียวนอกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 3 ตัว
3. ท่อ PVC ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว
4. Check Vale แบบนอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 2 ตัว
5. แผ่นเหล็กกลม ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 2 แผ่น (เจาะรูตรงกลาง)
6. ยางวงกลม 1 เส้น
7. เหล็กเกลียวแบบยาว 1 เส้น
8. แฮนด์เกอร์ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 3 ตัว
9. ข้องอ 90^{o} ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 8 ตัว
10. กาวทาท่อ 1 กระป๋อง
11. เทปพันเกลียว 1 ม้วน
12. ท่อ PVC ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง $2\frac{1}{2}$ นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตรจำนวน 1 ท่อน
13. ข้อต่อแบบสามทางขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง $2\frac{1}{2}$ นิ้ว จำนวน 1 ตัว
14. ข้อลดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว เหลือ เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว จำนวน 1 ตัว
15. ข้องอ 90^{o} ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว
16. ท่อ PVC ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว
17. วาล์วเปิด-ปิด 1 ตัว
18. ที่ใส่สายยางขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว จำนวน 1 ตัว
19. สายยาง เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว จำนวน 1 เส้น
20. สายรัดสายไฟ (หนวดกุ้ง)

ข. วิธีการทำตัวปั๊ม

1. ตัดท่อขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 45 เซนติเมตรจำนวน 1 ท่อน
2. ตัดท่อขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 4 เซนติเมตรจำนวน 3 ท่อน
3. พันเทปพันเกลียวที่ข้อต่อแบบเกลียวนอกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ทั้ง 2 ตัว แล้วนำไปหมุนเข้ากับ Check Vale ทั้ง 2 ตัว
4. ทากาวที่ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 4 เซนติเมตร ต่อเข้ากับอีกด้านของข้อต่อแบบเกลียวนอกทั้ง 2 ตัว
5. นำท่อ PVCขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 3 เซนติเมตร มาทากาวแล้วต่อเข้ากับอีกด้านของข้อต่อแบบเกลียวนอกที่ติดกับ Check Vale
6. นำข้อลดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ลดเป็น เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ไปติดกับท่อ PVC 2นิ้ว ที่ยื่นออกมาจากข้อ 5.
7. ตัดท่อ PVCขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ยาว 3 เซนติเมตร มา 5 ท่อน
8. นำท่อ PVCขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ยาว 4 เซนติเมตรมาต่อเข้ากับข้อลดขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว และนำท่อ $\frac{3}{4}$ นิ้วยาว 3 เซนติเมตรมาต่อเข้ากับวาล์วเปิด–ปิดและต่อเข้ากับอีกด้านที่เหลือของข้องอ 90^{o} ขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว
9. นำท่อขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ยาว 3 เซนติเมตร ต่อเข้ากับด้านที่เหลือของวาล์วเปิด – ปิด แล้วนำที่ต่อสายยางต่อเข้ากับท่อ ด้านที่เหลือแล้วสวมเข้าด้วยสายยาง
10. นำข้อต่อแบบสามทาง และท่อPVCขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2นิ้ว ยาว 4 เซนติเมตร ต่อเข้ากับข้อต่อแบบเกลียวนอกที่เหลืออีก 1 ด้าน ทากาวแล้วประกอบเข้าด้วยกันให้ด้านที่มีด้านเดียวอยู่ด้านบน
11. ทากาวที่ท่อ PVC ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2นิ้ว ยาว 45 เซนติเมตรที่ติดไว้ ต่อเข้ากับด้านที่เหลือของท่อสามทาง
12. นำแผ่นเหล็ก ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2นิ้ว ทั้ง 2 แผ่นมาประกอบกับยางวงกลมโดยใส่เหล็กเกลียวแบบยาวไว้ตรงกลางแล้วไขน็อตให้แน่นใส่เข้าไปในตัวปั๊ม
13. นำท่อ PVCขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง $2\frac{1}{2}$ นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตรมาต่อกับข้อต่อแบบสามทางทั้งสามด้านแล้วเจาะรูตรงกลางของท่อสามทางแล้วนำก้านสูบเหล็กเกลียวแบบยาวมาต่อเข้ากับข้อต่อแบบสามทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $2\frac{1}{2}$ นิ้ว ที่รูไว้แล้วไขน็อตให้แน่น

14. นำปลายของท่อ PVCขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง $2\frac{1}{2}$ นิ้ว ทั้งสองด้านมาต่อเข้ากับถังใส่น้ำที่ไว้สำหรับการจำลองคลื่น
15. นำทุ่นลอยติดกับตัวปั๊มโดยใช้แฮนเกอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2นิ้ว

ค. วิธีการทำทุ่นลอย

1. ตัดท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 10 เซนติเมตรจำนวน12 ท่อน
2. ตัดท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตรจำนวน 8 ท่อน
3. นำข้อต่อแบบสามทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ทั้ง 8 ตัว มาทากาวแล้วต่อเข้ากับ ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 10 (เหลือด้านที่มีด้านเดียวเอาไว้)
4. นำข้อต่อแบบสามทางขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2นิ้ว ด้านที่เหลืออยู่ต่อเข้ากับท่อ PVC ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร
5. นำข้องอ 90^{o}มาต่อเข้ากับท่อ PVCขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตรทั้ง 4 ท่อนจากการต่อท่อสามทางเอาไว้ในข้อที่ 3. ทั้ง 4 ด้าน
6. จะได้ทุ่นลอยออกมา 2 ชุด นำมารัดติดกันด้วยสายรัดสายไฟ(หนวดกุ้ง)
7. นำไปติดกับตัวปั๊มด้วยแฮนเกอร์ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว

3.1.2 เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่ใช้ท่อสแตนเลสเป็นวัสดุ

ก. อุปกรณ์

1. ท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 61 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร จำนวน 1 ท่อน และ
2. ท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 61 มิลลิเมตร ยาว 18 เซนติเมตร จำนวน 1 ท่อน
3. ท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 มิลลิเมตรยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 1 ท่อน
4. เกลียวเหล็กขนาด 2 นิ้ว จำนวน 1 อัน
5. เกลียวเหล็กขนาด 4 หุน จำนวน 1 อัน
6. Check Vale นอนขนาด 2 นิ้ว จำนวน 1 อัน
7. Check Vale ตั้งขนาด 4 หุน จำนวน 1 อัน
8. ที่ต่อสายยางขนาด4 หุน จำนวน 1 อัน
9. สายยางขนาด 4 หุน ยาว 4 เมตร จำนวน 1 เส้น
10. ลูกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร จำนวน 1 ลูก
11. เกลียวน็อตยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 1 เส้น

ข. วิธีการทำเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

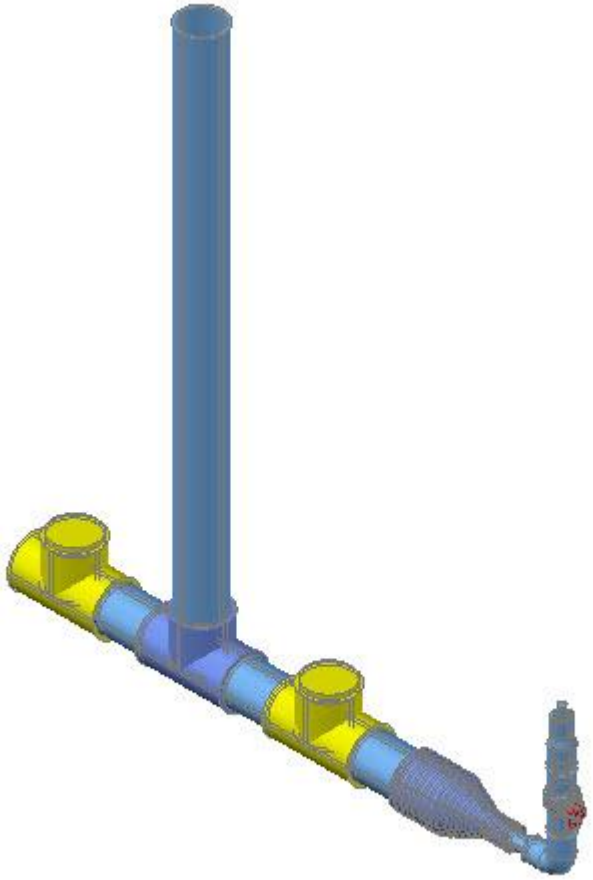
1. ตัดท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 61 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร 1ชิ้น และยาว 18 เซนติเมตรจำนวน 1 ชิ้น
2. ทำท่อสแตนเลสทั้ง 2 ชิ้นมาเชื่อมต่อกันในแนวตั้งฉากกัน โดยการเจาะท่อยาว 18 เซนติเมตรให้สามารถเชื่อมเป็นชิ้นเดียวกันโดยเว้นระยะจากปลายด้านหนึ่งเข้ามา 5 เซนติเมตร
3. นำท่อสแตนเลสที่เชื่อมแล้วมาเชื่อมกับเกลียวเหล็กขนาด 2นิ้วที่ปลายด้านที่เหลือ 5 เซนติเมตร
4. นำเช็ควาล์วนอนขนาด 2 นิ้วมาต่อเข้ากับเกลียวเหล็กที่เชื่อมแล้ว
5. นำท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 มิลลิเมตร ยาว 10 เซนติเมตรมางอ 90 องศา แล้วนำมาเชื่อมกับปลายอีกด้านของท่อที่มีความยาว 18 เซนติเมตร โดยให้งอท่อขึ้นข้างบนแล้วนำแผ่นสแตนเลสมาเชื่อมให้ทั้ง 2 ชิ้นสามารถต่อกันได้ในลักษณะของข้อลด
6. นำเกลียวเหล็กขนาด 4 หุน มาต่อกับปลายอีกด้านของท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 มิลลิเมตรยาว 10 เซนติเมตร
7. นำเช็ควาล์วตั้งขนาด 4 หุน มาต่อเข้ากับเกลียวเหล็กขนาด 4 หุน
8. นำที่ต่อสายยางขนาด 4 หุนมาต่อเข้ากับเช็ควาล์วตั้งขนาด 4 หุนและนำสายยางมาต่อเข้ากับที่ต่อสายยางขนาดขนาด 4 หุน

ค. วิธีการทำทุ่นลอย

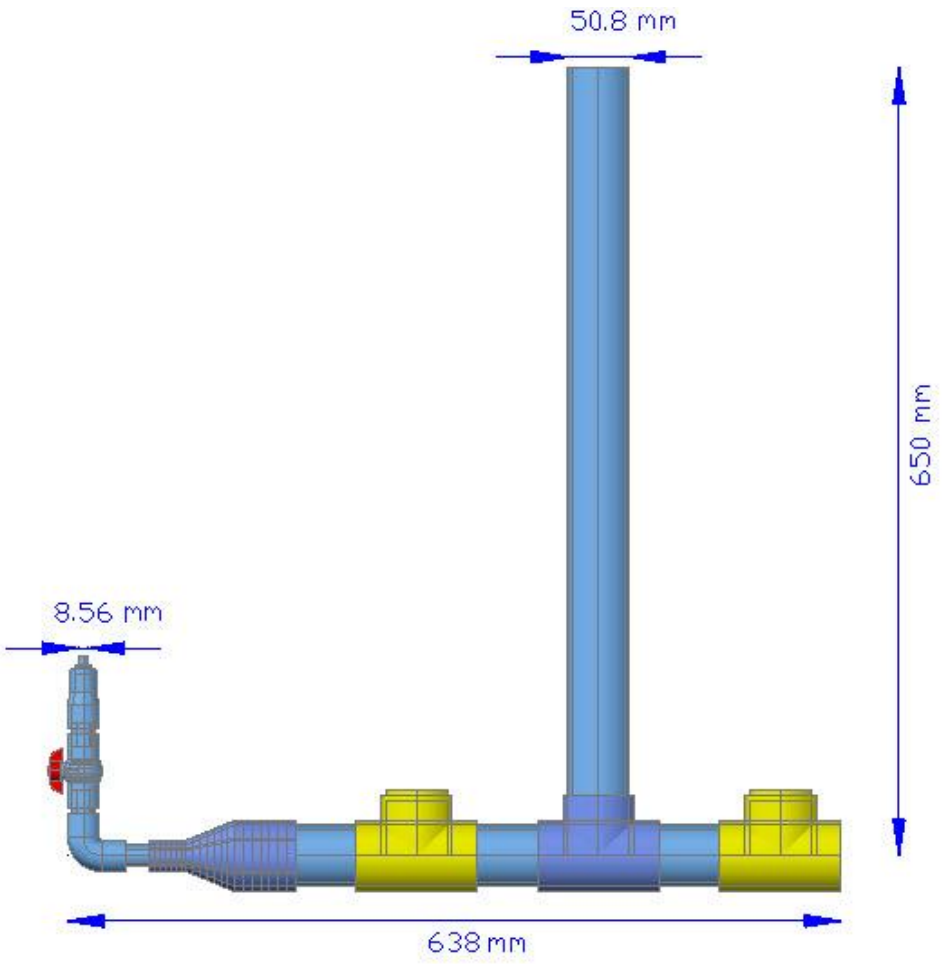
1. นำท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 84 มิลลิเมตร (ขนาด 3นิ้ว) มาตัดให้ยาว 45 เซนติเมตร จำนวน 6 ชิ้น
2. นำฝาครอบขนาด 3นิ้ว และ ท่อ PVC ขนาด 3 นิ้วที่ตัดไว้แล้ว มาทากาว (กาวสำหรับทาท่อPVC) ให้ทั่ว
3. นำฝาครอบขนาด 3นิ้ว และ ท่อ PVC ขนาด 3นิ้ว ที่ทากาวไว้แล้วมาประกบกันโดยใส่ฝาครอบปิดที่ปลายท่อทั้ง 2 ด้าน
4. กดฝาครอบที่ปลายทั้ง 2 เอาไว้ให้แน่น รอ 1 นาทีเพื่อให้กาวติดได้แน่น
5. นำทุ่นทั้ง 6 ชิ้นมาต่อกันเป็นแนวตั้งโดยแบ่งเป็น 2 ข้าง ข้างละ 3 ชิ้น
6. ทำสายรัดท่อให้ทุ่นอยู่กับที่โดยใช้เหล็กเส้นขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตรมารัดรอบๆทุ่นโดยให้มีที่ร้อยน็อตเพื่อจับน็อตไว้ให้ทุ่นอยู่กับที่

ง. วิธีการทำสลัก

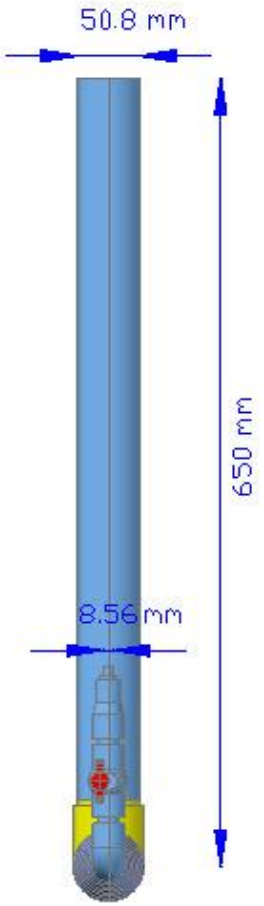
1. นำแหวนมาเรียงต่อกันเป็นแผงตั้งขึ้นแล้วเชื่อมติดกันทั้งหมด
2. เจาะรูแหวนที่เชื่อมติดเรียงกันแล้วที่ด้านข้างด้านเดียว (ไม่ต้องทะลุไปอีกฝั่ง)
3. นำเหล็กเส้นมาตัดยาว 5 เซนติเมตรยาว 21 เซนติเมตรและ 72.5 เซนติเมตร
4. นำเหล็กเส้นยาว 5 เซนติเมตรมาเจียรปลายให้แหลม
5. นำเหล็กเส้นยาว 72.5 เซนติเมตร.มาทำรอยบากตรงตำแหน่งที่ต้องการให้ลื่อก
6. นำเหล็กเส้นยาว 21 เซนติเมตรมาดัดให้ได้ 45 องศา โดยให้ปลายข้างหนึ่งยาว 3 เซนติเมตรและอีกข้างหนึ่งยาว 18เซนติเมตร
7. นำเหล็กเส้นยาว 5 เซนติเมตรมาที่เจียรปลายแล้วใส่สปริงที่ปลายเหล็ก แล้วนำมาเชื่อมติดกันกับเหล็กเส้นที่งอ 45 องศา โดยให้ปลายข้างที่ยาว 3 เซนติเมตรติดกับนำเหล็กเส้นยาว 5 เซนติเมตรแบบตั้งฉาก แล้วนำไปเชื่อมกับแฮนเกอร์ขนาด 2 นิ้ว (เพื่อนำไปจับกับตัวปั๊ม)
8. ผูกลูกลอยที่ปลายอีกข้างของเหล็กที่งอ 45 องศา



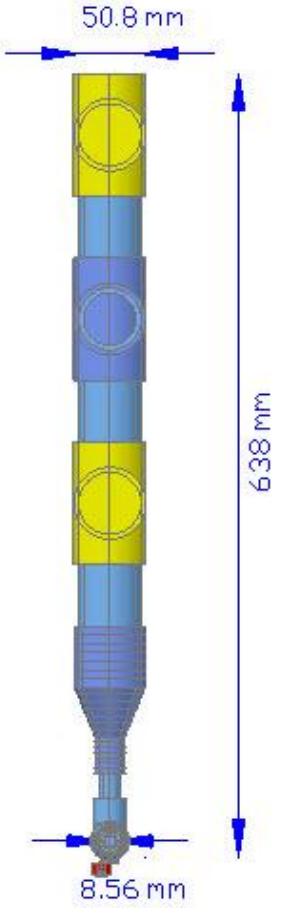
ภาพที่ 3.1 ภาพสามมิติของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบท่อ PVC



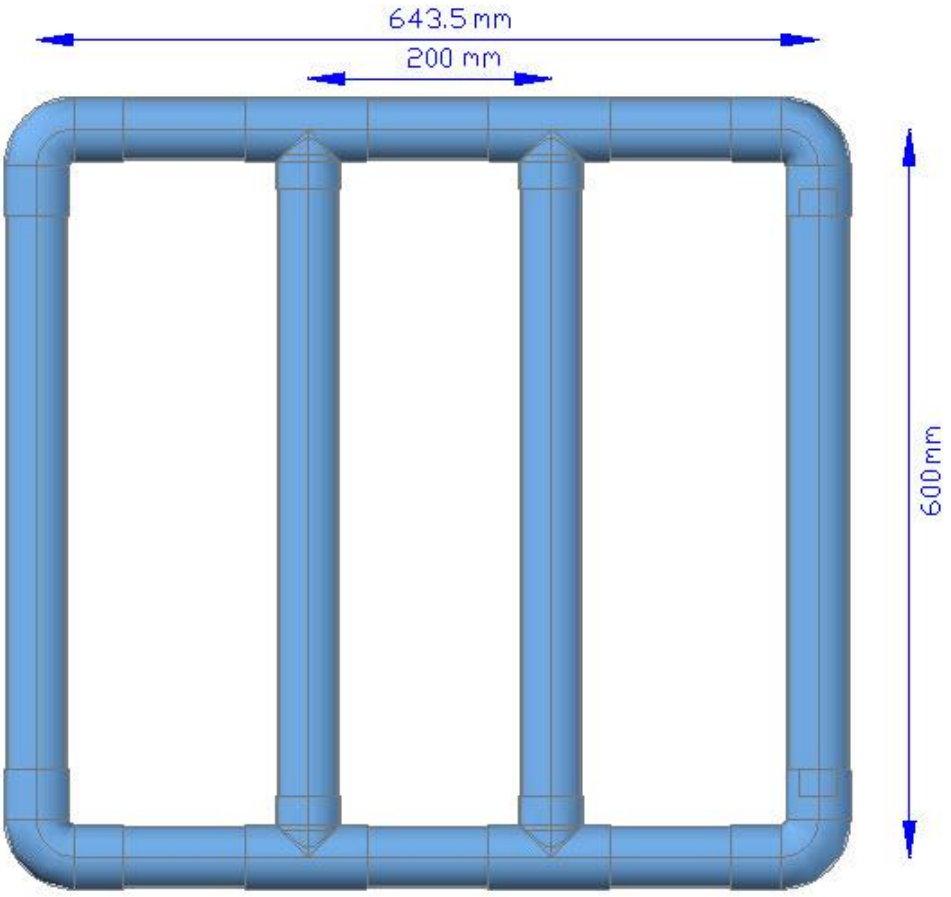
ภาพที่ 3.2 ภาพด้านหน้าของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบท่อ PVC



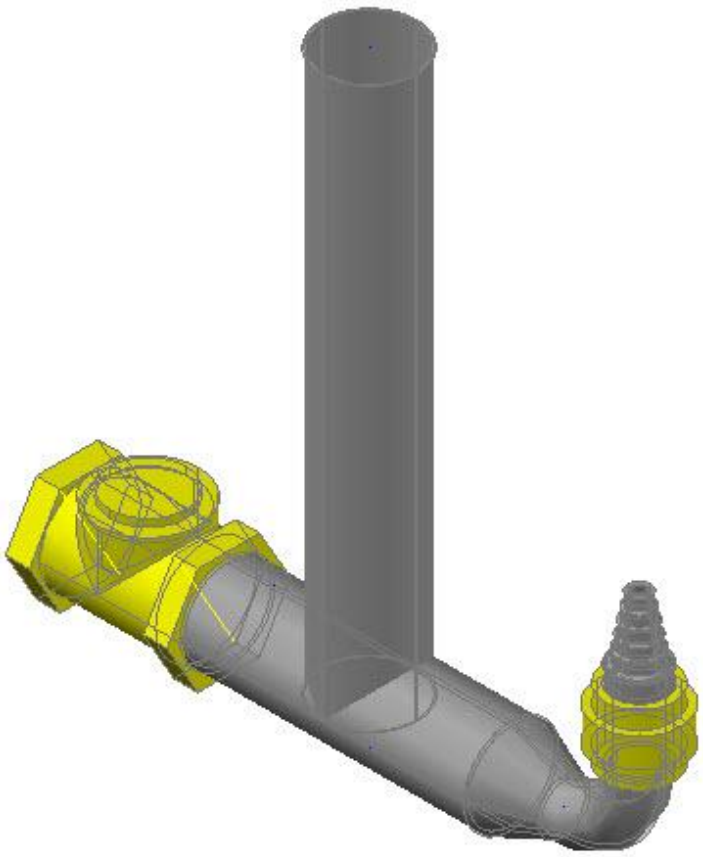
ภาพที่ 3.3 ภาพด้านข้างของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบท่อ PVC



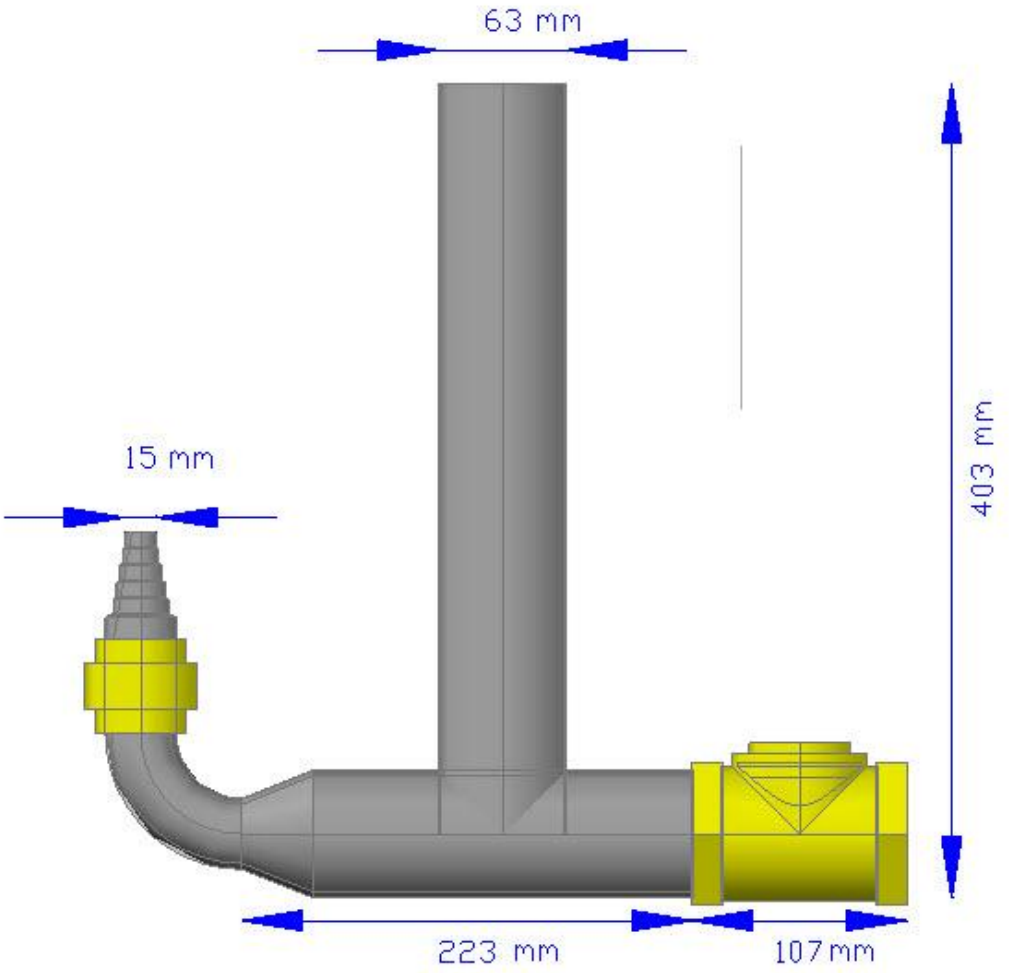
ภาพที่ 3.4 ภาพด้านบนของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบท่อ PVC



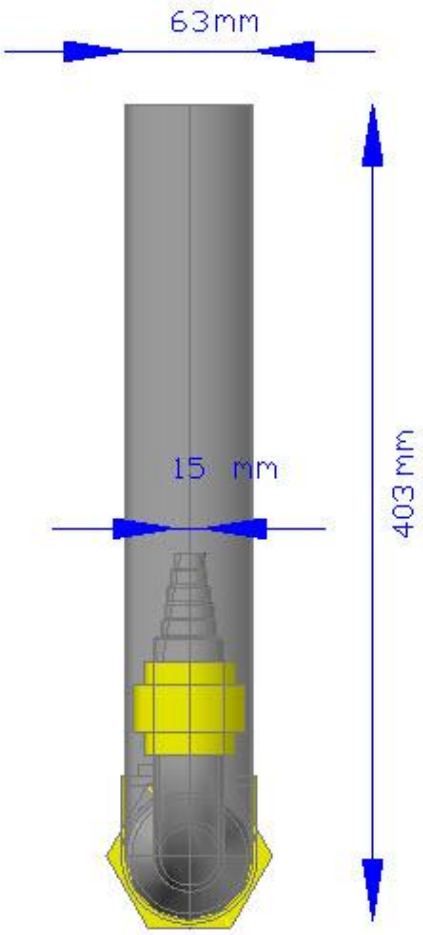
ภาพที่ 3.5 ทุ่นลอยแบบสมบูรณ์



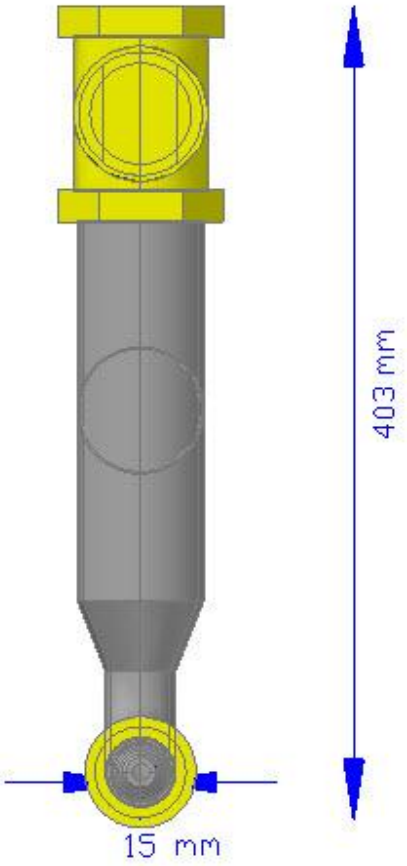
ภาพที่ 3.6 ภาพสามมิติของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบสแตนเลส



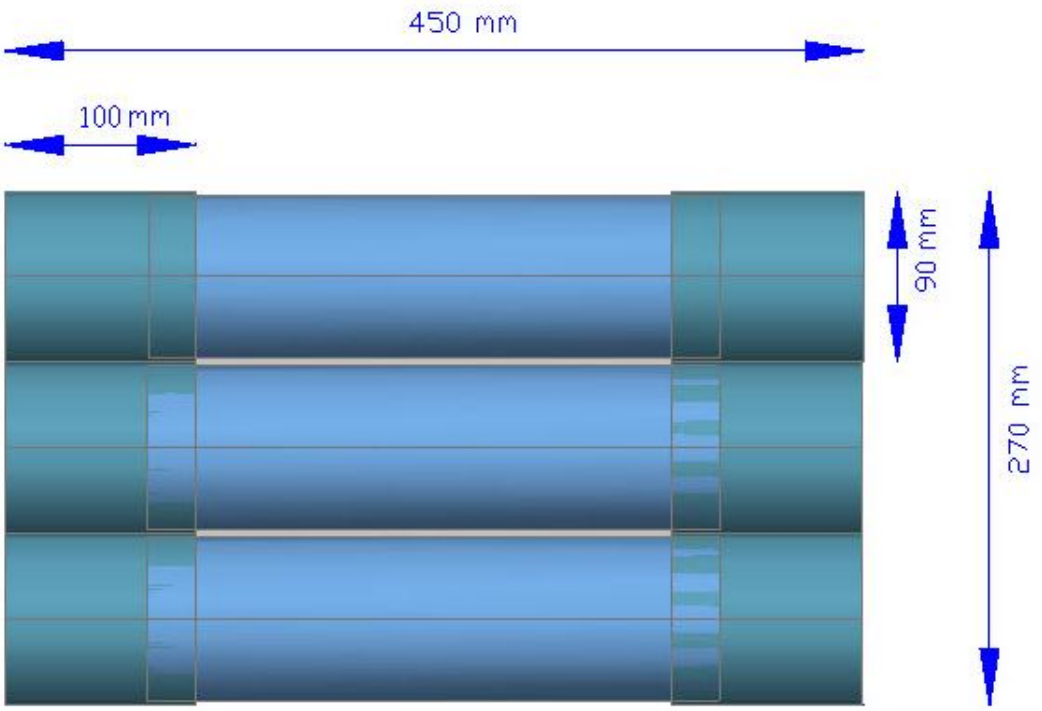
ภาพที่ 3.7 ภาพด้านหน้าของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบสแตนเลส



ภาพที่ 3.8 ภาพด้านข้างของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบสแตนเลส



ภาพที่ 3.9 ภาพด้านบนของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแบบสแตนเลส



ภาพที่ 3.10 ภาพทุ่นลอยโดยสมบูรณ์

3.2 วิธีการทดสอบแบบจำลอง

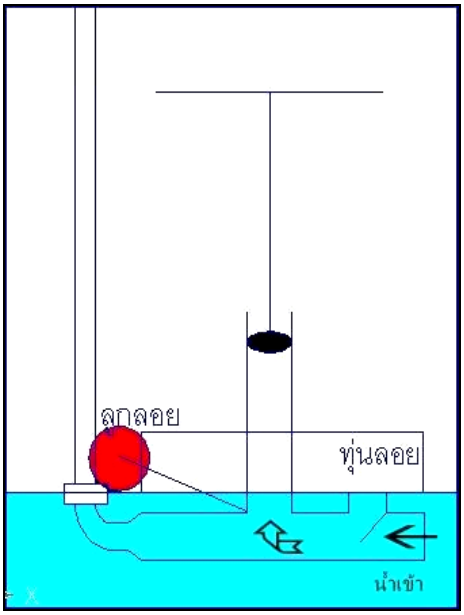
ส่วนประกอบสำคัญในการทดลองของปั๊มน้ำพลังงานคลื่น

1. ตัวปั๊ม ซึ่งมีเช็ควาล์วนอน 1 ตัวและเช็ควาล์วตั้ง 1 ตัวเพื่อบังคับให้น้ำไหลไปทางเดียว
2. ทุ่นลอย ซึ่งต้องยึดติดอยู่กับตัวปั๊มโดยให้ตัวปั๊มอยู่น้ำตลอดเวลาและให้ทุ่นลอยลอยอยู่ในน้ำ
3. ลูกสูบและก้านสูบซึ่งต้องยึดติดอยู่ดับที่อาจจะเป็นริมฝั่งแม่น้ำที่มีท่าน้ำ แต่ในการศึกษานี้ได้ยึดติดกับถังทดลองที่ด้านบนถังทดลอง
4. สลักและแกนที่ล็อกสลักพร้อมลูกลอย
5. ปั๊มน้ำไฟฟ้าที่ใช้ปั๊มน้ำเพื่อทำให้เกิดการขึ้นของคลื่น
6. ลูกลอยอัตโนมัติเพื่อควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำไฟฟ้า

หลักการทำงานของระบบปั๊มน้ำพลังงานคลื่นในถังจำลอง

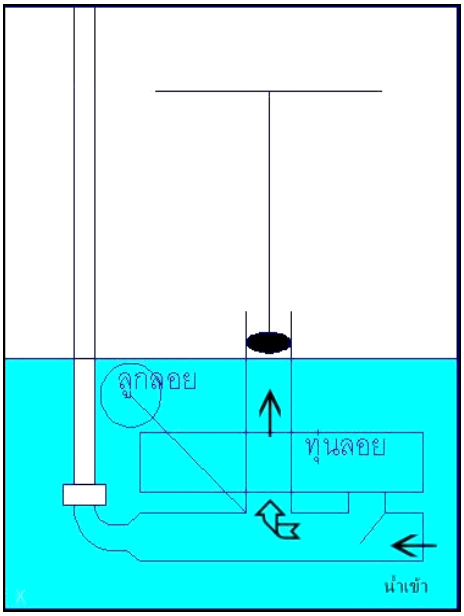
1. ติดตั้งอุปกรณ์ตามที่ออกแบบไว้
2. ลูกลอยอัตโนมัติจะเริ่มทำงานโดยเปิดสวิตซ์ให้ปั๊มไฟฟ้าเริ่มทำงานคือปั๊มน้ำเข้ามาในถังเพื่อทำให้เกิดน้ำขึ้น น้ำจะไหลเข้าสู่ตัวปั๊ม
3. เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงตำแหน่งที่ต้องการให้สลักล็อกสลักก็จะเริ่มทำงานโดยล็อกไม่ให้ทั้งทุ่นลอยและตัวปั๊มลอยไปตามระดับน้ำ
4. ระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงระดับที่ตั้งลูกลอยบังคับสลักไว้ ลูกลอยจะทำการดึงสลักออกและทำให้ปั๊มและทุ่นลอยที่ถูกล็อกไว้เคลื่อนที่ขึ้นในลักษณะถูกคลื่นดันขึ้น และในขณะที่และทุ่นลอยที่ถูกล็อกไว้เคลื่อนที่ขึ้นในลักษณะถูกคลื่นดันขึ้นก็จะเป็นการปั๊มน้ำออกไปยังทางออกที่ออกแบบไว้
5. เมื่อน้ำถูกลูกสูบดันน้ำให้ออกมาเช็ควาล์วนอนก็จะทำการปิดลิ้นเพื่อบังคับให้น้ำไหลไปในทางที่ออกแบบไว้ และเมื่อน้ำถูกบังคับให้มาทางที่ออกแบบไว้ น้ำจะไหลขึ้นสู่ที่สูง ซึ่งมีเช็ควาล์วตั้งเพื่อบังคับน้ำที่ไหลขึ้นสู่ด้านบนแล้วจะไม่สามารถไหลย้อนกลับลงมาได้อีก
6. เมื่อระดับในถังทดลองขึ้นไปจนถึงระดับที่ตั้งลูกลอยอัตโนมัติตัวบนไว้ ลูกลอยอัตโนมัติก็จะเริ่มทำงานโดยปิดสวิตซ์ให้ปั๊มไฟฟ้าที่กำลังปั๊มน้ำเข้าสู่ถังทดลองหยุดการทำงาน
7. ระดับน้ำจะลดลงเรื่อยๆเนื่องจากด้านหลังถังทดลองได้ทำท่อให้น้ำไหลออกไปยังถังเก็บน้ำ และตัวปั๊มกับทุ่นลอย ก็จะลอยลงตามระดับน้ำด้วย ในขณะที่ตัวปั๊มกับทุ่นลอยลอยลงตามระดับน้ำนั้นลูกสูบก็จะทำการสูบน้ำเข้าสู่ตัวปั๊มด้วย เพื่อรอการขึ้นของน้ำรอบต่อไป
8. เมื่อระดับน้ำลดลงจนถึงระดับที่ตั้งลูกลอยอัตโนมัติลูกล่างแล้วลูกลอยอัตโนมัติจะเริ่มทำงาน โดยเปิดสวิตซ์ให้ปั๊มไฟฟ้าเริ่มทำงานคือปั๊มน้ำเข้ามาในถังเพื่อทำให้เกิดน้ำขึ้นในรอบต่อไป และเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

ลักษณะการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น



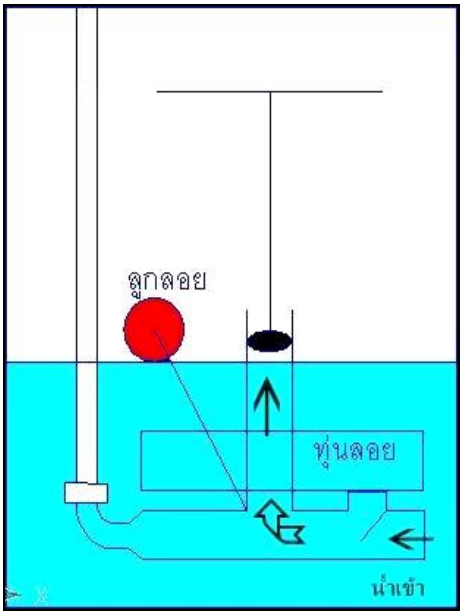
ภาพที่ 3.11(ก) ลักษณะการทำงานของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นในถังจำลอง

ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้งระบบการสูบน้ำดังแสดงในภาพ



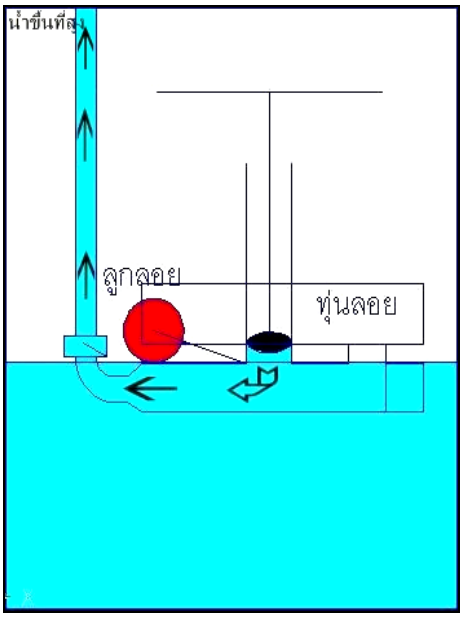
ภาพที่ 3.11 (ข) ลักษณะการทำงานของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นในถังจำลอง

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อน้ำเข้าสู่ระบบจนทำให้ระดับน้ำในถังสูงขึ้น ลิ้นCheck Valve ด้านทางเข้าจะเปิดให้น้ำภายนอกเข้าสู่ตัวปั๊ม ปั๊มกับทุ่นลอยจะลอยขึ้นตามน้ำจนถึงจุดที่กำหนดให้สลักล็อค เครื่องสูบน้ำกับทุ่นลอยก็จะไม่สามารถลอยขึ้นได้อย่างอิสระ



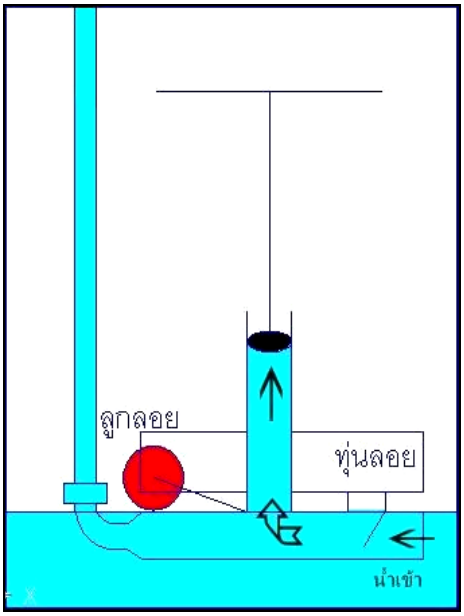
ภาพที่ 3.11 (ค) ลักษณะการทำงานของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นในถังจำลอง

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้น 30 เซนติเมตรลูกลอยจะทำหน้าที่ดึงให้สลักหลุดออก ทำให้ตัวเครื่องสูบน้ำกับทุ่นลอยลอยขึ้นตามน้ำได้



ภาพที่ 3.11 (ง) ลักษณะการทำงานของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นในถังจำลอง

ขั้นตอนที่ 4 ขณะที่น้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มขึ้นสูงสุด น้ำในตัวปั๊มจะถูกส่งขึ้นที่สูงออกทางสายยางโดยที่ Check Valve ตั้งจะทำการเปิดลิ้นเพื่อให้น้ำขึ้นไปสู่ที่สูงตามต้องการ



ภาพที่ 3.11 (จ) ลักษณะการทำงานของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นในถังจำลอง

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อระดับน้ำในถังลดลงเนื่องจากการระบายน้ำออกเพื่อจำลองรูปแบบการขึ้น ลงของน้ำนั้น การทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นจะวนซ้ำเช่นนี้เรื่อยไปโดยที่น้ำที่ถูกปั๊มขึ้นสู่ที่สูงแล้วจะไม่สามารถไหลย้อนกลับลงมาได้เนื่องจากลิ้นของ Check Valve ตั้งได้ทำการปิดลงแล้ว

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

4.1.1 จากการคิดแรงลอยตัวสุทธิมีการคิดคำนวณจากการหาปริมาตรอากาศในทุ่นลอยทั้ง 6 ทุ่น รวมทั้งปริมาตรอากาศภายในฝาครอบหัวท้ายของทุ่นลอยทั้ง 12 อัน และหาปริมาตรอากาศในลูกลอยที่ใช้ในการดึงสลักทั้ง 2 ลูก เมื่อได้ปริมาตรอากาศทั้งหมดแล้วนำค่ามารวมกัน แล้วลบด้วยน้ำหนักของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นและทุ่นลอยซึ่งจะได้แรงลอยตัวสุทธิจากหน่วยของปริมาตรแปลงเป็นหน่วยน้ำหนักที่ได้เท่ากับ 9.884 กิโลกรัม

4.1.2 จากการคิดคำนวณแรงดันที่เกิดขึ้นจริงจากการทดลอง เริ่มคำนวณโดยหาความดันในของไหลจากความหนาแน่นของของน้ำคูณกับความสูง และเมื่อได้ความดันในของไหลเอามาคูณกับพื้นที่วงกลมของกระบอกลูกสูบซึ่งจะได้ แรงดันที่เกิดขึ้นจริงจากการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 9.0173 กิโลกรัม

4.1.3 การคำนวณหาความสูงของน้ำที่ควรจะได้ตามทฤษฎี หาจาก การนำแรงลอยตัวสุทธิที่ได้ในข้อ 4.1.1 มาเท่ากับ ความหนาแน่นของน้ำคูณด้วยพื้นที่กระบอกสูบซึ่งจะได้ความสูงของน้ำที่ควรจะเป็นเท่ากับ 3.383 เมตร

4.1.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น จากการนำระดับความสูงของน้ำที่ได้จริงจากการทดลองหารด้วยระดับความสูงของน้ำที่ควรจะได้จากทฤษฎีในข้อที่ 4.1.3 และนำค่าที่ได้คูณกับ 100 เพื่อทำเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งจะได้เท่ากับ 94.59 %

4.1.5 คำนวณอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย จากการนำปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองหารด้วยปริมาณน้ำที่ใช้ยกเครื่องสูบน้ำ ซึ่งอัตราส่วนนั้นจะเป็นอัตราส่วนของปริมาณน้ำที่ได้ต่อปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวเครื่องสูบน้ำ ที่เท่ากับ $\frac{1}{174.83}$ ที่ความสูง 1 เมตร

4.2 ผลจากตารางการทดลอง

ในการเก็บข้อมูลจากการทดลองโดยการเปิดเครื่องสูบน้ำตลอด 1 ชั่วโมง แล้วเก็บค่าปริมาณน้ำที่ได้กับระยะเวลาในแต่ละรอบการขึ้นลงของเครื่องสูบน้ำตั้งแต่ที่ระดับความสูง 1m, 2m, 3m และ 3.2m แล้วนำปริมาณน้ำที่ได้ในหนึ่งชั่วโมงนั้นมาคูณระยะเวลาเพื่อทำให้เป็นปริมาณน้ำในหนึ่งวันในหน่วยลิตร

ส่วนในการหาประสิทธิภาพการสูบน้ำจะหาได้ตามข้อที่ 4.1.5 จะได้ผลดังนี้

ผลการทดลองเฉลี่ยที่ระดับความสูง 1 m

ปริมาณน้ำที่ได้ = 292.42 l/day

อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่ใช้ยกเครื่องสูบน้ำ $\frac{1}{174.83}$

ผลการทดลองเฉลี่ยที่ระดับความสูง 2 m

ปริมาณน้ำที่ได้ = 138.31 l/day

อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่ใช้ยกเครื่องสูบน้ำ $\frac{1}{283.97}$

ผลการทดลองเฉลี่ยที่ระดับความสูง 3 m

ปริมาณน้ำที่ได้ = 28.10 l/day

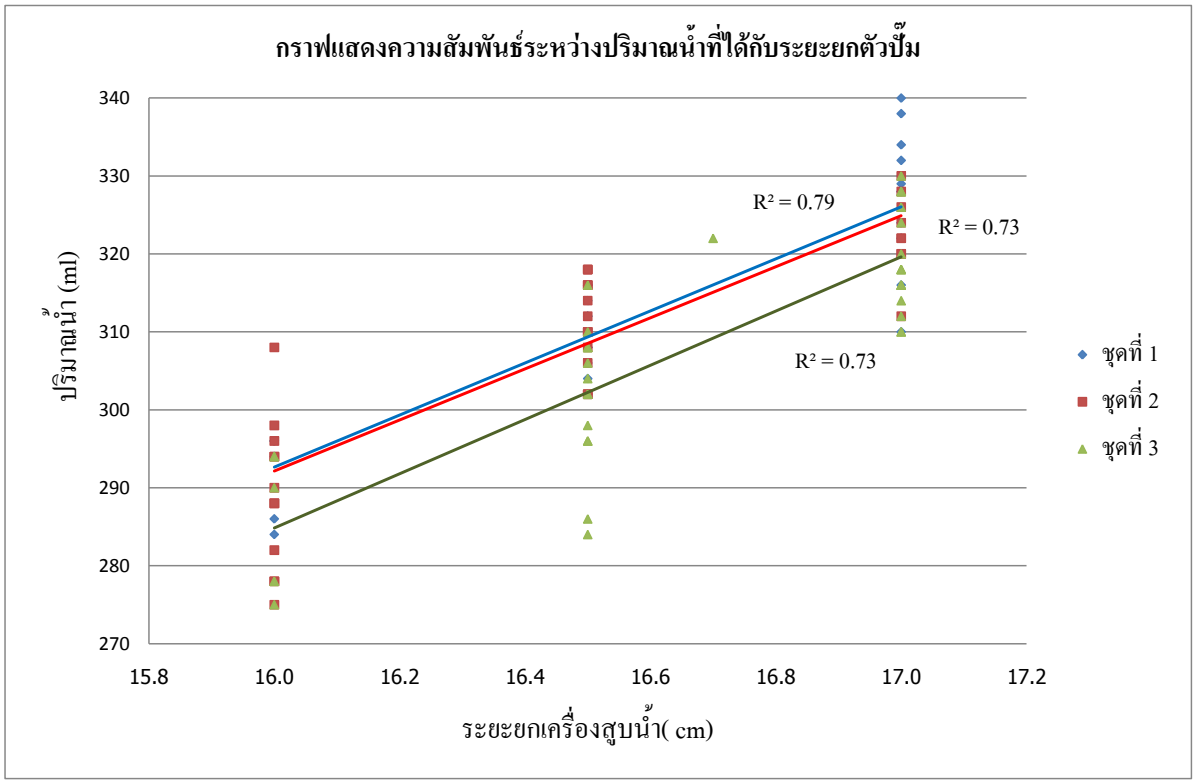
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำใช้ยกเครื่องสูบน้ำ $\frac{1}{1188.99}$

ผลการทดลองเฉลี่ยที่ระดับความสูง 3.2 m

ปริมาณน้ำที่ได้ = 4.58 l/day

อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำใช้ยกเครื่องสูบน้ำ $\frac{1}{7380.82}$

4.3 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง



ภาพที่ 4.3.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับระยะยกที่ความสูง 1 เมตร

จากภาพที่4.3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระยะยกที่ความสูง 1 เมตร

สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำสูงสุดที่สูบได้ เท่ากับ 340 มิลลิลิตรที่ระยะยก 17 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำต่ำสุดที่สูบได้ เท่ากับ 275 มิลลิลิตร ที่ระยะยก 16 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการสูบน้ำในระดับความสูง 1 เมตร เท่ากับ 309.79 มิลลิลิตร

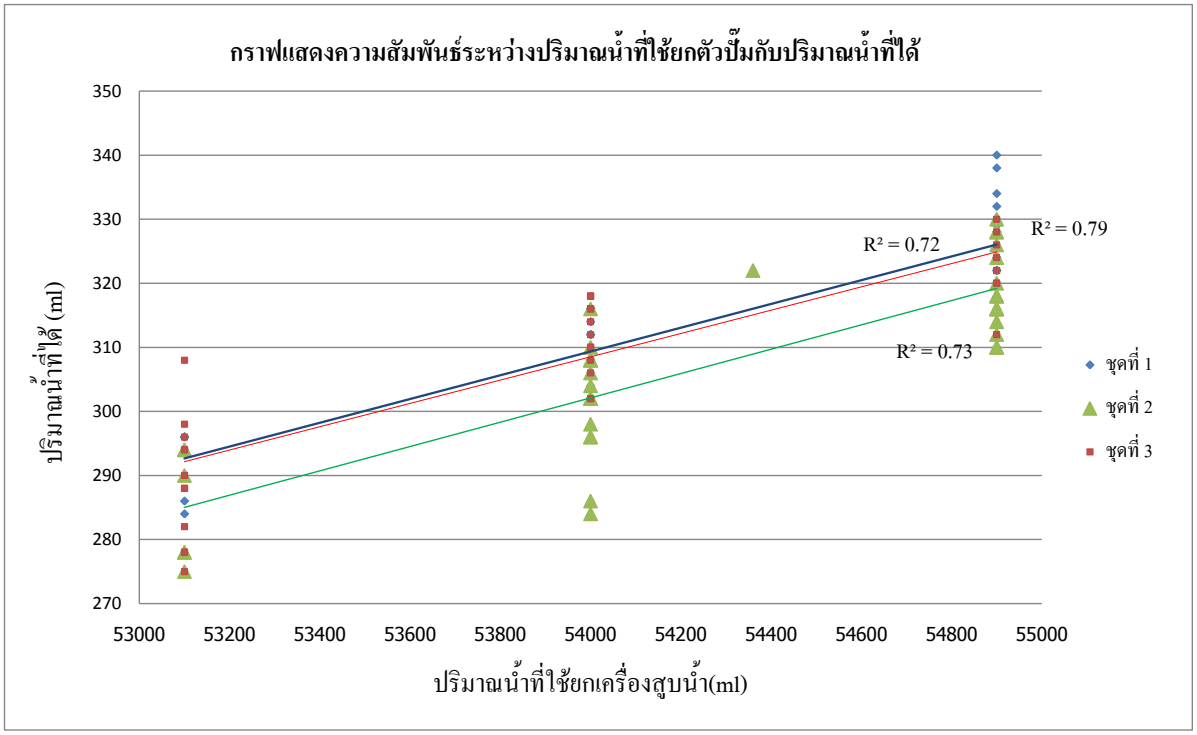
ซึ่งหมายความว่าระยะยกที่เกิดขึ้นมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ ยิ่งระยะยกมีค่ามากปริมาณน้ำที่ได้ก็จะแปรผันมากตามไปด้วย สังเกตจากกราฟแนวโน้มที่จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆตามระยะยกที่สูงขึ้นเมื่อค่า

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.79

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.73

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.73

วิจารณ์ผลการทดลอง เมื่อสังเกตผลจากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณน้ำที่ได้มีการกระจายอยู่ที่ระยะยกเครื่องสูบน้ำที่ 16,16.5 และ 17 เซนติเมตร เป็นส่วนใหญ่ซึ่งกราฟมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันโดยที่ปริมาณน้ำที่มากที่สุดอยู่ที่ระยะยกเครื่องสูบน้ำที่มากที่สุด



ภาพที่ 4.3.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 1 เมตร

จากกราฟที่4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 1 เมตร

<u>สรุปได้ว่า</u> ปริมาณน้ำสูงสุดที่ได้ เท่ากับ 340 มิลลิลิตรที่ปริมาณน้ำสำหรับใช้ยกปั๊ม เท่ากับ 54900 มิลลิลิตร

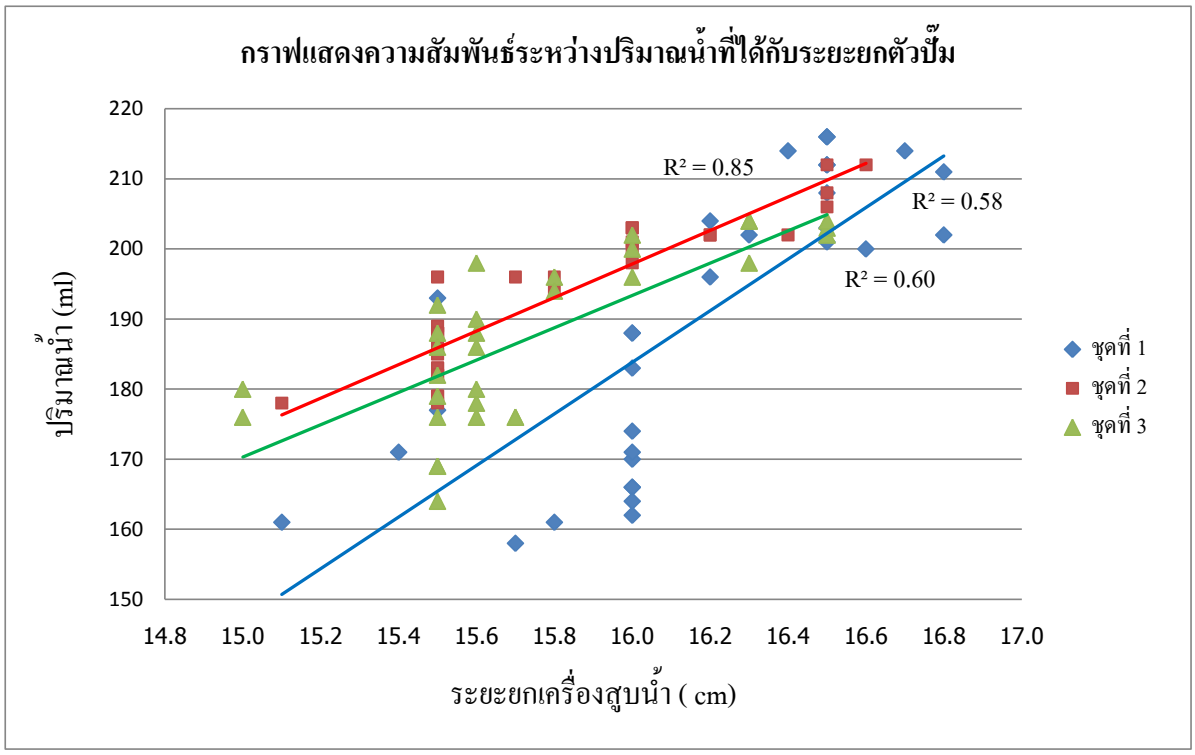
ปริมาณน้ำต่ำสุดที่ได้ เท่ากับ 275 มิลลิลิตรที่ปริมาณน้ำสำหรับใช้ยกปั๊ม เท่ากับ 53100 มิลลิลิตร ซึ่งหมายความว่าปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ ยิ่งปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มมีค่ามากปริมาณน้ำที่ได้ก็จะแปรผันมากตามไปด้วย สังเกตจากกราฟแนวโน้มที่จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.72

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.73

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.79

<u>วิจารณ์ผลการทดลอง</u> จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณน้ำที่ได้มีการกระจายอยู่ที่ระยะยกเครื่องสูบน้ำที่ 16,16.5 และ 17 เซนติเมตร เป็นส่วนใหญ่และปริมาณน้ำที่มากที่สุดอยู่ที่ระยะยกเครื่องสูบน้ำที่มากที่สุดตามความสัมพันธ์ที่ต่อเนื่องกัน แต่มีอยู่หนึ่งค่าที่ปริมาณน้ำที่ใช้ยกเครื่องสูบน้ำที่ 54360 มิลลิลิตร ได้ปริมาณน้ำที่ 322 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นค่าที่กระจายต่างจากตัวอื่นอาจมีสาเหตุมาจากความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง



ภาพที่ 4.3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับระยะยกที่ความสูง 2 เมตร

จากกราฟที่ 4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระยะยกที่ความสูง 2 เมตร

สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำสูงสุดที่ได้ เท่ากับ 216 มิลลิลิตรที่ระยะยก 16.5 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำต่ำสุดที่ได้ เท่ากับ 158 มิลลิลิตร ที่ระยะยก 15.7 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการสูบน้ำในระดับความสูง 2 เมตร เท่ากับ 190 มิลลิลิตร

ซึ่งหมายความว่าระยะยกที่เกิดขึ้นมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ ยิ่งระยะยกมีค่ามากปริมาณน้ำที่ได้ก็จะแปรผันมากตามไปด้วย สังเกตจากกราฟแนวโน้มที่จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆตามระยะยกที่สูงขึ้น

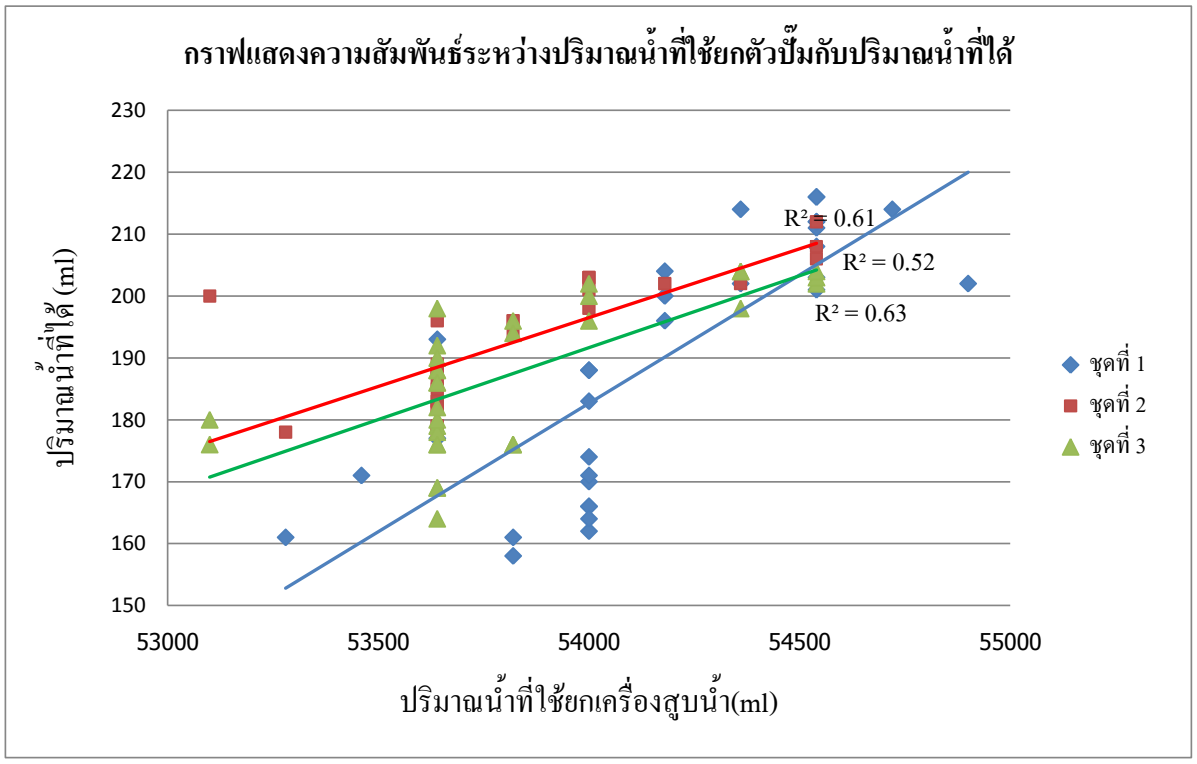
แต่เนื่องจากกราฟมีค่าที่กระจายมาก แม้ว่าค่าระยะยกจะมีค่าสูงที่สุดแต่ได้ปริมาณน้ำที่น้อยกว่าค่าระยะยกที่น้อยกว่าก็ตาม อาจเนื่องมาจากการผิดพลาดคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.58

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.85

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.60

วิจารณ์ผลการทดลอง จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้มีการกระจายที่แปรปรวน ปริมาณน้ำที่ได้อยู่ในระยะยกที่แตกต่างกันออกไปซึ่งค่าที่แปรปรวนอาจมีสาเหตุมาจากการทดลองอยู่ที่ระดับความสูง 2 เมตรที่มีระยะความสูงเพิ่มมากขึ้นจึงต้องใช้แรงในการสูบน้ำเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน แต่โดยในภาพรวมแล้วความสัมพันธ์ของกราฟนี้ยังเป็นกราฟเชิงเส้นซึ่งหมายความว่าค่าของระยะยกสัมพันธ์กับค่าของปริมาณน้ำที่ต่อเนื่องกัน



ภาพที่ 4.3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 2 เมตร

จากกราฟที่ 4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 2 เมตร

<u>สรุปได้ว่า</u> ปริมาณน้ำสูงสุดที่ได้ เท่ากับ 216 มิลลิลิตรที่ปริมาณน้ำสำหรับใช้ยกปั๊ม เท่ากับ 54540 มิลลิลิตร

ปริมาณน้ำต่ำสุดที่ได้ เท่ากับ 158 มิลลิลิตรที่ปริมาณน้ำสำหรับใช้ยกปั๊ม เท่ากับ 53820 มิลลิลิตร

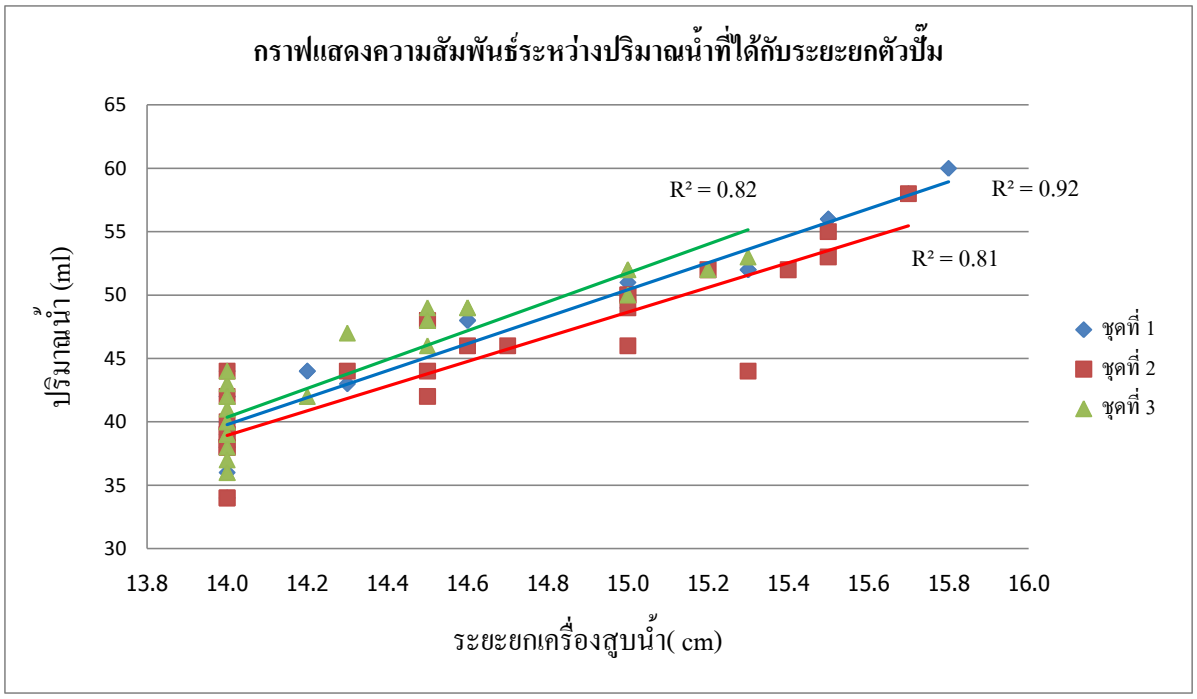
ซึ่งหมายความว่าปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ ยิ่งปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มมีค่ามากปริมาณน้ำที่ได้ก็จะแปรผันมากตามไปด้วย สังเกตจากกราฟแนวโน้มที่จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.63

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.61

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.52

<u>วิจารณ์ผลการทดลอง</u> จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลจากการทดลองที่ชั่วโมงที่2 กับชั่วโมงที่ 3 มีค่าการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกันส่วนในชั่วโมงแรกของการทดลองมีค่าการกระจายตัวแปรปรวนมากกว่าอาจมีสาเหตุเนื่องจากในชั่วโมงแรกเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นอยู่ในช่วงการปรับตัวของระบบเพราะในการทดลองที่ระดับความสูง 2 เมตรชั่วโมงแรกได้ทำต่อเนื่องจาก ที่ระดับความสูง 1 เมตรชั่วโมงที่ 3 ซึ่งค่าทั้ง 3 ชั่วโมงที่ทำการทดลองนี้มีค่าแปรผันตรงกันระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวเครื่องสูบน้ำกับปริมาณน้ำที่ได้เช่นกัน



ภาพที่ 4.3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับระยะยกที่ความสูง 3 เมตร

จากกราฟที่ 4.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระยะยกที่ความสูง 3 เมตร

<u>สรุปได้ว่า</u> ปริมาณน้ำสูงสุดที่ได้ เท่ากับ 60 มิลลิลิตรที่ระยะยก 15.8 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำต่ำสุดที่ได้ เท่ากับ 34 มิลลิลิตร ที่ระยะยก 14 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการสูบน้ำในระดับความสูง 3 เมตร เท่ากับ 45.04 มิลลิลิตร

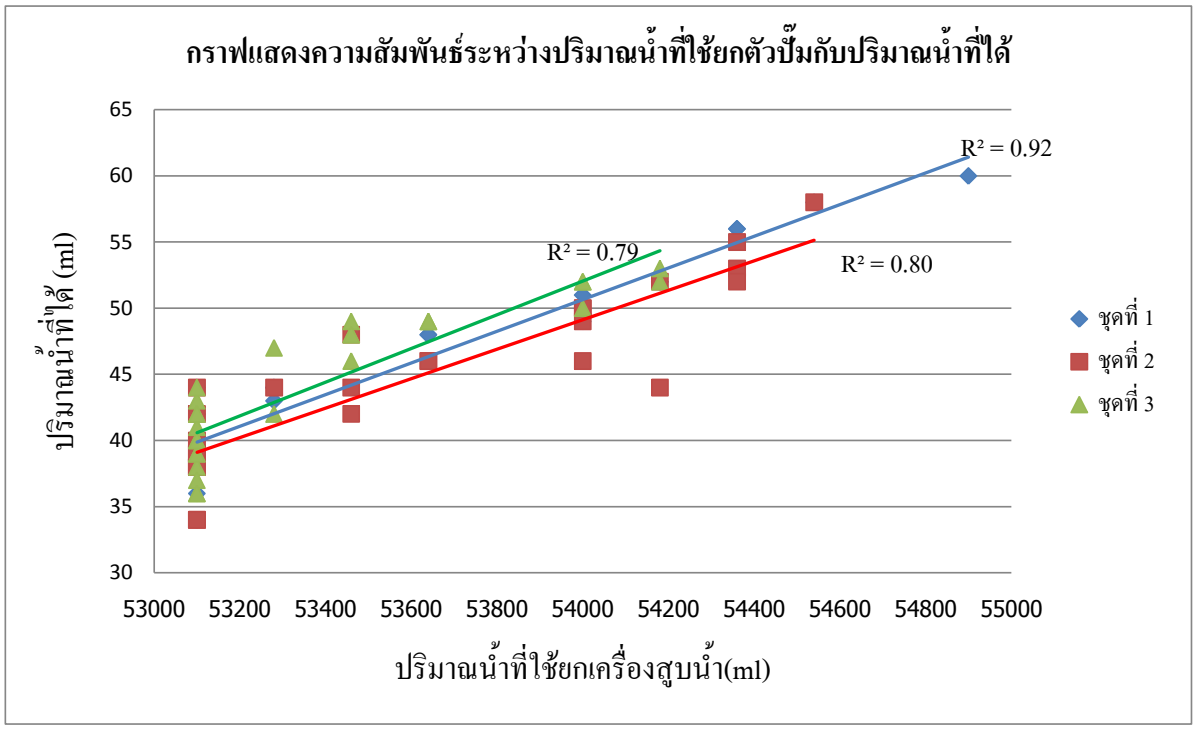
ซึ่งหมายความว่าระยะยกที่เกิดขึ้นมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ ยิ่งระยะยกมีค่ามากปริมาณน้ำที่ได้ก็จะแปรผันมากตามไปด้วย สังเกตจากกราฟแนวโน้มที่จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆตามระยะยกที่สูงขึ้นเมื่อค่า

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.92

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.81

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.82

<u>วิจารณ์ผลการทดลอง</u> จากกราฟผลการทดลองมีค่าการกระจายตัวในลักษณะเชิงเส้นอย่างเห็นได้ชัด และค่าที่ทดลองได้มีค่าที่ไม่ค่อยแปรปรวนเท่ากับการทดลองที่ระดับความสูง 2 เมตร ส่วนที่ระยะยกมากที่สุดที่เครื่องสูบน้ำสูบได้อยู่ที่ 15.8 เซนติเมตร ได้ปริมาณน้ำเท่ากับ 60 มิลลิลิตร ซึ่งสรุปได้ว่าค่าที่ได้แปรผันตรงกันมีความสัมพันธ์ที่ต่อเนื่องกัน



ภาพที่ 4.3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 3 เมตร

จากกราฟที่ 4.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 3 เมตร สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำสูงสุดที่ได้ เท่ากับ 60 มิลลิลิตรที่ปริมาณน้ำสำหรับใช้ยกปั๊ม เท่ากับ 54900 มิลลิลิตร

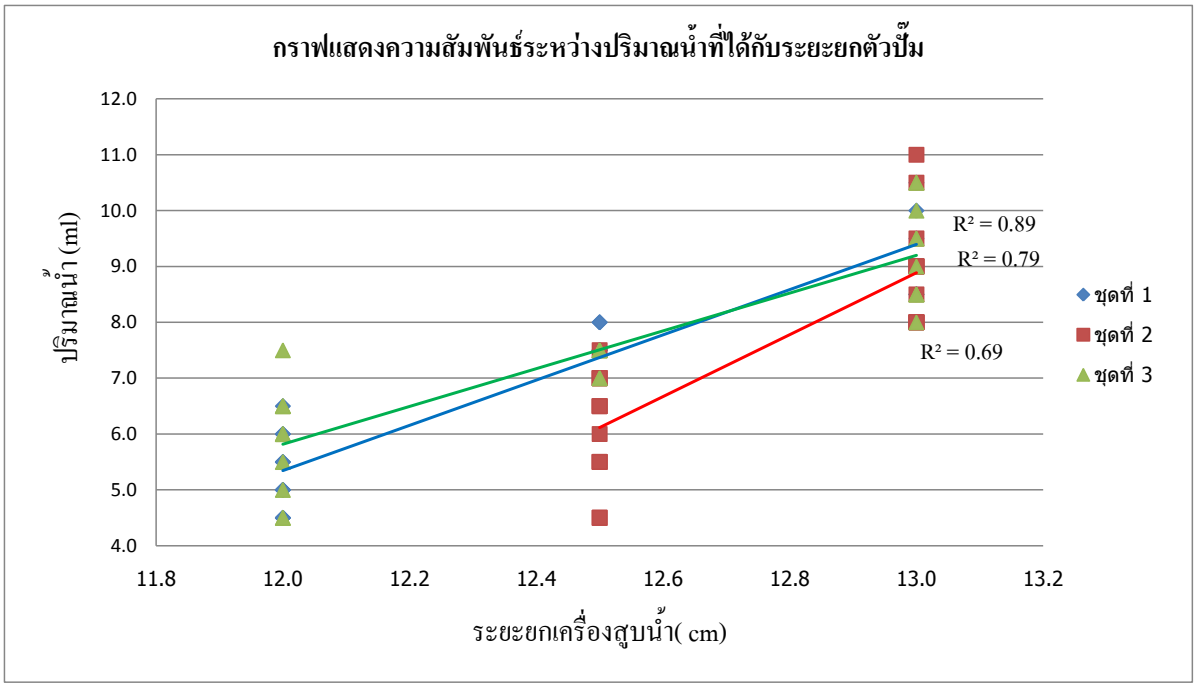
ปริมาณน้ำต่ำสุดที่ได้ เท่ากับ 34 มิลลิลิตรที่ปริมาณน้ำสำหรับใช้ยกปั๊ม เท่ากับ 53100 มิลลิลิตร ซึ่งหมายความว่าปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ ยิ่งปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มมีค่ามากปริมาณน้ำที่ได้ก็จะแปรผันมากตามไปด้วย สังเกตจากกราฟแนวโน้มที่จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.92

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.80

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.79

วิจารณ์ผลการทดลอง จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้แปรผันตรงกันอย่างเห็นได้ชัด เช่นที่ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวเครื่องสูบน้ำมากที่สุดที่ 54900 มิลลิลิตร ได้ปริมาณน้ำเท่ากับ 60 มิลลิลิตร เทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวเครื่องสูบน้ำที่น้อยที่สุดที่ 53100 มิลลิลิตร ได้ปริมาณน้ำตั้งแต่ 34-44 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุด อาจมีค่าอยู่สองค่าของการทดลองที่ชั่วโมงที่ 2 ต่างจากค่าอื่นเล็กน้อย แต่โดยรวมแล้วค่าที่ได้มีลักษณะเป็นเชิงเส้นที่แปรผันตรงกัน



ภาพที่ 4.3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับระยะยกที่ความสูง 3.2 เมตร

จากกราฟที่ 4.3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระยะยกที่ความสูง 3.2 เมตร

สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำสูงสุดที่ได้ เท่ากับ 11 มิลลิลิตรที่ระยะยก 13 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำต่ำสุดที่ได้ เท่ากับ 4.5 มิลลิลิตร ที่ระยะยก 12 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการสูบน้ำในระดับความสูง 3.2 เมตร เท่ากับ 7.33 มิลลิลิตร

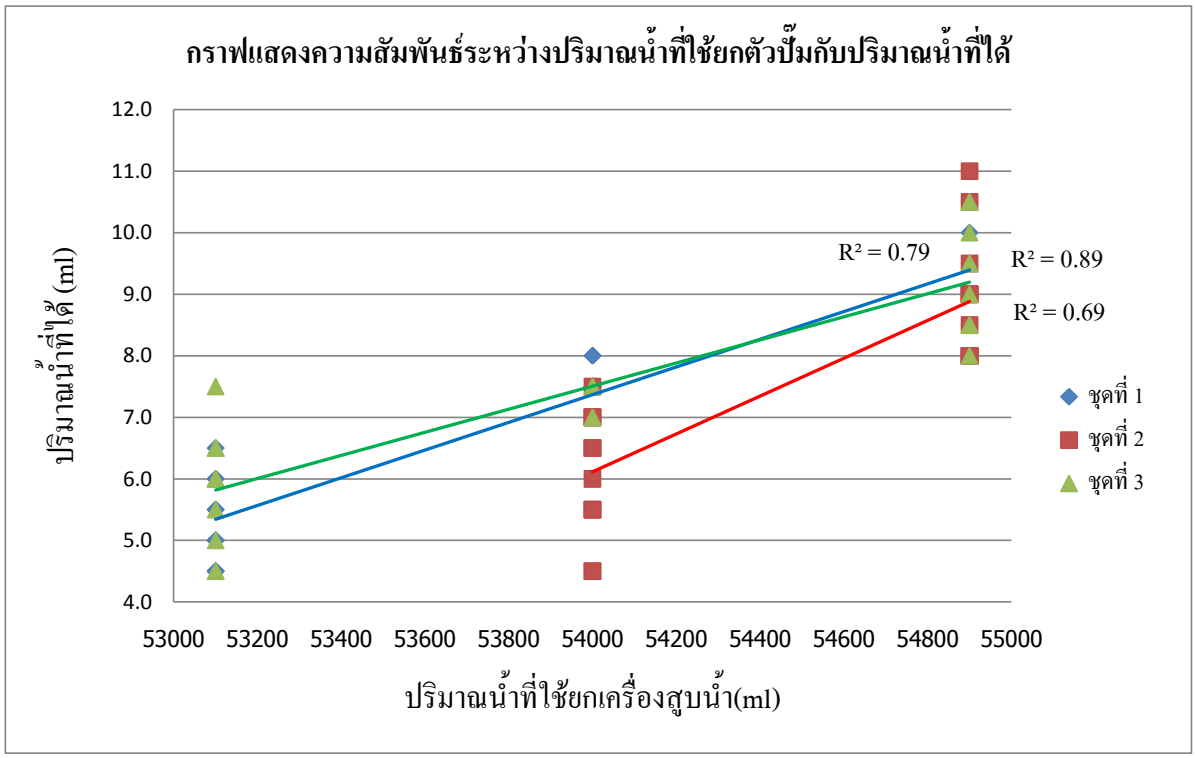
ซึ่งหมายความว่าระยะยกที่เกิดขึ้นมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ ยิ่งระยะยกมีค่ามากปริมาณน้ำที่ได้ก็จะแปรผันมากตามไปด้วย สังเกตจากกราฟแนวโน้มที่จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆตามระยะยกที่สูงขึ้นเมื่อค่า

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.79

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.69

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.89

วิจารณ์ผลการทดลอง จากกราฟแสดงผลการทดลองที่ระดับความสูง 3.2 เมตร กราฟมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกัน แตกต่างแต่เพียงที่ชั่วโมงที่ 2 ของการทดลองได้ปริมาณน้ำต่างๆที่ระยะยะอยู่ 2 ค่าคือที่ระยะยก 12.5 และ 13 เซนติเมตร ที่มีระยะยกต่างกันเพียงแค่ 5 มิลลิเมตร ซึ่งผลการทดลองทั้ง 3 ชั่วโมงที่ได้ยังมีความสัมพันธ์ที่ว่าถ้าระยะยกมีระยะมาก ปริมาณน้ำที่ได้ก็มีค่ามากตามไปด้วย



ภาพที่ 4.3.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 3.2 เมตร

จากกราฟที่ 4.3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊มกับปริมาณน้ำที่ได้ที่ความสูง 3.2 เมตร

<u>สรุปได้ว่า</u> ปริมาณน้ำสูงสุดที่ได้ เท่ากับ 11 มิลลิลิตรที่ปริมาณน้ำสำหรับใช้ยกปั๊ม เท่ากับ 54900 มิลลิลิตร

ปริมาณน้ำต่ำสุดที่ได้ เท่ากับ 4.5 มิลลิลิตรที่ปริมาณน้ำสำหรับใช้ยกปั๊ม เท่ากับ53100 มิลลิลิตร

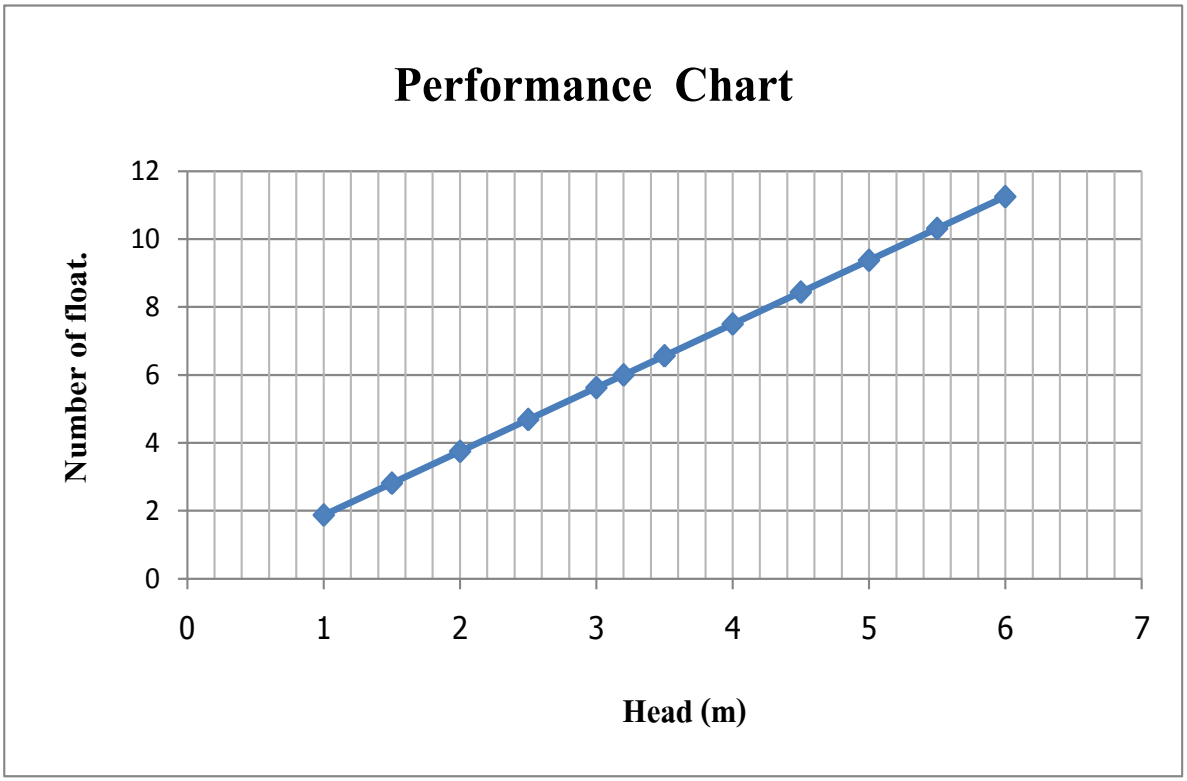
ซึ่งหมายความว่าปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ ยิ่งปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มมีค่ามากปริมาณน้ำที่ได้ก็จะแปรผันมากตามไปด้วย สังเกตจากกราฟแนวโน้มที่จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.89

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.69

R^2 ของการทดลองครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.79

<u>วิจารณ์ผลการทดลอง</u> จากกราฟแสดงผลการทดลองจะเห็นได้ว่า กราฟมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกัน แตกต่างแต่เพียงที่ชั่วโมงที่ 2 เช่นกัน ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ยกเครื่องสูบน้ำที่ได้มีอยู่ 2 ค่าคือที่ปริมาณน้ำ 54000 มิลลิลิตร และที่ 54900 มิลลิลิตร ที่แตกต่างกันเพียง 900 มิลลิลิตร อย่างไรก็ตามผลการทดลองทั้ง 3 ชั่วโมงที่ได้ยังมีความสัมพันธ์ที่ว่าถ้าปริมาณน้ำที่ใช้ยกเครื่องสูบน้ำมีค่ามากมาก ปริมาณน้ำที่ได้ก็มีค่ามากตามไปด้วย



ภาพที่ 4.3.9 Performance Chart

จาก Performance Chart สรุปได้ว่า

ถ้าต้องการ Head ที่ 1 เมตร จะต้องใช้จำนวนทุ่นลอยเท่ากับ 2 อัน

ถ้าต้องการ Head ที่ 2 เมตร จะต้องใช้จำนวนทุ่นลอยเท่ากับ 4 อัน

ถ้าต้องการ Head ที่ 3 เมตร จะต้องใช้จำนวนทุ่นลอยเท่ากับ 6 อัน

ถ้าต้องการ Head ที่ 4 เมตร จะต้องใช้จำนวนทุ่นลอยเท่ากับ 8 อัน

ถ้าต้องการ Head ที่ 5 เมตร จะต้องใช้จำนวนทุ่นลอยเท่ากับ 10 อัน

ถ้าต้องการ Head ที่ 6 เมตร จะต้องใช้จำนวนทุ่นลอยเท่ากับ 12 อัน

ข้อมูลข้างต้นได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎีที่คิดคำนวณจากการหาค่าแฟกเตอร์โดยการนำค่าที่ระดับความสูงต่างๆมาคูณกับแฟกตอร์ของประสิทธิภาพกลไกการทำงาน ซึ่งจะได้ค่าของระดับความสูงที่ควรจะเป็นในการสูบน้ำตามทางทฤษฎี และนำค่าแรงลอยตัวสุทธิในข้อ 4.1.1 ที่เท่ากับ 9.884 กิโลกรัม มาเทียบเป็นสัดส่วนกับจำนวนทุ่นลอยเพื่อหาแฟกเตอร์ในการกำหนดจำนวนทุ่นลอยที่ระดับความสูงอื่นๆ โดยการนำแรงลอยตัวสุทธิที่ระดับต่างๆมาหารด้วยแฟกเตอร์ที่ใช้กำหนดจำนวนทุ่นลอย ซึ่งจะได้ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่เป็นเพียงแค่การคาดการณ์ทางทฤษฎีโดยสามารถใช้อางอิงเป็นแนวทางในการทดลองเท่านั้น อาจมีความคลาดเคลื่อนถ้านำไปใช้ในการทดลองจริง

4.4 วิจารณ์ผลการศึกษา

4.4.1.ประสิทธิภาพในการส่งน้ำขึ้นสู่ที่สูงของปั๊ม

จากการศึกษาการทำงานของปั๊มน้ำพลังงานคลื่นพบว่ามีความสามารถในการปั๊มน้ำขึ้นสู่ที่สูงได้ความสูงสูงสุดที่ 3.2 เมตรจากระดับน้ำที่ยกตัวปั๊มขึ้น ซึ่งในทางทฤษฎีพบว่าน้ำพลังงานคลื่นพบว่ามีความสามารถในการปั๊มน้ำขึ้นสู่ที่สูงได้ความสูงสูงสุดที่ 3.383 เมตรจากระดับน้ำที่ยกตัวปั๊มขึ้นจึงทำให้มีประสิทธิภาพความสูงเท่ากับ 94.59 เปอร์เซ็นต์การที่ปั๊มน้ำพลังงานคลื่นมีประสิทธิภาพความสูงเท่ากับ 94.59 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากแรงเสียดทานของลูกสูบกับกระบอกสูบและลักษณะการขึ้นลงของคลื่นนั้นไม่ได้ขึ้นลงในลักษณะแนวดิ่งตรงๆ แต่มีการขึ้นลงในลักษณะที่มีการเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำทำให้กระบอกสูบและลูกสูบเกิดการเสียดสีกันมากขึ้น ทำให้มีการสูญเสียพลังงานมากขึ้น จึงทำให้แรงที่ใช้ในการทำงานของปั๊มน้อยลง ทำให้ไม่สามารถปั๊มขึ้นไปได้สูงเท่ากับตามทฤษฎี

4.4.2.ข้อจำกัดของปั๊มน้ำพลังงานคลื่น

ปั๊มน้ำพลังงานคลื่นสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานเชื้อเพลิงแต่จะอาศัยการขึ้นลงของคลื่นน้ำในแม่น้ำหรือการขึ้นลงของคลื่นในทะเลเท่านั้น ถ้าเป็นน้ำนิ่งหรือในแม่น้ำที่มีน้ำไหลธรรมดานั้น ปั๊มน้ำพลังงานคลื่นจะไม่สามารถทำงานได้ ปั๊มน้ำพลังงานคลื่นนี้ได้ทำการทดลองในถังทดลองซึ่งอาศัยระบบการขึ้นลงของน้ำในถังทดลอง ซึ่งได้จำลองลักษณะการขึ้นลงของคลื่นมาเท่านั้นแต่คลื่นจริงในทะเลและแม่น้ำจะมีคาบของคลื่นประมาณ 5 วินาที ที่แล้วแต่ปัจจัยต่างๆในการเกิดคลื่นซึ่งจะเร็วกว่าคาบของคลื่นในการทดลองการทดลองซึ่งต้องรอระบบให้น้ำขึ้นและน้ำลง

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

เนื่องจากปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการทางด้านพลังงานเพิ่มขึ้นจำนวนมาก ส่งผลให้พลังงานต่างๆ ถูกใช้แล้วหมดไป เช่นพลังงานไฟฟ้า พลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งพลังงานเหล่านี้ได้ลดน้อยลงไปเรื่อยๆและกำลังจะหมดไปในอีกไม่นาน การใช้พลังงานต่างๆเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นพลังงานสิ้นเปลืองซึ่งทำให้เกิดการคิดค้นเสาะหาพลังงานทดแทนที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติมาประยุกต์ใช้เป็นสิ่งทดแทนในอนาคตถ้าหากพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปหมดลง เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นนี้สร้างขึ้นเพื่อต้องการผลิต และพัฒนาปั๊มน้ำเพื่อนำไปใช้ทางด้านการเกษตรที่สามารถทำงานได้โดยไม่ใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปใดๆทั้งสิ้น แต่ใช้พลังงานทดแทนในการทำงาน ซึ่งก็คือพลังงานจากคลื่นน้ำนั่นเอง

จากการศึกษาในด้านค่าใช้จ่ายของการใช้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าเปรียบเทียบกับเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นเมื่อคิดคำนวณจากคาบของแอมปริจูดที่ระยะเวลาของคลื่นที่ 5 วินาที ตลอดระยะเวลา 1 วันเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้าในระยะเวลาการเปิดเครื่องสูบน้ำ 40 นาที เทียบกับปริมาณน้ำที่ 800 ลิตรใน 1 วัน พบว่า ปกติในการใช้เครื่องสูบน้ำจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าหรือใช้เชื้อเพลิงเป็นตัวขับเคลื่อนการทำงาน ผู้ที่ใช้เครื่องสูบน้ำจะต้องเสียค่าใช้จ่ายทั้งทางตรงและค่าใช้จ่ายทางอ้อม ซึ่งหมายถึงค่าเครื่องสูบน้ำ ค่าไฟฟ้าหรือค่าน้ำมันเชื้อเพลิงอีกทั้งยังต้องมีค่าบำรุงรักษาอีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น เกษตรกรรายหนึ่งที่ต้องการสูบน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาไปรดน้ำผักที่ปลูกไว้ในแปลง เกษตรกรรายนั้นจึงซื้อเครื่องสูบน้ำรุ่น HURRICANE HC 150 ราคา 1990 บาท ที่มีกำลัง 150 วัตต์มาใช้งาน ใน 1 วันเปิดเครื่องสูบน้ำ 40 นาที ค่าไฟหน่วยละ 5 บาทซึ่งทำให้เสียค่าไฟ 15 บาท/เดือนหรือ 182.5 บาท/ปี ทำให้เสียค่าใช้จ่ายที่สิ้นเปลืองหากเพียงแต่หันมาใช้เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตเครื่องสูบน้ำประมาณ 3,500 บาทก็สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องเสียค่าไฟหรือน้ำมันใดๆทั้งสิ้น

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของการใช้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

ปีที่	รายการ	เครื่องสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้า		เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น	
		ราคา (บาท)	รวมสะสม (บาท)	ราคา (บาท)	รวมสะสม (บาท)
0	ค่าเครื่องสูบน้ำ	1990	1990	3500	3500
1	ค่าไฟ (ต่อปี)	182.5	2172.50	0	3500
2	ค่าไฟ (ต่อปี)	182.5	2355.00	0	3500
3	ค่าไฟ (ต่อปี)	182.5	2537.50	0	3500
4	ค่าไฟ (ต่อปี)	182.5	2720.00	0	3500
5	ค่าไฟ (ต่อปี)	182.5	2902.50	0	3500
6	ค่าไฟ (ต่อปี)	182.5	3085.00	0	3500
7	ค่าไฟ (ต่อปี)	182.5	3267.50	0	3500
8	ค่าไฟ (ต่อปี)	182.5	3450.00	0	3500
9	ค่าไฟ (ต่อปี)	182.5	3632.50	0	3500

จากตารางแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นแทนการใช้เครื่องสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนนั้นจะคุ้มทุนในปีที่ 9 หลังจากการซื้อมาใช้งาน (ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นดังตารางไม่รวมค่าบำรุงรักษาของเครื่องสูบน้ำ)

จากการศึกษาปั๊มน้ำพลังงานคลื่นที่ได้ทำการทดลองในถังจำลอง ซึ่งได้จำลองลักษณะการขึ้นลงของคลื่นน้ำ เพื่อที่จะให้ได้เห็นลักษณะการขึ้นลงของคลื่นได้และการทำงานของปั๊มน้ำพลังงานคลื่นได้ชัดเจน จากผลการศึกษาที่ใช้ทุ่นลอยขนาด 3 นิ้ว ยาว 45 เซนติเมตร จำนวน 6 อันพบว่า ปั๊มน้ำพลังงานคลื่นนี้สามารถปั๊มน้ำขึ้นสู่ที่สูงได้ที่ความสูงสูงสุดที่ 3.2 เมตรจากระดับน้ำที่ยกตัวปั๊มขึ้นซึ่งเป็นประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 94.59 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำสูงสุดที่ปั๊มสามารถปั๊มได้เท่ากับ 12.184 ลิตรต่อชั่วโมง อยู่ที่ความสูง 1 เมตร มีอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวเครื่องสูบน้ำเท่ากับ 0.57 และจากผลการศึกษายังพบว่าระยะที่กระบอกสูบยกขึ้นมีผลกับปริมาณน้ำที่ปั๊มสามารถสูบได้และความสูงของน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊มก็มีผลกับปริมาณน้ำที่ปั๊มสามารถสูบได้เช่นกัน และความสูงของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นแต่ละครั้งมีผลกับปริมาณน้ำที่ปั๊มสามารถสูบได้ด้วยคือความสูงที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้แรงดันเพิ่มมากขึ้นจากสูตร $P = \gamma h$ จึงทำให้มีแรงดันกลับมากขึ้นด้วย จากสูตรความดันของของเหลว $F = P \times A$ ทำให้เมื่อมีแรงดันกลับมากขึ้นจึงทำให้แรงลอยตัวทำเหลือน้อยลงทำให้แรงที่ปั๊มต้องใช้ในการทำงานนั้นลดน้อยลง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง ทำให้ปริมาณน้ำที่ได้น้อยลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรออกแบบให้ก้านสูบและลูกสูบมีอิสระในการเคลื่อนที่ซึ่งกันและกัน เช่นในลักษณะที่เป็นข้อเหวี่ยงเพราะคลื่นน้ำไม่ได้ขึ้นและลงตรงๆ แต่จะมีเรื่องของกระแสน้ำเข้ามาเกี่ยวของด้วยทำให้ปั๊มลอยไปตามกระแสน้ำจึงทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างลูกสูบและกระบอกสูบเนื่องจากลูกสูบถูกยึดอยู่กับที่ไม่สามารถขยับไปตามกระแสน้ำได้จึงทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างลูกสูบและกระบอกสูบขึ้นมาก
2. ถ้าต้องการเพิ่มความสูงและปริมาณน้ำให้มากขึ้นควรเพิ่มแรงลอยตัวหรือลอยให้มากขึ้นเพราะจะมีแรงในการดันตัวปั๊มขึ้น
3. ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้การจำลองลักษณะการขึ้นลงของคลื่น ในถังทดลองเพื่อให้เห็นลักษณะการขึ้นลงของคลื่นได้ชัดเจนเท่านั้น
4. คาบของคลื่นจริง (ระยะเวลาระหว่างคลื่นลูกที่ 1และลูกที่2) ปกติในทะเลจะมีค่ามากกว่าคาบของคลื่นในแม่น้ำที่มีเรือสัญจรไปมา ซึ่งแล้วแต่ปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดคลื่น
5. หากต้องการนำไปใช้จริงในแม่น้ำหรือทะเลควรทำฝาปิดที่กระบอกสูบเพื่อป้องกันเมื่อระดับขึ้นหรือลงมากกว่าที่เราออกแบบไว้ ลูกสูบจะได้ไม่หลุดออกจากกระบอกสูบ
6. การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาปั๊มน้ำพลังงานคลื่นซึ่งเป็นคลื่นน้ำในแม่น้ำเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

ธนากร คุ้มตรีทอง.2552.**ปั๊มน้ำพลังน้ำ Hydraulic Ram** .เกษตรออนไลน์ทุกๆเรื่องเกี่ยวกับการเกษตร. แหล่งที่มา:http://kasetonline.com/p=7, 15 มีนาคม 2553]

นิธิ ปรัสรา.บทเรียน เรื่องเครื่องปั๊มน้ำ.แหล่งที่มาhttp://centered.pi.ac.th/elearning/ubon/Nithi/unit4.htm 21 มีนาคม 2553.

บรรจง วรรธนะพงษ์.2542.**เครื่องสูบน้ำพลังน้ำ ที่พัฒนาขึ้นอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว**.บริษัท 21 เซ็นจูรี่,กรุงเทพฯ.

ภาณุพันธ์ แสวงนิล. 2549. **การศึกษาและจัดทำแบบจำลองเครื่องตะบันน้ำ** . ปริญญานิพนธ์ ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน,นครปฐม.

มณฑล สุขใส. (ม.ป.ป.). การหาค่าแรงเสียดทานของการไหลในท่อ. แหล่งที่มา : http://pirun.ku.ac.th/~g4765306/fluid_mech/head_loss.htm [14 มีนาคม 2553]

มนตรี พิรุณเกษตร. 2547. **กลศาสตร์ของไหล**. สถิตยศาสตร์ของไหล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล.คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน,นครปฐม.

มหาวิทยาลัยมหิดล.(ม.ป.ป.).**อัตราเร็วคาบและความถี่ของคลื่น**.แหล่งที่มา http://www.atom.rmutphysics.com/charud/scibook/wave5/equation/equation.html,[26เมษายน 2553]

มหาวิทยาลัยราชมงคลมงคล. 2550 . บท**ที่ 6 กลศาสตร์ของไหล**. แหล่งที่มา : http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/nuch/introphysics/6.pdf, [15 มีนาคม 2553]

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2529 .**ปั๊มน้ำและระบบสูบน้ำ**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

อัครเดช อรรถจินดา.2533.**หลักเบื้องต้นของพัดลมและเครื่องสูบ**.ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

Logos.2552. **Pulser Pump** .Pulser pump.แหล่งที่มา:http://lanpanya.com/wash/archives/663, 20 มีนาคม 2553.

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 5.2 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นที่สูง 1 เมตร ครั้งที่ 1

สถานที่ทำการทดลอง อาคารปฏิบัติการชลประทาน วันที่ทำการทดลอง 18 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:01:26	86	86	320	480.42	54900	160.42	17.00
2	0:02:56	176	90	334	480.42	54900	146.42	17.00
3	0:04:25	265	89	296	452.16	53100	156.16	16.00
4	0:05:55	355	90	322	480.42	54900	158.42	17.00
5	0:07:32	452	97	308	466.29	54000	158.29	16.50
6	0:09:04	544	92	302	466.29	54000	164.29	16.50
7	0:10:34	634	90	294	452.16	53100	158.16	16.00
8	0:12:08	728	94	330	480.42	54900	150.42	17.00
9	0:13:43	823	95	304	466.29	54000	162.29	16.50
10	0:15:19	919	96	324	480.42	54900	156.42	17.00
11	0:16:50	1010	91	310	480.42	54900	170.42	17.00
12	0:18:23	1103	93	302	466.29	54000	164.29	16.50
13	0:19:54	1194	91	322	480.42	54900	158.42	17.00
14	0:21:32	1292	98	320	480.42	54900	160.42	17.00
15	0:23:03	1383	91	314	466.29	54000	152.29	16.50
16	0:24:37	1477	94	340	480.42	54900	140.42	17.00
17	0:26:11	1571	94	329	480.42	54900	151.42	17.00
18	0:27:41	1611	90	328	480.42	54900	152.42	17.00
19	0:29:19	1759	98	308	466.29	54000	158.29	16.50
20	0:30:49	1849	90	312	466.29	54000	154.29	16.50
21	0:32:20	1940	91	316	466.29	54000	150.29	16.50

ตารางภาคผนวกที่ 5.2 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
22	0:33:48	2028	88	320	480.42	54900	160.42	17.00
23	0:35:21	2121	93	338	480.42	54900	142.42	17.00
24	0:36:51	2211	90	328	480.42	54900	152.42	17.00
25	0:38:25	2315	94	332	480.42	54900	148.42	17.00
26	0:39:58	2398	93	316	466.29	54000	150.29	16.50
27	0:41:33	2493	95	324	480.42	54900	156.42	17.00
28	0:43:08	2588	95	316	466.29	54000	150.29	16.50
29	0:44:43	2683	95	328	480.42	54900	152.42	17.00
30	0:46:20	2780	97	296	452.16	53100	156.16	16.00
31	0:47:48	2868	88	308	466.29	54000	158.29	16.50
32	0:49:21	2961	93	286	452.16	53100	166.16	16.00
33	0:50:55	3055	94	316	466.29	54000	150.29	16.50
34	0:52:39	3149	94	284	452.16	53100	168.16	16.00
35	0:54:01	3241	92	306	466.29	54000	160.29	16.50
36	0:55:37	3307	96	296	452.16	53100	156.16	16.00
37	0:57:08	3428	91	308	466.29	54000	158.29	16.50
38	0:58:40	3520	92	316	480.42	54900	164.42	17.00
39	1:00:13	3613	93	312	466.29	54000	154.29	16.50
ผลรวม			3613	12265	18354.87		6089.87	
ค่าเฉลี่ย			92.64	314.49	470.64	54277	156.15	16.65

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	12265.00	ml/hr
	294.36	l/day
น้ำหนักของน้ำ	12.31	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย		$\frac{1}{172.59}$

ตารางผนวกที่ 5.3 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2

สถานที่ทำการทดลอง อาคารปฏิบัติการชลประทาน วันที่ทำการทดลอง 18 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:01:29	89	89	288	452.16	53100	164.16	16.00
2	0:03:00	180	91	282	452.16	53100	170.16	16.00
3	0:04:35	275	95	306	466.29	54000	160.29	16.50
4	0:06:07	367	92	328	480.42	54900	152.42	17.00
5	0:07:43	463	96	302	466.29	54000	164.29	16.50
6	0:09:13	553	90	322	480.42	54900	158.42	17.00
7	0:10:46	646	93	308	466.29	54000	158.29	16.50
8	0:12:22	742	96	310	466.29	54000	156.29	16.50
9	0:13:52	832	90	324	480.42	54900	156.42	17.00
10	0:15:21	921	89	324	480.42	54900	156.42	17.00
11	0:16:53	1013	92	302	466.29	54000	164.29	16.50
12	0:18:26	1106	93	320	480.42	54900	160.42	17.00
13	0:20:00	1200	94	310	466.29	54000	156.29	16.50
14	0:21:32	1292	92	302	466.29	54000	164.29	16.50
15	0:23:10	1390	98	320	480.42	54900	160.42	17.00
16	0:24:44	1484	94	318	466.29	54000	148.29	16.50
17	0:26:20	1580	96	308	452.16	53100	144.16	16.00
18	0:27:56	1676	96	308	452.16	53100	144.16	16.00
19	0:29:33	1773	97	318	466.29	54000	148.29	16.50
20	0:31:06	1866	93	312	466.29	54000	154.29	16.50
21	0:32:38	1958	92	278	452.16	53100	174.16	16.00
22	0:34:06	2046	88	296	452.16	53100	156.16	16.00

ตารางผนวกที่ 5.3 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
23	0:35:37	2137	91	322	480.42	54900	158.42	17.00
24	0:37:12	2232	95	278	452.16	53100	174.16	16.00
25	0:38:47	2327	95	316	466.29	54000	150.29	16.50
26	0:40:19	2419	92	318	466.29	54000	148.29	16.50
27	0:41:54	2514	95	290	452.16	53100	162.16	16.00
28	0:43:25	2605	91	314	466.29	54000	152.29	16.50
29	0:44:57	2697	92	298	452.16	53100	154.16	16.00
30	0:46:32	2792	95	288	452.16	53100	164.16	16.00
31	0:48:04	2884	92	294	452.16	53100	158.16	16.00
32	0:49:35	2975	91	316	466.29	54000	150.29	16.50
33	0:51:10	3070	95	310	466.29	54000	156.29	16.50
34	0:52:44	3164	94	275	452.16	53100	177.16	16.00
35	0:54:19	3259	95	316	466.29	54000	150.29	16.50
36	0:55:49	3349	90	326	480.42	54900	154.42	17.00
37	0:57:20	3440	91	294	452.16	53100	158.16	16.00
38	0:58:48	3528	88	330	480.42	54900	150.42	17.00
39	1:00:18	3618	90	312	480.42	54900	168.42	17.00
ผลรวม			3618	11983	18142.92		6159.92	
ค่าเฉลี่ย			92.77	307.26	465.20	53930.77	157.95	16.46

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	11983	ml/hr
	287.592	l/day
น้ำหนักของน้ำ	12.00	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวเครื่องสูบน้ำ		$\frac{1}{175.52}$

ตารางผนวกที่ 5.4 ผลการทดลอง เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3

สถานที่ทำการทดลอง อาคารปฏิบัติการชลประทาน วันที่ทำการทดลอง 18 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:01:26	86	86	278	452.16	53100	174.16	16.00
2	0:02:55	175	89	296	466.29	54000	170.29	16.50
3	0:04:27	267	92	322	471.942	54360	149.94	16.70
4	0:06:03	363	96	328	480.42	54900	152.42	17.00
5	0:07:35	455	92	310	480.42	54900	170.42	17.00
6	0:09:05	545	90	302	466.29	54000	164.29	16.50
7	0:10:40	640	95	320	480.42	54900	160.42	17.00
8	0:12:11	731	91	318	480.42	54900	162.42	17.00
9	0:13:39	819	88	308	466.29	54000	158.29	16.50
10	0:15:11	911	92	308	466.29	54000	158.29	16.50
11	0:16:41	1001	90	318	480.42	54900	162.42	17.00
12	0:18:15	1095	94	312	480.42	54900	168.42	17.00
13	0:19:49	1189	94	302	466.29	54000	164.29	16.50
14	0:21:15	1275	86	294	452.16	53100	158.16	16.00
15	0:22:45	1365	90	330	480.42	54900	150.42	17.00
16	0:24:19	1459	94	304	466.29	54000	162.29	16.50
17	0:25:48	1548	89	324	480.42	54900	156.42	17.00
18	0:27:20	1640	92	310	480.42	54900	170.42	17.00
19	0:28:50	1730	90	302	466.29	54000	164.29	16.50
20	0:30:24	1824	94	278	452.16	53100	174.16	16.00
21	0:31:58	1918	94	316	480.42	54900	164.42	17.00
22	0:33:30	2010	92	318	480.42	54900	162.42	17.00

ตารางผนวกที่ 5.4 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
23	0:34:58	2098	88	290	452.16	53100	162.16	16.00
24	0:36:25	2185	87	314	480.42	54900	166.42	17.00
25	0:37:55	2275	90	298	466.29	54000	168.29	16.50
26	0:39:21	2361	86	328	480.42	54900	152.42	17.00
27	0:40:53	2453	92	296	466.29	54000	170.29	16.50
28	0:42:22	2542	89	308	466.29	54000	158.29	16.50
29	0:43:56	2636	94	286	466.29	54000	180.29	16.50
30	0:45:29	2729	93	316	480.42	54900	164.42	17.00
31	0:46:53	2813	84	284	466.29	54000	182.29	16.50
32	0:48:22	2902	89	306	466.29	54000	160.29	16.50
33	0:49:48	2988	86	316	480.42	54900	164.42	17.00
34	0:51:18	3078	90	310	466.29	54000	156.29	16.50
35	0:52:50	3170	92	275	452.16	53100	177.16	16.00
36	0:54:18	3258	88	316	466.29	54000	150.29	16.50
37	0:55:46	3346	88	326	480.42	54900	154.42	17.00
38	0:57:16	3436	90	294	452.16	53100	158.16	16.00
39	0:58:47	3527	91	316	480.42	54900	164.42	17.00
40	1:00:16	3616	89	328	480.42		152.42	17.0
ผลรวม			3530	12305	18374.652		6521.81	
ค่าเฉลี่ย			90.51	307.63	471.14	54263.08	163.05	16.66

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	12305	ml/hr
	295.32	l/day
น้ำหนักของน้ำ	12.15	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวเครื่องสูบน้ำ		$\frac{1}{176.39}$

ตารางผนวกที่ 5.5 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1

สถานที่ทำการทดลอง.....อาคารปฏิบัติการชลประทาน วันที่ทำการทดลอง 18 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:01:43	103	103	158	443.682	53820	285.682	15.7
2	0:03:28	208	105	162	452.160	54000	290.160	16.0
3	0:05:16	316	108	200	469.116	54180	269.116	16.6
4	0:07:10	430	114	211	474.768	54540	263.768	16.8
5	0:09:12	552	122	214	463.464	54360	249.464	16.4
6	0:11:13	673	121	212	466.290	54540	254.290	16.5
7	0:13:16	796	123	216	466.290	54540	250.290	16.5
8	0:15:13	913	117	170	452.160	54000	282.160	16.0
9	0:17:13	1033	120	166	452.160	54000	286.160	16.0
10	0:19:10	1150	117	188	452.160	54000	264.160	16.0
11	0:21:10	1270	120	166	452.160	54000	286.160	16.0
12	0:23:10	1390	120	171	435.204	53460	264.204	15.4
13	0:25:11	1511	121	177	438.030	53640	261.030	15.5
14	0:27:10	1630	119	161	426.726	53280	265.726	15.1
15	0:29:14	1754	124	201	466.290	54540	265.290	16.5
16	0:31:14	1874	120	196	457.812	54180	261.812	16.2
17	0:33:19	1999	125	188	452.160	54000	264.160	16.0
18	0:35:16	2116	117	171	452.160	54000	281.160	16.0
19	0:37:18	2238	122	183	452.160	54000	269.160	16.0
20	0:39:23	2363	125	164	452.160	54000	288.160	16.0
21	0:41:20	2486	123	208	466.290	54540	258.290	16.5
22	0:43:18	2598	112	204	457.812	54180	253.812	16.2

ตารางผนวกที่ 5.5 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
23	0:45:12	2712	114	216	466.290	54540	250.290	16.5
24	0:47:13	2833	121	174	452.160	54000	278.160	16.0
25	0:49:07	2947	114	202	474.768	54900	272.768	16.8
26	0:51:10	3070	123	161	446.508	53820	285.508	15.8
27	0:53:07	3187	117	214	471.942	54720	257.942	16.7
28	0:55:08	3308	121	202	460.638	54360	258.638	16.3
29	0:57:11	3431	123	212	466.290	54540	254.290	16.5
30	0:50:02	3542	111	203	466.290	54540	263.290	16.5
31	1:00:59	3659	117	193	438.030	53640	245.030	15.5
ผลรวม			3659	5864	14144.13			
ค่าเฉลี่ย			118.03	189.16	456.26	54157	267.10	16.15

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	5864.00	ml/hr
	140.736	l/day
น้ำหนักของน้ำ	5.90	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวเครื่องสูบน้ำ		$\frac{1}{286.30}$

ตารางผนวกที่ 5.6 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2

สถานที่ทำการทดลอง อาคารปฏิบัติการชลประทาน วันที่ทำการทดลอง 18 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:02:01	121	121	186	438.030	53640	252.030	15.5
2	0:04:02	242	121	200	452.160	53100	252.160	16.0
3	0:06:02	362	120	196	443.682	53820	247.682	15.7
4	0:07:59	479	117	188	438.030	53640	250.030	15.5
5	0:09:59	599	120	179	438.030	53640	259.030	15.5
6	0:11:59	719	120	183	438.030	53640	255.030	15.5
7	0:13:53	833	114	178	426.726	53280	248.726	15.1
8	0:15:56	956	123	203	452.160	54000	249.160	16.0
9	0:17:57	1077	121	212	466.290	54540	254.290	16.5
10	0:19:58	1198	121	202	463.464	54360	261.464	16.4
11	0:22:01	1321	123	196	446.508	53820	250.508	15.8
12	0:23:55	1435	114	188	438.030	53640	250.030	15.5
13	0:25:56	1556	121	201	452.160	54000	251.160	16.0
14	0:27:53	1673	117	179	438.030	53640	259.030	15.5
15	0:29:50	1790	117	183	438.030	53640	255.030	15.5
16	0:31:51	1911	121	189	438.030	53640	249.030	15.5
17	0:33:54	2034	123	194	446.508	53820	252.508	15.8
18	0:35:45	2145	111	203	452.160	54000	249.160	16.0
19	0:37:59	2269	124	212	469.116	54540	257.116	16.6
20	0:39:50	2390	121	178	438.030	53640	260.030	15.5
21	0:41:53	2513	123	185	438.030	53640	253.030	15.5
22	0:43:54	2634	121	196	438.030	53640	242.030	15.5

ตารางผนวกที่ 5.6 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
23	0:45:54	2754	120	202	457.812	54180	255.812	16.2
24	0:47:51	2871	117	188	438.030	53640	250.030	15.5
25	0:49:51	2991	120	198	452.160	54000	254.160	16.0
26	0:51:15	3111	120	182	438.030	53640	256.030	15.5
27	0:53:54	3234	123	202	457.812	54180	255.812	16.2
28	0:55:58	3358	124	208	466.290	54540	258.290	16.5
29	0:57:58	3478	120	182	438.030	53640	256.030	15.5
30	1:02:00	3602	124	206	466.290	54540	260.290	16.5
ผลรวม			3602	5799	13403.718			
ค่าเฉลี่ย			120.07	193.30	446.79	53856	253.49	15.81

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	5799.00	ml/hr
	139.18	l/day
น้ำหนักของน้ำ	5.85	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย		$\frac{1}{278.61}$

ตารางผนวกที่ 5.7 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3

สถานที่ทำการทดลอง อาคารปฏิบัติการชลประทานวันที่ทำการทดลอง 18 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:01:59	119	119	186	440.856	53640	254.856	15.60
2	0:03:47	227	108	179	438.030	53640	259.030	15.50
3	0:05:46	346	119	202	466.290	54540	264.290	16.50
4	0:07:47	467	121	204	460.638	54360	256.638	16.30
5	0:09:42	582	115	176	440.856	53640	264.856	15.60
6	0:11:42	702	120	192	438.030	53640	246.030	15.50
7	0:13:41	821	119	178	440.856	53640	262.856	15.60
8	0:15:30	930	109	176	443.682	53820	267.682	15.70
9	0:17:20	1041	111	169	438.030	53640	269.030	15.50
10	0:19:09	1149	108	180	440.856	53640	260.856	15.60
11	0:21:10	1270	121	196	446.508	53820	250.508	15.80
12	0:23:03	1383	113	188	438.030	53640	250.030	15.50
13	0:25:01	1501	118	194	446.508	53820	252.508	15.80
14	0:26:53	1613	112	169	438.030	53640	269.030	15.50
15	0:28:53	1733	120	204	460.638	54360	256.638	16.30
16	0:30:52	1852	119	176	443.682	53820	267.682	15.70
17	0:32:45	1965	113	188	440.856	53640	252.856	15.60
18	0:34:42	2082	117	190	440.856	53640	250.856	15.60
19	0:36:35	2195	113	164	438.030	53640	274.030	15.50
20	0:38:32	2312	117	182	438.030	53640	256.030	15.50
21	0:40:21	2421	109	176	438.030	53640	262.030	15.50
22	0:42:21	2541	120	200	452.160	54000	252.160	16.00

ตารางผนวกที่ 5.7 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
23	0:44:18	2658	117	202	452.160	54000	250.160	16.00
24	0:46:12	2772	114	196	452.160	54000	256.160	16.00
25	0:48:12	2892	120	198	460.638	54360	262.638	16.30
26	0:50:15	3015	123	203	466.290	54540	263.290	16.50
27	0:52:16	3136	121	204	466.290	54540	262.290	16.50
28	0:54:17	3257	121	180	423.900	53100	243.900	15.00
29	0:56:14	3374	117	176	423.900	53100	247.900	15.00
30	0:58:14	3494	120	198	440.856	53640	242.856	15.60
31	1:00:13	3613	119	186	438.030	53640	252.030	15.50
ผลรวม			3494	5626	13352.85			
ค่าเฉลี่ย			116.47	187.53	445.10	53820	257.47	15.75

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	5626.00	ml/hr
	135.02	l/day
น้ำหนักของน้ำ	5.90	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย		$\frac{1}{286.99}$

ตารางผนวกที่ 5.8 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นสูง 3 เมตร ครั้งที่ 1

สถานที่ทำการทดลอง อาคารปฏิบัติการชลประทาน วันที่ทำการทดลอง 21 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:02:26	146	146	49	423.900	54000	374.900	15.0
2	0:04:46	286	140	56	438.030	54360	382.030	15.5
3	0:07:13	433	147	44	395.640	53100	351.640	14.0
4	0:09:34	574	141	43	404.118	53280	361.118	14.3
5	0:12:02	722	148	44	401.292	53280	357.292	14.2
6	0:14:24	864	142	42	395.640	53100	353.640	14.0
7	0:16:43	1003	139	40	395.640	53100	355.640	14.0
8	0:18:56	1136	133	39	395.640	53100	356.640	14.0
9	0:21:23	1283	147	52	432.378	54180	380.378	15.3
10	0:23:44	1424	141	40	395.640	53100	355.640	14.0
11	0:26:08	1568	144	58	443.682	54540	385.682	15.7
12	0:28:24	1704	136	60	446.508	54900	386.508	15.8
13	0:30:47	1847	143	56	438.030	54360	382.030	15.5
14	0:33:08	1988	141	38	395.640	53100	357.640	14.0
15	0:35:30	2130	142	42	395.640	53100	353.640	14.0
16	0:37:49	2269	139	48	412.596	53640	364.596	14.6
17	0:40:09	2409	140	50	423.900	54000	373.900	15.0
18	0:42:32	2552	143	51	423.900	54000	372.900	15.0
19	0:44:51	2691	139	38	395.640	53100	357.640	14.0
20	0:47:12	2832	141	44	401.292	53280	357.292	14.2
21	0:49:39	2979	147	52	432.378	54180	380.378	15.3
22	0:52:04	3124	145	48	412.596	53640	364.596	14.6

ตารางผนวกที่ 5.8 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
23	0:54:24	3264	140	50	423.900	54000	373.900	15.0
24	0:56:42	3402	138	34	395.640	53100	361.640	14.0
25	0:59:01	3541	139	40	395.640	53100	355.640	14.0
26	1:00:24	3684	143	36	395.640	53100	359.640	14.0
ผลรวม			3684.00	1194.00	10710.540			
ค่าเฉลี่ย			141.69	45.92	411.94	53605	366.02	14.58

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	1194.00	ml/hr
	28.656	l/day
น้ำหนักของน้ำ	1.25	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย		$\frac{1}{1167.36}$

ตารางผนวกที่ 5.9 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2

สถานที่ทำการทดลอง อาคารปฏิบัติการชลประทาน วันที่ทำการทดลอง21 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:02:19	139	139	42	395.640	53100	353.640	14.0
2	0:04:39	279	140	40	395.640	53100	355.640	14.0
3	0:07:00	420	141	44	409.770	53460	365.770	14.5
4	0:09:27	567	147	39	395.640	53100	356.640	14.0
5	0:11:47	707	140	53	438.030	54360	385.030	15.5
6	0:14:15	855	148	58	443.682	54540	385.682	15.7
7	0:16:34	994	139	44	404.118	53280	360.118	14.3
8	0:18:55	1135	141	38	395.640	53100	357.640	14.0
9	0:21:15	1275	140	34	395.640	53100	361.640	14.0
10	0:23:38	1418	143	55	438.030	54360	383.030	15.5
11	0:26:01	1561	143	46	415.422	53640	369.422	14.7
12	0:28:21	1701	140	38	395.640	53100	357.640	14.0
13	0:30:43	1843	142	46	412.596	53640	366.596	14.6
14	0:33:07	1987	144	44	395.640	53100	351.640	14.0
15	0:35:20	2120	133	34	395.640	53100	361.640	14.0
16	0:37:47	2267	147	39	395.640	53100	356.640	14.0
17	0:40:06	2406	139	52	429.552	54180	377.552	15.2
18	0:42:25	2545	139	48	409.770	53460	361.770	14.5
19	0:44:46	2686	141	50	423.900	54000	373.900	15.0
20	0:47:10	2830	144	52	435.204	54360	383.204	15.4
21	0:49:30	2970	140	44	432.378	54180	388.378	15.3
22	0:51:55	3115	145	46	423.900	54000	377.900	15.0

ตารางผนวกที่ 5.9 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม) นาที	วินาที	เวลา/รอบ วินาที	ปริมาณน้ำที่ได้ ml	ปริมาณน้ำเข้า ml	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม ml	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ml	ระยะยก cm
23	0:54:15	3255	140	50	423.900	54000	373.900	15.0
24	0:56:39	3399	144	42	409.770	53460	367.770	14.5
25	0:58:59	3539	140	49	423.900	54000	374.900	15.0
26	1:01:14	3674	135	38	395.640	53100	357.640	14.0
ผลรวม			3674.00	1165.00	10730.322			
ค่าเฉลี่ย			141.31	44.81	412.70	53612	367.90	14.60

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	1165.00	ml/hr
	27.96	l/day
น้ำหนักของน้ำ	1.23	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย		$\frac{1}{1196.43}$

ตารางผนวกที่ 5.10 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นสูง 3 เมตร ครั้งที่ 3

สถานที่ทำการทดลอง อาคารปฏิบัติการชลประทาน วันที่ทำการทดลอง 21 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:02:20	140	140	39	395.640	53100	356.640	14.0
2	0:04:38	278	138	36	395.640	53100	359.640	14.0
3	0:06:58	418	140	43	395.640	53100	352.640	14.0
4	0:09:19	559	141	49	412.596	53640	363.596	14.6
5	0:11:44	704	145	38	395.640	53100	357.640	14.0
6	0:14:06	846	142	50	423.900	54000	373.900	15.0
7	0:16:30	990	144	46	409.770	53460	363.770	14.5
8	0:18:54	1134	144	52	423.900	54000	371.900	15.0
9	0:21:09	1269	135	44	395.640	53100	351.640	14.0
10	0:23:29	1409	140	41	395.640	53100	354.640	14.0
11	0:25:50	1550	141	47	404.118	53280	357.118	14.3
12	0:29:10	1690	140	40	395.640	53100	355.640	14.0
13	0:31:29	1829	139	42	395.640	53100	353.640	14.0
14	0:33:44	1964	135	37	395.640	53100	358.640	14.0
15	0:36:08	2108	144	52	429.552	54180	377.552	15.2
16	0:38:38	2248	140	49	412.596	53640	363.596	14.6
17	0:40:46	2386	138	36	395.640	53100	359.640	14.0
18	0:43:05	2525	139	53	432.378	54180	379.378	15.3
19	0:45:26	2666	141	48	409.770	53460	361.770	14.5
20	0:47:43	2803	137	49	409.770	53460	360.770	14.5
21	0:50:02	2942	139	52	423.900	54000	371.900	15.0

ตารางผนวกที่ 5.10 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
22	0:52:22	3082	140	42	401.292	53280	359.292	14.2
23	0:54:42	3222	140	48	409.770	53460	361.770	14.5
24	0:56:00	3360	138	39	395.640	53100	356.640	14.0
25	0:58:17	3497	137	42	395.640	53100	353.640	14.0
26	1:00:37	3637	140	40	395.640	53100	355.640	14.0
ผลรวม			3637.00	1154.00	10546.632			
ค่าเฉลี่ย			139.88	44.38	405.64	53398	361.26	14.35

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	1154.00	ml/hr
	27.696	l/day
น้ำหนักของน้ำ	1.20	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย		$\frac{1}{1203.19}$

ตารางผนวกที่ 5.11 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นสูง 3.2 เมตร ครั้งที่ 1

สถานที่ทำการทดลอง อาคารปฏิบัติการชลประทาน วันที่ทำการทดลอง 22 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:02:18	138	138	9.0	367.380	54900	358.380	13.0
2	0:04:34	274	136	7.5	353.250	54000	345.750	12.5
3	0:06:54	414	140	8.5	367.380	54900	358.880	13.0
4	0:09:13	553	139	4.5	339.120	53100	334.620	12.0
5	0:11:33	693	140	10.0	367.380	54900	357.380	13.0
6	0:13:51	831	138	4.5	339.120	53100	334.620	12.0
7	0:16:06	966	135	5.0	339.120	53100	334.120	12.0
8	0:18:25	1105	139	6.5	339.120	53100	332.620	12.0
9	0:20:46	1246	141	7.5	353.250	54000	345.750	12.5
10	0:23:11	1391	145	6.0	339.120	53100	333.120	12.0
11	0:25:30	1530	139	7.5	353.250	54000	345.750	12.5
12	0:27:45	1665	135	10.5	367.380	54900	356.880	13.0
13	0:30:03	1803	138	8.0	353.250	54000	345.250	12.5
14	0:32:23	1943	140	9.0	367.380	54900	358.380	13.0
15	0:34:48	2088	145	8.5	367.380	54900	358.880	13.0
16	0:37:06	2226	138	8.0	353.250	54000	345.250	12.5
17	0:39:30	2370	144	5.5	339.120	53100	333.620	12.0
18	0:41:52	2512	142	5.0	339.120	53100	334.120	12.0
19	0:44:11	2651	139	9.5	367.380	54900	357.880	13.0
20	0:46:31	2790	139	4.5	339.120	53100	334.620	12.0
21	0:48:47	2927	137	7.0	353.250	54000	346.250	12.5
22	0:51:07	3067	140	7.5	353.250	54000	345.750	12.5

ตารางผนวกที่ 5.11 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
23	0:53:25	3205	138	5.0	339.120	53100	334.120	12.0
24	0:55:43	3349	144	5.5	339.120	53100	333.620	12.0
25	0:57:58	3484	135	6.0	339.120	53100	333.120	12.0
26	1:00:17	3623	139	7.5	353.250	54000	345.750	12.5
ผลรวม			3623.00	183.50	9127.980			
ค่าเฉลี่ย			139.35	7.06	351.08	53861.54	344.02	12.42

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	183.50	ml/hr
	4.404	l/day
น้ำหนักของน้ำ	0.20	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย		$\frac{1}{7629.11}$

ตารางผนวกที่ 5.12 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นสูง 3.2 เมตร ครั้งที่ 2

สถานที่ทำการทดลอง อาคารปฏิบัติการชลประทาน วันที่ทำการทดลอง 22 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:02:15	135	135	8.0	367.380	54900	359.380	13.0
2	0:04:34	274	139	5.5	353.250	54000	347.750	12.5
3	0:06:55	415	141	9.0	367.380	54900	358.380	13.0
4	0:09:17	557	142	7.0	353.250	54000	346.250	12.5
5	0:11:35	695	138	6.0	353.250	54000	347.250	12.5
6	0:13:50	830	135	7.0	353.250	54000	346.250	12.5
7	0:16:10	970	140	8.5	367.380	54900	358.880	13.0
8	0:18:35	1115	145	9.0	367.380	54900	358.380	13.0
9	0:20:57	1257	142	10.5	367.380	54900	356.880	13.0
10	0:23:16	1396	139	9.0	367.380	54900	358.380	13.0
11	0:25:38	1538	142	8.0	367.380	54900	359.380	13.0
12	0:27:53	1673	135	6.5	353.250	54000	346.750	12.5
13	0:30:14	1814	141	4.5	353.250	54000	348.750	12.5
14	0:32:38	1958	144	9.0	367.380	54900	358.380	13.0
15	0:34:55	2095	137	8.0	367.380	54900	359.380	13.0
16	0:37:09	2229	134	7.5	353.250	54000	345.750	12.5
17	0:39:29	2369	140	7.0	353.250	54000	346.250	12.5
18	0:41:50	2510	141	11.0	367.380	54900	356.380	13.0
19	0:44:11	2651	141	9.5	367.380	54900	357.880	13.0
20	0:46:28	2788	137	5.5	353.250	54000	347.750	12.5
21	0:48:47	2927	139	6.5	353.250	54000	346.750	12.5
22	0:51:06	3066	139	8.0	367.380	54900	359.380	13.0

ตารางผนวกที่ 5.12 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
23	0:53:31	3211	145	5.5	353.250	54000	347.750	12.5
24	0:55:52	3352	141	4.5	353.250	54000	348.750	12.5
25	0:58:07	3487	135	8.0	367.380	54900	359.380	13.0
26	1:00:24	3624	137	6.5	353.250	54000	346.750	12.5
ผลรวม			3624.00	195.00	9368.190			
ค่าเฉลี่ย			139.38	7.50	360.32	54450	352.82	12.75

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	195.00	ml/hr
	4.68	l/day
น้ำหนักของน้ำ	0.22	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย		$\frac{1}{7260}$

ตารางผนวกที่ 5.13 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นสูบน้ำขึ้นสูง 3.2 เมตร ครั้งที่ 3

สถานที่ทำการทดลอง อาคารปฏิบัติการชลประทาน วันที่ทำการทดลอง 22 กุมภาพันธ์ 2553

จัดทำโดย...1.น.ส.ขนิษฐา ศรีจรรยา รหัสนิสิต 49241896

2.น.ส.สุชาดา เกตุโชติ รหัสนิสิต 49242167

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
1	0:02:19	139	139	6.50	339.120	53100	332.620	12.0
2	0:04:35	275	136	7.00	353.250	54000	346.250	12.5
3	0:06:56	416	141	7.50	353.250	54000	345.750	12.5
4	0:09:17	557	141	8.50	367.380	54900	358.880	13.0
5	0:11:36	696	139	10.50	367.380	54900	356.880	13.0
6	0:13:53	833	137	6.00	339.120	53100	333.120	12.0
7	0:16:13	973	140	6.50	339.120	53100	332.620	12.0
8	0:18:38	1118	145	7.50	353.250	54000	345.750	12.5
9	0:20:55	1255	137	4.50	339.120	53100	334.620	12.0
10	0:23:19	1399	144	6.00	339.120	53100	333.120	12.0
11	0:25:41	1541	142	9.50	367.380	54900	357.880	13.0
12	0:28:03	1683	142	7.50	353.250	54000	345.750	12.5
13	0:30:20	1820	137	9.00	367.380	54900	358.380	13.0
14	0:32:38	1958	138	7.50	339.120	53100	331.620	12.0
15	0:35:02	2102	144	8.50	367.380	54900	358.880	13.0
16	0:37:23	2243	141	8.50	367.380	54900	358.880	13.0
17	0:39:43	2383	140	5.50	339.120	53100	333.620	12.0
18	0:42:00	2520	137	6.00	339.120	53100	333.120	12.0
19	0:44:18	2658	138	4.50	339.120	53100	334.620	12.0
20	0:46:38	2798	140	7.00	353.250	54000	346.250	12.5
21	0:49:02	2942	144	10.50	367.380	54900	356.880	13.0
22	0:51:24	3084	142	8.00	367.380	54900	359.380	13.0

ตารางผนวกที่ 5.13 (ต่อ)

ครั้งที่	เวลา (สะสม)		เวลา/รอบ	ปริมาณน้ำที่ได้	ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ใช้ยกปั๊ม	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ระยะยก
	นาที	วินาที	วินาที	ml	ml	ml	ml	cm
23	0:53:45	3225	141	10.00	367.380	54900	357.380	13.0
24	0:56:01	3361	136	9.50	367.380	54900	357.880	13.0
25	0:58:20	3500	139	6.50	339.120	53100	332.620	12.0
26	1:00:41	3641	141	5.00	339.120	53100	334.120	12.0
ผลรวม			3641.00	193.50	9170.370			
ค่าเฉลี่ย			140.04	7.44	352.71	53965	345.26	12.48

ปริมาณน้ำที่ได้ทั้งหมด	193.50	ml/hr
	4.644	l/day
น้ำหนักของน้ำ	0.20	kg
อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย		$\frac{1}{7253.36}$

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

การคำนวณแรงลอยตัว

ปริมาตรทุ่น 1 ทุ่น = พื้นที่หน้าตัดของท่อ × ความยาวของท่อ

∴ ปริมาตรทุ่น 1 ทุ่น = $\frac{\pi}{4} \times 0.089^2 \times 0.29$

= 1.81×10^{-3} m^3

ปริมาตรทุ่น 6 ทุ่น = $1.81 \times 10^{-3} \times 6$

= 0.010825 m^3

= 10.825 litre

เปรียบเทียบกับน้ำหนักจะได้ = 10.825 litre = 10.825 kg

ปริมาตรทุ่น 1 ทุ่น ที่ฝาครอบ = $\frac{\pi}{4} \times 0.099^2 \times 0.16$

= 1.23×10^{-3} m^3

ปริมาตรทุ่นที่ฝาครอบ 6 ทุ่น = $1.23 \times 10^{-3} \times 6$

= 0.0073897 m^3

= 7.3897 litre

ปริมาตรลูกลอยที่ใช้ดึงสลัก 2 ลูก = $\frac{4}{3}\pi r^3$

= $\frac{4}{3}\pi(0.065)^3 \times 2$

= $1.15 \times 10^{-3} \times 2$

ปริมาตรลูกลอยที่ใช้ดึงสลัก = $\frac{1}{2} \times 2.300 \times 10^{-3}$

= 1.15 kg

∴ แรงลอยตัวทั้งหมด = $10.825 + 7.3897 + 1.15$

= 19.364 kg

น้ำหนักของตัวปั๊มและทุ่นลอย = 8.63 kg

น้ำหนักน้ำเมื่อปั๊มอยู่ในน้ำ = 0.85 kg

∴ แรงลอยตัวสุทธิ = $19.364 - 8.63 - 0.85$

= 9.884 kg

คำนวณแรงดันที่เกิดขึ้นจริงจากการทดลอง

จาก $P = \rho h$

$$P = 1000 \times 3.0855$$
$$P = 3085.5 \quad Kg/m^2.$$

$$F = P \times A$$
$$F = 3085.5 \times \frac{\pi}{4} \times 0.061^2$$
$$F = 9.017 \ kg.$$

∴ แรงดันที่เกิดขึ้นจริงจากการทดลอง = 9.017 kg.

คำนวณความสูงของน้ำ

$$F = P \times A$$
$$9.884 = 1000 \times h \times \frac{\pi}{4} \times 0.061^2$$
$$h = 3.383 \quad m.$$

∴ ความสูงของน้ำ = 3.383 m.

คำนวณประสิทธิภาพการทำงานเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

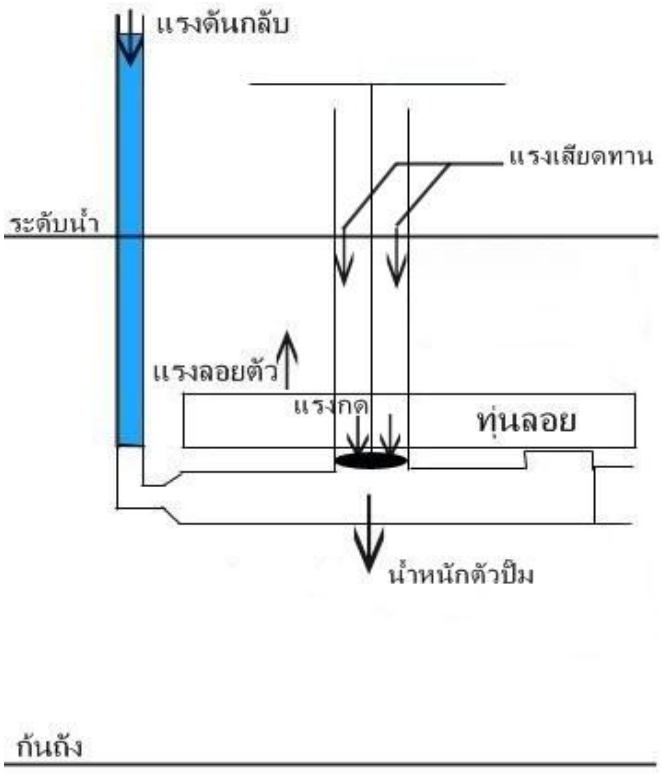
$$\frac{\text{ระดับความสูงของน้ำที่ได้จริง}}{\text{ระดับความสูงของน้ำจากทฤษฎี}} = \frac{3.20}{3.383} \times 100\%$$

$$= 94.59\%$$

คำนวณอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวเครื่องสูบน้ำ

$$1/\frac{\text{ปริมาณน้ำที่ได้เฉลี่ย}}{\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ยกตัวปั๊ม}} = \frac{1}{\frac{45.92}{53605}}$$

$$= \frac{1}{1167.36}$$



ภาพที่ผนวก5.1 แรงต่างๆภายในแบบจำลองเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

คำนวณ Performance Chart ของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

จากแรงลอยตัวสุทธิที่คำนวณได้ = 9.89 kg.

ประสิทธิภาพกลไกการทำงาน = 94.59% = 0.946

จำนวนทุ่นลอยที่ใช้ในการทดลอง 6 ทุ่น

ดังนั้น แฟกเตอร์ที่ใช้เทียบหาระยะความสูงในการสูบน้ำที่ควรจะเป็น

$$= \frac{9.89}{6}$$

$$= 1.648$$

เมื่อต้องการคำนวณที่ระดับความสูงที่ 6 m.

ระยะความสูงที่ควรจะเป็น $= \frac{6}{0.946}$

$$= 6.34 .$$

หาแรงลอยตัวที่ระยะความสูง 6 m.

$$= \left(6.34 \times 1000\right)\left(\frac{\pi}{4} \times 0.061^{2}\right)$$

$$= 18.54 \text{ kg.}$$

หาจำนวนทุ่นลอยที่จะต้องใช้ที่ระยะความสูง 6 m.

$$= \frac{18.54}{1.648}$$

$$= 11.25 \text{ ทุ่น}$$

ดังนั้น จำนวนทุ่นลอยที่จะต้องใช้ที่ระยะความสูง 6 m. เท่ากับ 12 ทุ่น

จากการคำนวณได้ตารางเทียบคุณสมบัติของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น ดังนี้

ความสูง (m)	ความสูงที่ควรจะเป็น (m.)	แรงลอยตัว (kg.)	จำนวนทุ่นลอย (ทุ่น)
6	6.34	18.54	11.25
5.5	5.81	17.00	10.31
5	5.29	15.45	9.38
4.5	4.76	13.91	8.44
4	4.23	12.36	7.50
3.5	3.70	10.82	6.56
3.2	3.38	9.89	6.00
3	3.17	9.27	5.63
2.5	2.64	7.73	4.69
2	2.11	6.18	3.75
1.5	1.59	4.64	2.81
1	1.06	3.09	1.88

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นจากการคำนวณ

คำนวณค่าไฟที่ใช้เปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องสูบน้ำใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

เลือกใช้เครื่องสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้ารุ่น HURRICANE 150 ที่ใช้ไฟ 150 วัตต์ สามารถสูบน้ำได้ 20 ลิตร/ชั่วโมง โดยคิดที่ค่าไฟหน่วยละ 5 บาท คำนวณที่การเปิดเครื่องสูบน้ำไฟฟ้าที่ 40 นาทีใน 1 วัน ซึ่งเท่ากับ 0.67 ชั่วโมง และจะได้น้ำเท่ากับ 800 ลิตรในหนึ่งวัน ซึ่งเทียบกับการเปิดเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นในหนึ่งวันที่จะได้ปริมาณน้ำ 788.6 ลิตรในหนึ่งวัน

ดังนั้นค่าไฟ $= \frac{150 \times 0.67}{1000} \times 5 = 0.5$ บาท/วัน

$= 15$ บาท/เดือน

$= 182.5$ บาท/ปี

งบประมาณที่ใช้สำหรับตัวเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

งบประมาณเฉพาะตัวเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่ใช้สแตนเลสเป็นวัสดุ 3,500 บาท
งบประมาณทั้งหมดตลอดการวิจัย 30,000 บาท

ภาคผนวก ค

ภาพอุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

ค.1. เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่ผลิตจากท่อ PVC

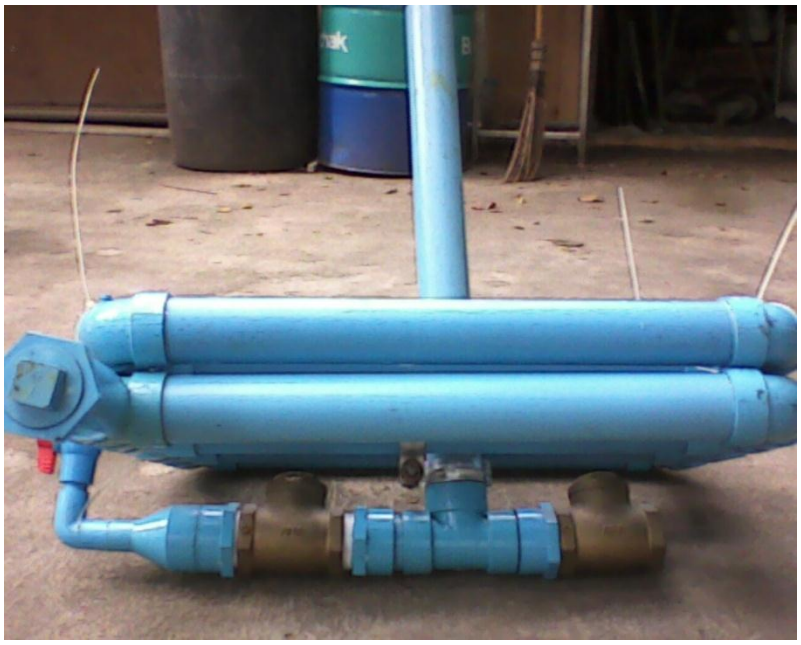
ภาพผนวกที่ ค.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้

ภาพผนวกที่ ค.1.2 Check Vale

ภาพผนวกที่ ค.1.3 ลูกสูบและแกนลูกสูบ

ภาพผนวกที่ ค.1.4 ตัวเครื่องสูบน้ำ

ภาพผนวกที่ ค.1.5 ทุ่นลอย



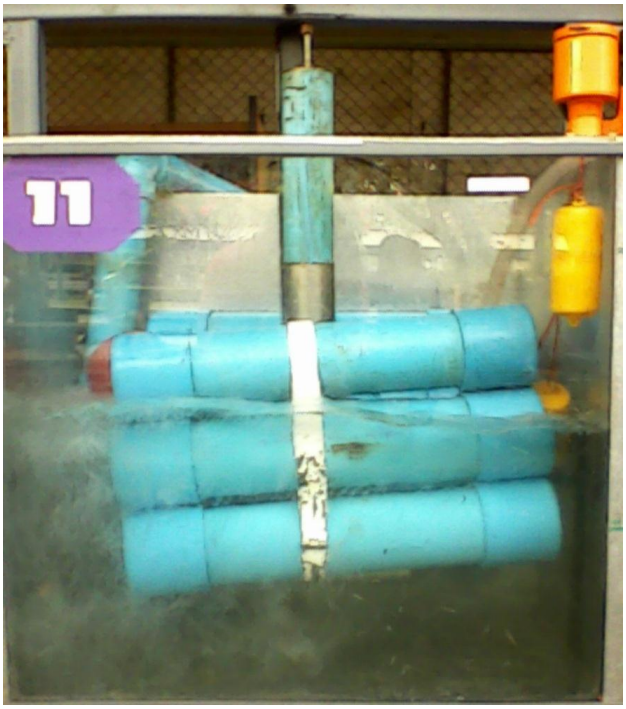
ภาพผนวกที่ ค.1.6 เครื่องสูบน้ำที่ประกอบสมบูรณ์พร้อมใช้งาน

ค.2 เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่ผลิตจากท่อสแตนเลส

ภาพผนวกที่ ค.2.1 ลูกสูบกับตัวเครื่องสูบน้ำ

ภาพผนวกที่ ค.2.1 ทุ่นลอย

ภาพผนวกที่ ค.2.2 เครื่องสูบน้ำที่ประกอบสมบูรณ์



ภาพผนวกที่ ค.2.3 การทดลองเครื่องสูบน้ำ

ภาคผนวก ง

ภาพการจัดทำเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

ง.1 เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่ผลิตจากท่อ PVC

ภาพผนวกที่ ง.1.1 ตัดท่อ PVC ขนาดต่างๆ

ภาพผนวกที่ ง.1.2 ประกอบตัวทุ่นลอย

ภาพผนวกที่ ง.1.3 แบบการประกอบตัวเครื่องสูบน้ำพลังคลื่น

ภาพผนวกที่ ง.1.4 หลังการประกอบตัวเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

ภาพผนวกที่ ง.1.5 การนำตัวเครื่องสูบน้ำกับตัวทุ่นลอยมาประกอบกัน

ง.2 เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นที่ผลิตจากท่อสแตนเลส

ภาพผนวกที่ ง.2.1 ท่อ PVC ที่ตามขนาดที่วัดไว้เพื่อนำมาใช้เป็นทุ่นลอย

ภาพผนวกที่ ง.2.2 การประกอบตัวทุ่นลอย

ภาพผนวกที่ ง.2.3 การประกอบตัวเครื่องสูบน้ำกับตัวทุ่นลอยเข้าด้วยกัน

ภาพผนวกที่ ง.2.4 การนำเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นออกแสดงในงานเกษตร กำแพงแสน ปีพ.ศ. 2552