



งานวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพเครื่องตะบันน้ำ
Study of Hydraulic Ram Pump Efficiency

นายสุนทร วงศ์แสน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันรัชต์ภาคย์

พฤษภาคม 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของสถาบันรัชต์ภาคย์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัย

จากสถาบันรัชต์ภาคย์

ประจำปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

โครงการปริญญานิพนธ์ เล่มนี้เป็นการนำเสนอการสร้างและทดสอบสมรรถนะของเครื่อง ตะบันน้ำ ซึ่งทำขึ้นจากท่อพีวีซี ตัวแปรที่ศึกษามีดังนี้คือ ศักยภาพการทำงานของเครื่องบันน้ำ และ เปรียบเทียบกับถังแรงดันอากาศ 3 ขนาดคือ $\varnothing 3''$, $\varnothing 4''$, $\varnothing 6''$ และความสูงของถังแหล่งจ่ายน้ำ 3 ระดับ คือ 0.5 m, 1 m และ 1.5 m โดยถังจ่ายน้ำเข้า ที่สร้างขึ้นเองแล้วเปรียบเทียบกับระดับน้ำของ แต่ละความสูงของถังแหล่งจ่ายรวมไปถึงการเปรียบเทียบถังแรงดันอากาศแต่ละขนาดด้วยว่า น้ำที่เครื่องตะบันน้ำตะบันขึ้นไปได้สูงกี่เมตรและปริมาณน้ำที่ได้ใน 1 นาที โดยที่ไม่ต้องอาศัยแหล่ง น้ำธรรมชาติครับ สุดท้ายเปรียบเทียบน้ำที่ได้และน้ำที่ต้องทิ้งจากการทำงานของเครื่องตะบันน้ำเอง

จากผลการทดลองที่ความสูงของถังจ่ายน้ำเข้าระบบ 0.5 m ของขนาดถังอัดอากาศ $\varnothing 3$ in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 7 m. ได้ปริมาณน้ำ 0.79 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 47.15% และที่ของขนาดถังอัดอากาศ $\varnothing 4$ in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 8.6 m. ได้ปริมาณน้ำ 0.51 lit/min

ประสิทธิภาพของเครื่อง 37.38 % และที่ขนาดถังอัดอากาศ $\varnothing 6$ in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 0.24 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 24.16 % ที่ความสูงของถังจ่ายน้ำเข้า ระบบ 1 m ของขนาดถังอัดอากาศ $\varnothing 3$ in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 0.69 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 30.57 % และที่ของขนาดถังอัดอากาศ $\varnothing 4$ in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้น ไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 0.89 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 37.79 % และที่ขนาดถังอัด อากาศ $\varnothing 6$ in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 1.03 lit/min ประสิทธิภาพของ เครื่อง 43.46 % ที่ความสูงของถังจ่ายน้ำเข้าระบบ 1.5 m ของขนาดถังอัดอากาศ $\varnothing 3$ in. สามารถส่ง มวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 1.29 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 35.63% และที่ของ ขนาดถังอัดอากาศ $\varnothing 4$ in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 1.42 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 38.56 % และที่ขนาดถังอัดอากาศ $\varnothing 6$ in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 1.61 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 42.85 %

Abstract

This thesis Project was presenting to create and test the performance of the bale. Which is made up of PVC pipe. The variables studied include: Study the work of the Institute of Water. And compared to the cylinder pressure is three sizes 3 ", 4", 6 "and height of the water supply tank three levels: 0.5 m, 1 m and 1.5 m of water into the tank.

Custom built Then compare the height of the water level of the supply tank to the bucket compared to the size that the water pressure at the water bop bop up to a meter high and the amount of water in one minute without. Relying on natural water resources Compare the water, and the water must be discarded from the work of the bale itself.

Experimental result the results show that the height of the tank water supply system size of 0.5 m compressed air tank Ø3 in. The water can rise high 7 m. Water 0.79 lit / min. Efficiency of 47.15% and the size of the compressed air tank Ø4 in. You can send the water up to the height 8.6 m. Water 0.51 lit / min. Efficiency of 37.38% and a compressed air tank Ø6 in. The water can rise high 12 m. Water 0.24 lit / min. Performance of 24.16% At the height of the tank water supply system size of 1 m compressed air tank Ø3 in. The water can rise high 12 m. Water 0.69 lit / min.

Efficiency of 30.57% and the size of the compressed air tank Ø4 in. The water can rise high 12 m. Water 0.89 lit / min. Efficiency of 37.79% and a compressed air tank Ø6 in. The water can rise high 12 m. Water 1.03 lit / min.

Performance of 43.46% at the height of the tank water supply system size of 1.5 m compressed air tank Ø3 in. The water can rise high 12 m. Water 1.29 lit / min. Efficiency of 35.63% and the size of the compressed air tank Ø4 in. The water can rise high 12 m. Water 1.42 lit / min. Efficiency of 38.56% and a compressed air tank Ø6 in. The water can rise high 12 m. Water 1.61 lit / min. Performance of 42.85%

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการปริญญาโท	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการปริญญาโท	2
1.3 ขอบเขตของโครงการปริญญาโท	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ประวัติเครื่องตะบันน้ำ	4
2.2 ประเภทและหลักการทำงานของเครื่องทำงานแต่ละชนิด	6
2.3 พลังงานทดแทน	17
2.4 หลักการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ	21
2.5 เครื่องสูบน้ำแบบไฮดรอลิกแรงดัน (Hydraulic Pum)	24
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ	
3.1 Drawing เครื่องตะบันน้ำ	40
3.2 อุปกรณ์และหน้าที่	41
3.3 วัสดุอุปกรณ์	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การติดตั้งและประกอบอุปกรณ์	44
3.5 ขั้นตอนการทดสอบ	46
3.6 ไปบันทึกผลการทดลอง	54
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	
4.1 ผลการดำเนินงาน	56
4.2 การวิเคราะห์	66
บทที่ 3 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	71
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
5.3 ข้อดีของเครื่องตะบันน้ำ	74
5.4 ข้อเสียของเครื่องตะบันน้ำ	74
บรรณานุกรม	75
ภาคผนวก ก	76
ภาคผนวก ข	81

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 แผนดำเนินงานกิจกรรม	3
2-1 คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ	29
2-2 รายละเอียดขนาดและคุณสมบัติท่อไวนิลคลอไรด์แข็ง (PVC)	33
2-3 ความขรุขระของผนังท่อ	34
2-4 ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหลของข้อต่อท่อชนิดต่างๆ	35
3-1 อุปกรณ์และหน้าที่	41
3-2 วัสดุอุปกรณ์	43
3-3 ใบบันทึกผลการทดลองเครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 0.5 m.)	54
3-4 ใบบันทึกผลการทดลองเครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1 m.)	55
3-5 ใบบันทึกผลการทดลองเครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1.5 m.)	56
4-1 สรุปผลการทดลองเครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 0.5 m.)	66
4-2 สรุปผลการทดลองเครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1 m.)	67
4-3 สรุปผลการทดลองเครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1.5 m.)	68
ภาคผนวก ข -1 รายการวัสดุ	82
ภาคผนวก ข -2 รายการวัสดุ	83

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 การจำแนกประเภทของปั๊ม	7
2-2 ทิศทางการไหลของของเหลวขณะผ่านออกจาก(Inlet)ของปั๊มเซนตริฟูกอล	8
2-3 ปั๊มเซนตริฟูกอลแบบหอยโข่ง (Volute) ที่เรือนปั๊มมีช่องทางเดินของของเหลวเพียงช่องเดียว	9
2-4 ปั๊มเซนตริฟูกอลแบบมีกริบผันน้ำ (Diffuser Type) ซึ่งมีกริบช่วยให้การเปลี่ยนทิศทางการไหลของของเหลวในห้องสูบลมสม่ำเสมอดีขึ้น	10
2-5 ปั๊มเซนตริฟูกอลแบบเทอร์ไบน์ (Regenerative Turbine)	11
2-6 ลักษณะใบพัดของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล	12
2-7 ปั๊มโรตารีแบบเฟือง (Gear Pump)	15
2-8 ปั๊มโรตารีแบบกริบ(Vane)(a) Swing - Vane Pump และ (b) Slide - Vane Pump	16
2-9 ปั๊มโรตารีแบบลอน (a) สองลอน (Two-Lobe) (b) สามลอน (Three-Lobe)	16
2-10 ปั๊มโรตารีแบบสว่าน(Screw Pump) (a) สว่านเดี่ยว (Single - Screw) (b) สองสว่าน(Two - Screw)	17
2-11 โครงสร้างและอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องตะบันน้ำ	21
2-12 การทำงานของเครื่องตะบันน้ำ	22
2-13 การทำงานของเครื่องตะบันน้ำ (เพิ่มเติม)	22

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-14 การทำงานของเครื่องตะบันน้ำ (เพิ่มเติม)	23
2-15 การทำงานของเครื่องตะบันน้ำ (เพิ่มเติม)	24
2-16 การทำงานของเครื่องตะบันน้ำ (เพิ่มเติม)	24
2-17 Moody diagram สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด	32
2-18 โครงสร้างของเครื่องสูบน้ำพลังน้ำ	36
2-19 โครงสร้างของเครื่องตะบันน้ำ	36
4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ แรงดัน ขาเข้าและขาออก ของเครื่องตะบันน้ำ	60
4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ปริมาณน้ำที่ได้ กับน้ำที่เสีย กับ ประสิทธิภาพเครื่อง	61
4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ แรงดันขาออก กับปริมาณน้ำดี กับเสีย	62
4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ แรงดัน ขาเข้าและขาออก ของเครื่องตะบันน้ำ	63
4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ปริมาณน้ำที่ได้ กับน้ำที่เสีย กับ ประสิทธิภาพ เครื่องสว่าน(Two - Screw)	64
4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ แรงดันขาออก กับปริมาณน้ำดี กับเสีย	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันเชื้อเพลิงต่างๆ ที่นำมาใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน นับวันจะมีปริมาณน้อยลงทุกที และคงจะต้องหมดไปในอนาคต ประกอบกับราคาของเชื้อเพลิงที่มีความผันผวนไปในแนวทางที่สูงขึ้นตามสถานการณ์ทางเศรษฐกิจ และการเมืองของโลก ดังนั้นพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้เชื้อเพลิงดังกล่าวข้างต้นยังก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศสูง ซึ่งนำไปสู่ภาวะเรือนกระจกที่มีผลกระทบต่อโลกอย่างร้ายแรง ทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่งผลให้เกิดการเร่งพัฒนาและสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวางในหลายประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานทดแทนจากธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลม น้ำ และความร้อนใต้พิภพ เนื่องจากเป็นพลังงานที่ได้เปล่า และยังไม่ก่อให้เกิดมลพิษอีกด้วย

Hydraulic Ram pump หรือที่คนไทยเรียกกันในชื่อว่า ตะบันน้ำ เป็น อุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่องตลอดหลายร้อยปี เป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งน้ำขึ้นไปบนที่สูง โดยใช้พลังงานที่มีอยู่ในตัวของมันเอง ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์มาเป็นตัวขับเคลื่อนอุปกรณ์ตะบันน้ำ หรือปั้มน้ำธรรมชาติอาศัยปรากฏการณ์พลังงานน้ำ จากน้ำตกฝาย น้ำที่ไหลจากพื้นที่สูงลงสู่ที่ต่ำเมื่อน้ำมีความเร็วเข้าท่อ น้ำจะถูกปิดกั้นด้วยวาล์ว ล้วเกิดเป็นระบบสุญญากาศ แรงกระแทกจะอัดน้ำขึ้นสู่ด้านบน Hydraulic Ram pump สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์เศรษฐกิจพอเพียง คือสำหรับการปลูกผักสวนครัว นาข้าวกักเก็บน้ำไว้บนที่สูง โดยใช้อุปกรณ์จัดเก็บได้แก่ แท้ งค์น้ำ เป็นนวัตกรรมที่สอดคล้องกับท้องถิ่น ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน อาศัยพลังงานธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษใช้เงินทุนน้อยสร้างและติดตั้งง่ายสามารถทำได้เอง ไม่ต้องการเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าในการทำงาน ต้องการการซ่อมบำรุงเพียงเล็กน้อย มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวน้อย ไม่สร้างมลภาวะและทำงานตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน และสามารถนำ Hydraulic Ram Pump ไปประยุกต์ใช้งาน ให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานตามที่ต้องการ

งานวิจัยนี้ จึงสนใจในการที่จะศึกษาการทำงานของ เครื่องตะบันน้ำ ที่มีอยู่โดยการสร้างเครื่องตะบันน้ำ เพื่อใช้งานกับถ้ำน้ำหรือน้ำประปาโดยการให้น้ำ ไหลจากที่ต่ำไปยังที่สูง จากนั้นจะมีการพัฒนาปรับปรุงเครื่องให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานจริงที่ต่อกับแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ออกแบบและสร้าง เครื่องตะบันน้ำ โดยจำลองการทำงานเพื่อใช้กับน้ำประปา
- 1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำในการเอาไปใช้งาน ได้จริง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ศึกษาหลักการทำงานของ Hydraulic Ram Pump และหลักการอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ โดยมีพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ เพื่อ สร้าง เครื่องตะบันน้ำ ด้วยอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายตามท้องตลาดสามารถใช้งานกับน้ำประปาตามบ้านเรือนทั่วไป และส่งกำลัง การไหลของน้ำจากที่ต่ำไปยังที่สูง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ
- 1.4.2 ได้เครื่องตะบันน้ำเพื่อใช้ในการศึกษา และทดลอง
- 1.4.3 ประหยัดเชื้อเพลิง
- 1.4.4 ประหยัดพลังงานไฟฟ้า

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการจัดทำวิจัย เรื่อง เครื่องตะบันน้ำครั้งนี้ ได้ศึกษาแนวทางจากเอกสาร ทฤษฎี แนวคิดต่าง ๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการ ดังนี้

- 2.1 ประวัติและความหมายของเครื่องตะบันน้ำ
- 2.2 ประเภทและหลักการทำงานของเครื่องปั้มน้ำแต่ละชนิด
- 2.3 พลังงานทดแทน
- 2.4 หลักการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ
- 2.5 เครื่องสูบน้ำไฮดรอลิกแรมปั้ม (Hydraulic Ram)
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติของเครื่องตะบันน้ำ

คำว่า“ตะบัน” ที่เราเคยได้ยินได้ฟังกันมานานนั้นคือ การตะบันหมากหรือการตำหมากให้ แผลกของผู้เฒ่าผู้แก่ แต่อีกความหมายของคำว่า ตะบัน นอกเหนือจากการกระทุ้งหรือแทงกดบาง สิ่งให้ลงไปอยู่ด้านล่าง คือ ไม่มีขยับขี้งเรื่อยไป อันเป็นที่มาของชื่อเครื่องตะบันน้ำ มีผู้ค้นพบหลักการทำงานของตะบันน้ำ มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1772 หรือกว่า 200 ปีมาแล้ว โดยช่างประปาของโรงพยาบาลแห่ง หนึ่ง ในเมือง Bristol ในประเทศอังกฤษและ ถูกพัฒนาแนวคิดโดยพี่น้องตระกูล Montgofier ชาวฝรั่งเศส เมื่อปีค.ศ.1796 ต่อมาปี ค.ศ. 1956 ดร.มียาซาวา ได้สร้างเครื่องสูบน้ำพลังน้ำขึ้น โดยเอา หลักการนี้ไปใช้เป็นผลสำเร็จแต่ไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทยได้มีการสร้างขึ้นเครื่องแรกเมื่อปี พ.ศ.2516 โดยกองบริการอุตสาหกรรมภาคเหนือ และได้ทดลองติดตั้งใช้งานที่ไร่ 3 เขา ในเขต อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ และต่อมา ในปี พ.ศ.2518 ได้ทำการปรับปรุง และสร้างขึ้นอีก 1 เครื่อง ได้ทำการทดลองระยะสั้น ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ และตะบันน้ำ เครื่องใหม่มีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องแรก

ตะบันน้ำเริ่มมีใช้มาหลายร้อยปีแล้วแต่ไม่ค่อยนิยมใช้กัน เนื่องจากมีข้อจำกัดหลายๆอย่าง เช่น ประสิทธิภาพของการทำงานที่ได้ต่ำกว่าเครื่องปั้มน้ำชนิดอื่นๆ มีการสูญเสียน้ำในกระบวนการ มากกว่าที่สูบได้ เนื่องจากมีน้ำส่วนมากปล่อยไหลออกทางวาล์วน้ำทิ้งและอีกส่วนหนึ่งจะถูกสูบ ยกขึ้นเครื่องตะบันน้ำเหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีอัตราการไหลสูง เช่น ลำธารน้ำไหลหรือน้ำตก แต่

มีความดันต่ำหรือมีระดับความสูงของน้ำไหลเข้า (ที่มักเรียกกันว่า head) ไม่มากนัก โดยจะสูบหรือยกระดับน้ำด้วยอัตรา การไหลต่ำ แต่สามารถยกระดับน้ำให้ขึ้นไป ยิ่งที่สูงๆ ได้ โดยหากระดับความสูงของน้ำไหลเข้าสูงหนึ่งเมตรก็อาจสามารถยกระดับน้ำได้ ถึง 7-8 เมตร หรือหากออกแบบดีอาจยกได้มากกว่า 10 เมตร เนื่องจากตามระบบการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ น้ำบางส่วนจะไหลออกไปทางวาล์วน้ำล้น เครื่องตะบันน้ำจึงเหมาะสำหรับแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เพราะน้ำที่ไหลล้นออกไปยังสามารถใช้ประโยชน์ในพื้นที่ท้ายน้ำได้แต่ไม่เหมาะสำหรับการมาใช้ในการสูบน้ำประปา 7-8 เมตร หรือหากออกแบบดีอาจยกได้มากกว่า 10 เมตร เนื่องจากตามระบบการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ น้ำบางส่วนจะไหลออกไปทางวาล์วน้ำล้น เครื่องตะบันน้ำจึงเหมาะสำหรับแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เพราะน้ำที่ไหลล้นออกไปยังสามารถใช้ประโยชน์ในพื้นที่ท้ายน้ำได้แต่ไม่เหมาะสำหรับการมา ใช้กับการสูบน้ำประปา (เครื่องตะบันน้ำ . มุลนิธิเอเยเพื่อการอนุรักษ์และพัฒนาอย่างยั่งยืน.Hydraulic Ram Pump มีชื่อเรียกอื่นๆ อีก เช่น เครื่องตะบันน้ำ ซึ่งเป็นปั้มน้ำที่ทำงานได้โดยอาศัยกำลังงานจากการไหลของน้ำ ปั้มนชนิดนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีการไหลด้วยอัตรา การไหลสูง แต่ความดันต่ำและจะปั้มน้ำบางส่วน (อัตราการไหลต่ำ) ให้ขึ้นไปยิ่งที่สูง ๆ ได้ในปี ค .ศ. 1772 ชาวอังกฤษชื่อ John Whitehurst ได้ชื่อว่าเป็นผู้ประดิษฐ์คิดค้นปั้มน้ำชนิดที่ไม่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง (non-self-acting ram pump) แต่ต่อมาในปี ค.ศ. 1793 พี่น้อง Montgolfier ชาวฝรั่งเศส ได้เพิ่มวาล์วให้กับปั้มน้ำทำให้ปั้มนสามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง (self-acting ram pump) นั่นคือทำให้ปั้มน้ำชนิดนี้เป็นเครื่องจักรที่ทำงานได้วันรันคร ่ทราบเท่าที่มีแหล่งน้ำสำหรับจ่ายให้กับปั้มอย่างสม่าเสมอ (เป็นการเปรียบเทียบ)ก่อนปี ค.ศ. 1840 Hydraulic Ram Pump ที่ใช้งานในสหรัฐเป็นการนำเข้ามาจากทวีปยุโรป ต่อมาในปี ค .ศ. 1843 H.H. Strawbrigdeแห่ง Louisianaisเป็นผู้ที่ได้เริ่มจำหน่ายปั้มนที่ผลิตขึ้นเองในสหรัฐ แต่ในตอนแรกปั้มนยังทำด้วยไม้ซึ่งก่อให้เกิดปัญหา คือ การระเบิดเนื่องจากการทำงานของ ปั้มน้ำชนิดนี้จะเกี่ยวข้องกับความดันก่อนที่ข้างสูง จึงทำให้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนต่อมาได้มีการผลิตปั้มน้ำที่ทำขึ้นมาจากเหล็กหล่อ (เครื่องตะบันน้ำ . [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://gamoback.blogspot.com/p/blog-page_8121.html. วันที่ค้นข้อมูล : 23 กันยายน 2558)

การตะบันน้ำ (หรือ water hammer) คือปรากฏการณ์ที่ความดันภายในท่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันและรุนแรง สาเหตุที่ทำให้เกิดการตะบันน้ำคือ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลภายในท่อหรือระบบที่มีการไหล เช่น การปิดประตูอย่างรวดเร็ว ทำให้ความเร็วในการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การทำเช่นนี้จะทำให้ โมเมนตัม ของการไหลถูกเปลี่ยนไปกลายเป็นแรงกระทบบนประตูหรือผนังท่อ ถ้าหากแรงกระแทกที่เกิดขึ้นมากเกินไป วัสดุที่ใช้ทำประตูหรือท่อก็อาจทำให้เกิดการเสียหายได้ แต่ในที่นี้ นำ หลักการดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์

โดยสร้างอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมแรงดัน เพื่อที่จะ นำน้ำที่มีอยู่ตามแหล่งน้ำธรรมชาติมาใช้งาน (มูลนิธิเลขเพื่อการอนุรักษ์และพัฒนาอย่างยั่งยืน .[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก : <http://www.thaihealth.or.th/data/ecatalog/278/pdf/278.pdf>. วันที่ค้นข้อมูล : 23 กันยายน 2558)

การตะบันน้ำ (หรือ water hammer) คือ ปรากฏการณ์ที่ความดันภายในท่อมี การเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันและรุนแรง สาเหตุที่ทำให้เกิดการตะบันน้ำ คือ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลภายในท่อหรือระบบที่มีการไหล เช่น การปิดประตูอย่างรวดเร็วทำให้ความเร็วในการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (เครื่องตะบันน้ำ Hydraulic601.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :<https://sites.google.com/site/kheruxngtabannahydraulic601/hydraulic-ram-pump-1/1-2>. วันที่ ค้นข้อมูล : 23 กันยายน 2558).

2.2 ประเภทและหลักการทำงานของเครื่องปั๊มแต่ละชนิด

ปัจจุบันได้มีการผลิตปั๊มออกจำหน่ายมากมายหลายชนิด และมีการเรียกชื่อแตกต่างกัน ออกไปจนบางครั้งทำให้เกิดการสับสน ดังนั้นจึงได้มีการจัดหมวดหมู่เพื่อให้สามารถแยกประเภท และเรียกชื่อได้ชัดเจนขึ้น การแยกประเภทอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบด้วยกัน คือ

2.2.1 แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม ซึ่งได้แก่

ก.ประเภทเซนตริฟูกอล (Centrifugal) เพิ่มพลังงานให้แก่ของของเหลวโดยอาศัย แรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางปั๊มประเภทนี้บางครั้งเรียกว่าเป็นประเภท Roto-dynamic

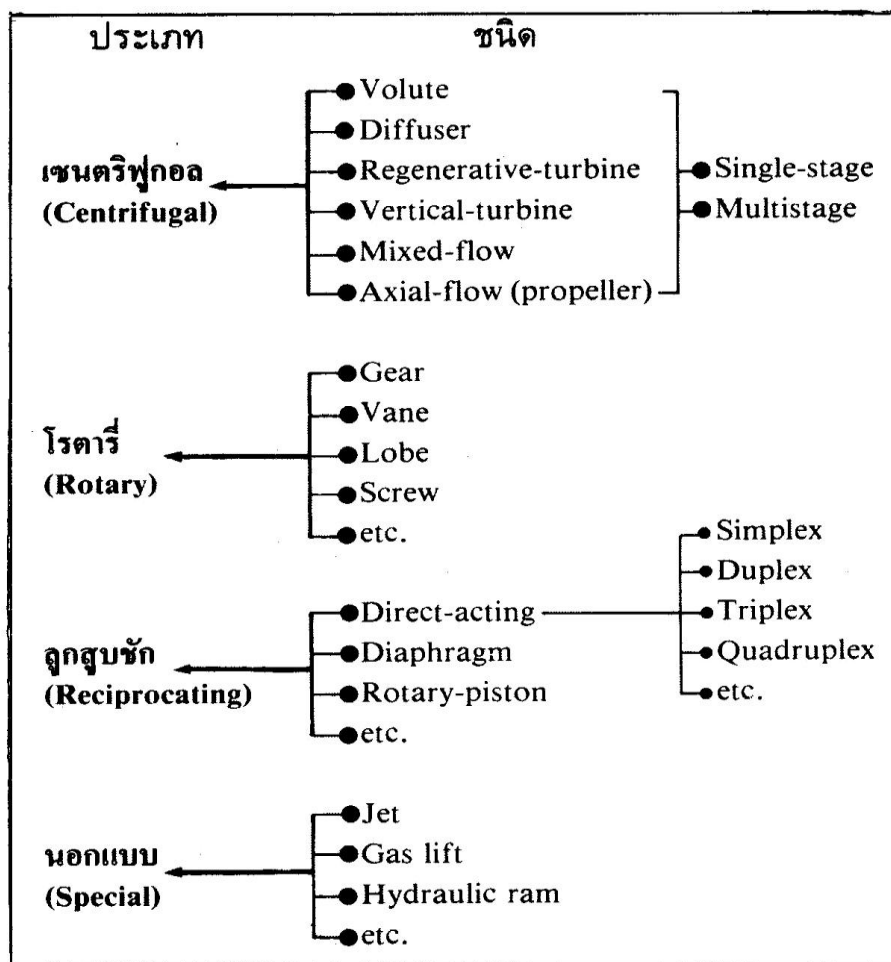
ข. ประเภทโรตารี (Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบ แกนกลาง

ค.ประเภทลูกสูบชัก (Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดย ตรงใน กระบอกสูบ

ง.นอกแบบ (Special) ซึ่งเป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสาม ประเภทข้างต้นได้

ในแต่ละประเภทตามที่กล่าวมานี้ยังมีการดัดแปลงออกไปเป็นแบบต่างๆ อีกหลายแบบและมีชื่อเรียกของแต่ละแบบแตกต่างกันออกไป ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1

2.2.2 แยกประเภทตามลักษณะการขับเคลื่อนของเหลวในเครื่องสูบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ



ภาพที่ 2-1 การจำแนกประเภทของปั๊ม

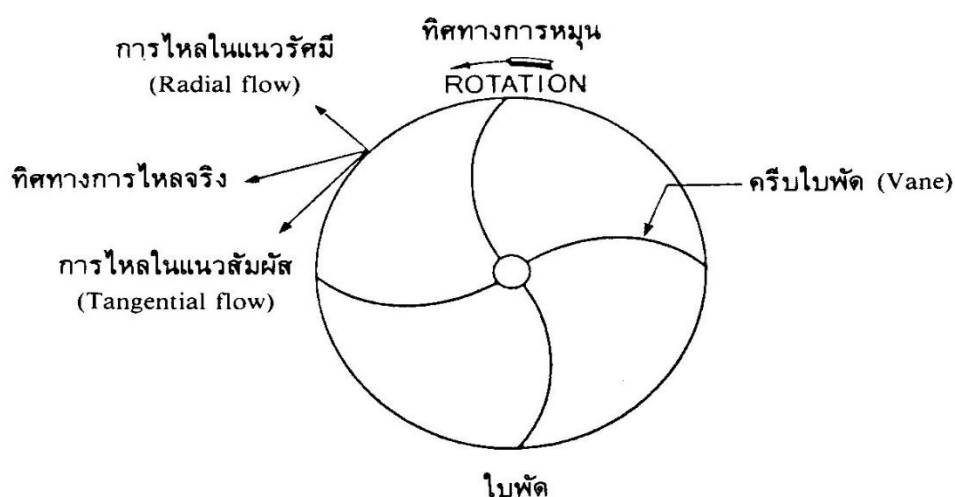
ก.ทำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Non-Positive Displacement) ปั๊มประเภทอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางอาจจัดให้อยู่ในกลุ่มนี้ได้

ข.ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลวในห้องสูบด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนของเครื่องสูบบั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารีและลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

นอกจากการแบ่งประเภทสองแบบตามที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังอาจแบ่งแยกปั๊มตามวัตถุประสงค์ใช้งานของแต่ละแบบด้วย เช่น ปั๊มดับเพลิง ปั๊มลม ปั๊มสุญญากาศ ปั๊มน้ำบาดาล เป็นต้น ปั๊มเหล่านี้จะประกอบกันเป็นชุดโดยมีอุปกรณ์สำหรับใช้งานที่ออกแบบไว้โดยเฉพาะและไม่เหมาะที่จะนำไปใช้อีกอย่างอื่น

2.2.2.1 การทำงานของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล

ปั๊มแบบนี้ทำงานโดยอาศัยการหมุนของใบพัดหรืออิมเพลเลอร์ (Impeller) ที่ได้รับการถ่ายเทกำลังจากเครื่องยนต์ต้นกำลังหรือมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อใบพัดหมุนพลังงานจากเครื่องยนต์ก็จะถูกถ่ายเทโดยการผลัดกันของครีบบใบพัด (vane) ต่อของเหลวที่อยู่รอบๆทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง (Tangential flow) เมื่อมีการไหลในลักษณะดังกล่าวก็จะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) และเป็นผลให้มีการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทาง (Radial flow) ดังนั้นของเหลวที่ถูกใบพัดผลัดกันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เป็นผลรวมของแนวทั้งสอง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2-2 ทิศทางการไหลของของเหลวขณะผ่านออกจากใบพัด (Impeller) ของปั๊มเซนตริฟูกอล

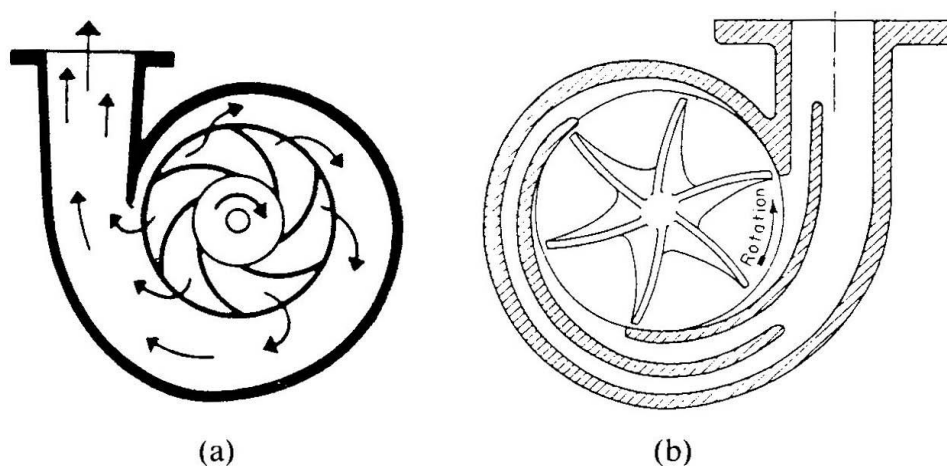
โดยหลักศาสตร์เมื่อของเหลวถูกหมุนให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางความกดดันของของเหลวจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากศูนย์กลางของใบพัดมากขึ้น เมื่อความเร็วของใบพัดซึ่งหมุนอยู่ในภาวะปิดมากพอ ความกดดันที่จุดศูนย์กลางก็จะต่ำกว่าความกดดันของบรรยากาศ ดังนั้นปั๊มแบบอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่แท้จริงจึงมีทางให้ของเหลวไหลเข้าหรือ **ทางดูด (Suction Opening)** อยู่ที่ศูนย์กลางใบพัดของเหลวที่ถูกดูดเข้าทางศูนย์กลาง เมื่อถูกผลัดกันออกไปด้วยแรงผลัดกันของครีบบใบพัดและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ก็จะไหลออกมาตลอดแนวเส้นรอบวง ดังนั้นใบพัดจึงจำเป็นต้องอยู่ในเรือนปั๊ม (Casing) เพื่อทำหน้าที่รวบรวมและผันของเหลวเหล่านี้ไปสู่ทางจ่าย (**Discharge Opening**) เพื่อต่อเข้ากับท่อส่งหรือระบบใช้งานต่อไป ในการรวบรวมของเหลวที่ถูกผลัดกันออกมานี้จำเป็นต้องเริ่มต้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นรอบวงของ

ใบพัด ดังนั้นจะมีจุดหนึ่งซึ่งผนังภายในของเรือนบีบเข้ามาชิดกับขอบของใบพัดมากจุดดังกล่าวนี้เรียกว่า **ลิ้นของเรือนบีบ (Tonque of the casing)** จากลิ้นของเรือนบีบไปตามทิศทางการหมุนของใบพัด จะมีของเหลวไหลออกมามากขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวงใบพัดที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นช่องว่างซึ่งเป็นทางเดินของของเหลวระหว่างผนังของเรือนบีบกับใบพัดก็จะต้องเพิ่มขนาดขึ้นด้วย โดยหลักการแล้วอัตราการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดจะคงที่เพื่อให้ความเร็วของการไหลสม่ำเสมอซึ่งจะเป็นผลให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลงนั่นเอง อย่างไรก็ตาม ความเร็วของการไหลจะลดลงเนื่องจากพลังงานบางส่วนถูกเปลี่ยนมาเป็นพลังงานศักย์ (Potential Energy) ในรูปของความดัน (Pressure head) แทน

แบบต่างๆของบีบประเภทเซนตริฟูกอล

ตามภาพที่ 2-1 บีบประเภทเซนตริฟูกอล สามารถแบ่งแยกออกไปได้อีกหลายแบบคือ

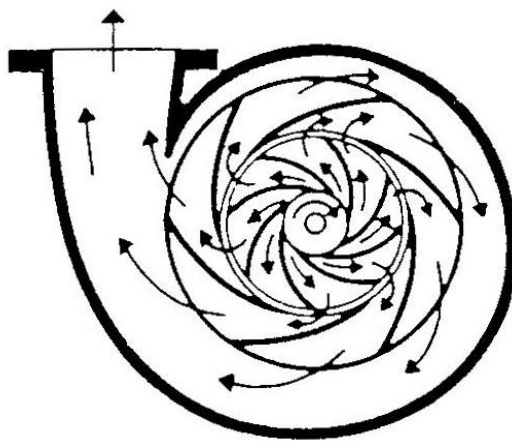
1) **แบบหอยโข่ง (Volute Type รูปที่ 4)** เป็นแบบพื้นฐานของบีบประเภทนี้ กล่าวคือเป็นแบบที่ของเหลวที่ไหลเข้าสู่ศูนย์กลางของใบพัดที่ทิศทางขนานกับแกนของเพลาลแล้วไหลออกทำมุม 90 องศาที่ทิศทางที่ไหลเข้า ช่องทางเดินของของเหลวจากลิ้นของเรือนบีบมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวงใน ทิศทางการหมุนของใบพัด บางแบบมีการเพิ่มช่องทางเดิน ให้มากขึ้นเช่นในรูป 4 (b) การดัดแปลงดังกล่าวนี้จะช่วยให้แรงกดบนเพลลาของบีบมีความสมดุลยิ่งขึ้น



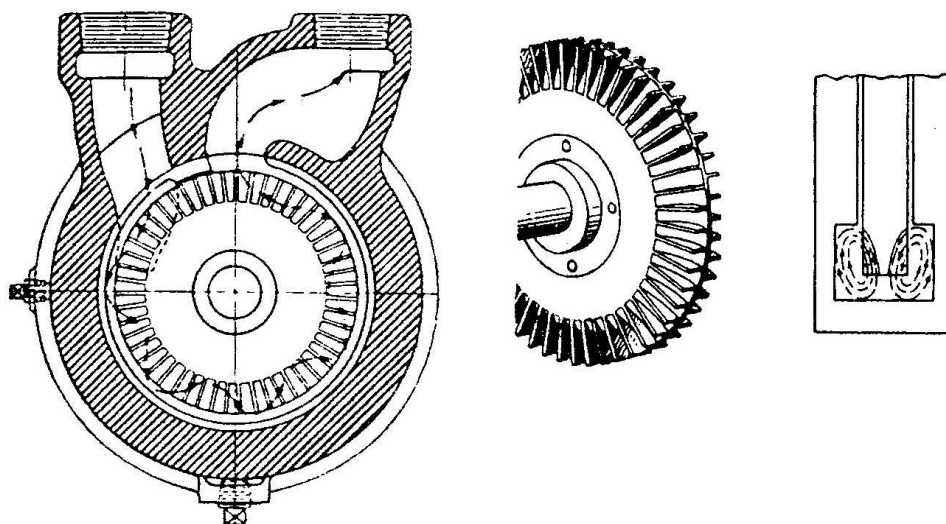
ภาพที่ 2-3 บีบเซนตริฟูกอลแบบหอยโข่ง (Volute) ที่เรือนบีบมีช่องทางเดินของของเหลวเพียงช่องเดียว (a) และสองช่อง (b)

2) **แบบมีครีบน้ำ (Diffuser Type** ภาพที่ 5) ปัมป์แบบนี้มีลักษณะของใบพัดและรูปร่างภายนอกของเรือนปัมป์ (Casing) เหมือนกับแบบแรกทุกประการ จะผิดกันก็เพียงแต่ว่าภายในจะมีครีบน้ำ (Guide Vanes) เพิ่มขึ้นมา ครีบดังกล่าวซึ่งติดอยู่กับเรือนปัมป์จะช่วยให้ของเหลวที่ถูกผลักดันออกมาค่อยๆเบนทิศทางไปสู่ช่องทางเดินซึ่งเป็นส่วนโค้งได้ดีขึ้น ทำให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลง และเป็นผลให้การเปลี่ยนพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) มาเป็นพลังงานศักย์ในรูปของความดัน (Pressure head) มีประสิทธิภาพดีขึ้น

3) **แบบเทอร์ไบน์ (Turbine Type)** ปัมป์แบบนี้บางครั้งเรียกว่าแบบ Voetex, Periphery หรือ Rege-nerative Turbine ลักษณะพิเศษของมัน คือ ใบพัดจะเป็นแผ่นแบนกลมมีความหนา ครีบของใบพัดเกิดจากการเซาะร่องบนขอบของแผ่นใบพัด ทำให้เกิดเป็นแผ่นครีบแคบๆและสั้นในแนวรัศมี (Radial Direction) ขณะที่ของเหลวไหลเข้ามาจากทางดูดสู่ช่องว่างระหว่างครีบของใบพัดมันจะถูกเหวี่ยงออกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง แต่เนื่องจากผนังของเรือนปัมป์ปิดกั้นอยู่ของเหลวดังกล่าวก็จะวิ่งย้อนกลับช่องว่างระหว่างใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปอีก ขบวนการดังกล่าวจะซ้ำกันอยู่เช่นนี้จนกว่าจะถึงช่องทางจ่าย (Discharge Opening) พลังงานที่ของเหลวได้รับจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่ของเหลววิ่งเข้าสู่ช่องว่างระหว่างครีบของใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 50 ครั้ง ถ้าจำนวนครั้งมากพลังงานศักย์ของของเหลวก็จะมากตามขึ้นไปด้วย



ภาพที่ 2-4 ปัมป์เซนตริฟูกอลแบบมีครีบน้ำ (Diffuser Type) ซึ่งมีครีบช่วยให้การเปลี่ยนทิศทาง การไหลของของเหลวในห้องสูบสม่ำเสมอดีขึ้น



ภาพที่ 2-5 ปัมเซนตริฟูกอลแบบเทอร์ไบน์ (Regenerative Turbine)

4) แบบ Vertical Turbine (Vertical Turbine Type) ปัมแบบนี้เดิมทีเคียวผลิตขึ้นมาสำหรับสูบน้ำจากบ่อบาดาล ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกว่าปัมน้ำบาดาล (Deep Well หรือ Deep Well Turbine Pump) โดยแท้จริงแล้วใบพัดของปัมแบบนี้ไม่ใช่เป็นแบบเทอร์ไบน์ แต่เป็นแบบ Radial Flow หรือ Mixed Flow ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป เนื่องจากส่วนประกอบทั้งหมดของปัมจะต้องประกอบกันเป็นท่อนทรงกระบอกเพื่อให้สามารถบรรจุลงในท่อบ่อน้ำบาดาลได้ และบ่อน้ำบาดาลส่วนใหญ่มีระดับน้ำลึกมาก ปัมชนิดเดียวอาจให้พลังงานศักย์ไม่พอ ปัมแบบนี้จึงต้องออกแบบให้ใบพัดและเรือนปัมหลายชุดต่อเข้าด้วยกันได้เป็นชั้นๆ โดยอาศัยเพลลาหมุนใบพัดท่อนเดียวกัน เรือนปัม(Casing)ก็ต้องคัดแปลงให้รับน้ำจากใบพัดแล้วส่งขึ้นไปสู่ทางคูดของใบพัดตัวบนได้ และเนื่องจากลักษณะของเรือนปัมแตกต่างจากแบบหอยโข่ง (Volute) ชื่อของส่วนนี้จึงเปลี่ยนไปเรียกว่าโบว์ล (Bowl) ภายในโบว์ลจะประกอบด้วยครีบน้ำซึ่งมีลักษณะของแบบมีครีบน้ำ (Diffuser) โบว์ลหนึ่งชุดจะเทียบได้กับปัม1 เครื่อง ปัมแบบแบบ Vertical Turbine โดยทั่วไปมีโบว์ลมากกว่าหนึ่งชั้น (Stage) ซ้อนกัน ในกรณีที่ว่านี้ก็อาจจำเป็นต้องบอกจำนวนชั้นควบคู่ไปกับการเรียกชื่อปัมด้วย เช่น Single -stage Vertical Turbine, Three - stage Deep well Turbine สำหรับปัมที่มีโบว์ลชั้นเดียวและสามชั้น เป็นต้น

5) **Mixed Flow** ปี่มสองชั้นแรกที่กำลังถึงข้างต้น คือแบบหอยโข่ง (Volute) และแบบมีครีบริบผันน้ำ (Diffuser) เป็นแบบที่เรียกชื่อตามลักษณะของเรือนปี่มที่ทำหน้าที่รวบรวมหรือผันของเหลวที่ไหลออกจากใบพัดไปสู่ช่องทางจ่าย ใบพัดที่ใช้กับปี่มทั้งสองแบบส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น Radial Flow คือของเหลวไหลเข้าสู่ศูนย์กลางของใบพัดในแนวขนานกับเพลลาแล้วไหลออกด้วยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางเพียงอย่างเดียวทิศทางการไหลออกจะทำมุม 90 องศา กับทิศทางที่มันไหลเข้าดังภาพที่ 8 a

สำหรับปี่มแบบ Mixed Flow นั้นเป็นชื่อที่เรียกตามลักษณะของใบพัด หรือทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด ปี่มหรือใบพัดแบบนี้จะเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยทั้งแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางและแรงผลักดันของแผ่นใบพัดในแนวขนานกับแกนของเพลลา ของเหลวที่ไหลออกจะทำมุม 45 ถึง 80 องศา กับแกนของเพลลา (ภาพที่ 8 b) ปี่มแบบนี้ให้เฮด (Head) น้อยกว่าแบบ Radial Flow แต่จะให้อัตราการสูบสูงกว่า ใบพัดแบบ Mixed Flow ใช้กับแบบ Vertical Turbine

ปี่มแบบ Mixed Flow นี้จะให้เฮด ตั้งแต่ 3 ถึง 50 เมตรต่อใบพัด 1 ชุด อัตราการสูบมากได้ถึง 7,000 ลูกบาศก์ต่อชั่วโมง ความเร็วปกติของใบพัด 1,450 รอบต่อนาทีหรือมากกว่า

6) **Axial Flow** (ภาพที่ z-8c) ในปี่มแบบ Axial Flow ของเหลวที่ไหลเข้าและออกจากใบพัดมีทิศทางขนานกับแกนของเพลลา แรงที่เพิ่มพลังงานให้กับของเหลวเป็นแรงผลักดันในทิศทางการไหลเพียงอย่างเดียวไม่มีแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง ปี่มแบบนี้ให้เฮดตั้งแต่ประมาณ 50 เซนติเมตรถึง 7 เมตรต่อใบพัด 1 ชุด อัตราการสูบอาจได้มากถึง 100,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความเร็วปกติของใบพัด 1,160 รอบต่อนาทีหรือมากกว่า

ลักษณะใบพัดของปี่มแบบเซนตริฟูกอล

เนื่องจากว่าใบพัดของปี่มแบบเซนตริฟูกอลได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานมากมายหลายชนิด การจำแนกประเภทอาจจะพิจารณาได้จากลักษณะของแผ่นใบพัด งานประกบ (Shroud) ลักษณะการไหลของของเหลวเข้าและออกจากใบพัดหรือวัตถุประสงค์การใช้งานของมัน ใบพัดที่ได้รับการแยกประเภทตามหลักการข้างต้นมีดังนี้ คือ

- **ใบพัดเปิด (Open Impeller)** โดยทั่วไปแล้วครีบริบของใบพัดจะยึดติดอยู่กับงานประกบ (Shroud) สำหรับใบพัดที่จัดอยู่ในประเภทนี้จะมีแผ่นครีบริบบางส่วนยื่นออกมาจากงาน คือรัศมีของงานจะเล็กกว่ารัศมีของใบพัด ภาพรูปที่ z-6a

- **ใบพัดกึ่งเปิด (Semi - open Impeller)** เป็นแบบที่รัศมีของจานประกบเท่ากับรัศมีของใบพัด ใบพัดประเภทนี้มีจานประกบเพียงด้านเดียว อีกด้านหนึ่งของใบพัดจะไม่มีฝาปิด 4kr ภาพที่ 6 b

- **ใบพัดปิด (Closed Impeller)** (ภาพที่ z-6 c และ d) เป็นแบบที่ใบพัดปิดอยู่ด้วยจานประกบ 2 แผ่นในรูป 9c มีทางให้ของเหลวไหลเข้าหรือทางดูดเพียงด้านเดียว เรียกว่าเป็นแบบใบพัดปิดดูดด้านเดียว (Closed, single suction impeller) สำหรับภาพ 6d มีทางดูด 2 ด้านเรียกว่าเป็นแบบใบพัดปิดดูดสองด้าน (Closed, double suction impeller)

- **Paper-stock Impeller** (ภาพที่ z-6 e) เป็นใบพัดที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษให้ใช้กับของเหลวที่มีความข้นเหลว (Consistency) สูง เดิมทีเดียวใบพัดแบบนี้ออกแบบไว้ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ต่อมานำมาใช้กับของเหลวอื่นด้วยแต่ก็ยังเรียกชื่อเดิมอยู่

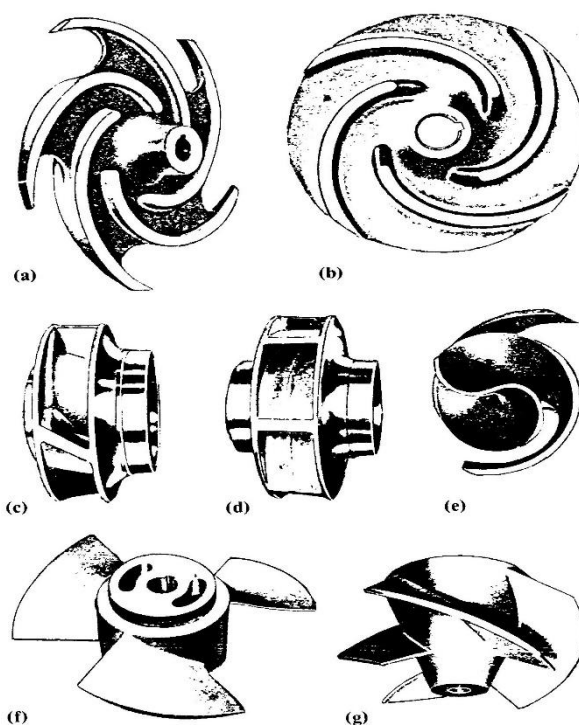
- **Propeller** (ภาพ ที่ z-6f) เป็นใบพัดที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยการผลักดันในทิศทางเดียวกันกับทิศทางไหลมาเข้าสู่ใบพัดเพียงอย่างเดียว ไม่มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง บั้มที่มีใบพัดประเภทนี้เรียกว่า Axial Flow Pump

- **Mixed Flow** (ภาพที่ z-6g) เป็นแบบที่ของเหลวไหลเข้าสู่ใบพัดในแนวขนานกับแกนของเพลลา แต่ตอนไหลออกจะทำมุม 45 องศา ถึง 80 องศา กับทิศทางเดิม กล่าวคือการขับเคลื่อนของเหลวมีทั้งแรงขับเคลื่อนในทิศทางเดียวกันกับการไหลเข้าสู่ใบพัดและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

- **Radial Flow** เป็นใบพัดแบบที่ของเหลวถูกดันออกไปโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพียงอย่างเดียว ทิศทางการไหลออกทำมุมฉากกับการไหลเข้า

2.2.2.2 ลักษณะและการทำงานของปั๊มแบบโรตารี

ปั๊มโรตารี เป็นแบบที่ทำงานโดยของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออกโดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกล ซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับด้านล่างที่หมุนหรือโรเตอร์ (Rotor) จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์จะก่อให้เกิดการแทนที่ที่เป็นจะเพิ่มปริมาตรของของเหลว (Positive Displacement) ให้ทางด้านจ่าย



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

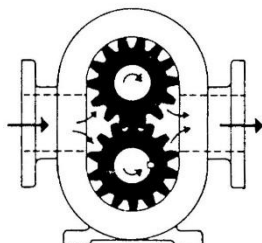
ภาพที่ 2-6 ลักษณะใบพัดของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล

อัตราการสูบของปั๊มแบบนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการแทนที่ของเหลวของโรเตอร์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต่ำกว่าแบบอื่น ประสิทธิภาพของการทำงานขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ช่องว่าง (Clearance) ระหว่างโรเตอร์ กับผนังของห้องสูบ ความแตกต่างของความดันระหว่างด้านสูบลบกับด้านจ่าย ความข้นหนืด (Viscosity) ของของเหลว และความเร็วของการหมุน เป็นต้น ปั๊มแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงได้ถึง 80–85% ถ้าใช้กับของเหลวที่มีความข้นหนืดสูง

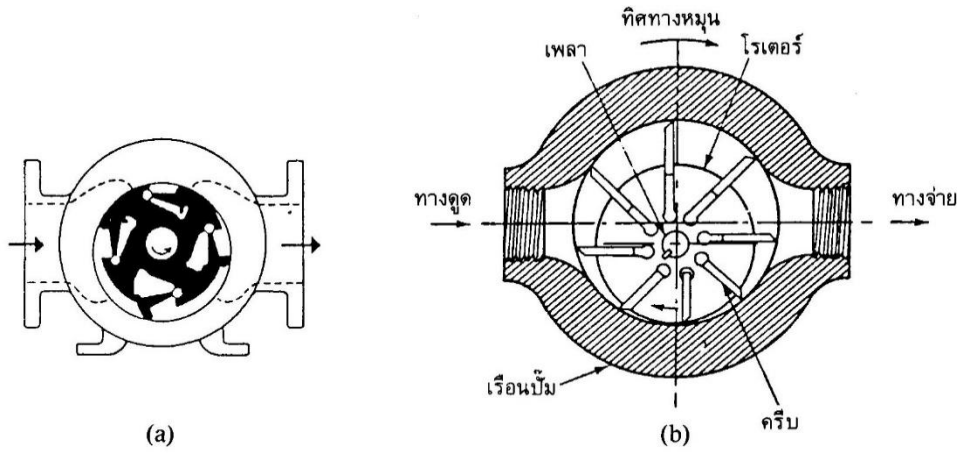
ผู้ผลิตได้ออกแบบปั๊มประเภทนี้ต่าง ๆ กันมากมายหลายแบบ ลักษณะการทำงานของทุกแบบคล้ายคลึงกัน จะผิดกันก็คือชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่หมุนเพื่อก่อให้เกิดการแทนที่ของเหลว การเรียกชื่อจึงเรียกตามลักษณะรูปร่างของส่วนนี้เป็นหลัก ตัวอย่างของปั๊มประเภทนี้ได้แก่

1) **ปั๊มโรตารีแบบเฟือง (Gear Pump-ภาพที่ 2-7)** เป็นแบบที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด ปั๊มแบบนี้ประกอบด้วยฟันเฟืองหรือเกียร์สองตัวหมุนขบกันในห้องสูบของเหลวจากทางดูดจะไหลเข้าไปอยู่ในร่องฟันซึ่งจะหมุนและพาของเหลวเข้าไปสู่ทางจ่าย ซึ่งของฟันเฟืองซึ่งอยู่ชิดกับผนังของห้องสูบป้องกันไม่ให้ของเหลวไหลย้อนมาสู่ทางดูดได้ เมื่อมาถึงทางจ่ายแล้วร่องฟันเฟืองซึ่งมีของเหลวบรรจุอยู่ก็จะถูกแทนที่ด้วยฟันจากเฟืองอีกตัวหนึ่งซึ่งขบกันสนิทจนของเหลวไม่สามารถไหลผ่านฟันเฟืองไปสู่ทางดูดได้

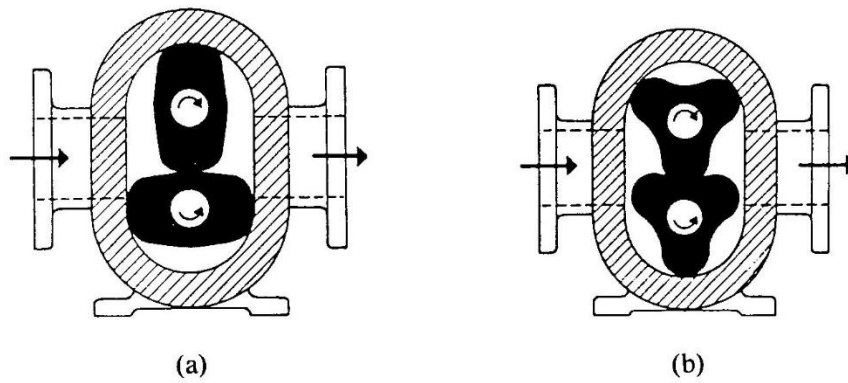
2) **ปั๊มโรตารีแบบครีป (Vane Pump-ภาพที่2-8)** ปั๊มแบบนี้มีห้องสูบเป็นรูปทรงกระบอกและมีโรเตอร์ซึ่งเป็นทรงกระบอกเหมือนกันวางเยื้องศูนย์กลางให้ผิวนอกของโรเตอร์สัมผัสกับผนังของห้องสูบที่กึ่งกลางทางดูดกับทางจ่ายรอบๆ โรเตอร์จะมีครีปซึ่งเลื่อนได้ในแนวเข้าออกจากจุดศูนย์กลางมาชนกับผนังห้องสูบเมื่อโรเตอร์หมุนครีปเห ถ้านี้ก็จะกวาดเอาของเหลวซึ่งอยู่ระหว่างโรเตอร์กับห้องสูบไปสู่ทางจ่าย **ปั๊มแบบนี้ได้เปรียบแบบเฟือง (Gear Pump) ตรงที่ว่า การสึกหรอของผนังห้องสูบหรือปลายครีปจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ** ภาพการทำงานมากเหมือนการสึกหรอของฟันเฟือง เพราะครีปสามารถเลื่อนออกมาชนกับผนังห้องสูบได้สนิท



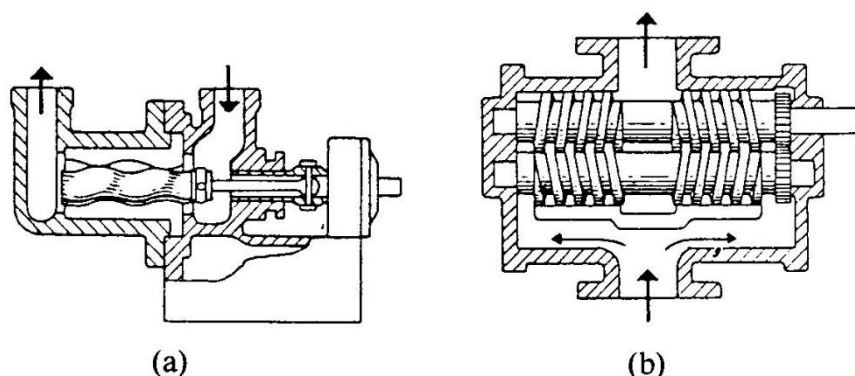
ภาพที่ 2-7 ปั๊มโรตารีแบบเฟือง (Gear Pump)



ภาพที่ 2-8 ปั้มโรตารีแบบคกริป(Vane)(a) Swing - Vane Pump และ (b) Slide - Vane Pump



ภาพที่ 2-9 ปั้มโรตารีแบบลอน (a) สองลอน (Two-Lobe) (b) สามลอน (Three-Lobe)



ภาพที่ 2-10 ปัมโรตารีแบบสว่าน(Screw Pump) (a) สว่านเดี่ยว (Single - Screw) (b) สองสว่าน (Two - Screw)

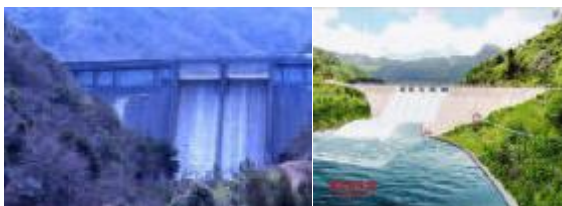
3) ปัมโรตารีแบบลอน (Lobe Pump รูปที่9) ปัมแบบนี้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับแบบเฟือง (Gear Pump) แต่โรเตอร์มีลักษณะแบบเป็นลอนหรือพูสองถึงสี่ลอน ช่องว่างระหว่างลอนมีลักษณะแบนและกว้างคั่นนั้นอัตราการสูบจึงสูงกว่าแบบแรก แต่เนื่องจากการถ่ายเทกำลังหมุนของโรเตอร์แบบนี้มีประสิทธิภาพต่ำมาก จึงจำเป็นต้องมีเฟืองนอกห้องสูบอีกชุดหนึ่งเพื่อช่วยให้จังหวะการหมุนของโรเตอร์ทั้งสองเข้ากันได้พอดี

4) ปัมโรตารีแบบสว่าน(Screw Pump รูปที่2-10) ปัมแบบนี้เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุนในลักษณะขั้วดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางจ่าย จำนวนสว่านหรือ โรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว (รศ.ดร.วิบูลย์ บุญยชรโรกุล . ปัมและระบบสูบน้ำ .[ออนไลน์] . เข้าถึงได้จาก :<http://202.129.59.73/tn/september54/Pump1.htm> . วันที่ค้นข้อมูล : วันที่ 26 กันยายน 2558 .)

2.3 พลังงานทดแทน

คือ พลังงานที่ใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นพลังงานหลักที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน พลังงานทดแทนแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- 1) พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป เช่น ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ หินน้ำมัน
- 2) พลังงานทดแทนที่สามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ พลังงาน ประเภทนี้ เป็นพลังงานที่ได้รับความสนใจในการศึกษาค้นคว้า และเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถช่วยแก้ไขปัญหามลพิษที่เกิดจากการใช้พลังงานในอนาคต และช่วยลดปัญหาด้านมลพิษ ที่เกิดจากการใช้พลังงานในปัจจุบัน



2.3.1 พลังงานน้ำ เราสามารถสร้างเขื่อนที่กักเก็บน้ำไว้ในที่สูง ปล่อยให้ น้ำไหลลงมาตามท่อเข้าสู่เครื่องกังหันน้ำ ผลักดันใบพัดให้กังหันน้ำหมุนเพลลาของเครื่องกังหันน้ำ ที่ต่อเข้ากับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะหมุนตาม เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ อาจผลิตจากเขื่อนขนาดใหญ่ เขื่อนขนาดกลาง หรือเขื่อนขนาดเล็ก เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับใช้ในชุมชนขนาดเล็ก ซึ่งปี 2547 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำในประเทศไทย มีกำลังผลิตติดตั้งรวม 2,973 เมกกะวัตต์



2.3.2 พลังงานแสงอาทิตย์ ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน และแสงสว่างที่ใหญ่ที่สุด ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตใกล้เส้นศูนย์สูตร หรือเส้นแบ่งครึ่งโลก จึงได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ยของประเทศประมาณ 4.7 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ต่อตารางเมตรต่อวัน

หากเราสามารถใช้เวลาพลังงานแสงอาทิตย์ ที่สอดส่องลงมาบนพื้นที่ของประเทศไทยเพียงหนึ่งในร้อยส่วนของพื้นที่ทั้งหมด เราจะได้รับพลังงานเทียบเท่าการใช้น้ำมันดิบประมาณ 7,000,000 ตันต่อปี การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทำได้สองลักษณะคือ

1. กระบวนการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบลงมาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ
2. กระบวนการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน โดยให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านแผ่นรับแสงมาตกกระทบยังพื้นสีดำ ทำให้เกิดความร้อนเพิ่มมากขึ้นเหนือบริเวณพื้น เราสามารถนำ

พลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในลักษณะต่าง ๆ อาทิ นำไปใช้ผลิตน้ำร้อน ถลันน้ำ อบแห้ง พืชผลทางการเกษตร



2.3.3 พลังงานชีวมวล ชีวมวลคือสิ่งที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น ต้นไม้ อ้อย ถ่าน ฟืน แกลบ วัชพืชต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งขยะและมูลสัตว์ การนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานนั้นสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ

1. กระบวนการที่ให้ความร้อน เช่น การนำถ่านไม้ หรือฟืน เพื่อให้เกิดความร้อนสำหรับนำไปใช้เพื่อประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ซึ่งได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีดังนี้ การพัฒนาและผลิตเตาที่ใช้กันอยู่ทั่วไปให้เป็นเตาประสิทธิภาพสูง (เตาซูเปอร์อั้งโล่) จุดไฟติดเร็ว ให้ความร้อนสูง มีควันน้อย ประหยัดเชื้อเพลิง และพัฒนาเตาประสิทธิภาพสูงสำหรับอุตสาหกรรมขนาด เล็ก เช่น เตาต้มเมี่ยง เตาต้มปอสา เตาเผาอิฐ ส่วนด้านเชื้อเพลิงนั้นได้คิดค้น และผลิตก้อนอัดชีวภาพ หรือเชื้อเพลิงแข็ง โดยนำพืชหรือวัชพืชมาสับแล้วอัดแท่งตากแดด และอบให้แห้ง ก้อนอัดชีวมวลที่ได้จะจุดติดไฟง่าย ให้ความร้อนสูง

นอกจากนี้ ยังได้นำผลผลิต หรือผลพล ลอยได้ของพืชจำพวกแป้งและน้ำตาล เช่น ข้าว ข้าวโพด อ้อย กากน้ำตาล มาผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ รวมทั้งนำมันสำปะหลังมาเผาโดยควบคุมความร้อน เพื่อให้ได้แก๊สชีวมวล เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป

2. กระบวนการทางชีวภาพ เป็นการนำมูลสัตว์ขยะน้ำเสียมาหมักในที่ที่ไม่มีอากาศ ปล่อยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งจะ ได้แก๊สชีวภาพสำหรับเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้กับ เตาหุงต้ม ตะเกียง เครื่องยนต์ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



2.3.4 พลังงานลม ลมเป็นพลังงานที่มีอยู่ทั่วไปไม่มีวันหมด กระแสลมโดยเฉลี่ยของประเทศไทยอยู่ในระดับกลางถึงต่ำ ซึ่งมีความเร็วของกระแสลมต่ำกว่า 4 เมตรต่อวินาที เราได้นำพลังงานจากกระแสลมมาใช้ในการหมุนกังหันลมสูบน้ำ ซึ่งมีอยู่ทั่วประเทศไทยประมาณ 5,800 ชุด มีการศึกษาและพัฒนาการนำกังหันลมมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต ได้นำกังหันลมมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าร่วมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์



2.3.5 พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานธรรมชาติเกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกเกิดแนวรอยเลื่อนแตก ทำให้น้ำบางส่วนจะไหลซึมลงไปได้ทั่วโลก ไปสะสมตัวและรับความร้อนจากชั้นหินที่มีความร้อนสูง กลายเป็นน้ำร้อนและไอน้ำที่พยายามแทรกตัวตามรอยเลื่อนแตกของชั้นมาบนผิวดิน อาจจะเป็นในลักษณะของน้ำพุร้อน ไอน้ำร้อน โคลนเดือด และแก๊ส น้ำร้อนจากใต้พื้นดินสามารถนำมาถ่ายเทความร้อนให้กับของเหลว หรือสารที่มีจุดเดือดต่ำง่ายต่อการเดือดและการเป็นไอน้ำ แล้วนำไอร้อนที่ได้ไปหมุนกังหัน เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

นอกจากนี้ น้ำพุร้อนที่นำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว เมื่อมีอุณหภูมิต่ำ ลงเหลือประมาณ 80 องศาเซลเซียส สามารถนำมาใช้เป็นการอบแห้งพืชผลทางการเกษตร เป็นพลังงานสำหรับห้องเย็น และเครื่องปรับอากาศได้ด้วย

2.3.6 แนวโน้มพลังงานทดแทนในอนาคต ปัจจุบันได้มีความพยายามศึกษา ค้นคว้า วิจัย และพัฒนาพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สะดวก และมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน และช่วยลดค่าใช้จ่าย โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งในท้องถิ่น และภายในประเทศ สามารถผลิตและใช้พลังงานอย่างยั่งยืน ซึ่งจะเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยลดการทำลายทรัพยากรที่กำลังเกิดขึ้นอย่างมากมาย และรุนแรงในปัจจุบัน ช่วยรักษาสมดุลย์ของธรรมชาติ อันเป็นภัยคุกคามอย่างร้ายแรงต่อโลก และมนุษยชาติ เชื่อว่าพลังงานทดแทนจะเป็นหนทางหนึ่งของการแก้ไขวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อมของ

โลกได้ (พลังงานทดแทน . [ออนไลน์] .เข้าถึงได้จาก : <http://www.ku.ac.th/emagazine/jun51/know/know3.htm>. วันที่ค้นข้อมูล : วันที่ 26 กันยายน 2558.)

2.4 หลักการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ

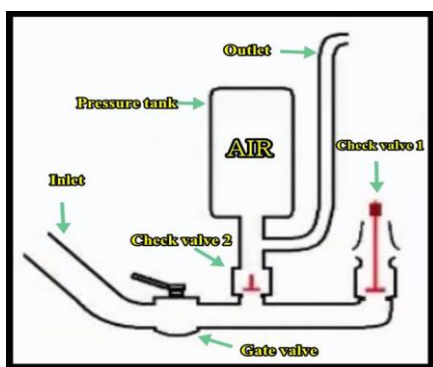
2.4.1 หลักการ

คือ ปรากฏการณ์ water hammer และการประยุกต์ ด้วยพลังงานน้ำ โดย เมื่อน้ำที่มีความเร็วเข้าท่อขาเข้าน้ำจะถูกปิดกั้นด้วยวาล์ว การปิดกั้นนี้ทำให้เกิดแรงกระแทกทำให้อัดน้ำขึ้นทางด้านบน แบ่งเป็น 3 ช่วง

1) ช่วงเร่งความเร็วน้ำเข้า โดยวาล์วน้ำที่งจะเปิดอยู่ด้วยน้ำหนักที่กด ทำให้น้ำจากท่อเข้าไหล เข้าตัวเรือนปั๊ม และออกที่วาล์วน้ำที่ง ความเร็วของน้ำก็จะค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วถึงจุดหนึ่ง (Vm) กระแสน้ำจะสามารถ พยุงวาล์วน้ำที่งเอาชนะน้ำหนักที่กดวาล์วได้ ทำให้อัดน้ำที่งปิดทันที

2) ช่วงส่งน้ำ เมื่อน้ำถูกทำให้หยุด ะทันหัน ทำให้เกิดความดันสูงในเรือนปั๊ม ความดันนี้สามารถชนะความดันในห้องความดันได้ ทำให้น้ำสามารถไหลผ่านวาล์วความดันทางเดียว เข้าไปยังส่วนที่ส่งน้ำออก ความดันในตัวเรือนปั๊มจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆ จนไม่สามารถชนะความดันในห้องความดันได้ ทำให้อัดน้ำที่งปิดอีกครั้ง

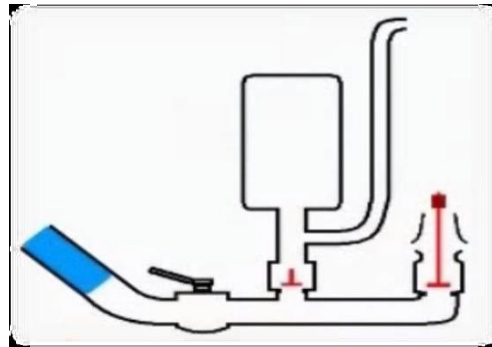
3) การไหลย้อน น้ำจะไหลย้อนกลับมาทางท่อเข้า ทำความดันในปั๊มลดลงจนต่ำกว่าความดันบรรยากาศ อากาศบางส่วนไหลเข้ามาทาง วาล์วเติมอากาศเพื่อรอการบรรจุไปในห้องความดันในรอบการทำงานหน้า (การเติมอากาศเล็กน้อยเข้าไปในห้องความดัน ทำให้เราแน่ใจว่าอากาศจะไม่หมดไปกับน้ำที่อาจพาไปกับที่ อัดน้ำ) ความดันที่ลดลงทำให้อัดน้ำที่งเปิดอีกครั้ง (ด้วยน้ำหนักที่กด) เป็นอันครบรอบการทำงาน โครงสร้างและอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องตะบันน้ำ



ภาพที่ 2-11 โครงสร้างและอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องตะบันน้ำ

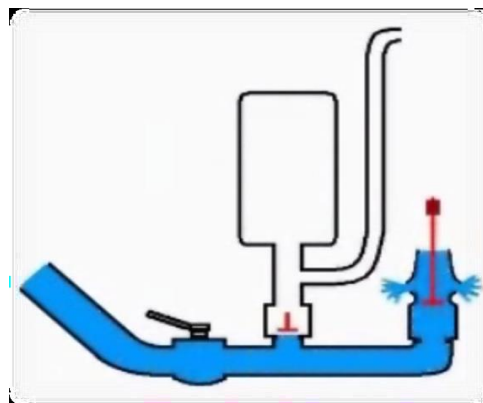
2.4.2 หลักการการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ

(1) การทำงานของเครื่องตะบันน้ำเริ่มต้นโดยการส่งน้ำเข้าทางท่อขาเข้า (Inlet)



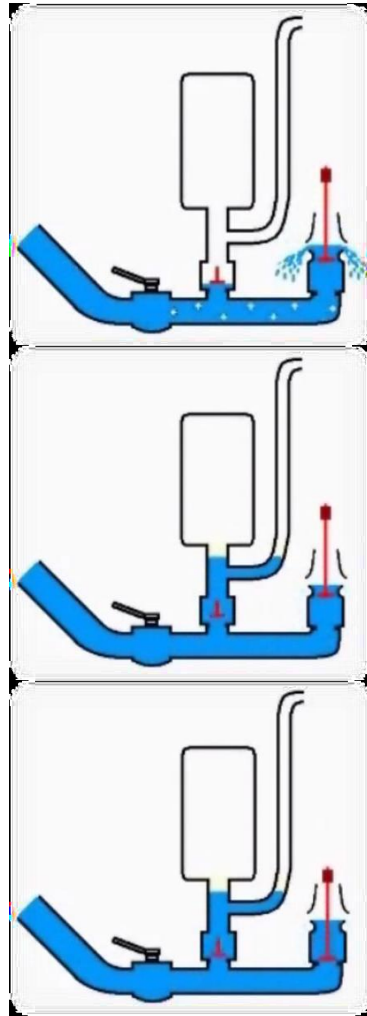
ภาพที่ 2- 12 การทำงานของเครื่องตะบันน้ำ

(2) น้ำเคลื่อนที่ไปตามท่อผ่าน Gate valve ไปยัง Check valve1 แรงดันของน้ำจะดันลิ้นของ Check valve 1 เลื่อนขึ้นไปจนปิดทางออกของน้ำ



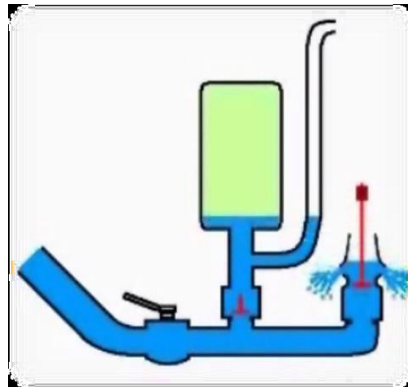
ภาพที่ 2-13 การทำงานของเครื่องตะบันน้ำ

(3) เมื่อทางออกของน้ำถูกปิด (Check valve 1) น้ำไม่สามารถไปไหนได้จึงต้องไหลผ่าน Check valve2 โดยดันลิ้นของ Check valve2 ให้เลื่อนขึ้นเพื่อเปิดเส้นทางการไหลของน้ำ และลิ้นเปิดปิดของ Check valve ทั้ง 2 ตัวจะเลื่อนลงมาปิดเส้นทางเข้าออกของน้ำ โดยน้ำหนักของตัวมันเอง



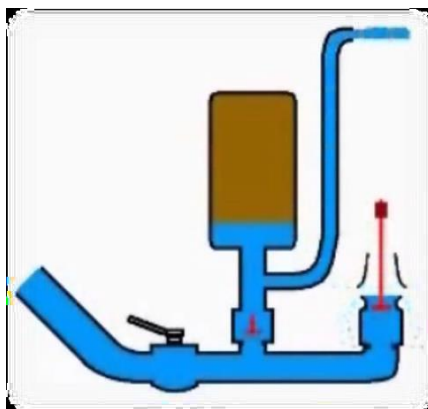
ภาพที่ 2-14 การทำงานของเครื่องตะบันน้ำ

(4) การทำงานของเครื่องตะบันน้ำ จะวนรอบไปมาเรื่อยๆตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 และปริมาณน้ำจะสะสมในถังอัดความดัน (Pressure tank) มากขึ้นเรื่อยๆ



ภาพที่ 2-15 การทำงานของเครื่องตะบันน้ำ

(5) เมื่อน้ำสะสมในถังอัดความดันมีปริมาณมากถึงจุดๆหนึ่งอากาศภายในถังจะเกิดการอัดตัวและดันกลับลงมาข้างล่างแต่เนื่องจากลิ้นเปิดปิดของ Check valve 2 ได้ปิดทางออกของน้ำไว้แล้วน้ำจึงเหลือทางออกเพียงทางเดียวคือ ท่อส่งน้ำขึ้นสู่ที่สูง (การทำงานจะวนรอบไปมาเรื่อยๆตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 5)



ภาพที่ 2-16 การทำงานของเครื่องตะบันน้ำ

2.5 เครื่องสูบน้ำไฮดรอลิกแรมปั๊ม (Hydraulic Ram)

หลักการทำงานของไฮดรอลิกแรมปั๊ม เป็นปั๊มน้ำที่ไม่ใช้พลังงานจากไฟฟ้าขับเคลื่อนให้ทำงานแต่จะอาศัยหลักการกระแทกของน้ำในท่อซึ่งถูกทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลอย่าง

กะทันหัน ทำให้ความดันในตัวปั๊มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาสั้นๆ หลักการดังกล่าวเรียกว่า หลักการวอเตอร์แฮมเมอร์

การสร้างปั๊มน้ำแบบไฮดรอลิกแรมต้องคำนึงถึงหลักการการออกแบบ และการอาศัยทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำปั๊มน้ำแบบไฮดรอลิกแรม ดังนี้

2.5.1 ทฤษฎีของไฮดรอลิกแรม

2.5.2 คุณสมบัติของของไหล

2.5.3 การไหลในท่อปิด

2.5.4 การเสียดทานความฝืด

2.5.5 การเสียดทานเนื่องจากอุปสรรคในระบบท่อ

2.5.1 ทฤษฎีของไฮดรอลิกแรม

ประสิทธิภาพตลอดจนความสามารถในการสูบน้ำของไฮดรอลิกแรมสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

คำนวณหาประสิทธิภาพ

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

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

เมื่อ	q	=	ปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ (ลิตร/วินาที)
	Q	=	ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากการผลัดดัน (ลิตร/วินาที)
	h	=	ความสูงของหัวน้ำที่ส่งเข้าเครื่อง (เมตร)
	H	=	ความสูงของหัวน้ำที่ส่งขึ้นไปใช้งาน (เมตร)

คำนวณหาปริมาณน้ำ

สมมติให้ v_0 คือ ความเร็วไหลผ่านของน้ำในเส้นท่อแล้วไหลผ่านลิ้นทึ่งน้ำก่อนที่จะปิดที่

Supply head (h) หาได้จากสมการ

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

เมื่อ	v_0	=	ความเร็วไหลผ่านของน้ำในเส้นท่อ (เมตรต่อวินาที)
	g	=	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตรต่อวินาที ²)
	h	=	ความสูงของหัวจ่ายน้ำ (Supply head) (เมตร)
	L	=	ความยาวของท่อส่งน้ำ (Drive pipe) (เมตร)
	D	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อส่งน้ำ (เมตร)
สมมติให้	v_m	คือ	ความเร็วไหลผ่านของน้ำสูงสุดที่ไหลในเส้นท่อ (Drive Pipe) ที่

Supply Head (h) หาได้จากสมการ

$$v_m = \frac{A_w}{A_d} \times V_0 \quad (2.4)$$

เมื่อ	v_m	=	ความเร็วไหลผ่านของน้ำสูงสุดที่ไหลในเส้นท่อ (เมตรต่อวินาที)
	A_w	=	พื้นที่หน้าตัดของลึ้นที่น้ำขณะเปิด (ตารางเซนติเมตร)
	A_d	=	พื้นที่หน้าตัดของท่อส่งน้ำ (Drive Pipe) (ตารางเซนติเมตร)
สมมติให้	t_1	=	เป็นระยะเวลาที่ทำให้เกิดความเร็วไหลผ่านของน้ำสูงสุด (v_m)

หาได้จาก

$$\text{สมการ} \quad t_1 = \frac{L v_m}{g h} \quad (2.5)$$

เมื่อ	t_1	=	ระยะเวลาที่ทำให้เกิด v_m (วินาที)
	L	=	ความยาวของท่อส่งน้ำ (Drive pipe) (เมตร)
	g	=	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตรต่อวินาที ²)
	h	=	ความสูงของหัวจ่ายน้ำ (Supply head) (เมตร)
สมมติให้	t_2	=	ระยะเวลาที่ลึ้นจ่ายน้ำยังเปิดอยู่ (วินาที)
	L	=	ความยาวของท่อส่งน้ำ (Drive pipe) (เมตร)
	g	=	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตรต่อวินาที ²)
	H	=	ความสูงของหัวน้ำที่สูบขึ้นไปใช้งาน (เมตร)
t_1+t_2	คือ	ระยะเวลาที่ไฮดรอลิกแรมทำงานครบจังหวะ คือ	ลึ้นที่น้ำ (Waste valve) ปิดแล้วลึ้นจ่ายน้ำ (Delivery valve) เปิด

จำนวนครั้งที่ไฮดรอลิกแรม ทำงานในหนึ่งนาที หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{Number of Beat per minute} &= \frac{60}{t_1+t_2} \\ \text{หรือ จังหวะการกระแทกต่อนาที} &= \frac{60}{t_1+t_2} \quad (2.6) \end{aligned}$$

สมมติให้ Q_w คือ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านลิ้นทึ่งน้ำ หาได้จากสมการ

$$Q_w = 0.785(d^2) \times \left(\frac{v_m}{2}\right) \times t_1 \times \left(\frac{60}{t_1+t_2}\right) \quad (2.7)$$

เมื่อ Q_w = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านลิ้นทึ่ง (เมตร³ต่อวินาที)
 d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อส่งน้ำ (เมตร)
 v_m = ความเร็วไหลผ่านของน้ำสูงสุดที่ไหลในเส้นท่อ (เมตร/วินาที)
 t_1 = ระยะเวลาที่ทำให้เกิด v_m (วินาที)
 t_2 = ระยะเวลาที่ลิ้นจ่ายน้ำยังเปิดอยู่ (วินาที)

สมมติให้ q คือ ปริมาณน้ำที่สูบได้ส่งไปใช้งานบนที่สูง หาได้จากสมการ

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

เมื่อ q = ปริมาณน้ำที่สูบได้ส่งไปใช้งานบนที่สูง (เมตร³ต่อวินาที)
 d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อส่งน้ำ (เมตร)
 v_m = ความเร็วไหลผ่านของน้ำสูงสุดที่ไหลในเส้นท่อ (เมตร/วินาที)
 t_1 = ระยะเวลาที่ทำให้เกิด v_m (วินาที)
 t_2 = ระยะเวลาที่ลิ้นจ่ายน้ำยังเปิดอยู่ (วินาที)

2.5.2 คุณสมบัติของของไหล

คุณสมบัติเบื้องต้นของของไหลที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับปั๊มมีหลายอย่างด้วยกัน คือ

- 2.5.2.1 ความหนาแน่น (Density, ρ) คือ อัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เช่น ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 4 °c เป็นต้น
- 2.5.2.2 น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, γ) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ค่าน้ำหนักจำเพาะขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลกและความหนาแน่น

$$\text{โดยสมการ } \gamma = \rho g \quad (2.9)$$

เมื่อ g = ความเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก

น้ำหนักจำเพาะของน้ำ = 9,810 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (N/m³)

2.5.2.3 ความถ่วงจำเพาะ หรือ ถ.พ. (Specific gravity) คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักจำเพาะ (หรือความหนาแน่น) ของวัสดุหรือน้ำหนักจำเพาะ (หรือความหนาแน่น) ของน้ำที่อุณหภูมิมาตรฐาน โดยปกติใช้ 4 °C หรือ 39.24 °F ซึ่งความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1.0

2.5.2.4 ความข้นเหนียว (Viscosity) เป็นคุณสมบัติของไหลที่เนื่องมาจากการเกาะกันระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน (Cohesive) แล้วก่อให้เกิดความต้านทานต่อการไหลขึ้น คุณสมบัติข้อนี้จะมีผลหรือเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการไหลเท่านั้น ความข้นเหนียวของของไหลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ความข้นเหนียวที่ใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ Dynamic viscosity (μ) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อเมตรวินาที (kg/m-s) และ Kinematic viscosity (ν) มีหน่วยเป็นตารางเมตรต่อวินาที (m²/s) ซึ่งเท่ากับ Dynamic viscosity หารด้วยความหนาแน่น

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.10)$$

2.5.2.5 ความดันไอ (Vapor pressure) ความดันไอของของเหลวก็คือ โมเลกุลที่เกิดจากโมเลกุลในรูปอิ่มตัว (Saturated vapor) เหนือผิวหน้าของของเหลวที่อุณหภูมิที่กำหนดให้ เมื่อความดันไอของของเหลวเท่ากับความกดดันของบรรยากาศหรือความกดดันที่อยู่รอบๆ ของเหลวนั้นก็เดือด เช่น ความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 100°C และที่ระดับน้ำทะเลจะเท่ากับความกดดันของบรรยากาศ เป็นต้น อาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า ความดันไอที่อุณหภูมิหนึ่งก็คือความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) ซึ่งจะทำให้ของเหลวเดือดที่อุณหภูมินั้น ความดันไอจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

คุณสมบัติของของเหลวข้อนี้มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของปั๊มทางด้านดูด (Suction Side) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าของเหลวที่ต้องการสูบมีอุณหภูมิสูงหรือเป็นของเหลวที่ระเหยได้ง่าย ทั้งนี้เพราะว่าถ้าความดันของของเหลวในปั๊มส่วนนี้ลดลงจนถึงความดันไอแล้วจะทำให้ของเหลวเดือดกลายเป็นไอ และจะเป็นผลทำให้อัตราการสูบของปั๊มลดลงหรือไม่มีของเหลวไหลเข้าสู่ปั๊มเลย ดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าความดันภายในเรือนปั๊ม (Casing) สูงกว่าความดันไอของของเหลวอยู่ตลอดเวลา

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ		ความหนาแน่น		Viscosity (μ)		Kinematic viscosity (v)	
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	gm / cm^3	$\text{Slugs} / \text{ft}^3$	(10^{-3}) $\text{Kg} / \text{m-sec}$	(10^{-5}) $\text{lb}_r\text{-sec} / \text{ft}^2$	(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

2.5.3 การไหลในท่อปิด

(วิบูลย์, 2529) ในงานที่มีการใช้ปั๊มขนส่งของเหลวจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ท่อเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันมากที่สุดจนอาจจะกล่าวได้ว่าท่อเป็นส่วนหนึ่งของปั๊ม การไหลของของเหลวในท่อเมื่อรวมใช้กับปั๊มนี้ส่วนมากจะเป็นการไหลแบบเต็มท่อซึ่งมีกดเกณฑ์ในการคำนวณแตกต่างกันไปจากการไหลในทางน้ำเปิด ลักษณะการไหลในท่ออาจจะจำแนกออกได้โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลเมื่อเทียบกับเวลา สถานที่ และแรงเฉื่อย (Forces of viscosity) ได้กล่าวการไหลในท่อปิดดังต่อไปนี้

เมื่อความเร็วของการไหลที่จุดใดจุดหนึ่งไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การไหลนั้นเรียกว่า Steady Flow ถ้าเปลี่ยนไปตามเวลาเรียกว่า Unsteady Flow

ถ้าความเร็วของการไหลในขณะใดขณะหนึ่ง ไม่เปลี่ยนขนาดและทิศทางตลอดระยะทางของเส้นสายน้ำ (Streamline) การไหลนั้นเรียกว่าเป็น Uniform Flow ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็จะเป็นการไหลแบบ Non-uniform flow

สำหรับการเปรียบเทียบแรงเฉื่อยกับแรงหนืดนั้นก็เพื่อจะดูว่ามวลของของเหลวที่ไหลอยู่ในท่อนั้นมีการไหลวนและกระแทกกระทั้นกันมากน้อยอย่างไร ถ้าหากแรงหนืดมีค่าสูงเมื่อเทียบกับแรงเฉื่อย การไหลของของเหลวจะมีลักษณะคล้ายกับแผ่นขนานกันไป การไหลในลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่าเป็นการไหลแบบ Laminar flow แต่ถ้าหากแรงหนืดมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับแรงเฉื่อย การไหลก็จะปั่นป่วน มวลของของเหลวจะมีการไหลวนการไหลในลักษณะนี้เรียกว่าเป็นการไหลแบบ Turbulent flow

การที่จะบอกว่าการไหลในท่อใดๆ เป็น Laminar flow หรือ Turbulent flow ก็จะสามารถพิจารณาจาก Reynolds Number (R_e) คือ

$$R_e = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad (2.11)$$

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

2.5.4 การเสียดความฝืด

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

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.12)$$

เมื่อ h_f = การเสียดเนื่องจากความฝืด บอกเป็นความสูงของของเหลว

f = สัมประสิทธิ์ของความฝืด

L = ความยาวของท่อ

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ

v = ความเร็วของการไหลในท่อ

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

ค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด f ขึ้นอยู่กับทั้งคุณสมบัติของท่อและลักษณะการไหลว่าเป็นแบบ Lamina หรือ Turbulent ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวอาจหาได้จากสูตร

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Lamina flow, } Re \leq 2,000) \quad (2.13)$$

เมื่อ Reynolds Number มีค่ามากกว่าประมาณ 3,000 การไหลจะเป็นแบบ Turbulent เสมอ ไม่ว่าผนังท่อจะเรียบสม่ำเสมอเท่าใดก็ตาม ในกรณีนี้สัมประสิทธิ์ของความฝืดจะขึ้นอยู่กับ Re และอัตราส่วนระหว่างความขรุขระของผนังท่อต่อความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน $\left(\frac{\epsilon}{D}\right)$

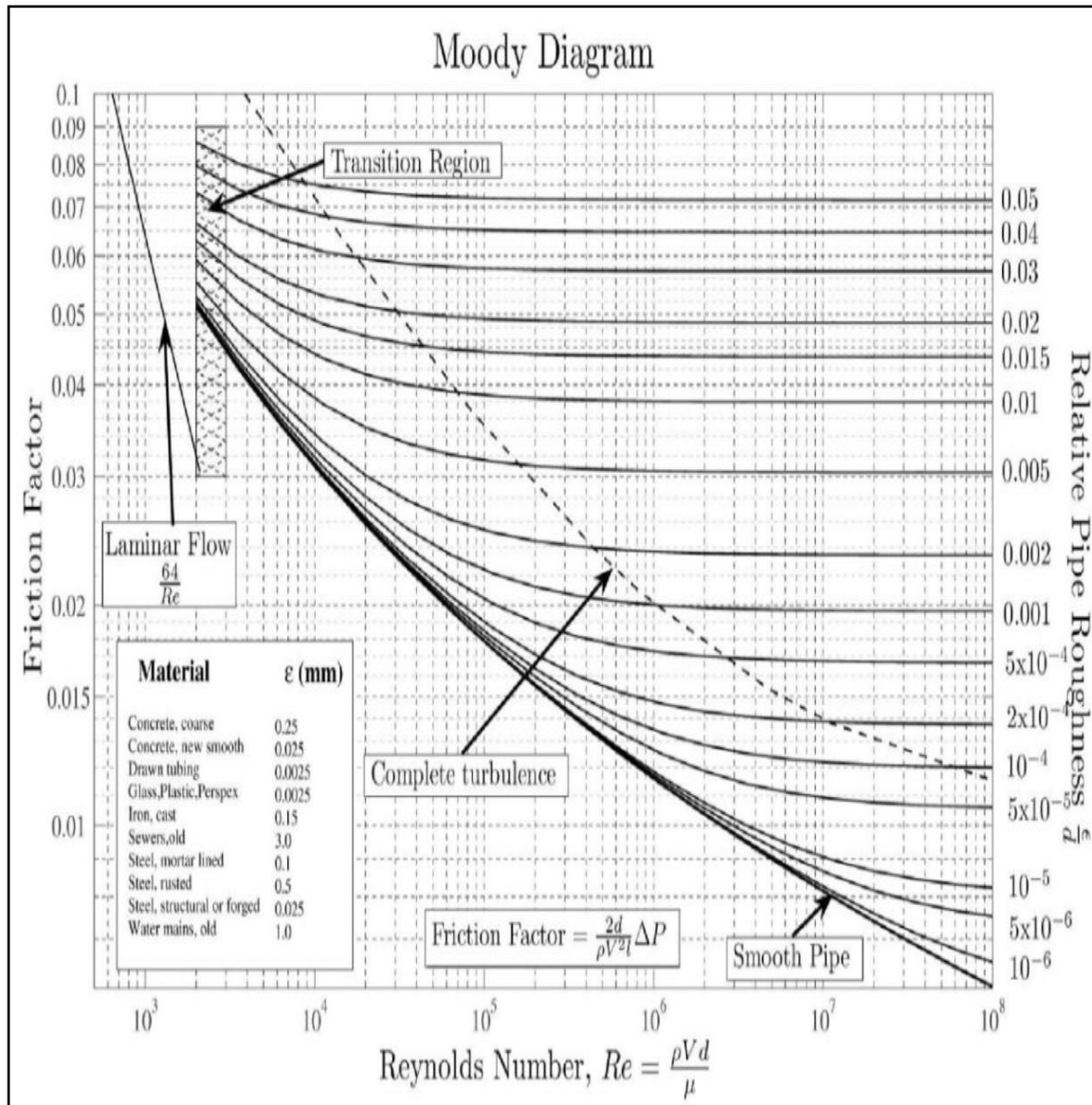
ค่าความขรุขระของผนังท่อใหม่ซึ่งจำเป็นต้องใช้ร่วมกับ Moody diagram

เมื่อท่อมีอายุการใช้งานมากขึ้นผนังท่ออาจจะผุกร่อนหรือมีสนิมทำให้ความขรุขระมากขึ้น สำหรับท่อน้ำที่ทำด้วยเหล็ก ความขรุขระเมื่อมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นอาจประมาณได้จาก

$$\epsilon = \epsilon_0 + t\alpha \quad (2.14)$$

เมื่อ

ϵ = เป็นความขรุขระเมื่อท่อมีอายุใช้งาน เป็



ภาพที่ 2-17 Moody diagram สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียด

ตารางที่ 2-2 รายละเอียด ชื่อขนาด และมิติ ท่อโพลีไวนิลคลอไรด์แข็ง (PVC) “ท่อน้ำไทย” ท่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้เป็นท่อน้ำดื่ม แบบท่อปลายธรรมดาผลิตตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 17-2532 มีสีฟ้า สำหรับใช้เป็นท่อน้ำดื่ม ท่อรับความดัน ท่อระบายน้ำทิ้ง และสิ่งปฏิกูล ฯลฯ

ชื่อขนาด Nominal Size	เส้นผ่าศูนย์กลาง ภายนอก (OD)	ความหนา (Thickness)		
		PVC 5	PVC 8.5	PVC 13.5
18 (1/2")	22 ± 0.15	-	2.0 ± 0.20	2.5 ± 0.20
20 (3/4")	26 ± 0.15	-	2.0 ± 0.20	2.5 ± 0.20
25 (1")	34 ± 0.15	-	2.0 ± 0.20	3.0 ± 0.25
35 (1 1/4")	42 ± 0.15	1.5 ± 0.15	2.0 ± 0.20	3.1 ± 0.25
40 (1 1/2")	48 ± 0.15	1.5 ± 0.15	2.3 ± 0.20	3.5 ± 0.25
55 (2")	60 ± 0.15	1.8 ± 0.20	2.9 ± 0.25	4.3 ± 0.30
65 (2 1/2")	76 ± 0.20	2.2 ± 0.20	3.5 ± 0.25	5.4 ± 0.35
80 (3")	89 ± 0.20	2.5 ± 0.20	4.1 ± 0.30	6.4 ± 0.40
100(4")	114 ± 0.30	3.2 ± 0.25	5.2 ± 0.35	8.1 ± 0.50
125(5")	140 ± 0.30	3.9 ± 0.30	6.4 ± 0.40	9.9 ± 0.55
150(6")	165 ± 0.40	4.6 ± 0.30	7.5 ± 0.45	11.7 ± 0.65
200(8")	216 ± 0.50	5.4 ± 0.35	8.8 ± 0.50	13.7 ± 0.75
250(10")	267 ± 0.70	6.6 ± 0.40	10.9 ± 0.60	16.9 ± 0.90
300(12")	318 ± 0.80	7.8 ± 0.45	12.9 ± 0.70	20.1 ± 1.05
350(14")	370 ± 0.90	9.1 ± 0.55	15.0 ± 0.80	23.4 ± 1.20
400(16")	420 ± 1.10	10.3 ± 0.60	17.0 ± 0.90	26.5 ± 1.35
450(18")	470 ± 1.20	11.5 ± 0.65	19.0 ± 1.00	29.7 ± 1.50
500(20")	520 ± 1.30	12.7 ± 0.70	21.0 ± 1.10	32.8 ± 1.65
600(24")	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 ความดันสูงสุดที่กำหนดให้ใช้งานได้ติดต่อกันเป็นเวลานานที่อุณหภูมิ 27 °C มีหน่วยเป็นกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (kgf / cm²)

ตารางที่ 2-3 ความขรุขระของผนังท่อ

ชนิดท่อ	ϵ (mm)
เหล็กย้ำหมุด (riveted steel)	0.9-9
คอนกรีต (concrete)	0.3-3
ไม้ประกบ (wood stave)	0.18-0.9
เหล็กหล่อ (cast iron)	0.25
เหล็กอาบสังกะสี (galvanized iron)	0.15
เหล็กหล่ออาบยางมะตอย (asphalted cast iron)	0.12
เหล็กตลาดหรือเหล็กเหนียว (commercial steel or wrought iron)	0.046
ท่อเรียบ (drawn tubing)	0.0015
ท่อพีวีซี (PVC : Polyvinyl – Chloride)	0.0015

2.5.5 การเสียดเนื่องจากอุปสรรคในระบบท่อ

ในกรณีที่ท่อยาวมากการสูญเสียรองอาจมีค่าน้อยมาก แต่ถ้าท่อสั้นการสูญเสียรองอาจมีค่ามากกว่าการสูญเสียหลัก

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากอุปสรรคในระบบท่อ เช่น ข้องอ ปลายท่อ ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียส่วนน้อย (Minor Loss) อาจคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$h_L = K \frac{v^2}{2g} \quad (2.15)$$

เมื่อ h_L = การเสียดเนื่องจากอุปสรรคในระบบท่อ

K = สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปสรรค

v = ความเร็วของการไหล

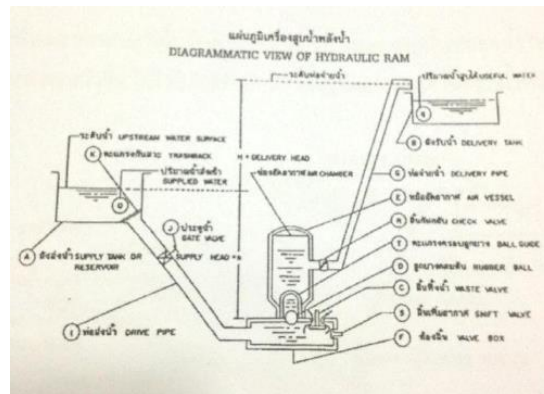
g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

ตารางที่ 2-4 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

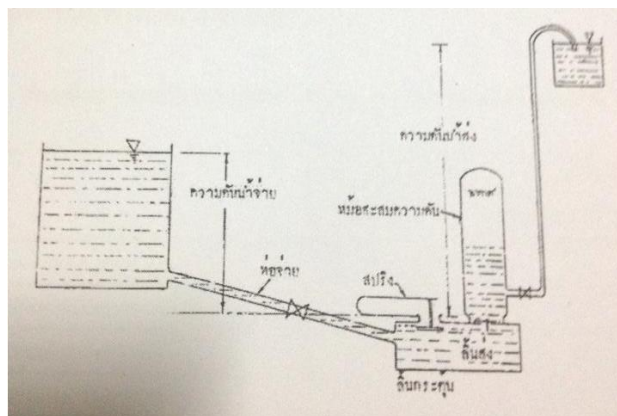
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรประเสริฐ ธีรประเสริฐ กล่าวว่า การพัฒนาตะบันน้ำในประเทศไทยจะเริ่มที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือตั้งแต่ปีพ .ศ.2508 ต่อมาโครงการพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว(2542) ได้มอบหมายให้กรมชลประทานออกแบบและสร้างไฮดรอลิกแรมไว้ทั้งหมด 5 แบบจะใช้ความสูงของน้ำที่ส่งเข้าเครื่อง 1.00 – 10.00 เมตรและสามารถยกน้ำสูงได้อีก 100 เมตร โดยการใช้อัตราส่วนความสามารถในการยกน้ำ 1:10-15 นั่นคือถ้ามีความสูงของน้ำที่จะส่งเข้าเครื่อง 1.00 เมตรย่อมสามารถยกน้ำได้สูง 10.00 เมตรส่วนอัตราการสูบน้ำได้กับอัตราการสูญเสียจะเป็น 1:10 ถึง 1:15 ซึ่งมีรูปแบบของไฮดรอลิกแรมดังรูป



ภาพที่ 2-18 โครงสร้างของเครื่องสูบน้ำพลังน้ำ

ยงยุทธปรีชม ได้ทำการทดลองไฮดรอลิกแรมที่ความดันในถังจ่าย 1 เมตรและ 2 เมตรและ ความดันส่งระหว่าง 4.5-10.7 เมตรแสดงให้เห็นว่าไฮดรอลิกแรม มีประสิทธิภาพ 55-68 เปอร์เซ็นต์ไฮดรอลิกแรมที่สร้างขึ้นสามารถสูบน้ำได้ 16.4 ลิตรต่อวินาทีที่ความดันน้ำในถังจ่าย เท่ากับ 2 เมตรและความดันส่งเท่ากับ 4.5 เมตรซึ่งมีรูปแบบของไฮดรอลิกดังภาพ



ภาพที่ 2-19 โครงสร้างของเครื่องตะบันน้ำ

บัญญัติ นิยมวาส และ บรรเจิด โปฏกรัตน์ได้ศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องตะบัน น้ำและสร้างเครื่องตะบันน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเครื่องตะบันน้ำทำจากท่อ PVC ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางขนาด 0.0508 เมตรของทางเข้าเฮดน้ำทางเข้า 2.5 เมตรอัตราการไหลของน้ำทางเข้า 8.38×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อก่อนเข้าถังลม 0.0254 ถึงลมขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลาง 0.1016 และสูง 1 เมตรอัตราไหลของน้ำทางออก 1.1×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความยาวสปริงของวาล์วน้ำ ทั้ง 0.155 เมตรและระยะกดสปริง 0.035 เมตรได้ค่าประสิทธิภาพ 78.76% [2.4.3]

Phyo Min Than ได้ศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ โดยมีค่าเสคน้ำทางเข้า 1.524 เมตรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำทางเข้า 0.0762 เมตรถึงลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1524 เมตรและสูง 0.4572 เมตรเสคน้ำทางออก 9.144 เมตรจากการทดลองพบว่าอัตราการไหลของน้ำทางเข้า 1.24×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีและอัตราการไหลของน้ำทางออก 1.05×10^{-5} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีคิดเป็นค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 60%

ShuaibuNdacheMOHAMMED ได้ศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ โดยมีค่าเสคน้ำทางเข้า 1.5 เมตรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำทางเข้า 0.025 เมตรเสคน้ำทางออก 2.87 เมตรอัตราการไหลของน้ำทางออก 3.83×10^{-5} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีคิดเป็นค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 57.3% (นายปรเมศวร์เอนหอยองและคณะ .การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องตะบันน้ำ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่นพ.ศ. 2556.)

วัชร วงศ์ปัญญา และคณะ (บทคัดย่อ).เครื่องตะบันน้ำเป็นเครื่องสูบน้ำจากที่ต่ำขึ้นไปยังที่สูงโดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงในการสูบน้ำมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนสามารถประดิษฐ์ได้ด้วยตัวเองชิ้นส่วนอุปกรณ์มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปการทดลองเครื่องตะบันน้ำขนาด $1\frac{1}{2}$ " ทำให้ทราบปริมาณที่สามารถสูบน้ำได้ในระดับความสูง 4, 5 และ 6 เมตรเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่ต้องการนำเครื่องตะบันน้ำไปใช้ได้ นำข้อมูลไปปรับใช้ให้มีความเหมาะสมและได้ประสิทธิภาพสูงสุดกับแหล่งน้ำธรรมชาติผลทดลองเครื่องตะบันน้ำสามารถสูบน้ำขึ้นไปในระดับความสูง 5 เมตรด้วยได้อัตราการไหล 2.92 ลิตร/นาที (เครื่องตะบันน้ำขนาด $1\frac{1}{2}$ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.journal.msu.ac.th/upload/articles/article594_52847.pdf. วันที่ค้นข้อมูล : วันที่ 23 กันยายน 2558)

การออกแบบพัฒนวาล์วน้ำทิ้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับเครื่องตะบันน้ำ (บทคัดย่อ) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นออกแบบวาล์วน้ำทิ้งสำหรับเครื่องตะบันน้ำเพื่อเพิ่มอัตราการไหลและประสิทธิภาพของน้ำที่เสททางออกเนื่องจากการใช้วาล์วน้ำทิ้งแบบเดิมสามารถส่งน้ำขึ้นไปกักเก็บที่แหล่งรับน้ำได้แต่ไม่สามารถปรับเพิ่มหรือลดอัตราการไหลของน้ำได้จึงได้ทำการออกแบบพัฒนวาล์วน้ำทิ้งแบบใหม่เรียกว่าวาล์วน้ำทิ้งแบบหัวกะโหลกคัดแปลงซึ่งสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำไปยังแหล่งรับน้ำ ได้มากยิ่งขึ้นการทดลองกำหนดให้เสททางเข้าอยู่สูงจากพื้น 2 m อัตราการไหลของน้ำที่เสททางเข้าอยู่ที่ 1320 – 2700 lit/hr และแกนเพิ่มน้ำหนักของวาล์วน้ำทิ้งแบบหัวกะโหลกคัดแปลงมีความสูง 1 ft ในการทดลองได้ทำการศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำ

ได้แก่น้ำหนักของตุ้มที่ใส่กับแกนเพิ่มน้ำหนัก ($w = 0 - 180 \text{ g}$) และระดับของหลอดทางออก ($H = 3$ ถึง 10 m) จากผลการทดลองพบว่าวาล์วน้ำทิ้งแบบหัวกะโหลกตัดแปลงสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่หลอดทางออกได้มากกว่าวาล์วน้ำทิ้งแบบเดิมในทุกๆระดับความสูงและที่ระดับความสูงที่หลายๆ ยังมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งในการใช้วาล์วน้ำทิ้งแบบหัวกะโหลกตัดแปลงกับเครื่องตะบันน้ำยิ่งไปกว่านั้นการเพิ่มตุ้มน้ำหนักยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวาล์วน้ำทิ้งเนื่องจากช่วยเพิ่มแรงกระทำทำให้มากขึ้นส่งผลให้เกิดแรงดันขึ้นสูงที่สุดได้มากขึ้นด้วยอีกทั้งในการสาธิตการใช้งานของเครื่องตะบันน้ำกับพื้นที่จริงยังพบว่าวาล์วน้ำทิ้งแบบหัวกะโหลกตัดแปลงสามารถใช้ทดแทนวาล์วน้ำทิ้งแบบเดิมได้เป็นอย่างดีและยังเป็นการลดต้นทุนการสร้างเครื่องตะบันน้ำด้วย คำสำคัญ: วาล์วน้ำทิ้งเครื่องตะบันน้ำอัตราการไหลของน้ำประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ (การออกแบบพัฒนาวาล์วน้ำทิ้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับเครื่องตะบันน้ำ .[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.crma.ac.th/medept/research/waste%20valve.pdf>. วันที่ค้นข้อมูล : วันที่ 23 กันยายน 2558.)

ปรีวิษฐ์ เอือนสะอาด ,อิสราโพพิลา ,วราวุธ วัฒนวิชัยและจิระกานต์ ศิริวิชัย ไมตรี (บทคัดย่อ). การวิจัยและพัฒนาเครื่องตะบันน้ำมุ้งเน้นให้เครื่องตะบันน้ำสามารถทำงานได้ดีและมีราคาประหยัดส่วนประกอบของเครื่องตะบันน้ำถูกออกแบบและสร้างขึ้นภายในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานเครื่องตะบันน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นจากขนาดเดิมใช้ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว เพิ่มขึ้นเป็น 6 นิ้ว และเปลี่ยนวัสดุเป็นเหล็กในการทดลองจะถูกทดสอบโดยการเปลี่ยนน้ำหนักลิ้นวาล์วน้ำทิ้ง 5 น้ำหนักด้วยกัน นั่นคือ 300 ,500 ,700 ,900 และ 1100 กรัมและมีการเปลี่ยนท่อส่งน้ำเข้าเครื่องโดยใช้ความยาว 11 เมตร และ 15 เมตร ทั้งนี้การทดสอบจะทดสอบทุกชั้นความสูงที่ความ 3 ,5 ,7,9 และ 11 เมตรจากระดับตัวเครื่องตะบันน้ำ จากการทดลองพบว่าน้ำหนักลิ้นวาล์วน้ำทิ้ง 700 กรัม และท่อยาวส่งน้ำเข้ายาว 11 เมตรจะได้ปริมาณน้ำมากที่สุด ที่ระดับความสูง 3 เมตร โดยมีอัตราการไหลเท่ากับ 88.13 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อใช้น้ำหนักลิ้นวาล์วน้ำทิ้ง 900 กรัม และท่อยาวส่งน้ำเข้ายาว 15 เมตร จะได้ปริมาณน้ำมากที่สุด ที่ระดับความสูง 11 เมตร โดยมีอัตราการไหลเท่ากับ 14 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จากผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมที่ใช้วัสดุเป็นท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว เครื่องตะบันน้ำจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อถ่วงที่วาล์วน้ำทิ้งด้วยน้ำหนักที่เหมาะสม การพัฒนาเครื่องตะบันน้ำจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้า หรือน้ำมัน (การวิจัยและพัฒนาเครื่องตะบันน้ำแบบประหยัด.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก . <http://irre.ku.ac.th/project/pdf/255512.pdf>. วันที่ค้นข้อมูล : วันที่ 23 กันยายน 2558.)

นาย วีระพงษ์ เฟื่องแจ่ม นางสาวชญานิ น้อมนพ (บทคัดย่อ). โครงการงานวิศวกรรมชลประทาน
 นี้ได้ศึกษาหลักการทำงานของตะบันน้ำ (Hydraulic Ram) สามารถการออกแบบและสร้างเครื่อง
 ตะบันน้ำจากวัสดุที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป เครื่องตะบันน้ำใช้หลักการของค้อนน้ำ (Water
 hammer) ในการทำให้เกิดแรงดันเพื่อส่งน้ำขึ้นไปตามท่อ ส่งสู่ถังเก็บน้ำในโครงการนี้ได้ทำการ
 สร้างและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของตะบันน้ำ เพื่อลดการสูญเสียน้ำและเพิ่มปริมาณน้ำที่
 ส่งขึ้นเก็บกักจากการทดลองพบว่าเครื่องตะบันน้ำมีประสิทธิภาพการทำงานแปรผกผันกับระดับ
 ความสูงของน้ำที่ส่งขึ้น สามารถสรุปได้ว่าตะบันน้ำที่สร้างขึ้นสามารถส่งน้ำได้ด้วยอัตราการไหล
 เฉลี่ย 2937.6 ลิตรต่อวินาที ระดับความสูง 3.2 เท่าจากระดับแหล่งน้ำต้นทุนที่ 2.5 เมตรเครื่องตะบัน
 น้ำที่สร้างในโครงการนี้ มีความสามารถทำงานได้เมื่อเทียบเท่ากับตะบันน้ำที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากทฤษฎี จากการทดลองระดับน้ำที่ส่งเข้าตะบันน้ำ และจำนวนครั้ง
 ในการกระแทกของล้นน้ำทิ้ง (Waste valve) มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการส่งน้ำของตะบัน
 น้ำ เครื่องตะบันน้ำที่สร้างได้มีสามารถทำงานได้เองอย่างต่อเนื่อง ประหยัดการใช้พลังงานและช่วย
 รักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (การศึกษาและพัฒนาเครื่องตะบันน้ำจากวัสดุที่มีจำหน่ายทั่วไป .
 [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก . [http://irre.ku.ac.th/project/pdf/255213 .pdf](http://irre.ku.ac.th/project/pdf/255213.pdf) . วันที่ค้นข้อมูล : วันที่ 26
 กันยายน 2558.)

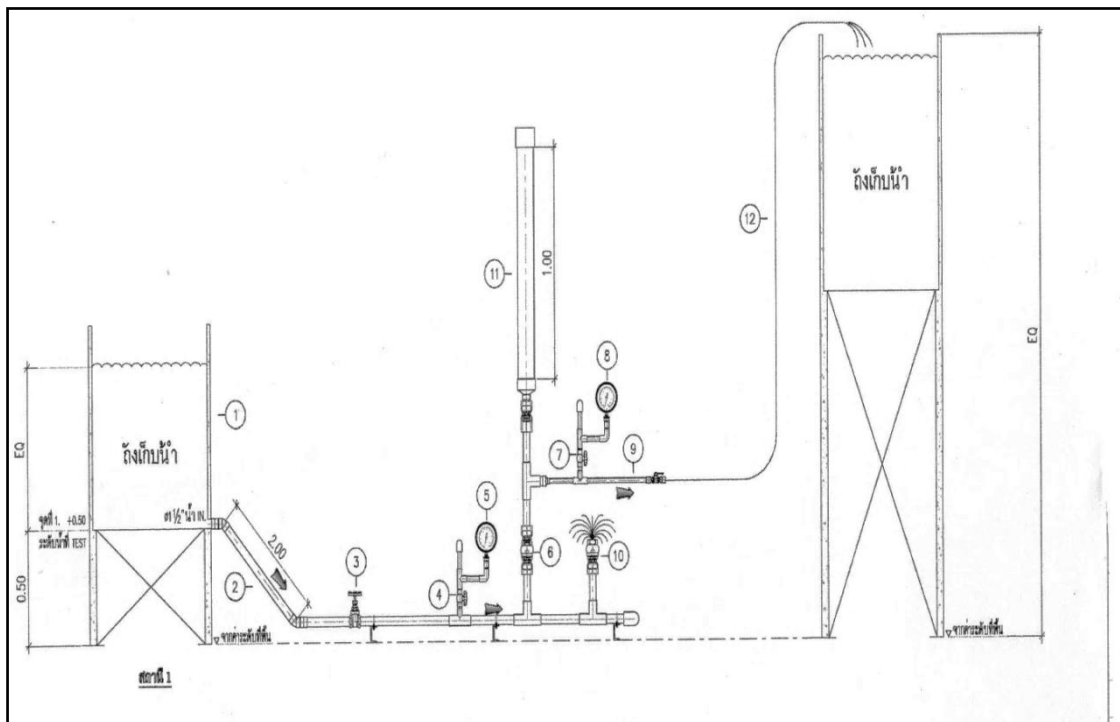
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการ

ในงานวิจัยนี้ผู้จัดทำได้แบ่งรายละเอียดของอุปกรณ์และวิธีดำเนินการดังนี้

- 3.1 Drawing เครื่องตะบันน้ำ
- 3.2 ตารางอุปกรณ์และหน้าที่
- 3.3 ตารางวัสดุอุปกรณ์
- 3.4 การติดตั้งและประกอบอุปกรณ์
- 3.5 ขั้นตอนการทดสอบ




3.1 Drawing เครื่องตะบันน้ำ










ภาพที่ 3-1 Drawing เครื่องตะบันน้ำ

3.2 อุปกรณ์และหน้าที่




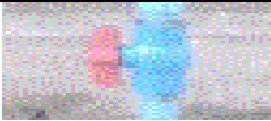




ตารางที่ 3-1 อุปกรณ์และหน้าที่

ITEM NO.	DESCRIPTION	
1	ถังเก็บน้ำ	 <p>ใช้เป็นท่อแหล่งจ่ายน้ำเข้าเครื่องตะบันน้ำ ในการทดสอบที่มีความสูง 0.5 m. , 1.0 m. , 1.5m.</p>
2	ท่อ PVC \varnothing 1 $\frac{1}{2}$ "	 <p>ใช้เป็นท่อ Main หลักในการสำรองน้ำก่อนเข้าถังลม</p>
3	Valve \varnothing 1 $\frac{1}{2}$ "	 <p>เป็น Valve เปิด/ปิดน้ำก่อนเข้าระบบ</p>
4	Boll Valve \varnothing 1 $\frac{1}{2}$ "	 <p>เป็น Valve เปิด/ปิดน้ำเพื่อเช็คระดับแรงดัน (PSI) น้ำก่อนเข้าระบบ</p>
5	PRESSURE GAUGE ตัวที่ 1.	 <p>เป็น pg เพื่อเช็ค แรงดันของน้ำก่อนเข้าระบบ</p>
6	Valve ส่งน้ำเข้า \varnothing 1 $\frac{1}{2}$ "	 <p>เป็น Valve ส่งน้ำเข้าไปยังระบบ</p>
7	Boll Valve \varnothing 1 $\frac{1}{2}$ "	 <p>เป็น Valve เปิด/ปิดน้ำเพื่อเช็คระดับแรงดัน (PSI) น้ำก่อนออกระบบ</p>

8	PRESSURE GAUGE ตัวที่ 2.				เป็น pg เพื่อเช็ค แรงดันของน้ำ ก่อนออกระบบ
9	Boll Valve \varnothing 1 1/2 "				เป็น Valve เปิด/ปิดน้ำก่อนออก ระบบ
10	Valve ส่งน้ำทิ้ง \varnothing 1 1/2 "				เป็น Valve ส่งน้ำทิ้ง เพื่อ ผลัดดันน้ำกลับเข้าไปในระบบ ในรูปแบบของคลื่นน้ำ เพื่อเป็น แรงดันน้ำให้กับเข้าไปในระบบ
11	ถังอัดลม \varnothing 3", \varnothing 4", \varnothing 6"				ใช้เป็นห้องอัดอากาศ เพื่อเป็น แรงผลักดันน้ำเพื่อไปยังปลายทาง
12	ท่อ, สายยาง \varnothing 1 1/2 " (output)				ใช้เป็นท่อส่งน้ำ ไปยังถังเก็บ น้ำบนที่สูง

3.3 วัสดุอุปกรณ์

ตารางที่ 3-2 วัสดุอุปกรณ์

ITEM NO.	DESCRIPTION		Photo	Quantity
1	ถังเก็บน้ำ	ความสูง 0.5 m. , 1.0 m. , 1.5m.		1 ชุด
2	PVC	Ø 1½"		1 ท่อน
3	Valve	Ø 1½"		1 ชิ้น
4	Boll Valve	Ø 1½"		3 ชิ้น
5	Pressure Gauge	เช็กระงดันของน้ำ		2 ชิ้น
6	Valve สั่งน้ำเข้า, ทิ้ง	Ø 1½"		2 ชิ้น
7	ถังอัดลม	Ø3", Ø4", Ø6"		3 ชิ้น
8	ท่อ, สายยาง (output)	Ø 1½"		1 ม้วน

3.4 การติดตั้งและประกอบอุปกรณ์

3.4.1 ตั้งถังเก็บน้ำ (Input)



3.4.2 ต่อท่อ $\varnothing 1\frac{1}{2}$ " เข้ากับถังเก็บน้ำ (Input)



3.4.3 ต่อท่อ Main $\text{Ø}1\frac{1}{2}$ "เข้ากับชุด PG ตัวที่ 1. (Input) และประกอบวาล์วกันกลับ และประกอบชุดวาล์วกันกลับตัวที่ 2. (วาล์วน้ำทิ้ง)



3.4.4 นำส่วนประกอบของข้อ 3.4.3 มาประกอบกับถังอัดลม



3.4.5 ประกอบวาล์ว PG เข้ากับชุดถังอัดลม



3.4.6 ต่อสายยางขนาด $\varnothing 1\frac{1}{2}$ (สายส่งน้ำ output) ต่อเข้ากับวาล์ว output



3.5 ขั้นตอนการทดสอบ

3.5.1 เปิดวาล์วปล่อยน้ำจากถังเก็บน้ำ Input



3.5.2 อ่านPG ตัวที่ 1 คูแรงแดันของน้ำบนที่กผล

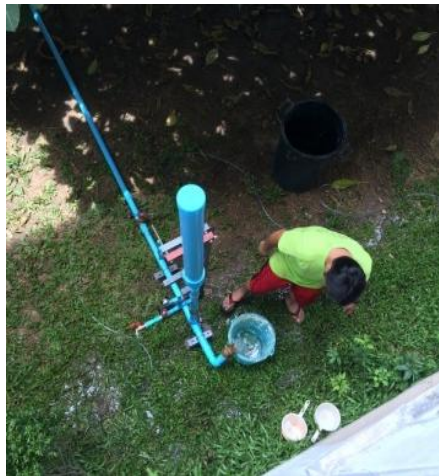




3.5.3 เริ่มการทำงานของเครื่อง โดยกดไ้ร้อากาศที่วาล์วกันกลับตัวที่2 (วาล์วน้ำทิ้ง)



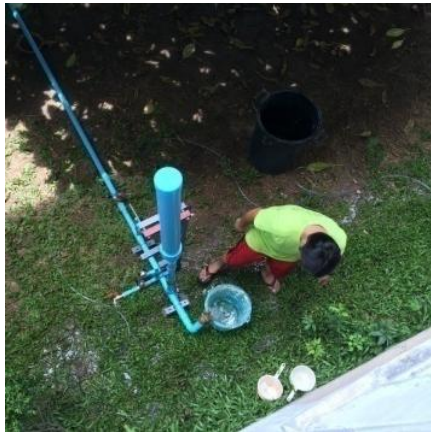
3.5.4 เก็บบันทึกผลน้ำทิ้ง



3.5.4.1 นับจำนวนครั้งกระแทก/ 1 min



3.5.4.2 ปริมาณน้ำทิ้ง/ 1 min



3.5.5 อ่าน PG ตัวที่ 2 บันทึกผล



3.5.6 เปิดวาล์วout-put เพื่อส่งน้ำขึ้นที่สูง



3.5.6.1 บันทึกผลระดับความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ / 1 min



3.5.6.2 บันทึกผลปริมาณน้ำที่ได้ / 1min



หมายเหตุ

1. เก็บผลจากถังจ่ายน้ำความสูงที่ 0.5 เมตร โดยใช้ถังอัดอากาศ $\varnothing 3''$, $\varnothing 4''$, $\varnothing 6''$
2. เก็บผลจากถังจ่ายน้ำความสูงที่ 1 เมตร โดยใช้ถังอัดอากาศ $\varnothing 3''$, $\varnothing 4''$, $\varnothing 6''$
3. เก็บผลจากถังจ่ายน้ำความสูงที่ 1.5 เมตร โดยใช้ถังอัดอากาศ $\varnothing 3''$, $\varnothing 4''$, $\varnothing 6''$

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.1 ผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 4-1 ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 0.5 m./ ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ 7 m.)

ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 0.5 m.)																	
No.	ถังจ่ายน้ำสูง (m)	ขนาดถังอัดอากาศ (in)	ครั้งที่	เวลา (นาที)	แรงดันขาเข้า		จำนวนครั้งที่ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ตะบันเสีย		ประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ (%)		
					psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min			
1	0.5	Ø3	1	1	1.5	0.10	25	10	0.69	760	0.76	7	22750	22.75	45.26		
			2	1	1.5	0.10	25	10	0.69	740	0.74	7	22760	22.76	44.09		
			3	1	1.5	0.10	26	10	0.69	870	0.87	7	22810	22.81	51.44		
			4	1	1.5	0.10	25	10	0.69	710	0.71	7	22730	22.73	42.41		
			5	1	1.5	0.10	26	10	0.69	890	0.89	7	22820	22.82	52.55		
			ผลเฉลี่ย		1.5	0.10	25.4	10	0.69	794	0.79	7	22774	22.77	47.15		
2		0.5	Ø4	1	1	1.5	0.10	27	10	0.69	950	0.95	7	23050	23.05	55.42	
				2	1	1.5	0.10	27	10	0.69	970	0.97	7	23010	23.01	56.63	
				3	1	1.5	0.10	28	10	0.69	1030	1.03	7	23130	23.13	59.69	
				4	1	1.5	0.10	28	10	0.69	1070	1.07	7	23190	23.19	61.75	
				5	1	1.5	0.10	28	10	0.69	1050	1.05	7	23200	23.2	60.62	
				ผลเฉลี่ย		1.5	0.10	27.6	10	0.69	1014	1.01	7	23116	23.12	58.82	
3			0.5	Ø6	1	1	1.5	0.10	30	12	0.83	1210	1.21	7	23520	23.52	68.50
					2	1	1.5	0.10	29	12	0.83	1110	1.11	7	23440	23.44	63.30
					3	1	1.5	0.10	29	12	0.83	1150	1.15	7	23410	23.41	65.55
	4				1	1.5	0.10	30	12	0.83	1260	1.26	7	23490	23.49	71.27	
	5				1	1.5	0.10	30	12	0.83	1240	1.24	7	23550	23.55	70.03	
	ผลเฉลี่ย				1.5	0.10	29.6	12	0.83	1194	1.19	7	23482	23.48	67.73		

ตารางที่ 4-2 ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1m./ ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ 7 m.)

ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1 m.)															
No.	ถังจ่าย น้ำสูง (m)	ขนาดถัง อัดอากาศ (in)	ครั้ง ที่	เวลา (นาท)	แรงดันขาเข้า		จำนวนครั้ง ที่ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูง ที่น้ำขึ้น ไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ตะบันเสีย		ประสิทธิภาพ ของเครื่อง ตะบันน้ำ (%)
					psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min	
1	1	Ø3	1	1	2	0.14	33	12	0.83	1590	1.59	7	25380	25.38	41.27
			2	1	2	0.14	32	12	0.83	1510	1.51	7	25290	25.29	39.44
			3	1	2	0.14	32	12	0.83	1490	1.49	7	25220	25.22	39.05
			4	1	2	0.14	32	12	0.83	1480	1.48	7	25210	25.21	38.82
			5	1	2	0.14	33	12	0.83	1570	1.57	7	25310	25.31	40.89
			ผลเฉลี่ย		2	0.14	32.4	12	0.83	1528	1.53	7	25282	25.28	39.89
2		Ø4	1	1	2	0.14	34	12	0.83	1660	1.66	7	26420	26.42	41.38
			2	1	2	0.14	34	12	0.83	1620	1.62	7	26300	26.3	40.62
			3	1	2	0.14	35	12	0.83	1730	1.73	7	26560	26.56	42.81
			4	1	2	0.14	35	12	0.83	1760	1.76	7	26550	26.55	43.52
			5	1	2	0.14	35	12	0.83	1710	1.71	7	26590	26.59	42.30
			ผลเฉลี่ย		2	0.14	34.6	12	0.83	1696	1.70	7	26484	26.48	42.12
3		Ø6	1	1	2	0.14	36	14	0.97	1870	1.87	7	26880	26.88	45.53
			2	1	2	0.14	36	14	0.97	1850	1.85	7	26860	26.86	45.11
			3	1	2	0.14	37	14	0.97	1920	1.92	7	27120	27.12	46.28
			4	1	2	0.14	37	14	0.97	1940	1.94	7	27150	27.15	46.68
			5	1	2	0.14	37	14	0.97	1960	1.96	7	27140	27.14	47.15
			ผลเฉลี่ย		2	0.14	36.6	14	0.97	1908	1.91	7	27030	27.03	46.15

ตารางที่ 4-3 ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1.5m./ ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ 7 m.)

ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1.5 m.)																	
No.	ถังจ่ายน้ำสูง (m)	ขนาดถังอัดอากาศ (in)	ครั้งที่	เวลา (นาที)	แรงดันขาเข้า		จำนวนครั้งที่ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ตะบันเสีย		ประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ (%)		
					psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min			
1	1.5	Ø3	1	1	2.5	0.17	39	14	0.97	2130	2.13	7	27220	27.22	33.87		
			2	1	2.5	0.17	40	14	0.97	2270	2.27	7	27360	27.36	35.75		
			3	1	2.5	0.17	40	14	0.97	2240	2.24	7	27350	27.35	35.33		
			4	1	2.5	0.17	39	14	0.97	2160	2.16	7	27200	27.2	34.33		
			5	1	2.5	0.17	39	14	0.97	2140	2.14	7	27210	27.21	34.03		
			ผลเฉลี่ย		2.5	0.17	39.4	14	0.97	2188	2.19	7	27268	27.27	34.66		
2		1.5	Ø4	1	1	2.5	0.17	41	14	0.97	2360	2.36	7	27550	27.55	36.82	
				2	1	2.5	0.17	41	14	0.97	2380	2.38	7	27530	27.53	37.13	
				3	1	2.5	0.17	42	14	0.97	2450	2.45	7	27710	27.71	37.91	
				4	1	2.5	0.17	42	14	0.97	2480	2.48	7	27730	27.73	38.31	
				5	1	2.5	0.17	41	14	0.97	2340	2.34	7	27570	27.57	36.51	
				ผลเฉลี่ย		2.5	0.17	41.4	14	0.97	2402	2.40	7	27618	27.62	37.34	
3			1.5	Ø6	1	1	2.5	0.17	43	16	1.10	2610	2.61	7	28450	28.45	39.21
					2	1	2.5	0.17	43	16	1.10	2580	2.58	7	28470	28.47	38.78
					3	1	2.5	0.17	43	16	1.10	2560	2.56	7	28490	28.49	38.48
					4	1	2.5	0.17	44	16	1.10	2730	2.73	7	28680	28.68	40.56
					5	1	2.5	0.17	44	16	1.10	2680	2.68	7	28670	28.67	39.89
					ผลเฉลี่ย		2.5	0.17	43.4	16	1.10	2632	2.63	7	28552	28.55	39.38

ตารางที่ 4-4 ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 0.5 m./ ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ 8.6m.)

ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 0.5 m.)																	
No.	ถังจ่าย น้ำสูง (m)	ขนาดถัง อัดอากาศ (in)	ครั้ง ที่	เวลา (นาท)	แรงดันขาเข้า		จำนวน ครั้ง ที่ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูง ที่น้ำขึ้น ไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ตะบันเสีย		ประสิทธิภาพ ของเครื่อง ตะบันน้ำ (%)		
					psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min			
1	0.5	Ø3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	8.6	-	-	-		
			2	-	-	-	-	-	-	-	-	8.6	-	-	-		
			3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.6	-	-	-	
			4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.6	-	-	-	
			5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.6	-	-	-	
			ผลเฉลี่ย			0	0	0	0	0	0	0	8.6	0	0	0	
2		0.5	Ø4	1	1	1.5	0.10	26	10	0.69	510	0.51	8.6	23130	23.13	37.11	
				2	1	1.5	0.10	26	10	0.69	510	0.51	8.6	23120	23.12	37.12	
				3	1	1.5	0.10	27	10	0.69	520	0.52	8.6	23150	23.15	37.79	
				4	1	1.5	0.10	27	10	0.69	510	0.51	8.6	23140	23.14	37.09	
				5	1	1.5	0.10	27	10	0.69	520	0.52	8.6	23150	23.15	37.79	
				ผลเฉลี่ย			1.5	0.10	26.6	10	0.69	514	0.51	8.6	23138	23.14	37.38
3			0.5	Ø6	1	1	1.5	0.10	28	12	0.83	570	0.57	8.6	23670	23.67	40.45
					2	1	1.5	0.10	27	12	0.83	580	0.58	8.6	23610	23.61	41.24
					3	1	1.5	0.10	27	12	0.83	590	0.59	8.6	23620	23.62	41.92
					4	1	1.5	0.10	28	12	0.83	580	0.58	8.6	23690	23.69	41.10
	5				1	1.5	0.10	28	12	0.83	590	0.59	8.6	23680	23.68	41.81	
	ผลเฉลี่ย						1.5	0.10	27.6	12	0.83	582	0.58	8.6	23654	23.65	41.30

ตารางที่ 4-5 ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1m./ ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ 8.6m.)

ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1 m.)															
No.	ถังจ่าย น้ำสูง (m)	ขนาดถัง อัดอากาศ (in)	ครั้ง ที่	เวลา (นาท)	แรงดันขาเข้า		จำนวนครั้ง ที่ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูง ที่น้ำขึ้น ไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ตะบันเสีย		ประสิทธิภาพ ของเครื่อง ตะบันน้ำ (%)
					psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min	
1	1	Ø3	1	1	2	0.14	31	12	0.83	1150	1.15	8.6	25680	25.68	36.86
			2	1	2	0.14	30	12	0.83	1120	1.12	8.6	25590	25.59	36.06
			3	1	2	0.14	30	12	0.83	1130	1.13	8.6	25620	25.62	36.33
			4	1	2	0.14	30	12	0.83	1130	1.13	8.6	25610	25.61	36.34
			5	1	2	0.14	31	12	0.83	1160	1.16	8.6	25710	25.71	37.13
			ผลเฉลี่ย		2	0.14	30.4	12	0.83	1138	1.14	8.6	25642	25.64	36.54
2		Ø4	1	1	2	0.14	32	12	0.83	1250	1.25	8.6	26780	26.78	38.35
			2	1	2	0.14	32	12	0.83	1220	1.22	8.6	26750	26.75	37.51
			3	1	2	0.14	33	12	0.83	1230	1.23	8.6	26860	26.86	37.66
			4	1	2	0.14	33	12	0.83	1230	1.23	8.6	26890	26.89	37.62
			5	1	2	0.14	33	12	0.83	1260	1.26	8.6	26870	26.87	38.52
			ผลเฉลี่ย		2	0.14	32.6	12	0.83	1238	1.24	8.6	26830	26.83	37.93
3		Ø6	1	1	2	0.14	34	14	0.97	1290	1.29	8.6	26990	26.99	39.23
			2	1	2	0.14	34	14	0.97	1280	1.28	8.6	26970	26.97	38.97
			3	1	2	0.14	35	14	0.97	1330	1.33	8.6	27320	27.32	39.92
			4	1	2	0.14	35	14	0.97	1320	1.32	8.6	27360	27.36	39.58
			5	1	2	0.14	35	14	0.97	1340	1.34	8.6	27310	27.31	40.22
			ผลเฉลี่ย		2	0.14	34.6	14	0.97	1312	1.31	8.6	27190	27.19	39.58

ตารางที่ 4-6 ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถึงจ่ายน้ำ 1.5m./ ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ 8.6m.)

ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถึงจ่ายน้ำ 1.5 m.)															
No.	ถึงจ่าย น้ำสูง (m)	ขนาดถัง อัดอากาศ (in)	ครั้ง ที่	เวลา (นาท)	แรงดันขาเข้า		จำนวนครั้ง ที่ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูง ที่น้ำขึ้น ไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ตะบันเสีย		ประสิทธิภาพ ของเครื่อง ตะบันน้ำ (%)
					psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min	
1	1.5	Ø3	1	1	2.5	0.17	37	14	0.97	1610	1.61	8.6	27420	27.42	31.80
			2	1	2.5	0.17	38	14	0.97	1730	1.73	8.6	27560	27.56	33.86
			3	1	2.5	0.17	38	14	0.97	1780	1.78	8.6	27550	27.55	34.79
			4	1	2.5	0.17	37	14	0.97	1640	1.64	8.6	27390	27.39	32.39
			5	1	2.5	0.17	37	14	0.97	1670	1.67	8.6	27410	27.41	32.93
			ผลเฉลี่ย		2.5	0.17	37.4	14	0.97	1686	1.69	8.6	27466	27.47	33.15
2		Ø4	1	1	2.5	0.17	39	14	0.97	1870	1.87	8.6	27750	27.75	36.20
			2	1	2.5	0.17	39	14	0.97	1850	1.85	8.6	27730	27.73	35.86
			3	1	2.5	0.17	40	14	0.97	1970	1.97	8.6	27810	27.81	37.93
			4	1	2.5	0.17	40	14	0.97	1980	1.98	8.6	27830	27.83	38.08
			5	1	2.5	0.17	39	14	0.97	1830	1.83	8.6	27770	27.77	35.45
			ผลเฉลี่ย		2.5	0.17	39.4	14	0.97	1900	1.90	8.6	27778	27.78	36.70
3		Ø6	1	1	2.5	0.17	41	16	1.10	2110	2.11	8.6	28750	28.75	39.20
			2	1	2.5	0.17	41	16	1.10	2090	2.09	8.6	28770	28.77	38.83
			3	1	2.5	0.17	41	16	1.10	2080	2.08	8.6	28790	28.79	38.63
			4	1	2.5	0.17	42	16	1.10	2250	2.25	8.6	28980	28.98	41.31
			5	1	2.5	0.17	42	16	1.10	2270	2.27	8.6	29020	29.02	41.59
			ผลเฉลี่ย		2.5	0.17	41.4	16	1.10	2160	2.16	8.6	28862	28.86	39.91

ตารางที่ 4-7 ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถึงจ่ายน้ำ 0.5 m./ ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ 12m.)

ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถึงจ่ายน้ำ 0.5 m.)																
No.	ถึงจ่าย น้ำสูง (m)	ขนาดถัง อัดอากาศ (m)	ครั้ง ที่	เวลา (นาท)	แรงดันขาเข้า		จำนวน ครั้ง ที่ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูง ที่น้ำขึ้น ไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ตะบันเสีย		ประสิทธิภาพ ของเครื่อง ตะบันน้ำ (%)	
					psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min		
1	0.5	Ø3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	
			2	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	
			3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-
			4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-
			5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-
			ผลเฉลี่ย			0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0
2		Ø4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-
			2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-
			3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-
			4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-
			5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-
			ผลเฉลี่ย			0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0
3		Ø6	1	1	1.5	0.10	26	12	0.83	250	0.25	12	23880	23.88	24.87	
			2	1	1.5	0.10	25	12	0.83	230	0.23	12	23710	23.71	23.06	
			3	1	1.5	0.10	26	12	0.83	240	0.24	12	23860	23.86	23.90	
			4	1	1.5	0.10	25	12	0.83	230	0.23	12	23690	23.69	23.08	
	5		1	1.5	0.10	26	12	0.83	260	0.26	12	23850	23.85	25.88		
	ผลเฉลี่ย				1.5	0.10	25.6	12	0.83	242	0.24	12	23798	23.80	24.16	

ตารางที่ 4-8 ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1m./ ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ 12m.)

ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1 m.)																	
No.	ถังจ่ายน้ำสูง (m)	ขนาดถังอัดอากาศ (m)	ครั้งที่	เวลา (นาที)	แรงดันขาเข้า		จำนวนครั้งที่ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ตะบันเลีย		ประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ (%)		
					psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min			
1	1	Ø3	1	1	2	0.14	28	12	0.83	680	0.68	12	26110	26.11	30.46		
			2	1	2	0.14	28	12	0.83	690	0.69	12	26090	26.09	30.92		
			3	1	2	0.14	29	12	0.83	700	0.7	12	26440	26.44	30.95		
			4	1	2	0.14	29	12	0.83	690	0.69	12	26510	26.51	30.44		
			5	1	2	0.14	28	12	0.83	670	0.67	12	26040	26.04	30.10		
			ผลเฉลี่ย		2	0.14	28.4	12	0.83	686	0.69	12	26238	26.24	30.57		
2		1	Ø4	1	1	2	0.14	30	12	0.83	880	0.88	12	27030	27.03	37.84	
				2	1	2	0.14	30	12	0.83	860	0.86	12	27080	27.08	36.94	
				3	1	2	0.14	31	12	0.83	870	0.87	12	27360	27.36	36.98	
				4	1	2	0.14	31	12	0.83	900	0.9	12	27380	27.38	38.19	
				5	1	2	0.14	31	12	0.83	920	0.92	12	27390	27.39	39.00	
				ผลเฉลี่ย		2	0.14	30.6	12	0.83	886	0.89	12	27248	27.25	37.79	
3			1	Ø6	1	1	2	0.14	32	14	0.97	1020	1.02	12	27490	27.49	42.93
					2	1	2	0.14	33	14	0.97	1060	1.06	12	27640	27.64	44.32
					3	1	2	0.14	33	14	0.97	1050	1.05	12	27610	27.61	43.96
					4	1	2	0.14	32	14	0.97	1010	1.01	12	27410	27.41	42.65
					5	1	2	0.14	32	14	0.97	1030	1.03	12	27430	27.43	43.43
					ผลเฉลี่ย		2	0.14	32.4	14	0.97	1034	1.03	12	27516	27.52	43.46

ตารางที่ 4-9 ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1.5m./ ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ 12m.)

ไบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1.5 m.)															
No.	ถังจ่าย น้ำสูง (m)	ขนาดถัง อัดอากาศ (m)	ครั้ง ที่	เวลา (นาที)	แรงดันขาเข้า		จำนวนครั้ง ที่ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูง ที่น้ำขึ้น ไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ตะบันเสีย		ประสิทธิภาพ ของเครื่อง ตะบันน้ำ (%)
					psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min	
1	1.5	Ø3	1	1	2.5	0.17	36	14	0.97	1310	1.31	12	27840	27.84	35.95
			2	1	2.5	0.17	36	14	0.97	1360	1.36	12	27890	27.89	37.20
			3	1	2.5	0.17	35	14	0.97	1240	1.24	12	27470	27.47	34.55
			4	1	2.5	0.17	35	14	0.97	1230	1.23	12	27500	27.5	34.25
			5	1	2.5	0.17	36	14	0.97	1320	1.32	12	27870	27.87	36.18
			ผลเฉลี่ย		2.5	0.17	35.6	14	0.97	1292	1.29	12	27714	27.71	35.63
2		Ø4	1	1	2.5	0.17	38	14	0.97	1450	1.45	12	28010	28.01	39.38
			2	1	2.5	0.17	37	14	0.97	1390	1.39	12	27940	27.94	37.91
			3	1	2.5	0.17	37	14	0.97	1370	1.37	12	27920	27.92	37.42
			4	1	2.5	0.17	38	14	0.97	1420	1.42	12	28080	28.08	38.51
			5	1	2.5	0.17	38	14	0.97	1460	1.46	12	28040	28.04	39.59
			ผลเฉลี่ย		2.5	0.17	37.6	14	0.97	1418	1.42	12	27998	28.00	38.56
3		Ø6	1	1	2.5	0.17	39	16	1.10	1550	1.55	12	28350	28.35	41.47
			2	1	2.5	0.17	39	16	1.10	1590	1.59	12	28300	28.3	42.56
			3	1	2.5	0.17	39	16	1.10	1570	1.57	12	28290	28.29	42.06
			4	1	2.5	0.17	40	16	1.10	1680	1.68	12	28580	28.58	44.42
			5	1	2.5	0.17	40	16	1.10	1650	1.65	12	28540	28.54	43.72
			ผลเฉลี่ย		2.5	0.17	39.4	16	1.10	1608	1.61	12	28412	28.41	42.85

4.2 สรุปผลการดำเนินงาน

ตารางที่4-2-1 สรุปผลการทดลองเครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 0.5m.)

ใบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 0.5 m.)														
No.	ถังจ่ายน้ำสูง (m)	ขนาดถังอัดอากาศ (in)	เวลา (นาที)	แรงดันขาเข้า		จำนวนครั้งที่ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ตะบันเสีย		ประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ (%)
				psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min	
1	0.5	Ø3	1	1.5	0.10	25.4	10	0.69	794	0.79	7	22774	22.77	47.15
			1	0	0	0	0	0	0	0	8.6	0	0	0
			1	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0
2		Ø4	1	1.5	0.10	27.6	10	0.69	1014	1.01	7	23116	23.12	58.82
			1	1.5	0.10	26.6	10	0.69	514	0.51	8.6	23138	23.14	37.38
			1	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0
3		Ø6	1	1.5	0.10	29.6	12	0.83	1194	1.19	7	23482	23.48	67.73
			1	1.5	0.10	27.6	12	0.83	582	0.58	8.6	23654	23.65	41.30
			1	1.5	0.10	25.6	12	0.83	242	0.24	12	23798	23.8	24.16

ตารางที่ 4-2-2 สรุปผลการทดลองเครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1 m.)

ใบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1 m.)														
No.	ถังจ่ายน้ำสูง (m)	ขนาดถังอัดอากาศ (in)	เวลา (นาที)	แรงดันขาเข้า		จำนวนครั้งที่ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูงที่น้ำขึ้นไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ตะบันเสีย		ประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ (%)
				psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min	
1	1	Ø3	1	2	0.14	32.4	12	0.83	1528	1.53	7	25282	25.28	39.89
			1	2	0.14	30.4	12	0.83	1138	1.14	8.6	25642	25.64	36.54
			1	2	0.14	28.4	12	0.83	686	0.69	12	26238	26.24	30.57
2		Ø4	1	2	0.14	34.6	12	0.83	1696	1.7	7	26484	26.48	42.12
			1	2	0.14	32.6	12	0.83	1238	1.24	8.6	26830	26.83	37.93
			1	2	0.14	30.6	12	0.83	886	0.89	12	27248	27.25	37.79
3		Ø6	1	2	0.14	36.6	14	0.97	1908	1.91	7	27030	27.03	46.15
			1	2	0.14	34.6	14	0.97	1312	1.31	8.6	27190	27.19	39.58
			1	2	0.14	32.4	14	0.97	1034	1.03	12	27516	27.52	43.46

ตารางที่ 4-2-3 สรุปผลการทดลองเครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1.5 m.)

ใบบันทึกผลการทดลอง เครื่องตะบันน้ำ (ที่ความสูงถังจ่ายน้ำ 1.5 m.)														
No.	ถังจ่าย น้ำสูง (m)	ขนาด ถังอัด อากาศ (in)	เวลา (นาที)	แรงดันขาเข้า		จำนวน ครั้งที่ ตะบัน	แรงดันขาออก		ปริมาณน้ำที่ได้		ความสูง ที่น้ำขึ้น ไปได้ (m)	ปริมาณน้ำที่ ตะบันเสีย		ประสิทธิภาพ ของเครื่อง ตะบันน้ำ (%)
				psi	bar		psi	bar	cm ³ /min	lit/min		cm ³ /min	lit/min	
1	1.5	Ø3	1	2.5	0.17	39.4	14	0.97	2188	2.19	7	27268	27.27	34.66
			1	2.5	0.17	37.4	14	0.97	1686	1.69	8.6	27466	27.47	33.15
			1	2.5	0.17	35.6	14	0.97	1392	1.29	12	27714	27.71	35.63
2		Ø4	1	2.5	0.17	41.4	14	0.97	2402	2.4	7	27618	27.62	37.34
			1	2.5	0.17	39.4	14	0.97	1900	1.9	8.6	27778	27.78	36.70
			1	2.5	0.17	37.6	14	0.97	1418	1.42	12	27998	28	38.56
3		Ø6	1	2.5	0.17	43.4	16	1.10	2632	2.63	7	28552	28.55	39.38
			1	2.5	0.17	41.4	16	1.10	2160	2.16	8.6	28862	28.86	39.91
			1	2.5	0.17	39.4	16	1.10	1608	1.61	12	28412	28.41	42.85

หมายเหตุ : ที่ขนาดถังอัดอากาศ Ø3 in. และความสูงที่กำหนดให้น้ำสามารถขึ้นไป ที่ 8.6m.,12m.
ไม่นำมาเก็บผลการทดลอง เนื่องจาก มวลน้ำไม่สามารถขึ้นไปถึงตามจุดที่กำหนดได้

ที่ขนาดถังอัดอากาศ Ø4 in. และความสูงที่กำหนดให้น้ำสามารถขึ้นไป ที่ 12 m. ไม่นำมา
เก็บผลการทดลอง เนื่องจาก มวลน้ำไม่สามารถขึ้นไปถึงตามจุดที่กำหนดได้

4.2.1 ที่ถังจ่ายน้ำเข้าเครื่องตะบันน้ำสูง 0.5 m. ใช้เวลาในการทดลอง 1 นาที

ถังอัดอากาศขนาด Ø3 in. ใช้การตะบันน้ำ 25.4 ครั้ง เครื่องสามารถส่งน้ำขึ้นไปได้สูงสุดที่ 7m. ปริมาณน้ำที่ได้ 0.79 lit/min. และปริมาณน้ำที่เสีย 22.77 lit/min และประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ คือ 47.15 %

ถังอัดอากาศขนาด Ø4 in. ใช้การตะบันน้ำ 26.6 ครั้ง เครื่องสามารถส่งน้ำขึ้นไปได้สูงสุดที่ 8.6m. ปริมาณน้ำที่ได้ 0.51 lit/min. และปริมาณน้ำที่เสีย 23.14 lit/min และประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ คือ 37.38 %

ถังอัดอากาศขนาด Ø6 in. ใช้การตะบันน้ำ 25.6 ครั้ง เครื่องสามารถส่งน้ำขึ้นไปได้สูงสุดที่ 12m. ปริมาณน้ำที่ได้ 0.24 lit/min. และปริมาณน้ำที่เสีย 23.80 lit/min และประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ คือ 24.16 %

4.2.2 ที่ถังจ่ายน้ำเข้าเครื่องตะบันน้ำสูง 1 m. ใช้เวลาในการทดลอง 1 นาที

ถังอัดอากาศขนาด Ø3 in. ใช้การตะบันน้ำ 28.4 ครั้ง เครื่องสามารถส่งน้ำขึ้นไปได้สูงสุดที่ 12m. ปริมาณน้ำที่ได้ 0.69 lit/min. และปริมาณน้ำที่เสีย 26.24 lit/min และประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ คือ 30.57 %

ถังอัดอากาศขนาด Ø4 in. ใช้การตะบันน้ำ 30.6 ครั้ง เครื่องสามารถส่งน้ำขึ้นไปได้สูงสุดที่ 12m. ปริมาณน้ำที่ได้ 0.89 lit/min. และปริมาณน้ำที่เสีย 27.25 lit/min และประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ คือ 37.79 %

ถังอัดอากาศขนาด Ø6 in. ใช้การตะบันน้ำ 32.4 ครั้ง เครื่องสามารถส่งน้ำขึ้นไปได้สูงสุดที่ 12m. ปริมาณน้ำที่ได้ 1.03 lit/min. และปริมาณน้ำที่เสีย 27.52 lit/min และประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ คือ 43.46 %

4.2.3 ที่ถังจ่ายน้ำเข้าเครื่องตะบันน้ำสูง 1.5 m. ใช้เวลาในการทดลอง 1 นาที

ถังอัดอากาศขนาด Ø3 in ใช้การตะบันน้ำ 35.6 ครั้ง เครื่องสามารถส่งน้ำขึ้นไปได้สูงสุดที่ 12m. ปริมาณน้ำที่ได้ 1.29 lit/min. และปริมาณน้ำที่เสีย 27.71 lit/min และประสิทธิภาพของเครื่องตะบันน้ำ คือ 35.63 %

ถึงอัดอากาศขนาด Ø4 in. ใช้การตะบันน้ำ 37.6 ครั้ง เครื่องสามารถส่งน้ำขึ้นไปได้สูงสุดที่ 12m. ปริมาณน้ำที่ได้ 1.42 lit/min. และปริมาณน้ำที่เสีย 28.00 lit/min และประสิทธิภาพของเครื่อง ตะบันน้ำ คือ 38.56 %

ถึงอัดอากาศขนาด Ø6 in. ใช้การตะบันน้ำ 39.4 ครั้ง เครื่องสามารถส่งน้ำขึ้นไปได้สูงสุดที่ 12m. ปริมาณน้ำที่ได้ 1.61 lit/min. และปริมาณน้ำที่เสีย 28.41 lit/min และประสิทธิภาพของเครื่อง ตะบันน้ำ คือ 42.85 %

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองที่ความสูงของถังจ่ายน้ำเข้าระบบ 0.5 m ของขนาดถังอัดอากาศ Ø3 in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 7 m. ได้ปริมาณน้ำ 0.79 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 47.15% และที่ของขนาดถังอัดอากาศ Ø4 in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 8.6 m. ได้ปริมาณน้ำ 0.51 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 37.38 % และที่ขนาดถังอัดอากาศ Ø6 in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 0.24 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 24.16 %

ที่ความสูงของถังจ่ายน้ำเข้าระบบ 1 m ของขนาดถังอัดอากาศ Ø3 in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 0.69 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 30.57 % และที่ของขนาดถังอัดอากาศ Ø4 in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 0.89 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 37.79 % และที่ขนาดถังอัดอากาศ Ø6 in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 1.03 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 43.46 %

ที่ความสูงของถังจ่ายน้ำเข้าระบบ 1.5 m ของขนาดถังอัดอากาศ Ø3 in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 1.29 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 35.63% และที่ของขนาดถังอัดอากาศ Ø4 in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 1.42 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 38.56 % และที่ขนาดถังอัดอากาศ Ø6 in. สามารถส่งมวลน้ำขึ้นไปได้สูง 12 m. ได้ปริมาณน้ำ 1.61 lit/min ประสิทธิภาพของเครื่อง 42.85 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อุปกรณ์ทุกชิ้นต้องทากาวให้แน่น เพื่อป้องกันการหลุดออกจากกันเนื่องจากแรงดันของการตะบันและถังอัดอากาศ

5.2.2 การประกอบตัวเครื่องตะบัน ควรทากาวให้สนิท และพันเทปพันเกลียวให้แน่นหนา เพื่อป้องกันการรั่วซึม เพื่อการทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพของตัวเครื่อง ตะบัน

5.2.3 ตัวเครื่องตะบันควรประกอบให้แน่นมากที่สุดเพื่อลด การเกิด Head loss ในจุดต่างๆ

5.2.4 ก่อนการเริ่มทำงานของเครื่องตะบันไม่ควรเปิด วาล์ว ปล่อยน้ำขึ้นที่สูงไว้ก่อน ควร ปล่อยให้เครื่องตะบันทำงานไปสักพักเพื่ อให้มีแรงดันเก็บสะสมในการส่งน้ำ ครั้งแรกของการ ทำงาน

5.2.5 เครื่องตะบันจะทำงานได้ดีและทำงานได้ดี ก็ต่อเมื่อชุดของ Check Valve ที่ทำหน้าที่ ตะบัน เอียงตั้งแต่ 45 – 90 องศา เป็นต้นไป

5.2.6 จากการทดลองพบว่า เครื่องตะบันน้ำจะสามารถทำงานได้ ตั้งแต่ความสูง 0.5 m. เป็น ต้นไป วัดจากความสูงในระดับเดียวกัน

5.2.7 เครื่องตะบันน้ำ เหมาะสำหรับใช้งานในแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากน้ำที่เสียจากการ ตะบัน จะกลับคืนสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเหมือนเดิม

ตารางที่ 5-1 ตารางสรุปผลของถังอัดอากาศแต่ละขนาด

ตารางสรุปผลของถังอัดอากาศแต่ละขนาด					
ขนาดถังอัดอากาศ (in)	ถังจ่าย น้ำสูง (m)	ความสูง ที่น้ำขึ้น ไปได้ (m)	ปริมาณ น้ำที่ได้	ปริมาณ น้ำที่เสีย	ประสิทธิภาพ ของเครื่อง ตะบันน้ำ (%)
Ø3	0.5	7	0.79	22.77	47.15
	1	12	0.69	26.24	30.57
	1.5	12	1.29	27.71	35.63
Ø4	0.5	8.6	0.51	23.14	37.38
	1	12	0.89	27.25	37.79
	1.5	12	1.42	28	38.56
Ø6	0.5	12	0.24	23.8	24.16
	1	12	1.03	27.52	43.46
	1.5	12	1.61	28.41	42.85

5.3 ข้อดี ของเครื่องตะบันน้ำ

- 5.3.1 ไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า และ น้ำมัน
- 5.3.2 เป็นพลังงานสะอาด
- 5.3.3 อุปกรณ์หาได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป
- 5.3.4 ราคาถูก
- 5.3.5 เหมาะสำหรับพื้นที่ๆ ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง
- 5.3.6 เครื่องสามารถทำงานได้ตลอดเวลาที่มีน้ำไหล

5.4 ข้อเสีย ของเครื่องตะบันน้ำ

- 5.4.1 น้ำที่เสียจากการตะบันมากกว่าน้ำที่ได้นำไปใช้งาน
- 5.4.2 ไม่สามารถใช้ได้ในแหล่งน้ำที่หยุดนิ่ง และแหล่งน้ำที่ไหลเบาหรือช้า จนเกินไป
- 5.4.3 ตัวเครื่องตะบันต้องอยู่ต่ำกว่าแหล่งน้ำเสมอ
- 5.4.4 น้ำที่เสียจากการตะบันไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
- 5.4.5 ในการทดลองต้องเติมน้ำใส่ถังจ่ายน้ำเข้าระบบให้เต็มเสมอเพื่อให้เครื่องทำงานได้

สม่ำเสมอ

5.5 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 เครื่องตะบันน้ำสามารถนำไปพัฒนาใช้ร่วมกับกาลักน้ำได้เพื่อช่วยสูบน้ำจากแหล่งน้ำที่เป็นบ่อน้ำนิ่งโดยอาศัยกาลักน้ำดูดน้ำขึ้นจากบ่อแล้วใช้เครื่องตะบันน้ำตะบันน้ำส่งขึ้นไปใช้ประโยชน์บนที่สูงต่อไปได้อีก

5.5.2 เครื่องตะบันน้ำ เวลานำเครื่องไปใช้งานแล้วปริมาณน้ำที่ จะเยอะมากเป็นเรื่องปกติ ดังนั้น ถ้าจะพัฒนาเครื่องต่อไปควรจะคิดหาวิธีน้ำทิ้งจากการทำงานของเครื่องกลับไปใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุดจะเป็นข้อดีมาก

5.5.3 เครื่องตะบันน้ำสามารถนำไปประกอบต่อเพิ่มแรงดันได้โดยการเพิ่มถังแรงดันอากาศเป็น 2 ถังในเครื่องเดียวกันก็ได้ เพื่อที่จะได้แรงดันน้ำขาออกแรงขึ้น

บรรณานุกรม

บัญญัติ นิยมवास. 2553. **ความเป็นมาของปั๊ม. เครื่องตะบันน้ำกับตัวเก็บประจุไฟฟ้า.** แหล่งที่มา:

<http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/2/hydraulic-pump/hydraulic-pump3.htm>, 25 เมษายน 2553.

วิบูลย์บุญยชโรกุล. 2529. **ปั๊มและระบบสูบน้ำ.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะ

วิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชาญ อดิงาน. 2523. **กลศาสตร์ของไหล.** 23 ปู้คเซนเตอร์, กรุงเทพมหานคร

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

ภาคผนวก ก
การคำนวณ

คำนวณหาประสิทธิภาพ

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ (Rankine)} &= \frac{qH}{Qh} \times 100 \\ &= \frac{(0.76)(7)}{(22.75)(0.5)} \times 100 \\ &= 46.77 \% \end{aligned}$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพ (Rankine) อยู่ที่ 46.77 %

คำนวณหาปริมาณน้ำ

ความเร็วไหลผ่านของน้ำในเส้นท่อ (น้ำขึ้นที่สูง)

$$\begin{aligned} v_0 &= \sqrt{\frac{2gh}{1+0.024\left(\frac{L}{d}\right)}} \\ &= \sqrt{\frac{(2)(9.81)(0.5)}{1+0.024\left(\frac{13}{0.012}\right)}} \\ &= 0.603 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความเร็วของน้ำในเส้นท่อ(น้ำขึ้นที่สูง) คือ 0.603 m/sec

คำนวณหาปริมาณน้ำ

ความเร็วไหลผ่านของน้ำสูงสุดที่ไหลในเส้นท่อ (ท่อน้ำเข้าระบบ)

$$\begin{aligned} v_m &= \frac{A_w}{A_d} \times v_0 \\ &= \frac{4.5}{4.5 \times 1.3} \times 0.603 \\ &= 0.463 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความเร็วของน้ำในเส้นท่อ(ท่อน้ำเข้าระบบ)คือ 0.463m/sec

คำนวณหาเวลา

หาระยะเวลาที่ทำให้เกิดความเร็วไหลผ่านของน้ำสูงสุด (v_m)

$$\begin{aligned}
 t_1 &= \frac{Lv_m}{gh} \\
 &= \frac{(13)(0.463)}{(9.81)(0.5)} \\
 &= 1.227 \text{ sec}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ระยะเวลาที่ทำให้เกิดความเร็วของน้ำสูงสุด (v_m) คือ 1.227 sec

คำนวณหาเวลา

หาระยะเวลาที่ลิ้นจ่ายน้ำยังเปิด (Check valve)

$$\begin{aligned}
 t_2 &= \frac{Lv_m}{gH} \\
 &= \frac{(13)(0.463)}{(9.81)(7)} \\
 &= 0.087 \text{ sec}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ระยะเวลาที่ลิ้นจ่ายน้ำยังเปิด (Check valve) คือ 0.087 sec

คำนวณหาจังหวะการกระแทก

$$\begin{aligned}
 \text{Number of Beat per minute} &= \frac{60}{t_1 + t_2} \\
 &= \frac{60}{1.227 + 0.087} \\
 &= 45.66 \text{ ครั้ง / นาที}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น จังหวะของการกระแทก จะได้ประมาณ 45.66 ครั้ง / นาที

คำนวณหาปริมาณน้ำ

หาปริมาณน้ำที่ไหลผ่านลิ้นทิ้งน้ำ

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

$$= 0.785(0.045^2) \times \left(\frac{0.463}{2}\right) \times 1.227 \times (45.66)$$

$$= 0.0206 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านดินทิ้งน้ำคือ $0.0206 \text{ m}^3 / \text{sec}$

คำนวณหาปริมาณน้ำ

หาปริมาณน้ำที่สูบได้ส่งไปใช้งานบนที่สูง

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

$$= 0.785(0.045^2) \times \left(\frac{0.463}{2}\right) \times 0.087 \times (45.66)$$

$$= 0.00146 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่สูบได้ส่งไปใช้งานบนที่สูง คือ $0.00146 \text{ m}^3 / \text{sec}$

คำนวณหาการไหลในท่อ

เป็น Laminar flow หรือ Turbulent flow

$$R_e = \frac{VD}{\nu}$$

$$= \frac{(0.603)(0.045)}{0.803 \times 10^{-6}}$$

$$= 33748.44$$

ดังนั้น $R_e > 2000$ จึงเป็นการไหลแบบ Turbulent flow

คำนวณหาเสีย เหน็ด ความฝืด

หาการเสียเหน็ดหรือพลังงานเนื่องจากความฝืด (Friction head loss) ท่อตรง

$$\begin{aligned}
 h_f &= f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \\
 &= (0.025) \cdot \frac{13}{0.045} \cdot \frac{0.603^2}{(2)(9081)} \\
 &= 0.1335 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น การเสียดหรือพลังงานจากความฝืดที่ตรง คือ 0.1335 m.

คำนวณหาเสียด ความฝืด

หาการเสียดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบ

$$\begin{aligned}
 h_L &= K \frac{v^2}{2g} \\
 &= (27.88) \frac{0.603^2}{(2)(9.81)} \\
 &= 0.516 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น การเสียดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบคือ 0.516 m.

คำนวณหาเสียด ความฝืด

หาการสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง

$$h_f + h_L = 0.1335 + 0.516 = 0.649 \text{ m.}$$

ดังนั้น จะได้การสูญเสียทั้งหมด คือ 0.649 m.

ภาคผนวก ข

รายการวัสดุ ในการสร้างเครื่องตะบันน้ำ

ตารางที่ ภาคผนวก ข-1 รายการวัสดุ

ลำดับที่	รายการวัสดุ	จำนวน		ราคา/หน่วย	ราคา(บาท)
	ท่อ Main หลัก				
1	ท่อ PVC 6" Class 8.5	1	M.	300	300
2	ท่อ PVC 4" Class 8.5	1	M.	120	120
3	ท่อ PVC 3" Class 8.5	1	M.	80	80
4	ท่อ PVC 1"1/2 Class 8.5	15	M.	40	600
5	ท่อ PVC 1/2" Class 8.5	1	M.	20	20
6	สายยาง 1/2	20	M.	20	400
	FITTING				
7	เช็ควาล์ว (Swing Check Valve) 1"1/2	1	ตัว	854	854
8	เช็ควาล์ว (Silent Check Valve) 1"1/2	2	ตัว	720	1440
9	Pressure Gauge 1/4"	2	ตัว	200	400
10	Ball Valve 1/2"	2	ตัว	40	80
11	Gate Valve 1"1/2	1	ตัว	375	375
12	Gate Valve 1/2"	1	ตัว	220	220
13	ก๊อก ปิด/เปิด	1	ตัว	55	55
	FITTING (PVC)				
14	ฝาครอบ 6"	2	ตัว	150	300
15	ฝาครอบ 4"	1	ตัว	150	150
16	ฝาครอบ 3"	1	ตัว	100	100
17	ข้อต่อลด 6" x 4"	1	ตัว	320	320
18	ข้อต่อลด 4" x 1"1/2	2	ตัว	95	190
19	ข้อต่อลด 3" x 1"1/2	1	ตัว	65	65
20	ต่อตรงเกลียวนอก 1"1/2	6	ตัว	17	102
21	ต่อตรงเกลียวนอกใน 1"1/2	1	ตัว	17	17

ตารางที่ ภาคผนวก ข-2 รายการวัสดุ

ลำดับที่	รายการวัสดุ	จำนวน		ราคา/หน่วย	ราคา(บาท)
	<u>FITTING (PVC)</u>				
22	ข้อต่อตรง 1/2"	2	ตัว	7	14
23	ข้อต่อตรง 1" 1/2	10	ตัว	15	150
24	ข้อลดเหลี่ยมกว่าในลิ 1/2" x 1/4"	2	ตัว	20	40
25	ข้องอ 90' 1/2"	2	ตัว	4	8
26	ข้องอ 90' 1" 1/2	2	ตัว	19	38
27	สามทาง 1" 1/2	2	ตัว	25	50
28	สามทาง 1" 1/2 x 1/2"	2	ตัว	30	60
30	ถังพักน้ำ 50 ลิตร	1	ใบ	370	370
31	ต่อตรงเกลียวนอก 2"	1	ตัว	27	27
32	ข้อลด 2" x 1"1/2	1	ตัว	20	20
	<u>อุปกรณ์ประกอบ</u>				
1	SUPPORT (เหล็ก)	1	เหมา	500	500
2	น็อต + แหวน	1	เหมา	300	300
3	อื่น ๆ	1	เหมา	700	700
รวม					8,465.00

