โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(207499)

ที่ 13/2552

เรื่อง

การศึกษาและพัฒนาเครื่องตะบันน้ำจากวัสดุที่มีหน่ายทั่วไป

(Study and Development of Hydraulic Ram from Materials Available to General)

โดย

นายวีระพงษ์ เพ็งแจ่ม

นางสาวชญานี น้อมนพ

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2552

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมชลประทาน

เรื่อง : การศึกษาและพัฒนาเครื่องตะบันน้ำจากวัสดุที่มีหน่ายทั่วไป

(Study and Development of Hydraulic Ram from Materials-Available to General)

นามผู้ทำโครงงาน : นายวีระพงษ์ เพ็งแจ่ม

นางสาวชญานี น้อมนพ

ได้รับพิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี)

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

หัวหน้าภาควิชา .....

(รศ.สันติ ทองพำนัก)

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

บทคัดย่อ

เรื่อง : การศึกษาและพัฒนาเครื่องตะบันน้ำจากวัสดุที่มีหน่ายทั่วไป
(Study and Development of Hydraulic Ram from Materials-Available to General)

นามผู้ทำโครงงาน : นายวีระพงษ์ เพ็งแจ่ม
นางสาวชญานี น้อมนพ

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : .....
(อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี)
...../...../.....

โครงงานวิศวกรรมชลประทานนี้ได้ศึกษาหลักการทำงานของตะบันน้ำ(Hydraulic Ram) สามารถการออกแบบและสร้างเครื่องตะบันน้ำจากวัสดุที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป เครื่องตะบันใช้หลักการของค้อนน้ำ (Water hammer) ในการทำให้เกิดแรงดันเพื่อส่งน้ำขึ้นไปตามท่อส่งสู่ถังเก็บน้ำ ในโครงงานนี้ได้ทำการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของตะบันน้ำ เพื่อลดการสูญเสียน้ำและเพิ่มปริมาณน้ำที่ส่งขึ้นเก็บกัก

จากการทดลองพบว่าเครื่องตะบันน้ำมีประสิทธิภาพการทำงานแปรผกผันกับระดับความสูงของน้ำที่ส่งขึ้น สามารถสรุปได้ว่าตะบันน้ำที่สร้างขึ้นสามารถส่งน้ำได้ด้วยอัตราการไหลเฉลี่ย 2937.6 ลิตรต่อวัน ที่ระดับความสูง 3.2 เท่า จากระดับแหล่งน้ำต้นทุนที่ 2.5 เมตร

เครื่องตะบันน้ำที่สร้างในโครงงานนี้ มีความสามรถทำงานได้เมื่อเทียบเท่ากับตะบันน้ำที่มีจำหน่ายในท้องตลาด มีประสิทธิภาพใกล้กับค่าที่ได้จากทฤษฎี จากการทดลองระดับน้ำที่ส่งเข้าตะบันน้ำ และจำนวนครั้งในการกระแทกของลิ้นน้ำทิ้ง (Waste valve) มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการส่งน้ำของตะบันน้ำ เครื่องตะบันน้ำที่สร้างได้มีสามารถทำงานได้เองอย่างต่อเนื่อง ประหยัดการใช้พลังงานและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ABSTRACT

Title : **Study and Development of Hydraulic Ram from Materials-Available to General**

By : **Mr. Weerapong Pengjam**

Miss. Chayanee Nomnop

Project Advisor : **.....**

(Dr.Chirakarn Sirivitmaitrie)

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

The objective of this project was to study the principle of Hydraulic Ram. The design of Hydraulic Ram was mainly from materials available in a general hardware store. Hydraulic Ram uses phenomenal called "water hammer" to produce pressure in order to deliver water up to a tank in higher ground. In this project, a pump was build and tested with the intention to reduce loss water and improve deliver flow rate.

Consequenly, the test shows inverse result between performance and level of water delivered. Therefore, the pump delivers water up to 2937.6 liters/day for the height of 3.2 times of 2.5 meters source water.

This project produces a Hydraulic Ram with equivalent result to commercial Hydraulic Ram. The pump shows comparable performance to theoretical. As a result, height of source water and number of impact of the waste valve is highly effect to delivery of water. The advantages of Hydraulic Ram are automatically work, save energy, and save our environment.

คำนิยม

โครงงานวิศวกรรมชลประทาน (Irrigation Engineering Project : 207499) เรื่อง การศึกษาและพัฒนาเครื่องตะบันน้ำจากวัสดุที่มีหน่ายทั่วไป(Study and Development of Hydraulic Ram from Materials Available to General) เป็นการศึกษาของนิสิตชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ก็ด้วยการสนับสนุน ชี้แนะ ให้คำปรึกษา ให้ความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี และขอขอบพระคุณ คณะท่านอาจารย์ และ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน ประสาทวิชาความรู้ให้ และได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานวิศวกรรมชลประทานมาด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอนให้เป็นคนดีในสังคม และต้องทำงานด้วยความเหนื่อยยาก เพื่อให้ผู้จัดทำโครงการได้มีโอกาสศึกษาเล่าเรียน รวมทั้ง พี่ๆ เพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ประโยชน์และความดีทั้งหลาย อันได้รับจากโครงงานวิศวกรรมฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ผู้มีพระคุณทุกท่าน นายสุรพล เจริญชีพ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่าน

นายวีระพงษ์ เพ็งแจ่ม
นางสาวชญานี น้อมนพ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
คำนิยม	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
2.1 การแยกประเภทปั๊ม	4
2.2 พลังงานทดแทน	10
2.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	11
2.2.2 พลังงานลม	15
2.2.2 พลังงานน้ำ	19
2.3 เครื่องตะบันน้ำ (Hydraulic ram pump)	23
2.3.1 ทฤษฎีของไฮดรอลิคแรม	26
2.3.2 วอเตอร์แฮมเมอร์ (water Hammer)	30
2.3.3 คุณสมบัติของของไหล	36
2.3.4 ความดันและเฮด	39
2.3.5 การไหลในท่อปิด	45

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.6 การเสียเฮดความฝืด	46
2.3.7 การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ	51
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	54
3.1 สถานที่ทำการทดลอง	54
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	54
3.3วิธีการทดลอง	55
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	57
4.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำทิ้ง และระดับของเฮดเริ่มต้น	58
4.2 การศึกษาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดเริ่มต้น และความสามารถส่งได้ 5 เมตร	59
4.3 การศึกษากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูง	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผลการทดลอง	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	64
ภาคผนวก ก รายการคำนวณ	65
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง	73
ภาคผนวก ค ประสิทธิภาพการทำงานของตะบันน้ำ	78
ภาคผนวก ง ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสูบน้ำกับปริมาณน้ำที่ได้Headเริ่มต้น	81
ภาคผนวก จ ส่วนประกอบและหลักการทำงานของตะบันน้ำ	84

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราส่วน $\frac{K}{E}$ สำหรับการไหลของน้ำในท่อที่ทำด้วยวัสดุต่าง ๆ	31
2	คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ	38
3	รายละเอียด ชื่อขนาด และมิติ ท่อโพลีไวนิลคลอไรด์แข็ง (PVC) “ท่อน้ำไทย”	49
4	ความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่	50
5	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์ (k)	51
6	ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหลขอข้อต่อท่อชนิดต่างๆ	53
7	ขนาดและจำนวนอุปกรณ์ที่นำมาประกอบเครื่องตะบันน้ำชุดสาธิต	54
8	ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง	56

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปั๊มหอยโข่ง	6
2	กราฟสมรรถนะการทำงานของปั๊มหอยโข่ง	6
3	ปั๊มแบบสูบชัก	7
4	กราฟสมรรถนะการทำงานของปั๊มสูบชัก	7
5	การจำแนกประเภทปั๊ม	8
6	Block diagram ลักษณะของระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	12
7	รูประบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และถังเก็บน้ำ	13
8	องค์ประกอบของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และถังเก็บน้ำ	14
9	ส่วนประกอบของกังหันลมสูบน้ำ	18
10	ส่วนประกอบของกังหันน้ำแบบทุนลอย	22
11	Hydraulic Ram Pump ของ Montagolfier	24
12	ลักษณะปั๊มที่มีการใช้งานในปัจจุบัน	25
13	ลักษณะทั่วไปของไฮดรอลิคแรม	34
14	การทำงานของไฮดรอลิคแรม	35
15	ความดันบรรยากาศ	39
16	คำจำกัดความของเฮดสถิต	42
17	ตำแหน่งที่เกิดการสูญเสียพลังงานหรือเฮดในระบบท่อและอุปกรณ์	43
18	Moody diagram สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด	48
19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำทิ้ง และระดับของเฮดเริ่มต้น	58
20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดเริ่มต้นและความสามารถส่งได้ 5 เมตร	59
21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูง	60

บทที่ 1

บทนำ

ไฮดรอลิกแรม ประดิษฐ์ขึ้นอันเนื่องมาจาก เมื่อวันที่ 8 มกราคม พ.ศ.2522 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว พร้อมด้วยสมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และพระเจ้าลูกเธอเจ้าฟ้าจุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ อัคคราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินทอดพระเนตรโครงการชลประทาน ฝายแม่มอญ อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง ทรงมีพระราชกระแสว่า “ไฮดรอลิคแรม” มีชื่อเรียกกันหลายอย่างบ้างก็เรียกว่า “แรมปั๊ม” บ้างก็เรียกว่า“ วอเตอร์แรม ” หรือชาวภาคเหนือเรียกว่า “ตะบันน้ำ” ซึ่งที่จริงไม่ใช่ของใหม่อะไร เครื่องสูบน้ำแบบนี้ได้เริ่มประดิษฐ์ออกใช้งานแห่งแรกที่ประเทศอังกฤษ เมื่อประมาณที่ 210 ปีมาแล้ว ในระยะนั้นมักจะใช้กับประเทศที่ด้อยพัฒนาที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้า ขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง และใช้กับท้องที่ที่อยู่บนภูเขาห่างไกลความเจริญก้าวหน้า และในขณะที่ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงราคาถูก ที่ฝายนี้มีน้ำดี น่าจะพิจารณาใช้พลังงานจากน้ำให้ประโยชน์เช่นเดียวกันกับที่ฝายแม่แฝก อำเภอแม่ริน จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นเครื่องของต่างประเทศ จึงได้พระราชทานพระราชดำริให้กรมชลประทานรื้อฟื้นดัดแปลงและประดิษฐ์ขึ้นมาใหม่และนำไปติดตั้งใช้งานสูบน้ำขึ้นสู่พื้นที่สูงให้แก่เกษตรกรได้มีน้ำใช้ปลูกพืชสวนครัวได้พอสมควร จึงได้มีการพัฒนาไฮดรอลิคแรมขึ้นใช้กันอย่างแพร่หลายในโครงการชลประทานต่างๆ ตั้งแต่บัดนั้นเป็นต้นมา โดยที่ไฮดรอลิคแรมเป็นเครื่องปั๊มน้ำชนิดหนึ่งที่อาศัยพลังงานจากธรรมชาติเป็นตัวสร้างพลังงานเพื่อที่จะปั๊มน้ำส่งไปยังระดับที่สูงกว่า โดยไม่ต้องใช้ไฟฟ้าหรือแหล่งกำลังงานที่มนุษย์สร้างขึ้น เป็นกระบวนการอัตโนมัติและต่อเนื่อง โดยอาศัยแรงกระแทกจากน้ำหรือวอเตอร์แฮมเมอร์ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย การทำงานเพียงแต่ใช้ความเร็วของน้ำมากๆ เพื่อเกิดแรงกระแทกของน้ำ จากนั้นเครื่องจะทำงานไปอย่างต่อเนื่อง ไฮแดรมเริ่มมีใช้มาหลายร้อยปีแล้วแต่ไม่ค่อยนิยมใช้กันเนื่องจากมีข้อจำกัดหลายๆอย่าง เช่น ประสิทธิภาพของการทำงานที่ได้ต่ำกว่าเครื่องปั๊มน้ำชนิดอื่นๆ มีการสูญเสียน้ำในกระบวนการมากกว่าที่สูบได้เนื่องจากมีน้ำส่วนมากปล่อยไหลออกทางวาล์วน้ำทิ้ง และอีกส่วนหนึ่งจะถูกสูบยกขึ้น จึงเหมาะสำหรับพื้นที่ไม่มีไฟฟ้าหรือเครื่องสูบน้ำอื่นที่เข้าได้ยาก

ที่มาของโครงงาน

เกิดจากความสนใจในเรื่องของปั๊มน้ำเป็นพิเศษ จึงพยายามจะศึกษาปั๊มน้ำแบบต่างๆ ที่ใช้พลังงานจากธรรมชาติ ไม่จำเป็นต้องสิ้นเปลืองไฟฟ้าหรือพลังงานจากเครื่องยนต์ที่นับวันจะน้อยลงและมีราคาแพงขึ้น และครอลิคแรมเป็นปั๊มน้ำที่น่าสนใจชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการ และในสภาวะปัจจุบันที่แหล่งพลังงานที่มีอยู่เริ่มที่จะลดน้อยลง ทำให้ต้องหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทน มีการนำเอาแหล่งพลังงานที่เกิดจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์สูงสุด เพราะว่าพลังงานที่ได้จากธรรมชาติไม่มีค่าใช้จ่ายในการทำงานเหมือนพลังงานประเภทอื่น ทางคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นความสำคัญในข้อนี้ จึงได้นำมาเป็นหัวข้อในการศึกษาและค้นคว้า เพื่อที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของไฮดรอลิคแรมให้ดียิ่งขึ้น เพื่อประโยชน์ในการใช้งานที่สูงสุดต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหลักการทำงานของ เครื่องตะบันน้ำ
2. ออกแบบและสร้าง เครื่องตะบันน้ำชุดสาธิต
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสูบไฮดรอลิคแรมในการเอาไปใช้งานได้จริง

ขอบเขตของโครงงาน

1. เครื่องตะบันน้ำสูบน้ำได้สูงกว่าแหล่งน้ำต้นทุนประมาณ 2 – 3 เท่า
2. สร้าง เครื่องตะบันน้ำชุดสาธิต ด้วยอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายตามท้องตลาด

ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ได้รับความรู้หลักการจากการทำงานของ เครื่องตะบันน้ำ
2. ได้รับความรู้เกี่ยวกับประสิทธิภาพของ เครื่องตะบันน้ำ
3. สามารถนำเครื่องตะบันน้ำไปประยุกต์ให้เกิดประโยชน์
4. สามารถนำไปออกแบบและนำไปใช้งานได้จริง
5. สามารถสร้างได้ง่ายรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ
6. สามารถดูเครื่องตะบันน้ำแล้วเข้าใจหลักการทำงานได้ชัดเจน

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ เครื่องตะบันน้ำเช่น หลักการทำงาน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ข้อดี ข้อเสียของ เครื่องตะบันน้ำ
2. วางแผนการดำเนินงานของโครงการและทำงานตามหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย
3. วิเคราะห์และออกแบบโดยพิจารณาวัสดุที่นำมาทำชิ้นงานตามหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย
5. นำเครื่อง เครื่องตะบันน้ำที่ได้ไปทดสอบ
6. ทำการปรับปรุงแก้ไขข้อเสียและทดสอบประสิทธิภาพของปั๊ม
7. สรุปผลการทำงานและบันทึกผลการทดลอง
8. จัดทำรูปเล่มโครงงาน

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

เครื่องปั๊มน้ำหรือเครื่องสูบน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วงส่งผ่านพลังงานจากแหล่งต้นกำเนิดไปยังของเหลว เพื่อทำให้ของเหลวเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งที่อยู่สูงกว่าหรือ ในระยะทางที่ไกลออกไป โดยจุดเริ่มต้นของเครื่องปั๊มน้ำนี้มีประวัติศาสตร์ที่ยาวนานมากกว่า 2,000 ปี ก่อนคริสตศักราช ซึ่งในช่วงเริ่มแรกมีการใช้พลังงานที่ได้จากมนุษย์ สัตว์ ต่อมาจึงได้ใช้พลังงานจากธรรมชาติ เช่น พลังงานจากลมและน้ำเป็นแหล่งต้นกำเนิด ซึ่งในช่วงแรกเพียงเพื่อการอุปโภคบริโภคและทำการเกษตรเท่านั้น

ในปัจจุบันเครื่องปั๊มน้ำจัดเป็นอุปกรณ์เครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างมาก เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยจัดส่งน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค การเกษตร คมนาคม อุตสาหกรรม ตลอดจนการบำบัดน้ำเสียเพื่อรักษาสภาวะแวดล้อมที่ดีให้กับมนุษย์ ซึ่งวิวัฒนาการของเครื่องปั๊มน้ำในปัจจุบันได้เปลี่ยนไปจากเดิมที่ใช้พลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาเป็นการใช้พลังงานจากไอน้ำ จากเครื่องยนต์ จากมอเตอร์ และที่นิยมกันมาก คือ การใช้ไฟฟ้า เนื่องจากความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน (วิบูลย์, 2529)

2.1การแยกประเภทปั๊ม

ปัจจุบันได้มีการจัดแบ่งแยกประเภทของปั๊มหลายรูปแบบ และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปมากมาย ดังนั้นจึงมีการจัดหมวดหมู่ออกได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ

2.1.1 แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม ซึ่งได้แก่

ก.ประเภทเซนตริฟูกอล (Centrifugal) หรือปั๊มแรงเหวี่ยง เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ปั๊มแบบนี้จะทำงานโดยอาศัยการหมุนของใบพัด (Impeller) ที่ได้รับการถ่ายเทกำลังจากเครื่องยนต์ต้นกำลังหรือมอเตอร์ไฟฟ้า โดยหลักชลศาสตร์เมื่อของเหลวถูกหมุนให้เกิดแรงหนีจุดศูนย์กลาง ความกดดันของของเหลวจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของ

2.1.1 แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม (ต่อ)

ใบพัดมากขึ้น เช่น ปั๊มหอยโข่ง ในการทำงานของปั๊มหอยโข่ง การหมุนของใบพัดทำให้เกิดแรงเหวี่ยงไปผลักดันให้ของเหลวไหลตลอดแนวเส้นรอบวงเรือนปั๊ม จะทำหน้าที่รวบรวมของเหลวไปสู่ทางออก ทำให้ของเหลวมีเฮดรวม (Total dynamic head, H_{TDH}) และทางออกของของไหลออกจะทำมุม 90 องศากับทางของเหลวไหลเข้า ยิ่งใบพัดหมุนเร็วก็ยิ่งต้องใช้พลังงานมาก ทำให้เฮดสูงและของเหลวไหลมาก (วิบูลย์, 2529)

โดยทั่วไปการทำงานของปั๊มหอยโข่งมีหลักดังนี้

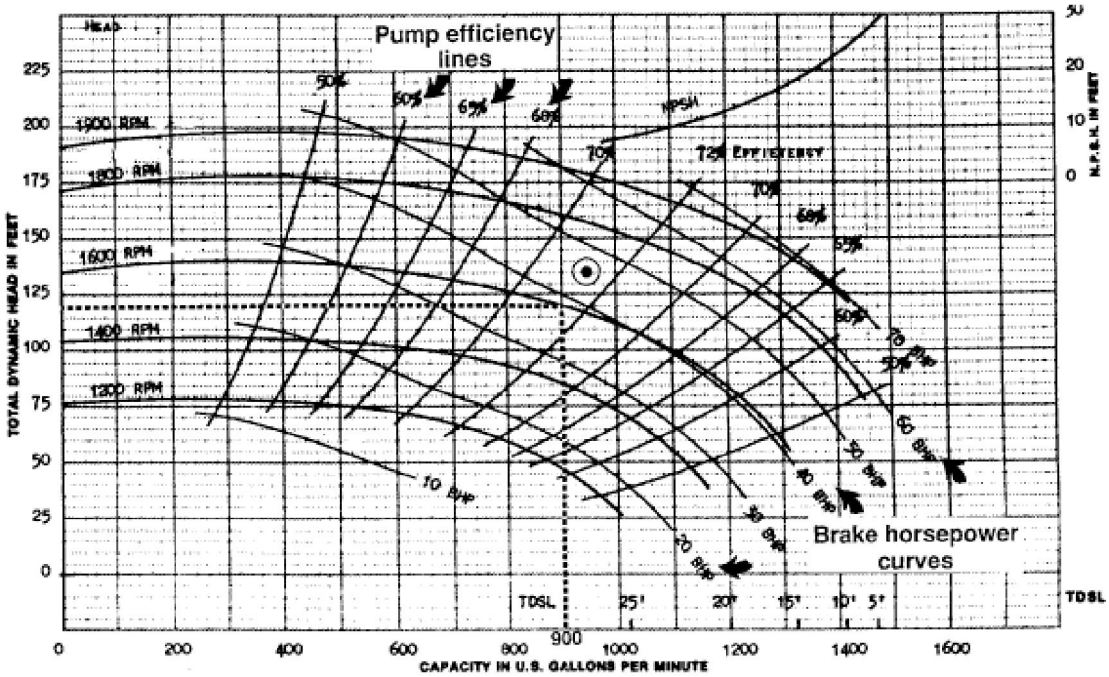
- อัตราการไหลเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับความเร็วรอบของปั๊ม
- หัวน้ำรวมเป็นอัตราส่วนกำลังสองของความเร็วรอบของปั๊ม
- พลังงานที่ใช้เป็นอัตราส่วนกำลังสามของความเร็วรอบของปั๊ม

ภาพที่1 ปั๊มหอยโข่ง

ที่มา : วิบูลย์ (2529)

2.1.1 แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม (ต่อ)

สมรรถนะของปั๊มหอยโข่งโดยทั่วไปจะเป็นไปตามกราฟข้างล่าง



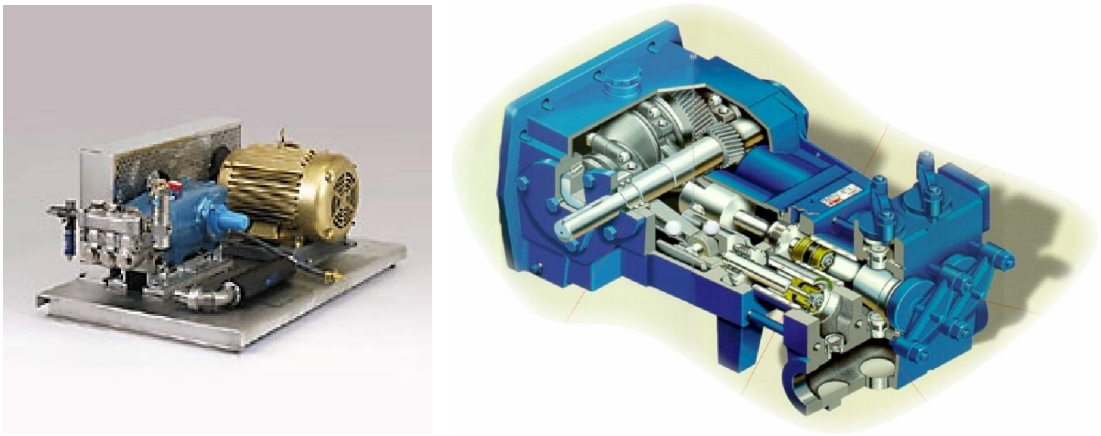
ภาพที่ 2 กราฟสมรรถนะการทำงานของปั๊มหอยโข่ง

ที่มา : วิบูลย์ (2529)

ข. ประเภทโรตารี่ (Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง เป็นการทำงานโดยของเหลวถูกดูดเข้าไปและอัดปล่อยออกโดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกลซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับชิ้นส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์ (Rotor) จนกว่าจะถึงด้านจ่าย

ค. ประเภทสูบชัก (Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ ปั๊มแบบนี้ประกอบด้วยกระบอกสูบซึ่งเคลื่อนที่ไปมาเป็นเส้นตรง โดยการหมุนของแกนซึ่งมีก้านสูบแบบเดียวกับเครื่องยนต์สูบชัก โดยการจัดระบบวาล์วปิด-เปิด ให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ซึ่งทำให้ของเหลวถูกดูดเข้าไปยังช่องว่างของกระบอกสูบและลูกสูบโดยผ่านวาล์วตัวหนึ่ง และเมื่อลูกสูบเดินกลับ ของเหลวนี้ก็จะไหลออกไป โดยผ่านวาล์วอีกตัวหนึ่ง ทำให้สามารถผลักดันของเหลวออกไปได้ทั้งด้านหน้าและด้านหลังลูกสูบปั๊มแบบนี้จัดอยู่ในประเภทที่ผลักดันของเหลวออกไปทางด้านจ่ายได้แน่นอน (Positive Displacement) ไม่ว่าความดันทางด้านจ่ายจะมากหรือน้อย

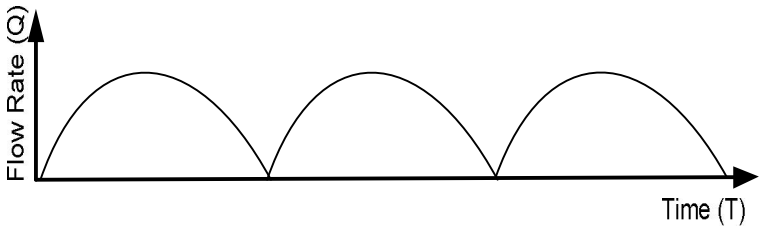
2.1.1 ยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม (ต่อ)



ภาพที่ 3 ปั๊มแบบสูบชัก

ที่มา : วิบูลย์ (2529)

ปั๊มแบบนี้จะมีสมรรถนะการทำงานตามภาพข้างล่าง



ภาพที่ 4 กราฟสมรรถนะการทำงานของปั๊มสูบชัก

ที่มา : วิบูลย์ (2529)

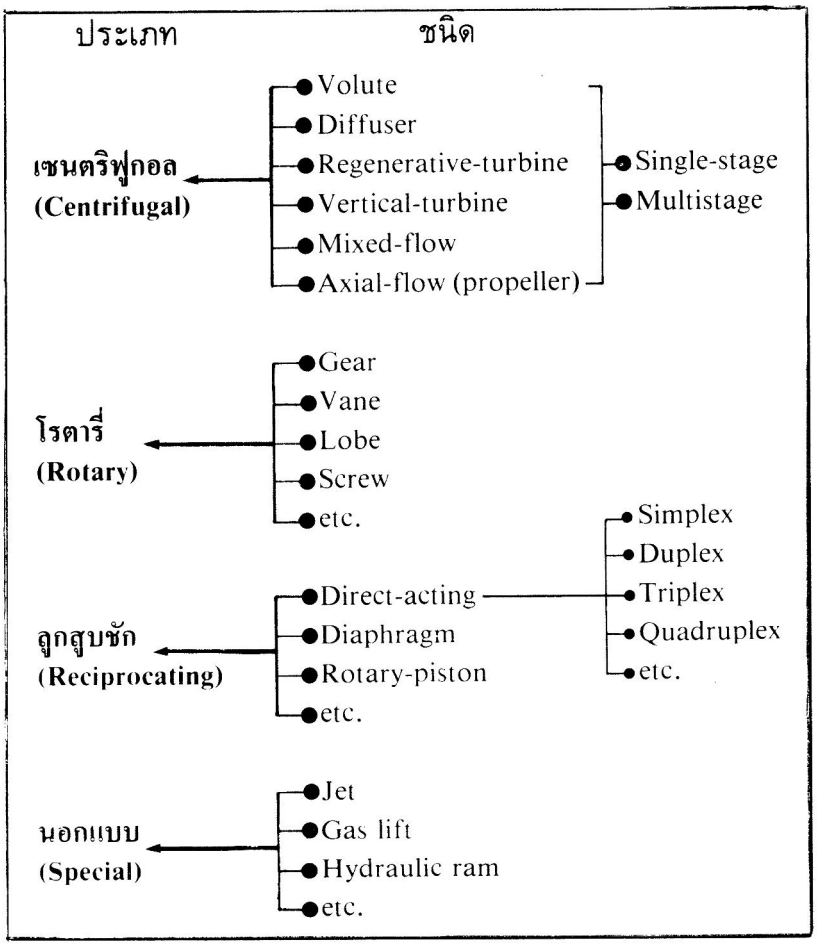
ปั๊มแบบนี้การไหลของของเหลวและความดันจะเกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ ตามจังหวะไปมาของลูกสูบ จึงต้องมีห้องอากาศเล็ก ๆ บนหัวสูบเพื่อให้อัตราการไหลและความดันเป็นจังหวะน้อยลง แต่เพื่อให้ความดันและอัตราการไหลสม่ำเสมอยิ่งขึ้น ชุดทดสอบนี้มีห้องอากาศที่โตอยู่ข้างนอกด้วย

การทำงานของแบบสูบชัก จะมีปริมาณของเหลวถูกผลักดัน (ไหล) ออกมาแน่นอนไม่ว่าความดันจ่ายจะมากหรือน้อย ปริมาณของเหลวที่ไหลจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบปั๊มและขนาดช่องว่างระหว่างลูกสูบและกระบอกสูบ

2.1.1 แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม (ต่อ)

ง. นอกแบบ (Special) เป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้ ปั๊มชนิดนี้ก็จะมี Jet Pump, Air – Lift Pump และ Hydraulic Ram

ในแต่ละประเภทที่กล่าวมานี้ยังมีการดัดแปลงออกไปเป็นแบบต่างๆ อีกหลายแบบและมีชื่อเรียกของแต่ละแบบแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 5



ภาพที่ 5 การจำแนกประเภทของปั๊ม

ที่มา : วิบูลย์ (2525)

2.1.2 แยกประเภทตามลักษณะการขับดันของเหลวในปั๊ม ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

ก. ปั๊มแบบไม่แทนที่ (Non – Positive Displacement) ทำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว ปกติใช้ในงานความดันต่ำ อัตราการไหลสูง ไม่สามารถรับความดันสูง ๆ ได้ ปั๊มประเภทอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางอาจจัดให้อยู่ในกลุ่มนี้ได้

ข. ปั๊มแบบแทนที่ (Positive Displacement) ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลวในห้องสูบด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนของเครื่องสูบ ปั๊มชนิดนี้จะจ่ายของไหลด้วยปริมาตรที่แน่นอนค่าหนึ่ง ต่อการหมุนรอบหนึ่งของเพลา สามารถรับความดันที่สูงขึ้นในระบบได้ดี ปั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารี่และลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

ในปัจจุบันปั๊มน้ำแบบต่างๆ ที่ใช้พลังงานจากธรรมชาติ ไม่จำเป็นต้องสิ้นเปลืองไฟฟ้าหรือพลังงานจากเครื่องยนต์ที่นับวันจะน้อยลงและมีราคาแพงขึ้น ในสภาวะปัจจุบันที่แหล่งพลังงานที่มีอยู่เริ่มที่จะลดน้อยลง ทำให้ต้องหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทน มีการนำเอาแหล่งพลังงานที่เกิดจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์สูงสุด เพราะว่าพลังงานที่ได้จากธรรมชาติไม่มีค่าใช้จ่ายในการทำงานเหมือนพลังงานประเภทอื่น คือพลังงานทดแทน (วิบูรณ์, 2529)

2.2 พลังงานทดแทน

(วิบูลย์, 2529) พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มากเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่าพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะศักยภาพ และสถานภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานทดแทน การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการศึกษา ค้นคว้า ทดสอบ พัฒนา และสาธิต ตลอดจนส่งเสริมและเผยแพร่พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล และอื่นๆ เพื่อให้มีการผลิต และการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐกิจ และสังคม สำหรับผู้ใช้ในเมือง และชนบท ซึ่งในการศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาพลังงานทดแทนดังกล่าว ยังรวมถึงการพัฒนาเครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์เพื่อการใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วย งานศึกษา และพัฒนาพลังงานทดแทน เป็นส่วนหนึ่งของแผนงานพัฒนาพลังงานทดแทน ซึ่งมีโครงการที่เกี่ยวข้องโดยตรงภายใต้แผนงานนี้คือ โครงการศึกษาวิจัยด้านพลังงาน และมีความเชื่อมโยงกับแผนงานพัฒนาชนบทในโครงการจัดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับหมู่บ้านชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าโดยงานศึกษา และพัฒนาพลังงานทดแทนจะเป็นงานประจำที่มีลักษณะการดำเนินงานของกิจกรรมต่างๆ ในเชิงกว้างเพื่อสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ทั้งในด้านวิชาการเชิงทฤษฎีและอุปกรณ์เครื่องมือทดลอง และการทดสอบ รวมถึงการส่งเสริมและเผยแพร่ ซึ่งจะเป็นการสนับสนุน และรองรับความพร้อมในการจัดตั้งโครงการใหม่ๆ ในโครงการศึกษาวิจัยด้านพลังงานและโครงการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การศึกษาค้นคว้าเบื้องต้น การติดตามความก้าวหน้าและร่วมมือประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาต้นแบบ ทดสอบ วิเคราะห์ และประเมินความเหมาะสมเบื้องต้น และเป็นงานส่งเสริมการพัฒนาโครงการที่กำลังดำเนินการให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนสนับสนุนให้โครงการที่เสร็จสิ้นแล้วได้นำผลไปดำเนินการส่งเสริม และเผยแพร่และการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมต่อไป โดยจะกล่าวให้ทราบถึงที่มา ประโยชน์ และการนำพลังงานทดแทนต่าง ๆ โดยยกตัวอย่างพลังงานทดแทนดังนี้

2.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

2.2.2 พลังงานลม

2.2.3 พลังงานน้ำ

2.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่ใหญ่ที่สุดของธรรมชาติ โดยความเป็นจริงแล้วแหล่งพลังงานทุกชนิดที่กล่าวไปแล้วยกเว้นชนิดเดียวก็คือ พลังงานจากกระแสน้ำขึ้นน้ำลงล้วนแต่เกี่ยวกันไม่โดยตรงก็โดยทางอ้อมกับพลังงานดวงอาทิตย์ทั้งสิ้น พลังงานดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่เกิดจากกระบวนการนิวเคลียร์แบบที่เรียกกันว่า นิวเคลียร์ฟิวชั่น กระบวนการเกิดพลังงานบนดวงอาทิตย์เป็นผลจากการรวมตัวของอะตอมไฮโดรเจนเป็นอะตอมฮีเลี่ยม แล้วมีมวลส่วนหนึ่งของอะตอมไฮโดรเจนหายไป มวลส่วนที่หายไปนี้เองที่เปลี่ยนไปเป็นพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกไปรอบดวงอาทิตย์ แล้วก็มีส่วนหนึ่งส่วนน้อยเท่านั้นที่เดินทางมาถึงโลก

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ผิวดวงอาทิตย์ พื้นที่ 1 ตารางหลา มีค่าถึงประมาณ 65,000 แรงม้า แต่ที่ผิวโลกบนพื้นที่ 1 ตารางหลา เท่ากันนั้นมีพลังงานแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงเพียงประมาณ $1\frac{1}{3}$ แรงม้า หรือ 1 กิโลวัตต์เท่านั้น แต่ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์บนผิวโลกที่ดูมีค่าเพียงน้อยนิดนี้เมื่อคิดเป็นปริมาณของพลังงานจากแหล่งเชื้อเพลิงที่เรามีอยู่แล้ว และความจำเป็นของมนุษย์เราในการใช้พลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ แล้วไม่น้อยเลย เพราะพลังงานแสงอาทิตย์ที่มาถึงโลกในช่วงเวลา 1 เดือนนั้นคิดเป็นปริมาณพลังงานก็เท่ากับถ่านหินถึง 18×10^{12} ตันหรือแปดล้านล้านตัน ซึ่งเป็นปริมาณของถ่านหินที่คาดกันว่ามีเหลืออยู่ในโลกทั้งหมดขณะนี้

ดังนั้น โลกเราถึงแม้จะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทางถึงประมาณ 93 ล้านไมล์ และดูเสมือนกับจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เป็นปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยความเป็นจริงในแง่ของความต้องการใช้พลังงานของมนุษย์โลกแล้ว โลกเราก็ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เป็นปริมาณมหาศาลอยู่ทุกขณะ แต่ในขณะนี้เป็นที่น่าเสียดายว่า โลกเราใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นประโยชน์ได้จริงๆ เพียงน้อยนิด คือประมาณ 1% เท่านั้น อีกประมาณ 99% นั้นสูญหายไปเปล่าอย่างน่าเสียดาย

ประโยชน์ของพลังงานแสงอาทิตย์

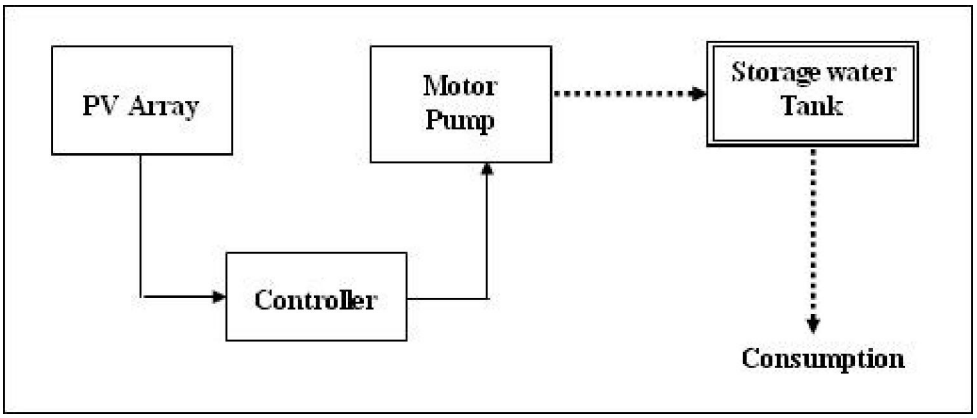
โดยทั่วไปการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นประโยชน์อาจแบ่งเป็น 2 ลักษณะสำคัญคือ

- การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของความร้อน
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (ต่อ)

ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นระบบแบบอิสระ (PV Stand alone system) อีกรูปแบบหนึ่งที่ออกแบบมาให้เหมาะสมกับการใช้งานเพื่อการสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้า ไม่มีระบบประปาหมู่บ้าน ใช้สำหรับสูบน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำบนผิวดิน โดยมีแหล่งน้ำที่สะอาดและมีน้ำเพียงพอ สำหรับการอุปโภคและบริโภค หรือเพื่อการเกษตร โดยทำงานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอก มีรูปแบบลักษณะของระบบดังนี้



ภาพที่ 6 Block diagram ลักษณะของระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : วิบูลย์ (2525)

2.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (ต่อ)

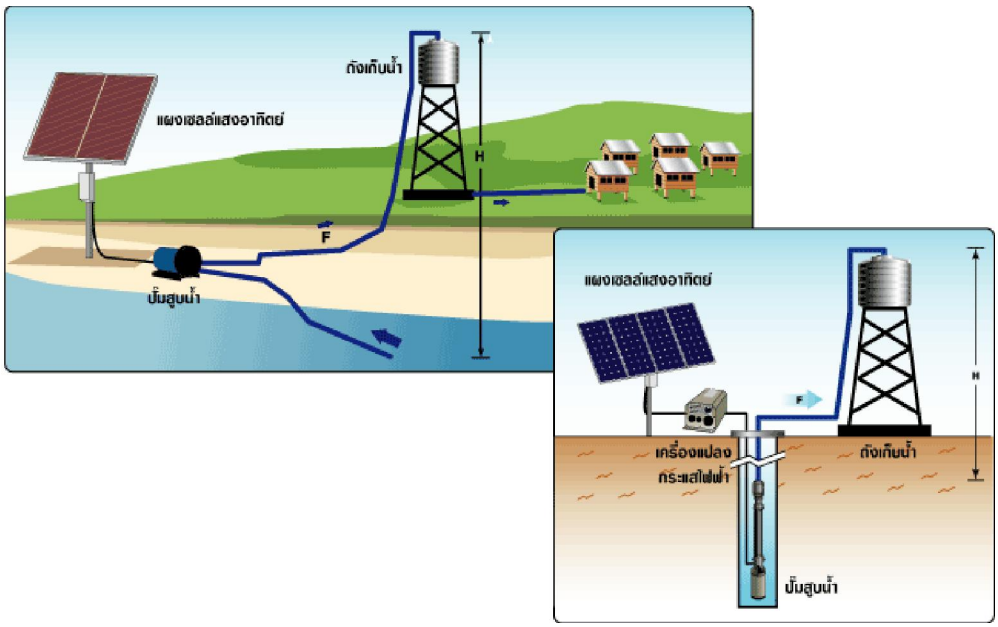
ภาพที่ 7 ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และถังเก็บน้ำ

ที่มา : วิบูลย์ (2525)

อุปกรณ์ที่สำคัญของระบบ ประกอบด้วย

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดประมาณ 1,000 วัตต์ พร้อมโครงสร้างรองรับแผง
2. อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ
3. ปั้มน้ำ
4. ถังกักเก็บน้ำ คอนกรีตเสริมเหล็กขนาดความจุ 10 ลูกบาศก์เมตรจำนวน 2 ถัง
5. ท่อดูดและท่อส่งน้ำ

2.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (ต่อ)



ภาพที่ 8 องค์ประกอบของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และถังเก็บน้ำ

ที่มา : วิบูลย์ (2525)

2.2.2 พลังงานลม

พลังงานลม หมายถึง พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ซึ่งสาเหตุของการเกิดลมนั้น เกิดเมื่ออากาศในส่วนที่ได้รับความร้อนจะขยายตัวทำให้ความหนาแน่นของอากาศบริเวณนั้นลดลง ทำให้อากาศร้อนดังกล่าวลอยตัวสูงขึ้น(ซึ่งเรียกว่ากระแสอากาศ) เป็นเหตุให้อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจากบริเวณข้างเคียงเคลื่อนเข้ามาแทนที่ ซึ่งการเคลื่อนที่ของอากาศอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดลม

ประโยชน์ของพลังงานลม

โดยทั่วไปการใช้พลังงานลมให้เป็นประโยชน์อาจพิจารณาได้ดังนี้ คือ

- เป็นพลังงานที่เกิดเองตามธรรมชาติ จึงสะอาดและไม่มีมลพิษ
- ตัวพลังงานไม่มีต้นทุนสามารถนำมาใช้ได้ไม่มีวันหมด
- พลังงานกลที่ได้สามารถนำมาใช้ไดทันทีโดยไม่ต้องเปลี่ยนรูปพลังงานอีก เช่นการ วิด - สูบน้ำ การโม่แป้งเป็นต้น

ระบบสูบน้ำพลังงานลม

นิยมใช้กังหันลมเพื่อสูบน้ำ (Wind turbine for pumping) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็น พลังงานกลเพื่อใช้ในการชักหรือสูบน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงเพื่อใช้ในการเกษตร การทำนาเกลือ การอุปโภคและการบริโภค ปัจจุบันมีใช้อยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบระหัดและแบบสูบชัก

- กังหันลมแบบระหัดฉุดน้ำ การใช้พลังงานลมเพื่อฉุดน้ำจากที่ต่ำมาใช้ในพื้นที่สูงในประเทศไทยนั้น ได้มีการใช้มาเป็นเวลานานแล้วและยังใช้มาจนถึงปัจจุบัน พบเห็นได้จากการใช้กังหันลมฉุดน้ำเพื่อทำนาเกลือ กังหันลมแบบระหัดฉุดน้ำเป็นการประดิษฐ์คิดค้นขึ้นด้วยภูมิปัญญาชาวบ้านใน สมัยโบราณของไทย เพื่อใช้ในนาข้าว นาเกลือและนากุ้ง เช่นเดียวกันกับการประดิษฐ์กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) เพื่อฉุดน้ำและใช้แรงกลช่วยในการแปรผลิตผลทางการเกษตรของชาวยุโรป วัสดุที่ใช้ประดิษฐ์กังหันลมแบบระหัดฉุดน้ำ เป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นราคาถูกและมีความเหมาะสมต่อการใช้งานตามสภาพพื้นที่ภูมิประเทศ ใบพัดกังหันลมปกติจะมีจำนวน6 ใบพัด วัสดุที่ใช้ทำใบกังหันลมจะทำมาจากเสื่อลำแพนหรือผ้าใบ โดยตัวโครงเสา รางน้ำและใบระหัด จะทำจากไม้เนื้อแข็งซึ่งมีความทนทานต่อน้ำเค็ม สามารถใช้งานได้ยาวนาน กังหันลม

2.2.2 พลังงานลม (ต่อ)

แบบระหัดฉุดน้ำใช้ความเร็วลมตั้งแต่ 2.5 เมตร/วินาที ขึ้นไปในการหมุนใบพัดกังหันลม หากมีลมแรงมากไปก็สามารถปรับม้วนใบเก็บให้เหลือสำหรับรับแรงลมเพียง 3 ใบ เพื่อให้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน เมื่อไม่ต้องการใช้งานก็ม้วนใบเก็บทั้ง 6 ใบ (สานิตย์, 2550)

ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลมแบบระหัดฉุดน้ำ

1. ส่วนของใบพัด ก้านใบทำจากไม้ยึดติดกับแกนหมุน ใบรับลมทำจากเสื่อลำแพนหรือผ้าใบ ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้แผ่นพลาสติก มีจำนวน 6 ใบ แกนหมุนตั้งในแนวนอนอยู่บนเสาไม้

2. เสาของกังหันลม ทำจากไม้จำนวน 2 ต้น ปักไว้เป็นคู่เพื่อรองรับแกนหมุน

3. สายพานขับแกนเพลา ทำจากเชือกที่มีความเหนียวและทนต่อแรงเสียดสี ทำหน้าที่ถ่ายแรงจากการหมุนของแกนหมุนไปยังแกนเพลาให้หมุนตามเพื่อใช้ฉุดระหัดไม้

4. แกนเพลา ทำจากเหล็กหรือไม้กลม วางอยู่บนเสาไม้คู่เหนือพื้นดินที่พอเหมาะ มีซี่ไม้ลักษณะคล้ายเฟืองยึดติดกลางแกนเพลาเพื่อขับหมุนฉุดแผ่นระหัด

5. ส่วนของรางน้ำและระหัด ทำจากไม้ ลักษณะเป็นกล่องรางไม้ตัวยู (u) หงายขึ้น พาดเฉียงระหว่างท้องน้ำกับพื้นนาเกลือแล้วใช้ไม้แผ่นขนาดเท่าหน้าตัด ของกล่องรางน้ำทำระหัดเรียงต่อกันเป็นซี่ๆ ด้วยเชือกหรือโซ่ห่างกันพอประมาณเพื่อกักเก็บและฉุดน้ำเคลื่อนตัวจากที่ต่ำ ขึ้นที่สูง

- กังหันลมแบบสูบชักน้ำในปัจจุบัน กังหันลมแบบสูบชักเป็นกังหันลมชนิดหลายใบ ส่วนใหญ่ใช้ในการสูบน้ำจากบ่อ สระน้ำ หนองน้ำ และแหล่งน้ำอื่นๆ ที่มีความลึกไม่มากนัก มีความสามารถในการยกหรือดูดน้ำได้ในระยะที่สูงกว่าแบบระหัด เพื่อความแข็งแรงวัสดุที่ใช้ทำใบพัดและโครงสร้างเสาของกังหันลมชนิดนี้มัก เป็นโลหะเหล็ก การติดตั้งแกนใบพัดสูงจากพื้นดินประมาณ 12-15 เมตร ตัวห้องเครื่องถ่ายแรงจะเป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือเฟืองขับ กระบอกสูบน้ำมีขนาดตั้งแต่ 3-15 นิ้ว ปริมาณน้ำที่สูบได้ขึ้นอยู่กับขนาดกระบอกสูบน้ำและปริมาณความเร็วลม กังหันลมเริ่มหมุนทำงานที่ความเร็วลม 3.0 เมตร/วินาที ขึ้นไปและสามารถทำงานต่อเนื่องได้ด้วยแรงเฉื่อยที่ความเร็วลม 2.0 เมตร/วินาที มีใบแพนหางเสือเป็นตัวควบคุม การหมุน มีระบบความปลอดภัยหยุดหมุนในกรณีที่ลมแรงเกินกำหนด

2.2.2 พลังงานลม (ต่อ)

ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลมแบบสูบชักเพื่อสูบน้ำ

1. ใบพัด ทำจากเหล็กกาวาไนท์หรือแผ่นสังกะสีชนิดหนาอย่างดี ไม่เป็นสนิมทนทานต่อกำลังลม ทำหน้าที่รับแรงลมแล้วเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมเป็นพลังงานกลและส่งต่อไปยัง เพลาประธาน

2. ตัวเรือน ประกอบไปด้วยเพลาประธานหรือเพลาหลักทำด้วยเหล็กสแตนเลสที่มีความแข็งเหนียว ทนต่อแรงบิดสูง ชุดตัวเรือนเพลาประธานเป็นตัวหมุนถ่ายแรงกลเข้าตัวห้องเครื่อง ภายในห้องเครื่องจะเป็นชุดถ่ายแรงและเกียร์ที่เป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือแบบ เฟืองขับ เพื่อถ่ายเปลี่ยนแรงจากแนวราบเป็นแนวดิ่งเพื่อดึงก้านชักขึ้นลง ใช้น้ำมันเป็นตัวหล่อลื่นในห้องเครื่อง

3. ชุดแพนหาง ประกอบไปด้วยใบแพนหางทำจากเหล็กแผ่น ที่ทำหน้าที่บังคับตัวเรือนและใบพัดเพื่อให้หันรับแรงลมในแนวราบได้ทุกทิศ ทาง และโซ่ล็อคแพนหางซึ่งทำหน้าที่ล็อคแพนหางให้พับขนานกับใบพัดเมื่อได้รับแรง ลมที่ความเร็วลมเกิน 8 เมตร/วินาที และส่ายหนีแรงปะทะของแรงลม

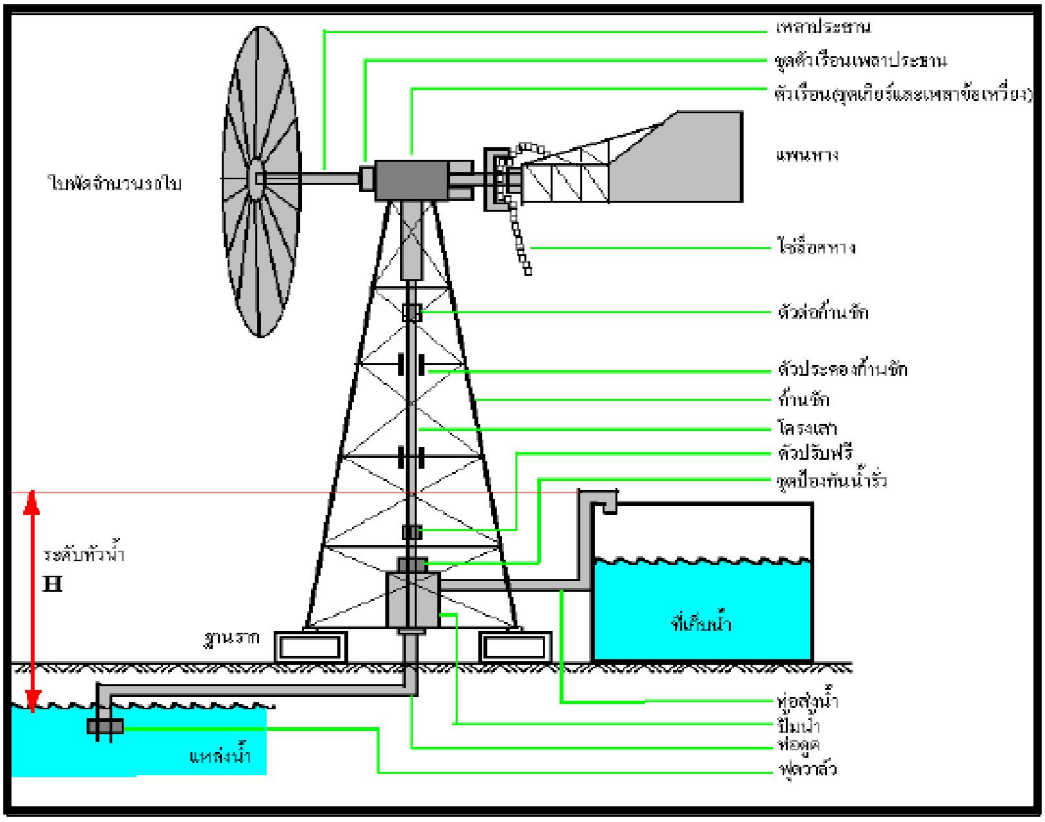
4. โครงเสา ทำด้วยเหล็กประกอบเป็นโครงถัก (Truss Structure) ความสูงของกังหันลมสูบน้ำมีความสำคัญอย่างมากในการพิจารณาติดตั้งกังลม เพื่อให้สามารถรับลมได้ดี กำหนดที่ความสูงประมาณ 12-15 เมตร และมีแกนกลางเป็นตัวบังคับก้านชักให้ชักขึ้นลงในแนวดิ่ง

5. ก้านชัก ทำด้วยเหล็กกลมตัน รับแรงชักขึ้นลงในแนวดิ่งจากเฟืองขับในตัวเรือน เพื่อทำหน้าที่ปั้มอัดกระบอกสูบน้ำ และถูกบังคับให้ชักขึ้นลงได้ในแนวดิ่งด้วยตัวประคองก้านชัก (Slip Control) ที่อยู่กึงกลางโครงเสาในแต่ละช่วง

6. กระบอกสูบน้ำ ลูกสูบของกระบอกสูบน้ำวัสดุส่วนใหญ่เป็นทองเหลืองหรือสแตนเลส มีความคงทนต่อกรดและด่าง สามารถรับแรงดูดและแรงส่งได้สูง มีหลายขนาดแต่ที่ใช้ทั่วไปมีขนาด 3 - 15 นิ้ว ใช้สูบน้ำได้ทั้งจากบ่อบาดาลและแหล่งน้ำตามธรรมชาติอื่นๆ การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับระยะหัวน้ำและการออกแบบ

7. ท่อน้ำ ซึ่งจะประกอบไปด้วยท่อดูดขนาด 2 นิ้ว ต่อระหว่างปั้มน้ำกับแหล่งน้ำที่จะสูบและติดฟุตวาล์วกันน้ำไหลกลับ ท่อส่งขนาด 1.5 นิ้ว ต่อระหว่างปั้มน้ำกับถังกักเก็บน้ำเพื่อส่งน้ำที่ดูดได้ไปไว้ที่ถังเก็บน้ำ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), ม.ป.ป.)

2.2.2 พลังงานลม (ต่อ)



ภาพที่ 9 ส่วนประกอบของกังหันลมสูบน้ำ

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), ม.ป.ป.

2.2.3 พลังงานน้ำ

พลังงานน้ำ เป็นรูปแบบหนึ่งการสร้างกำลังโดยการอาศัยพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ ปัจจุบันนี้พลังงานน้ำส่วนมากจะถูกใช้เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้แล้วพลังงานน้ำยังถูกนำไปใช้ในการชลประทาน การสี การทอผ้า และใช้ในโรงเลื่อย พลังงานของมวลน้ำที่เคลื่อนที่ได้ถูกมนุษย์นำมาใช้มานานแล้วนับศตวรรษ โดยได้มีการสร้างกังหันน้ำ (Water Wheel) เพื่อใช้ในการงานต่างๆ ในอินเดียและชาวโรมันก็ได้มีการประยุกต์ใช้เพื่อใช้ในการโม่แป้งจากเมล็ดพืชต่างๆ ส่วนผู้คนในจีนและตะวันออกไกลก็ได้มีการใช้พลังงานน้ำเพื่อสร้าง Pot Wheel เพื่อใช้ในวิดน้ำเพื่อการชลประทาน โดยในช่วงทศวรรษ 1830 ซึ่งเป็นยุคที่การสร้างคลองเฟื่องฟูถึงขีดสุด ก็ได้มีการประยุกต์เอาพลังงานน้ำมาใช้เพื่อขับเคลื่อนเรือขึ้นและลงจากเขา โดยอาศัยรางรถไฟที่ลาดเอียง (Inclined Plane Railroad : Funicular) โดยตัวอย่างของการประยุกต์ใช้แบบนี้ อยู่ที่คลอง Tyrone ในไอร์แลนด์เหนือ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการประยุกต์ใช้พลังงานน้ำในยุคแรกนั้นเป็นการส่งต่อพลังงานโดยตรง (Direct Mechanical Power Transmission) ทำให้การใช้พลังงานน้ำในยุคนั้นต้องอยู่ใกล้แหล่งพลังงาน เช่น น้ำตก เป็นต้น ปัจจุบันนี้ พลังงานน้ำได้ถูกใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้า ทำให้สามารถส่งต่อพลังงานไปใช้ในที่ที่ห่างจากแหล่งน้ำได้

พลังงานน้ำเกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานศักย์จากความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก การนำเอาพลังงานน้ำมาใช้ประโยชน์ทำได้โดยให้น้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ พลังงานศักย์ของน้ำถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนนี้คือ กังหันน้ำ (Turbines) น้ำที่มีความเร็วสูงจะผ่านเข้าท่อแล้วให้พลังงานจลน์แก้กังหันน้ำ ซึ่งหมุนขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในปัจจุบันพลังงานที่ได้จากแหล่งน้ำที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือ พลังงานน้ำตก พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานคลื่น

พลังงานน้ำตก การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำนี้ทำได้โดยอาศัยพลังงานของน้ำตก ออกจากน้ำตามธรรมชาติ หรือน้ำตกที่เกิดจากการดัดแปลงสภาพธรรมชาติ เช่น น้ำตกที่เกิดจากการสร้างเขื่อนกั้นน้ำ น้ำตกจากทะเลสาบบนเทือกเขาสู่หุบเขา กระแสน้ำในแม่น้ำไหลตกหน้าผา เป็นต้น การสร้างเขื่อนกั้นน้ำและให้น้ำตกไหลผ่านกังหันน้ำซึ่งติดอยู่บนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังงานน้ำที่ได้จะขึ้นอยู่กับความสูงของน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่ปล่อยลงมา

พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง มีพื้นฐานมาจากพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของระบบที่ประกอบด้วยดวงอาทิตย์ โลก และดวงจันทร์ จึงจัดเป็นแหล่งพลังงานประเภทใช้แล้วไม่หมดไป สำหรับในการเปลี่ยนพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า คือ เลือกแม่น้ำหรืออ่าวที่มีพื้นที่เก็บน้ำได้มากและพิสัยของน้ำขึ้นน้ำลงมีค่าสูงแล้วสร้างเขื่อนที่ปากแม่น้ำหรือปากอ่าว เพื่อให้เกิดเป็นอ่างเก็บน้ำ

2.2.3 พลังงานน้ำ (ต่อ)

ขึ้นมา เมื่อน้ำขึ้นจะไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ และเมื่อน้ำลงน้ำจะไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ การไหลเข้าออกจากอ่างของน้ำต้องควบคุมให้ไหลผ่านกังหันน้ำที่ต่อเชื่อมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อกังหันน้ำหมุนก็จะได้ไฟฟ้าออกมาใช้งานหลักการผลิตไฟฟ้าจากน้ำขึ้นน้ำลงมีหลักการเช่นเดียวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำตก แต่กำลังที่ได้จากพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงจะไม่ค่อยสม่ำเสมอเปลี่ยนแปลงไปมากในช่วงขึ้นลงของน้ำ

พลังงานคลื่น เป็นการเก็บเกี่ยวเอา พลังงานที่ลม ถ่ายทอดให้กับผิวน้ำในมหาสมุทรเกิดเป็นคลื่นวิ่งเข้าสู่ชายฝั่งและเกาะแก่งต่างๆเครื่องผลิต ไฟฟ้าพลังงานคลื่นจะถูกออกแบบให้ลอยตัวอยู่บนผิวน้ำบริเวณหน้าอ่าวด้านหน้าที่หันเข้าหา คลื่น การใช้คลื่นเพื่อผลิตไฟฟ้านั้นถ้าจะให้ได้ผลจะต้องอยู่ในโซนที่มียอดคลื่นเฉลี่ยอยู่ที่ 8 เมตร ซึ่งบริเวณนั้นต้องมีแรงลมด้วย แต่จากการวัดความสูงของยอดคลื่นสูงสุดในประเทศไทยที่จังหวัดระนองพบว่า ยอดคลื่นสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 4 เมตร

ประโยชน์ของพลังงานน้ำ

โดยทั่วไปการใช้พลังงานน้ำให้เป็นประโยชน์อาจพิจารณาได้ดังนี้ คือ

- พลังงานน้ำเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ไม่หมดสิ้น คือเมื่อใช้พลังงานของน้ำส่วนหนึ่งไปแล้วน้ำส่วนนั้นก็จะไหลลงสู่ทะเลและน้ำในทะเลเมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ก็จะระเหยกลายเป็นไอน้ำ เมื่อไอน้ำรวมตัวเป็นเมฆจะตกลงมาเป็นฝนหมุนเวียนกลับมาทำให้เราสามารถใช้พลังงานน้ำได้ตลอดไปไม่หมดสิ้น

- กังหันพลังงานน้ำสามารถเริ่มดำเนินการผลิตพลังงานได้ในเวลาอันรวดเร็ว และควบคุมให้ผลิตกำลังงานออกมาได้ใกล้เคียงกับความต้องการ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงมาก ชิ้นส่วนของเครื่องกลพลังงานน้ำส่วนใหญ่จะมีความคงทน และมีอายุการใช้งานนานกว่าเครื่องจักรกลอย่างอื่น

- เมื่อนำพลังงานน้ำไปใช้แล้ว น้ำยังคงมีคุณภาพเหมือนเดิมทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีก เช่น เพื่อการชลประทาน การรักษาระดับน้ำในแม่น้ำให้ไหลลึกพอแก่การเดินเรือเป็นต้น

- การสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บและทดน้ำให้สูงขึ้น สามารถช่วยกักน้ำเอาไว้ใช้ในช่วงที่ไม่มีฝนตก ทำให้ได้แหล่งน้ำขนาดใหญ่สามารถใช้เลี้ยงสัตว์น้ำหรือใช้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวได้ และยังช่วยรักษาระบบนิเวศของแม่น้ำได้โดยการปล่อยน้ำจากเขื่อนเพื่อไล่น้ำโสโครกในแม่น้ำที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังสามารถใช้ไล่น้ำเค็มซึ่งขึ้นมาจากทะเลก็ได้

2.2.3 พลังงานน้ำ (ต่อ)

กังหันน้ำที่ได้จากพลังงานทดแทน

กังหันน้ำแบบทุ่นลอย (Floatation type water wheel pump) หรือกังหันน้ำชัยพัฒนาออกแบบสร้างขึ้นเพื่อติดตั้งในแม่น้ำลำธารเป็นกันหันน้ำชนิดหนึ่งสะเทินน้ำสะเทินบกเคลื่อนย้ายได้ง่าย กล่าวคือเมื่อติดตั้งอยู่ในแม่น้ำลำธาร ตัวของมันเองจาสามารถลอยน้ำอยู่ได้บนผิวน้ำละจะสามารถปรับตัวของมันเองตามสภาพน้ำขึ้นน้ำลง

ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันน้ำแบบทุนลอย

1. ทุ่นลอยคล้ายตอปิโด จำนวน 2 ทุ่น
2. วงล้อใบพัด ทำด้วยเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตร กว้าง 1.20 เมตร
3. ใบพัด ขนาด 0.60 เมตร × 1.20 เมตร จำนวน 12 ใบ ใบพัดนี้จะช่วยขับส่งกำลังไปยังเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบชักด้วยเฟืองจานโซ่และสายพาน

หลักการทำงาน

กังหันแบบทุ่นลอยจะมีโครงสร้างเป็นลักษณะรูป 12 เหลี่ยม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตร มีซองน้ำที่สมารถบรรจุน้ำได้จำนวน 110 ลิตร ติดตั้งโดยรอบจำนวนซอง มีการเจาะรูที่ซองน้ำให้พรุน เพื่อให้น้ำไหลกระจายเป็นฝอย ซองน้ำนี้จะถูกขับเคลื่อนให้หมุนโดยรอบ ระบบส่งกำลังด้วยเฟืองเกียร์ทอรอบ หรือ จานโซ่ ซึ่งจะทำให้การหมุนเคลื่อนที่ของซองน้ำ ยกน้ำขึ้นไปสาดกระจายเป็นฝอยเหนือผิวน้ำด้วยความสูงประมาณ 1.00 เมตร ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศกว้างขวางมากขึ้น เป็นผลทำให้ออกซิเจนในอากาศละลายเข้าไปในน้ำได้อย่างรวดเร็ว และในขณะที่น้ำเสียถูกยกขึ้นไปสาดกระจายสัมผัสกับอากาศแล้วตกลงไปยังผิวน้ำ ก่อให้เกิดฟองอากาศจมตามลงไปใต้ผิวน้ำด้วย อีกทั้งในขณะที่ซองน้ำกำลังเคลื่อนที่ลงสู่ผิวน้ำแล้วกดลงไปใต้ผิวน้ำนั้น จะเกิดการอัดอากาศภายในซองน้ำภายใต้ผิวน้ำจนกระทั่งซองน้ำจมน้ำเต็มที่ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนได้สูงขึ้นตามไปด้วย หลังจากนั้นน้ำที่ได้รับการเติมอากาศแล้ว จะเกิดการถ่ายเทของน้ำเคลื่อนที่ออกไปด้วยการผลักดันของซองน้ำด้วยความเร็วของการไหล 0.20 เมตร/วินาที จึงสามารถผลักดันน้ำออกไปจากเครื่อง มีระยะทางประมาณ 10.00 เมตร

2.2.3 พลังงานน้ำ (ต่อ)

ภาพที่ 10 ส่วนประกอบของกังหันน้ำแบบทุนลอย
ที่มา : บรรจง (2525)

2.3 เครื่องตะบันน้ำ (Hydraulic Ram)

วิบูลย์ (2529) ได้กล่าวดั้งต่อไปนี้ เครื่องสูบน้ำที่ได้จากพลังงานน้ำอีกชนิดหนึ่ง คือ ตะบันน้ำ (Hydraulic ram pump) หรือเครื่องตะบันน้ำ 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 แต่ในอนาคตไฮดรอลิกแรมปั๊มอาจมีประโยชน์มากก็ได้ ถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น

2.3 เครื่องตะบันน้ำ (Hydraulic Ram) (ต่อ)

ความเป็นมาของปั๊ม

Hydraulic Ram Pump เป็นปั๊มน้ำที่ราคาไม่แพง สร้างและติดตั้งง่ายสามารถทำได้เอง ไม่ต้องการเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าในการทำงาน ต้องการการซ่อมบำรุงเพียงเล็กน้อย มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวน้อย ไม่สร้างมลภาวะและทำงานตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน จากข้อดีดังกล่าวมาข้างต้น บทความนี้จึงมีความประสงค์จะนำเสนอข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับ Hydraulic Ram Pump ในด้านของประวัติความเป็นมา หลักการทำงาน การคำนวณหาประสิทธิภาพ และคำแนะนำ Hydraulic Ram Pump ไปประยุกต์ใช้งาน ให้เหมาะกับสภาพการทำงานตามที่ต้องการ บัญญัติ นิยมวาส (2553) ได้เขียนความเป็นมาของปั๊มไว้ดังนี้

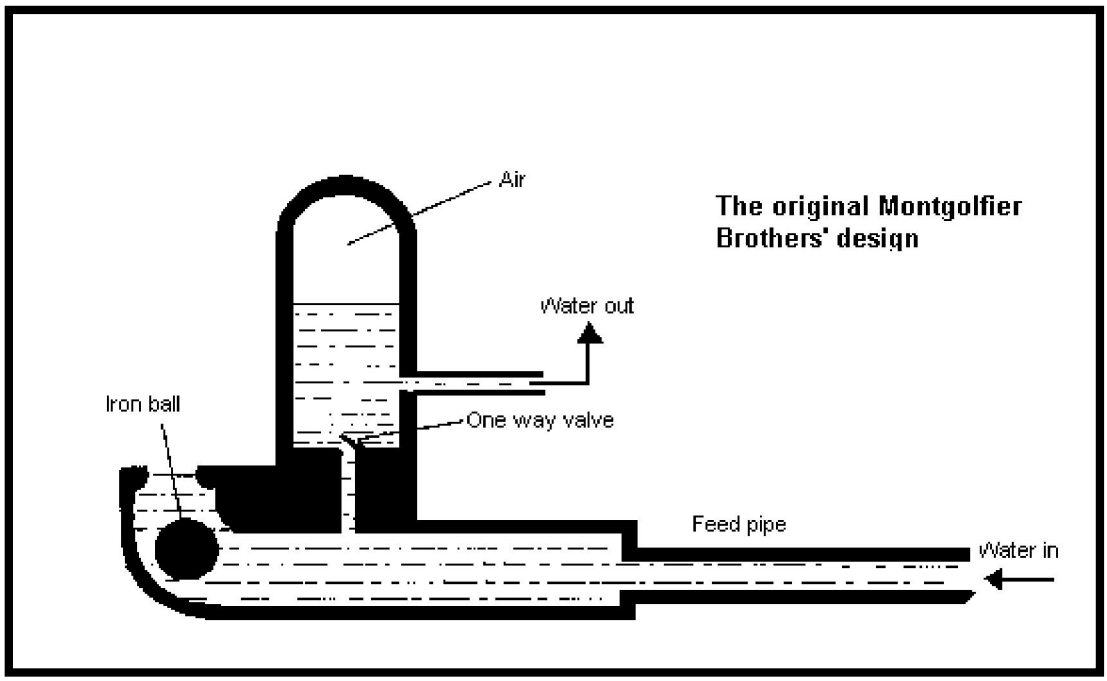
ในปี ค.ศ. 1772 ชาวอังกฤษชื่อ John Whitehurst ได้ชื่อว่าเป็นผู้ประดิษฐ์คิดค้นปั๊มน้ำชนิดที่ไม่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง (non-self-acting ram pump) แต่ต่อมาในปี ค.ศ. 1793 พี่น้อง Montgolfier ชาวฝรั่งเศส ได้เพิ่มวาล์วให้กับปั๊มน้ำทำให้ปั๊มสามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง (self-acting ram pump) นั่นคือทำให้ปั๊มน้ำชนิดนี้เป็นเครื่องจักรที่ทำงานได้นิรันดร์ ตราบเท่าที่มีแหล่งน้ำสำหรับจ่ายให้กับปั๊มอย่างสม่ำเสมอ (เป็นการเปรียบเทียบ)

ก่อนปี ค.ศ. 1840 Hydraulic Ram Pump ที่ใช้งานในสหรัฐเป็นการนำเข้ามาจากทวีปยุโรป ต่อมาในปี ค.ศ. 1843 H.H. Strawbrigde แห่ง Louisiana เป็นผู้ที่ได้เริ่มจำหน่ายปั๊มที่ผลิตขึ้นเองในสหรัฐ แต่ในตอนแรกปั๊มยังทำด้วยไม้ซึ่งก่อให้เกิดปัญหา คือ การระเบิดเนื่องจากการทำงานของปั๊มน้ำชนิดนี้จะเกี่ยวข้องกับความดันค่อนที่ข้างสูง จึงทำให้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนต่อมามีการผลิตปั๊มน้ำที่ทำขึ้นมาจากเหล็กหล่อ

การออกแบบในยุคแรก

การออกแบบในยุคแรก ปั๊มน้ำชนิดนี้ในตอนแรกเริ่มมีลักษณะดังแสดงในภาพที่11 จะมีท่อส่งน้ำต่อกับท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าซึ่งจะเป็นบริเวณที่ใช้สำหรับสร้างความดันที่ปลายของท่อ เจาะช่องบางส่วนสามารถทำให้น้ำไหลทิ้งออกไปได้ ในท่อขนาดใหญ่กว่านี้บรรจุด้วยลูกบอลเหล็ก 1 ลูก ซึ่งจะต้องมีขนาดที่ปิดได้พอดีกับช่องเจาะสำหรับปล่อยน้ำทิ้งที่ปลายท่อ ลูกบอลเหล็กจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามจังหวะการทำงานของปั๊มน้ำ

2.3 เครื่องสูบน้ำไฮดรอลิคแรมปั๊ม (Hydraulic Ram) (ต่อ)

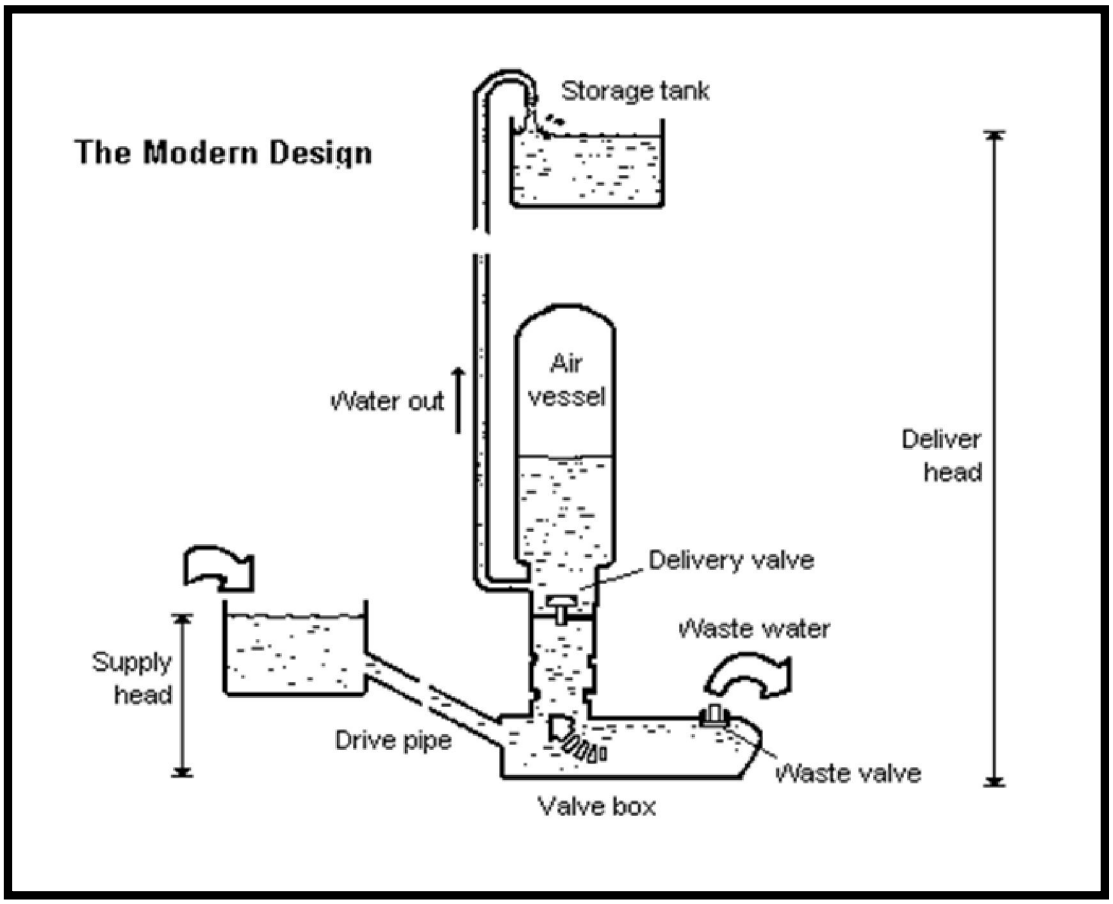


ภาพที่ 11 Hydraulic Ram Pump ของ Montagolfier

ที่มา : บัญญัติ (2553)

2.3 เครื่องตะบันน้ำปั๊ม (Hydraulic Ram) (ต่อ)

การออกแบบในยุคใหม่ Hydraulic Ram Pump ในปัจจุบันมีความแตกต่างกับเมื่อครั้งเริ่มประดิษฐ์คิดค้น โดย Montagolfier คือ จะแทนที่ลูกบอลเหล็กด้วยวาล์วดังแสดงในภาพที่12



ภาพที่ 12 ลักษณะปั๊มที่มีการใช้งานในปัจจุบัน
ที่มา : บัญญัติ (2553)

ในประเทศไทยได้มีการสร้างขึ้นเครื่องแรกเมื่อปี พ.ศ. 2516 โดยกองบริการอุตสาหกรรมภาคเหนือ และได้ทดลองติดตั้งใช้งานที่ไร่ 3 เขา ในเขตอำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ และต่อมาในปี พ.ศ. 2518 ได้ทำการปรับปรุงและสร้างขึ้นอีก 1 เครื่องได้ทำการทดลองระยะสั้น ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ และไฮดรอลิกแรมปั๊ม เครื่องใหม่มีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องแรกด้วย ขณะนี้ไฮดรอลิกแรมปั๊ม เครื่องนี้สามารถที่จะนำไปทดลองสาธิต และวิธีการทำงานได้

2.3 เครื่องสูบน้ำไฮดรอลิคแรมปั๊ม (Hydraulic Ram) (ต่อ)

หลักการทำงานของไฮดรอลิกแรมปั๊ม เป็นปั๊มน้ำที่ไม่ใช้พลังงานจากไฟฟ้าขับตัวปั๊มให้ทำงาน แต่จะอาศัยหลักการกระแทกของน้ำในท่อซึ่งถูกทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลอย่างกะทันหัน ทำให้ความดันในตัวปั๊มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาสั้นๆ หลักการดังกล่าวเรียกว่าหลักการวอเตอร์แฮมเมอร์

การสร้างปั๊มน้ำแบบไฮดรอลิกแรมต้องคำนึงถึงหลักการการออกแบบ และการอาศัยทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำปั๊มน้ำแบบไฮดรอลิกแรม ดังนี้

2.3.1 ทฤษฎีของไฮดรอลิคแรม

2.3.2 วอเตอร์แฮมเมอร์ (water Hammer)

2.3.3 คุณสมบัติของของไหล

2.3.4 ความดันและเฮด

2.3.5 การไหลในท่อปิด

2.3.6 การเสียเฮดความฝืด

2.3.7 การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ

2.3.1 ทฤษฎีของไฮดรอลิคแรม

ประสิทธิภาพตลอดจนความสามารถในการสูบน้ำของไฮดรอลิคแรมสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

คำนวณหาประสิทธิภาพ

$$\text{ประสิทธิภาพ } (\text{D'Abuisson's}) = \frac{q(H+h)}{(q+Q)h}\times 100 \qquad (2.1)$$

$$\text{ประสิทธิภาพ } (\textit{Rankine}) = \frac{qH}{Qh}\times 100 \qquad (2.2)$$

เมื่อ q = ปริมาณน้ำที่สูบได้ (ลิตร/วินาที)

2.3.1 ทฤษฎีของไฮดรอลิคแรม (ต่อ)

Q = ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากการผลักดัน (ลิตรต่อวินาที)

h = ความสูงของหัวน้ำที่ส่งเข้าเครื่อง (เมตร)

H = ความสูงของหัวน้ำที่สูบขึ้นไปใช้งาน (เมตร)

คำนวณหาปริมาณน้ำ

สมมุติให้ v_0 คือ ความเร็วไหลแล่นของน้ำในเส้นท่อแล้วไหลผ่านลิ้นทิ้งน้ำก่อนที่จะปิดที่ Supply head (h) หาได้จากสมการ

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gh}{1+0.024\left(\frac{L}{d}\right)}} \qquad (2.3)$$

เมื่อ v_0 = ความเร็วไหลแล่นของน้ำในเส้นท่อ (เมตรต่อวินาที)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตรต่อวินาที^{2})

h = ความสูงของหัวจ่ายน้ำ (Supply head) (เมตร)

L = ความยาวของท่อส่งน้ำ (Drive pipe) (เมตร)

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อส่งน้ำ (เมตร)

สมมุติให้ v_m คือ ความเร็วไหลแล่นของน้ำสูงสุดที่ไหลในเส้นท่อ (Drive Pipe) ที่ Supply Head (h) หาได้จากสมการ

$$v_m = \frac{A_w}{A_d} \times v_0 \qquad (2.4)$$

เมื่อ v_m = ความเร็วไหลแล่นของน้ำสูงสุดที่ไหลในเส้นท่อ (เมตรต่อวินาที)

A_w = พื้นที่หน้าตัดของลิ้นทิ้งน้ำขณะเปิด (ตารางเซนติเมตร)

A_d = พื้นที่หน้าตัดของท่อส่งน้ำ (Drive Pipe) (ตารางเซนติเมตร)

สมมุติให้ t_1 เป็นระยะเวลาที่ทำให้เกิดความเร็วไหลแล่นของน้ำสูงสุด (v_m) หาได้จาก

สมการ $$t_1 = \frac{Lv_m}{gh} \qquad (2.5)$$

2.3.1 ทฤษฎีของไฮดรอลิคแรม (ต่อ)

เมื่อ t_1 = ระยะเวลาที่ทำให้เกิด v_m (วินาที)

L = ความยาวของท่อส่งน้ำ (Drive pipe) (เมตร)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตรต่อวินาที^{2})

h = ความสูงของหัวจ่ายน้ำ (Supply head) (เมตร)

สมมุติให้ t_2 เป็นระยะเวลาที่ลิ้นจ่ายน้ำยังเปิดอยู่ หาได้จากสมการ

$$t_2 = \frac{Lv_m}{gH} \qquad (2.6)$$

เมื่อ t_2 = ระยะเวลาที่ลิ้นจ่ายน้ำยังเปิดอยู่ (วินาที)

L = ความยาวของท่อส่งน้ำ (Drive Pipe) (เมตร)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตรต่อวินาที^{2})

H = ความสูงของหัวน้ำที่สูบขึ้นไปใช้งาน (เมตร)

$t_1 + t_2$ คือระยะเวลาที่ไฮดรอลิคแรมทำงานครบจังหวะ คือ ลิ้นทิ้งน้ำ (Waste valve) ปิดแล้วลิ้นจ่ายน้ำ (Delivery valve) เปิด

จำนวนครั้งที่ไฮดรอลิคแรม ทำงานในหนึ่งนาที หาได้จากสมการ

$$\text{Number of Beat per minute} = \frac{60}{t_1 + t_2}$$

หรือ จังหวะการเต้นต่อนาที $= \frac{60}{t_1 + t_2} \qquad (2.7)$

2.3.1 ทฤษฎีของไฮดรอลิคแรม (ต่อ)

สมมุติให้ Q_w คือ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านลิ้นทิ้งน้ำ หาได้จากสมการ

$$Q_w = 0.785\left(d^2\right)\times\left(\frac{v_m}{2}\right)\times t_1 \times\left(\frac{60}{t_1+t_2}\right) \qquad (2.8)$$

เมื่อ Q_w = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านลิ้นทิ้ง (เมตร^{3}ต่อวินาที)

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อส่งน้ำ (เมตร)

v_m = ความเร็วไหลแล่นของน้ำสูงสุดที่ไหลในเส้นท่อ (เมตร/วินาที)

t_1 = ระยะเวลาที่ทำให้เกิด v_m (วินาที)

t_2 = ระยะเวลาที่ลิ้นจ่ายน้ำยังเปิดอยู่ (วินาที)

สมมุติให้ q คือ ปริมาณน้ำที่สูบได้ส่งไปใช้งานบนที่สูง หาได้จากสมการ

$$q = 0.785\left(d^2\right)\times\left(\frac{v_m}{2}\right)\times t_2 \times\left(\frac{60}{t_1+t_2}\right) \qquad (2.9)$$

เมื่อ q = ปริมาณน้ำที่สูบได้ส่งไปใช้งานบนที่สูง (เมตร^{3}ต่อวินาที)

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อส่งน้ำ (เมตร)

v_m = ความเร็วไหลแล่นของน้ำสูงสุดที่ไหลในเส้นท่อ (เมตรต่อวินาที)

t_1 = ระยะเวลาที่ทำให้เกิด v_m (วินาที)

t_2 = ระยะเวลาที่ลิ้นจ่ายน้ำยังเปิดอยู่ (วินาที)

2.3.2 วอเตอร์แฮมเมอร์ (Water hammer)

วอเตอร์แฮมเมอร์ (Water hammer) เป็นปรากฏการณ์ที่ความดันในท่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงและฉับพลัน โดยมีความดันเพิ่มขึ้นและลดลงจากความดันเดิมในลักษณะเป็นคลื่นขึ้นลงสลับกันไปเป็นอนุกรม

สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดวอเตอร์แฮมเมอร์

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลในท่ออย่างกะทันหัน เช่น ปิดประตูน้ำอย่างกะทันหัน เป็นต้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในลักษณะดังกล่าว โมเมนตัมของของเหลวจะถูกเปลี่ยนไปกลายเป็นแรงกระแทกบนประตูน้ำและผนังของท่อ แรงกระแทกที่เกิดขึ้นถ้าหากมากเกินกว่าความสามารถของท่อจะรับได้ก็จะทำให้ท่อระเบิดหรือทำให้ระบบท่อและอุปกรณ์เสียหายอย่างรุนแรงขึ้นได้ ระดับความเสียหายเนื่องจากวอเตอร์แฮมเมอร์ ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและความยืดหยุ่น (Elasticity) ของท่อ ความเร็วของการไหล อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วการไหล ลักษณะการยึดท่อให้อยู่กับที่ และ ระบบป้องกันวอเตอร์แฮมเมอร์ที่ติดตั้งไว้ เป็นต้น

ความดันในเส้นท่อสูงสุดที่เพิ่มขึ้นจากความดันเดิมโดยมีสาเหตุจากวอเตอร์แฮมเมอร์ คำนวณได้จากสูตร

$$P = 1485\rho v \sqrt{\frac{1}{1+\left(\frac{K}{E}\times\frac{d}{t}\right)}} \qquad (2.10)$$

เมื่อ P = ความดันในสูงสุดที่เพิ่มขึ้นจากความดันเดิม โดยมีสาเหตุจากวอเตอร์แฮมเมอร์ $\left(N/m^2\right)$

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ $\left(kg/m^3\right)$

V = ความเร็วของการไหลในท่อ (m/s)

K = โมดูลัสของความยืดหยุ่นของน้ำ $\left(N/m^2\right)$

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (mm)

E = โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำท่อ $\left(N/m^2\right)$

t = ความหนาของผนังท่อ (mm)

2.3.2 วอเตอร์แฮมเมอร์ (Water hammer) (ต่อ)

ความเร็วของคลื่นความดัน (Pressure wave) หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s) ที่เกิดขึ้นภายในท่อ คำนวณได้จากสูตร

$$v_w = 1485\sqrt{\frac{1}{1+\left(\frac{K}{E}\times\frac{d}{t}\right)}} \qquad (2.11)$$

เมื่อ v_w = ความเร็วของคลื่นความดัน (m/s)

K = โมดูลัสของความยืดหยุ่นของน้ำ $\left(N/m^2\right)$

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (mm)

E = โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำท่อ $\left(N/m^2\right)$

t = ความหนาของผนังท่อ (mm)

เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress – Strain) ของคอนกรีตมิได้เป็นเส้นตรง ดังนั้นการใช้สมการทั้งสองข้างบนกับท่อคอนกรีตจึงให้ค่าโดยประมาณเท่านั้น

ตารางที่ 1 อัตราส่วน $\frac{K}{E}$ สำหรับการไหลของน้ำในท่อที่ทำด้วยวัสดุต่าง ๆ

วัสดุที่ใช้ทำท่อ	$\frac{K}{E}$
เหล็กแผ่น	0.010
เหล็กหล่อ	0.025
คอนกรีต	0.100
ไม้	0.020
ซีเมนต์ใยหิน	0.088

ถ้าให้ L เป็นความยาวของท่อจากจุดที่ติดตั้งประตูน้ำไปถึงจุดที่จ่ายน้ำเข้าท่อ หน่วยเป็นเมตร (m) ความดันที่เกิดขึ้นโดยวอเตอร์แฮมเมอร์ จะมีค่าสูงสุดเท่ากับที่คำนวณได้โดยสมการที่ (1) ถ้าปิดประตูน้ำโดยใช้เวลาไม่เกินเวลาวิกฤติ (Critical Time) T_c วินาที

2.3.2 วอเตอร์แฮมเมอร์ (Water hammer) (ต่อ)

จากสมการ $T_c = \frac{2L}{v_w}$ (2.2)

ในกรณีที่ปิดประตูน้ำโดยใช้เวลามากกว่า T_c ความดันเนื่องจากวอเตอร์แฮมเมอร์ที่เกิดขึ้นจะหาได้

จากสมการ $P_a = \frac{T_c}{T_a} \cdot P$ (2.3)

โดย P_a เป็นความดันในท่อเมื่อปิดประตูน้ำโดยใช้เวลาเท่ากับ T_a , P เป็นความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อปิดประตูน้ำโดยใช้เวลาน้อยกว่าหรือเท่ากับเวลาวิกฤติ (Critical Time) T_c

การป้องกันวอเตอร์แฮมเมอร์

วิธีป้องกันไม่ให้วอเตอร์แฮมเมอร์ที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมากจนทำความเสียหายให้แก่ระบบท่อนั้นทำโดยการลดความดันที่เกิดขึ้นให้เหลืออยู่ในระดับที่ยอมให้โดย

1.) เพิ่มระยะในการปิดประตูน้ำ หรือเปลี่ยนแปลงความเร็วโดยใช้เวลาให้มากกว่าเวลาวิกฤติ (critical Time) T_c มากๆ

2.) โดยการให้น้ำไหลออกมาจากท่อบ้างในขณะที่เกิดความดันมาก ๆ

3.) โดยใช้ทั้งสองวิธีข้างต้นร่วมกัน

อุปกรณ์ป้องกันวอเตอร์แฮมเมอร์

การป้องกันวอเตอร์แฮมเมอร์จากการหยุดเดินเครื่องสูบน้ำอาจทำได้โดยการลดความเร็วของเครื่องยนต์ลงทีละน้อยเป็นขั้นๆจนอัตราการไหลน้อยมากแล้วจึงดับเครื่องยนต์ ในกรณีที่ต้นกังลังเป็นมอเตอร์ซึ่งมีรอบการหมุนคงที่ก็ให้ใช้วิธีปิดประตูจ่ายน้ำลงทีละน้อยเป็นขั้นๆ เช่นเดียวกันจนกระทั่งปิดสนิทหรือเกือบสนิทแล้วจึงปิดสวิทช์ การเริ่มเดินเครื่องสูบน้ำก็ทำในลักษณะเดียวกันแต่ย้อนขั้นตอน อย่างไรก็ตาม บางครั้งมีความจำเป็นต้องหยุดเดินเครื่องอย่างกะทันหัน หรืออาจมีสาเหตุมาจากกระแสไฟฟ้าขัดข้อง เครื่องยนต์เสีย เป็นต้น ดังนั้นในระบบที่มีโอกาสเกิดวอเตอร์แฮมเมอร์ได้ง่ายจึงควรมีอุปกรณ์ป้องกันช่วย เช่น Pressure rellef valve, Air lnlet-relief valve, Air chamber , Surge suppressor และ Surge tank เป็นต้น

2.3.2 วอเตอร์แฮมเมอร์ (Water hammer (ต่อ)

Pressure relief valve เป็นวาล์ว ที่ทำหน้าที่ในลักษณะเดียวกันกับวาล์วนิรภัย (Safety valve) กล่าวคือเมื่อความดันในท่อสูงกว่าที่กำหนดไว้ มันก็จะ เปิดกว้างออกและระบายน้ำทิ้งเพื่อลดความดันลง ความดันที่ตั้งไว้อาจควบคุมโดยสปริงหรือน้ำหนักก็ได้ อุปกรณ์แบบนี้เหมาะสำหรับท่อที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ซึ่งการระบายน้ำทิ้งจะมีผลช่วยให้ลดความดันในท่อลงได้บ้าง

Air lnlet-relief valve เป็นวาล์วที่จะเปิดให้อากาศไหลเข้ามาในท่อโดยอัตโนมัติเมื่อความดันในท่อต่ำกว่าความดันของบรรยากาศ ซึ่งจะเป็นการป้องกันไม่ให้ท่อแบนลง อุปกรณ์ดังกล่าวนี้ยังใช้สำหรับระบายอากาคออกจากท่อด้วย โดยการติดตั้งไว้หลังท่อในบริเวณที่อยู่สูงกว่าแนวท่อส่วนอื่น อากาศที่ติดมากับน้ำก็จะไหลเข้าไปในอุปกรณ์นี้แล้วทำให้ลูกลอยลดระดับลงวาล์วเปิดและอากาศก็จะถูกระบายออกไป การที่จำเป็นต้องระบายอากาศในท่อออกไปก็เพราะว่าถ้าความเร็วของการไหลไม่มากพอโพรงอากาศในท่อจะเป็นสิ่งกีดขวางการไหลโดยทำให้การไหลในช่วงดังกล่าวมีลักษณะเป็นการไหลในทางน้ำเปิดแทนที่จะเป็นการไหลเต็มท่อ

Air chamber เป็นอุปกรณ์ช่วยลดความรุนแรงของวอเตอร์แฮมเมอร์อีกแบบหนึ่งที่มีลักษณะเป็นถังบรรจุอากาศต่อเข้ากับหลังท่อ อากาศในถังซึ่งยืดหดตัวได้ดีกว่าน้ำก็จะทำหน้าที่ผ่อนคลายความรุนแรงลงเมื่อมีความดันเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันนอกจากนั้นอุปกรณ์ชนิดนี้ยังใช้ต่อเข้ากับด้านจ่ายของปั๊มแบบสูบชักก่อนส่งน้ำเข้าสู่ระบบ เพื่อให้การไหลสม่ำเสมอตลอดเวลาอีกด้วย

Surge suppressor เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายกับ Air chamber แต่แทนที่จะใช้อากาศเป็นตัวผ่อนคลายแรงดันก็เปลี่ยนไปใช้สปริงแทน อุปกรณ์ชนิดนี้ใช้กับท่อขนาดเล็ก เช่น ท่อน้ำใช้ในบ้านมากกว่าที่จะใช้กับระบบท่อขนาดใหญ่

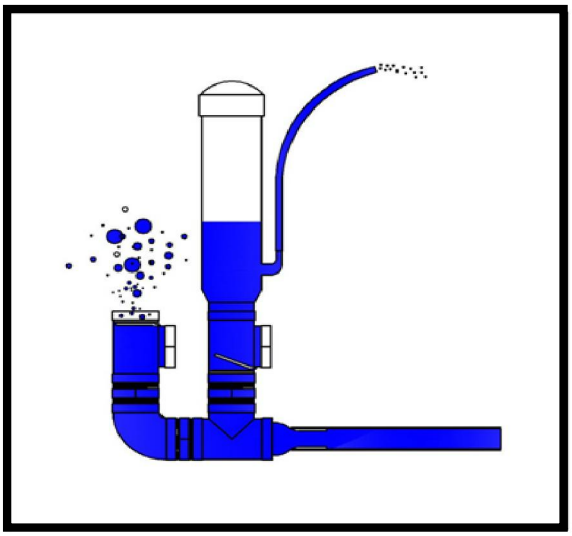
Surge tank เป็นถังช่วยลดความดันที่เพิ่มขึ้นจากวอเตอร์แฮมเมอร์ในระบบขนาดใหญ่ซึ่งมีทั้งประเภทเปิดด้านบนของถังและแบบปิด สำหรับแบบเปิดนั้นความสูงของถังจะต้องมากพอที่จะไม่ให้น้ำไหลล้นออกมาได้ ส่วนในแบบปิดจะมีลักษณะคล้ายกับ Air chamber แต่มีท่อขนาดเดียวกันกับท่อส่งน้ำเป็นตัวจ่ายน้ำเข้าไปในถังอีกทีหนึ่ง การลดความรุนแรงของความดันจะถูกควบคุมโดยการไหลของน้ำเข้าไปใน surge Tank และการยืดหดตัวของอากาศในถัง

ในระบบท่อส่งน้ำที่มีความยาวมากและมีความลาดเทสูงขึ้นจากปั๊มหรือท่อไม่ยาวมากแต่มีความลาดเทจากปั๊มชันมาก การติดตั้งเชควาล์วประเภทไม่ปิดกระ ทันหัน (Non-slam) ซึ่งออกแบบให้ปิดเมื่อความเร็วเป็นศูนย์ คือไม่เปิดโอกาสให้น้ำในท่อไหลย้อนกลับมาก็จะช่วยลดวอเตอร์แฮมเมอร์ลงได้ วิธีที่กล่าวนี้จะช่วยลดความดันจากวอเตอร์แฮมเมอร์ลงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ซึ่งมีรอบคงที่ตลอดช่วงการทำงาน

2.3.2 วอเตอร์แฮมเมอร์ (Water hammer) (ต่อ)

ส่วนประกอบที่สำคัญของไฮดรอลิกแรม

1. ท่อส่งน้ำเข้าสู่ปั๊มน้ำ (Drive pipe)
2. ตัวของปั๊มน้ำ (Hydraulic body)
3. วาล์วน้ำทิ้ง (Waste valve)
4. วาล์วจ่ายน้ำ (Delivery valve)
5. ถังลม (Air Chamber)
6. ท่อส่งน้ำไปยังถังเก็บ (Delivery pipe)



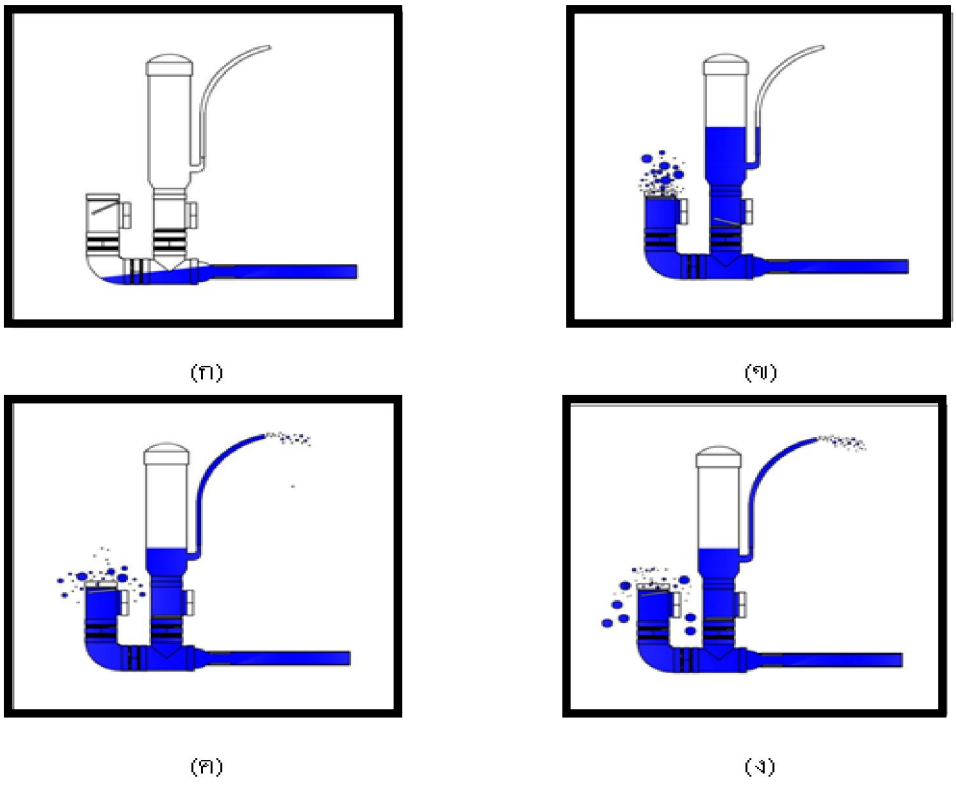
ภาพที่ 13 ลักษณะทั่วไปของไฮดรอลิคแรม

หลักการทำงานของไฮดรอลิกแรม

การทำงานจะเริ่มจากน้ำจากแหล่งจ่ายน้ำซึ่งอาจเป็นลำธารน้ำ น้ำตก ไหลเข้ามาทางท่อด้านเข้า ในตอนเริ่มต้นวาล์วน้ำล้น (Waste valve) เปิด และวาล์วส่ง (Delivery valve) ปิดทำให้น้ำที่ไหลเข้ามาไหลออกทางวาล์วน้ำล้น โดยต้องมีการต้องกระตุ้นวาล์วน้ำล้นให้เกิดการปิดเปิดเป็นจังหวะ หลังจากนั้นปั๊มน้ำจะเริ่มต้นทำงานได้ด้วยตัวเองไปเรื่อย ๆ หลักการทำงานของไฮดรอลิกแรม เริ่มต้นเมื่อน้ำไหลผ่านท่อส่งเข้ามาในตัวปั๊ม (Hydraulic body) ในขณะที่วาล์วน้ำทิ้ง (Waste valve) ยังเปิดอยู่ดังภาพ (ก) เมื่อความเร็วของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้วาล์วควบคุมความเร็ว (Impulse valve) ที่วาล์วน้ำทิ้งเลื่อนขึ้นปิด การที่วาล์วควบคุมความเร็วปิดอย่างรวดเร็วทำให้น้ำซึ่งไหลมาตามท่อกระแทกกับผนังของ

2.3.2 วอเตอร์แฮมเมอร์ (Water hammer) (ต่อ)

ตัวปั๊มทำให้ความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Water hammer) และความดันที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้แรงดันในตัวปั๊มชนะแรงดันในถังอากาศทำให้วาล์วจ่ายน้ำ (Delivery valve) เปิดดังแสดงในภาพ (ข) แล้วน้ำก็จะไหลเข้าไปในถังลม (Air Chamber) ปริมาณของน้ำที่ไหลเข้าไปในถังลมจะผลักดันให้อากาศไปรวมตัวกันอยู่บริเวณส่วนบนของถังลม ดังแสดงในภาพ (ค) พร้อมกันนั้นน้ำจะถูกส่งผ่านท่อส่งน้ำ (Delivery pipe) ดังแสดงในภาพ (ง) หลังจากนั้นความดันก็จะย้อนกลับมาทางวาล์วจ่ายน้ำ ความดันในไฮดรอลิคแรมจะลดลงทำให้วาล์วน้ำทิ้งเปิด และอากาศที่ถูกอัดตัว ในถังอากาศเกิดการขยายตัวดันให้วาล์วจ่ายน้ำปิด ในช่วงการขยายตัวนี้ อากาศจะดันน้ำส่งผ่านท่อจ่ายน้ำ จนความดันเท่ากับน้ำที่ไหลเข้าปั๊มอีกครั้ง และจะทำงานเป็นจักรต่อไป



ภาพที่ 14 การทำงานของไฮดรอลิคแรม

2.3.3 คุณสมบัติของของไหล

คุณสมบัติเบื้องต้นของของไหลที่เข้ามาเกี่ยวของกับปั๊มมีหลายอย่างด้วยกัน คือ

3.3.1. ความหนาแน่น (Density, ρ) คืออัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เช่นความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 4 °c เป็นต้น

3.3.2. น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, γ) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ค่าน้ำหนักจำเพาะขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลกและความหนาแน่น

โดยสมการ $\gamma = \rho g$ (2.14)

เมื่อ g = ความเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก

น้ำหนักจำเพาะของน้ำ = 9,810 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร $\left(N/m^3\right)$

3.3.3. ความถ่วงจำเพาะ หรือ ถ.พ. (Specific gravity) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักจำเพาะ (หรือความหนาแน่น) ของวัสดุหรือน้ำหนักจำเพาะ (หรือความหนาแน่น) ของน้ำที่อุณหภูมิมาตรฐาน โดยปกติใช้ 4 °c หรือ 39.2 4°F ซึ่งความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1.0

3.3.4. ความข้นเหนียว (Viscosity) เป็นคุณสมบัติของไหลที่เนื่องมาจากการเกาะกันระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน (Cohesive) แล้วก่อให้เกิดความต้านทานต่อการไหลขึ้น คุณสมบัติข้อนี้จะมีผลหรือเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการไหลเท่านั้น ความข้นเหนียวของของไหลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ความข้นเหนียวที่ใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ Dynamic viscosity (μ) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อเมตรวินาที $\left(kg/m-s\right)$ และ Kinematic viscosity (ν) มีหน่วยเป็นตารางเมตรต่อวินาที $\left(m^3/s\right)$ ซึ่งเท่ากับ Dynamic viscosity หารด้วยความหนาแน่น

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.15)$$

2.3.3 คุณสมบัติของของไหล (ต่อ)

ความดันไอ (Vapor pressure) ความดันไอของของเหลวก็คือโมเลกุลที่เกิดจากโมเลกุลในรูปอิ่มตัว (Saturated vapor) เหนือผิวหน้าของของเหลวที่อุณหภูมิที่กำหนดให้ เมื่อความดันไอของของเหลวเท่ากับความกดดันของบรรยากาศหรือความกดดันที่อยู่รอบ ๆ ของเหลวนั้นก็จะเดือด เช่น ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 100 °c และที่ระดับน้ำทะเลจะเท่ากับความกดดันของบรรยากาศ เป็นต้น อาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า ความดันไอที่อุณหภูมิหนึ่งก็คือความดันสมบูรณ์ (Absolute pressure) ซึ่งจะทำให้ของเหลวเดือดที่อุณหภูมินั้น ความดันไอจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

คุณสมบัติของของเหลวข้อนี้มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของปั๊มทางด้านดูด (Suction Side) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าของเหลวที่ต้องการสูบมีอุณหภูมิสูงหรือเป็นของเหลวที่ระเหยได้ง่าย ทั้งนี้เพราะว่าถ้าความดันของของเหลวในปั๊มส่วนนี้ลดลงจนถึงความดันไอแล้วจะทำให้ของเหลวเดือดกลายเป็นไอ และจะเป็นผลทำให้อัตราการสูบของปั๊มลดลงหรือไม่มีของเหลวไหลเข้ามาสู่ปั๊มเลย ดังนั้นจึงต้องกำหนดให้ความดันภายในเรือนปั๊ม (Casing) สูงกว่าความดันไอของของเหลวอยู่ตลอดเวลา

2.3.3 คุณสมบัติของของไหล (ต่อ)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

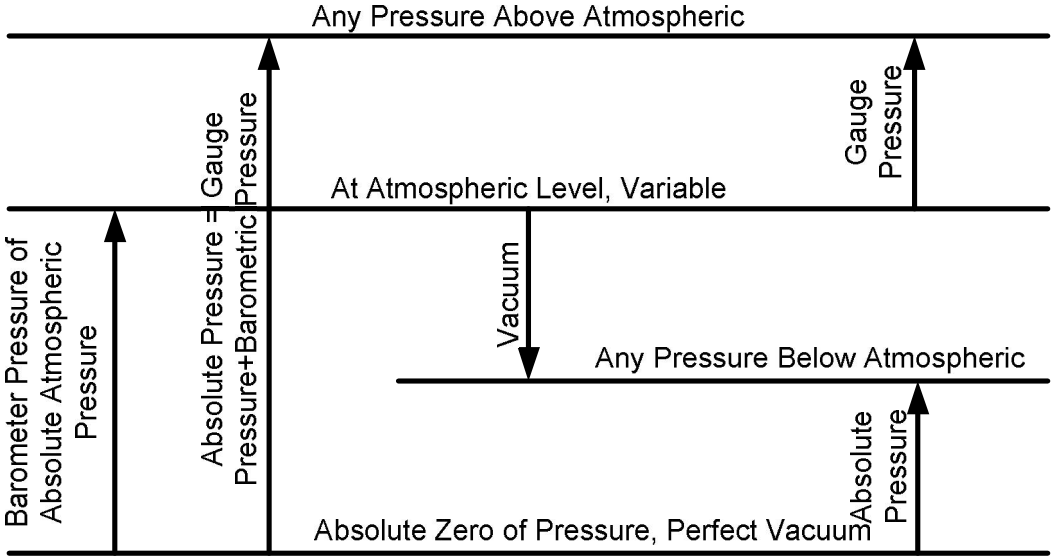
อุณหภูมิ		**ความหนาแน่น**		**viscosity** (μ)		**Kinematic viscosity** (ν)	
°c	°F	gm/cm^3	$slugs/ft^3$	(10^{-3}) $kg/m-sec$	(10^{-5}) lb_f-sec/ft^2	(10^{-6}) m^2/sec	(10^{-5}) ft^2/sec
0	32	0.99987	1.940	1.794	3.746	1.794	1.930
4	39	1.00000	1.941	1.568	3.274	1.568	1.687
5	41	0.99999	1.941	1.519	3.172	1.519	1.634
10	50	0.99973	1.940	1.310	2.735	1.310	1.407
15	59	0.99913	1.940	1.145	2.391	1.146	1.233
20	68	0.99800	1.937	1.009	2.107	1.011	1.088
30	86	0.99600	1.932	0.800	1.670	0.803	0.864
40	104	0.99200	1.925	0.654	1.366	0.659	0.709
50	122	0.98800	1.917	0.549	1.146	0.556	0.598
60	140	0.98300	1.907	0.470	0.981	0.478	0.514
70	158	0.97800	1.897	0.407	0.850	0.416	0.448
80	176	0.97200	1.885	0.357	0.745	0.367	0.395
90	197	0.96500	1.872	0.317	0.662	0.328	0.353
100	212	0.95800	1.858	0.284	0.593	0.296	0.318

ที่มา : วิบูลย์ (2529)

2.3.4 ความดันและเฮด

ในการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของปั๊ม จำเป็นต้องทราบทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับของเหลว ความดัน และหัวน้ำหรือเฮดของปั๊ม (วิบูรณ์, 2545) ได้กล่าวดั้งต่อไปนี้

ความดันของบรรยากาศ (Atmospheric pressure) คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนผิวโลกแต่เนื่องจากว่าลักษณะการวัดความดันมี 2 แบบ โดยพิจารณาตามภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ความดันบรรยากาศ

ที่มา : วิบูลย์ (2529)

จากรูป ความดันของบรรยากาศมี่ค่าศูนย์อย่างแท้จริงหรือไม่มีความดันเลยซึ่งเกิดขึ้นได้โดยการดูดอากาศออกหมดจนเป็นสุญญากาศที่แท้จริงเรียกว่า ความดันศูนย์สมบูรณ์ (Absolute zero pressure) ค่าความดันใด ๆ ที่วัดจากค่าความดันพื้นฐานนี้เรียกว่า ความดันสมบูรณ์ (Absolute pressure , P_{abs}) รวมทั้งความดันของบรรยากาศซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับ 101.325 กิโล-นิวตัน/ตารางเมตร $\left(kN/m^2\right)$ หรือ 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้วก็เป็นความดันสมบูรณ์ด้วย แต่เนื่องจากว่าอุปกรณ์ที่ใช้วัดเรียกว่า บาโรมิเตอร์ (Barometer) ค่าความกดดันของบรรยากาศที่วัดได้จึงเรียกว่าความดันจากบาโรมิเตอร์ (Barometer pressure , P_b) อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันโดยทั่ว ๆ ไปเป็น

2.3.4 ความดันและเฮด (ต่อ)

เครื่องมือสำหรับวัดค่าที่แตกต่างไปจากความกดดันของบรรยากาศ ค่าที่วัดได้เรียก ความดันจากเกจ์ (Gauge pressure, P_g) ซึ่งอาจมีค่าได้ทั้งบวกและลบ จากรูปจะเห็นได้ว่าสามารถเปลี่ยนความดันจากเกจ์ให้เป็นความดันสมบูรณ์ได้โดย

ความดันสมบูรณ์ = ความดันจากบาโรมิเตอร์ + ความดันจากเกจ

$$P_{abs} = P_b + P_g \qquad (2.16)$$

ค่าความกดดันของบรรยากาศ หรือความกดดันจากบาโรมิเตอร์อาจคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$P_b = 1013 - 0.1055\ EL \qquad (2.17)$$

ในเมื่อ P_b เป็นความดันของบรรยากาศมีหน่วยเป็นมิลลิบาร์หนึ่งมิลลิบาร์ เท่ากับ 0.0145 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือคิดเป็นความสูงของแท่งน้ำที่ 4 °c ได้เท่ากับ 0.010197 เมตร และ EL เป็นระดับความสูงของพื้นผิวที่ต้องการทราบความกดดันเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางมีหน่วยเป็นเมตร

ในการคำนวณเกี่ยวกับการติดตั้งปั๊ม ค่าความกดดันของบรรยากาศที่ใช้มีหน่วยเป็นความสูงของแท่งน้ำหรือเฮดเป็นเมตรค่าดังกล่าวจะคำนวณได้จากสมการ

$$H_P = 10.33 - 0.00108EL \qquad (2.18)$$

เมื่อ H_P = ความกดดันบรรยากาศเทียบให้เป็นความสูงของแท่งน้ำที่ 4 °c มีหน่วย เป็นเมตร

เฮดความดัน (Pressure head, H) ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร $\left(N/m^2\right)$ หรือปอนด์ต่อตารานิ้ว (psi) แล้ว ถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลวนั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งวามสูงของของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure head)

2.3.4 ความดันและเฮด (ต่อ)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน P และเฮดความดัน H คือ

$$H = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \qquad (2.19)$$

เมื่อ γ = น้ำหนักจำเพาะ

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

เฮดความเร็ว (Velocity head, H_v) ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใด ๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่พลังงานในส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเฮด คือ

$$H_v = \frac{v^2}{2g} \qquad (2.20)$$

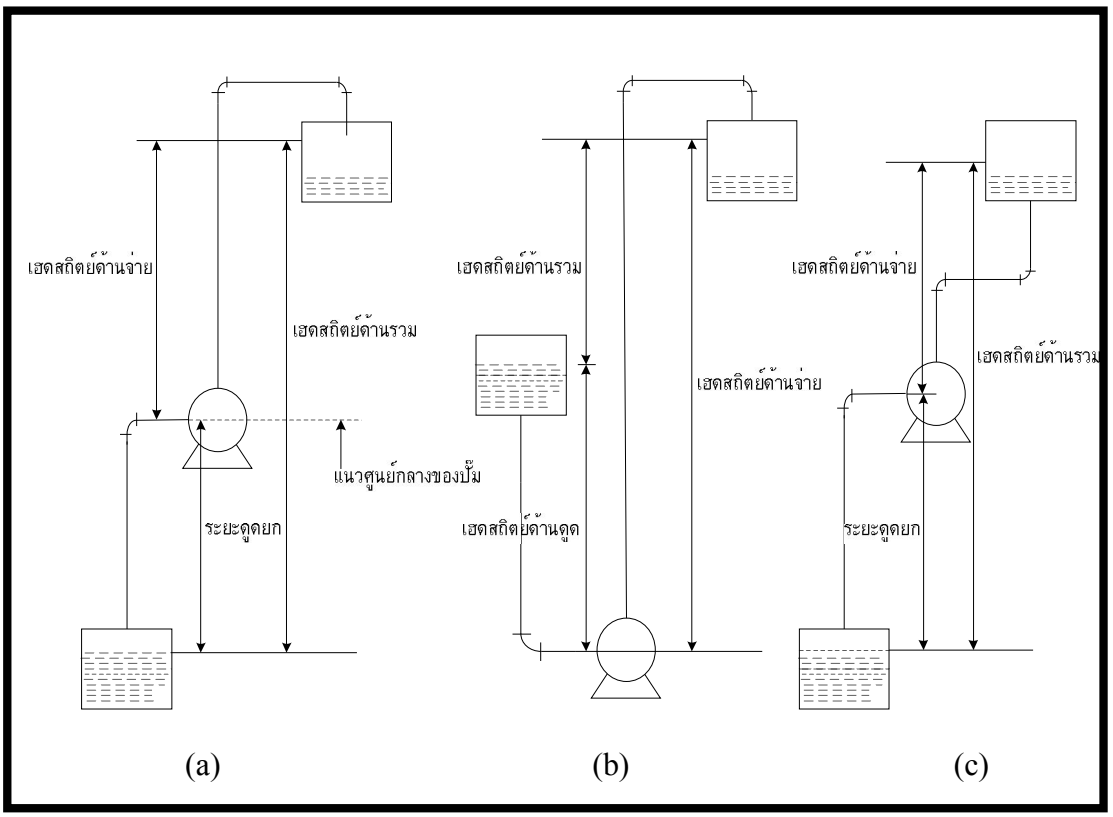
เมื่อ v = ความเร็วของการไหล

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

เฮดความเร็วอาจให้กำจัดความได้อีกอย่างหนึ่งว่า เป็นความสูงที่ของเหลวตกลงมาด้วยแรงดึงดูดของโลกจนได้ความเร็วเท่ากับความเร็วในการไหลของของเหลวนั้น

เฮดสถิตย์ (Static head) ในการทำงานของปั๊มโดยทั่ว ๆ ไปของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้มันไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่า ความดันซึ่งคิดเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของปั๊มทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์เรียกว่า เฮดสถิตย์ (Static head)

2.3.4 ความดันและเฮด (ต่อ)



ภาพที่ 16 คำจำกัดความของเฮดสถิต

ที่มา : วิบูลย์ (2529)

จากรูป ระยะทางในแนวดิ่งที่บอกเป็นแท่งความสูงของของเหลว หรือเฮดจากศูนย์กลางของปั๊มถึงปลายของท่อจ่ายเรียกว่า เฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static discharge head) ระยะจากจุดศูนย์กลางของปั๊มถึงระดับผิวของของเหลวที่ปลายของท่อดูดซึ่งอยู่สูงกว่า (รูป b) เรียกว่า เฮดสถิตด้านดูด (Static Suction Head) ถ้าผิวของของเหลวอยู่ต่ำกว่า (รูป a และ รูป c) และความดันที่ศูนย์กลางของปั๊มจะมีค่าเป็นลบ ในกรณีนี้จะเรียกว่า ระยะดูดยก (Static suction lift)

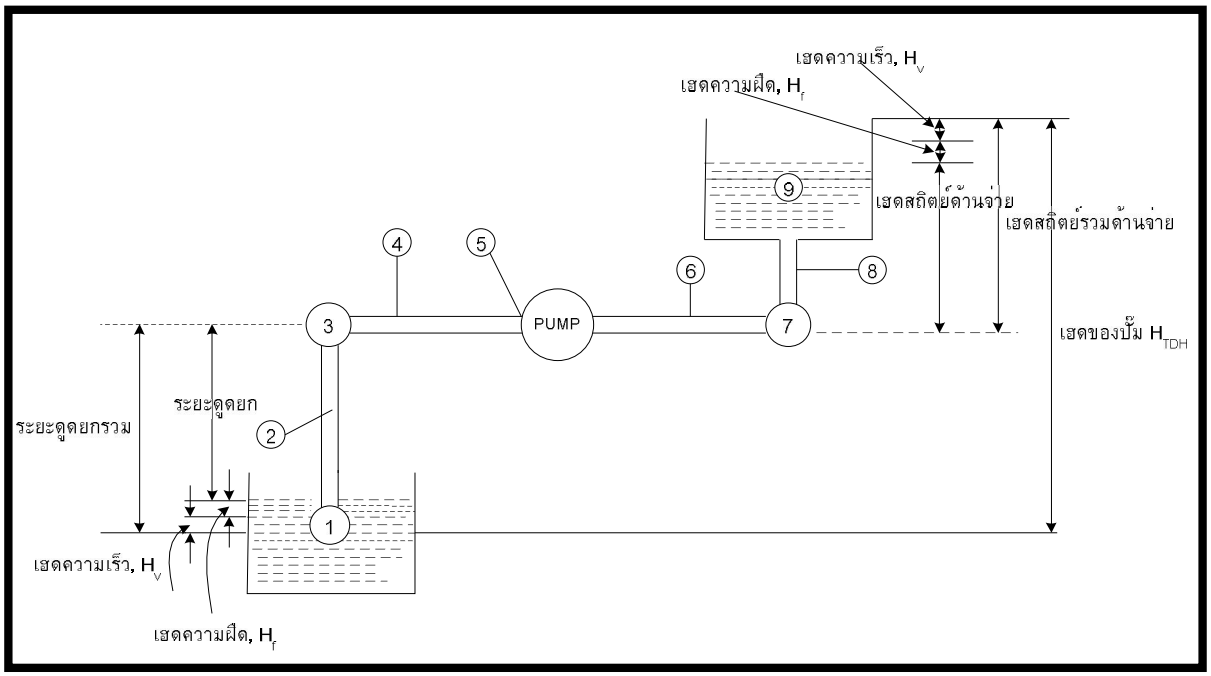
เฮดรวมสถิตย์รวม (Total static head) ก็คือผลต่างทางพีชคณิตของเฮดสถิตด้านจ่าย (Static discharge head) กับเฮดสถิตด้านดูด (Static suction head) ค่าดังกล่าวนี้เป็นเฮดต่ำสุดที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวก่อนที่จะมีการไหลเกิดขึ้น

2.3.4 ความดันและเฮด (ต่อ)

เฮดความฝืด (Friction head, H_f) ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านระบบท่อทั้งด้านดูดและจ่ายพลังงานหรือเฮดในการไหลส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนาองจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังของท่อและส่วนประกอบต่าง ๆ ซึ่งเราเรียกว่า เฮดความฝืด (Friction head)

ระบบสูบน้ำโดยทั่ว ๆ ไป การเสียเฮดเนื่องจากความฝืดอาจเกิดขึ้นได้หลายจุด 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) ที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่ปั๊มการทำงานจะเท่ากับเฮดสถิตด้านจ่ายรวมกับเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านจ่าย (วิบูลย์, 2529)



ภาพที่ 17 ตำแหน่งที่เกิดการสูญเสียพลังงานหรือเฮดในระบบท่อและอุปกรณ์

ที่มา : วิบูลย์ (2529)

2.3.4 ความดันและเฮด (ต่อ)

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

เฮดรวม (Total dynamic head) หรือ Total discharge head (TDH) คือพลังงานทั้งหมดที่บอกในรูปของเฮดที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวเพื่อของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อด้วยอัตราที่กำหนด หรือ

เฮดรวมของปั๊ม (TDH) = เฮดรวมสถิตย์รวม (Total Static Head)
+ เฮดความฝืดรวม (Friction Head) (2.21)

จะเห็นได้ว่า ในส่วนของเฮดสถิตนั้นมีค่าคงที่ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะการติดตั้งของระบบ แต่เฮดความฝืดจะแปรผันไปตามอัตราการไหลผ่าน

2.3.5 การไหลในท่อปิด

(วิบูลย์, 2529) ในงานที่มีการใช้ปั๊มขนส่งของเหลวจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ท่อเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันมากที่สุดจนอาจจะกล่าวได้ว่าท่อเป็นส่วนหนึ่งของปั๊ม การไหลของของเหลวในท่อเมื่อร่วมใช้กับปั๊มนี้ส่วนมากจะเป็นการไหลแบบเต็มท่อซึ่งมีกฎเกณฑ์ในการคำนวณแตกต่างไปจากการไหลในทางน้ำเปิด ลักษณะการไหลในท่ออาจจะจำแนกออกได้โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลเมื่อเทียบกับเวลา สถานที่ และแรงเฉื่อย (Forces of inertia) ซึ่งอยู่กับความหนาแน่นของของเหลวเมื่อเทียบกับแรงหนืด (Forces of viscosity) ได้กล่าวการไหลในท่อปิดดั้งต่อไปนี้

เมื่อความเร็วของการไหลที่จุดใดจุดหนึ่งไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การไหลนั้นเรียกว่า Steady Flow ถ้าเปลี่ยนไปตามเวลาเรียดว่า Unsteady flow

ถ้าความเร็วของการไหลในขณะใดขณะหนึ่งไม่เปลี่ยนขนาดและทิศทางตลอดระยะทางของเส้นสายน้ำ (Streamline) การไหลนั้นเรียกว่าเป็น Uniform flow ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็จะเป็นการไหลแบบ Non-uniform flow

สำหรับการเปรียบเทียบแรงเฉื่อยกับแรงหนืดนั้นก็เพื่อจะดูว่ามวลของของเหลวที่ไหลอยู่ในท่อนั้นมีการไหลวนและกระแทกกระทั้นกันมากน้อยอย่างไร ถ้าหากแรงหนืดมีค่าสูงเมื่อเทียบกับแรงเฉื่อย การไหลของของเหลวจะมีลักษณะคล้ายกับแผ่นขนานกันไป การไหลในลักษณะดังกล่าวนี้ก็เรียกว่าเป็นการไหลแบบ Laminar flow แต่ถ้าหากแรงหนืดมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับแรงเฉื่อย การไหลก็จะปั่นป่วน มวลของของเหลวจะมีการไหลวนการไหลในลักษณะนี้เรียกว่าเป็นการไหลแบบ Turbulent flow

การที่จะบอกว่าการไหลในท่อใด ๆ เป็น Laminar flow หรือ Turbulent flow ก็จะพิจารณาจาก Reynolds Number (R_e) คือ

$$R_e = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \qquad (2.22)$$

2.3.5 การไหลในท่อปิด (ต่อ)

เมื่อ

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

V = ความเร็วของการไหล

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

μ = Dynamic viscosity ของของเหลว

ν = Kinematic viscosity ของของเหลว

ในทางปฏิบัติเราถือว่า R_e มีค่าไม่เกิน 2,000 การไหลเป็นแบบ Lamina ถ้ามากกว่านี้การไหลเป็นแบบ Turbulent (วิบูรณ์, 2545)

2.3.6 การเสียเฮดความฝืด

เป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าการเสียเฮดหรือพลังงานเนื่องจากความฝืด (Friction head loss) ท่อตรง ไม่ว่าการไหลนั้นจะเป็นแบบ Lamina หรือ Turbulent คำนวณได้จากสูตรของ Darce – Weisbach คือ

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \qquad (2.23)$$

เมื่อ

h_f = การเสียเฮดเนื่องจากความฝืด บอกเป็นความสูงของของเหลว

f = สัมประสิทธิ์ของความฝืด

L = ความยาวของท่อ

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ

V = ความเร็วของการไหลในท่อ

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

ค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด f ขึ้นอยู่กับทั้งคุณสมบัติของท่อและลักษณะการไหลว่าเป็นแบบ Lamina หรือ Turbulent ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวอาจหาได้จากสูตร

2.3.6 การเสียเฮดความฝืด (ต่อ)

$$f = \frac{64}{R_e} \quad \text{(Lamina flow, } R_e \leq 2{,}000\text{)} \qquad (2.24)$$

เมื่อ Reynolds Number มีค่ามากกว่าประมาณ 3,000 การไหลจะเป็นแบบ Turbulent เสมอ ไม่ว่าผนังท่อจะเรียบสม่ำเสมอเท่าใดก็ตาม ในกรณีนี้สัมประสิทธ์ของความฝืดจะขึ้นอยู่กับ R_e และอัตราส่วนระหว่างความขรุขระของผนังท่อต่อความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน $\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)$

ค่าสัมประสิทธ์ของความฝืด f ของทั้งสองกรณีนี้คำนวณได้จากสูตร

ก. เมื่อผนังท่อเรียบ (Hydraulically smooth)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log\left(\frac{R_e\sqrt{f}}{2.51}\right) \qquad (2.25)$$

ข. เมื่อผนังท่อขรุขระมากจนทำให้การไหลเป็นแบบ Turbulent อย่างแท้จริง

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log\left(3.7\frac{D}{\varepsilon}\right) \qquad (2.26)$$

ค. ในกรณีที่การไหลเป็นแบบ Turbulent แต่ความขรุขระของผนังท่ออยู่ระหว่างสองกรณีข้างต้น ค่าสัมประสิทธ์ของความฝืด f จะขึ้นอยู่กับ R_e และอัตราส่วนระหว่างความขรุขระของผนังท่อต่อความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน $\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3.1D} + \frac{2.51}{R_e\sqrt{f}}\right) \qquad (2.27)$$

2.3.6 การเสียเฮดความฝืด (ต่อ)

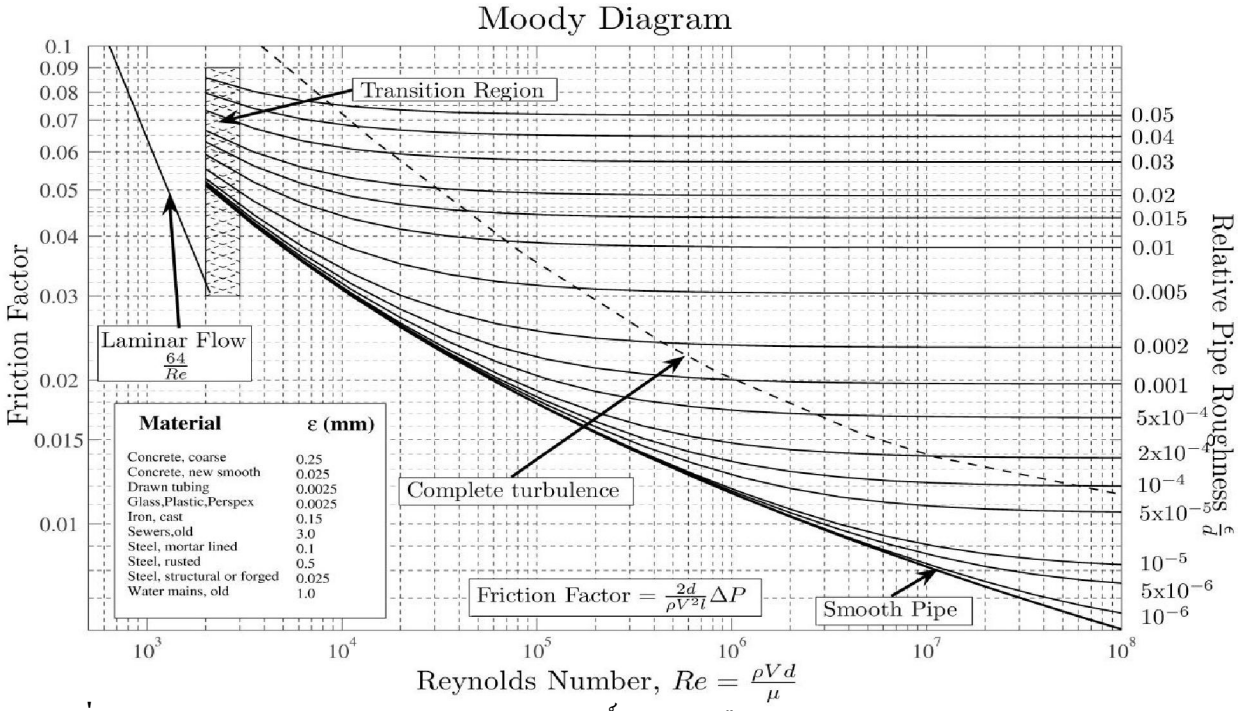
ค่าความขรุขระของผนังท่อใหม่ซึ่งจำเป็นต้องใช้ร่วมกับ Moody diagram

เมื่อท่อมีอายุการใช้งานมากขึ้นผนังท่ออาจจะผุกร่อนหรือมีสนิมทำให้ความขรุขระมากสูงขึ้น สำหรับท่อน้ำที่ทำด้วยเหล็ก ความขรุขระเมื่อมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นอาจประมาณได้จาก

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + t\alpha \qquad (2.28)$$

เมื่อ

ε = เป็นความขรุขระเมื่อท่อท่อมีอายุใช้งาน t ปี



ภาพที่ 18 Moody diagram สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด

ที่มา : วิบูลย์ (2529)

ตารางที่ 3 รายละเอียด ชื่อขนาด และมิติ ท่อโพลีไวนิลคลอไรด์แข็ง (PVC) **" ท่อน้ำไทย "**

ท่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้เป็นท่อน้ำดื่ม แบบท่อปลายธรรมดา ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 17-2532 มีสีฟ้า สำหรับใช้เป็นท่อน้ำดื่ม ท่อรับความดัน ท่อระบายน้ำทิ้ง และสิ่งปฏิกูล ฯลฯ

ชื่อขนาด Nominal Size	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (OD)	ความหนา (Thickness)		
		PVC 5	PVC 8.5	PVC 13.5
18 $\left(\frac{1}{2}''\right)$	22 ± 0.15	-	2.0 ± 0.20	2.5 ± 0.20
20 $\left(\frac{3}{4}''\right)$	26 ± 0.15	-	2.0 ± 0.20	2.5 ± 0.20
25 $\left(1''\right)$	34 ± 0.15	-	2.0 ± 0.20	3.0 ± 0.25
35 $\left(1\frac{1}{4}''\right)$	42 ± 0.15	1.5 ± 0.15	2.0 ± 0.20	3.1 ± 0.25
40 $\left(1\frac{1}{2}''\right)$	48 ± 0.15	1.5 ± 0.15	2.3 ± 0.20	3.5 ± 0.25
55 $\left(2''\right)$	60 ± 0.15	1.8 ± 0.20	2.9 ± 0.25	4.3 ± 0.30
65 $\left(2\frac{1}{2}''\right)$	76 ± 0.20	2.2 ± 0.20	3.5 ± 0.25	5.4 ± 0.35
80 $\left(3''\right)$	89 ± 0.20	2.5 ± 0.20	4.1 ± 0.30	6.4 ± 0.40
100 $\left(4''\right)$	114 ± 0.30	3.2 ± 0.25	5.2 ± 0.35	8.1 ± 0.50
125 $\left(5''\right)$	140 ± 0.30	3.9 ± 0.30	6.4 ± 0.40	9.9 ± 0.55
150 $\left(6''\right)$	165 ± 0.40	4.6 ± 0.30	7.5 ± 0.45	11.7 ± 0.65
200 $\left(8''\right)$	216 ± 0.50	5.4 ± 0.35	8.8 ± 0.50	13.7 ± 0.75
250 $\left(10''\right)$	267 ± 0.70	6.6 ± 0.40	10.9 ± 0.60	16.9 ± 0.90
300 $\left(12''\right)$	318 ± 0.80	7.8 ± 0.45	12.9 ± 0.70	20.1 ± 1.05
350 $\left(14''\right)$	370 ± 0.90	9.1 ± 0.55	15.0 ± 0.80	23.4 ± 1.20
400 $\left(16''\right)$	420 ± 1.10	10.3 ± 0.60	17.0 ± 0.90	26.5 ± 1.35
450 $\left(18''\right)$	470 ± 1.20	11.5 ± 0.65	19.0 ± 1.00	29.7 ± 1.50
500 $\left(20''\right)$	520 ± 1.30	12.7 ± 0.70	21.0 ± 1.10	32.8 ± 1.65
600 $\left(24''\right)$	630 ± 1.60	15.3 ± 0.80	25.4 ± 1.30	39.7 ± 2.00

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ระบุชั้นคุณภาพท่อ PVC 5 PVC 8.5 และ PVC 13.5 เป็นความดันใช้งาน (Working pressure) หมายถึง ความดันสูงสุดที่กำหนอให้ใช้งานได้ติดต่อกันเป็นเวลานานที่อุณหภูมิ 27 $°c$ มีหน่วยเป็นกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร $\left(\text{kfg} / \text{cm}^2\right)$

2.3.6 การเสียเฮดความฝืด (ต่อ)

ตารางที่ 4 ความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่

ชนิดของท่อ	ε (ft.)	ε (mm.)
ท่อแก้ว ท่อรีดจากทองเหลือง ทองแดงและตะกั่ว	เรียบ	เรียบ
ท่อเหล็กเหนียว	1.5×10^{-4}	0.045
ท่อเหล็กห่ออาบยางมะตอย	4.0×10^{-4}	0.120
ท่อเหล็กชุบสังกะสี	5.0×10^{-4}	0.150
ท่อเหล็กหล่อธรรมดา	8.5×10^{-4}	0.260
ท่อไม้	2.0×10^{-4}	0.610
ท่อคอนกรีต	4.0×10^{-4}	1.220
ท่อเหล็กม้วนต่อด้วยหมุดย้ำ	6.0×10^{-4}	1.830
ท่อโลหะลูกฟูก	0.10-0.20	30.0-60.0
อุโมงค์ขนาดใหญ่ ดาดด้วยคอนกรีต หรือเหล็ก	0.002-0.004	0.60-1.20
อุโมงค์ที่เจาะด้วยการระเบิดหิน	1.0-2.0	300-600

ที่มา : วิบูลย์ (2545)

ε_0 เป็นความขรุขระเมื่อเริ่มใช้งาน

α เป็นสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลองซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0002 – 0.007

2.3.7 การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ

การสูญเสียรอง

เมื่อต้องการลดการสูญเสียเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดให้น้อยลง อาจทำได้โดยใช้วิธีการค่อยๆ เพิ่มพื้นที่หน้าตัด เช่น การใช้ท่อบาน (Diffuser) ดังรูปที่ 2.12 การสูญเสียในลักษณะเช่นนี้หาค่าได้จากสมการ

$$h'_x = k' \frac{(v_1 \quad v_2)^2}{2g} \qquad (2.33)$$

ตารางที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์ (k)

$\frac{D_2}{D_1}$	**มุมกรวย α**						
	4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°
1.2	0.02	0.04	0.09	0.16	0.25	0.35	0.37
1.4	0.03	0.06	0.12	0.23	0.36	0.50	0.53
1.6	0.03	0.07	0.14	0.26	0.42	0.57	0.61
1.8	0.04	0.07	0.15	0.28	0.44	0.61	0.65
2.0	0.04	0.07	0.16	0.29	0.46	0.63	0.68
2.5	0.04	0.08	0.16	0.30	0.48	0.65	0.70
3.0	0.04	0.08	0.16	0.31	0.48	0.66	0.71
4.0	0.04	0.08	0.16	0.31	0.49	0.67	0.72
5.0	0.04	0.08	0.16	0.31	0.50	0.67	0.72

ที่มา : วิบูลย์ (2529)

2.3.7 การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ (ต่อ)

ในกรณีที่ท่อยาวมากการสูญเสียรองอาจมีค่าน้อยมาก แต่ถ้าท่อสั้นการสูญเสียรองอาจมีค่ามากกว่าการสูญเสียหลัก

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ เช่น ข้องอ ประตูน้ำ ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียส่วนน้อย (Miner Loss) อาจคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$h_L = K\frac{v^2}{2g} \qquad (2.34)$$

เมื่อ h_L = การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ

K = สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์

v = ความเร็วของการไหล

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

2.3.7 การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ (ต่อ)

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหลของข้อต่อท่อชนิดต่างๆ

ชนิดของข้อต่อ	K
Globe valve , เปิดเต็มที่	10.00
Angle valve , เปิดเต็มที่	5.00
ข้อโค้งกลับ (close return bend)	2.20
สามทาง (Tee)	1.80
ข้องอ 90° (short – radius elbow)	0.90
Square Edged Inlet	0.50
ข้อโค้งรัศมีปานกลาง (medium – radius elbow)	0.75
ข้อโค้งรัศมียาว (long – radius elbow)	0.60
Inward Projecting Pipe	1.00
ข้องอ 45° (45° elbow)	0.42
Gate valve , เปิดเต็มที่	0.19
Check valve	2.00

ที่มา: วิบูลย์ (2529)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 สถานที่ทำการทดลอง

อาคารชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. Hydraulic Ram ชุดสาธิต
2. ชุดส่งน้ำเข้าระบบปรับระดับน้ำได้ตามความต้องการ ณ อาคารชลศาสตร์
3. ถังวัดปริมาณน้ำที่ทิ้งจากวาล์วทิ้งน้ำขนาดความกว้าง 0.404 เมตร ความยาว 0.602 เมตร ความสูง 0.30 เมตร
4. ถังวัดปริมาณน้ำที่ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20 เมตร ความสูง 0.30 เมตร
5. สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ความยาว 1.50 เมตร เพื่อส่งน้ำเข้าสู่ระบบ
6. สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ความยาว 8 เมตร เพื่อส่งน้ำออกจากระบบ
7. ตลับเมตร
8. ไม้บรรทัดเหล็ก
9. นาฬิกาจับเวลา
10. สมุดจดบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 7 ขนาดและจำนวนอุปกรณ์ที่นำมาประกอบเครื่องตะบันน้ำชุดสาธิต

ลำดับที่	ชนิดอุปกรณ์	ขนาด	จำนวน(ตัว)
1	ท่อ PVC สีฟ้า	2 นิ้ว	1
2	Check Valve	2 นิ้ว	2
3	ข้องอ 90°	2 นิ้ว	1
4	สามทาง	2 นิ้ว	2

3.3 วิธีการทดลอง

1. ปรับระดับความสูงของแหล่งน้ำที่จะใช้ทดลองจ่ายสม่ำเสมอเข้าตัวตะบันน้ำ
2. ติดตั้งระดับน้ำที่จะส่งขึ้นไปให้อยู่ในระดับที่สม่ำเสมอ
3. ไล่ฟองอากาศออกจากท่อโดยการกดลิ้นน้ำ (Impulser valve) ทิ้งค้างไว้ประมาณ 30 วินาที แล้วจึงปล่อยให้ทำงานตามปกติ
4. ปรับน้ำหนักกดลิ้นให้เหมาะสมกับแรงดันเพื่อให้ตะบันน้ำเริ่มทำงาน
5. นำตะบันน้ำมาต่อเข้ากับแหล่งน้ำและเปิดวาล์วให้น้ำไหลเข้าตัวปั๊ม
6. ปล่อยให้ปั๊มทำงานให้คงที่ 10 นาทีแล้วทำการเก็บผลการทดลอง
7. จับเวลา วัดปริมาตรน้ำทิ้งและน้ำที่ส่งขึ้นไปได้เป็นเวลา 1นาที พร้อมบันทึกภาพวีดีโอ
8. บันทึกผลการทดลอง ปริมาณน้ำที่เสียและปริมาณน้ำที่ได้
9. ทำซ้ำข้อ 1-8 โดยเปลี่ยนระดับความสูงต่างๆ

ตารางที่ 8 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง

วันที่ : …….. สถานที่ : .....

ผู้ทดลอง : …….. …… ……..

พื้นที่กระบอกตวงที่ได้น้ำ : …… cm^2 พื้นที่ตวงถังน้ำเสีย : …… cm^2

ชุดที่	ครั้งที่	ระดับการสูบน้ำขึ้นไปได้(m)	Headเริ่มต้น (m)	จำนวนครั้งกระแทก/min	เวลาที่ทดลอง (น.)	ระดับน้ำที่ได้ในกระบอกตวง(cm)	ระดับน้ำที่เสียในถังตวง(cm)

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ส่วนประกอบไฮดรอลิคแรมชุด ในการออกแบบสร้างและทำการทดสอบไฮดรอลิคแรมชุดสาธิตนั้น จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับการใช้งานต้องพิจารณาขนาดของเครื่องสูบน้ำที่จะสร้างขึ้น และเน้นที่วัสดุหาได้ง่ายตามท้องตลาดเพื่อสะดวกแก่ผู้ที่สนใจจะลองนำไปประกอบเอง โดยพิจารณาถึงความสามารถในการรับแรงเค้น แรงดันของถังเก็บความดัน (Pressure tank) รวมไปถึงความแข็งแรงและทนทาน อีกทั้งยังอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาประกอบด้วย

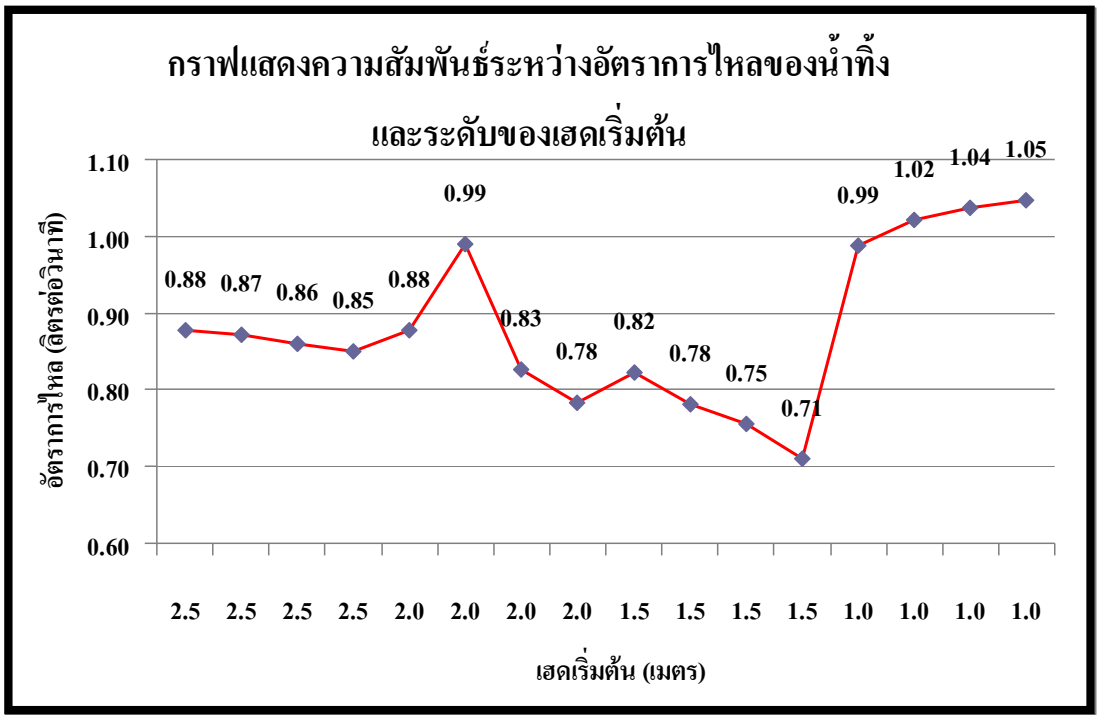
ในการจัดทำโครงงานไฮดรอลิคแรม เพื่อการศึกษาวิเคราะห์ระบบสูบน้ำพลังน้ำ ด้วยกระบวนการ ไฮดรอลิคแรม การดำเนินงานได้จัดทำระบบสูบน้ำพลังน้ำด้วยไฮดรอลิคแรมพร้อมติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เป็นชุดสาธิตเพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ระบบสูบน้ำ ในการศึกษาวิเคราะห์โครงงานจะต้องนำทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณของสมการต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จึงจะได้ผลลัพธ์ โดยปฏิบัติตามดังนี้

การทดลองเครื่องสูบไฮดรอลิคแรมขนาดท่อ 2นิ้ว สูบน้ำขึ้น 4 เมตร และระดับแหลงน้ำที่ไหลเข้าเครื่องสูบไฮดรอลิคแรมที่ 1 เมตร

จากการคำนวณหาอัตราการไหลสูงสุดของน้ำทิ้งโดยวิธีพื้นที่สามเหลี่ยมได้เท่ากับ 0.00194 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีและได้ความเร็วสูงสุดเท่ากับ 0.770 เมตรต่อวินาที มี Reynolds Number เท่ากับ $4.82x10^4$ ดังนั้นชนิดการไหลเป็นแบบ Turbulent flow เพราะ Reynolds Number มากกว่า 2000 และการหาค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด (Friction factor) เท่ากับ 0.021และมีการสูญเสียภาพในท่อ การสูญเสียทางความยาวท่อเท่ากับ 0.073 เมตรและการสูญเสียภายในข้อต่อข้องงเท่ากับ 0.248 เมตร การหาความเร็วของคลื่นความดัน (Pressure wave) เท่ากับ 1,232.72 เมตรต่อวินาที ดังนั้นค่าความดันสูงสุดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก Water hammer เท่ากับ 949,194.4นิวตันต่อตารางเมตรและมีเวลาวิกฤติเท่ากับ 0.002 วินาที และเวลาในการปิดวาล์วควบคุมความเร็ว เท่ากับ 0.06 วินาทีจึงได้ค่าความดันที่เกิดขึ้นจริงเนื่องจาก Water hammerเท่ากับ31,639.81นิวตันต่อตารางเมตร หรือ3.22 เมตร

4.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำทิ้งและระดับของเฮดเริ่มต้น

สามรถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำทิ้งและระดับของเฮดเริ่มต้นดังภาพที่ 19



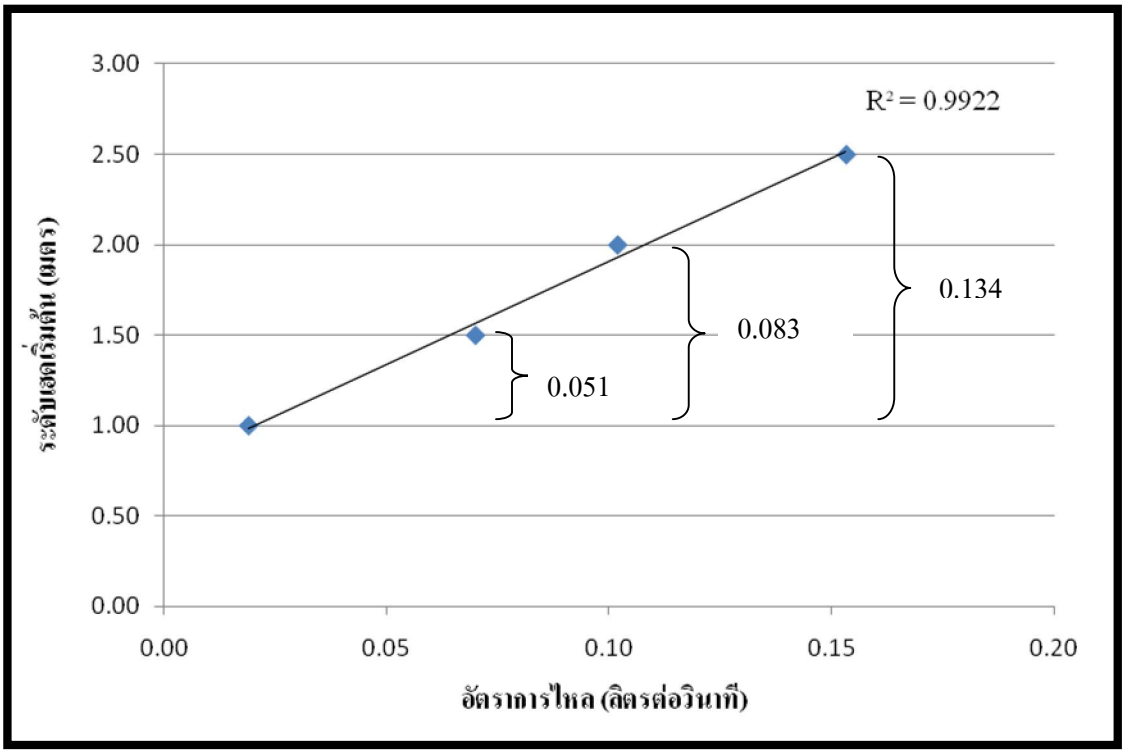
ภาพที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำทิ้งและระดับของเฮดเริ่มต้น

การวิเคราะห์ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำทิ้งและระดับของเฮดเริ่มต้น ปริมาณน้ำทิ้งที่ทดลองพบว่าปริมาณน้ำทิ้งมีความแต่ต่างกันไม่มาก ในการทดลองเฮดเริ่มต้นที่ 2.5 เมตรมีน้ำทิ้งเท่ากับ 0.8646 ลิตรต่อวินาที การทดลองเฮดเริ่มต้นที่ 2.0 เมตรมีน้ำทิ้งเท่ากับ 0.8696 ลิตรต่อวินาที การทดลองเฮดเริ่มต้นที่ 1.5 เมตรมีน้ำทิ้งเท่ากับ 0.7673 ลิตรต่อวินาที และ การทดลองเฮดเริ่มต้นที่ 1.0 เมตรมีน้ำทิ้งเท่ากับ 1.024 ลิตรต่อวินาที และมีค่าพิสัยเท่ากับ 0.3371ลิตรต่อวินาที

สรุปได้ว่าปริมาณน้ำทิ้งที่แตกต่างกันนั้นเกิดจากจังหวะการกระแทกของวาล์วน้ำทิ้งถ้าใช้น้ำหนักกดของลิ้นวาล์วมากไปจะทำให้เกิดการกระแทกของลิ้นวาล์วน้ำทิ้งช้านี้ก็เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดปริมาณน้ำทิ้งที่มาก

4.2 การศึกษาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดเริ่มต้นและความสามารถส่งได้ 5 เมตร

สามารถแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดเริ่มต้นและความสามารถส่งได้ 5 เมตรดังภาพที่ 20

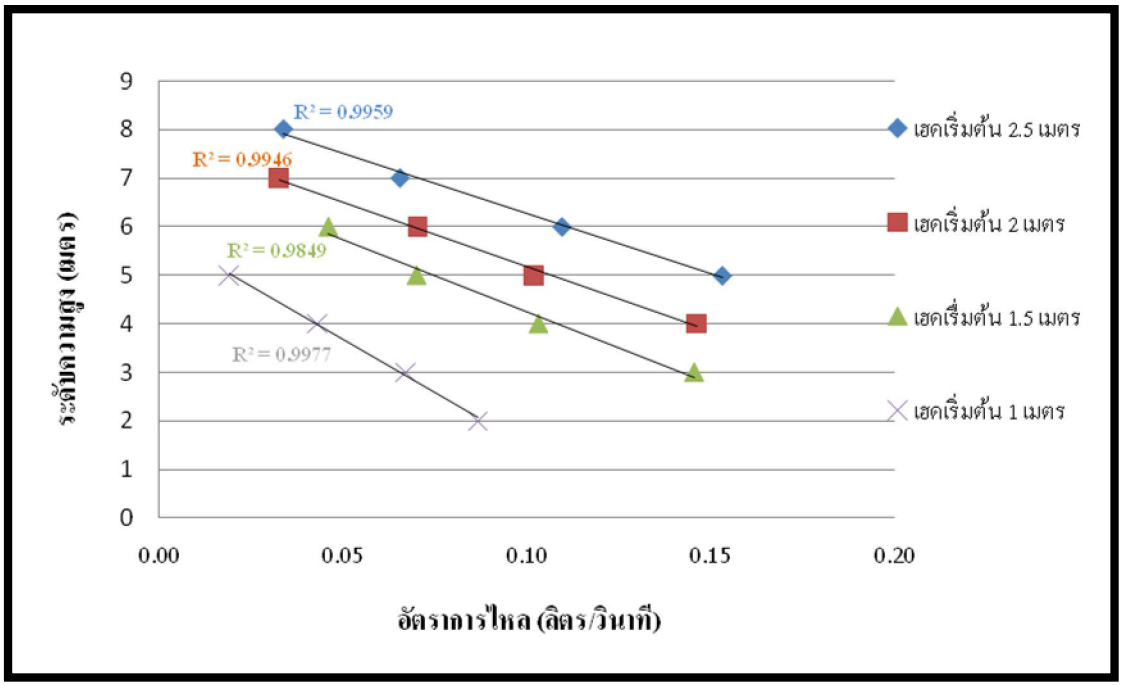


ภาพที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดเริ่มต้นและความสามารถส่งได้ 5 เมตร

การวิเคราะห์ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดเริ่มต้นและความสามารถส่งได้ 5 เมตรในการใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นพบว่ามี R^2 เท่ากับ 0.9922 ในขณะที่เพิ่มเฮดเริ่มต้นและระดับการส่งเท่าเดิมจะพบว่ามีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นแปรผันตามเฮดเริ่มต้น เช่นผลการทดลองที่เฮดเริ่มต้น 1 เมตร และเฮดเริ่มต้น 1.5 เมตร ได้ผลต่างของอัตราการไหลเท่ากับ 0.051 ลิตรต่อวินาที และเฮดเริ่มต้น 2.0 เมตร ได้ผลต่างของอัตราการไหลเท่ากับ 0.083 ลิตรต่อวินาที เป็นต้นและมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น 63 เปอร์เซ็นต์ ที่การเปลี่ยนแปรเฮดเริ่มต้นจาก 1.5 เมตร เป็น 2.0 เมตรและ มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น61 เปอร์เซ็นต์ ที่การเปลี่ยนแปรเฮดเริ่มต้นจาก 2.0 เมตร เป็น 2.5 เมตร จะได้ว่าการเพิ่มเฮดเริ่มต้นทำให้ได้อัตราการไหลค่อนข้างจะเป็นเส้นตรง

4.3 การศึกษากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูง

สามารถแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูง

วิเคราะห์ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงจากภาพที่ 4.3 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มระดับการสูบทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำลดลงที่ระดับเฮดเริ่มต้นเท่าเดิม เช่น เฮดเริ่มต้น 2.5 เมตร ที่ระดับการสูบ 8 เมตร สูญเสียน้ำไปเท่ากับ 96.13 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับการสูบ 7 เมตร สูญเสียน้ำไปเท่ากับ 92.45 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับการสูบ 6 เมตร สูญเสียน้ำไปเท่ากับ 87.23 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับการสูบ 5 เมตร สูญเสียน้ำไปเท่ากับ 81.97 เปอร์เซ็นต์ และที่เฮดเริ่ม 2.0,1.5 และ 1.0 เมตร มีการสูญเสียน้ำลักษณะเดียวกันเป็นต้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ระดับความสูงของแหล่งน้ำเริ่มต้นที่ 1เมตร 1.5 เมตร 2 เมตรและ 2.5 เมตร จะพบว่าที่ระดับ 1 เมตร สามารถส่งขึ้นได้ระดับ 5 เมตร และได้อัตราการไหล เท่ากับ 1,673.84 ลิตรต่อวันและ ที่ระดับ 1.5 เมตร สามารถส่งขึ้นได้ระดับ 6 เมตร และได้อัตราการไหล เท่ากับ 4,116.74 ลิตรต่อวันและ ที่ระดับ 2.0 เมตร สามารถส่งขึ้นได้ระดับ 7 เมตร และได้อัตราการไหล เท่ากับ 3,116.74 ลิตรต่อวัน และที่ระดับ 2.5 เมตร สามารถส่งขึ้นได้ระดับ 8 เมตร และได้อัตราการไหล เท่ากับ 2937.6 ลิตรต่อวัน จากากรทดลองพบว่าในแต่ละระดับแหล่งน้ำและในแต่ละระดับจ่ายน้ำที่ส่งได้ เมื่อระดับความสูงของหัวจ่ายน้ำสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพลดลง และอัตราการไหลใกล้เคียงกัน ทั้งนี้การกระแทกของลิ้นที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้สูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่อัตราการไหลไม่ได้เพิ่มขึ้นเสมอไป นอกจากนี้จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของน้ำหนักกดของลิ้นควบคุมความเร็ว รวมทั้งพื้นที่หน้าตัดของวาล์วจ่ายน้ำที่เหมาะสมอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เมื่อเพิ่มระดับการส่งน้ำสูงขึ้นลิ้นกระแทกจะเร็วขึ้น น้ำที่ส่งขึ้นไปได้จะน้อยลงและน้ำทิ้งมากขึ้น

-วิธีการแก้ไข ในการเพิ่มระดับจะต้องมาตั้งระบบใหม่ของน้ำหนักกดลิ้นน้ำทิ้งของ Hydraulic Ram Pump ให้คงที่สม่ำเสมอ

5.2.2 .ในการประกอบอุปกรณ์ต่างในการสร้าง Hydraulic Ram Pump บางที่หมุนเกรียวไม่สนิททำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปทำให้ประสิทธิภาพของ Hydraulic Ram Pumpลดลง

-วิธีแก้ไข ในการจะประกอบเข้าด้วยกันก็ควรท่ากาวน้ำหรือ พันด้วยผ้าพันเกรียวแล้วค่อยต่อเข้าด้วยกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ (ต่อ)

5.2.3 ระบบของ Hydraulic Ram Pump มีการสูญเสียตามข้อต่อหรือข้องอมากเนื่องจากไม่ได้สร้างมาด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน เช่นท่อส่งมีขนาด1 (1/2) นิ้ว แต่ Hydraulic Ram มีขนาด 2 นิ้ว เกิดการเพิ่มขนาดทันทีทันใด ทำให้สูญเสียแรงดันด้านหน้าของวาล์วจ่ายน้ำวิธีแก้ไข ในการสร้าง Hydraulic Ram ควรสร้างในขนาดเดียวกัน 5.1.4 อากาศที่ตกค้างอยู่ในท่อควรไล่ออกให้หมดซึ่งอาจทำให้วาล์วน้ำทิ้งหยุดทำงานได้ -วิธีไล่ลมออกควรปล่อยน้ำจากแหล่งจ่ายแล้วกดวาล์วน้ำทิ้งให้อยู่ในตำแหน่งเปิดแล้วปล่อยให้น้ำไหลลงมา และไล่อากาศออก ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 1 นาท

5.2.4 ในถังลมควรมีอากาศประมาณ 4 – 5 เท่าของน้ำ

ข้อดีของไฮดรอลิคแรม

- ปั๊มที่ได้ต้องเสียค่าใช้จ่ายของไฟฟ้าและสามารถใช้งานได้ตลอดเวลา
- สามารถซื้อวัสดุในการสร้างและบำรุงรักษาไฮดรอลิคแรม ได้ง่ายและมีข่ายในท้องตลาด
- เหมาะสำหรับสถานที่ที่ไฟฟ้าเข้าถึงได้ยาก

ข้อเสียของไฮดรอลิคแรม

- สูญเสียน้ำระหว่างการทำงานมากกว่าน้ำที่ได้
- สถานที่ที่ติดตั้งปั๊ม ต้องอยู่ต่ำกว่าแหล่งน้ำ
- เมื่อระดับแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงไปมากทำให้ปั๊มหยุดการทำงาน

เอกสารอ้างอิง

ชาญ ถนัดงาน. 2523**. กลศาสตร์ของไหล.** 23 บุ๊คเซนเตอร์, กรุงเทพมหานคร

บรรจง วรรธนะพงษ์. 2525. **คู่มือเครื่องสูบน้ำพลังน้ำและกังหันน้ำสูบน้ำ**. กรมชลประทาน , กรุงเทพ ฯ

บรรจง วรรธนะพงษ์. 2542. **เครื่องสูบน้ำพลังน้ำที่พัฒนาขึ้นอันเนื่องมาจากพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว**. กรมชลประทาน , กรุงเทพ ฯ

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2529. **ปั๊มและระบบสูบน้ำ**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สันติ ทองพำนัก. 2534. **การไหลในทางน้ำเปิด (Flow in Open Channel).** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บัญญัติ นิยมวาส. 2553. **ความเป็นมาของปั๊ม.** เครื่องตะบันน้ำกับตัวเก็บประจุไฟฟ้า. แหล่งที่มา: http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/2/hydraulic-pump/hydraulic-pump3.htm, 25 เมษายน 2553.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายการคำนวณ

การดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ระบบสูบน้ำด้วยพลังน้ำของไฮดรอลิคแรมชุดสาธิตในการจัดทำโครงงานไฮดรอลิคแรม เพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ระบบสูบน้ำ โดยมีข้อมูลดังนี้

ใช้ท่อ PVC แข็ง แบบท่อปลายธรรมดา ชั้นคุณภาพ 8.5

- ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง = 0.05685 (m)
- ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อ ($A_{ท่อ}$) = 0.003 (m^2)
- ท่อ PVC ผนังท่อหนา = 0.00315 (m)

พิจารณาที่น้ำอุณหภูมิ 25° ค่า Kinematic viscosity = 0.907×10^{6} (m^2/s)

ความยาวท่อส่งน้ำเข้าไฮดรอลิคแรม = 1.50 (m)

ความยาวทั้งหมดของเส้นท่อ (L) = 6.50 (m)

ความสูงจากระดับน้ำเข้าไฮดรอลิคแรม (h) = 1.0 (m)

ต้องการยกน้ำขึ้นไปใช้งาน (H) = 5 (m)

องศากระแทกของลิ้นทิ้งน้ำ = 85°

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกตวงน้ำที่ได้ = 0.20 (m)

- ขนาดพื้นที่หน้าตัดของกระบอกตวง ($A_{กระบอกตวง}$) = 0.031 (m^2)
- ระดับน้ำที่ได้ในกระบอกตวง = 0.083 (m)

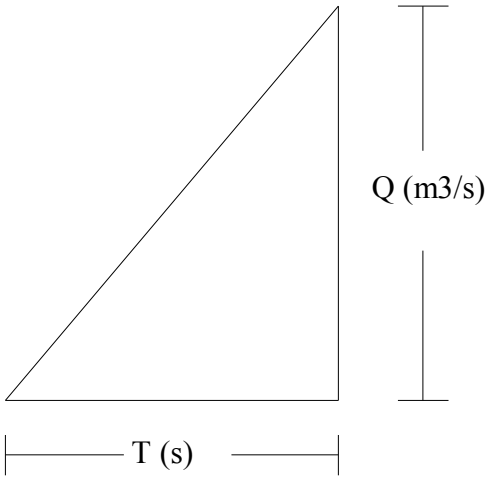
ขนาดของถังตวงน้ำที่ทิ้ง = กว้าง 0.404 (m)

ยาว 0.602 (m)

- ขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตวง ($A_{กระบอกตวง}$) = 0.243 (m^2)
- ระดับน้ำที่ทิ้งในถังตวง = 0.25 (m)

ในการศึกษาวิเคราะห์โครงงานจะต้องนำทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณของสมการต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จึงจะได้ผลลัพธ์ใกล้เคียง โดยปฏิบัติตามดังนี้

การหาอัตราการไหลของน้ำที่ทิ้ง



จากรูป จะได้สมการ $Q = \frac{1}{2} X (time) X (Q_{max})$

แทนค่า $9.769X10^{-4} = \frac{1}{2} X (1) X (Q_{max})$

$\therefore \quad Q_{max} = (9.769X10^{-4}) X2$

$Q_{max} = 1.954X10^{-3} (m^2/s)$

การหาความเร็วการไหลของน้ำที่ทิ้ง

ความเร็วการไหลของน้ำที่ได้ (V) $= (\frac{1.954X10^{3}}{0.003})$

$\therefore \quad V = 0.770 \quad (m/s)$

การหาชนิดของการไหลในท่อ

พิจารณาจาก Reynolds Number $R_e = \frac{VD}{\nu}$

ที่อุณหภูมิ 25° ค่า $\nu = 0.907 \times 10^{-6}$ (m^2/s)

$$R_e = \frac{0.770 \times 0.05685}{0.907 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore \quad R_e = 4.82 \times 10^4$$

เนื่องจาก $R_e > 2{,}000$ ดังนั้นจึงเป็นการไหลแบบ Turbulent Flow

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด (Friction factor)

เนื่องจากเป็นการไหลแบบ Turbulent Flow ดังนั้นจึงหาค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืดจาก Moody diagram รูปที่ 2.19 สำหรับท่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 56.85(mm) และค่าความขรุขระของผนังท่อ ε ของท่อ PVC เท่ากับ 0.0025 (mm)

$$\text{Relative Pipe Roughness} = \frac{\varepsilon}{d}$$

$$= \frac{0.0015}{56.58}$$

$$\therefore \quad \text{Relative Pipe Roughness} = 2.651X10^5$$

จาก Moody diagram จะได้ $f \approx 0.021$

หรือคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log \frac{R_e \sqrt{f}}{2.51}$$

แทนค่า

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log \frac{\left(4.82 \times 10^4\right)\sqrt{f}}{2.51}$$

$$\therefore \quad f = 0.02106$$

ดังนั้นจึงพิจารณาใช้สัมประสิทธิ์ของความฝืด (f) = 0.021

การหาค่าความสูญเสียในท่อ

การเสียเฮดเนื่องจากความฝืด

จากสมการ $h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$

เนื่องจากเป็นท่อ PVC ท่อเป็นท่อเรียบ

จะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ = 0.05685 (m)

f = 0.021

L = 6.50 (m)

แทนค่า $h_f = (0.021) \quad \frac{6.50}{0.05685} \quad \frac{(0.770)^2}{2 \times 9.81}$

ดังนั้นจะได้ $\therefore \quad h_f = 0.073 \ (m)$

การสูญเสียรอง

เปิดตาราง PVC หาค่า Head Loss ภายในข้อต่อ จากการเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- Square Edged Inlet ที่ทางเข้า จำนวน 1 จุด ค่า K = 0.50
- Check Valve จำนวน 2 ตัว ค่า K = 2×2 = 4.00
- ข้องอ 90° จำนวน 1 ตัว ค่า K = 0.90
- สามทาง จำนวน 1 ตัว ค่า K = 1.80
- Inward Projecting Pipe ที่ทางออก จำนวน 1 จุด ค่า K = 1.00

ดังนั้นจะได้ ค่า K = 8.20

การหาค่าความสูญเสียในท่อ (ต่อ)

จากสมการ $h_L = K\frac{v^2}{2g}$

แทนค่า $\therefore h_L = 8.20\frac{(0.770)^2}{2\times 9.81}$

ดังนั้นจะได้ $h_L = 0.248$ (m)

การสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง

$\therefore h_f + h_L = 4.08X10^3 + 0.275$

ดังนั้นจะได้การสูญเสียทั้งหมด = 0.320 (m)

การหาความเร็วของคลื่นความดัน (Pressure Wave)

จากสมการ $v_w = 1485\sqrt{\frac{1}{1+\frac{K}{E}\times\frac{d}{t}}}$

จะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

$\frac{K}{E} = 0.025$

$d = 0.05685$ (m)

$t = 0.00315$ (m)

แทนค่า $v_w = 1485\sqrt{\frac{1}{1+\left(0.025\times\frac{0.05685}{0.00315}\right)}}$

$\therefore \quad v_w = 1232.72$ (m/s)

การหาค่าความดันที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก Water Hammer

จากสมการ $P_w = \rho \times v \times v_w$

จะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

$v = 0.770$ (m/s)

$v_w = 1,232.72$ (m/s)

$\rho = 1,000$ (kg/m^2)

แทนค่า $P_w = 1,000 \times 0.770 \times 1,232.72$

$P_w = 949,194.4$ (N/m^2)

การหาเวลาวิกฤติ

จากสมการ $T_c = \frac{2L}{v_w}$

จะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

$L = 1.50$ (m)

$v_w = 1,232.72$ (m/s)

แทนค่า $T_c = \frac{2(5.00)}{1,232.72}$

$\therefore T_c = 0.002$ (s)

หาค่าความดันที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก Water Hammer (จริง)

จากสมการ $P_a = \left(\frac{T_c}{T_a}\right) \times P_w$

จะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

$T_c = 0.002$ (s)

$T_a =$ เวลาในการปิดวาล์วควบคุมความเร็ว ≈ 0.06 (s)

$P_w = 949,194.4$ (N/m^2)

แทนค่า $P_a = \left(\frac{0.002}{0.06}\right) \times 949,194.4$

$P_a = 31,639.81$ (N/m^2)

$P_a = \left(\frac{31,639.81}{9.81 \times 1,000}\right)$ (m)

$P_a = 3.22$ (m)

ภาคผนวก ข

ตารางผนวก ข1 แสดงข้อมูลจากการทดสอบของเฮดเริ่มต้นเท่ากับ 2.5 เมตรและระดับส่งขึ้นที่ 5, 6, 7 และ8 เมตร

วันที่ : 19 มี.ค. 53 **สถานที่ :** อาคารปฏิบัติชลศาสตร์

ผู้ทดลอง : นายวีระพงษ์ เพ็งแจ่ม และ นางสาวชญานี น้อมนพ

พื้นที่กระบอกตวงที่ได้น้ำ : 314 cm^2 **พื้นที่ตวงถังน้ำเสีย :** 2432.080 cm^2

ชุดที่	ครั้งที่	ระดับการสูบน้ำขึ้นไปได้(m)	Head(เริ่มต้น) M	จำนวนครั้ง กระแทก/min	เวลาที่ทดลอง น.	ระดับน้ำที่ได้ ในกระบอกตวง(cm)	อัตราการไหลที่ได้น้ำ		ระดับน้ำที่เสีย ในถังตวง(cm)	อัตราการไหลน้ำทิ้ง		ประสิทธิภาพของ Hydraulic ram(%)
							cm^3/min	lit/s		cm^3/min	lit/s	
1	1	8	2.5	83	1	6.5	2041.000	0.034	21.00	51073.68	0.851	4.00
	2	8	2.5	81	1	6.7	2103.800	0.035	21.50	52289.72	0.871	4.02
	3	8	2.5	84	1	6.4	2009.600	0.033	22.00	53505.76	0.892	3.76
	4	8	2.5	81	1	6.5	2041.000	0.034	22.30	54235.38	0.904	3.76
	5	8	2.5	83	1	6.35	1993.900	0.033	21.00	51073.68	0.851	3.90
	6	8	2.5	84	1	6.4	2009.600	0.033	22.10	53748.97	0.896	3.74
2	1	7	2.5	78	1	12.3	3862.200	0.064	21.50	52289.72	0.871	7.39
	2	7	2.5	79	1	13	4082.000	0.068	23.00	55937.84	0.932	7.30
	3	7	2.5	78	1	12	3768.000	0.063	22.60	54965.01	0.916	6.86
	4	7	2.5	78	1	12.6	3956.400	0.066	21.00	51073.68	0.851	7.75
	5	7	2.5	77	1	12.3	3862.200	0.064	20.70	50344.06	0.839	7.67
	6	7	2.5	79	1	13	4082.000	0.068	20.10	48884.81	0.815	8.35
3	1	6	2.5	69	1	19.8	6217.200	0.104	21.50	52289.72	0.871	11.89
	2	6	2.5	69	1	21.5	6751.000	0.113	21.70	52776.14	0.880	12.79
	3	6	2.5	68	1	22.4	7033.600	0.117	20.80	50587.26	0.843	13.90
	4	6	2.5	68	1	21	6594.000	0.110	20.40	49614.43	0.827	13.29
	5	6	2.5	69	1	20.3	6374.200	0.106	21.20	51560.10	0.859	12.36
	6	6	2.5	67	1	20.7	6499.800	0.108	21.60	52532.93	0.876	12.37
4	1	5	2.5	61	1	29.8	9357.200	0.156	20.30	49371.22	0.823	18.95
	2	5	2.5	60	1	28.5	8949.000	0.149	21.20	51560.10	0.859	17.36
	3	5	2.5	61	1	29	9106.000	0.152	21.40	52046.51	0.867	17.50
	4	5	2.5	62	1	29.5	9263.000	0.154	20.30	49371.22	0.823	18.76
	5	5	2.5	60	1	29.3	9200.200	0.153	21.40	52046.51	0.867	17.68
	6	5	2.5	61	1	29.6	9294.400	0.155	21.30	51803.30	0.863	17.94

ตารางผนวก ข2 แสดงข้อมูลจากการทดสอบของเฮดเริ่มต้นเท่ากับ 2.0 เมตรและระดับส่งขึ้นที่ 4, 5, 6, และ7 เมตร

วันที่ : 19 มี.ค. 53 **สถานที่ :** อาคารปฏิบัติชลศาสตร์

ผู้ทดลอง : นายวีระพงษ์ เพ็งแจ่ม และ นางสาวชญานี น้อมนพ

พื้นที่กระบอกตวงที่ได้น้ำ : 314 cm^2 **พื้นที่ตวงถังน้ำเสีย :** 2432.080 cm^2

ชุดที่	ครั้งที่	ระดับการสูบน้ำขึ้นไปได้(m)	Head(เริ่มต้น) M	จำนวนครั้งกระแทก/min	เวลาที่ทดลอง น.	ระดับน้ำที่ได้ในกระบอกตวง(cm)	อัตราการไหลที่ได้น้ำ		ระดับน้ำที่เสียในถังตวง(cm)	อัตราการไหลน้ำทิ้ง		ประสิทธิภาพของ Hydraulic ram(%)
							cm^3/min	lit/s		cm^3/min	lit/s	
1	1	7	2	70	1	7.00	2198.000	0.037	22.00	53505.76	0.892	4.11
	2	7	2	74	1	5.40	1695.600	0.028	21.40	52046.51	0.867	3.26
	3	7	2	71	1	6.20	1946.800	0.032	22.50	54721.80	0.912	3.56
	4	7	2	73	1	5.80	1821.200	0.030	21.00	51073.68	0.851	3.57
	5	7	2	73	1	6.10	1915.400	0.032	22.10	53748.97	0.896	3.56
	6	7	2	74	1	6.80	2135.200	0.036	21.00	51073.68	0.851	4.18
2	1	6	2	75	1	13.20	4144.800	0.069	24.10	58613.13	0.977	7.07
	2	6	2	79	1	14.40	4521.600	0.075	25.50	62018.04	1.034	7.29
	3	6	2	75	1	13.40	4207.600	0.070	24.00	58369.92	0.973	7.21
	4	6	2	76	1	13.20	4144.800	0.069	24.30	59099.54	0.985	7.01
	5	6	2	75	1	13.50	4239.000	0.071	24.60	59829.17	0.997	7.09
	6	6	2	76	1	13.00	4082.000	0.068	24.00	58369.92	0.973	6.99
3	1	5	2	71	1	17.20	5400.800	0.090	21.00	51073.68	0.851	10.57
	2	5	2	70	1	19.40	6091.600	0.102	20.30	49371.22	0.823	12.34
	3	5	2	69	1	20.50	6437.000	0.107	20.50	49857.64	0.831	12.91
	4	5	2	79	1	19.30	6060.200	0.101	20.00	48641.60	0.811	12.46
	5	5	2	70	1	20.40	6405.600	0.107	20.60	50100.85	0.835	12.79
	6	5	2	70	1	20.00	6280.000	0.105	20.00	48641.60	0.811	12.91
4	1	4	2	69	1	27.40	8603.600	0.143	18.30	44507.06	0.742	19.33
	2	4	2	67	1	26.70	8383.800	0.140	19.80	48155.18	0.803	17.41
	3	4	2	68	1	28.40	8917.600	0.149	20.00	48641.60	0.811	18.33
	4	4	2	67	1	28.30	8886.200	0.148	19.70	47911.98	0.799	18.55
	5	4	2	67	1	28.60	8980.400	0.150	19.00	46209.52	0.770	19.43
	6	4	2	68	1	28.20	8854.800	0.148	19.20	46695.94	0.778	18.96

ตารางผนวก ข2 แสดงข้อมูลจากการทดสอบของเฮดเริ่มต้นเท่ากับ 1.5 เมตรและระดับส่งขึ้นที่ 3, 4, 5,6 เมตร

วันที่ : 19 มี.ค. 53 **สถานที่ :** อาคารชลศาสตร์

ผู้ทดลอง : นายวีระพงษ์เพ็งแจ่ม และ นางสาวชญานี น้อมนพ

พื้นที่กระบอกตวงที่ได้น้ำ : 314 cm2 **พื้นที่ตวงถังน้ำเสีย :** 2432.080 cm2

ชุดที่	ครั้งที่	ระดับการสูบน้ำขึ้นไปได้(m)	Head(เริ่มต้น) M	จำนวนครั้งกระแทก/min	เวลาที่ทดลอง น.	ระดับน้ำที่ได้ในกระบอกตวง(cm)	อัตราการไหลที่ได้น้ำ		ระดับน้ำที่เสียในถังตวง(cm)	อัตราการไหลน้ำทิ้ง		ประสิทธิภาพของ Hydraulic ram(%)
							cm3/min	lit/s		cm3/min	lit/s	
1	1	6	1.5	72	1.0	8.9	2794.600	0.047	20.00	48641.60	0.811	5.75
	2	6	1.5	70	1.0	9.1	2857.400	0.048	21.00	51073.68	0.851	5.59
	3	6	1.5	71	1.0	8.5	2669.000	0.044	20.00	48641.60	0.811	5.49
	4	6	1.5	71	1.0	8.5	2669.000	0.044	20.10	48884.81	0.815	5.46
	5	6	1.5	72	1.0	8.9	2794.600	0.047	20.30	49371.22	0.823	5.66
	6	6	1.5	71	1.0	8.7	2731.800	0.046	20.40	49614.43	0.827	5.51
2	1	5	1.5	70	1.0	11.9	3736.600	0.062	19.90	48398.39	0.807	7.72
	2	5	1.5	70	1.0	14	4396.000	0.073	18.60	45236.69	0.754	9.72
	3	5	1.5	69	1.0	13.4	4207.600	0.070	19.20	46695.94	0.778	9.01
	4	5	1.5	70	1.0	13.5	4239.000	0.071	19.60	47668.77	0.794	8.89
	5	5	1.5	70	1.0	13.9	4364.600	0.073	19.00	46209.52	0.770	9.45
	6	5	1.5	71	1.0	13.5	4239.000	0.071	19.30	46939.14	0.782	9.03
3	1	4	1.5	69	1.0	18.4	5777.600	0.096	18.30	44507.06	0.742	12.98
	2	4	1.5	68	1.0	19.1	5997.400	0.100	18.50	44993.48	0.750	13.33
	3	4	1.5	69	1.0	20	6280.000	0.105	18.40	44750.27	0.746	14.03
	4	4	1.5	67	1.0	21	6594.000	0.110	19.00	46209.52	0.770	14.27
	5	4	1.5	69	1.0	20	6280.000	0.105	18.60	45236.69	0.754	13.88
	6	4	1.5	69	1.0	19.8	6217.200	0.104	18.90	45966.31	0.766	13.53
4	1	3	1.5	65	1.0	25.6	8038.400	0.134	16.40	39886.11	0.665	20.15
	2	3	1.5	64	1.0	27.3	8572.200	0.143	18.30	44507.06	0.742	19.26
	3	3	1.5	67	1.0	28	8792.000	0.147	17.70	43047.82	0.717	20.42
	4	3	1.5	65	1.0	29	9106.000	0.152	17.40	42318.19	0.705	21.52
	5	3	1.5	64	1.0	28.5	8949.000	0.149	17.90	43534.23	0.726	20.56
	6	3	1.5	65	1.0	28.6	8980.400	0.150	17.50	42561.40	0.709	21.10

ตารางผนวก ข4 แสดงข้อมูลจากการทดสอบของเฮดเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 เมตรและระดับส่งขึ้นที่ 2, 3, 4, และ5 เมตร

วันที่ : 29-มี.ค.-53 **สถานที่ :** อาคารชลศาสตร์

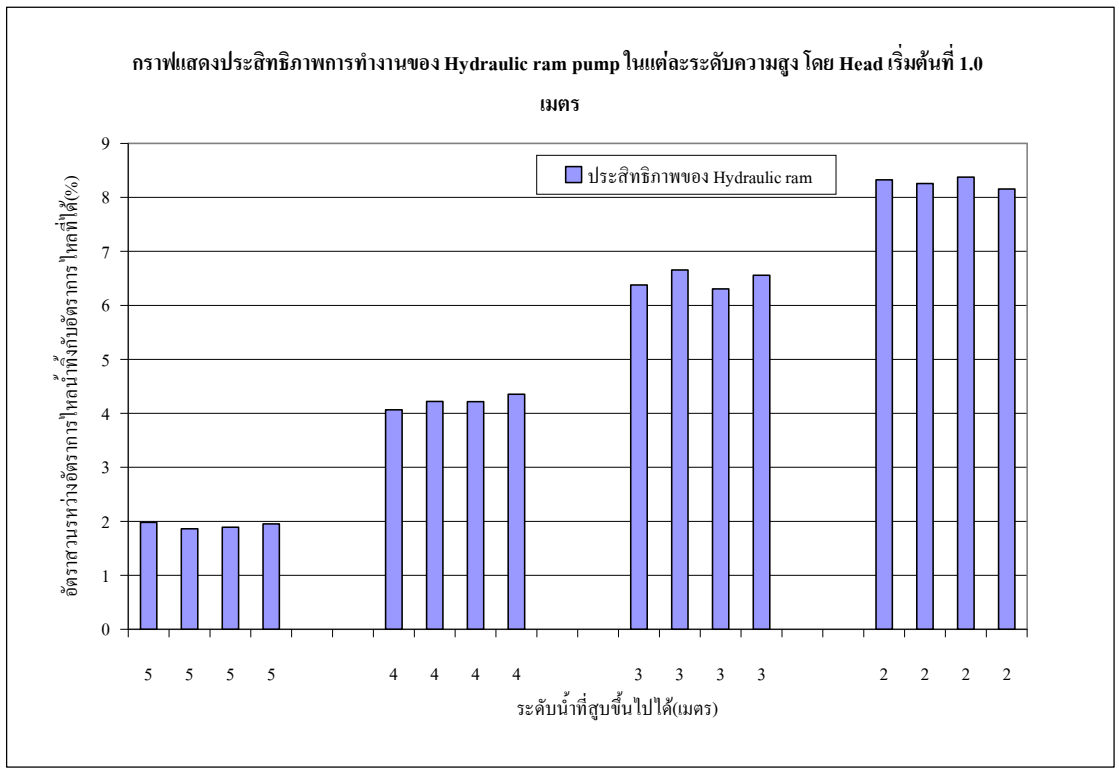
ผู้ทดลอง : นายวีระพงษ์เพ็งแจ่ม และ นางสาวชญานี น้อมนพ

พื้นที่กระบอกตวงที่ได้น้ำ : 314 cm2 **พื้นที่ตวงถังน้ำเสีย :** 2432.080

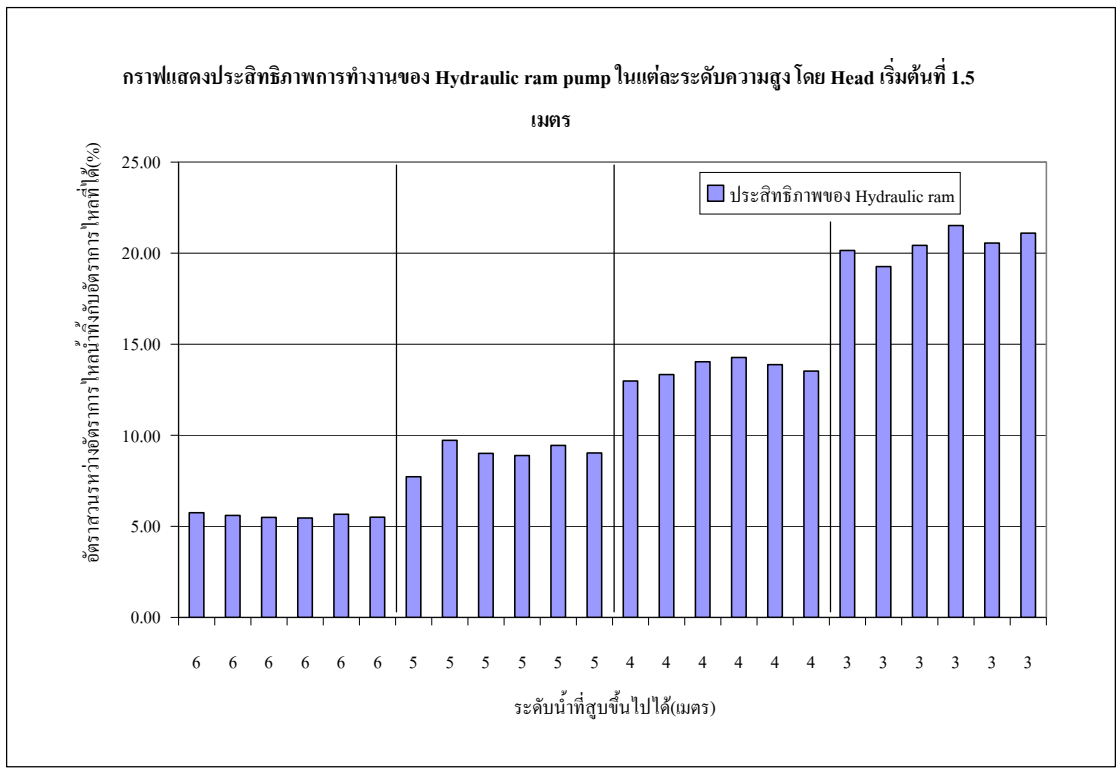
ชุดที่	ครั้งที่	ระดับการสูบน้ำขึ้นไปได้(m)	Head(เริ่มต้น) M	จำนวนครั้งกระแทก/min	เวลาที่ทดลอง น.	ระดับน้ำที่ได้ในกระบอกตวง(cm)	อัตราการไหลที่ได้น้ำ		ระดับน้ำที่เสียในถังตวง(cm)	อัตราการไหลน้ำทิ้ง		ประสิทธิภาพของ
							cm3/min	lit/s		cm3/min	lit/s	Hydraulic ram(%)
1	1	5	1	33	1.0	3.70	1161.800	0.0194	24.10	58613.13	0.977	1.98
	2	5	1	38	1.0	3.50	1099.000	0.0183	24.30	59099.54	0.985	1.86
	3	5	1	35	1.0	3.60	1130.400	0.0188	24.60	59829.17	0.997	1.89
	4	5	1	34	1.0	3.70	1161.800	0.0194	24.50	59585.96	0.993	1.95
2	1	4	1	35	1.0	7.90	2480.600	0.0413	25.10	61045.21	1.017	4.06
	2	4	1	36	1.0	8.30	2606.200	0.0434	25.40	61774.83	1.030	4.22
	3	4	1	36	1.0	8.20	2574.800	0.0429	25.10	61045.21	1.017	4.22
	4	4	1	31	1.0	8.50	2669.000	0.0445	25.20	61288.42	1.021	4.35
3	1	3	1	35	1.0	12.50	3925.000	0.0654	25.30	61531.62	1.026	6.38
	2	3	1	35	1.0	13.20	4144.800	0.0691	25.60	62261.25	1.038	6.66
	3	3	1	33	1.0	12.60	3956.400	0.0659	25.80	62747.66	1.046	6.31
	4	3	1	31	1.0	13.00	4082.000	0.0680	25.60	62261.25	1.038	6.56
4	1	2	1	32	1.0	16.70	5243.800	0.0874	25.90	62990.87	1.050	8.32
	2	2	1	33	1.0	16.50	5181.000	0.0864	25.80	62747.66	1.046	8.26
	3	2	1	32	1.0	16.80	5275.200	0.0879	25.90	62990.87	1.050	8.37
	4	2	1	31	1.0	16.30	5118.200	0.0853	25.80	62747.66	1.046	8.16

ภาคผนวก ค

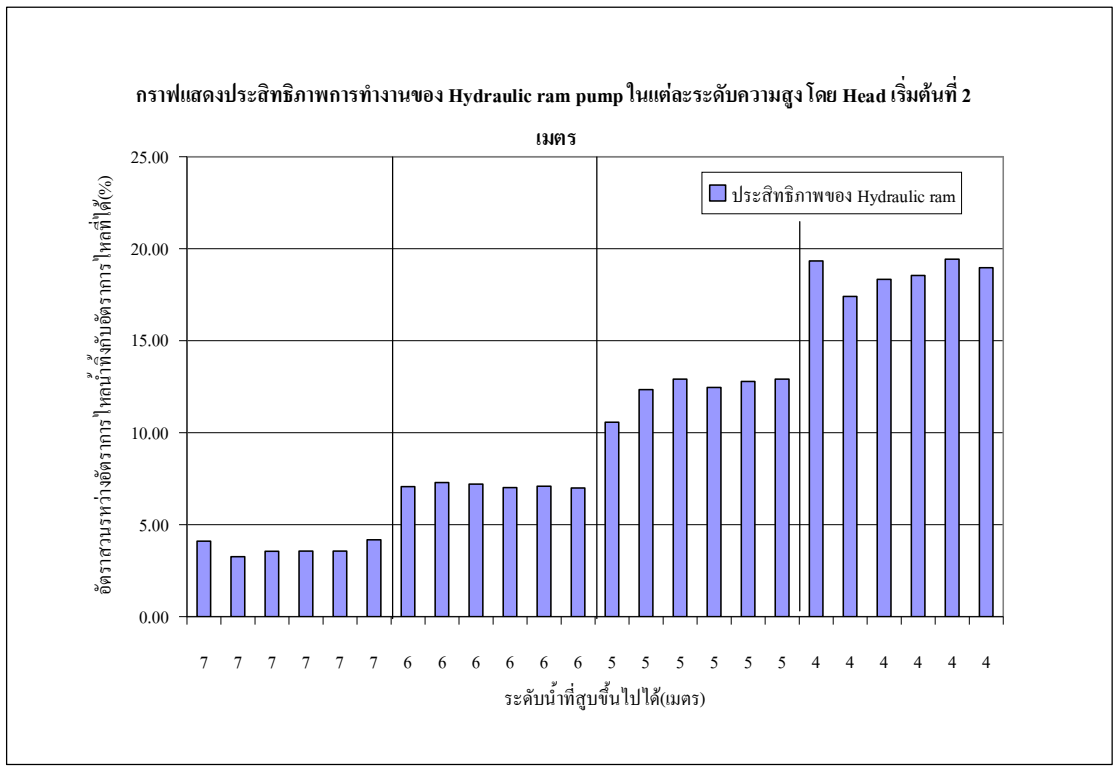
ภาพผนวก ค1 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำงานของไฮดรอลิ



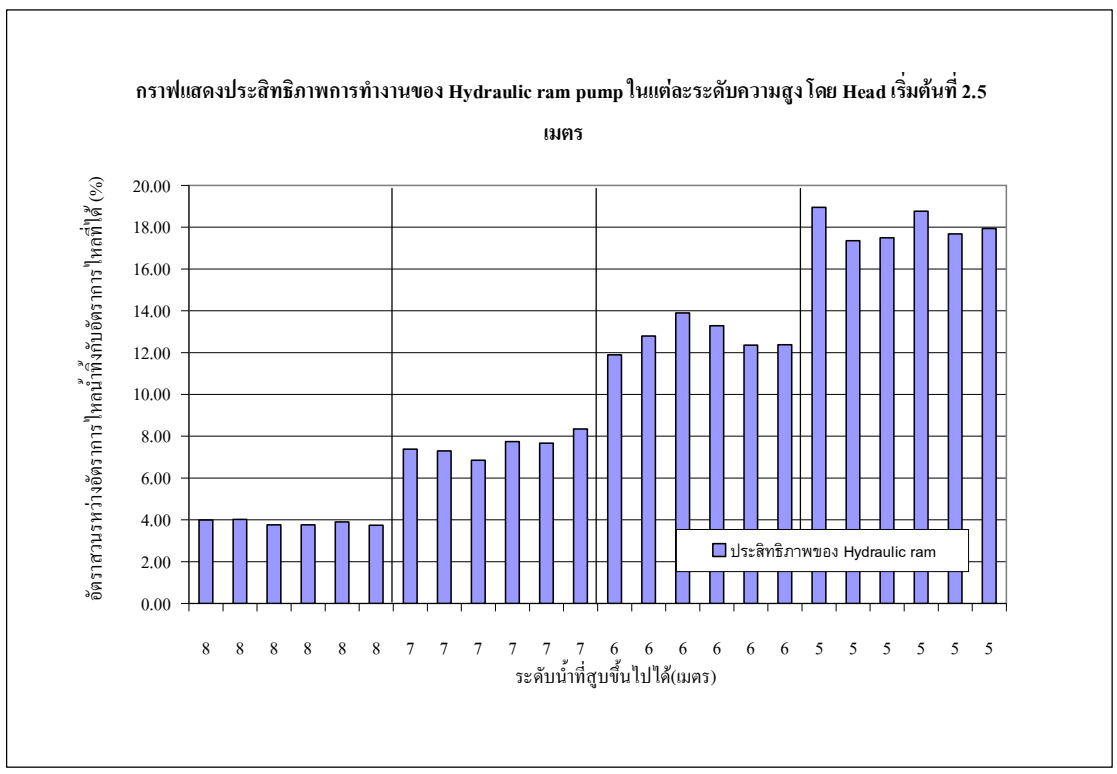
ภาพผนวก ค2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำงานของไฮดรอลิ



ภาพผนวก ค3 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำงานของตะบันน้ำ

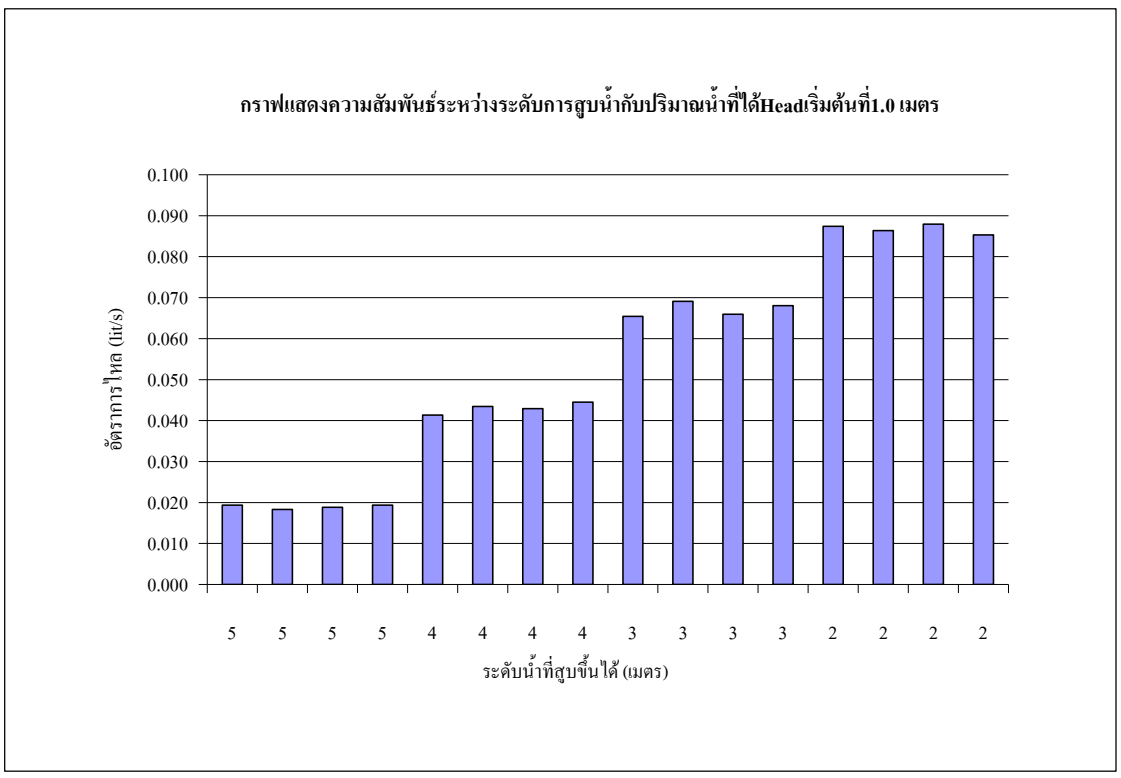


ภาพผนวก ค4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำงานของไฮดรอลิ

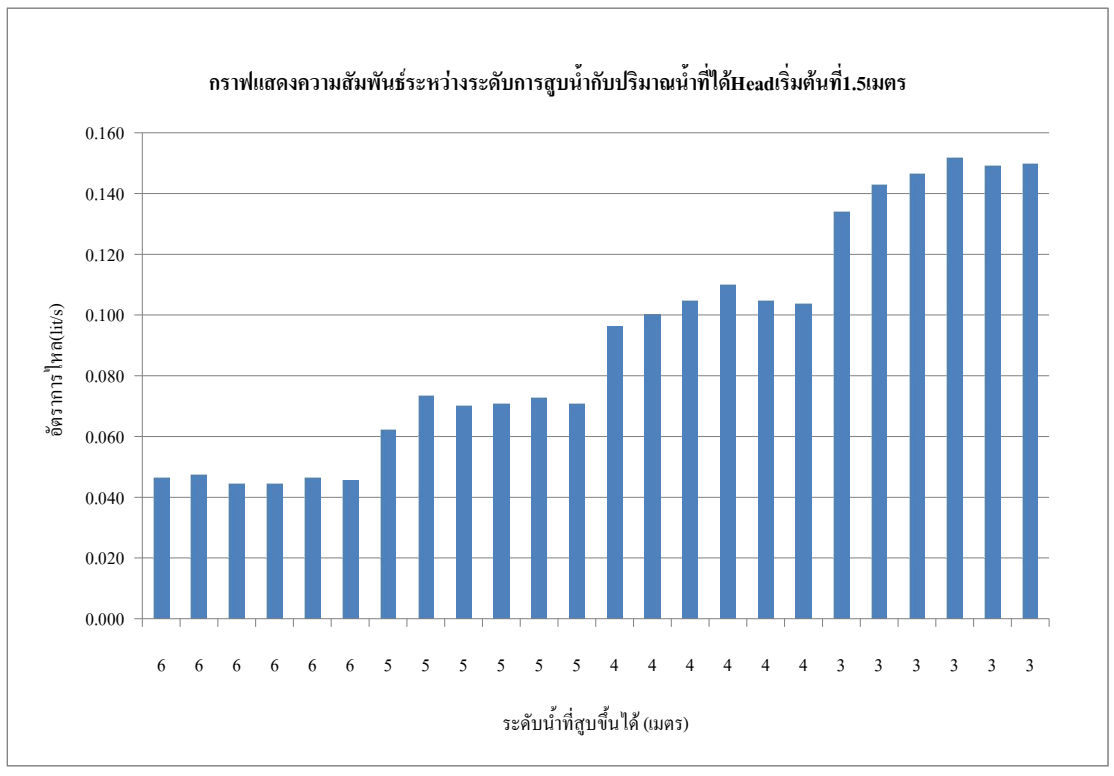


ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสูบน้ำกับปริมาณน้ำที่ได้Headเริ่มต้น

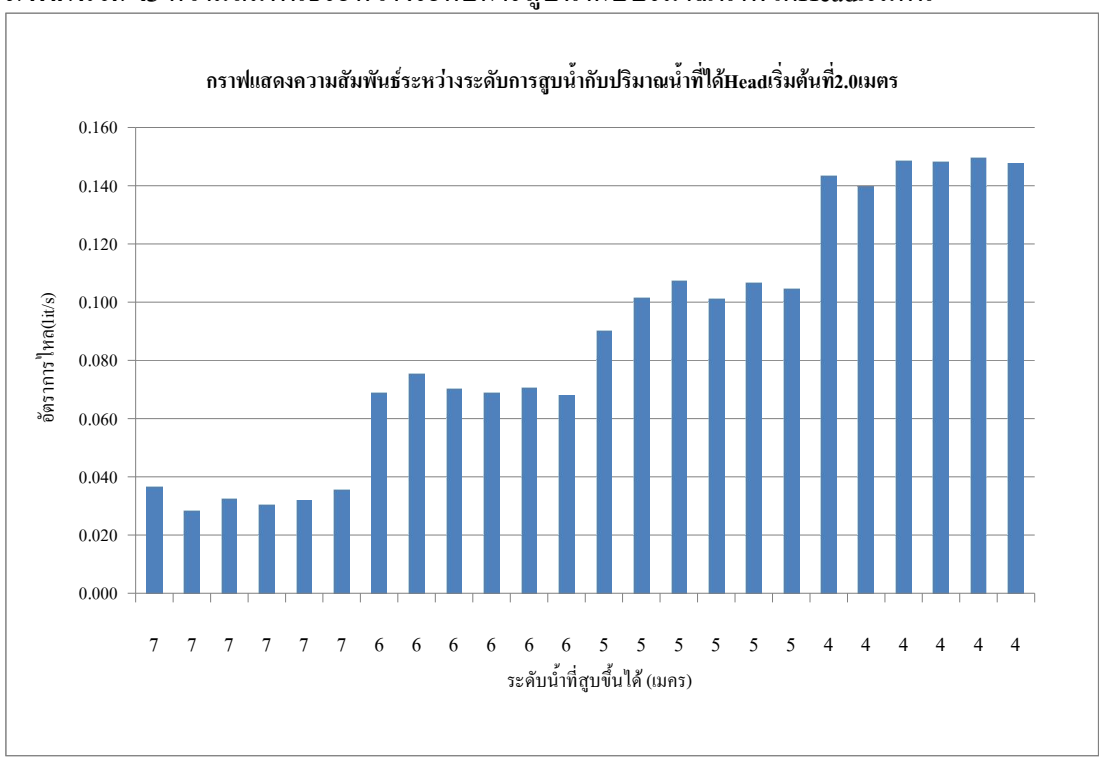
ภาพผนวก ง1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสูบน้ำกับปริมาณน้ำที่ได้Headเริ่มต้น



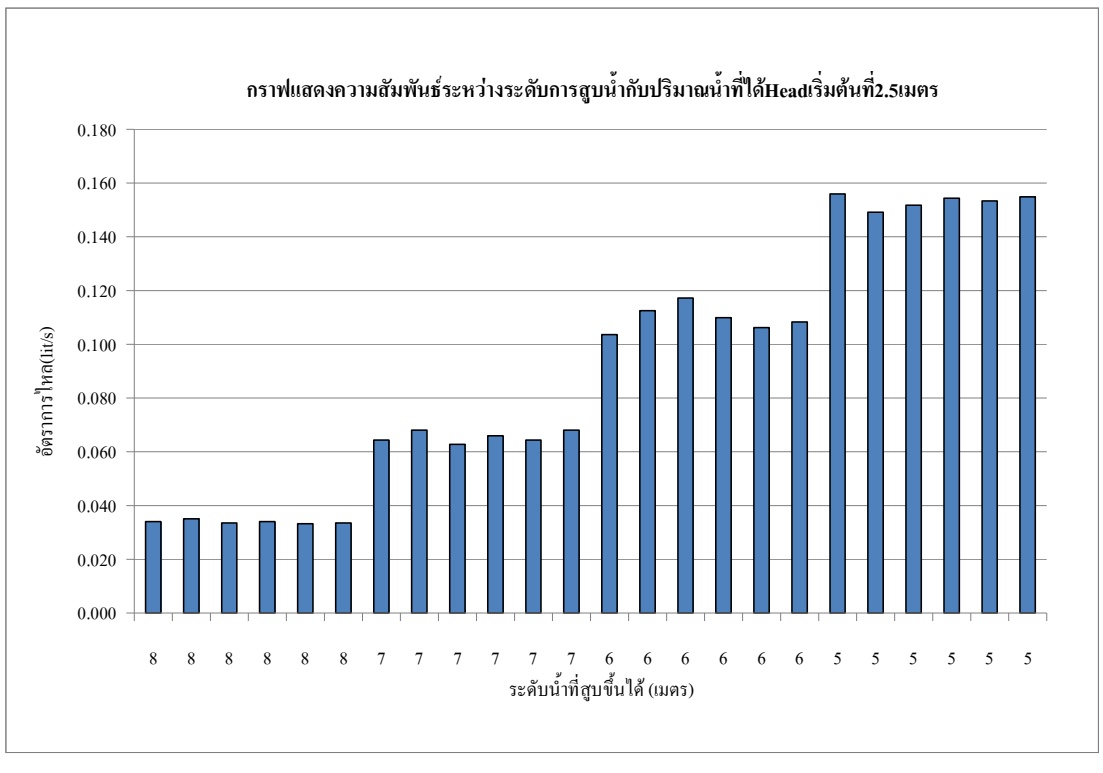
ภาพผนวก ง2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสบน้ำกับปริมาณน้ำที่ได้Headเริ่มต้น



ภาพผนวก ง3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสูบน้ำกับปริมาณน้ำที่ได้Headเริ่มต้น

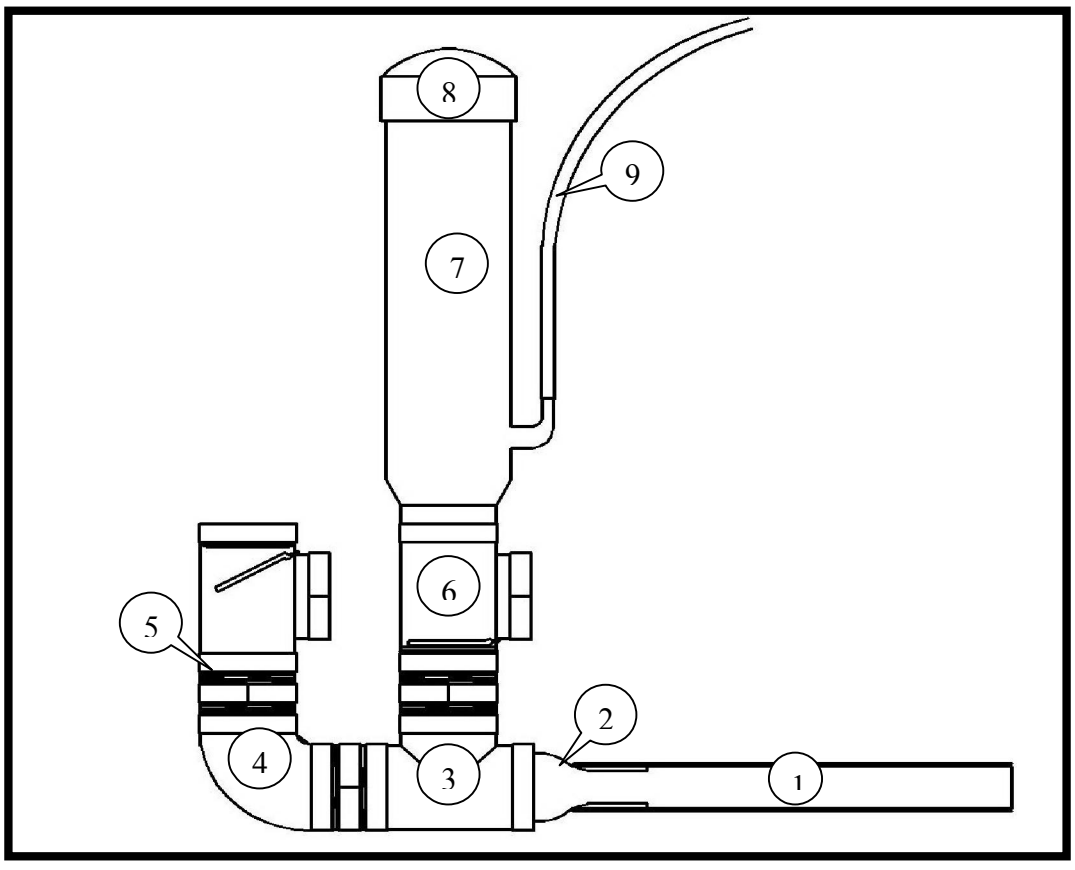


ภาพผนวก ง4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการสบน้ำกับปริมาณน้ำที่ได้Headเริ่มต้น



ภาคผนวก จ

ส่วนประกอบและหลักการทำงานของตะบันน้ำ



ภาพผนวก จ1 แสดงส่วนประกอบของตะบันน้ำดังนี้

(1) สายยางใส่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1(1/2) นิ้ว

(2) 1-1/4"x 2"(ท่อเพิ่ม)

(3) 2" tee (สามทาง)

(4) 2" ข้องอ 90°

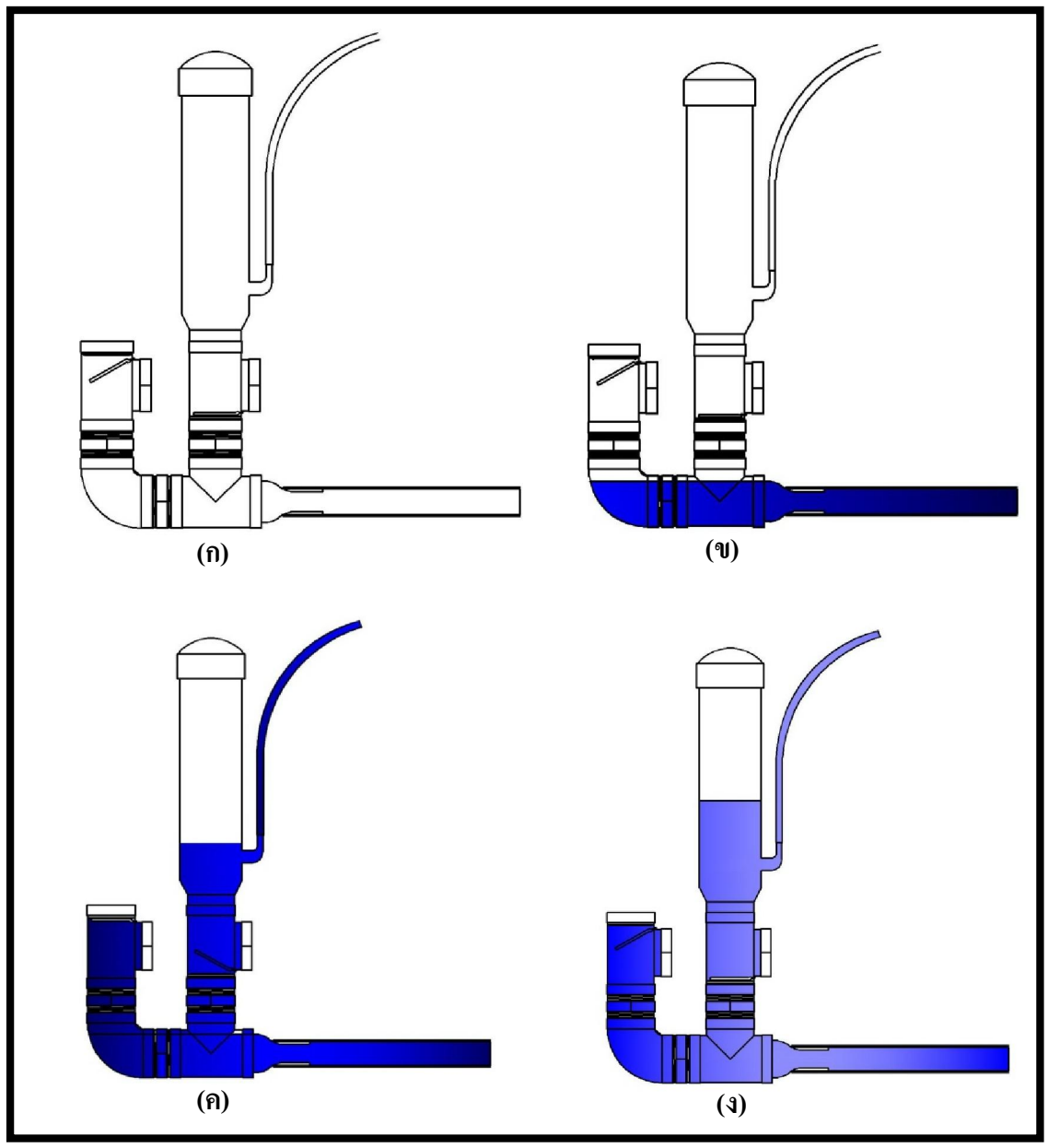
(5) ข้อต่อเกลียวใน

(6) เช็ควาล์วนอน

(7) 3" ท่อ PVC

(8) 3" PVC glue union (ฝาปิด)

(9) สายยางจ่ายน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm



ภาพผนวก จ2 แสดงหลักการทำงานของตะบันน้ำ ดังต่อไปน

(ก) ติดตั้งชิ้นส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์

(ข) น้ำที่ไหลจากแหล่งจ่ายไหลเข้ามาทางท่อ (Drive pipe) เข้าสู่ ram pump

(ค) ลิ้นน้ำทิ้งปิดกะทันหันเกิดปรากฏการณ์ (Water hammer) ทำให้น้ำขึ้นไปที่กระบอกอากาศ

(ง) อากาศ (Air) ในกระบอกกดน้ำลงโดยขณะที่ลิ้นของเช็ควาล์วปิดทำให้เกิดการส่งน้ำขึ้นที่ถังได้

(ก)

(ข)

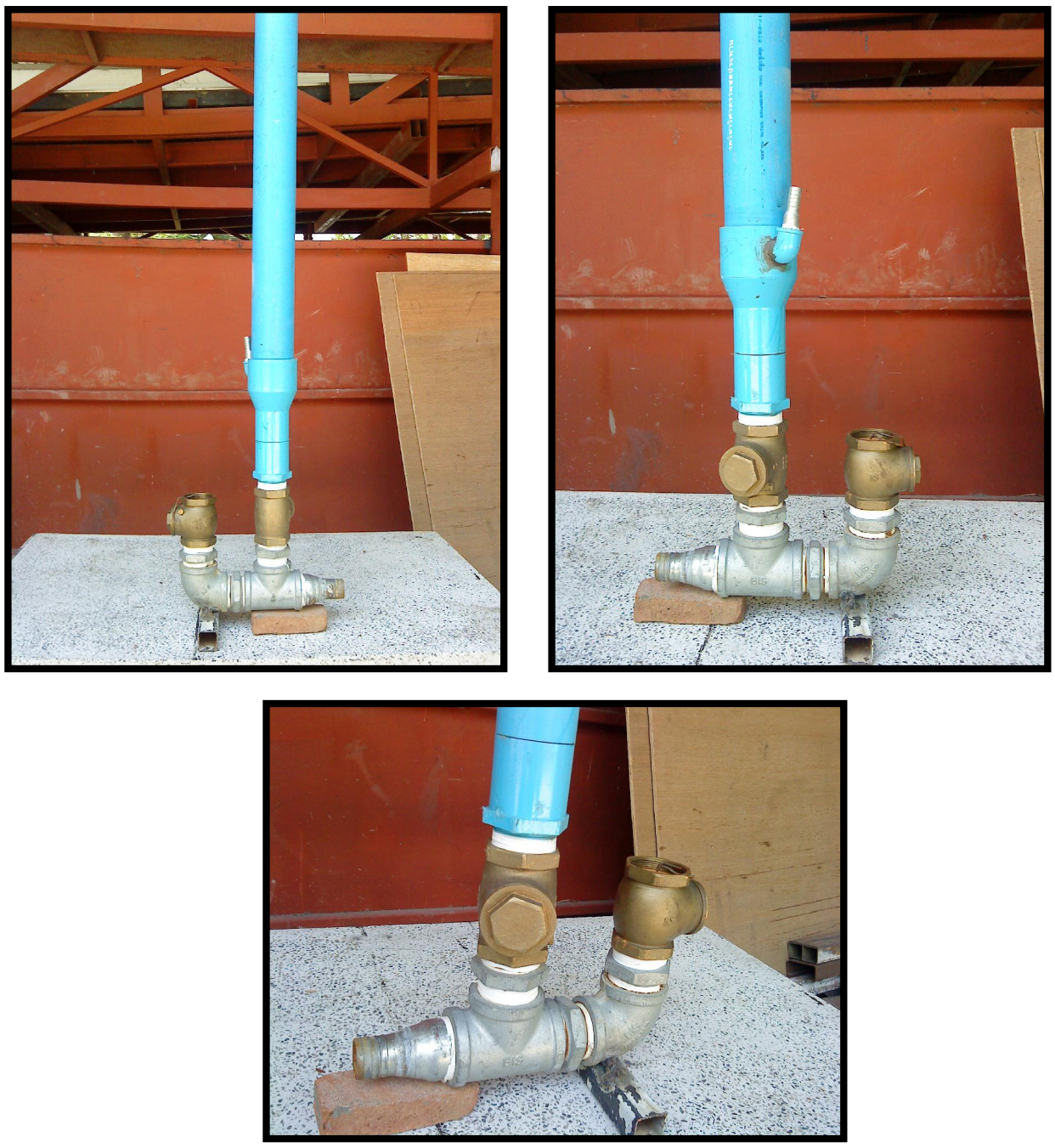
(ค)

ภาพผนวก จ3 แสดงการทำงานของตะบันน้ำดังนี้

(ก) การทำงานของตะบันน้ำ

(ข) กระบอกรองรับน้ำที่ผ่านการสูบจากตัวปั๊มขึ้นสู่ด้านบน

(ค) การตวงปริมาตรน้ำที่สูบได้และปริมาตรน้ำทิ้ง



ภาพผนวก จ4 ภาพเครื่องตะบันน้ำ(Hydraulic Ram)