

โครงการวิศวกรรมชลประทาน

(207499)

ที่ 11 / 2552

เรื่อง

การศึกษาและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

(Study and Development of Hydraulic Air Pump)

โดย

นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิสษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา – ชลประทาน)

พุทธศักราช 2552

ใบรับรองโครงการวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา – ชลประทาน)

เรื่อง : การศึกษาและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ  
(Study and Development of Hydraulic Air Pump)

นามผู้ทำโครงการ : นายนิพัทธ์ ทองประไพ  
นางสาวอลิสษา น้อยนิล  
นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ได้รับพิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

.....

(อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิษณุเมตรี)

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

หัวหน้าภาควิชา

.....

(รศ.สันติ ทองพำนัก)

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

## บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การศึกษาและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

โดย : นายนิพัทธ์ ทองประไพ  
นางสาวอลิสษา น้อยนิล  
นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

อาจารย์ที่ปรึกษา : .....  
(อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี)  
...../...../.....

โครงการนวัตกรรมชลประทานนี้เป็นการศึกษาและสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานจากอากาศ ที่นำมาใช้ในการสูบน้ำเพื่อทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงหรือพลังงานไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าการใช้พลังงานจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศใช้หลักการลดความหนาแน่นของน้ำที่ทางออกจากระบบให้มีความหนาแน่นต่ำกว่าความหนาแน่นที่ทางเข้าของระบบเพื่อยกน้ำที่ทางออกให้ขึ้นสู่ที่สูง

ในการทดลองได้ทำการวัดอัตราการส่งน้ำขึ้นที่สูง 2, 3 และ 4 เท่าของระดับน้ำต้นทุนซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 เมตร นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ส่งขึ้นได้ จากการใช้ท่อส่งน้ำจำนวน 1 และ 2 ท่อ ซึ่งการทดลองทั้งหมดได้ทำภายในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ที่มีการจำลองการหมุนเวียนของน้ำ

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศพบว่า การใช้ท่อส่งน้ำที่ทางออก 2 ท่อ สามารถส่งน้ำได้ปริมาณมากกว่าการใช้ท่อส่งน้ำที่ทางออก 1 ท่อ ประมาณ 2 เท่า และยังพบว่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้ต่อปริมาณน้ำที่สูญเสีย ในการสูบน้ำที่ระดับความสูงต่างกัน จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างน้ำกับอากาศในปริมาณที่เหมาะสมและระดับความสูงของน้ำต้นทุน

## ABSTRACT

**Title : Study and Development of Hydraulic Air Pump**

**By : Mr. Nipat Tongprapai**

**Miss Alissa Noinil**

**Miss Sirikanya Laktan**

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

**(Dr.Chirakran Sirivitmairie)**

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

The objective of this irrigation engineering project is to study and develop a hydraulic air pump. The pump can be use without non-renewable energy such as fuel or electricity. The project is to innovate the way of using natural energy effectively. The hydraulic air pump uses principle of reducing density of water at the outlet compare to the inlet in order to lift water up.

The study was carried out by measuring flow rates at two, three and four times of one meter water source. Moreover, pumping discharges were compared between delivery methods, one and two outlet pipes. The experiment was conducted in a hydraulic laboratory with simulation of water delivery system.

As a result of testing the hydraulic air pump, two pipelines outlet produce more flow rate than one pipeline outlet approximately two times. The ratio between the collecting water to wasting water at different levels is depended on suitable ratios of water to air mix and levels of source water.

## คำนิยม

โครงการวิศวกรรมฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการเรียนวิชา โครงการวิศวกรรมชลประทาน (207499) โดยเป็นโครงการที่เกี่ยวกับการศึกษาและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Study and Development of Hydraulic Air Pump)

โครงการวิศวกรรมฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือสนับสนุนให้คำปรึกษาตลอดจนแนะนำแนวทางที่ดีจาก ดร.จิระกานต์ สิริวิษณุไมตรี ประธานกรรมการที่ปรึกษาโครงการ และผศ. นิมิตร เจริญทรัพย์พัฒน์ กรรมการที่ปรึกษาโครงการ จึงกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้จนสำเร็จการศึกษา หนังสือทุกเล่มที่ผู้จัดทำได้อ่าน รวมทั้งผู้แต่งหนังสือทุกท่าน ที่ผู้จัดทำได้นำมาใช้อ้างอิงประกอบการเขียนโครงการวิศวกรรมฉบับนี้

ขอขอบคุณ นายสุรพล เจริญชีพ บุคลากรประจำภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

สุดท้ายนี้ประโยชน์และความดีทั้งหลาย อันได้รับจากโครงการวิศวกรรมฉบับนี้ ผู้จัดทำขอบแต่ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ผู้มีพระคุณทุกท่าน ตลอดคณาจารย์ทุกท่าน

นิพัทธ์ ทองประไพ

อลิสยา น้อยนิล

ศิริกัญญา หลักฐาน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
ABSTRACT	ii
คำนิยาม	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญภาพ	xi
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 คำนำ	1
1.2 ขอบเขตการศึกษา	1
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ผลประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 ความหมายของเครื่องสูบน้ำ	3
2.2 ประเภทของเครื่องสูบน้ำ	4
2.2.1 เครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานสิ้นเปลือง	4
2.2.2 เครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานทดแทน	10
2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำ	20
2.3.1 ความดันและเสด	21
2.3.2 ความดันในของไหล	32
2.3.3 กำลังงานที่ต้องการและประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ	34
บทที่ 3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ	
3.1 ทฤษฎี	36
3.1.1 การเพิ่มพลังงานให้กับน้ำ	36
3.1.2 การลดความหนาแน่นของน้ำ	36
3.1 การวิเคราะห์เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ	36
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการ	
4.1 อุปกรณ์และวิธีการ	49

4.1.1 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้ไม้อัดเป็นวัสดุ	49
4.1.2 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นสังกะสีเป็นวัสดุ	56
4.1.3 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นเหล็กเป็นวัสดุ	62
4.2 วิธีการทดสอบแบบจำลอง	69
4.2.1 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้ไม้อัดเป็นวัสดุ	69
4.2.2 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นสังกะสีเป็นวัสดุ	74
4.2.3 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นเหล็กเป็นวัสดุ	80
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	
5.1 ตารางผลการทดลอง	86
5.2 ผลการทดลองและวิจารณ์	88
5.2.1 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูงต่างๆ (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)	88
5.2.2 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูงต่างๆ (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)	89
5.2.3 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลอง	90
5.3 วิจารณ์ผลการศึกษา	91
5.3.1 ประสิทธิภาพในการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำ	91
5.3.2 ประสิทธิภาพในการส่งน้ำขึ้นสู่ที่สูงของเครื่องสูบน้ำ	91
5.3.3 ข้อจำกัดของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ	92
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการศึกษา	93
6.2 ข้อเสนอแนะ	95
เอกสารอ้างอิง	96
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การออกแบบเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ	98
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ	107
ภาคผนวก ค การตรวจสอบการหาค่า Outliner โดยใช้วิธี Provability plot (Q-Q plot)	143
ภาคผนวก ง ภาพเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ และเครื่องผสมน้ำกับอากาศ	209

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ค่าความขรุขระของท่อ ( $\epsilon$ )	26
ตารางที่ 2.2	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับ Open Valves, Elbows และ Tees	29
ตารางที่ 2.3	การเพิ่มการสูญเสียสำหรับ Partially Open Valve	30
ตารางที่ 3.1	ปริมาณน้ำที่สามารถยกได้และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ ที่ระดับความสูงต่างๆ ในทางทฤษฎี	48
ตารางที่ 5.1	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ระดับความสูงต่างๆ (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)	86
ตารางที่ 5.2	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ระดับความสูงต่างๆ (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)	87
ตารางที่ 6.1	การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องสูบน้ำ	94
ตารางผนวกที่ 1	การวัดค่าปริมาตรน้ำสะสม ระยะเวลา และระดับน้ำที่ลดลง ที่ระดับความสูง 2 เมตร ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ (ครั้งที่ 1)	103
ตารางผนวกที่ 2	การวัดค่าปริมาตรน้ำสะสม ระยะเวลา และระดับน้ำที่ลดลง ที่ระดับความสูง 2 เมตร ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ (ครั้งที่ 2)	103
ตารางผนวกที่ 3	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)	108
ตารางผนวกที่ 4	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)	110
ตารางผนวกที่ 5	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)	112
ตารางผนวกที่ 6	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)	114
ตารางผนวกที่ 7	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)	116
ตารางผนวกที่ 8	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)	118



ตารางผนวกที่ 9	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)	120
ตารางผนวกที่ 10	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)	121
ตารางผนวกที่ 11	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)	123
ตารางผนวกที่ 12	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)	125
ตารางผนวกที่ 13	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)	127
ตารางผนวกที่ 14	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)	129
ตารางผนวกที่ 15	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)	131
ตารางผนวกที่ 16	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)	133
ตารางผนวกที่ 17	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)	135
ตารางผนวกที่ 18	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)	137
ตารางผนวกที่ 19	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)	139
ตารางผนวกที่ 20	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)	141
ตารางผนวกที่ 21	Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient test for normality	144
ตารางผนวกที่ 22	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 24$	145

ตารางผนวกที่ 23	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 25$	147
ตารางผนวกที่ 24	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 25$	149
ตารางผนวกที่ 25	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 25$	151
ตารางผนวกที่ 26	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 25$	153
ตารางผนวกที่ 27	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 24$	155
ตารางผนวกที่ 28	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 24$	157
ตารางผนวกที่ 29	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 29$	159
ตารางผนวกที่ 30	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 29$	161
ตารางผนวกที่ 31	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 29$	163

ตารางผนวกที่ 32	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), N = 17	165
ตารางผนวกที่ 33	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), N = 20	167
ตารางผนวกที่ 34	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), N = 19	169
ตารางผนวกที่ 35	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), N = 35	171
ตารางผนวกที่ 36	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), N = 35	174
ตารางผนวกที่ 37	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), N = 34	177
ตารางผนวกที่ 38	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), N = 35	180
ตารางผนวกที่ 39	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), N = 35	183
ตารางผนวกที่ 40	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), N = 35	186

ตารางผนวกที่ 41	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 35$	189
ตารางผนวกที่ 42	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 35$	192
ตารางผนวกที่ 43	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 35$	195
ตารางผนวกที่ 44	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 31$	198
ตารางผนวกที่ 45	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 33$	201
ตารางผนวกที่ 46	การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels $\alpha = 95\%$ (0.05), $N = 35$	204
ตารางผนวกที่ 47	การปรับแก้ชุดข้อมูล ที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 2, $N = 25$	207

## สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	เครื่องสูบน้ำโรตารีชนิดเฟือง (Gear Pump)	4
ภาพที่ 2.2	เครื่องสูบน้ำโรตารีชนิดครีป (Vane)	5
ภาพที่ 2.3	เครื่องสูบน้ำโรตารีตอน	5
ภาพที่ 2.4	เครื่องสูบน้ำโรตารีแบบสว่าน (Screw Pump)	6
ภาพที่ 2.5	ทิศทางการไหลและลักษณะทั่วไปของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump)	7
ภาพที่ 2.6	ทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด	8
ภาพที่ 2.7	แบบขับเคลื่อนโดยตรง	9
ภาพที่ 2.8	แบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump)	9
ภาพที่ 2.9	กังหันกระบอกหรือลูก	12
ภาพที่ 2.10	ส่วนประกอบของกังหันลมสูบน้ำ	14
ภาพที่ 2.11	ลักษณะการทำงานของ Pulsar Pump	15
ภาพที่ 2.12	เครื่องสูบน้ำพลังน้ำ (Hydraulic Ram)	16
ภาพที่ 2.13	เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump)	19
ภาพที่ 2.14	ความดันบรรยากาศ	21
ภาพที่ 2.15	เสตติคส์	23
ภาพที่ 2.16	การสูญเสียเสด	24
ภาพที่ 2.17	Moody Diagram	27
ภาพที่ 2.18	ค่า K สำหรับท่องอ ซึ่งรวมผลของความขรุขระที่ท่อด้วย	29
ภาพที่ 2.19	ค่า K สำหรับทางเข้า- ทางออกของท่อ pipe	30
ภาพที่ 2.20	ค่า K สำหรับท่อลด- ท่อขยายทันทีทันใด	31
ภาพที่ 2.21	ค่า K สำหรับท่อขยาย	31
ภาพที่ 2.22	แรงเนื่องจากของไหลในปริมาตรสี่เหลี่ยม	33
ภาพที่ 3.1	เครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานจากภายนอก	36
ภาพที่ 3.2	เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ	37
ภาพที่ 3.3	การผสมอากาศเพื่อลดความหนาแน่นให้กับน้ำ	37
ภาพที่ 3.4	การเปรียบเทียบปริมาตรกับน้ำหนักของน้ำและอากาศ	38

ภาพที่ 3.5	การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ	40
ภาพที่ 4.1	ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่วาล์วของแผ่นไม้ด้านล่าง	51
ภาพที่ 4.2	ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่ท่อของแผ่นไม้ด้านข้าง	51
ภาพที่ 4.3	ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่วาล์วของแผ่นไม้ด้านข้าง	52
ภาพที่ 4.4	การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านหน้า)	53
ภาพที่ 4.5	การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง)	54
ภาพที่ 4.6	การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง)	55
ภาพที่ 4.7	ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่วาล์วของแผ่นสังกะสีด้านล่าง	58
ภาพที่ 4.8	ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่ท่อของแผ่นสังกะสีด้านข้าง	58
ภาพที่ 4.9	ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่ท่อของแผ่นสังกะสีด้านหลัง	59
ภาพที่ 4.10	ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่วาล์วของแผ่นสังกะสีด้านล่าง	59
ภาพที่ 4.11	การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านหน้า)	60
ภาพที่ 4.12	การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง)	61
ภาพที่ 4.13	ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่วาล์วของแผ่นเหล็กด้านล่าง	64
ภาพที่ 4.14	ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่ท่อของแผ่นเหล็กด้านข้าง	65
ภาพที่ 4.15	ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่ท่อของแผ่นเหล็กด้านหลัง	65
ภาพที่ 4.16	ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่วาล์วของแผ่นเหล็กด้านล่าง	66
ภาพที่ 4.17	การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านหน้า)	67
ภาพที่ 4.18	การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง)	68
ภาพที่ 4.19	ส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้ไม้อัดเป็นวัสดุ	69
ภาพที่ 4.20	การติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ	70
ภาพที่ 4.21	การปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ	71
ภาพที่ 4.22	การผสมน้ำกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม	72
ภาพที่ 4.23	การระบายน้ำออก	73
ภาพที่ 4.24	ส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นสังกะสีเป็นวัสดุ	74
ภาพที่ 4.25	การติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ	76
ภาพที่ 4.26	การปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ	77
ภาพที่ 4.27	การผสมน้ำกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม	78
ภาพที่ 4.28	การระบายน้ำออก	79

ภาพที่ 4.29	ส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นเหล็กเป็นวัสดุ	80
ภาพที่ 4.30	การติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ	82
ภาพที่ 4.31	การปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ	83
ภาพที่ 4.32	การผสมน้ำกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม	84
ภาพที่ 4.33	การระบายน้ำออก	85
ภาพที่ 5.1	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหล และระดับความสูง (ท่อน้ำออก 1 ท่อ)	88
ภาพที่ 5.2	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหล และระดับความสูง (ท่อน้ำออก 2 ท่อ)	89
ภาพที่ 5.3	กราฟการเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลอง ระหว่างท่อน้ำ 1 ท่อ กับท่อน้ำ 2 ท่อ ที่ระดับความสูงต่างๆ	90
ภาพผนวกที่ 1	แรงดันที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ	99
ภาพผนวกที่ 2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสะสมกับเวลา (ครั้งที่ 1)	104
ภาพผนวกที่ 3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสะสมกับเวลา (ครั้งที่ 2)	105
ภาพผนวกที่ 4	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 1-1	146
ภาพผนวกที่ 5	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 2-1	148
ภาพผนวกที่ 6	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 2-2	150
ภาพผนวกที่ 7	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 3-1	152
ภาพผนวกที่ 8	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 3-2	154
ภาพผนวกที่ 9	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 1-1	156
ภาพผนวกที่ 10	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 1-2	158





ภาพผนวกที่ 25	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 3-2	197
ภาพผนวกที่ 26	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 3 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 1-1	200
ภาพผนวกที่ 27	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 3 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 2-1	203
ภาพผนวกที่ 28	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 3 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 3-1	206
ภาพผนวกที่ 29	กราฟ Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 2	208
ภาพผนวกที่ 30	เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านหน้า)	210
ภาพผนวกที่ 31	เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง 1)	211
ภาพผนวกที่ 32	เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง 2)	212
ภาพผนวกที่ 33	เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านหลัง)	213
ภาพผนวกที่ 34	เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านบน)	214
ภาพผนวกที่ 35	เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านล่าง)	215
ภาพผนวกที่ 36	เครื่องผสมน้ำกับอากาศท่อส่งน้ำ 1 ท่อ (ภาพด้านหน้า)	216
ภาพผนวกที่ 37	เครื่องผสมน้ำกับอากาศท่อส่งน้ำ 1 ท่อ (ภาพด้านข้าง)	217
ภาพผนวกที่ 38	เครื่องผสมน้ำกับอากาศท่อส่งน้ำ 1 ท่อ (ภาพด้านหลัง)	218
ภาพผนวกที่ 39	เครื่องผสมน้ำกับอากาศท่อส่งน้ำ 2 ท่อ (ภาพด้านหน้า)	219
ภาพผนวกที่ 40	เครื่องผสมน้ำกับอากาศท่อส่งน้ำ 2 ท่อ (ภาพด้านข้าง 1)	220
ภาพผนวกที่ 41	เครื่องผสมน้ำกับอากาศท่อส่งน้ำ 2 ท่อ (ภาพด้านข้าง 2)	221

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 คำนำ

ปัจจุบันมีการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือย ทำให้เกิดปัญหาและส่งผลกระทบต่อต่างๆมากมาย และด้วยในอัตราการใช้พลังงานในระดับนี้นั้นสังคมมนุษย์จะไม่สามารถอยู่ได้อย่างยั่งยืนจึงจำเป็นต้องปรับแนวทางการใช้พลังงานใน โลก เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนให้ได้ในอนาคต เนื่องจากประชากร โลกมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิง เป็นจำนวนมาก จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (วิบูลย์,2529)

ดังนั้นเราจึงต้องหาเครื่องสูบน้ำแบบพลังงานทดแทนมาใช้ทดแทนเครื่องสูบน้ำพลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิง เพื่อเป็นเครื่องมือสำคัญที่จำเป็นต่อความอยู่ดีกินดีของมนุษยชาติทุกด้าน นับตั้งแต่งานจัดหาและส่งน้ำเพื่ออุปโภคบริโภค การเกษตร งานอุตสาหกรรม คมนาคม ตลอดจนการบำบัดน้ำเสียเพื่อรักษาภาวะแวดล้อมที่ดีให้กับมนุษย์ จึงมีแนวความคิดในการคิดค้นอุปกรณ์ที่เป็นแนวทางเลือกหนึ่งของมนุษย์ โดยการใช้พลังงานทดแทนที่ได้จากพลังงานอากาศ แทนการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิง คือเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump) นั่นเอง

เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump) เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีกลไกการทำงานโดยอาศัยการลดความหนาแน่นของน้ำทางจุดออกของระบบเพื่อให้มีความหนาแน่นน้อยกว่าพลังงานน้ำต้นทุน ลักษณะการทำงานเป็นเครื่องสูบน้ำที่ใช้หลักการผสมน้ำกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้น้ำไหลขึ้นสู่ที่สูง

### 1.2 ขอบเขตการศึกษา

1. สร้างและศึกษาเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump) เพื่อนำเครื่องสูบน้ำไปใช้งานในแหล่งน้ำ ประเภท น้ำตก แม่น้ำ และริมคลอง
2. ทดสอบเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump) ในสถานที่จำลองการหมุนเวียนของน้ำ

### 1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและจัดสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump)
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและทดสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump)
3. เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการทำงานระหว่างเครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานสิ้นเปลือง เช่น เครื่องสูบน้ำพลังงานไฟฟ้า (Electrical Pump) หรือ เครื่องสูบน้ำแบบเครื่องยนต์ (Engine Pump) และเครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานทดแทน (Alternative Energy Pump) เช่น เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump)
4. เพื่อนำเสนอผลงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump) ผู้ผู้ที่สนใจในงานเกษตร กำแพงแสน

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาและจัดสร้างแบบจำลองเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump) คือ

1. มีความรู้เกี่ยวกับการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump) รวมทั้งวิธีการสร้าง วิธีการใช้งาน ประสิทธิภาพ และข้อดี-ข้อเสียที่เกิดขึ้นสำหรับเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ
2. มีความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีการเพิ่มความสูงให้กับน้ำ โดยวิธีการลดความหนาแน่นของน้ำและหลักการคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับความสูง
3. เสนอผลงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump) ผู้ผู้ที่สนใจในงานเกษตร กำแพงแสน
4. เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump) เป็นเครื่องสูบน้ำที่ลดการใช้พลังงานฟุ่มเฟือย รักษาสิ่งแวดล้อม ประหยัดค่าใช้จ่าย รวมถึงเป็นการลดภาวะโลกร้อนด้วย
5. มีต้นแบบของเครื่องสูบน้ำพลังงาน (Hydraulic Air Pump) สามารถนำไปพัฒนาต่อได้

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### 2.1 ความหมายของเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้นอาจได้มาจาก เครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงลม แรงคน หรือพลังงานแหล่งอื่นๆ

เครื่องสูบน้ำมีส่วนในการพัฒนาความเป็นอยู่ของมนุษยชาติมาตั้งแต่อดีตและจะมีมากยิ่งขึ้นต่อไป ในอดีตประชากรส่วนใหญ่ต้องอาศัยอยู่ใกล้ๆกับแหล่งน้ำเพื่อความสะดวกในการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคและทำการเกษตร แหล่งน้ำใดที่อยู่ต่ำจากผิวดินมากไม่สะดวกต่อการใช้ มนุษย์ก็ได้พยายามคิดค้นเครื่องมือ ซึ่งมีลักษณะเป็นเครื่องสูบน้ำชนิดต่างๆเพื่อนำเอาน้ำมาใช้ให้สะดวกขึ้น เพื่อให้สามารถทำการเพาะปลูกได้มากและห่างไกลจากแหล่งน้ำมากขึ้น เครื่องสูบน้ำหรือเครื่องมือที่คิดค้นขึ้นมาหลายร้อยปีแล้วบางชนิดก็ยังคงมีใช้งานอยู่ในหลายๆประเทศในปัจจุบัน (วิบูลย์,2529)

ในปัจจุบันเครื่องสูบน้ำเป็นเครื่องมือสำคัญที่จำเป็นต่อความอยู่ดีกินดีของมนุษยชาติทุกด้าน นับตั้งแต่ งานจัดหาและส่งน้ำเพื่ออุปโภคบริโภค การเกษตร งานอุตสาหกรรม คมนาคม ตลอดจนการบำบัดน้ำเสียเพื่อรักษาภาวะแวดล้อมที่ดีให้กับมนุษย์ ซึ่งวิวัฒนาการของเครื่องสูบน้ำในปัจจุบันได้เปลี่ยนไปจากเดิมที่ใช้พลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาเป็นการใช้พลังงานจากไอน้ำ จากเครื่องยนต์ และที่นิยมกันมาก คือ การใช้ไฟฟ้า เนื่องจากความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน (วิบูลย์,2529)

## 2.2 ประเภทของเครื่องสูบน้ำ

### 2.2.1 เครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานกล

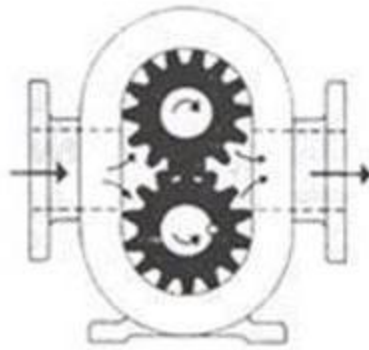
เป็นเครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้นอาจได้มาจากเครื่องยนต์มอเตอร์ หรือพลังงานเชื้อเพลิง เป็นต้น

#### 2.2.1.1 ประเภทเครื่องสูบน้ำแบบโรตารี (Rotary Pump)

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบโรตารี (Rotary Pump)

เครื่องสูบน้ำแบบโรตารีเพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง ของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออก โดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกล ซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับชิ้นส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์ทำให้เกิดการแทนที่เป็นการเพิ่มปริมาตรของของเหลว (Positive Displacement) ให้ทางด้านจ่าย ตัวอย่างของเครื่องสูบน้ำประเภทนี้ได้แก่ (วิบูลย์,2529)

1. เครื่องสูบน้ำโรตารีชนิดเฟือง (Gear Pump) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด ประกอบด้วยฟันเฟืองหรือเกียร์สองตัวหมุนขบกันในห้องสูบ ของเหลวทางด้านดูดจะไหลเข้าไปอยู่ในร่องฟันซึ่งจะหมุนและพาของเหลวเข้าไปสู่ทางด้านจ่าย (วิบูลย์,2529)

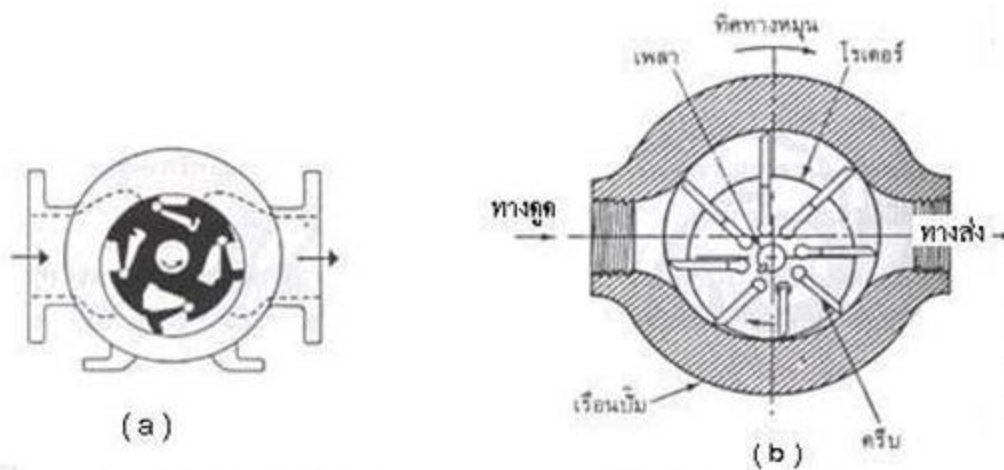


ภาพที่ 2.1 เครื่องสูบน้ำโรตารีชนิดเฟือง (Gear Pump)

(ที่มา : วิบูลย์,2529)

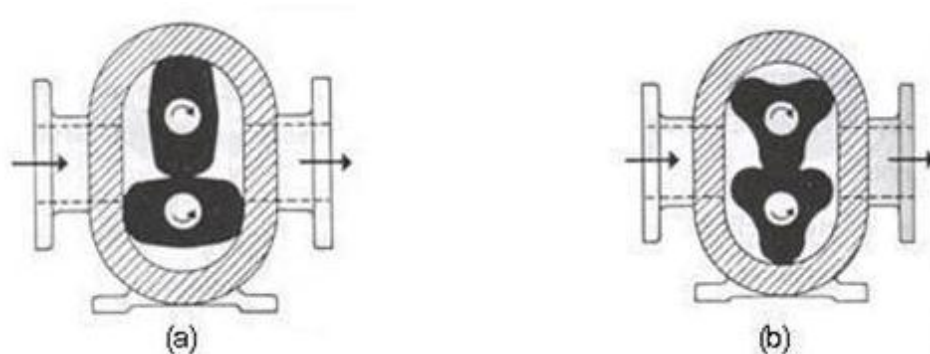
2. เครื่องสูบน้ำโรตารีชนิดครีป (Vane Pump) เครื่องสูบน้ำแบบนี้มีห้องสูบเป็นรูปทรงกระบอกและมีโรเตอร์ซึ่งเป็นทรงกระบอกเหมือนกันวางเยื้องศูนย์กลางให้ผิวนอกของโรเตอร์สัมผัสกับผนังของห้องสูบที่กึ่งกลางทางดูดกับทางด้านจ่าย รอบๆโรเตอร์จะมีครีป ซึ่งเลื่อนได้ในแนวเข้าออกจากจุดศูนย์กลางมาชนกับผนังของ

ห้องสูบ เมื่อโรเตอร์ หมุนครีบล้านี้ก็จะกวาดเอาของเหลวซึ่งอยู่ระหว่างโรเตอร์กับห้องสูบไปสู่ทางด้านจ่าย มีข้อดีกว่าชนิดเฟืองคือการสึกหรอของผนังห้องสูบหรือหลายครีบล้านี้จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานมาก เพราะครีบล้านี้สามารถเลื่อนออกมาจนชนกับผนังของห้องสูบได้สนิท (วิบูลย์,2529)



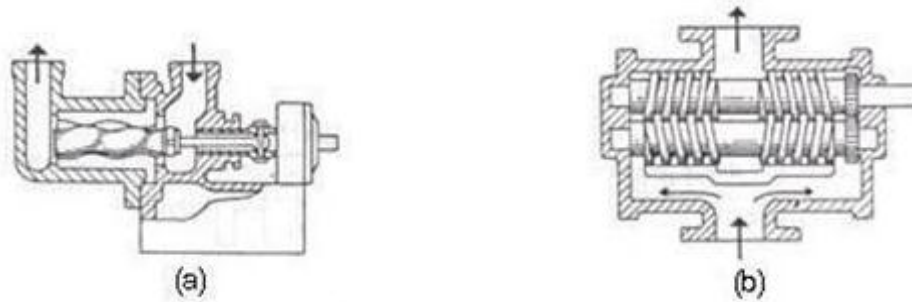
ภาพที่ 2.2 เครื่องสูบน้ำโรตารีชนิดครีบล้าน (Vane) (a) Swing Vane Pump (b) Slide Vane Pump  
(ที่มา : วิบูลย์,2529)

3. เครื่องสูบน้ำโรตารีชนิดลอน (Lobe Pump) มีลักษณะเหมือนชนิดเฟือง แต่โรเตอร์มีลักษณะเป็นลอนหรือพู สองถึงสี่ลอนช่องว่างระหว่างลอนมีลักษณะแบนและกว้าง อัตราการสูบจึงสูงกว่า แต่การถ่ายเทของเหลวของชนิดลอนมีประสิทธิภาพต่ำมาก จึงจำเป็นต้องมีเฟืองนอกห้องสูบอีกชุดหนึ่งเพื่อช่วยให้จังหวะการหมุนของโรเตอร์ อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว (วิบูลย์,2529)



ภาพที่ 2.3 เครื่องสูบน้ำโรตารีชนิดลอน (a) สองลอน (Two lobe) (b) สามลอน (Three lobe)  
(ที่มา : วิบูลย์,2529)

4. เครื่องสูบน้ำโรตารีชนิดสว่าน (Screw Pump) เครื่องสูบน้ำชนิดนี้เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุนในลักษณะขั้วดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังของห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางจ่ายจำนวนสว่านหรือโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว (วิบูลย์,2529)



ภาพที่ 2.4 เครื่องสูบน้ำโรตารีแบบสว่าน (Screw Pump) (a) สว่านเดี่ยว (Singer Screw)

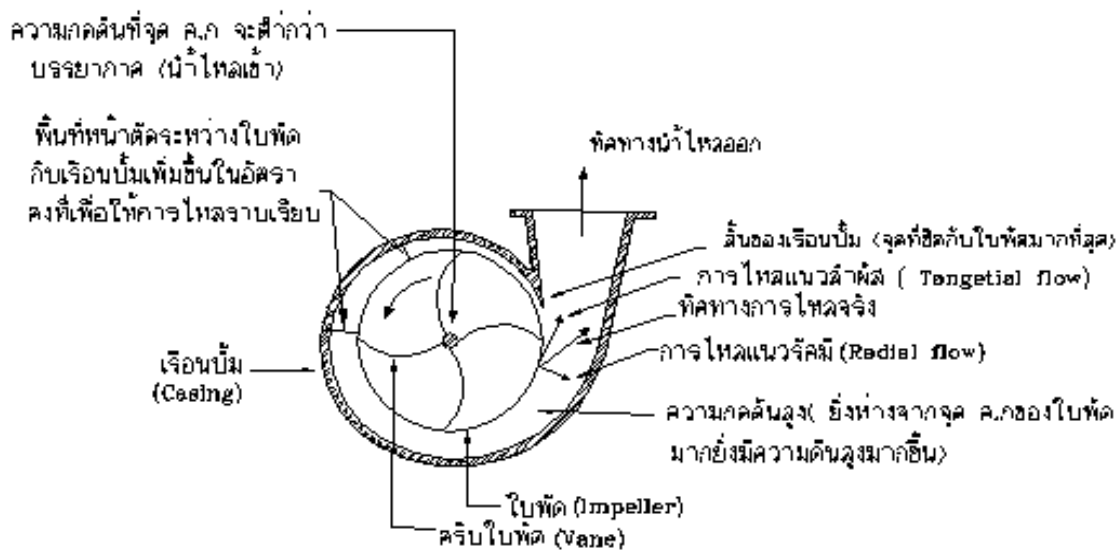
(b) สองสว่าน (Two Screw)

(ที่มา : วิบูลย์,2529)

#### 2.2.1.2 ประเภทเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump)

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump)

เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง บางครั้งเรียกว่าแบบ Roto-dynamic นิยมใช้ในการสูบน้ำ สารหล่อลื่น สารละลายเคมี เป็นต้น มีประสิทธิภาพในการสูบถึง 90% สามารถออกแบบเพื่อการทำงานที่ระดับความดันสูงได้ ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในเรือนเครื่องสูบน้ำ จะทำให้เกิดการขั้วดันของไหลเรียกว่าโรเตอร์ หรือใบพัด (Impeller) ตัวแพร่กระจายน้ำ (Diffuser) จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเสดความเร็ว (Velocity head) ให้อยู่ในรูปความดันสถิตของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้า ซึ่งขนานกับพื้นระนาบและถูกผลักดันออกไปตามแนวรัศมีของใบพัดหรือโรเตอร์ กลไกการส่งผ่านพลังงานจะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหล ก่อให้เกิดความแตกต่างความดันภายในระบบเกิดการขั้วดันของไหลให้เกิดการไหลในแนวเส้นรอบวงทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) เกิดการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทางออกไปทางท่อส่ง ดังนั้นของไหลที่ถูกขั้วดันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เกิดจากผลรวมของแรงทั้งสอง (วิบูลย์,2529)

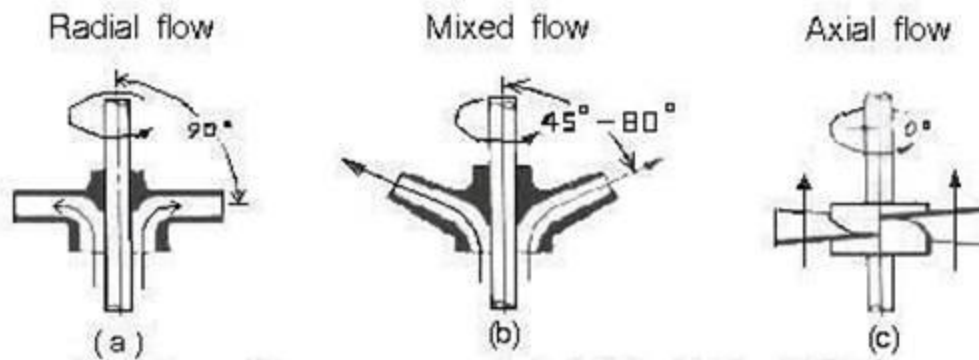


ภาพที่ 2.5 ทิศทางการไหลและลักษณะทั่วไปของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump)  
(ที่มา : วิบูลย์,2529)

เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump) สามารถแบ่งได้หลายแบบ ดังนี้

1. แบบ Volute เป็นเครื่องสูบน้ำประเภทแรงดันต่ำให้ความดันด้านปล่อยน้อยกว่า 30 เมตรของน้ำ
2. แบบ Diffuser เป็นเครื่องสูบน้ำแรงดันปานกลาง มีลักษณะเหมือนเครื่องสูบน้ำแบบ Volute แต่มีแผ่นกระจายของไหล (Guide vane) ติดอยู่รอบๆเรือนของเครื่องสูบน้ำและยังทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของไหล เพื่อที่จะทำให้เกิดความดันที่สูงขึ้น
3. แบบ Regenerative turbine เป็นเครื่องสูบน้ำประเภทแรงดันสูง ภายในมีชุดใบพัดหลายใบติดอยู่บนเพลาเดียวกันใบพัด 1 ชุดเรียกว่า 1 สเตจ ของไหลที่ถูกสูบเมื่อไหลออกจากสเตจที่หนึ่งก็จะถูกส่งไปยังสเตจต่อไป
4. แบบ Radial Flow จะอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของเหลวจะไหลออกจากใบพัดในทิศทางตั้งฉากกับเพลาซึ่งใบพัดชนิดนี้จะให้ Head มากกว่า แบบ Mixed flow และ Axial flow แต่จะให้ Flow จะน้อยกว่า
5. แบบ Axial flow เครื่องสูบน้ำแบบนี้ของไหลจะไหลในแนวแกนเพลาขับ สามารถใช้ได้กับของไหลที่มีสารแขวนลอยนิยมใช้มากในโรงงานที่ต้องการเสดความดันต่ำ แต่มีอัตราการไหลสูง
6. แบบ Mixed flow เครื่องสูบน้ำแบบนี้จะทำให้การไหลทั้งในแนวแกนและแนวรัศมีของใบพัด ทำให้เกิดแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนขึ้น ซึ่งจะช่วยในการขับเคลื่อนของไหล นิยมใช้กับงานที่ต้องการเสดความดันต่ำๆ แต่มีอัตราการไหลสูง (วิบูลย์,2529)





ภาพที่ 2.6 ทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด (b) ในแนวทำมุมเอียงกับเพลลา (Mixed flow) และ (c) ในแนวขนานกับเพลลา (Axial flow)

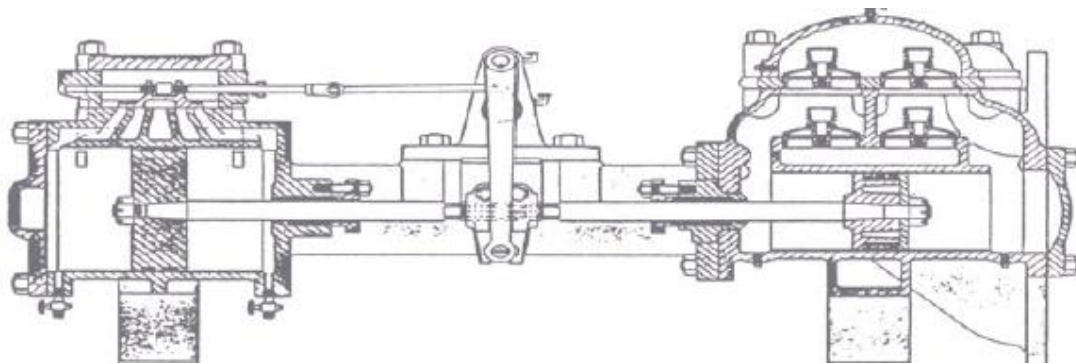
(ที่มา : วิบูลย์,2529)

### 2.2.1.3 ประเภทเครื่องสูบน้ำแบบเลื่อนชักหรือลูกสูบชัก (Reciprocating Pump)

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบเลื่อนชักหรือลูกสูบชัก (Reciprocating Pump)

เครื่องสูบน้ำแบบเลื่อนชักหรือลูกสูบชัก (Reciprocating Pump) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ มีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น เหมาะสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนักแต่ต้องการเฮดในระบบที่สูง ของเหลวที่สูบจะต้องมีความสะอาด ไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอ การอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะไม่ต่อเนื่องทำให้การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วงๆ (pulsation) แบ่งออกได้ดังนี้

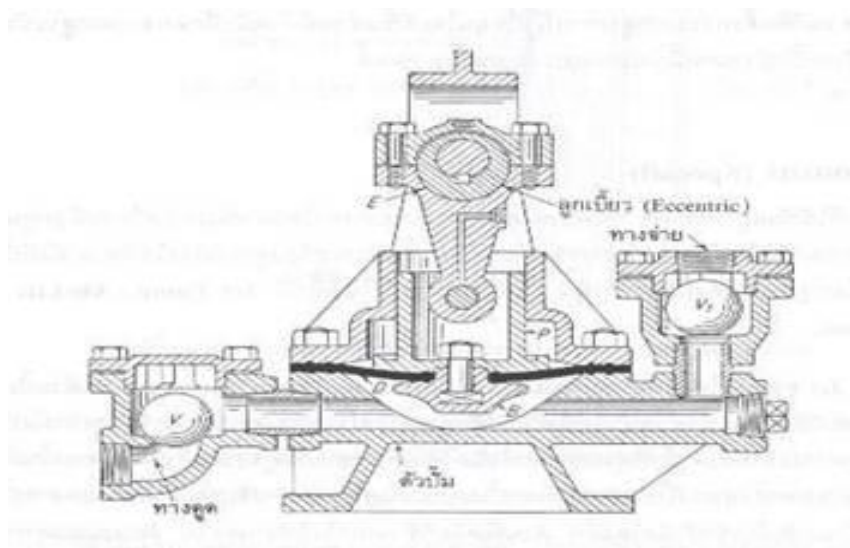
1.แบบขับเคลื่อนโดยตรง ใช้น้ำมันไฮดรอลิก หรือไอน้ำเป็นตัวเพิ่มพลังงานให้แก่ลูกสูบเคลื่อนที่อัดของไหลให้มีความดันสูงขึ้น มีทั้งแบบลูกสูบเดี่ยว (Simplex) และแบบ Duplex (ด้านซ้ายของภาพที่ 2.7) เป็นส่วนที่ไอน้ำเข้า และด้านขวาของภาพที่ 2.7) เป็นส่วนที่ของไหลออก (วิบูลย์,2529)



ภาพที่ 2.7 แบบขับเคลื่อนโดยตรง  
(ที่มา : วิบูลย์,2529)

2. แบบกำลัง (Power) พลังงานจากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลัง ถ่ายทอดกำลังโดยสายพานหรือเพลาคงที่ความเร็วคงที่ เครื่องสูบน้ำแบบนี้จะสูบของไหลได้ในอัตราที่เกือบคงที่ ให้แรงดันขับที่สูง ดังนั้นจะต้องติดตั้งลิ้นระบายความดัน เพื่อช่วยป้องกันระบบท่อส่งและตัวเครื่องสูบน้ำไม่ให้เกิดความเสียหายเนื่องจากแรงดันที่สูงเกินไป (วิบูลย์,2529)

3. แบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) เครื่องสูบน้ำแบบนี้จะมีแผ่นไดอะแฟรมทำด้วยอลูมิเนียม ซึ่งมีความหยุ่นตัวและแข็งแรงจะทำหน้าที่ในการดูดและอัดของไหลให้มีความดันสูงขึ้น แผ่นไดอะแฟรมจะถูกยึดติดอยู่กับที่ นิยมใช้กับงานที่อัตราการสูบไม่มากนักและของไหลมีสารแขวนลอยปะปนมาด้วย (วิบูลย์,2529)



ภาพที่ 2.8 แบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump)  
(ที่มา : วิบูลย์,2529)

#### 2.2.1.4 ประเภทเครื่องสูบน้ำแบบพิเศษ (Specialized Pump)

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบพิเศษ (Specialized Pump)

เครื่องสูบน้ำแบบพิเศษ (Specialized Pump) เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีลักษณะพิเศษนอกเหนือไปจากเครื่องสูบน้ำแบบต่างๆ ที่กล่าว ปัจจุบันเครื่องสูบน้ำแบบพิเศษมีใช้อย่างแพร่หลายดังนี้

1. แบบ Canned มีคุณสมบัติพิเศษกว่าแบบต่างๆ คือสามารถป้องกันการรั่วไหลของของไหลได้อย่างสมบูรณ์ภายในเรือนเครื่องสูบน้ำจะมี Impeller rotor หมุนขับเคลื่อนของไหล โดยได้รับกำลังงานจากมอเตอร์
2. แบบ Intermediate Temperature ใช้ในการขับเคลื่อนของไหลที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 300 องศาเซลเซียส ชิ้นส่วนภายในเครื่องสูบน้ำถูกออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อสามารถทำให้ทนทานต่อความร้อนจากที่ไหลจากของไหลที่จะใช้สูบน้ำได้
3. แบบ Turbo จะเป็นการรวมเอากังหันไอน้ำ มาใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง นิยมใช้กับงานที่ต้องการความดันด้านปล่อยสูง มีทั้งแบบหนึ่งสเตจหรือสองสเตจ
4. แบบ Cantilever จะติดตั้งในแนวตั้งใช้กับงานที่ไม่ต้องการให้ชุดเบริงหรือชิ้นส่วนภายในสัมผัสกับของไหลที่ใช้ในการสูบ เนื่องจากเครื่องสูบน้ำแบบนี้ได้ออกแบบให้ชุดใบพัดยึดติดกับเพลลาขับโดยไม่มีเบริงในตัวเครื่องสูบน้ำ
5. แบบ Vertical turbine จะใช้กับงานสูบน้ำบาดาลที่มีความลึกมากๆ จึงมีหลายสเตจในเพลลาขับเดียวกัน เพื่อเพิ่มความดันของของไหลให้มีค่าสูงขึ้นในแต่ละสเตจ ทำให้สามารถสูบน้ำจากก้นบ่อที่มีความลึกมาสู่ปากบ่อได้ (วินูลย์,2529)

#### 2.2.2 เครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานทดแทน

เป็นเครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว โดยมีกลไกที่ได้จากพลังงานธรรมชาติที่นำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถนำพลังงานที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ได้ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้กับของเหลวนั้นอาจได้มาจากพลังงานลม พลังงานคลื่นน้ำ พลังงานอากาศ พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

##### 2.2.2.1 กังหันกระบอกหรือหลุก

ลักษณะและการทำงานของกังหันกระบอกหรือหลุก

กังหันกระบอก หรือ หลุก ที่เกษตรกรชาวภาคเหนือได้ประดิษฐ์และสร้างขึ้นใช้งานขึ้นเอง โดยใช้กระบอกไม้ไผ่เป็นเครื่องดัก มีแกนไม้จริงตั้งอยู่บนคานสลักที่มีรูปลายองขนขนาดโตประมาณ 8 ถึง 10 นิ้ว ซึ่งใช้ไม้จริงขนาดเล็ก ของวงใช้ไม้ไผ่ผ่าซีกเล็กๆหลายอันมัดซ้อนกัน ใบพัดจะทำด้วยไม้ไผ่สาน หรือใช้แผ่น

กระดานบางๆ หรือสังกะสี ที่ขอบวงติดกระบอกเอียงไว้สำหรับตักน้ำได้ทั้งสองข้าง เมื่อใบพัดถูกกระแส น้ำ กังหันน้ำจะหมุนไป แล้วกระบอกเหล่านั้นก็จะตักน้ำขึ้นมาเทลงในรางทั้งสองข้างไปสู่พื้นนา หลุกหรือ กังหันกระบอกดังกล่าวสามารถที่จะใช้งานได้ไม่คงทนถาวรนัก คือใช้งานได้เพียงปีเดียวก็ต้องสร้างกันใหม่ เพราะไม่สามารถที่จะทนทานต่อกระแส น้ำในฤดูน้ำได้ อีกทั้งยังมีข้อเสียหลายประการ เช่น เมื่อระดับน้ำขึ้นลง จะต้องเลื่อนคานสลักขึ้นตามระดับน้ำ จะต้องทำทางบังคับน้ำ จะต้องปักเสาให้ลึก ซึ่งมีปัญหายุ่งยากพอสมควร และมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก (บรรจง,2525)

หากต้องการยกน้ำสูงมาก จะต้องสร้างวงล้อหลุกใหญ่โตตามไปด้วยและมีการสูญเสีย น้ำเป็นจำนวนมาก จากข้อบกพร่องดังกล่าว งานช่างกล สำนักงานชลประทานที่2 จึงได้พิจารณาออกแบบและสร้างกังหันน้ำ สูบน้ำชนิดทุ่นลอยขึ้น เพื่อเป็นการปรับปรุงให้อยู่ในลักษณะคงทนถาวร และเป็นการลดความยุ่งยากดังที่กล่าว ของหลุกหรือกังหันกระบอกที่ใช้กันดั้งเดิมให้น้อยลง กังหันน้ำสูบน้ำที่ออกแบบและปรับปรุงขึ้นใหม่เป็นแบบ ลอยน้ำ ใบพัดทำด้วยเหล็กติดตั้งอยู่บนทุ่นลอยสามารถเปลี่ยนระดับขึ้นลงได้เองตามระดับน้ำ เมื่อถึงฤดูน้ำมาก ย่อมสามารถนำเก็บเข้าจอดที่ฝั่งแม่น้ำได้ สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการขนส่ง โครงสร้างไม่ใหญ่โตมากนัก มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้สูบน้ำจากแม่น้ำลำธารที่มีความเร็วของกระแส น้ำและปริมาณน้ำมาก ซึ่งต้องการ ความลึกของแม่น้ำไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร ความกว้างของแม่น้ำไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร ความเร็วของกระแส น้ำไม่น้อยกว่า 1.00 เมตรต่อวินาที ย่อมสามารถสูบน้ำขึ้นไปใช้ในการเพาะปลูก อุปโภคและบริโภคยังพื้นที่สูงๆได้ ถึง 45 เมตร โครงสร้างทั้งหมดทำด้วยโครงเหล็กใช้เครื่องสูบน้ำติดตั้งแทนกระบอกไม้ไผ่เพื่อเป็นการแก้ปัญหา การรั่วไหลในขณะส่งน้ำ กังหันน้ำสูบน้ำนี้สามารถสูบน้ำได้ถึง 10,000 ลิตร ต่อชั่วโมง ซึ่งปริมาณน้ำจะได้มาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับความสูงของพื้นที่ส่งน้ำและความยาวท่อ หากพื้นที่ส่งน้ำส่งน้ำสูงมากย่อมสูบน้ำได้จำนวน น้อย แต่ถ้าพื้นที่ส่งน้ำต่ำย่อมสูบน้ำได้ปริมาณมาก (บรรจง,2525)



ภาพที่ 2.9 กังหันกระบอกหรือหลุก (ที่มา : บรรจง,2525)

#### 2.2.2.2 กังหันลมแบบสูบชัก

##### ลักษณะและการทำงานของกังหันลมแบบสูบชัก

กังหันลมแบบสูบชักเป็นกังหันลมชนิดหลายใบ ส่วนใหญ่ใช้ในการสูบน้ำจากบ่อ สระน้ำ หนองน้ำ และแหล่งน้ำอื่นๆ ที่มีความลึกไม่มากนัก เพื่อใช้อุปโภค ใช้ในทางการเกษตรและใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มีความสามารถในการยกหรือดูดน้ำได้ในระยะที่สูงกว่าแบบระหัด เพื่อความแข็งแรงวัสดุที่ใช้ทำใบพัดและโครงสร้างเสาของกังหันลมชนิดนี้มักเป็นโลหะเหล็ก ถ้าผลิตในประเทศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด ประมาณ 4 - 6 เมตร จำนวนใบพัด 18, 24, 30, 45 ใบ การติดตั้งแกนใบพัดสูงจากพื้นดินประมาณ 12-15 เมตร ตัวห้องเครื่องถ่ายแรงจะเป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือเฟืองขับ กระบอกสูบน้ำมีขนาดตั้งแต่ 3-15 นิ้ว ปริมาณน้ำที่สูบได้ขึ้นอยู่กับขนาดกระบอกสูบน้ำและปริมาณความเร็วลม กังหันลมเริ่มหมุนทำงานที่ความเร็วลม 3.0 เมตร/วินาที ขึ้นไป และสามารถทำงานต่อเนื่องได้ด้วยแรงเฉื่อยที่ความเร็วลม 2.0 เมตร/วินาที แกนใบพัดสามารถหมุนเพื่อรับแรงลมลมได้รอบตัว โดยมีใบแพนหางเสือเป็นตัวควบคุมการหมุน มีระบบความปลอดภัยหยุดหมุนในกรณีที่ลมแรงเกินกำหนด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.),ม.ป.ป.)

ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลมแบบสูบชักเพื่อสูบน้ำ

1. ใบพัด ทำจากเหล็กกล้าวไนท์หรือแผ่นสังกะสีชนิดหนาอย่างดี ไม่เป็นสนิมทนทานต่อกำลังลม ทำหน้าที่รับแรงลมแล้วเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมเป็นพลังงานกลและส่งต่อไปยังเพลลาประธาน

2. ตัวเรือน ประกอบไปด้วยเพลลาประธานหรือเพลลาหลักทำด้วยเหล็กสแตนเลสที่มีความแข็งแรงเหนียวทนต่อแรงบิดสูง ชุดตัวเรือนเพลลาประธานเป็นตัวหมุนถ่ายแรงกลเข้าตัวห้องเครื่อง ภายในห้องเครื่องจะเป็นชุดถ่ายแรงและเกียร์ที่เป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือแบบเฟืองขับ เพื่อถ่ายเปลี่ยนแรงจากแนวราบเป็นแนวตั้งเพื่อดีงัก้านชักขึ้นลง ใช้น้ำมันเป็นตัวหล่อลื่นในห้องเครื่อง

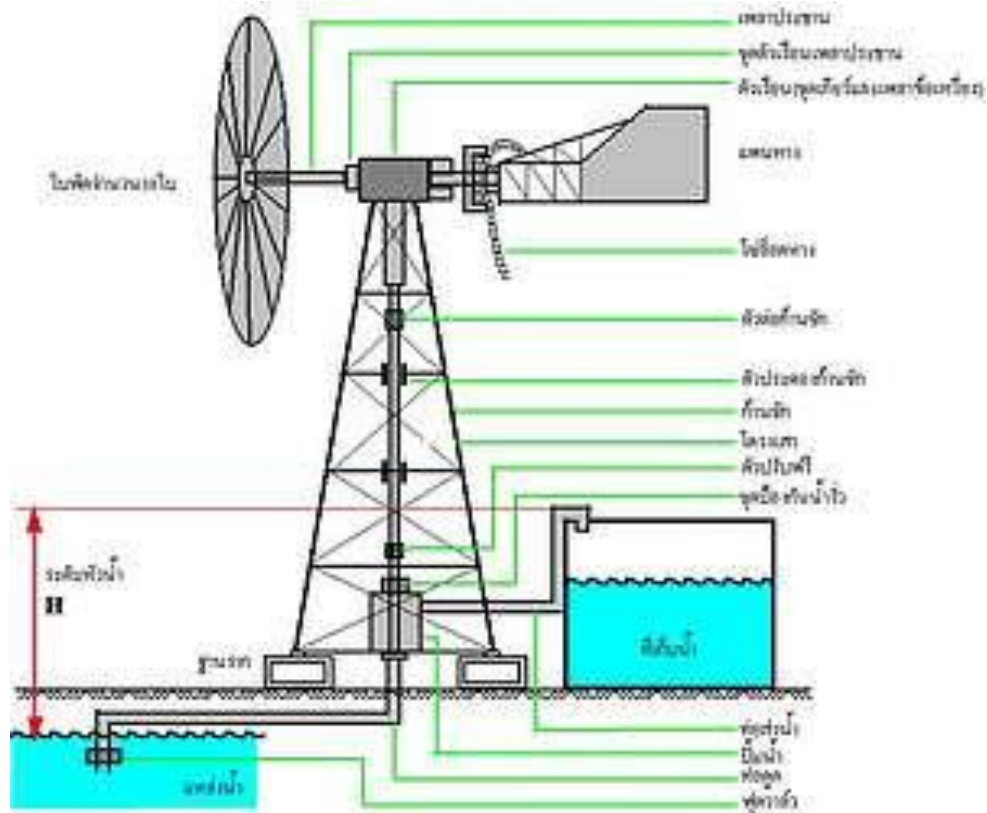
3. ชุดเพนหาง ประกอบไปด้วยใบเพนหางทำจากเหล็กแผ่น ที่ทำหน้าที่บังคับตัวเรือนและใบพัด เพื่อให้หันรับแรงลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง และ โซลล๊อคเพนหางซึ่งทำหน้าที่ล๊อคเพนหางให้พับขนานกับใบพัดเมื่อได้รับแรงลมที่ความเร็วลมเกิน 8 เมตร/วินาที และสายหนีแรงปะทะของแรงลม

4. โครงเสา ทำด้วยเหล็กประกอบเป็นโครงถัก (Truss Structure) ความสูงของกั้งหันลมสูบน้ำ มีความสำคัญอย่างมากในการพิจารณาติดตั้งกั้งลม เพื่อให้สามารถรับลมได้ดี กำหนดที่ความสูงประมาณ 12-15 เมตร และมีแกนกลางเป็นตัวบังคับกั้งชักให้ชักขึ้นลงในแนวตั้ง

5. กั้งชัก ทำด้วยเหล็กกลมตัน รับแรงชักขึ้นลงในแนวตั้งจากเฟืองขับในตัวเรือน เพื่อทำหน้าที่ปู้มอัดกระบอกสูบน้ำ และถูกบังคับให้ชักขึ้นลงได้ในแนวตั้งด้วยตัวประคองกั้งชัก (Slip Control) ที่อยู่กั้งกลางโครงเสาในแต่ละช่วง

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

7. ท่อน้ำ ซึ่งจะประกอบไปด้วยท่อคูดขนาด 2 นิ้ว ต่อระหว่างเครื่องสูบน้ำกับแหล่งน้ำที่จะสูบและดีดฟูดวาล์วกั้งน้ำไหลกลับ ท่อส่งขนาด 1.5 นิ้ว ต่อระหว่างเครื่องสูบน้ำกับถังกั้งเก็บน้ำเพื่อส่งน้ำที่คูดได้ไปไว้ที่ถังเก็บน้ำ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.),ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2.10 ส่วนประกอบของกังหันลมสูบน้ำ  
(ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.),ม.ป.ป.)

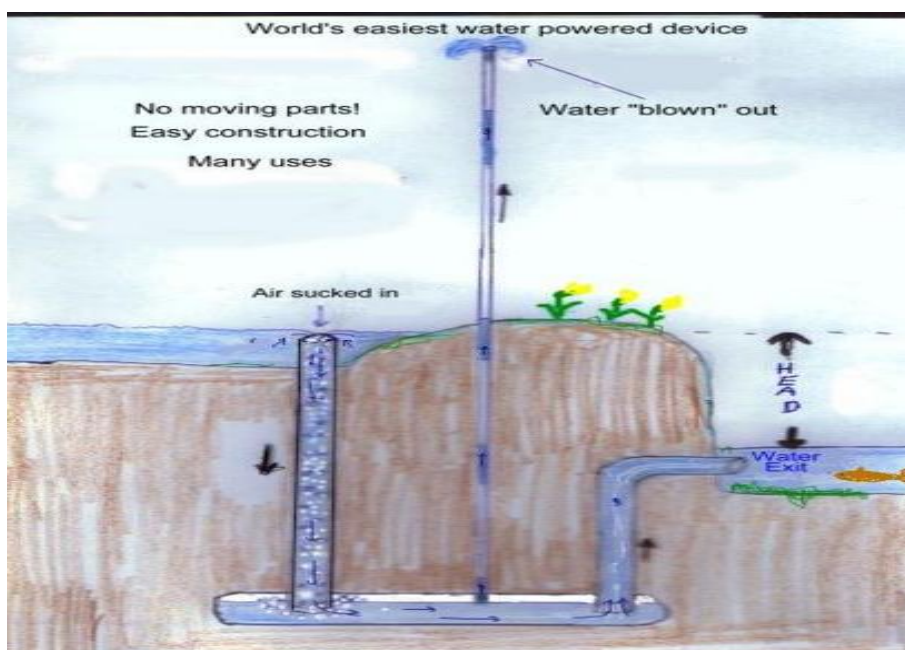
### 2.2.2.3 Pulsar Pump

#### ลักษณะและการทำงานของ Pulsar Pump

Pulsar Pump เป็นการเปลี่ยนพลังงานศักย์เป็นพลังงานจลน์ คือเป็นเครื่องสูบน้ำที่ไม่มีส่วนเคลื่อนไหว ใช้อากาศดันน้ำขึ้นสูง ไปเก็บไว้ในถังเก็บ โดยไม่ใช้ไฟฟ้าหรือน้ำมัน มีความทนทานสูงมากน้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ ด้านเหนือเขื่อน (ภาพที่ 2.11) มีท่อให้น้ำไหลลง โดยปลายท่อด้านบนอยู่ใกล้ผิวน้ำ ทำให้น้ำดูดฟองอากาศลงไปในตัวด้วย เมื่ออากาศลงไปปลายท่อ อากาศก็พยายามลอยขึ้นตามธรรมชาติ ก็จะถูกเก็บอยู่ในช่องเก็บอากาศเพื่อสร้างแรงดันอยู่ใต้เขื่อนจนมากขึ้นๆ พอมาเจอทางออกตรงท่อเล็กตรงกลางสันเขื่อนก็จะพยายามหนีออก โดยดูดเอาน้ำขึ้นไปด้วย โผล่พรุดขึ้นมาด้วยความแรง (น้ำสลับกับอากาศ) ทำให้ Pulsar Pump สามารถยกน้ำขึ้นสูงกว่าสันเขื่อนได้ อันเป็นผลลัพธ์ของเครื่องสูบน้ำที่เราต้องการทางส่วนใหญ่เขื่อน ท่อน้ำออกอยู่ต่ำกว่าท่อที่อากาศหนีออก จึงปล่อยเฉพาะน้ำออกไปทางด้านขวายังกว่านั้น ปลายปล่องด้านน้ำไหลลงไปได้



เขื่อน หาก “ลอย” อยู่ใกล้ระดับผิวน้ำได้ ก็จะสามารถปรับตัวเองให้ใช้งานได้อัตโนมัติ โดยขึ้นกับระดับน้ำ ต้นทุนหน้าเขื่อน (Logos,2552)



ภาพที่ 2.11 ลักษณะการทำงานของ Pulsar Pump

(ที่มา : Logos,2552)

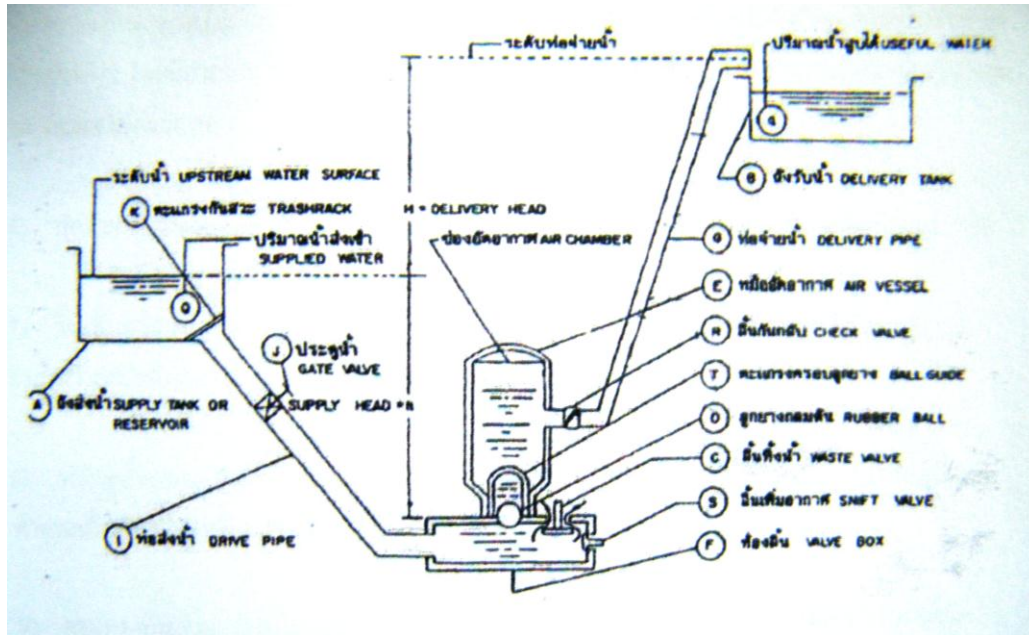
#### 2.2.2.4 เครื่องสูบน้ำพลังน้ำ (Hydraulic Ram)

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังน้ำ (Hydraulic Ram)

เครื่องสูบน้ำพลังน้ำ ไฮดรอลิกแรม (Hydraulic Ram) เครื่องสูบน้ำแบบนี้ได้เริ่มประดิษฐ์ออกใช้งานที่ประเทศอังกฤษเมื่อปี ค.ศ.1772 และที่ประเทศญี่ปุ่น ประดิษฐ์ออกใช้งานเมื่อปี ค.ศ.1956 หรือประมาณ 208 ปีที่แล้ว ในระยะนั้นมักจะใช้กับประเทศที่ด้อยพัฒนา ไม่มีพลังงานไฟฟ้า ไม่มีน้ำมันเชื้อเพลิง และใช้กับพื้นที่ที่อยู่บนภูเขา ห่างไกลความเจริญเท่านั้น ไฮดรอลิกแรม เป็นเครื่องสูบน้ำแบบหนึ่งที่ทำงานในตัวเองได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งใช้พลังงานจากน้ำพลัดดันอุปกรณ์ และส่วนประกอบให้สามารถทำงานสูบน้ำจากที่ต่ำไปสู่ที่สูงได้ 10 ถึง 15 เท่าของระดับความสูงของน้ำที่ส่งเข้าไฮดรอลิกแรม ปริมาณที่สูบได้จะมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณที่สูญเสียไปจากการใช้พลัดดันให้ไฮดรอลิกแรมทำงาน น้ำส่วนหนึ่งจะถูกยกขึ้นไปใช้งานและอีกประมาณ 6-10 ส่วนจะถูกทิ้งไป ปริมาณน้ำดังกล่าวจะได้มากน้อยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของไฮดรอลิกแรม (บรรจง,2525)



## ส่วนประกอบของระบบไฮดรอลิกแรม



ภาพที่ 2.12 เครื่องสูบน้ำพลังน้ำ (Hydraulic Ram)

(ที่มา : บรรจง,2525)

ไฮดรอลิกแรมประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ ดังภาพที่ 2.12 ดังนี้

1. ท่อส่งน้ำ (Drive Pipe or Supply Pipe) (I) เป็นท่อส่งน้ำจากแหล่งน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำ หรือจากฝายทดน้ำ เพื่อนำน้ำให้ไหลเข้าสู่ไฮดรอลิกแรม ปลายข้างหนึ่งจะฝังหรือยึดติดไว้กับฝายหรืออ่างเก็บน้ำ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะยึดติดกับไฮดรอลิกแรม
2. ห้องลิ้น (Valve Box) (F) เป็นโครงสร้างของไฮดรอลิกแรม ซึ่งเป็นจุดที่ตั้งของลิ้น ล้นทิ้งน้ำ (Waste Valve) (C) และลิ้นจ่ายน้ำ (Delivery Valve) (D) และเป็นแท่นรับหม้ออัดอากาศ (Air Vessel) (E)
3. ลิ้นจ่ายน้ำ (Delivery Valve) (D) เป็นลิ้นปิด - เปิด เพื่อส่งน้ำเข้าไปในหม้ออัดอากาศ ซึ่งจะเปิดเมื่อความดันของน้ำในห้อยลิ้นสูงขึ้น และปิดเมื่อความดันของน้ำลดลง
4. ลิ้นทิ้งน้ำ (Waste Valve) (C) เป็นลิ้นทิ้งน้ำจะปิดต่อเมื่อความดันของน้ำที่เพิ่มขึ้นจากการไหลของน้ำ ที่จะเอาชนะน้ำหนักของลิ้นทิ้งน้ำได้ ความดันดังกล่าวเป็น (Dynamic Pressure)
5. หม้ออัดอากาศ (Air Vessel) (E) มีหน้าที่ในการช่วยให้การทำงานของไฮดรอลิกแรมเป็นจังหวะต่อเนื่องกัน โดยมีอากาศประมาณ 20% ถูกอัดตัวอยู่ภายในและยังช่วยให้การไหลของน้ำเป็นไปโดยสม่ำเสมอไม่กระแทก

6. ท่อจ่ายน้ำ (Delivery Pipe) (G) เป็นท่อส่งน้ำเพื่อส่งน้ำขึ้นไปใช้งานยังถังรับน้ำ (B)
7. ลิ้นเพิ่มอากาศ (Snift Valve) (S) เป็นลิ้นช่วยเพิ่มอากาศในหม้ออัดอากาศ เมื่อมีการสูญเสียอากาศในหม้ออัดอากาศ
8. ประตูน้ำ (Gate Valve) (J) ติดตั้งไว้เพื่อปิด – เปิดให้น้ำไหลเข้าไฮดรอลิกแรม ไฮดรอลิกแรมจะทำงานเมื่อเปิดประตูน้ำ และจะหยุดเมื่อปิดประตูน้ำ
9. ตะแกรงกันสวะ (Trash rack) (K) ติดตั้งไว้ที่ปากท่อส่งน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้เศษไม้หรือสวะเข้าไปขัดกับลิ้นทึ่งน้ำ ซึ่งจะเป็นอุปสรรคในการสูบน้ำ และทำให้ไฮดรอลิกแรมหยุดทำงาน
10. ถังพักน้ำ (Delivery Tank) (B) มีไว้เพื่อเก็บน้ำ เพื่อใช้ในการบริโภคน้ำมัน หรือการเกษตรกรรม ฯลฯ
11. วาล์วกันน้ำกลับ (Check Valve) (R) ติดตั้งไว้เพื่อช่วยลิ้นจ่ายน้ำในโอกาสที่ต้องยกสูง หรือติดตั้งไฮดรอลิกแรมหลายตัวขนานกันและป้องกันไม่ให้น้ำไหลกลับ ในขณะที่ถอดไฮดรอลิกแรมออกซ่อม (บรรจง,2525)

#### หลักการทํางานของไฮดรอลิกแรม

ในขณะที่ประตูน้ำ (J) ยังปิดอยู่ น้ำที่ถูกเก็บกักอยู่ในอ่างเก็บน้ำหรือฝายทดน้ำยังอยู่หนึ่งถือว่าเป็นพลังงานศักย์ ลิ้นทึ่งน้ำ (C) อยู่ในลักษณะเปิดเต็มที่ (ดังภาพที่ 2.12) ลิ้นจ่ายน้ำ (D) อยู่ในลักษณะปิดสนิท เมื่อประตูน้ำ (J) ถูกเปิดเต็มที่น้ำจากอ่างเก็บน้ำหรือจากฝายทดน้ำจะไหลเข้าท่อส่งน้ำ (I) ลงสู่ห้องลิ้น (F) แล้วไหลผ่านออกทางลิ้นทึ่งน้ำ (C) พลังงานจะถูกเปลี่ยนจากพลังงานศักย์ เป็นพลังงานจลน์ การไหลของน้ำดังกล่าว จะทำให้ความเร็วของน้ำเพิ่มสูงขึ้นจากความสูง  $h$  ก่อให้เกิดความดันจากการไหลของน้ำ (Dynamic Pressure) สูงขึ้นจนสามารถเอาชนะน้ำหนักของลิ้นทึ่งน้ำ (C) ยกลิ้นทึ่งน้ำซึ่งปิดสนิท (ตามรูปที่ 2) การที่ลิ้นทึ่งน้ำ (C) ถูกปิดเช่นนี้ โมเมนตัมของน้ำในท่อส่งน้ำ (I) จะถูกทำลายก่ให้เกิดความดันของน้ำ (Shock pressure) ภายในห้องลิ้น (F) สูง หากความกดดันที่เกิดขึ้นดังกล่าวสูงกว่าความกดดันของน้ำที่กระทำอยู่บนลิ้นจ่ายน้ำ (D) ลิ้นจ่ายน้ำ (D) จะเปิดน้ำส่วนหนึ่งจากห้องลิ้น (F) จะถูกส่งเข้าไปในห้องอัดอากาศ (E) แล้วส่งผ่านเข้าท่อส่งน้ำ (G) ผ่านลิ้นกันน้ำกลับ (R) ขึ้นไปยังถังพักน้ำ (B) ขณะที่ความดันของน้ำในห้องลิ้น (F) ลดลง ลิ้นจ่ายน้ำ (D) จะปิด (ป้องกันไม่ให้น้ำไหลกลับ) ซึ่งในทางปฏิบัติ ก่อนที่ลิ้นจ่ายน้ำจะปิดนั้น ยังมีน้ำบางส่วนที่ถูกส่งขึ้นไปไหลย้อนลงมาเข้าสู่ห้องลิ้นปะทะกับน้ำในห้องลิ้นสะท้อนกลับ อาการเช่นนี้ทำให้เกิดสูญญากาศในช่วงเวลาที่ห้องลิ้นทำให้บรรยากาศภายนอกสามารถกดลิ้นทึ่งน้ำ (C) ให้เปิดออก จึงหวนการทำงานของไฮดรอลิกแรมจึงเริ่มขึ้นใหม่ต่อไป

บางท่านอาจจะเข้าใจว่า ลิ้นทึ่งน้ำจะปิดได้ด้วย Static head อันที่จริงแล้ว ถ้าพึ่งความดันจาก Static head ไม่สามารถทำให้ลิ้นทึ่งน้ำปิดได้ การที่ลิ้นทึ่งน้ำปิดได้ เนื่องมาจาก Dynamic Pressure ที่เกิดจากความเร็ว

ของการไหลของน้ำ ในทางตรงกันข้ามลิ้นทึ่งน้ำจะเปิดได้เนื่องจากความดันของน้ำในห้องลึ่นน้อยกว่าหนึ่งบรรยากาศ นั่นคือ ในขณะที่ลึ่นทึ่งน้ำเปิดจะเกิดสุญญากาศขึ้นภายในห้องลึ่นจากความจริงอันนี้ จำเป็นจะต้องติดตั้งลึ่นเพิ่มอากาศ (Snift Valve) ที่ห้องลึ่นเพื่อช่วยให้อากาศภายนอกมีโอกาสไหลปะปนกับน้ำผ่านเข้าไปในห้องอัดอากาศ เป็นการชดเชยอากาศที่สูญเสียไปในขณะจ่ายน้ำขึ้นไปใช้งาน ดังนั้น ไฮดรอลิกแรมจะทำงานได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับอากาศภายในหม้ออัดอากาศหากไม่มีอากาศสะสมอยู่ภายในหม้ออัดอากาศเมื่อใด หรือมีน้ำอัดอยู่เต็มหม้ออัดอากาศแล้ว เมื่อนั้นไฮดรอลิกแรมจะหยุดทำงาน

จังหวะการทำงานของไฮดรอลิกแรมสามารถจำแนกออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. ลึ่นทึ่งน้ำกำลังเปิด
2. ลึ่นทึ่งน้ำเปิดเต็มที่
3. ลึ่นทึ่งน้ำกำลังปิด
4. ลึ่นทึ่งน้ำปิดสนิท

นอกจากนี้ยังมีกฎเกณฑ์กำหนดไว้สำหรับลึ่นทึ่งน้ำอีกดังนี้ คือ

1. ระยะเวลาการเปิดของลึ่นทึ่งน้ำจะเพิ่มขึ้น หากน้ำหนักของลึ่นทึ่งน้ำมากกว่าระยะขึ้นลงของลึ่นทึ่งน้ำกว้าง
2. การเปิดของลึ่นทึ่งน้ำอนุโลมให้ถือว่าเป็นการเปิดแบบชั่วขณะ (Instantaneously open)
3. ระยะเวลาที่ลึ่นทึ่งน้ำจะเปิดเต็มที่ขึ้นอยู่กับ ความเร็วของการไหลของน้ำที่เกิดขึ้นในท่อส่งน้ำ (Drive Pipe)
4. หากห้องลึ่นหรือท่อส่งน้ำใหญ่โตพอเพียงยอมจะทำให้ลึ่นทึ่งน้ำปิดได้เร็ว

การทำให้ลึ่นทึ่งน้ำปิด – เปิดเร็ว สามารถกระทำได้ดังนี้

1. เพิ่มน้ำหนักของลึ่นทึ่งน้ำ
2. เพิ่มอัตราส่วนระหว่างความยาวของท่อส่งน้ำต่อความสูงของระดับน้ำเข้าไฮดรอลิกแรม

จากสูตร

$$l / h$$

เมื่อ  $l$  = ความยาวของท่อส่งน้ำ (Drive Pipe) (m)

$h$  = ความสูงของระดับน้ำเข้าไฮดรอลิกแรม วัดจากช่องระบายน้ำของลึ่นทึ่งน้ำถึงระดับผิวน้ำที่จะส่งเข้าไฮดรอลิกแรม (m)

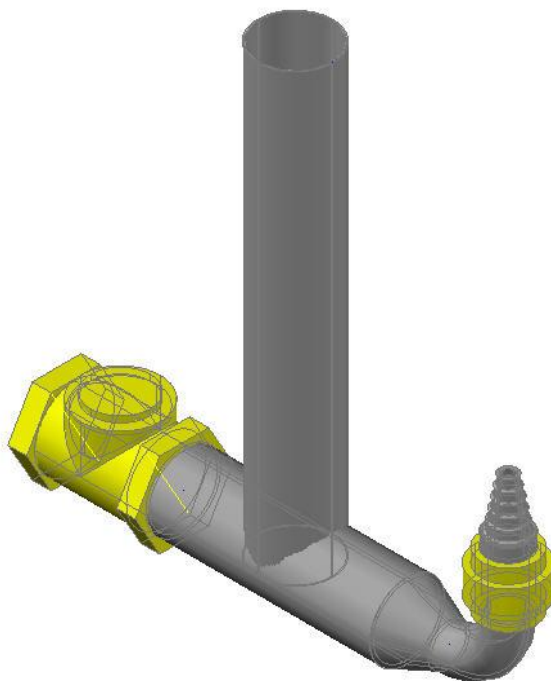
อัตราส่วน  $l / h$  สามารถเพิ่มขึ้นอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ กล่าวคืออาจจะเพิ่มความยาวของท่อส่งน้ำ  $l$  ให้มากขึ้น แต่ให้ความสูง  $h$  คงที่ หรือจะลดความสูง  $h$  โดยให้ความยาวของท่อส่งน้ำ  $l$  คงที่ก็ได้ ระยะเวลาในระหว่างที่ลึ่นทึ่งน้ำยังปิดอยู่จะยาวนาน ถ้าระยะห่างระหว่างเบaselึ่นทึ่งน้ำกับหม้ออัดอากาศอยู่ไกลกัน และระยะเวลาการปิดจะสั้นลงหากลดความสูงของระดับน้ำที่จะส่งไปใช้งาน การที่เบaselึ่นทึ่งน้ำอยู่ห่างไกลจากหม้ออัดอากาศมากยังจะเป็นเหตุทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นความดันน้ำเดินทางกลับกระแทกลึ่นทึ่งซึ่งกำลัง

ปิดอยู่ทำให้เปิดออกได้ อนึ่งหากเพิ่มความสูงของระดับน้ำที่จะส่งขึ้นไปใช้งานย่อมทำให้ลื่นจ่ายน้ำปิดเร็วขึ้น ก่อให้เกิดการสะท้อนของคลื่นความดันเร็วไป (บรรจง,2525)

#### 2.2.2.6 เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump)

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump)

เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump) เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีกลไกการทำงานโดยอาศัยพลังงานธรรมชาติจากคลื่นของน้ำ ลักษณะการทำงานเป็นเครื่องสูบน้ำประเภทแบบลูกสูบชัก เฟสเดียว คือ น้ำที่สูบมาได้ จะได้จากกรณีที่น้ำเคลื่อนที่ขึ้นเท่านั้น ส่วนช่วงที่น้ำเคลื่อนที่ลงจะเป็นการสูบน้ำเข้าในตัวเครื่องสูบน้ำ ซึ่งการทำงานจะสลับกันแบบนี้เรื่อยไป



ภาพที่ 2.13 เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump)

(ที่มา : ขนิษฐาและสุชาดา,2552)

ส่วนประกอบสำคัญในการทดลองของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump)

1. ตัวเครื่องสูบน้ำ ซึ่งมีเช็ควาล์วนอน 1 ตัวและเช็ควาล์วตั้ง 1 ตัวเพื่อบังคับให้น้ำไหลไปทางเดียว
2. ฟันลอย ซึ่งต้องยึดติดอยู่กับตัวเครื่องสูบน้ำ โดยให้ตัวเครื่องสูบน้ำอยู่น้ำตลอดเวลาและให้ฟันลอยลอยอยู่ในน้ำ

3. ลูกสูบและก้านสูบซึ่งต้องยึดติดอยู่ดับที่อาจจะเป็นริมฝั่งแม่น้ำที่มีทำน้ำ แต่ในการศึกษานี้ได้ยึดติดกับถังทดลองที่ด้านบนถังทดลอง
4. สลักและแกนที่ล็อกสลักพร้อมลูกลอย
5. เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าที่ใช้สูบน้ำเพื่อทำให้เกิดการขึ้นของคลื่น
6. ลูกลอยอัตโนมัติเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า

หลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump)

1. ติดตั้งอุปกรณ์ตามที่ออกแบบไว้
2. ลูกลอยอัตโนมัติจะเริ่มทำงานโดยเปิดสวิทซ์ให้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าเริ่มทำงานคือ สูบน้ำเข้ามาในถังเพื่อทำให้เกิดน้ำขึ้น น้ำจะไหลเข้าสู่ตัวเครื่องสูบน้ำ
3. เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงตำแหน่งที่ต้องการให้สลักล็อกสลักก็จะเริ่มทำงาน โดยล็อกไม่ให้ทั้งทุ่นลอยและตัวเครื่องสูบน้ำลอยไปตามระดับน้ำ
4. ระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงระดับที่ตั้งลูกลอยบังคับสลักไว้ ลูกลอยจะทำการดึงสลักออกและทำให้เครื่องสูบน้ำ และทุ่นลอยที่ถูกล็อกไว้เคลื่อนที่ขึ้นในลักษณะถูกคลื่นดันขึ้น และในขณะที่และทุ่นลอยที่ถูกล็อกไว้เคลื่อนที่ขึ้นในลักษณะถูกคลื่นดันขึ้นก็จะเป็นการสูบน้ำออกไปยังทางออกที่ออกแบบไว้
5. เมื่อน้ำถูกสูบดันน้ำให้ออกมาเช็ควาล์วอนก็จะทำการปิดลิ้นเพื่อบังคับให้น้ำไหลไปในทางที่ออกแบบไว้ และเมื่อน้ำถูกบังคับให้มาทางที่ออกแบบไว้ น้ำจะไหลขึ้นสู่ที่สูง ซึ่งมีเช็ควาล์วตั้งเพื่อบังคับน้ำที่ไหลขึ้นสู่ด้านบนแล้วจะไม่สามารถไหลย้อนกลับลงมาได้อีก
6. เมื่อระดับในถังทดลองขึ้นไปจนถึงระดับที่ตั้งลูกลอยอัตโนมัติตัวบนไว้ ลูกลอยอัตโนมัติก็จะเริ่มทำงานโดยปิดสวิทซ์ให้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าที่กำลังสูบน้ำเข้าสู่ถังทดลองหยุดการทำงาน
7. ระดับน้ำจะลดลงเรื่อยๆเนื่องจากด้านหลังถังทดลองได้ทำท่อน้ำไหลออกไปยังถังเก็บน้ำ และตัวเครื่องสูบน้ำกับทุ่นลอย ก็จะลอยลงตามระดับน้ำด้วย ในขณะที่ตัวเครื่องสูบน้ำกับทุ่นลอยลอยลงตามระดับน้ำนั้นลูกสูบก็จะทำการสูบน้ำเข้าสู่ตัวเครื่องสูบน้ำด้วย เพื่อรอการขึ้นของน้ำรอบต่อไป

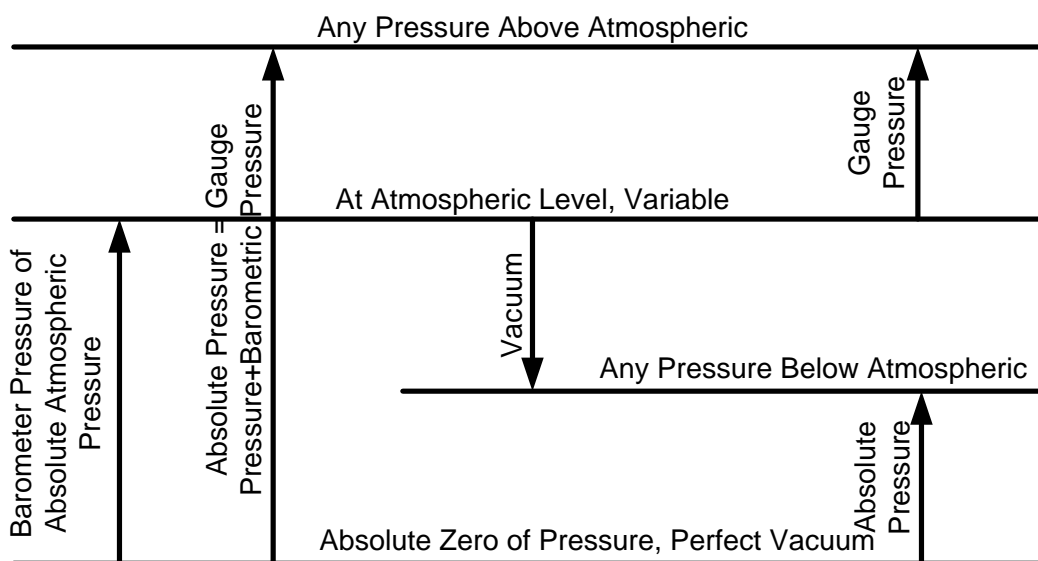
## 2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำ

### 2.3.1 ความดันและเฮด

ในการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องสูบน้ำ จำเป็นต้องทราบทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับของเหลว ความดัน และหัวน้ำหรือเฮดของเครื่องสูบน้ำ ดังนี้

### 2.3.1.1 ความดันของบรรยากาศ (Atmospheric Pressure)

คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนผิวโลกแต่เนื่องจากว่าลักษณะการวัดความดันมี 2 แบบ ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ความดันบรรยากาศ

(ที่มา : วิบูลย์,2529)

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

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

ความดันสมบูรณ์ = ความดันจากบาโรมิเตอร์ + ความดันจากเกจ

$$P_{abs} = P_b + P_g \quad \dots\dots(1)$$

ค่าความกดดันของบรรยากาศหรือความกดดันจากบาโรมิเตอร์

$$P_b = 1013 - 0.1055EL \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ  $P_b$  = ความดันของบรรยากาศ (mbar) (1 mbar เท่ากับ  $0.0145 \text{ lb/in}^2$  หรือคิดเป็น  
ความสูงของแท่งน้ำที่  $4^\circ\text{C} = 0.010197 \text{ (m)}$

EL = ระดับความสูงของพื้นผิวที่ต้องการทราบความกดดันเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (m)

ในการคำนวณเกี่ยวกับการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ ค่าความกดดันของบรรยากาศที่ใช้มีหน่วยเป็นความสูง  
ของแท่งน้ำหรือเฮดเป็นเมตรค่าดังกล่าวจะคำนวณได้จากสมการ

$$H_p = 10.13 - 0.00108EL \quad \text{.....(3)}$$

โดย  $H_p$  เป็นความกดดันบรรยากาศเทียบให้เป็นความสูงของแท่งน้ำที่  $4^\circ\text{C}$  มีหน่วยเป็นเมตร (วิบูลย์,2529)

### 2.3.1.2 เฮดความดัน (Pressure Head, $H_p$ )

ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร ( $\text{N/m}^2$ ) หรือปอนด์  
ต่อตารางนิ้ว (psi) แล้ว ถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะ  
ก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลวนั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของ  
ของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure Head)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน  $p$  และเฮดความดัน  $H_p$  คือ

$$H_p = \frac{p}{\gamma} = \frac{p}{\rho g} \quad \text{.....(4)}$$

เมื่อ  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะ ( $\text{kN/m}^3$ )

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

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

### 2.3.1.3 เฮดความเร็ว (Velocity Head, $H_v$ )

ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใด ๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่พลังงานในส่วนนี้เมื่อ  
บอกในรูปของเฮดคือ

$$H_v = \frac{V^2}{2g} \quad \text{.....(5)}$$

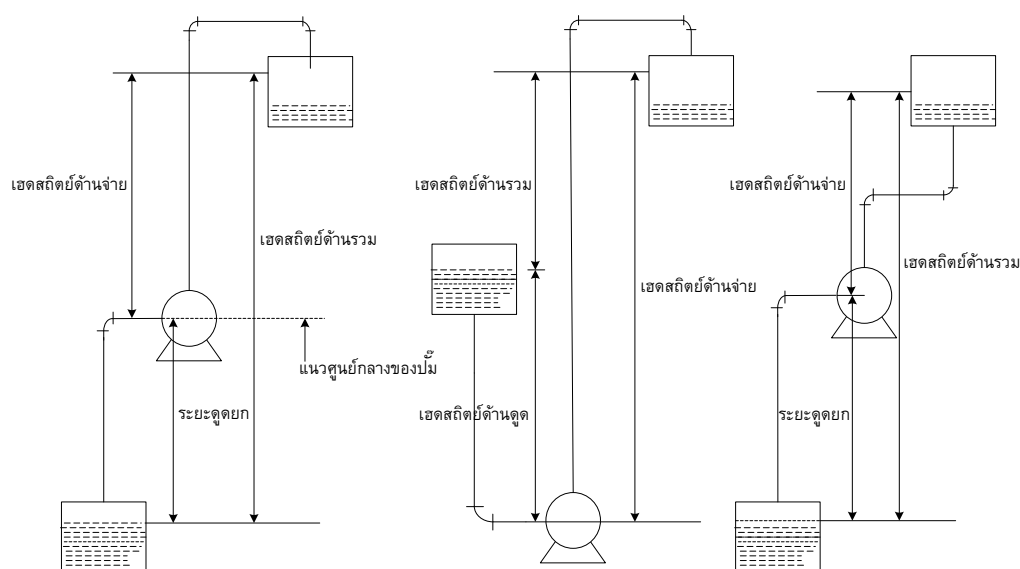
เมื่อ  $V =$  ความเร็วของการไหลภายในท่อ (m/s)

$g =$  ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ( $m/s^2$ )

เสถียรภาพความเร็วอาจให้คำจำกัดความได้อีกอย่างหนึ่งว่าเป็นความสูงที่ของเหลวตกลงมาด้วย แรงดึงดูดของโลกจนได้ความเร็วเท่ากับความเร็วในการไหลของของเหลวนั้น

#### 2.3.1.4 เสถียรภาพ (Static Head, $H_s$ )

ในการทำงานของเครื่องสูบน้ำโดยทั่ว ๆ ไปของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้มันไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่า ความดันซึ่งคิดเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์เรียกว่า เสถียรภาพ (Static Head)



ภาพที่ 2.15 เสถียรภาพ

(ที่มา : วิชา, 2529)

ตามภาพระยะทางในแนวตั้งที่บอกเป็นแท่งความสูงของของเหลว หรือเสถียรภาพจากศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำถึงปลายของท่อจ่ายเรียกว่า เสถียรภาพด้านจ่าย (Static Discharge Head)

ระยะจากจุดศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำถึงระดับผิวของของเหลวที่ปลายของท่อดูดซึ่งอยู่สูงกว่า (ภาพที่ 2.15) เรียกว่า เสถียรภาพด้านดูด (Static Suction Head) ถ้าผิวของของเหลวอยู่ต่ำกว่า และความดันที่ศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำจะมีค่าเป็นลบ ในกรณีนี้จะเรียกว่า ระยะดูดยก (Static Suction Lift) แทน

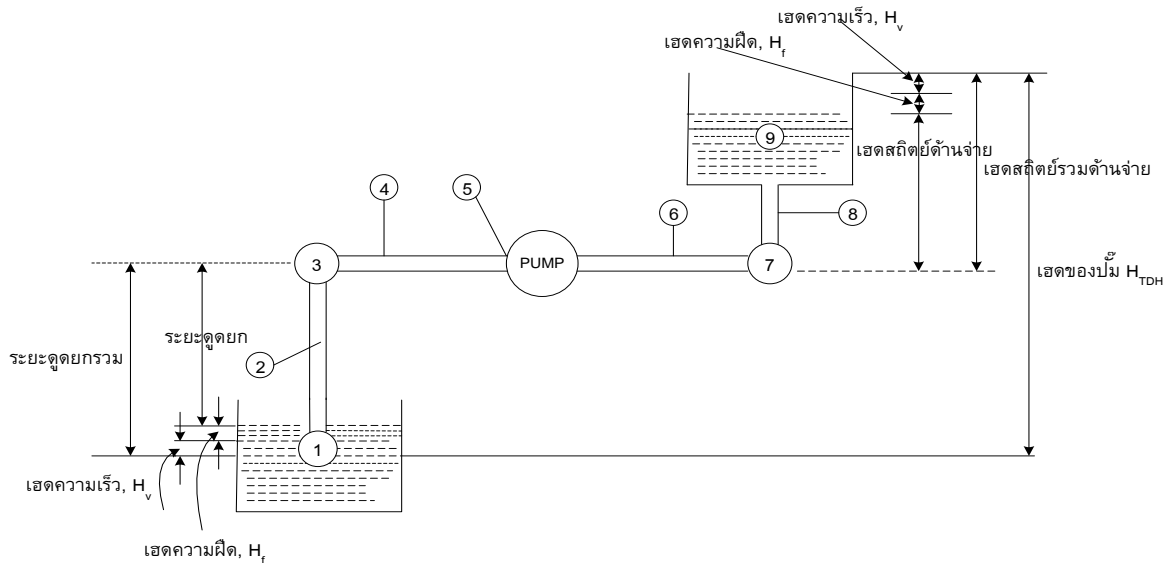


เฮดรวมสถิตย์รวม (Total Static Head) ก็คือผลต่างทางพีชคณิตของเฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head) กับเฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ค่าดังกล่าวนี้เป็นเฮดต่ำสุดที่เครื่องสูบน้ำจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวก่อนที่จะมีการไหลเกิดขึ้น

2.3.1.5 เฮดความฝืด (Friction Head,  $H_f$ )

ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านระบบท่อทั้งด้านดูดและจ่ายพลังงานหรือเฮดในการไหลส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังของท่อและส่วนประกอบต่าง ๆ ซึ่งเราเรียกว่า เฮดความฝืด (Friction Head)

ในระบบสูบน้ำโดยทั่วไป การเสียเฮดเนื่องจากความฝืดอาจเกิดขึ้นได้หลายจุด (ดังภาพที่ 2.16) การเสียเฮดทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่านระบบท่อซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ดังนั้นขณะที่เครื่องสูบน้ำกำลังทำงาน ระยะดูดยกรวมที่เกิดขึ้นจริงจะเท่ากับระยะดูดยก (Static Suction Lift) รวมกับเฮดความฝืดทางด้านดูดทั้งหมดตั้งแต่ จุดที่ 1 ถึง จุด 5 ในกรณีที่ของเหลวทางด้านดูดอยู่สูงกว่าศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำ เฮดด้านดูดรวม (Total Static Head) ที่เกิดขึ้นจริงจึงเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) สำหรับทางด้านจ่ายก็เช่นเดียวกัน คืออาจจะรวมการเสียเฮดที่จุดที่ 6 ถึง 9 เข้าด้วยกันเป็นเฮดความฝืด และเฮดรวมด้านจ่าย (Total Discharge Head) ที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่เครื่องสูบน้ำการทำงานจะเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านจ่ายรวมกับเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านจ่าย



ภาพที่ 2.16 การสูญเสียเฮด

(ที่มา : วิบูลย์,2529)

จุดที่ 1 เป็นการเสียเสดความเร็วเนื่องจากการไหลเข้าท่อ (Entrance loss) ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปทรงและอุปกรณ์ที่ปลายท่อ

จุดที่ 2 เป็นการเสียเสดเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังท่อ

จุดที่ 3 เป็นการเสียเสดเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางการไหล

จุดที่ 4 เป็นการเสียเสดในเส้นท่อเหมือนจุดที่ 2

จุดที่ 5 เป็นการเสียเสดที่อุปกรณ์ทางด้านดูดของเครื่องสูบน้ำลดด้วยเสดความฝืดทั้งหมดทางด้านดูด สำหรับทางด้านจ่ายก็เช่นเดียวกัน คืออาจจะรวมการเสียเสดที่จุดที่ 6 ถึง 9 เข้าด้วยกันเป็นเสดความฝืดและเสดรวมด้านจ่าย (Total Discharge Head) ที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่เครื่องสูบน้ำการทำงานจะเท่ากับเสดสถิตย์ด้านจ่าย รวมกับเสดความฝืดทั้งหมดทางด้านจ่าย

1.) การสูญเสียหลัก (Major loss)

- สูตรของ Darcy-Weisbach Equation

$$h_f = \frac{fLV^2}{D2g} \quad \dots\dots(6)$$

ความสูญเสียหัวน้ำของการไหลในท่อที่สำคัญ มีสาเหตุมาจากแรงเสียดทาน อันเนื่องมาจากความหนืดของของไหล และแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังท่อ เรียกว่าการสูญเสียหลัก ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก Darcy-Weisbach Equation ดังนี้คือ

เมื่อ  $h_f$  = ความสูญเสียหัวน้ำ อันเนื่องมาจากความเสียดทานของการไหล (m)

$f$  = ตัวประกอบความเสียดทาน (Friction Factor)

$L$  = ความยาวของท่อช่วงที่พิจารณา (m)

$V$  = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)

$D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (m)

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ค่าตัวประกอบความเสียดทาน คือ

$$f = \frac{64}{Re} \quad \dots\dots(7)$$

สมการที่ใช้หาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re) คือ

$$R_e = \frac{DV\rho}{\mu} = \frac{DV}{\nu} \quad \dots\dots(8)$$

เมื่อ  $Re$  = ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

$D$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

$V$  = ความเร็วของไหลภายในท่อ (m/s)

$\nu$  = ความหนืดไคเนมาติกส์ (m<sup>2</sup>/s)

$\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล ( $\text{kN/m}^3$ )

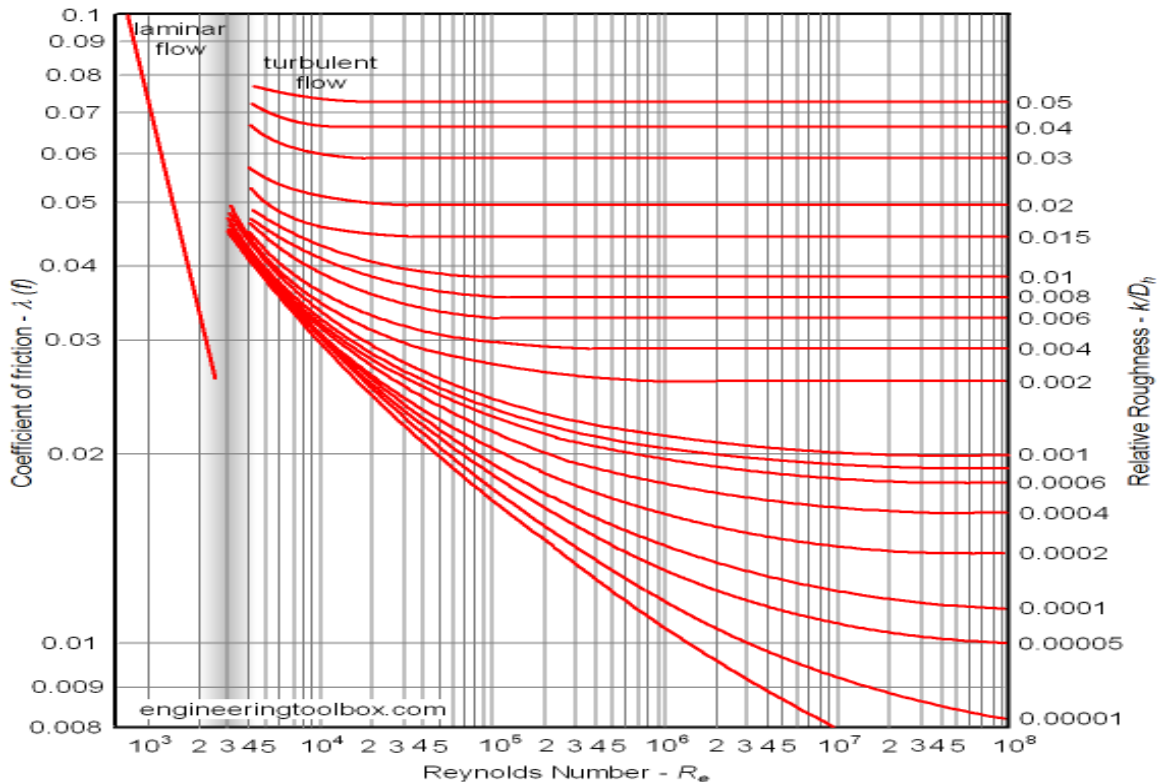
$\mu$  = ความหนืดไดนามิกส์ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ค่าตัวประกอบความเสียดทาน ไม่ได้ขึ้นกับ ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์เพียงอย่างเดียวเหมือนการไหลแบบมินาร์ แต่ยังขึ้นอยู่กับความขรุขระสัมพัทธ์ (Relative Roughness,  $\epsilon/D$ ) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่าความขรุขระของผนังท่อ ( $\epsilon$ ) กับเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ( $D$ ) ค่าความขรุขระของผนังท่อสามารถดูได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความขรุขระของท่อ ( $\epsilon$ )

ชนิดของท่อ	$\epsilon$ (mm)
เหล็กย้ำหมุด (Riveted Steel)	0.9-9.0
คอนกรีต	0.3-3.0
ไม้ประกบ (Wood Stave)	0.2-0.9
เหล็กหล่อ (Cast Iron)	0.25-0.26
เหล็กอาบสังกะสี (Galvanized Iron)	0.15
เหล็กหล่ออาบยางมะตอย (Asphalted Cast Iron)	0.1-0.12
เหล็กตลาดหรือเหล็กเหนียว (Commercial Steel or Wrought Iron)	0.046
ท่อรีด (Drawn Tubing), ท่อ Polyrinul Chlouide (ท่อ P.V.C)	0.0015

ค่าตัวประกอบความเสียดทาน อ่านได้จาก Moody Diagram ดังในภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 Moody Diagram  
(ที่มา : Darcy)

- สูตรของ Hazen-Williams (ใช้กับของเหลวที่เป็นน้ำเท่านั้น เขียนอยู่รูปสมการของ)

$$V = 0.0109CR^{0.63}S^{0.54} \quad \text{.....(9)}$$

เมื่อ  $V$  = ความเร็วของการไหลในท่อ (m/s)

$C$  = สัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของท่อ

$R$  = Hydraulic Radius (m)

$S$  = Slope of Energy

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

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

- สูตรของ Manning's Formula (สูตรของ Open Channel Flow)

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{.....(11)}$$

เมื่อ  $V$  = ความเร็วของการไหลในท่อ (m/s)

$R$  = Hydraulic Radius (m)

$S$  = Slope of Energy = Ben Slop =  $h_f/L$

$n$  = ค่าคงที่

ท่อแอสเบสตอสซิเมนต์ (AC. Pipe)  $n = 0.01 - 0.012$

ท่อคอนกรีต  $n = 0.015$

$$V^2 = \frac{R^{4/3}}{n^2} \left( \frac{h_f}{L} \right) \quad \text{.....(12)}$$

$$H_f = \frac{n^2 V^2 L}{R^{4/3}} \quad \text{.....(13)}$$

ท่อกลม  $R = D/4$  แทนค่าในสูตร

$$h_f = \frac{n^2 V^2 L}{(D/4)^{4/3}} \quad \text{.....(14)}$$

$$h_f = \frac{6.35 n^2 V^2 L}{D^{4/3}} \quad \text{.....(15)}$$

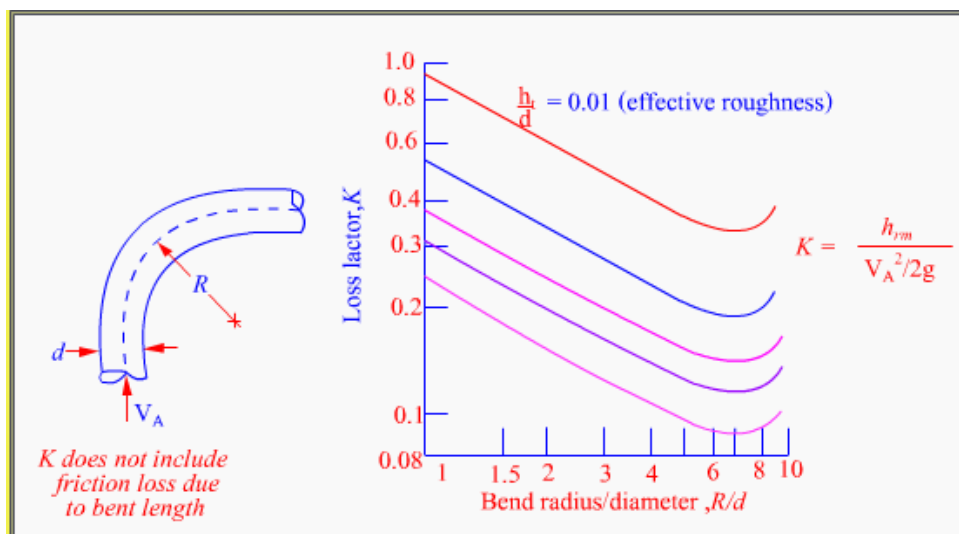
ในเทอมของ Discharge  $Q$

$$H_f = \frac{10.29 n^2 L Q^2}{D^{16/3}} \quad \text{.....(16)}$$

## 2.) การสูญเสียรอง (Minor Losses)

การสูญเสียอาจเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากความเสียดทาน พิจารณาลักษณะของระบบ ในการสูญเสียที่ผ่านมานั้นเป็นการสูญเสียในทางเข้าและทางออกของท่อ แต่ในการศึกษานี้จะศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสียรอง ( $h_m$ ) ซึ่งจะตรงกันข้ามกับการสูญเสียหลัก ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มการสูญเสียรองภายในระบบ ซึ่งอาจจะเกิดจาก ถิ้น, ข้องอ, หน้าตัดลดที่ทันใด, หน้าตัดค่อยๆ ลดลงผลรวมของการสูญเสียรองนี้เมื่อนำไปรวมกับการสูญเสียอันเนื่องมาจากความเสียดทานแล้วจะได้รับการสูญเสียทั้งหมด สำหรับระบบ คือ

$$h_L = h_f + \sum h_m \quad \text{.....(17)}$$



ภาพที่ 2.18 ค่า K สำหรับท่อง ซึ่งรวมผลของความขรุขระที่ด้วย  
(ที่มา : วิกิบุคส์,2529)

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย สำหรับ Open Valves, Elbows และ Tees (ที่มา : วิกิบุคส์,2529)

Nominal diameter, cm (in.)	Screwed				Flanged				
	1.3 (0.5)	2.5 (1.0)	5.0 (2.0)	10 (4.0)	2.5 (1.0)	5 (2.0)	10 (4.0)	20 (8.0)	50 (20)
Valves (fully open):									
Globe	14.0	8.2	6.9	5.7	13.0	8.5	6.0	5.8	5.5
Gate	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03
Swing check	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Angle	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0
Elbows:									
45° regular	0.39	0.32	0.30	0.29					
45° long radius					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° long radius	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° long radius					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Tees:									
Line flow	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Branch flow	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

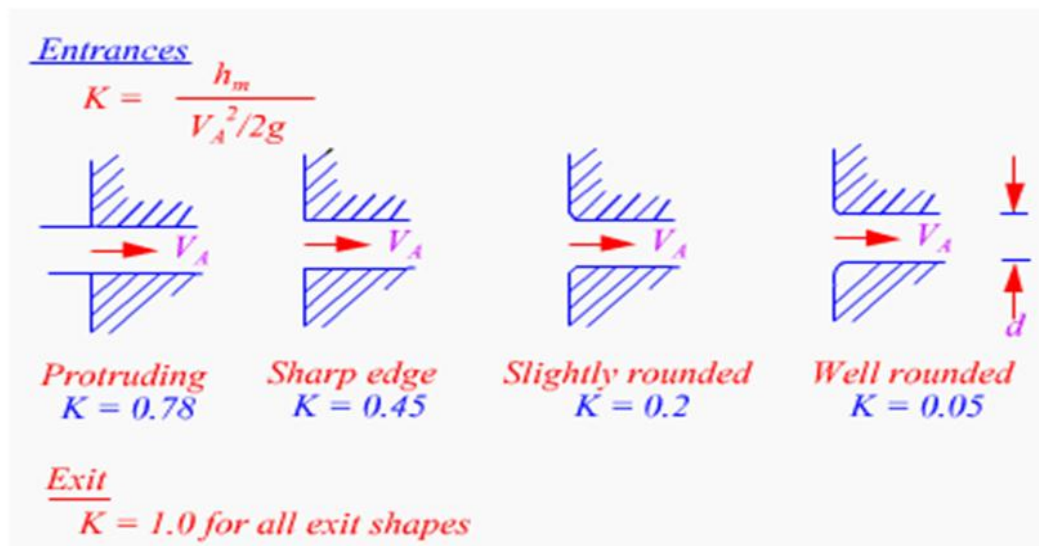
การคำนวณหา  $h_m$  ได้จากข้อมูลในการทดลองดังสมการต่อไปนี้

$$h_m = K \frac{V_A^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(18)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรอง K จะใช้เฉพาะการไหลแบบปั่นป่วนเท่านั้น ค่า K สำหรับอุปกรณ์บางชนิดแสดงในตารางที่ 2.2, ตารางที่ 2.3, ภาพที่ 2.18 และภาพที่ 2.21

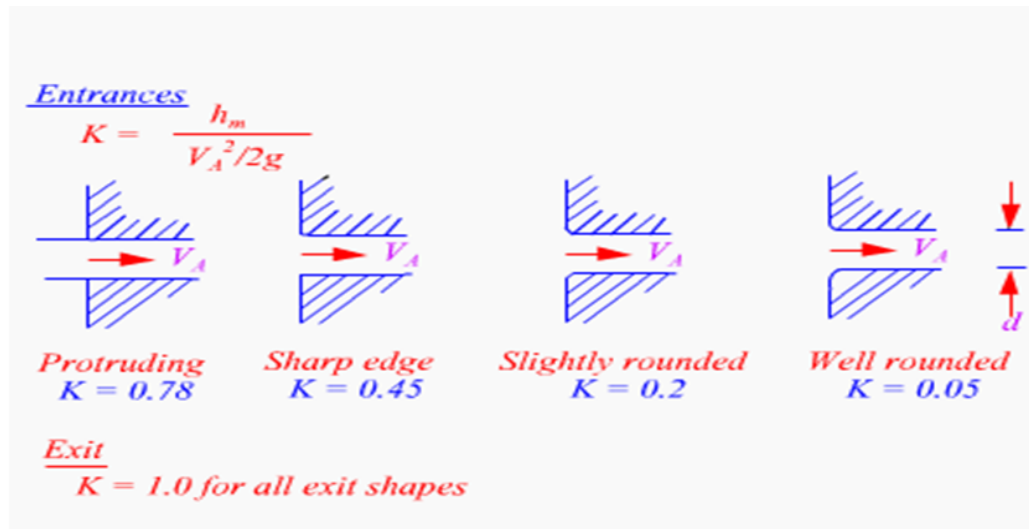
ตารางที่ 2.3 การเพิ่มการสูญเสียสำหรับ Partially Open Valve (ที่มา : วิกิบุคส์,2529)

Condition	Ratio K/K (open Condition)	
	Gate valve	Globe valve
Open	1.0	1.0
Closed, 25%	3.0 - 5.0	1.5 - 2.0
50%	12 - 22	2.0 - 3.0
70%	70 - 120	6.0 - 8.0

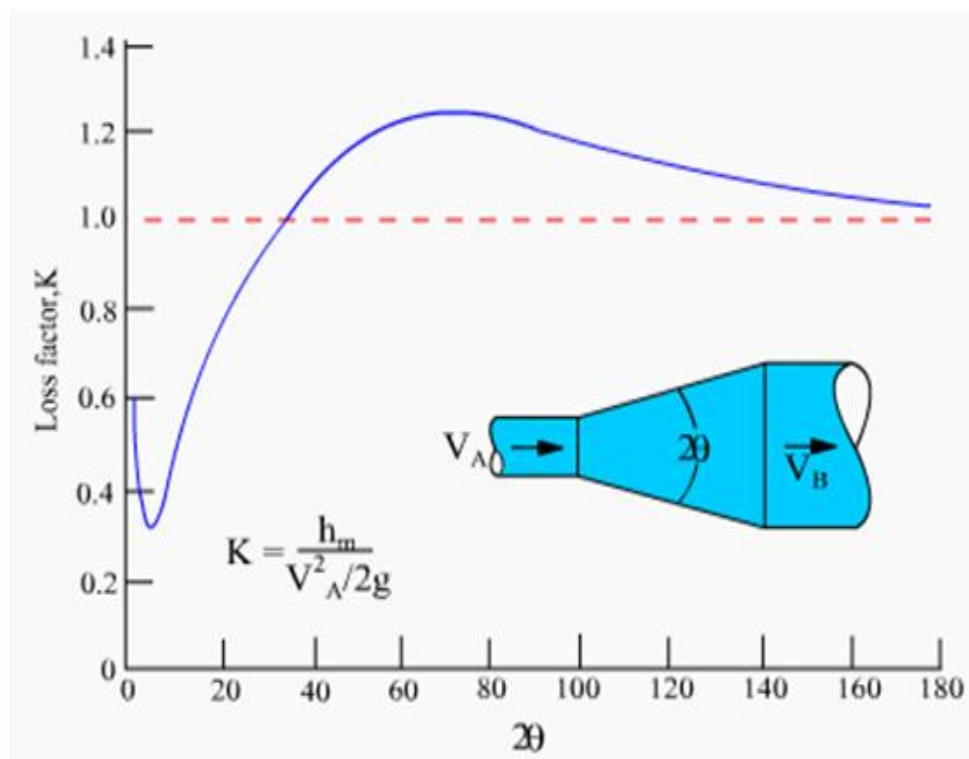


ภาพที่ 2.19 ค่า K สำหรับทางเข้า- ทางออกของท่อ pipe

(ที่มา : วิกิบุคส์,2529)



ภาพที่ 2.20 ค่า  $K$  สำหรับท่อลด- ท่อขยายทันทีที่ตันตันใด  
(ที่มา : วิชา,2529)



ภาพที่ 2.21 ค่า  $K$  สำหรับท่อขยาย  
(ที่มา : วิชา,2529)



### 2.3.1.6 เสดรวม (Total Head, $H_T$ )

เสดรวมของน้ำ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ก็คือพลังงานทั้งหมดของน้ำที่บอกในรูปของเสดของน้ำ ณ จุดนั้น ๆ

∴ เสดรวม = เสดความดัน + เสดความเร็ว + เสดสถิตย์

$$H_T = H_p + H_V + H_s = \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \times Z \quad \text{.....(19)}$$

เสดสถิตย์ =  $Z$  = ความสูงของของเหลว

ความแตกต่างระหว่างเสดรวมของ 2 จุด ในกรณีที่ไม่มีการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวก็คือเสดความฝืดระหว่าง 2 จุดนั้น

ฉะนั้นเสดความฝืดระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2

$$H_{f12} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} + Z_1 - Z_2 \quad \text{.....(20)}$$

ในกรณีที่จุดที่ 1 อยู่ที่ทางเข้าของเครื่องสูบน้ำ และจุดที่ 2 อยู่ที่ทางออกของเครื่องสูบน้ำ เสดที่เพิ่มขึ้นก็คือเสดที่เครื่องสูบน้ำให้แก่ น้ำเสดที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า เสดของเครื่องสูบน้ำ (Total Dynamic Head หรือ Total Discharge Head,  $H_{TDH}$ )

$$H_{TDH} = H_{T2} - H_{T1} + H_T = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_T \quad \text{.....(21)}$$

ในกรณีที่  $H_T$  น้อยมากถือว่าเป็นศูนย์ และระดับทางเข้าและออกของเครื่องสูบน้ำอยู่ในระดับเดียวกัน

$$Z_1 = Z_2 \quad \text{.....(22)}$$

$$H_{TDH} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = H_{p2} - H_{p1} + H_{V2} + H_{V1} \quad \text{.....(23)}$$

### 2.3.2 ความดันในของไหล

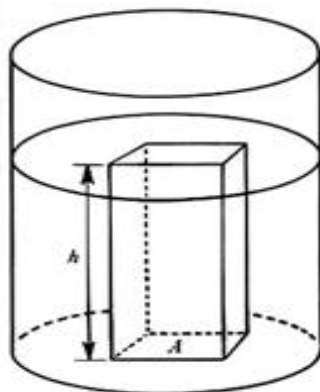
ความดัน (Pressure หรือ Intensity of Pressure) คือแรงที่กระทำบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ ถ้าให้  $F$  เป็นแรงทั้งหมดที่กระทำกระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่  $A$  ความดันที่จุดนั้นๆหาได้จากสมการ

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{.....(24)}$$

เมื่อ  $F =$  แรงที่กระทำในทิศตั้งฉากกับพื้นที่  $A$  (N)

$P =$  ความดันมีหน่วย  $N.m^{-2}$  หรือ ปาสคัล (pascal, Pa)

ความดัน  $1 Pa = 1 N.m^{-2}$  ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ( $lb/in^2$  หรือ psi)



ภาพที่ 2.22 แรงเนื่องจากของไหลในปริมาตรสี่เหลี่ยม  
(ที่มา : วิบูลย์,2529)

ความดันเนื่องจากของไหลในปริมาตรสี่เหลี่ยมคือ

$$W = mg = V\rho g = Ah\rho g \quad \text{.....(25)}$$

ความดันจึงมีค่า

$$P = W/A = \rho gh \quad \text{.....(26)}$$

จะได้ว่าความดันของของไหลจึงแปรผันกับความลึกและความหนาแน่นของของไหลภาชนะถึงทรงกระบอกเปิดรับความดันของบรรยากาศ ณ ตำแหน่งความลึก  $h$  ใต้ผิวของไหลความดันจะมีค่า

$$P = P_0 + \rho gh \quad \text{.....(27)}$$

- ความดัน 1 บรรยากาศ (atmosphere, atm)

$$1\text{atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$= 14.7\text{lb/in}^2$$

$$1\text{bar} = 1.00 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1\text{atm} = 760\text{mm of Hg}$$

$$1\text{Torr} = \frac{1}{760} \text{ atm} = 1\text{mm of Hg}$$

- ความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure) ความดันที่รวมเอาความดันเนื่องจากบรรยากาศไว้ด้วย

- ความดันเกจ (gauge pressure) ความดันที่ไม่รวมเอาความดันเนื่องจากบรรยากาศไว้

$$P_G = P - P_0 = \rho gh \quad \text{.....(28)}$$

(วิบูลย์,2529)

### 2.3.3 กำลังงานที่ต้องการและประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

กำลังงานหมายถึงอัตราการทำงานในหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยของกำลังงานที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ 1 แรงม้ามีค่าเท่ากับ 745.7 วัตต์ (745.7 N-m/s) กำลังงานที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำมีอยู่สองอย่างด้วยกัน คือ

2.3.3.1 แรงม้าทางทฤษฎี (Theoretical Horsepower) หรือบางครั้งเรียกว่า Water Horsepower, Whp เป็นจำนวนแรงม้าที่เครื่องสูบน้ำจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวไหลผ่านระบบด้วยอัตราที่กำหนด ค่า Whp สามารถคำนวณได้

จากสูตร

$$\text{Whp} = (Q \times \text{TDH}) / 273 \quad \text{.....(29)}$$

เมื่อ Whp = แรงม้าทางทฤษฎี (Water Horsepower)

Q = อัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำ ( $\text{m}^3/\text{hr}$ )

TDH = หัวรวมของเครื่องสูบน้ำ (m)

จากสูตร (ในกรณีของเหลวเป็นน้ำ)

$$\text{Whp} = (Q \times \text{TDH}) / 360 \quad \text{.....(30)}$$

เมื่อ Whp = แรงม้าทางทฤษฎี (Water Horsepower)

Q = อัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำ (gpm)

TDH = เศษรวมของเครื่องสูบน้ำ (ft)

2.3.3.2 แรงม้าของต้นกำลัง (Brake Horsepower, Bhp.) เป็นกำลังงานที่มอเตอร์ หรือเครื่องยนต์ต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้เครื่องสูบน้ำเพิ่มกำลังงานให้แก่ของเหลวเท่ากับ Whp ดังนั้น

$$\text{Bhp} = \text{Whp} / \text{ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ} \quad \text{.....(31)}$$

ในกรณีที่ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ พลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องการเป็นกิโลวัตต์ (kW) คำนวณได้จาก

$$\text{kW} = 0.746 \text{ Bhp} \quad \text{.....(32)}$$

จะได้

$$\text{ประสิทธิภาพรวม} = \text{ประสิทธิภาพมอเตอร์} / (\text{ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ} \times \text{ประสิทธิภาพมอเตอร์}) \quad \dots\dots\dots(33)$$

(วิบูลย์, 2529)

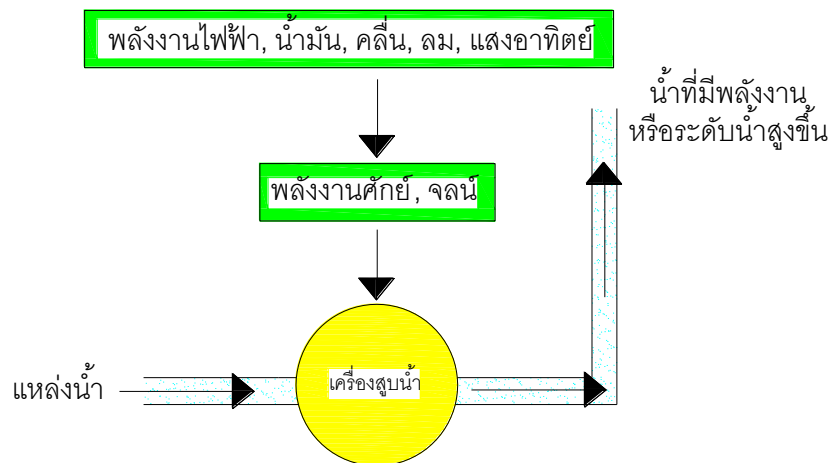
## บทที่ 3

### ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

#### 3.1 ทฤษฎี

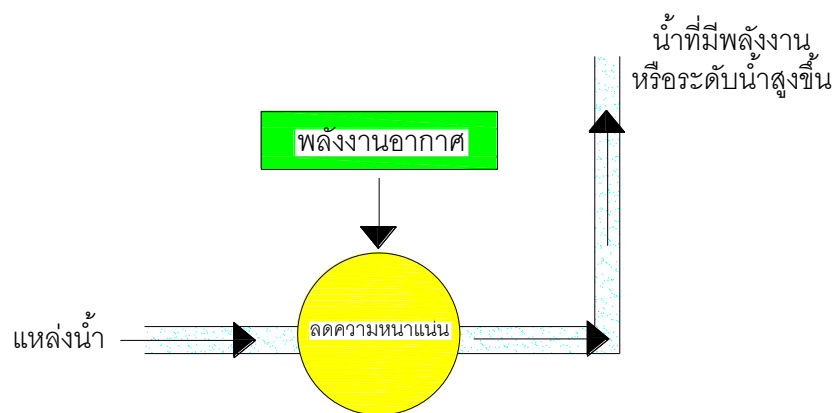
การเพิ่มระดับความสูงให้น้ำสามารถทำได้หลายวิธี

3.1.1 การเพิ่มพลังงานให้กับน้ำ วิธีนี้มีใช้โดยทั่วไป จะทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากแหล่งพลังงานอื่นๆ เพื่อให้เป็นพลังงานศักย์หรือพลังงานจลน์ให้กับน้ำ เช่น เครื่องสูบน้ำไฟฟ้า มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ตามลำดับ เครื่องสูบน้ำพลังงานทดแทน เช่น เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น จะทำการเปลี่ยนแปลงพลังงานคลื่นเป็นพลังงานศักย์ให้กับน้ำ เป็นต้น ดังภาพที่ 3.1



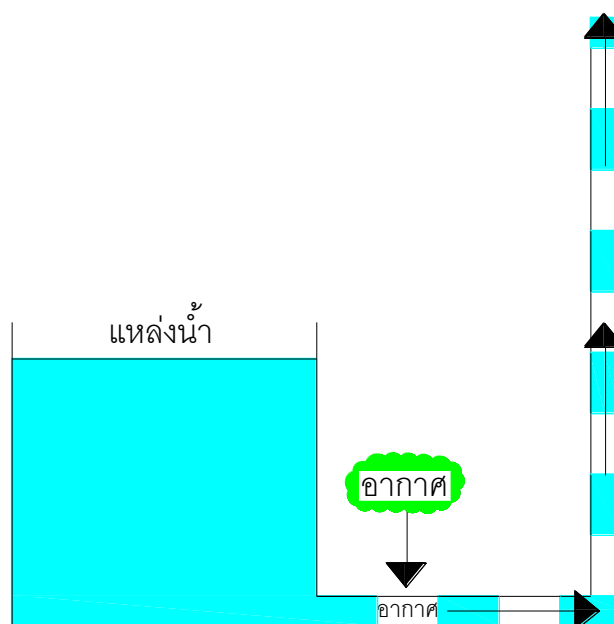
ภาพที่ 3.1 เครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานจากภายนอก

3.1.2 การลดความหนาแน่นของน้ำ เพื่อเพิ่มความสูงให้กับน้ำ โดยวิธีนี้จะไม่มีการเพิ่มพลังงานให้กับระบบ แต่จะทำการควบคุมความหนาแน่นของน้ำที่ออกจากระบบให้มีความหนาแน่นต่ำกว่าพลังงานต้นน้ำ เพื่อเพิ่มความสูงของน้ำ แทนการเพิ่มพลังงานให้กับน้ำ ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มพลังงานให้กับระบบพลังงานที่จะใช้ในระบบจึงมาจากการจ่ายน้ำเข้าระบบ ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

การเพิ่มอากาศเข้าไปยังระบบเพื่อลดความหนาแน่นของน้ำในทางออก เป็นการลดพลังงานทางออก เพื่อให้แรงดันด้านเข้าระบบสามารถผลักน้ำออกสู่ปลายทางได้ โดยการคำนวณแรงดันปลายทางจะต้องสอดคล้องกับระดับแรงดันต้นทางและปลายทาง ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การผสมอากาศเพื่อลดความหนาแน่นให้กับน้ำ

การลดความหนาแน่นจะส่งผลให้มวลของน้ำที่ผสมกับอากาศมีน้ำหนักเบากว่ามวลของน้ำโดยอย่างเดียว การคำนวณระดับความสูงของน้ำจะสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักกับด้านที่เป็นน้ำเพียงอย่างเดียว

เดียว โดยทั้งสองข้างจะต้องมีแรงดันที่เท่ากันเพื่อที่จะสมดุลกัน เช่นการเปรียบเทียบปริมาตร 1 ลิตร มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม เมื่อทำการเปรียบเทียบกับน้ำที่ผสมกับอากาศที่มีอัตราส่วน 3:2 เห็นได้ว่าจะมีน้ำหนักเพียง 3/5 กิโลกรัม (ดังภาพที่ 3.4) ดังนั้นถ้าต้องการต่อเชื่อมเข้าหากัน ด้านที่มีแรงดันสูงกว่าจะไหลเข้าด้านที่มีแรงดันน้อยกว่า หรือสามารถเปรียบเทียบได้กับน้ำ 1 ลิตรในปริมาตร 9/5 กิโลกรัม จะมีน้ำหนักรวม 1 กิโลกรัม ซึ่งจะทำให้ไม่มีการถ่ายโอนแรงดันระหว่างกัน



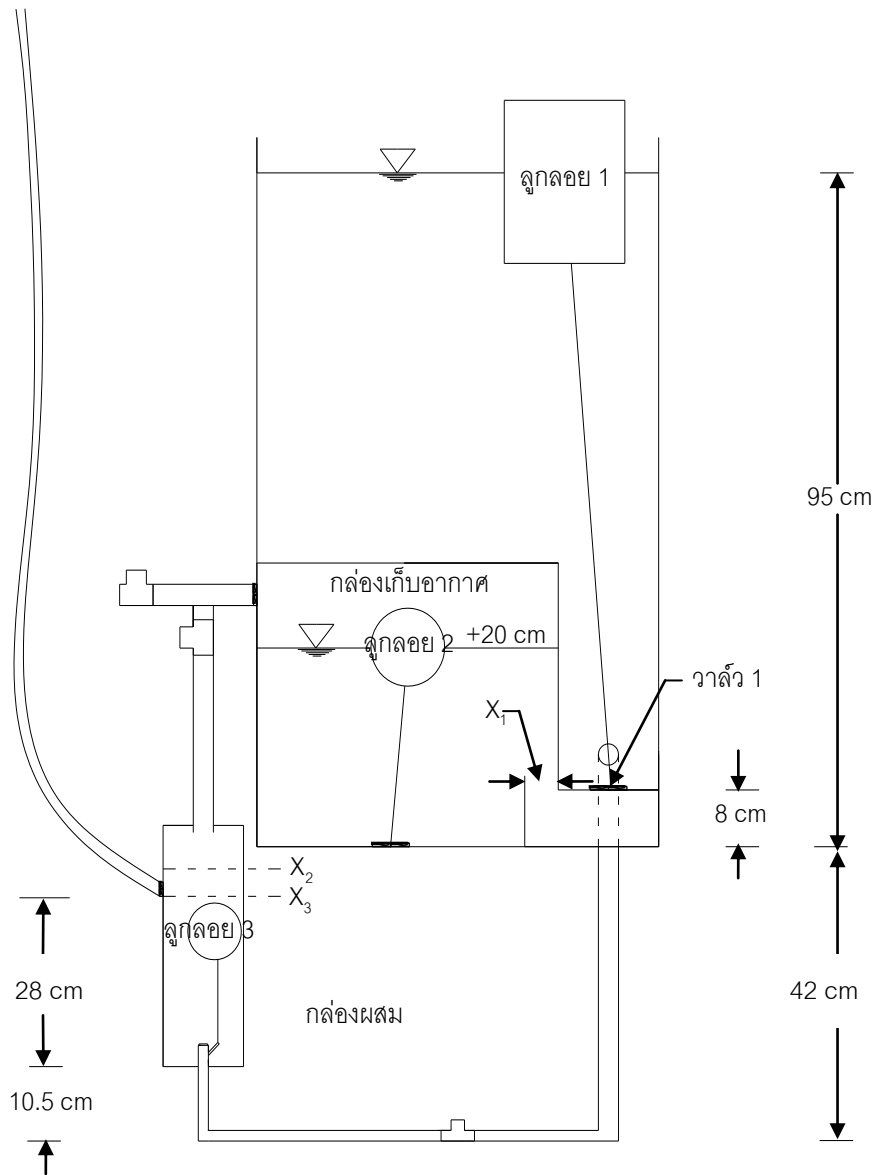
ภาพที่ 3.4 การเปรียบเทียบปริมาตรกับน้ำหนักของน้ำและอากาศ

ดังนั้นถ้ามีการแหล่งต้นน้ำ 1 เมตร โดยทำการผสมอากาศในอัตรา 1:1 ในทางออก จะสามารถนำน้ำผสมอากาศขึ้นได้ในระดับความสูง 2 เมตร ถ้าผสมน้ำกับอากาศในอัตรา 1:10 จะสามารถนำน้ำผสมอากาศขึ้นได้ในระดับความสูง 10 เมตร เป็นต้น โดยการผสมน้ำกับอากาศจะอาศัยพลังงานภายในของระบบเป็นตัวผลักดัน ซึ่งแรงดันส่วนหนึ่งจะสูญเสียไป และแรงดันส่วนหนึ่งจะนำไปใช้เป็แรงดันต้นทุบในการดันน้ำขึ้นสู่ที่สูง

การออกแบบจะใช้ความแตกต่างของความหนาแน่นที่กล่าวในเบื้องต้นมาเป็นพลังงานผลักดันให้น้ำไหลจากที่ต่ำไปสู่ที่สูง โดยที่แรงดันด้านออกจะน้อยกว่าแรงดันด้านเข้า ทำให้น้ำไหลออกจากระบบด้วยแรงดันที่แตกต่างของสองด้าน โดยการออกแบบจะมุ่งเน้นนำเอาวัสดุที่สามารถหาได้จากชุมชนหรือสถานที่ใกล้เคียงเป็นหลัก สามารถนำไปใช้ได้ใสภาพความเป็นจริง และเครื่องสูบน้ำสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและสามารถปรับระดับความสูงได้ตามความต้องการ



### 3.2 การวิเคราะห์เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ



ภาพที่ 3.5 การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

คำนวณหาแรงดัน ณ ตำแหน่งวาล์ว

$$\gamma_w h_{\text{เข้า}} A_{\text{วาล์ว}} = (1000 \text{ kg/m}^3) \times (0.95 \text{ m} - 0.08 \text{ m}) \times (((\pi / 4) \times (5.5 \times 10^{-2}))^2 \text{ m}^2)$$

$$F_1 = 2.067 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{แปลงเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่} &= (2.067 \text{ kg}) / ((2.376 \times 10^{-3}) \text{ m}^2) \\ &= 870 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

คำนวณหาแรงดัน ณ ตำแหน่ง X<sub>1</sub>

$$\gamma_w h_{\text{เข้า}} A_{X_1} = (1000 \text{ kg/m}^3) \times (0.95 \text{ m} - 0.08 \text{ m}) \times (0.05 \text{ m} \times 0.5 \text{ m})$$

$$F_{X_1} = 21.75 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{แปลงเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่} &= (21.75 \text{ kg}) / (0.025 \text{ m}^2) \\ &= 870 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

คำนวณหาแรงดัน ณ ตำแหน่ง X<sub>2</sub>

$$\gamma_w h_{\text{เข้า}} A_{\text{กล่องผสม}} = (1000 \text{ kg/m}^3) \times (0.95 \text{ m} - 0.08 \text{ m}) \times (((\pi / 4) \times (12 \times 10^{-2}))^2 \text{ m}^2)$$

$$F_{X_2} = 9.839 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{แปลงเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่} &= (9.839 \text{ kg}) / (0.0113 \text{ m}^2) \\ &= 870 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ระดับน้ำในสายยางเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.015 เมตร ต้องมีระดับสูงกว่า 87 เซนติเมตร

คิดเป็นปริมาณน้ำที่ได้ในกล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$A_{\text{สายยาง}} \times h_{\text{เข้า}} = V_{\text{กล่องผสม}}$$

$$((\pi / 4) \times (0.015 \text{ m}^2)) \times 87 = 153.74 \text{ cm}^3 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:1)}]$$

คิดเป็นระดับน้ำที่ได้ในกล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$A_{\text{กล่องผสม}} \times h_{\text{กล่องผสม}} = V_{\text{กล่องผสม}}$$

$$((\pi / 4) \times (0.12 \text{ m}^2)) \times h_{\text{กล่องผสม}} = 153.74 \text{ cm}^3 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:1)}]$$

$$h_{\text{กล่องผสม}} = 0.0136 \text{ m}$$

คำนวณหาแรง ณ ตำแหน่ง X<sub>3</sub>

$$\gamma_w h_{\text{เข้า}} A_{\text{กล่องผสม}} = (1000 \text{ kg/m}^3) \times (0.0136 \text{ m}) \times (((\pi / 4) \times (12 \times 10^{-2}))^2 \text{ m}^2)$$

$$F_{X_3} = 0.154 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{แปลงเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่} &= (0.154 \text{ kg}) / (0.0113 \text{ m}^2) \\ &= 13.61 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

### ผลการวิเคราะห์กล่องผสมน้ำกับอากาศของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 1 เมตรด้วยท่อส่งน้ำ 1 ท่อโดยมีระดับน้ำต้นทุน 0.87 เมตร ระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 1.87 เมตร

$$\rho_{\text{เข้า}} g h_{\text{เข้า}} = \rho_{\text{ออก}} g h_{\text{ออก}}$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.87 / 1.87$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.465$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 1 / 2.149 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:1.149)}]$$

ปริมาณน้ำทั้งหมดในสายยาง  $(153.74 \times 2) / 2.149 = 143.08 \text{ cm}^3$

คิดเป็นระดับน้ำที่ได้ในกล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$A_{\text{กล่องผสม}} \times h_{\text{กล่องผสม}} = V_{\text{สายยาง}}$$

$$((\pi / 4) \times (0.12 \text{ m}^2)) \times h_{\text{กล่องผสม}} = 143.08 \text{ cm}^3 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:1.149)}]$$

$$h_{\text{กล่องผสม}} = 0.01183 \text{ m}$$

คำนวณหาความเร็วที่น้ำไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$Z_1 + (P_1 / \gamma) + (v_1^2 / 2g) = Z_2 + (P_2 / \gamma) + (v_2^2 / 2g)$$

$$(0.95 \text{ m} + 0.42 \text{ m} - 0.87 \text{ m} - 0.105 \text{ m} - 0.01183 \text{ m} - 0.28 \text{ m}) / (9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3) = (v_2^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$v_2^2 = 2.06 \times 10^{-4}$$

$$v_2 = 0.014 \text{ m/s}$$

ระยะเวลาในการทำงานที่ระดับ 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) = 60 วินาที

ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$V_{\text{กล่องผสม}} = A_{\text{สายยาง}} \times v \times t$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = ((\pi / 4) \times (1.5 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2) \times (0.014 \text{ m/s}) \times (60 \text{ s})$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 1.484 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 148.4 \text{ cm}^3$$

ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองที่ระดับ 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) = 136.68 cm<sup>3</sup>

ปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากทฤษฎี = 143.08 + 148.4 = 291.48 cm<sup>3</sup>

ประสิทธิภาพการทำงาน =  $(136.68 / 291.48) \times 100 \% = 46.89 \%$

ดังนั้น ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 1 เมตร ด้วยท่อส่งน้ำ 1 ท่อโดยมีระดับน้ำต้นทุนเท่ากับ 0.87 เมตรซึ่งระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 1.87 เมตร สามารถยกน้ำได้ในปริมาณ 291.48 มิลลิลิตร แต่ในการทดลองยกน้ำได้ในปริมาณ 136.68 มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 46.89 %

ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 2 เมตร ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ โดยมีระดับน้ำต้นทุน 0.87 เมตร  
ระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 2.87 เมตร

$$\rho_{\text{เข้า}} g h_{\text{เข้า}} = \rho_{\text{ออก}} g h_{\text{ออก}}$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.87 / 2.87$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.303$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 1 / 3.299 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:2.299)}]$$

ปริมาณน้ำทั้งหมดในสายยาง  $(153.74 \times 2) / 3.299 = 93.20 \text{ cm}^3$

คิดเป็นระดับน้ำที่ได้ในกล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$A_{\text{กล่องผสม}} \times h_{\text{กล่องผสม}} = V_{\text{สายยาง}}$$

$$((\pi / 4) \times (0.12 \text{ m})^2) \times h_{\text{กล่องผสม}} = 93.18 \text{ cm}^3 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:1.149)}]$$

$$h_{\text{กล่องผสม}} = 0.0082 \text{ m}$$

คำนวณหาความเร็วที่น้ำไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$Z_1 + (P_1 / \gamma) + (v_1^2 / 2g) = Z_2 + (P_2 / \gamma) + (v_2^2 / 2g)$$

$$(0.95 \text{ m} + 0.42 \text{ m} - 0.87 \text{ m} - 0.105 \text{ m} - 0.0082 \text{ m} - 0.28 \text{ m}) / (9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3) = (v_2^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$v_2^2 = 2.135 \times 10^{-4}$$

$$v_2 = 0.015 \text{ m/s}$$

ระยะเวลาในการทำงานที่ระดับ 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) = 60 วินาที

ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$V_{\text{กล่องผสม}} = A_{\text{สายยาง}} \times v \times t$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = ((\pi / 4) \times (1.5 \times 10^{-2} \text{ m})^2) \times (0.015 \text{ m/s}) \times (60 \text{ s})$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 1.59 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 159 \text{ cm}^3$$

ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองที่ระดับ 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) = 91.44 cm<sup>3</sup>

ปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากทฤษฎี = 159 + 93.18 = 252.18 cm<sup>3</sup>

ประสิทธิภาพการทำงาน =  $(91.44 / 252.18) \times 100 \% = 36.26 \%$

ดังนั้น ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 2 เมตร ด้วยท่อส่งน้ำ 1 ท่อ โดยมีระดับน้ำต้นทุนเท่ากับ 0.87 เมตร ซึ่งระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 2.87 เมตร สามารถยกน้ำได้ในปริมาณ 252.18 มิลลิลิตร แต่ในการทดลองยกน้ำได้ปริมาณเฉลี่ย 91.44 มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 36.26 %

ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 3 เมตรต่อส่งน้ำ 1 ท่อโดยมีระดับน้ำต้นทุน 0.87 เมตร  
ระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 3.87 เมตร

$$\rho_{\text{เข้า}} g h_{\text{เข้า}} = \rho_{\text{ออก}} g h_{\text{ออก}}$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.87 / 3.87$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.225$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 1 / 4.45 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:3.45)}]$$

ปริมาณน้ำทั้งหมดในสายยาง  $(153.74 \times 2) / 4.45 = 69.10 \text{ cm}^3$

คิดเป็นระดับน้ำที่ได้ในกล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$A_{\text{กล่องผสม}} \times h_{\text{กล่องผสม}} = V_{\text{สายยาง}}$$

$$((\pi / 4) \times (0.12 \text{ m})^2) \times h_{\text{กล่องผสม}} = 69.10 \text{ cm}^3 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:1.149)}]$$

$$h_{\text{กล่องผสม}} = 0.0061 \text{ m}$$

คำนวณหาความเร็วที่น้ำไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$Z_1 + (P_1 / \gamma) + (v_1^2 / 2g) = Z_2 + (P_2 / \gamma) + (v_2^2 / 2g)$$

$$(0.95 \text{ m} + 0.42 \text{ m} - 0.87 \text{ m} - 0.105 \text{ m} - 0.0061 \text{ m} - 0.28 \text{ m}) / (9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3) = (v_2^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$v_2^2 = 2.18 \times 10^{-4}$$

$$v_2 = 0.015 \text{ m/s}$$

ระยะเวลาในการทำงานที่ระดับ 2 เมตร (ต่อส่งน้ำ 1 ท่อ) = 60 วินาที

ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$V_{\text{กล่องผสม}} = A_{\text{สายยาง}} \times v \times t$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = ((\pi / 4) \times (1.5 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2) \times (0.015 \text{ m/s}) \times (60 \text{ s})$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 1.59 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 159 \text{ cm}^3$$

ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองที่ระดับ 2 เมตร (ต่อส่งน้ำออก 2 ท่อ) = 84.48 cm<sup>3</sup>

ปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากทฤษฎี = 159 + 69.10 = 228.1 cm<sup>3</sup>

ประสิทธิภาพการทำงาน =  $(84.48 / 228.1) \times 100 \% = 37.04 \%$

ดังนั้น ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 3 เมตร ด้วยท่อส่งน้ำ 1 ท่อโดยมีระดับน้ำต้นทุนเท่ากับ 0.87 เมตรซึ่งระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 3.87 เมตร สามารถยกน้ำได้ในปริมาณ 228.1 มิลลิลิตร แต่ในการทดลองยกน้ำได้ปริมาณเฉลี่ย 84.48 มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 37.04 %

ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 1 เมตร ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ โดยมีระดับน้ำต้นทุน 0.87 เมตร  
ระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 1.87 เมตร

$$\rho_{\text{เข้า}} g h_{\text{เข้า}} = \rho_{\text{ออก}} g h_{\text{ออก}}$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.87 / 1.87$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.465$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 1 / 2.149 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:1.149)}]$$

ปริมาณน้ำทั้งหมดในสายยาง  $(153.74 \times 2 \times 2) / 2.149 = 286.16 \text{ cm}^3$

คิดเป็นระดับน้ำที่ได้ในกล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$A_{\text{กล่องผสม}} \times h_{\text{กล่องผสม}} = V_{\text{สายยาง}}$$

$$((\pi / 4) \times (0.12 \text{ m}^2)) \times h_{\text{กล่องผสม}} = 286.16 \text{ cm}^3 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:1.149)}]$$

$$h_{\text{กล่องผสม}} = 0.025 \text{ m}$$

คำนวณหาความเร็วที่น้ำไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$Z_1 + (P_1 / \gamma) + (v_1^2 / 2g) = Z_2 + (P_2 / \gamma) + (v_2^2 / 2g)$$

$$(0.95 \text{ m} + 0.42 \text{ m} - 0.87 \text{ m} - 0.105 \text{ m} - 0.025 \text{ m} - 0.28 \text{ m}) / (9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3) = (v_2^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$v_2^2 = 1.8 \times 10^{-4}$$

$$v_2 = 0.0134 \text{ m/s}$$

ระยะเวลาในการทำงานที่ระดับ 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) = 60 วินาที

ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$V_{\text{กล่องผสม}} = A_{\text{สายยาง}} \times v \times t$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = ((\pi / 4) \times (1.5 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2) \times (0.0134 \text{ m/s}) \times (60 \text{ s})$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 1.421 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 142.1 \text{ cm}^3$$

ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองที่ระดับ 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) = 313.45 cm<sup>3</sup>

ปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากทฤษฎี = 286.16 + 142.1 = 428.26 cm<sup>3</sup>

ประสิทธิภาพการทำงาน =  $(313.45 / 428.26) \times 100 \% = 73.19 \%$

ดังนั้น ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 1 เมตร ด้วยท่อส่งน้ำ 2 ท่อ โดยมีระดับน้ำต้นทุนเท่ากับ 0.87 เมตร ซึ่งระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 1.87 เมตร สามารถยกน้ำได้ในปริมาณ 428.26 มิลลิลิตร แต่ในการทดลองยกน้ำได้ปริมาณเฉลี่ย 313.45 มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 73.19 %

ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 2 เมตรต่อส่งน้ำ 2 ท่อโดยมีระดับน้ำต้นทุน 0.87 เมตร  
ระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 2.87 เมตร

$$\rho_{\text{เข้า}} g h_{\text{เข้า}} = \rho_{\text{ออก}} g h_{\text{ออก}}$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.87 / 2.87$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.303$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 1 / 3.299 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:2.299)}]$$

ปริมาณน้ำทั้งหมดในสายยาง  $(153.74 \times 2 \times 2) / 3.299 = 186.41 \text{ cm}^3$

คิดเป็นระดับน้ำที่ได้ในกล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$A_{\text{กล่องผสม}} \times h_{\text{กล่องผสม}} = V_{\text{สายยาง}}$$

$$((\pi / 4) \times (0.12 \text{ m}^2)) \times h_{\text{กล่องผสม}} = 186.41 \text{ cm}^3 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:1.149)}]$$

$$h_{\text{กล่องผสม}} = 0.0165 \text{ cm}$$

คำนวณหาความเร็วที่น้ำไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$Z_1 + (P_1 / \gamma) + (v_1^2 / 2g) = Z_2 + (P_2 / \gamma) + (v_2^2 / 2g)$$

$$(0.95 \text{ m} + 0.42 \text{ m} - 0.87 \text{ m} - 0.105 \text{ m} - 0.0165 \text{ m} - 0.28 \text{ m}) / (9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3) = (v_2^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$v_2^2 = 1.97 \times 10^{-4}$$

$$v_2 = 0.014 \text{ m/s}$$

ระยะเวลาในการทำงานที่ระดับ 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) = 60 วินาที

ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$V_{\text{กล่องผสม}} = A_{\text{สายยาง}} \times v \times t$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = ((\pi / 4) \times (1.5 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2) \times (0.014 \text{ m/s}) \times (60 \text{ s})$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 1.48 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 148 \text{ cm}^3$$

ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองที่ระดับ 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) = 174.53 cm<sup>3</sup>

ปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากทฤษฎี = 186.41 + 148 = 334.41 cm<sup>3</sup>

ประสิทธิภาพการทำงาน =  $(174.53 / 334.41) \times 100 \% = 52.19 \%$

ดังนั้น ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 2 เมตร ด้วยท่อส่งน้ำ 2 ท่อโดยมีระดับน้ำต้นทุนเท่ากับ 0.87 เมตรซึ่งระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 2.87 เมตร สามารถยกน้ำได้ในปริมาณ 334.41 มิลลิลิตร แต่ในการทดลองยกน้ำได้ปริมาณเฉลี่ย 174.53 มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 52.19 %

ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 3 เมตร ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ โดยมีระดับน้ำต้นทุน 0.87 เมตร ระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 3.87 เมตร

$$\rho_{\text{เข้า}} g h_{\text{เข้า}} = \rho_{\text{ออก}} g h_{\text{ออก}}$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.87 / 3.87$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 0.225$$

$$\rho_{\text{ออก}} = 1 / 4.45 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:3.45)}]$$

ปริมาณน้ำทั้งหมดในสายยาง  $(153.74 \times 2 \times 2) / 4.45 = 138.19 \text{ cm}^3$

คิดเป็นระดับน้ำที่ได้ในกล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$A_{\text{กล่องผสม}} \times h_{\text{กล่องผสม}} = V_{\text{สายยาง}}$$

$$((\pi / 4) \times (0.12 \text{ m}^2)) \times h_{\text{กล่องผสม}} = 138.19 \text{ cm}^3 \quad [\text{คิดเป็น อัตราส่วน น้ำ : อากาศ (1:1.149)}]$$

$$h_{\text{กล่องผสม}} = 0.0122 \text{ m}$$

คำนวณหาความเร็วที่น้ำไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$Z_1 + (P_1 / \gamma) + (v_1^2 / 2g) = Z_2 + (P_2 / \gamma) + (v_2^2 / 2g)$$

$$(0.95 \text{ m} + 0.42 \text{ m} - 0.87 \text{ m} - 0.105 \text{ m} - 0.0122 \text{ m} - 0.28 \text{ m}) / (9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3) = (v_2^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2))$$

$$v_2^2 = 2.06 \times 10^{-4}$$

$$v_2 = 0.0143 \text{ m/s}$$

ระยะเวลาในการทำงานที่ระดับ 2 m (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) = 60 วินาที

ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ากล่องผสมน้ำกับอากาศ

$$V_{\text{กล่องผสม}} = A_{\text{สายยาง}} \times v \times t$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = ((\pi / 4) \times (1.5 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2) \times (0.0143 \text{ m/s}) \times (60 \text{ s})$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 1.516 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{กล่องผสม}} = 151.6 \text{ cm}^3$$

ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองที่ระดับ 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) = 166.22 cm<sup>3</sup>

ปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากทฤษฎี = 138.19 + 151.6 = 289.79 cm<sup>3</sup>

ประสิทธิภาพการทำงาน =  $(166.22 / 289.79) \times 100 \% = 57.36 \%$

ดังนั้น ถ้าต้องการยกน้ำขึ้นสูงจากระดับน้ำต้นทุน 3 เมตร ด้วยท่อส่งน้ำ 2 ท่อ โดยมีระดับน้ำต้นทุนเท่ากับ 0.87 เมตร ซึ่งระดับน้ำที่ต้องยกขึ้น 3.87 เมตร สามารถยกน้ำได้ในปริมาณ 289.79 มิลลิลิตร แต่ในการทดลองยกน้ำได้ปริมาณเฉลี่ย 166.22 มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 57.36 %



ตารางที่ 3.1 ปริมาณน้ำที่สามารถยกได้และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ ที่ระดับความสูงต่างๆ ในการคำนวณทางทฤษฎี

จำนวนท่อส่งน้ำ (ท่อ)	ระดับความสูง (เมตร)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)	ประสิทธิภาพการทำงาน (%)
1	1	291.48	46.89
	2	252.18	36.26
	3	228.10	37.04
2	1	428.26	73.19
	2	334.41	53.19
	3	289.79	57.36

## บทที่ 4

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### 4.1 อุปกรณ์และวิธีการ

##### 4.1.1 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้ไม้อัดเป็นวัสดุ

###### ก. วัสดุ

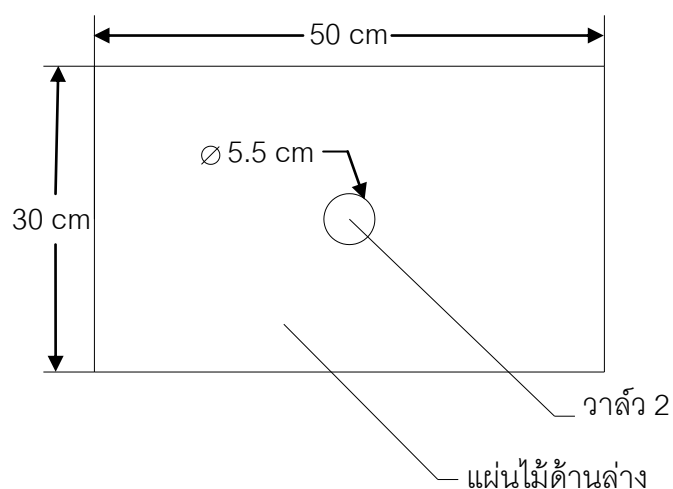
1. แผ่นไม้อัด (ความหนา 1 cm)
2. แผ่นอะคริลิก (ความหนา 5 mm)
3. สีเคลือบกันน้ำ จำนวน 1 กระป๋อง
4. สีน้ำมันทาไม้ จำนวน 1 กระป๋อง
5. ทินเนอร์ จำนวน 1 กระป๋อง
6. ลูกกลอยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร จำนวน 5 ลูก
7. ซิลิโคน จำนวน 2 หลอด
8. วาล์วระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร จำนวน 2 อัน
9. วาล์วทองเหลืองทางเดียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 2 อัน
10. ท่อพีวีซีสามทางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 1 อัน
11. เทปพันท่อ จำนวน 2 ม้วน
12. ข้อต่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 3 อัน
13. เชือกไนลอน จำนวน 1 ม้วน
14. นี้อต จำนวน 30 ตัว
15. กาวติดท่อ จำนวน 1 กระป๋อง
16. สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 6 เมตร
17. ตะปูความยาว 1 นิ้ว จำนวน 1 กิโลกรัม

## ข. อุปกรณ์

1. เลื่อย
2. แปรงทาสี
3. ไขควง
4. ค้อน
5. สว่าน
6. กระดาษทราย
7. ตลับเมตร

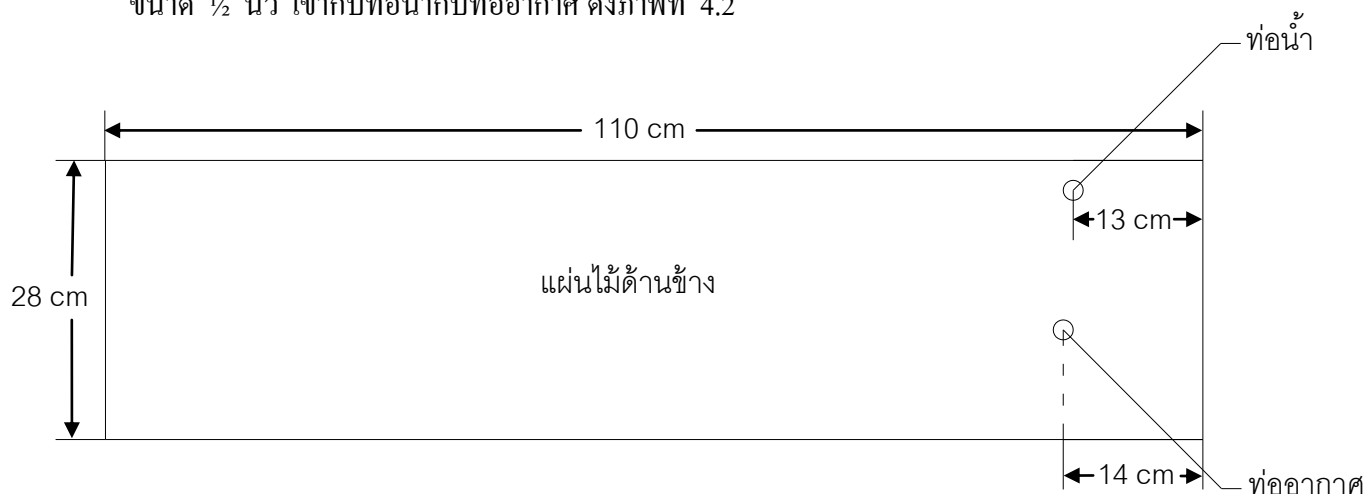
## ค. วิธีการทำตัวเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

1. ศึกษากลไกกระบวนการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump)
2. ออกแบบโครงสร้างและรูปร่างของเครื่องสูบน้ำ
3. ทำการวัดแผ่นไม้ และแผ่นอะคริลิกตามขนาดที่ออกแบบไว้ดังนี้  
 ตัวเครื่องสูบน้ำ แผ่น ไม้ขนาด  $28 \times 110 \text{ cm}^2$  (รวมความหนาของแผ่นไม้ 1 cm) จำนวน 2 แผ่น  
 $50 \times 110 \text{ cm}^2$  (รวมความหนาของแผ่นไม้ 1 cm) จำนวน 1 แผ่น  
 $30 \times 50 \text{ cm}^2$  (รวมความหนาของแผ่นไม้ 1 cm) จำนวน 1 แผ่น  
 แผ่นอะคริลิกขนาด  $50 \times 110 \text{ cm}^2$  (รวมความหนา 1 cm) จำนวน 1 แผ่น  
 ก่อ่งเก็บอากาศ แผ่น ไม้ขนาด  $22 \times 30 \text{ cm}^2$  (รวมความหนาของแผ่นไม้ 1 cm) จำนวน 1 แผ่น  
 $22 \times 28 \text{ cm}^2$  (รวมความหนาของแผ่นไม้ 1 cm) จำนวน 1 แผ่น  
 $23 \times 36 \text{ cm}^2$  (รวมความหนาของแผ่นไม้ 1 cm) จำนวน 1 แผ่น  
 แผ่นอะคริลิกขนาด  $31 \times 36 \text{ cm}^2$  (รวมความหนา 1 cm) จำนวน 1 แผ่น
4. เมื่อทำการวัดแล้ว นำแผ่นไม้และแผ่นอะคริลิกตัดตามขนาดที่วัดไว้ แล้วนำกระดาษทรายตกแต่งขอบไม้ให้เรียบร้อย
5. เจาะรูแผ่นไม้ด้านล่างของก่อกองใหญ่ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร นำวาล์ว 2 มาใส่ที่เจาะรูไว้ แล้วติดกาวให้แน่น ดังภาพที่ 4.1



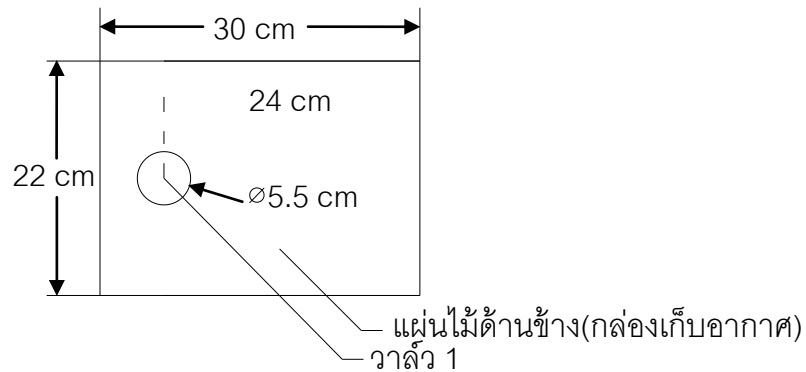
ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่วาล์วของแผ่นไม้ด้านล่าง

6. เจาะรูแผ่นไม้ด้านข้างของกล่องใหญ่ โดยท่อน้ำให้มีขนาด  $\frac{1}{2}$  นิ้ว ระยะห่างจากพื้น 13 เซนติเมตรและท่ออากาศขนาด  $\frac{1}{2}$  นิ้ว ระยะห่างจากพื้น 14 เซนติเมตร ประกอบวาล์วทางเดียว ขนาด  $\frac{1}{2}$  นิ้ว เข้ากับท่อน้ำกับท่ออากาศ ดังภาพที่ 4.2



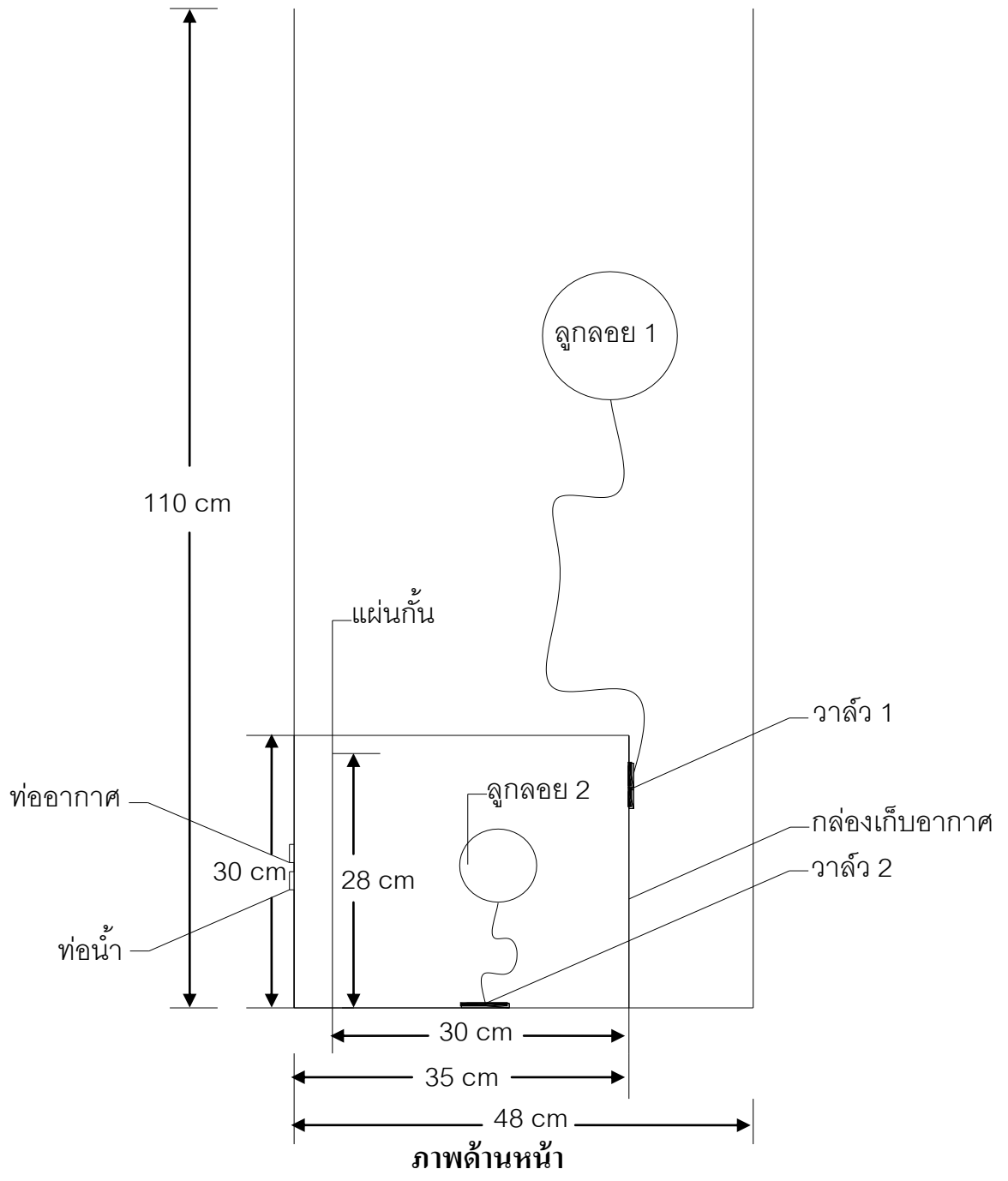
ภาพที่ 4.2 ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่ท่อของแผ่นไม้ด้านข้าง

7. เจาะรูแผ่นไม้ด้านข้างกล่องเก็บอากาศให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร นำวาล์ว 1 มาใส่ที่เจาะรูไว้ แล้วติดกาวให้แน่น ดังภาพที่ 4.3

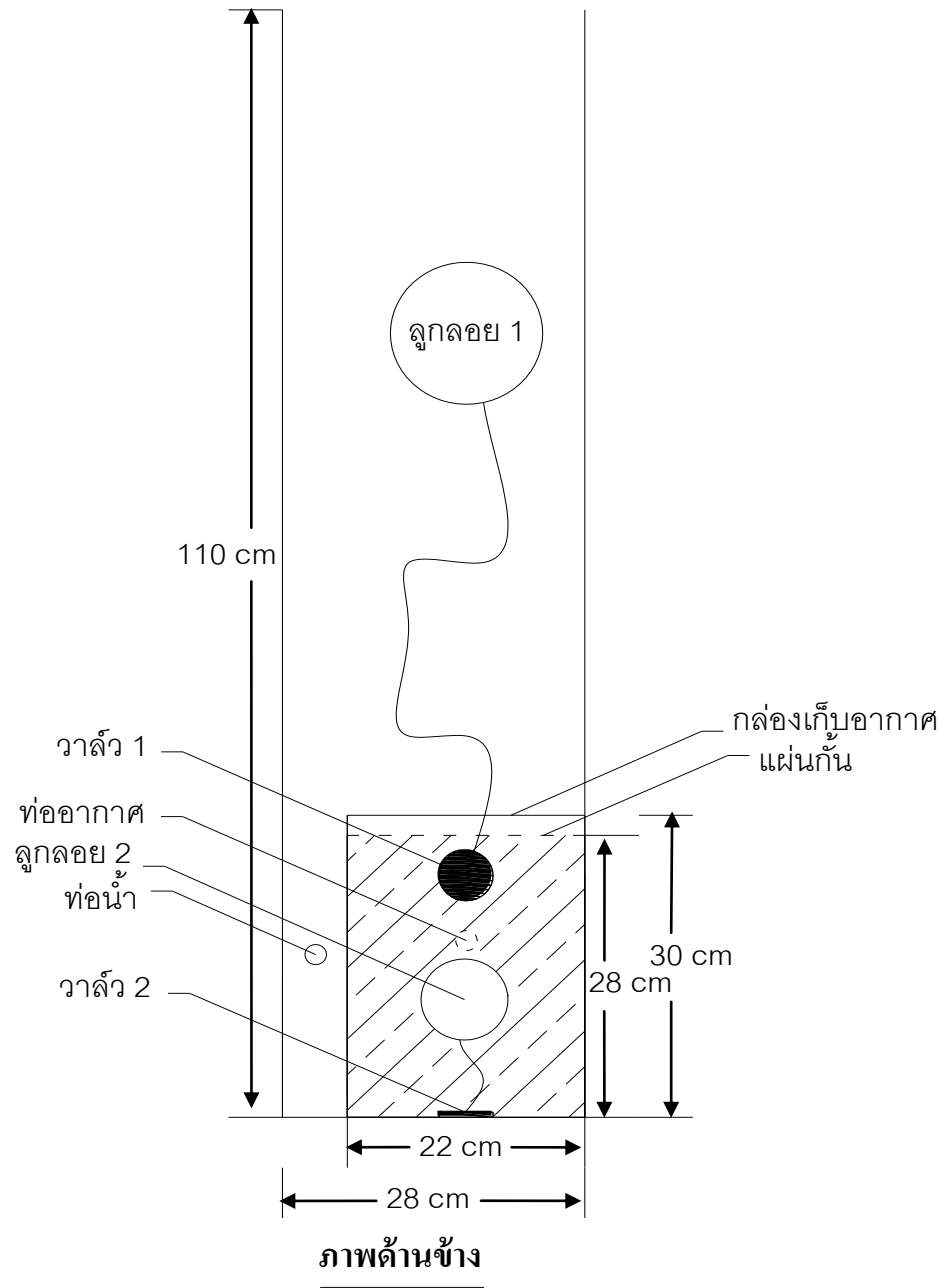


ภาพที่ 4.3 ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่วาล์วของแผ่นไม้ด้านข้าง

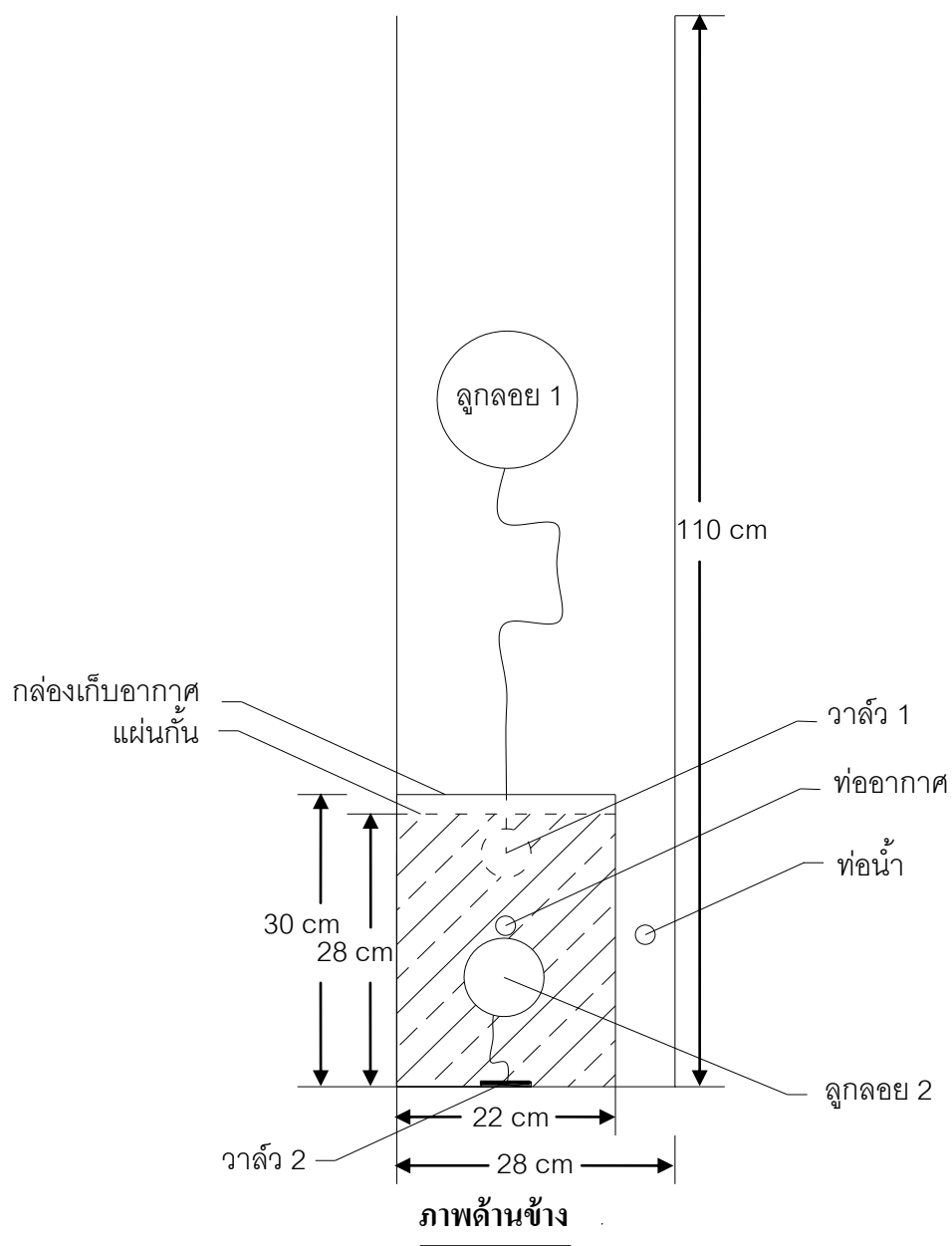
8. ทากาวเคลือบกันน้ำลงบนแผ่นไม้ทั้งหมด ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ แล้วทึงไว้ให้แห้ง
9. นำส่วนประกอบของกล่องเล็กประกอบเข้าด้วยกัน โดยนำลูกกลอยจำนวน 4 ลูกมัดรวมกัน แล้วใช้เชือกมัดติดกับวาล์ว 2 จากนั้นทำการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมด ใช้น้ำอัดและตะปูยึดให้แน่น แล้วนำซิลิโคนทาบริเวณรอยต่อ เพื่อป้องกันการรั่วซึม
10. นำส่วนประกอบของกล่องใหญ่ประกอบเข้าด้วยกัน โดยนำลูกกลอยจำนวน 1 ลูก แล้วใช้เชือกมัดติดกับวาล์ว 1 จากนั้นทำการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมด ใช้น้ำอัดและตะปูยึดให้แน่น แล้วนำซิลิโคนทาบริเวณรอยต่อ เพื่อป้องกันการรั่วซึม ทาสีและตกแต่งภายนอกตัวเครื่องสูบน้ำ นำสายยางมาต่อเข้ากับท่อน้ำและท่ออากาศ โดยใช้วาล์วสามทางเป็นตัวเชื่อมน้ำกับอากาศ ดังภาพที่ 4.4 ภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.4 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านหน้า)



ภาพที่ 4.5 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง)



ภาพที่ 4.6 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง)

11. จากนั้นนำเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศทดสอบหารอยรั่วซึมบริเวณรอยต่อและตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
12. ทำการแก้ไขเครื่องสูบน้ำและนำไปทดสอบอีกครั้ง



#### 4.1.2 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นสังกะสีเป็นวัสดุ

##### ก. วัสดุ

1. แผ่นสังกะสี (ความหนา 2 มิลลิเมตร)
2. ลูกลอยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร จำนวน 6 ลูก
3. ลูกลอยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร จำนวน 1 ลูก
4. ลูกลอยทรงกระบอก จำนวน 6 ลูก
5. วาล์วระบายน้ำเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร จำนวน 2 อัน
6. วาล์วทองเหลืองเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 1 อัน
7. วาล์วทองเหลืองเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว จำนวน 1 อัน
8. ท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความยาว 2 เมตร
9. ท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ความยาว 0.5 เมตร
10. เกลียวในพีวีซี 1 นิ้ว จำนวน 3 อัน
11. เกลียวนอกพีวีซี 1 นิ้ว จำนวน 3 อัน
12. ข้อต่อพีวีซี 1 นิ้ว จำนวน 2 อัน
13. ข้องอพีวีซี 1 นิ้ว จำนวน 2 อัน
14. สายยางเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความยาว 6 เมตร
15. เชือกไนลอน จำนวน 1 ม้วน
16. โซ่อะลูมิเนียม จำนวน 2 เส้น
17. กาวติดท่อ จำนวน 1 กระป๋อง
18. เทปพันท่อ จำนวน 2 ม้วน
19. ตะปูเกลียว จำนวน 30 ตัว
20. ลวด จำนวน 1 ม้วน
21. แหวนล็อกเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 3 อัน
22. เหล็กฉาก ความยาว 5 เมตร
23. แผ่นยางกันน้ำซึม จำนวน 1 แผ่น

24. ซิลิโคน จำนวน 1 หลอด

25. กระจก จำนวน 1 แผ่น

#### ข. อุปกรณ์

1. เลื่อย
2. ไขควง
3. ค้อน
4. สว่าน
5. อุปกรณ์ตัดสังกะสี
6. ตลับเมตร
7. อุปกรณ์เชื่อมต่อสังกะสี
8. ครีมล๊อค
9. ไม้บรรทัด

#### ค. วิธีการทำตัวเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

1. ศึกษากลไกกระบวนการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump)
2. ออกแบบโครงสร้างและรูปร่างของเครื่องสูบน้ำ
3. ทำการวัดแผ่นสังกะสี ตามขนาดที่ออกแบบไว้ดังนี้

ตัวเครื่องสูบน้ำ แผ่นสังกะสีขนาด  $60 \times 40 \text{ cm}^2$  จำนวน 2 แผ่น

แผ่นสังกะสีขนาด  $60 \times 50 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

แผ่นกระจกขนาด  $60 \times 50 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

แผ่นสังกะสีขนาด  $50 \times 40 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

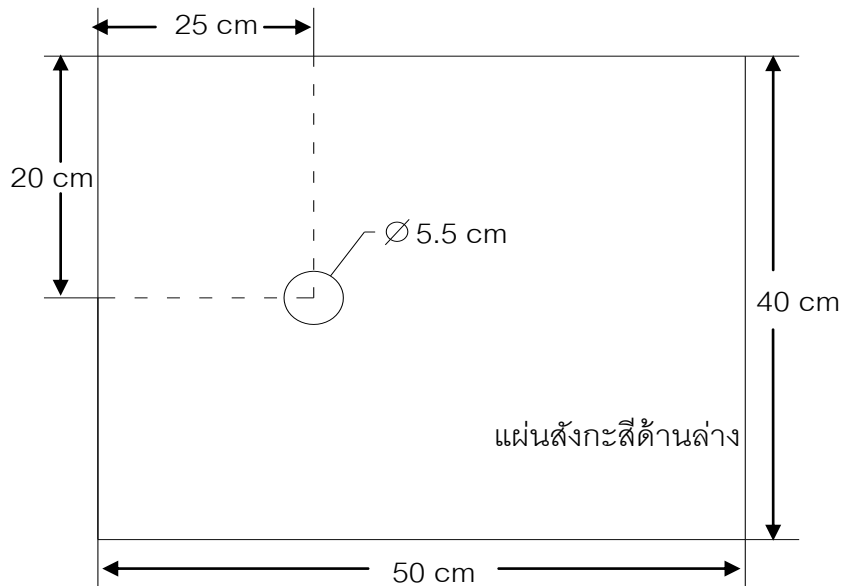
กล่องเก็บอากาศ แผ่นสังกะสีขนาด  $40 \times 40 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

แผ่นสังกะสีขนาด  $32 \times 40 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

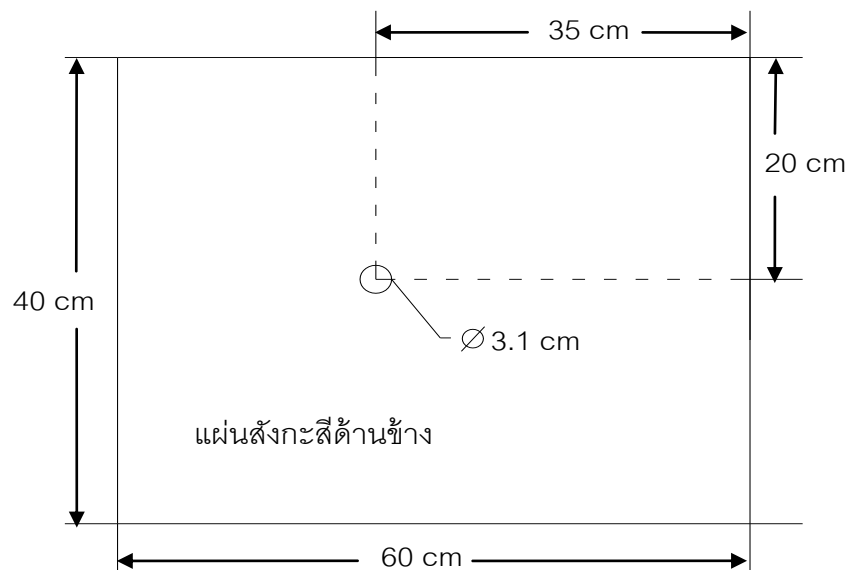
แผ่นสังกะสีขนาด  $10 \times 40 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

แผ่นสังกะสีขนาด  $10 \times 40 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

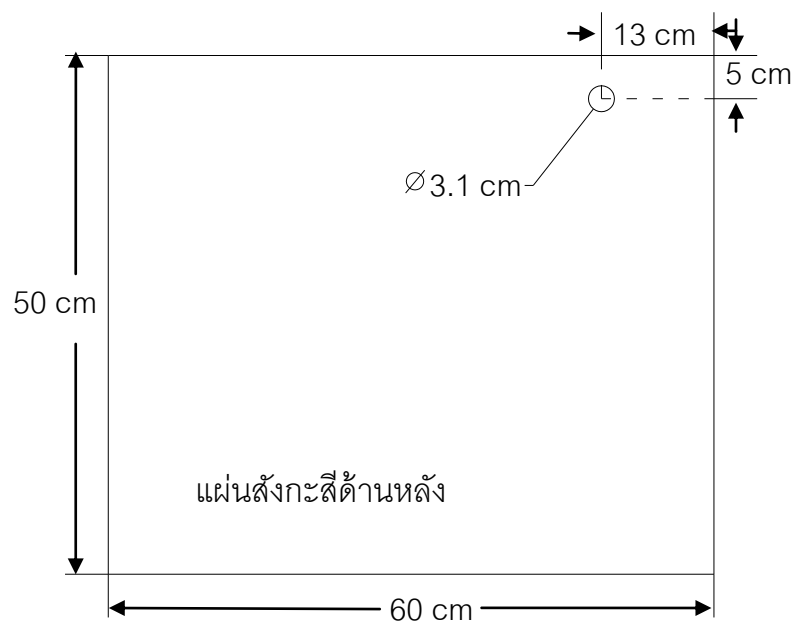
4. เมื่อทำการวัดขนาดแล้ว ให้นำแผ่นสังกะสีมาตัดตามขนาดโดยใช้อุปกรณ์ตัด เจาะรูตามขนาดท่อ และตำแหน่งที่ออกแบบไว้ ดังภาพที่ 4.7 ภาพที่ 4.8 ภาพที่ 4.9 และภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.7 ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่วาล์วของแผ่นสังกะสีด้านล่าง



ภาพที่ 4.8 ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่ท่อของแผ่นสังกะสีด้านข้าง



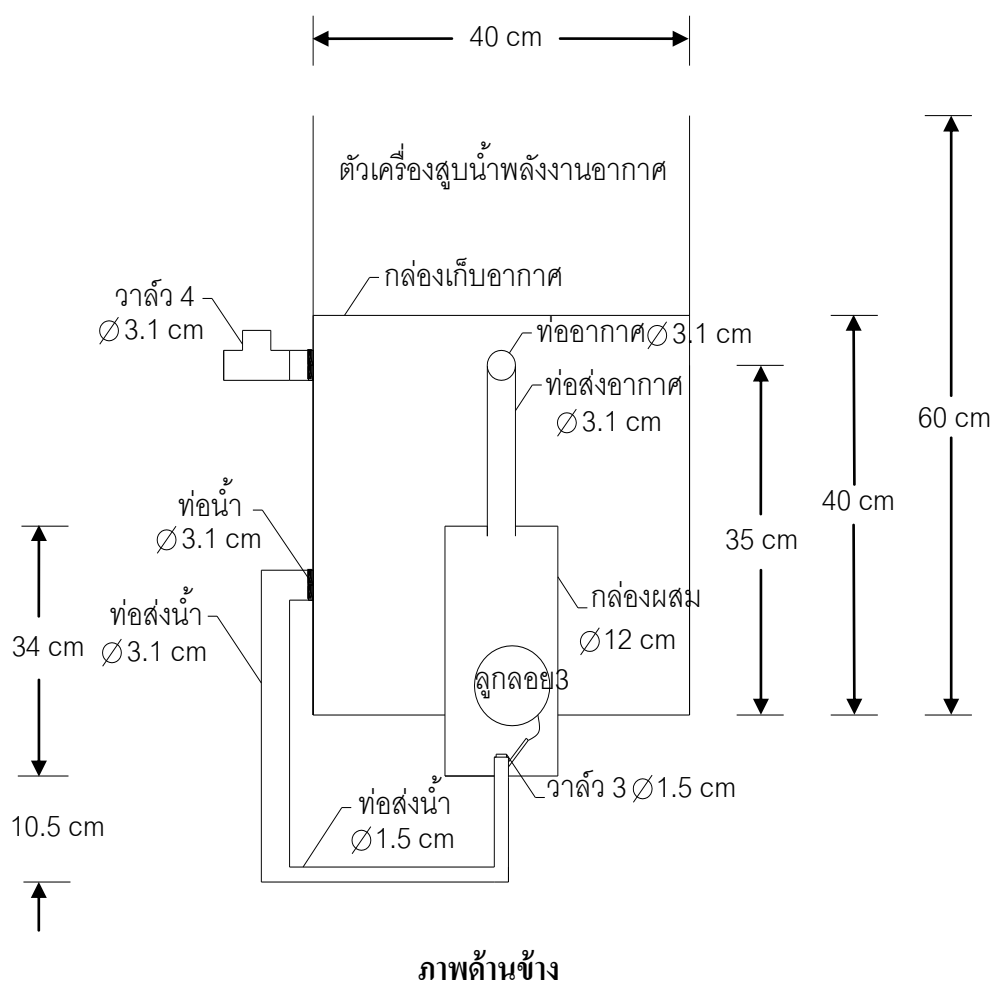
ภาพที่ 4.9 ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่ท่อของแผ่นสังกะสีด้านหลัง



ภาพที่ 4.10 ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่วาล์วของแผ่นสังกะสีด้านกลาง

5. ทำการประกอบตัวเครื่องทั้งตัวเครื่องสูบน้ำและกล่องเก็บอากาศโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อ ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งวาล์ว ท่อน้ำ สายยาง และตั้งระดับลูกลอยตามที่ออกแบบไว้
6. ติดตั้งชุดอุปกรณ์ ผสมน้ำและอากาศ โดยทำการตั้งระดับลูกลอยในชุดอุปกรณ์ผสมน้ำตามที่ออกแบบไว้
7. ติดตั้งชุดเครื่องสูบน้ำ กับอุปกรณ์ผสมน้ำและอากาศเข้าด้วยกัน ดังภาพที่ 4.11 และภาพที่ 4.12





ภาพที่ 4.12 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง)

8. ทำการทดสอบเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ โดยทำการปรับแก้และตรวจเช็คอุปกรณ์ต่างๆ ให้ใช้งานได้ตามที่ออกแบบไว้

#### 4.1.3 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นเหล็กเป็นวัสดุ

##### ก. วัสดุ

1. แผ่นเหล็ก (ความหนา 3 มิลลิเมตร)
2. ลูกลอยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร จำนวน 8 ลูก
3. ลูกลอยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร จำนวน 1 ลูก
4. ลูกลอยขนาด 18x15.5x23 เซนติเมตร จำนวน 1 ลูก
5. วาล์วระบายน้ำเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร จำนวน 2 อัน
6. วาล์วทองเหลืองเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 2 อัน
7. วาล์วทองเหลืองเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว จำนวน 1 อัน
8. ท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความยาว 2 เมตร
9. ท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ความยาว 0.5 เมตร
10. เกลียวในพีวีซี 1 นิ้ว จำนวน 3 อัน
11. เกลียวนอกพีวีซี 1 นิ้ว จำนวน 3 อัน
12. ข้อต่อพีวีซี 1 นิ้ว จำนวน 2 อัน
13. ข้องอพีวีซี 1 นิ้ว จำนวน 2 อัน
14. สายยางเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความยาว 6 เมตร
15. อีพ็อกซี่ (สีดำ) จำนวน 1 กระป๋อง
16. เชือกไนลอน จำนวน 1 ม้วน
17. โข่เหล็ก จำนวน 2 เส้น
18. สีกันสนิม จำนวน 1 กระป๋อง
19. ทินเนอร์ จำนวน 1 ขวด
20. กาวติดท่อ จำนวน 1 กระป๋อง
21. เทปพันท่อ จำนวน 1 ม้วน
22. ตะปูเกลียว จำนวน 30 ตัว
23. ลวด จำนวน 1 ม้วน

24. แหวนล็อกเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 3 อัน
25. เหล็กฉาก ความยาว 5 เมตร
26. แผ่นยางกันน้ำซึม จำนวน 1 แผ่น

#### ข. อุปกรณ์

1. เลื่อย
2. ลูกกลิ้งทาสี
3. ไขควง
4. ค้อน
5. สว่าน
6. อุปกรณ์ตัดเหล็กหัวพลาสติก
7. ตลับเมตร
8. อุปกรณ์เชื่อมต่อเหล็ก
9. คริมล็อก
10. ปีกเต้า

#### ค. วิธีการทำตัวเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

1. ศึกษาหลักการทำงานของการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (Hydraulic Air Pump)
2. ออกแบบโครงสร้างและรูปร่างของเครื่องสูบน้ำ
3. ทำการวัดแผ่นเหล็ก ตามขนาดที่ออกแบบไว้ดังนี้

ตัวเครื่องสูบน้ำ แผ่นเหล็กขนาด  $60 \times 100 \text{ cm}^2$  จำนวน 2 แผ่น

แผ่นเหล็กขนาด  $50 \times 100 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

แผ่นเหล็กขนาด  $60 \times 60 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

แผ่นเหล็กขนาด  $60 \times 50 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

แผ่นเหล็กขนาด  $60 \times 40 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น



แผ่นยางกันน้ำซึมขนาด  $60 \times 40 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

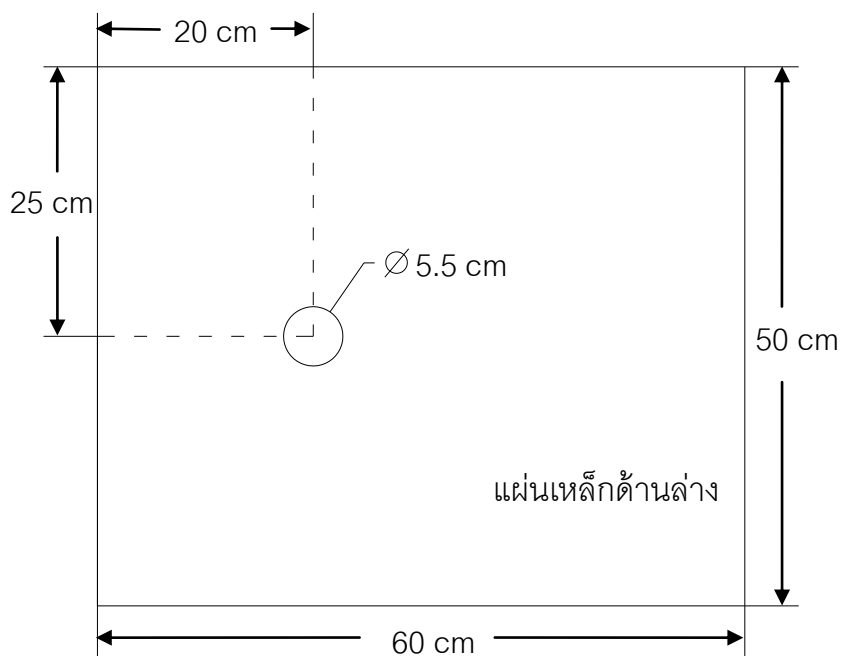
กล่องเก็บอากาศ แผ่นเหล็กขนาด  $45 \times 50 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

แผ่นเหล็กขนาด  $32 \times 50 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

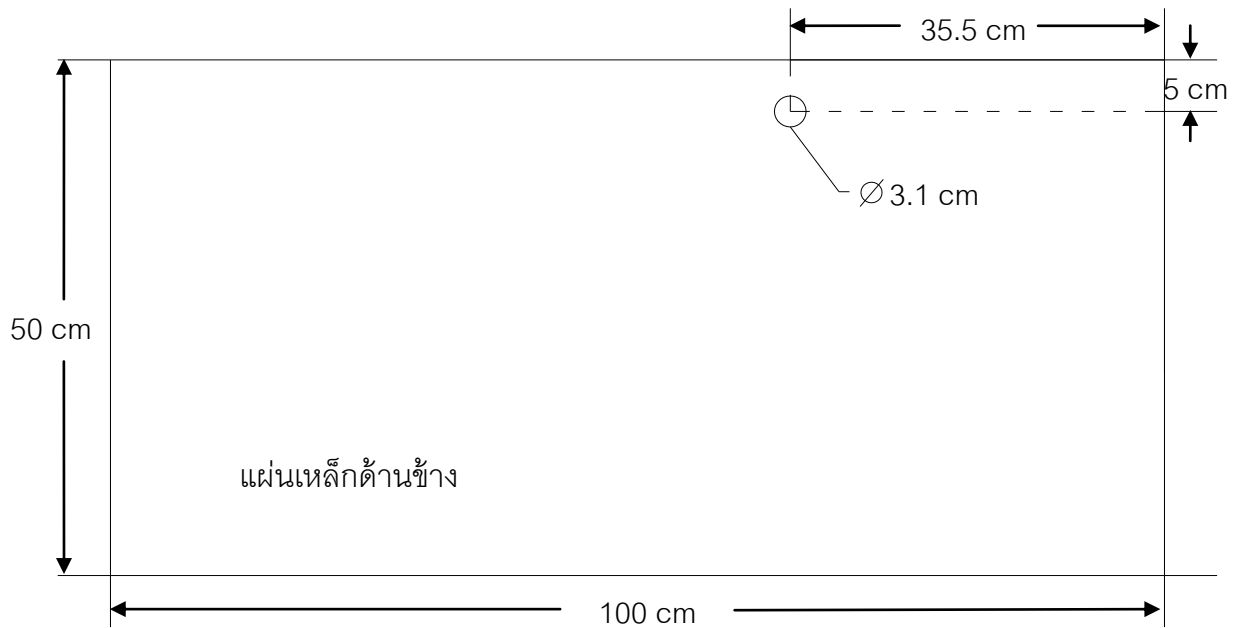
แผ่นเหล็กขนาด  $15 \times 50 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

แผ่นเหล็กขนาด  $10 \times 50 \text{ cm}^2$  จำนวน 1 แผ่น

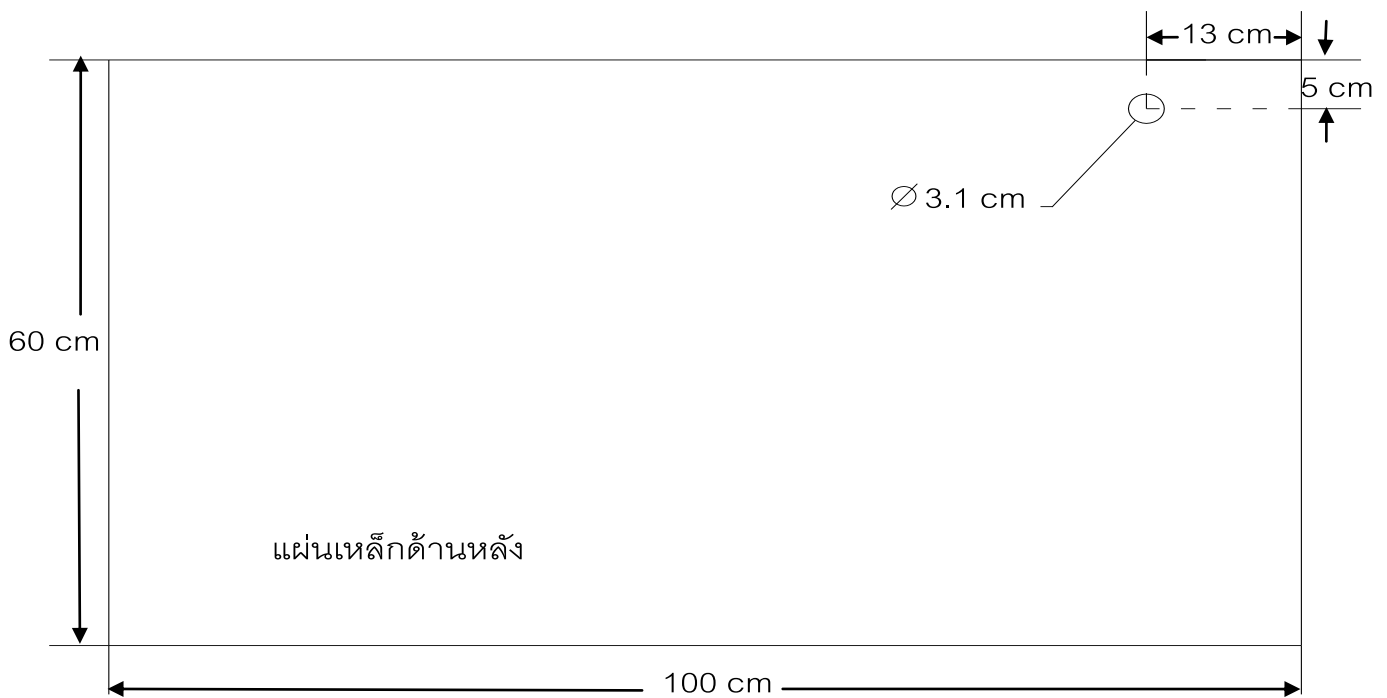
4. เมื่อทำการวัดขนาดแล้ว ให้นำแผ่นเหล็กมาตัดตามขนาดโดยใช้อุปกรณ์ตัดเหล็กหัวพลาสติกมา เจาะรูตามขนาดท่อและตำแหน่งที่ออกแบบไว้ ดังภาพที่ 4.13 ภาพที่ 4.14 ภาพที่ 4.15 และภาพที่ 4.16



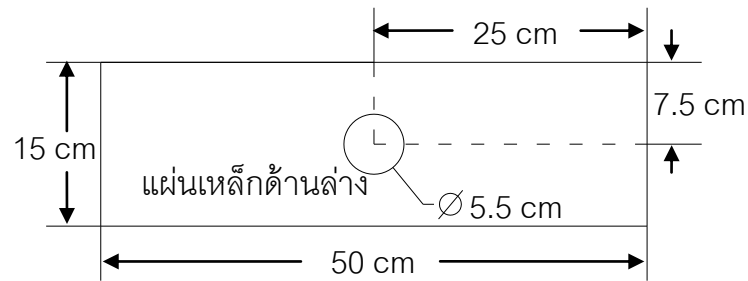
ภาพที่ 4.13 ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่วาล์วของแผ่นเหล็กด้านล่าง



ภาพที่ 4.14 ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่ท่อของแผ่นเหล็กด้านข้าง

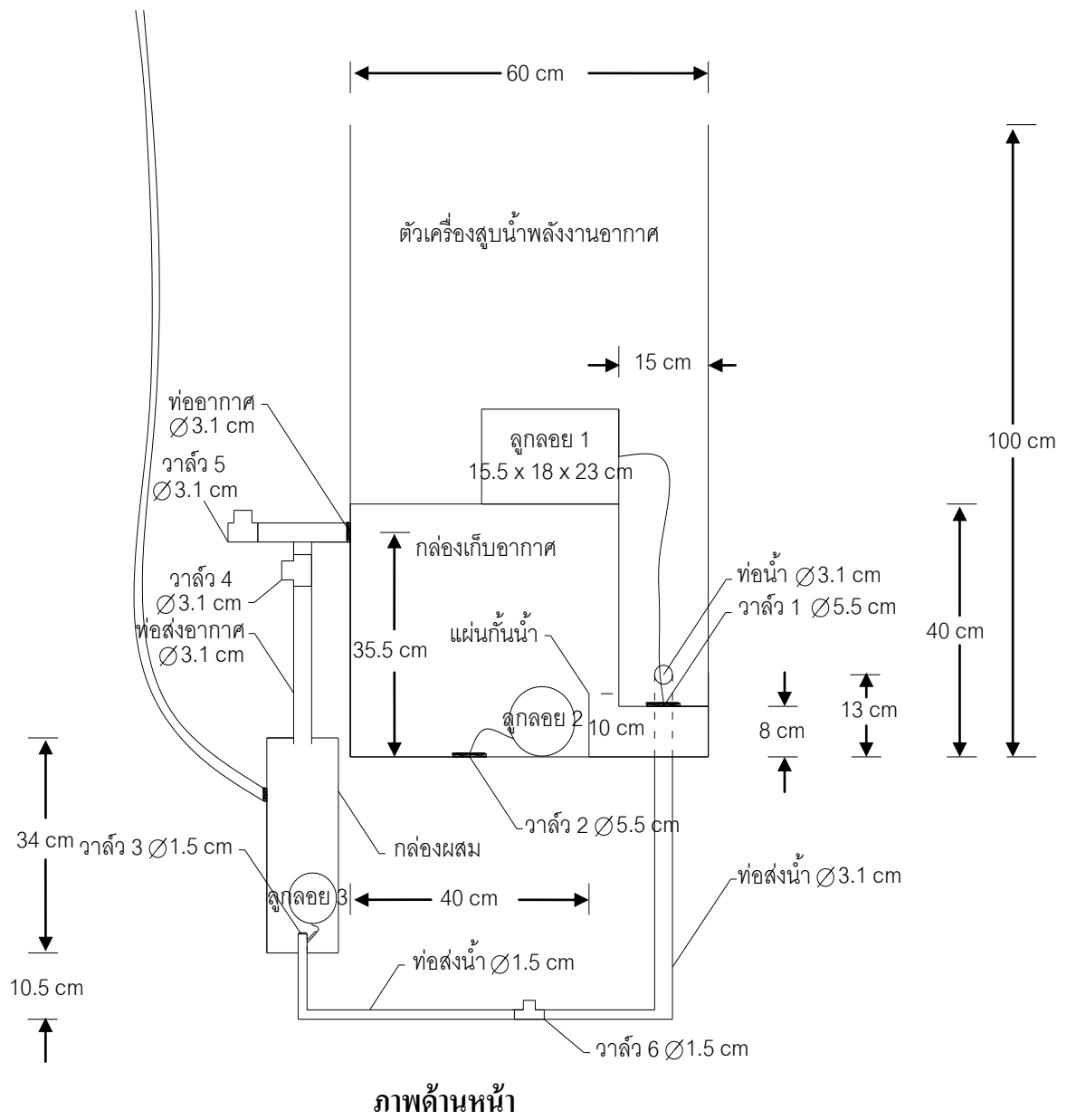


ภาพที่ 4.15 ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่ท่อของแผ่นเหล็กด้านหลัง

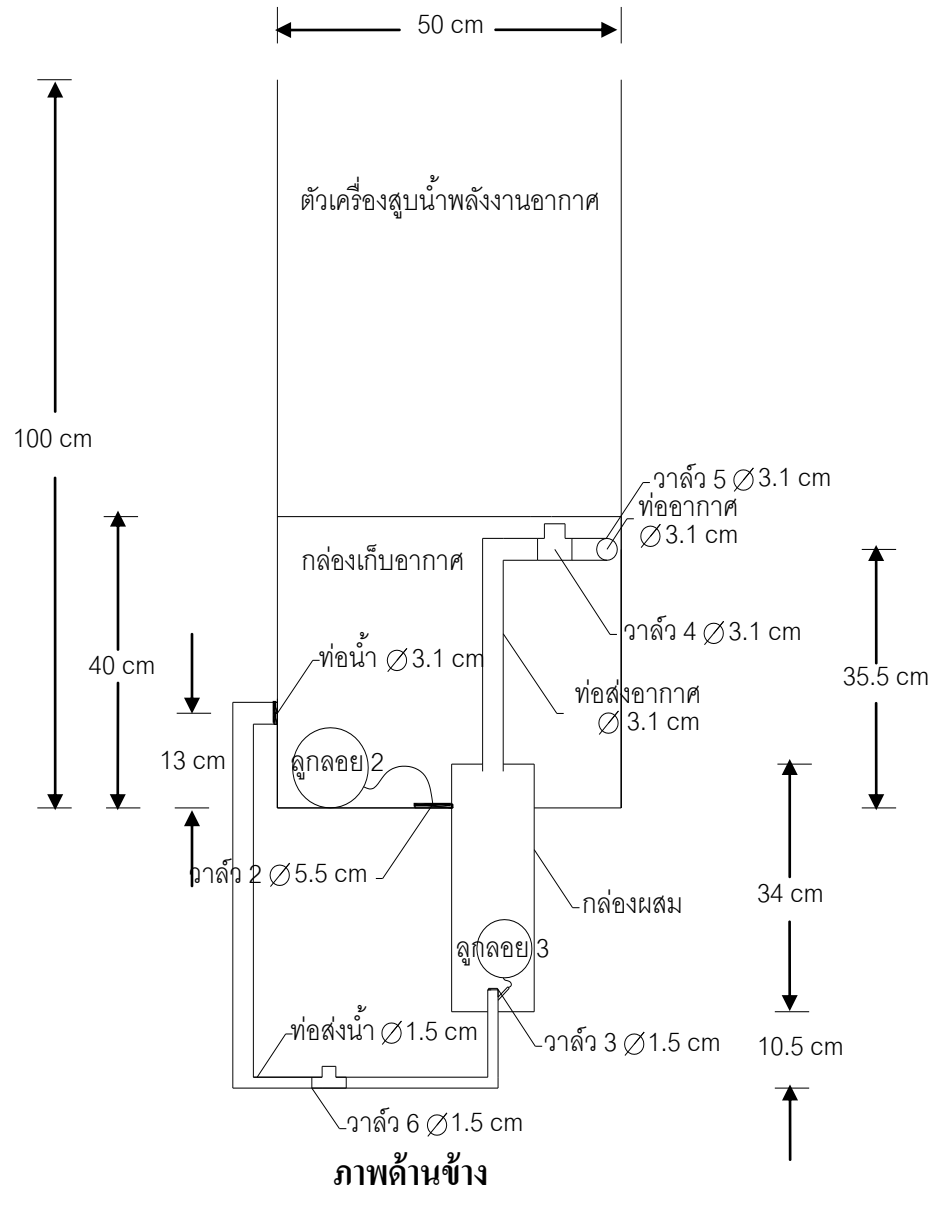


ภาพที่ 4.16 ตำแหน่งการเจาะรูเพื่อใส่สลักหัวของแผ่นเหล็กด้านล่าง

5. ทำการประกอบตัวเครื่องทั้งตัวเครื่องสูบน้ำและกล่องเก็บอากาศโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อเหล็ก ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งวาล์ว ท่อน้ำ สายยางและตั้งระดับลูกลอยตามที่ออกแบบไว้
6. ติดตั้งชุดอุปกรณ์ ผสมน้ำและอากาศ โดยทำการตั้งระดับลูกลอยในชุดอุปกรณ์ผสมน้ำตามที่ออกแบบไว้
7. ติดตั้งชุดเครื่องสูบน้ำ กับอุปกรณ์ผสมน้ำและอากาศเข้าด้วยกัน ดังภาพที่ 4.17 และภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.17 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านหน้า)



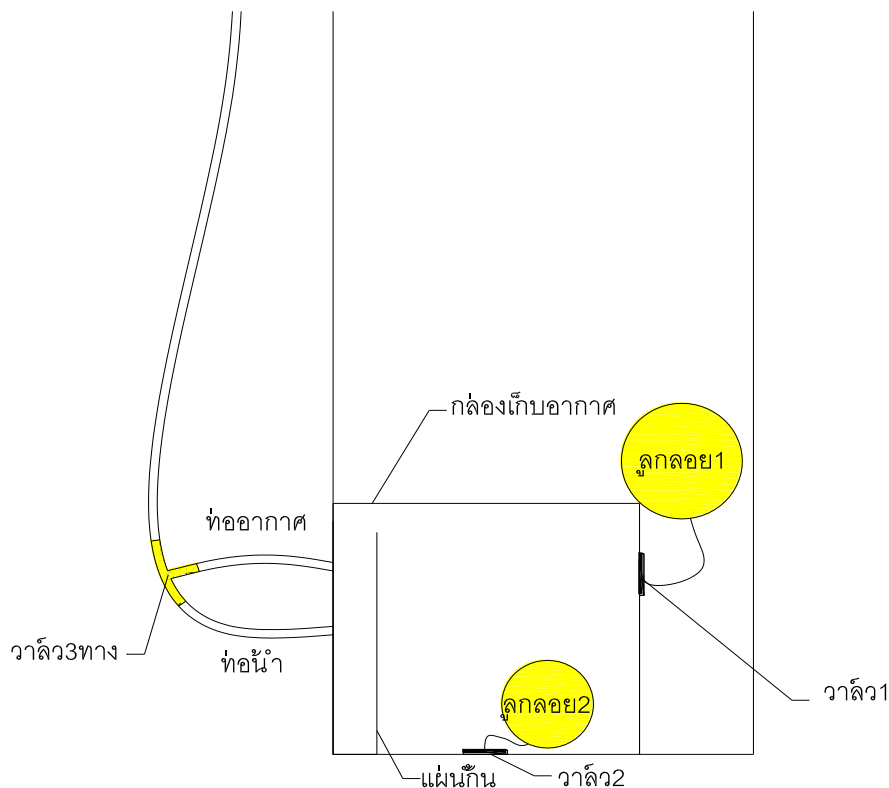
ภาพที่ 4.18 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง)

8. ทำการทดสอบเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ โดยทำการปรับแก้ และตรวจเช็คอุปกรณ์ต่างๆ ให้ใช้งานได้ตามที่ออกแบบไว้

## 4.2 วิธีการทดสอบแบบจำลอง

### 4.2.1 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้ไม้อัดเป็นวัสดุ

#### ส่วนประกอบสำคัญในการทดลองของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ



ภาพที่ 4.19 ส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้ไม้อัดเป็นวัสดุ

ตัวเครื่องสูบน้ำ มีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ กล่องสะสมพลังงาน และกล่องเก็บอากาศ

1. กล่องสะสมพลังงาน ทำหน้าที่ สะสมพลังงาน เพื่อนำน้ำจากธรรมชาติเข้ามาสะสมไว้ภายในกล่อง
2. กล่องเก็บอากาศ ทำหน้าที่ เก็บอากาศเพื่อใช้ผลักดันน้ำขึ้นสู่ที่สูง

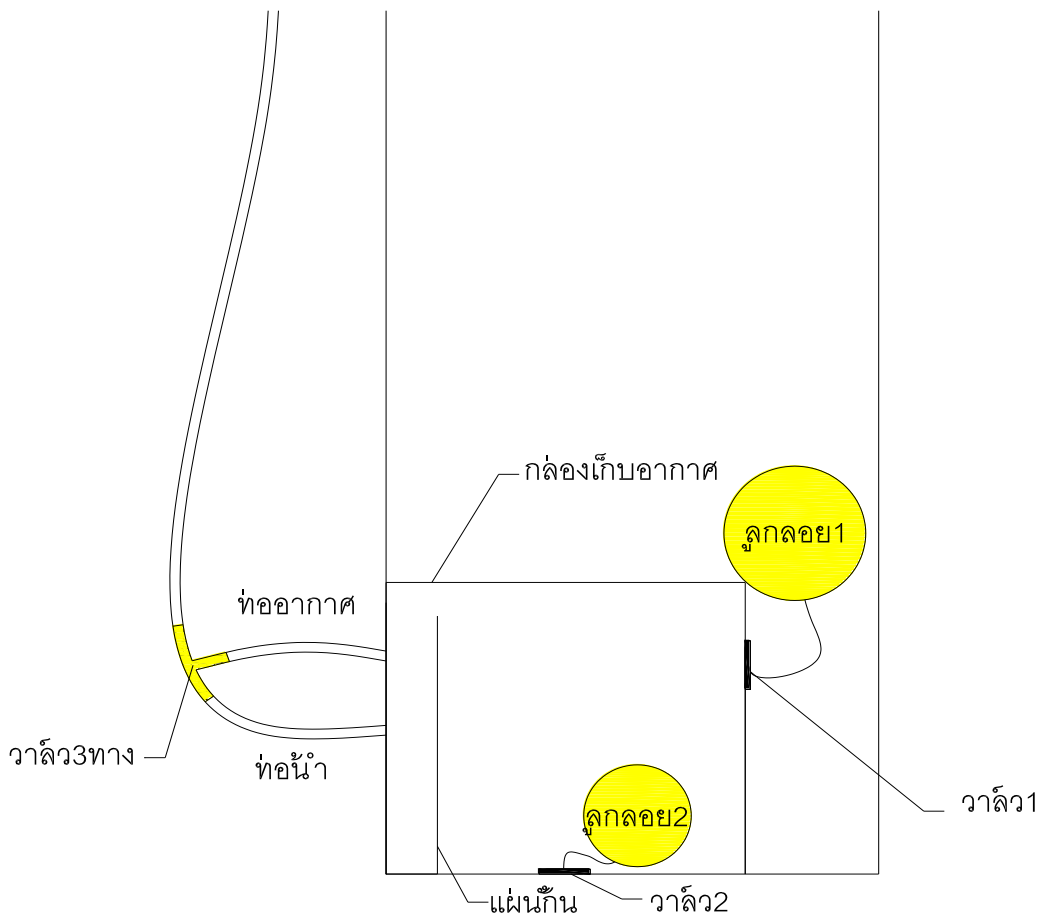
ประกอบด้วย

- 2.1 วาล์ว1 อยู่ในลักษณะแวนอนจำนวน 1 ตัว ซึ่งมีลูกลอย1 จำนวน 1 ลูก วาล์ว1 ทำหน้าที่ เปิด - ปิด เพื่อนำน้ำจากกล่องสะสมพลังงานเข้ามาสู่กล่องเก็บอากาศ

- 2.2 วาล์ว2 อยู่ในลักษณะแนวตั้งจำนวน 1 ตัว ซึ่งมีลูกลอย2 จำนวน 4 ลูก วาล์ว2 ทำหน้าที่เปิด - ปิด เพื่อระบายน้ำจากกล่องเก็บอากาศออก
- 2.3 แผ่นกั้น ทำหน้าที่ กั้นไม่ให้น้ำจากกล่องเก็บอากาศไหลท่วมท่ออากาศ
- 2.4 ท่ออากาศและท่อน้ำ ทำหน้าที่ เป็นท่อที่นำน้ำและอากาศเข้าสู่ระบบผสม
- 2.5 วาล์วสามทาง ทำหน้าที่ เป็นจุดผสมน้ำและอากาศ

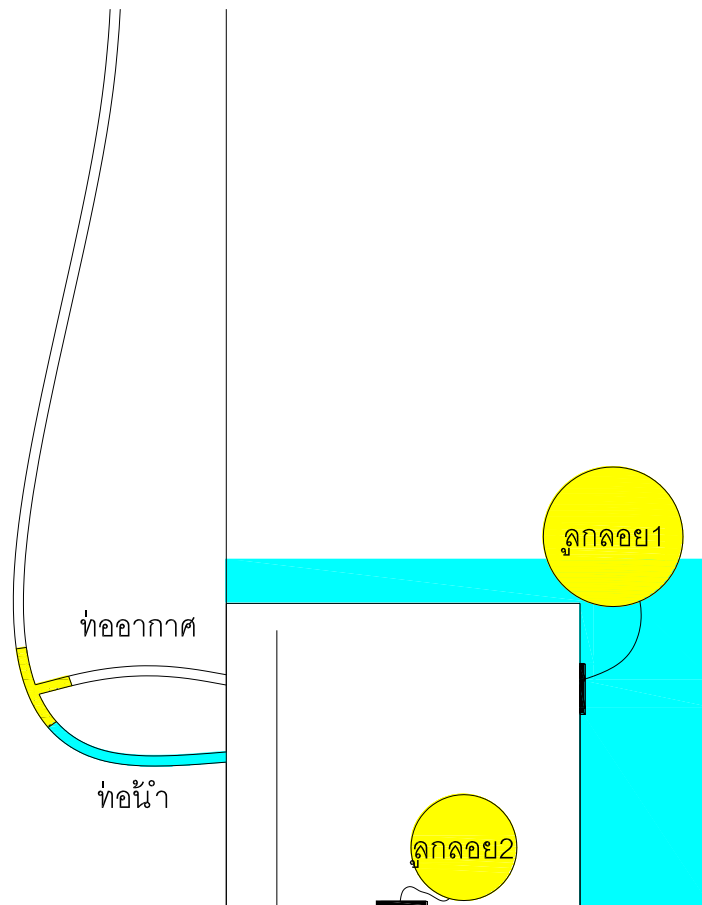
### หลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

1. ติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ดังภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 การติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

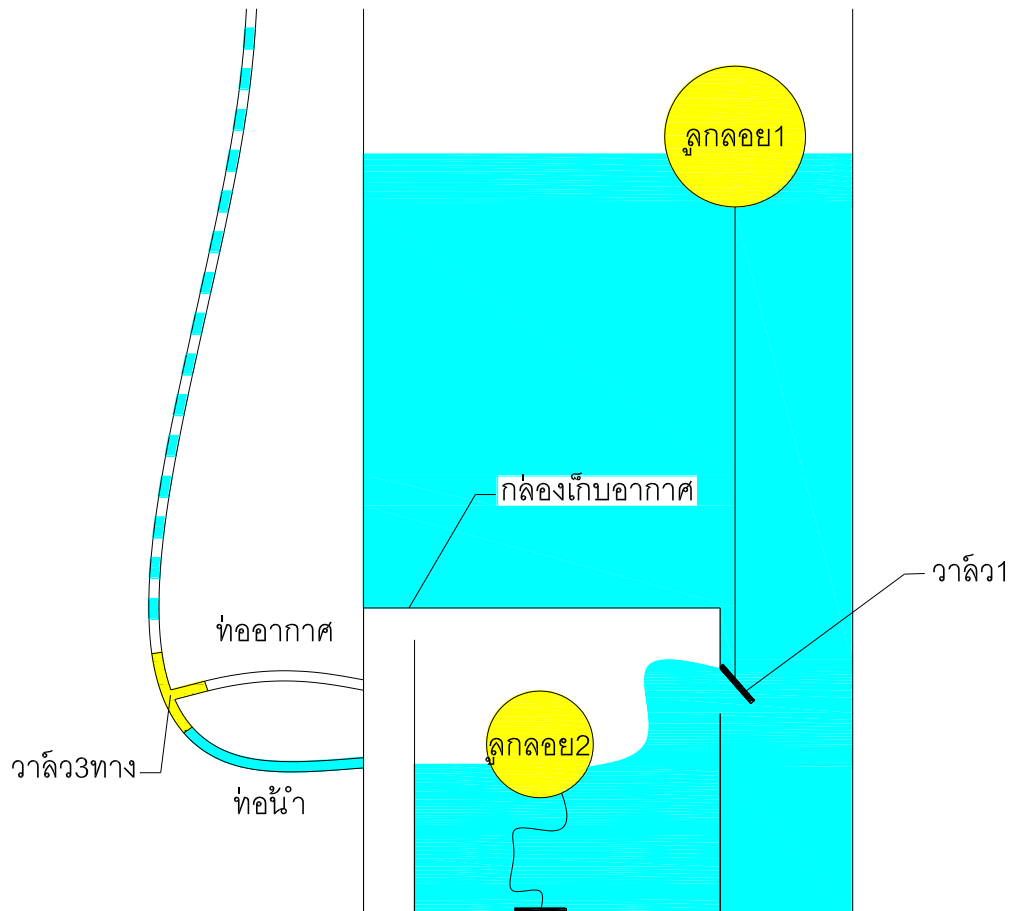
2. ปล่อน้ำเข้าสู่ระบบ ดังภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 การปล่อน้ำเข้าสู่ระบบ

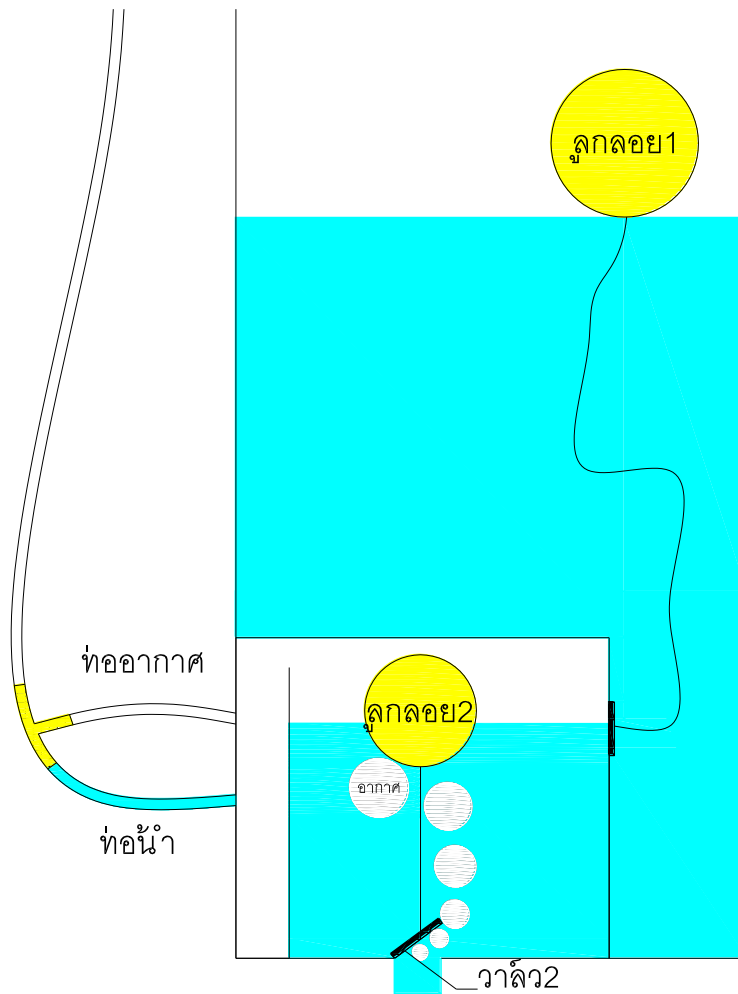


3. เมื่อระดับน้ำสูงถึงระดับที่กำหนดโดยลูกลอยไว้ ทำให้ลูกลอย 1 ดิ่งให้วาล์ว 1 เปิดขึ้น ทำให้น้ำไหลเข้าสู่กล่องเก็บอากาศ (น้ำแทนที่อากาศ) จึงทำให้อากาศถูกดันออกทางท่ออากาศ ซึ่งจะมีการผสมกับน้ำที่ไหลออกทางท่อน้ำ โดยจะทำการผสมผ่านวาล์ว 3 ทาง ในอัตราส่วนที่เหมาะสมและทำให้น้ำไหลขึ้นสู่ที่สูงทางท่อผสมน้ำกับอากาศ ดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 การผสมน้ำกับอากาศ

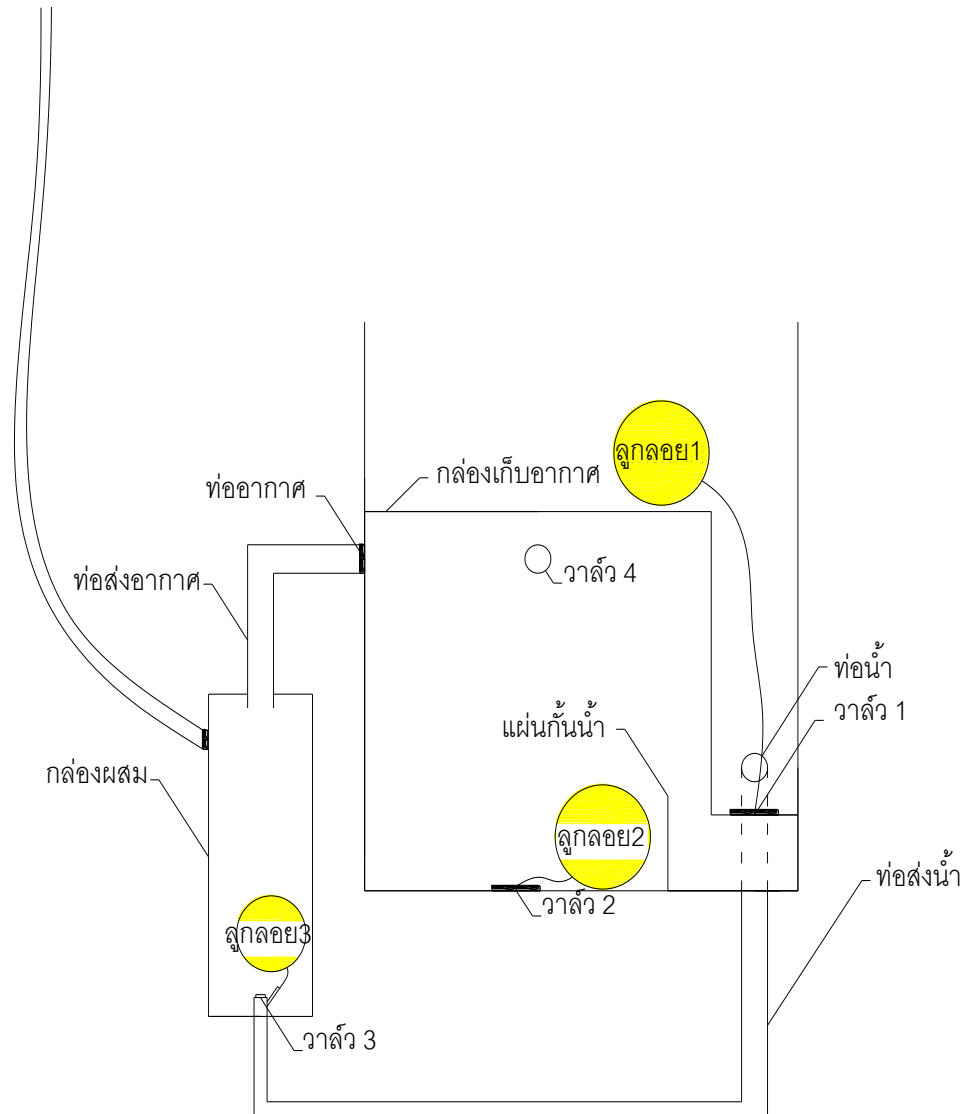
4. เมื่อระดับน้ำในกล่องเก็บอากาศสูงขึ้นตามที่กำหนดไว้โดยตุลกลอย ทำให้ตุลกลอย 2 ดิ่ง ให้วาล์ว 2 เปิดขึ้น น้ำในกล่องเก็บอากาศจึงถูกระบายออกทางวาล์ว 2 โดยในขณะที่วาล์ว 2 เปิดจะมีอากาศเข้าทางวาล์ว 2 และระบบจะเกิดในลักษณะนี้เป็นวัฏจักร ดังภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 การระบายน้ำออก

#### 4.2.2 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นสังกะสีเป็นวัสดุ

##### ส่วนประกอบสำคัญในการทดลองของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ



ภาพที่ 4.24 ส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นสังกะสีเป็นวัสดุ

1. กล่องสะสมพลังงาน ทำหน้าที่ สะสมพลังงาน เพื่อนำน้ำจากธรรมชาติเข้ามาสะสมไว้ในกล่อง
2. กล่องเก็บอากาศ ทำหน้าที่ เก็บอากาศเพื่อใช้ผลักดันน้ำขึ้นสู่ที่สูง
 

ประกอบด้วย

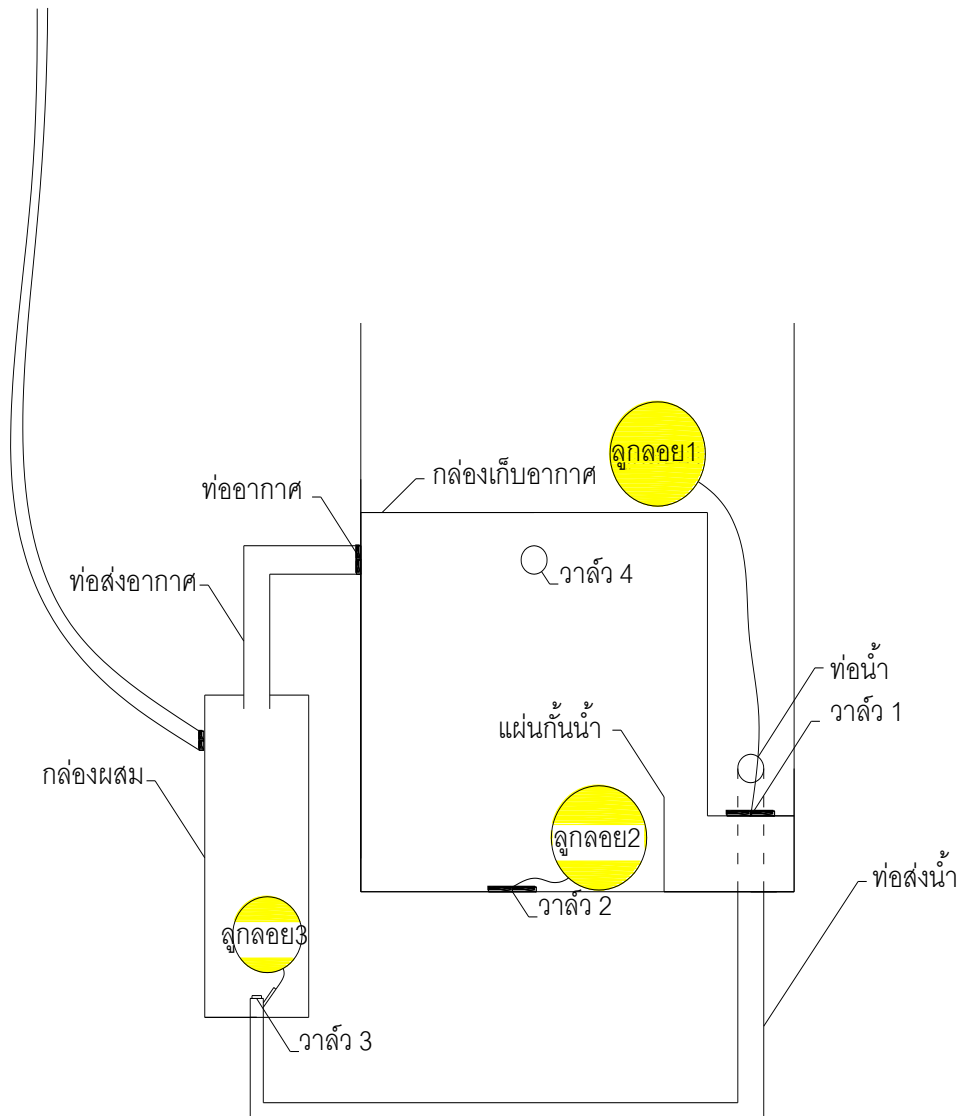
  - 2.1 วาล์ว1 อยู่ในลักษณะแนวตั้งจำนวน 1 ตัว ซึ่งมีลูกลอย1 จำนวน 6 ลูก วาล์ว1 ทำหน้าที่ เปิด – ปิด เพื่อนำน้ำจากกล่องสะสมพลังงานเข้ามาสู่กล่องเก็บอากาศ
  - 2.2 วาล์ว2 อยู่ในลักษณะแนวตั้งจำนวน 1 ตัว ซึ่งมีลูกลอย2 จำนวน 6 ลูก วาล์ว2 ทำหน้าที่ เปิด – ปิด เพื่อระบายน้ำจากกล่องเก็บอากาศออก
  - 2.3 แผ่นกั้น ทำหน้าที่ กั้นให้ระดับน้ำต่ำกว่าวาล์ว1 เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศไหลออกทางวาล์ว1 เมื่อวาล์ว1 เปิด
  - 2.4 ท่ออากาศและท่อน้ำ ทำหน้าที่ เป็นท่อที่นำน้ำและอากาศเข้าสู่ระบบผสม
  - 2.5 วาล์ว4 ทำหน้าที่ เป็นช่องทางให้อากาศไหลเข้า เมื่อวาล์ว2 เปิดเพื่อระบายน้ำออกจากกล่องเก็บอากาศ จะทำให้วาล์ว2 ระบายน้ำได้อย่างราบรื่น
3. กล่องผสม ทำหน้าที่ เป็นกล่องผสมน้ำ และอากาศ เพื่อที่อากาศจะผลักดันน้ำขึ้นสู่ที่สูง
 

ประกอบด้วย

  - 3.1 วาล์ว3 ทำหน้าที่ ควบคุมระดับน้ำในกล่องเก็บอากาศ โดยมีลูกลอย3 จำนวน 1 ลูก ทำหน้าที่ดึงเพื่อปิดวาล์ว3

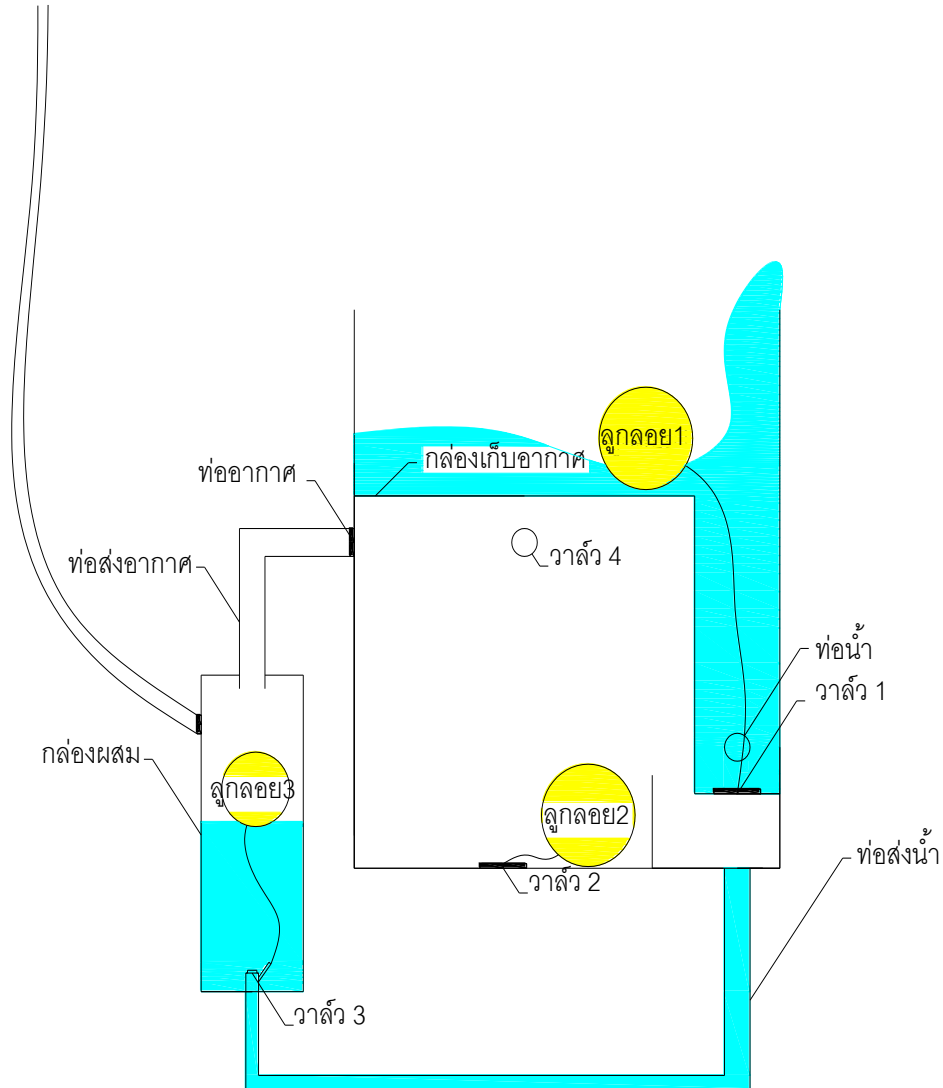
## หลักการการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

1. ติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ดังภาพที่ 4.25



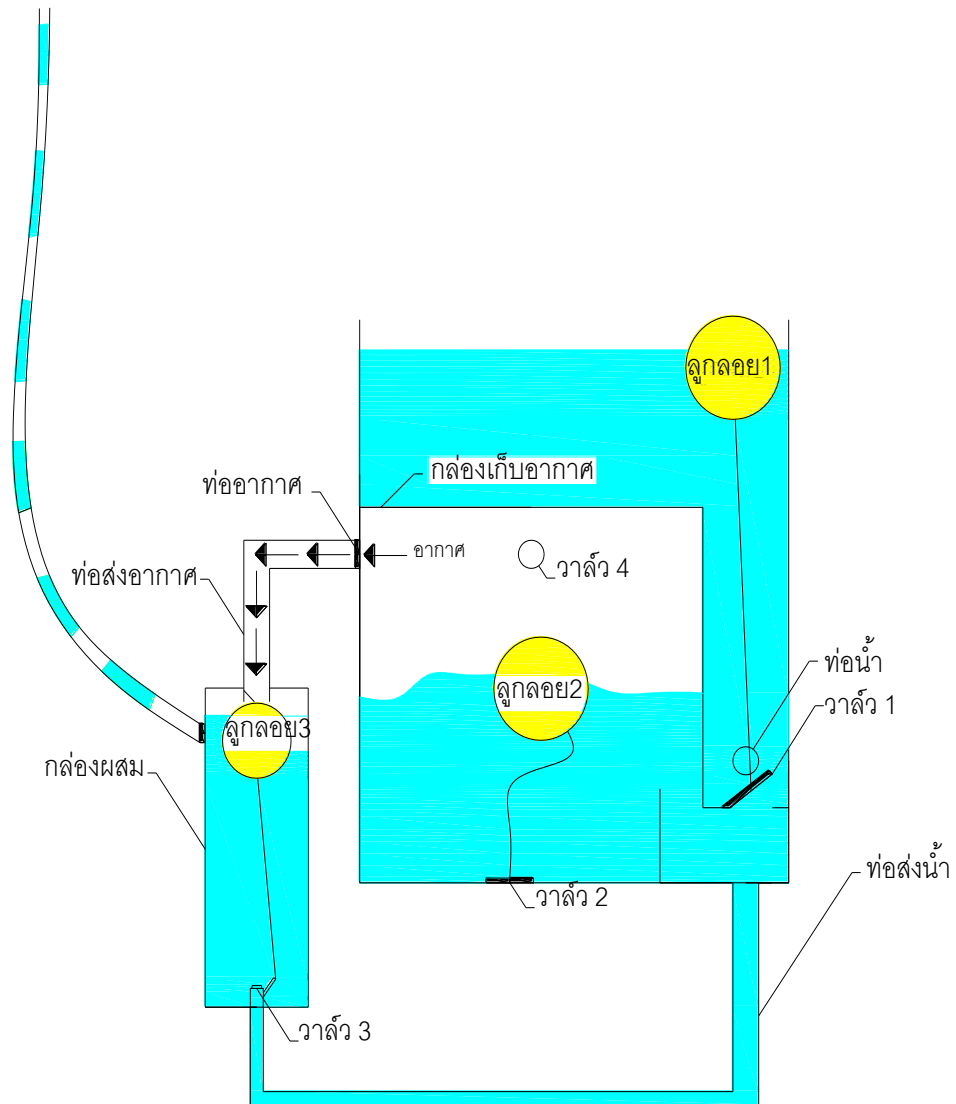
ภาพที่ 4.25 การติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

2. ปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ ซึ่งน้ำจะไหลไปทางท่อส่งน้ำและไหลเข้าสู่กล่องผสมน้ำและอากาศ ซึ่งมีการกำหนดระดับไว้โดยลูกกลอย3 ดังภาพที่ 4.26



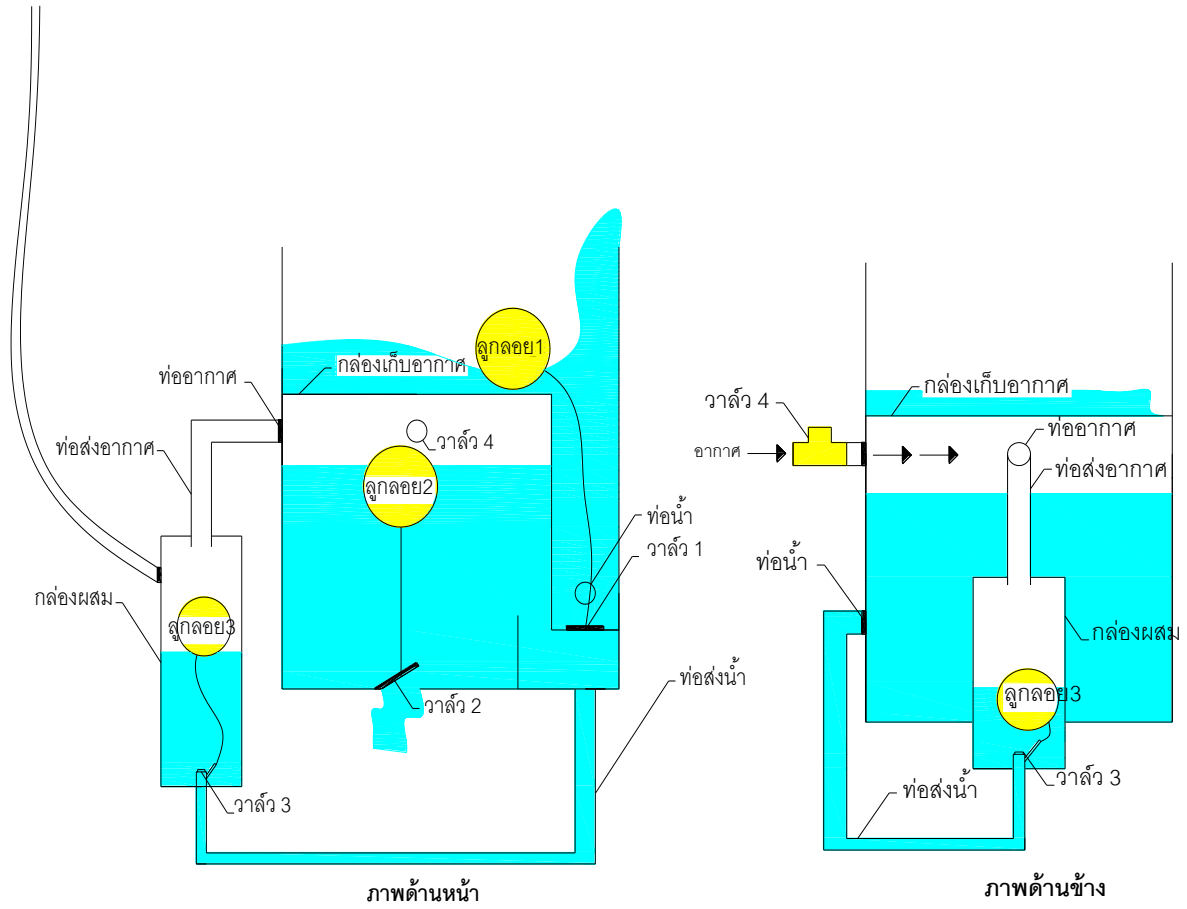
ภาพที่ 4.26 การปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ

3. เมื่อระดับน้ำสูงถึงระดับที่กำหนดโดยลูกลอยไว้ ทำให้ลูกลอย 1 ดิ่งให้วาล์ว 1 เปิดขึ้น น้ำจึงไหลเข้าสู่กล่องเก็บอากาศ (น้ำแทนที่อากาศ) ทำให้อากาศถูกดันออกทางท่ออากาศเข้าสู่กล่องผสมน้ำและอากาศ ซึ่งจะมีการผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้น้ำไหลขึ้นสู่ที่สูงทางท่อผสมน้ำกับอากาศ โดยที่วาล์ว 4 จะปิด ดังภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.27 การผสมน้ำกับอากาศ

4. เมื่อระดับน้ำในกล่องเก็บอากาศสูงขึ้นตามที่กำหนดไว้โดยลูกลอย ทำให้ลูกลอย 2 ดิ่งให้วาล์ว 2 เปิดขึ้น น้ำในกล่องเก็บอากาศจึงถูกระบายออกทางวาล์ว 2 โดยที่วาล์ว 4 จะเปิดขึ้นเพื่อให้อากาศเข้าสู่กล่องเก็บอากาศ โดยที่ไม่มีอากาศไหลผ่านวาล์ว 2 เข้าสู่กล่องอากาศ ซึ่งจะทำให้วาล์ว 2 ระบายน้ำได้อย่างราบรื่น และระบบจะเกิดในลักษณะนี้เป็นวัฏจักร ดังภาพที่ 4.28

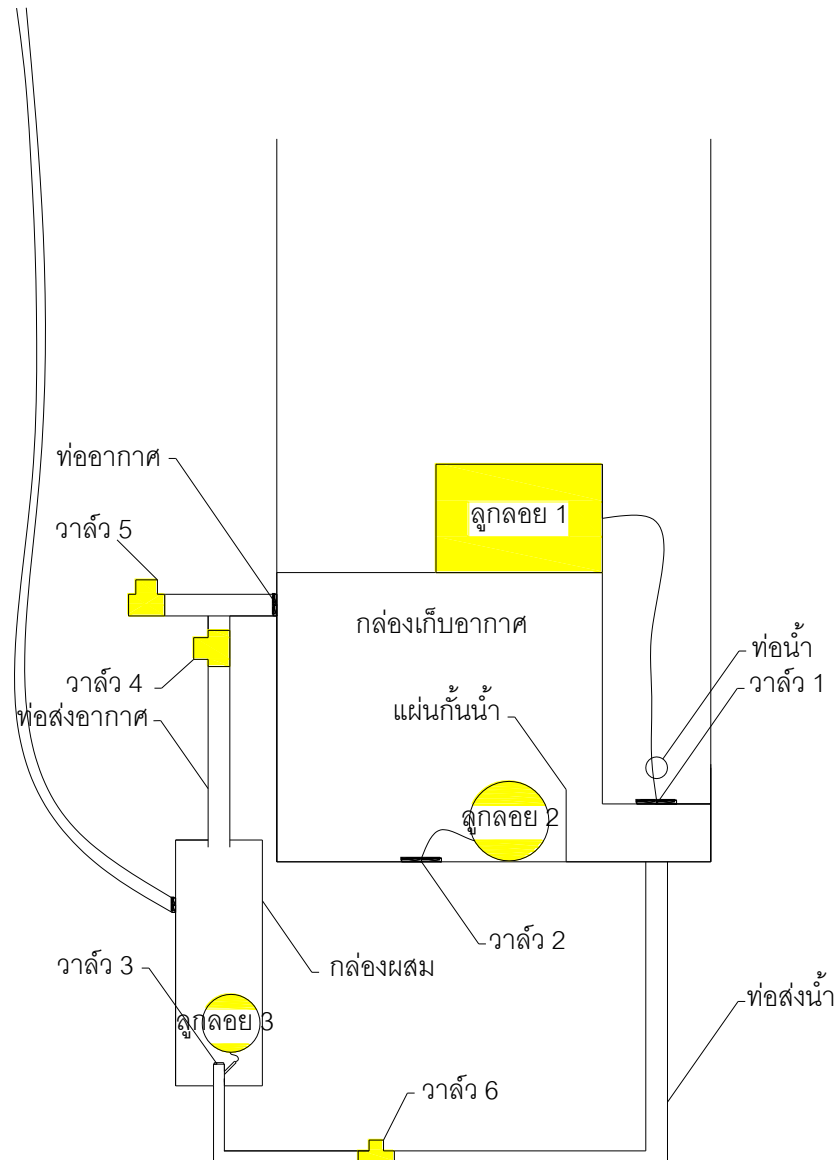


ภาพที่ 4.28 การระบายน้ำออก



### 4.2.3 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นเหล็กเป็นวัสดุ

#### ส่วนประกอบสำคัญในการทดลองของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ



ภาพที่ 4.29 ส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศที่ใช้แผ่นเหล็กเป็นวัสดุ

1. กล่องสะสมพลังงาน ทำหน้าที่ สะสมพลังงาน เพื่อนำน้ำจากธรรมชาติเข้ามาสะสมไว้ภายในกล่อง
2. กล่องเก็บอากาศ ทำหน้าที่ เก็บอากาศเพื่อใช้ผลักดันน้ำขึ้นสู่ที่สูง
 

ประกอบด้วย

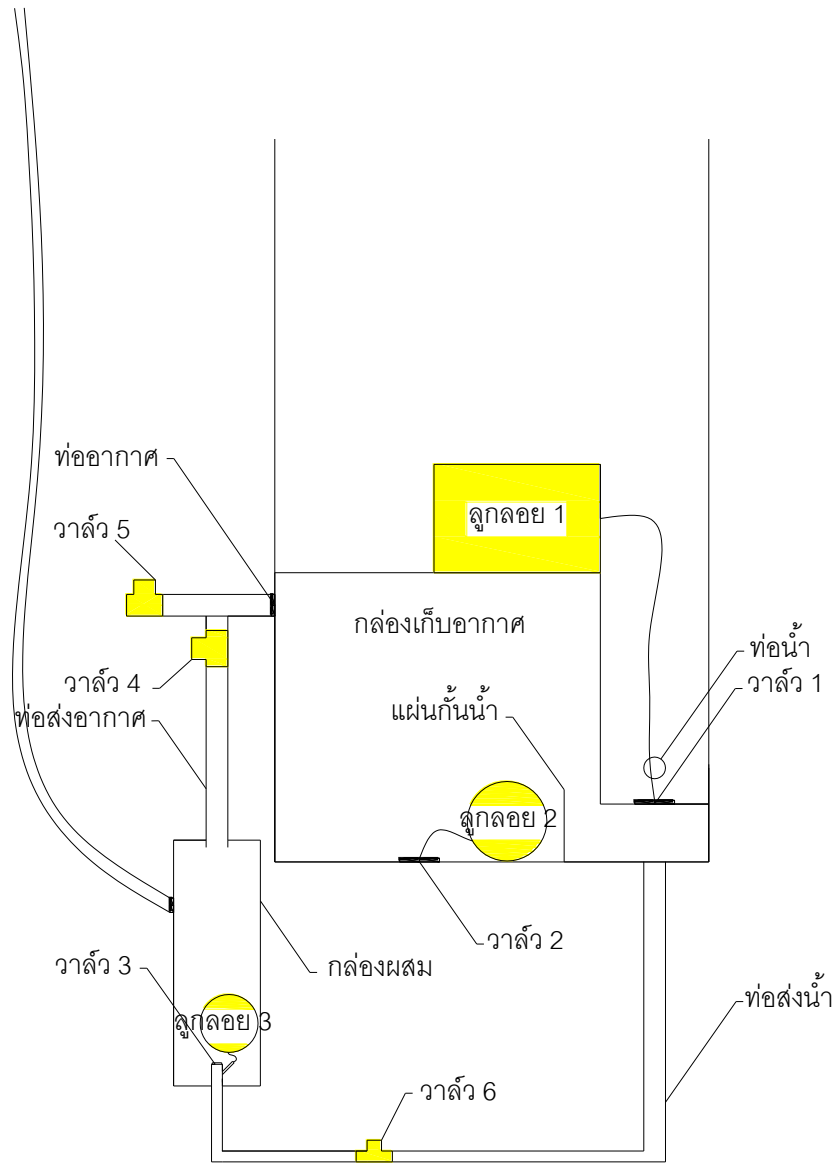
  - 2.1 วาล์ว1 อยู่ในลักษณะแนวตั้งจำนวน 1 ตัว ซึ่งมีลูกกลอย1 จำนวน 1 ลูก วาล์ว1 ทำหน้าที่ เปิด – ปิด เพื่อนำน้ำจากกล่องสะสมพลังงานเข้ามาสู่กล่องเก็บอากาศ
  - 2.2 วาล์ว2 อยู่ในลักษณะแนวตั้งจำนวน 1 ตัว ซึ่งมีลูกกลอย2 จำนวน 8 ลูก วาล์ว2 ทำหน้าที่ เปิด – ปิด เพื่อระบายน้ำจากกล่องเก็บอากาศออก
  - 2.3 แผ่นกั้น ทำหน้าที่ กั้นให้ระดับน้ำสูงกว่าวาล์ว1 เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศไหลออกทางวาล์ว1 เมื่อ วาล์ว1 เปิด
  - 2.4 ท่ออากาศและท่อน้ำ ทำหน้าที่ เป็นท่อที่นำน้ำและอากาศเข้าสู่ระบบผสม
  - 2.5 วาล์ว4 เมื่อเปิด ทำหน้าที่ เป็นช่องทางให้อากาศไหลเข้าสู่กล่องผสมน้ำและอากาศเมื่อปิด ทำหน้าที่ ป้องกันการไหลกลับของอากาศ และน้ำ เข้าสู่กล่องเก็บอากาศ เมื่อวาล์ว2 เปิดเพื่อระบายน้ำออกจากกล่องเก็บอากาศ
  - 2.6 วาล์ว5 เมื่อเปิด ทำหน้าที่ เป็นช่องทางให้อากาศไหลเข้าเมื่อวาล์ว2 เปิดเพื่อระบายน้ำออกจาก กล่องเก็บอากาศ จะทำให้วาล์ว2 ระบายน้ำได้อย่างราบรื่น เมื่อปิด ทำหน้าที่ เป็นช่องทางให้อากาศจาก กล่องเก็บอากาศผ่านเข้าสู่วาล์ว4 และเข้าสู่กล่องเก็บอากาศ
3. กล่องผสม ทำหน้าที่ เป็นกล่องผสมน้ำ และอากาศ เพื่อที่อากาศจะผลักดันน้ำขึ้นสู่ที่สูง
 

ประกอบด้วย

  - 3.1 วาล์ว3 ทำหน้าที่ ควบคุมระดับน้ำในกล่องเก็บอากาศ โดยมีลูกกลอย3 จำนวน 1 ลูก ทำหน้าที่ดึง เพื่อปิดวาล์ว3
  - 3.2 วาล์ว6 เมื่อเปิด ทำหน้าที่ เป็นช่องให้น้ำไหลผ่านเข้าสู่กล่องผสม เมื่อปิด ทำหน้าที่ ป้องกันการ ไหลกลับของน้ำกรณีมีแรงดันอากาศมาผลักดันน้ำในกล่องผสม

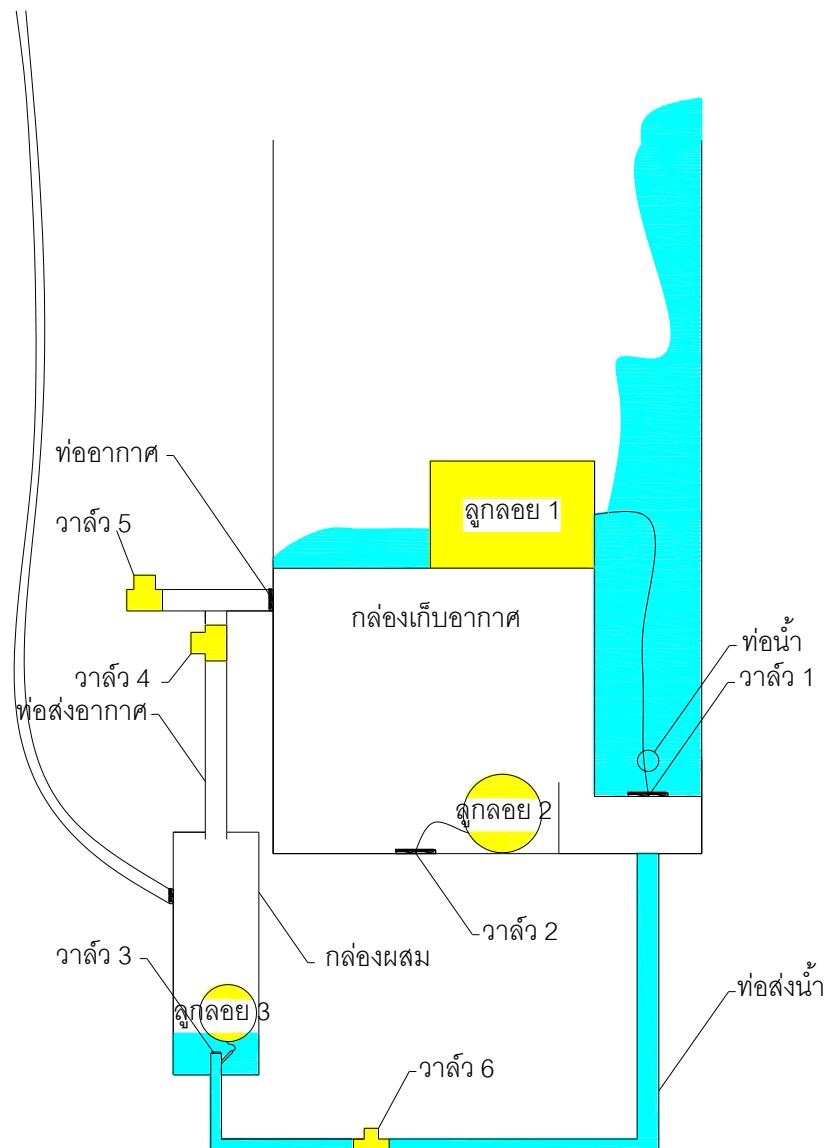
## หลักการการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

1. ติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ดังภาพที่ 4.30



ภาพที่ 4.30 การติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

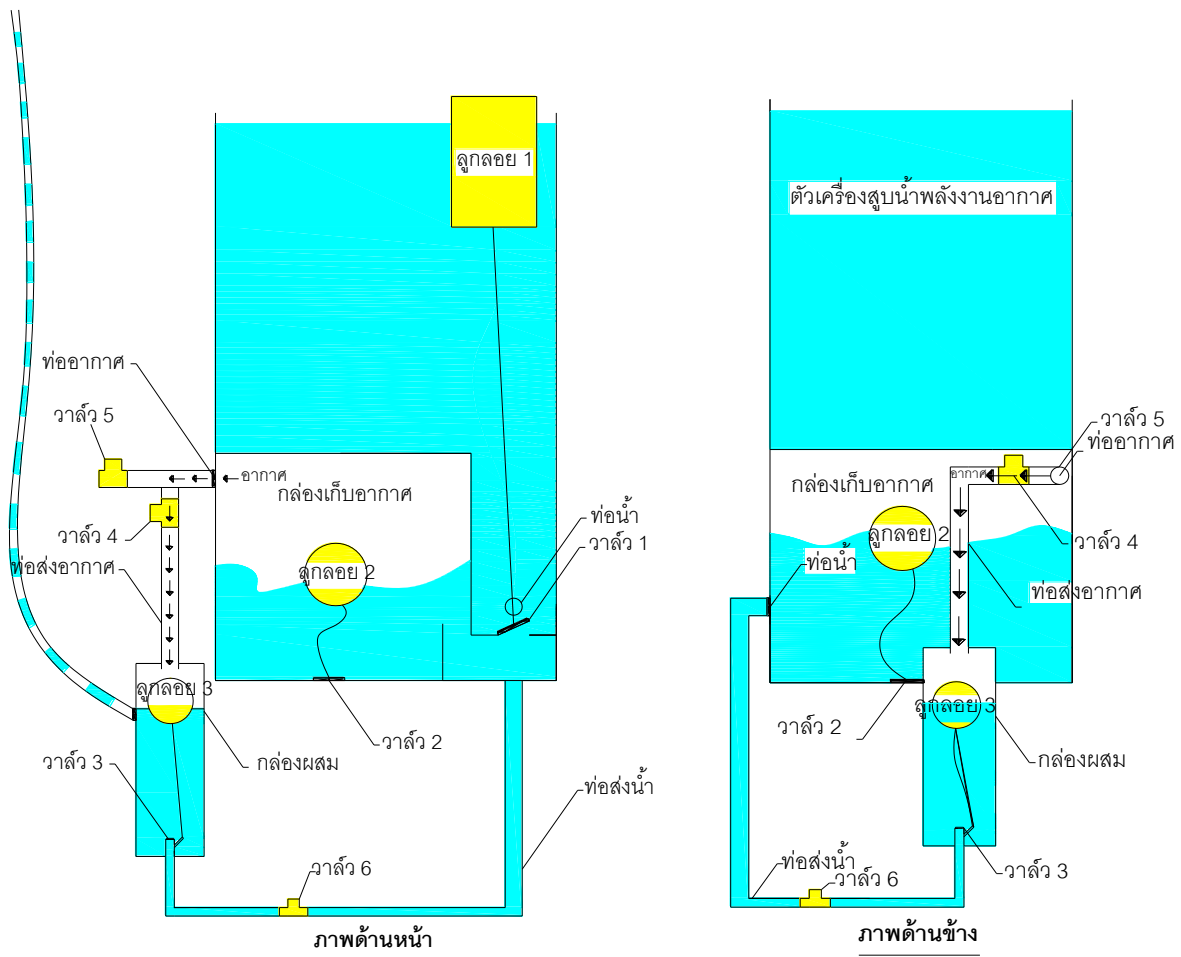
2. ปล่อน้ำเข้าสู่ระบบ ซึ่งน้ำจะไหลไปทางท่อส่งน้ำโดยที่วาล์ว 6 เปิดขึ้นเพื่อให้น้ำไหลเข้าสู่กล่องผสมน้ำและอากาศ ซึ่งมีการกำหนดระดับไว้โดยลูกลอย 3 ดังภาพที่ 4.31



ภาพที่ 4.31 การปล่อน้ำเข้าสู่ระบบ

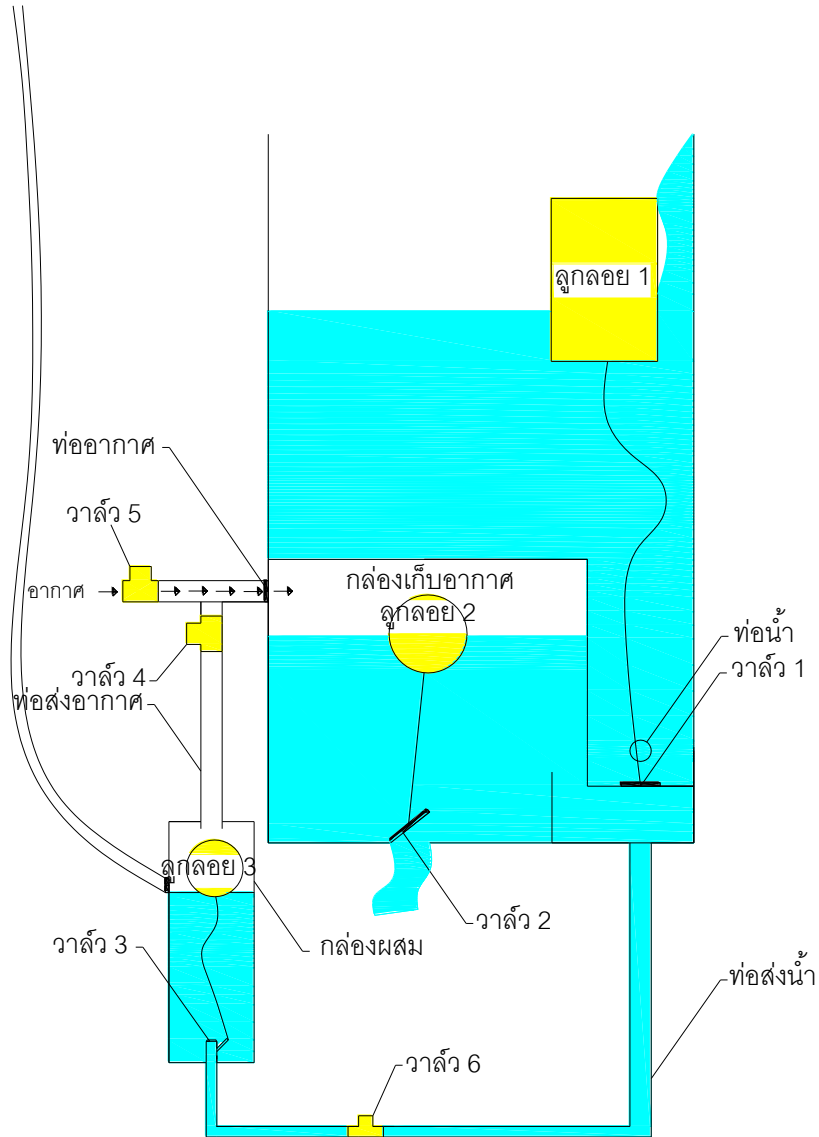
3. เมื่อระดับน้ำสูงถึงระดับที่กำหนดโดยลูกลอยไว้ ทำให้ลูกลอย 1 ดิ่งให้วาล์ว 1 เปิดขึ้น น้ำจึงไหลเข้าสู่กล่องเก็บอากาศ (น้ำแทนที่อากาศ) ทำให้อากาศถูกดันออกทางท่ออากาศผ่านวาล์ว 4 เข้าสู่กล่องผสมน้ำ และอากาศ ซึ่งจะมีการผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้น้ำไหลขึ้นสู่ที่สูงทางท่อผสมน้ำกับอากาศ โดยที่วาล์ว 5 จะปิดเพื่อให้อากาศไหลผ่านไปยังวาล์ว 4 ซึ่งจะเปิดให้อากาศเข้าสู่กล่องผสมน้ำและอากาศ โดยที่วาล์ว 6 จะปิดเพื่อไม่ให้น้ำจากกล่องผสมไหลกลับเมื่อมีแรงดันอากาศในกล่องผสม ดังภาพที่

4.32



ภาพที่ 4.32 การผสมน้ำกับอากาศ

4. เมื่อระดับน้ำในกล่องเก็บอากาศสูงขึ้นตามที่กำหนดไว้โดยลูกลอย ทำให้ลูกลอย 2 ติงให้วาล์ว 2 เปิดขึ้น น้ำในกล่องเก็บอากาศจึงถูกระบายออกทางวาล์ว 2 โดยที่วาล์ว 4 จะปิดเพื่อไม่ให้อากาศและน้ำไหลกลับเข้าสู่กล่องเก็บอากาศ ซึ่งวาล์ว 5 จะเปิดให้อากาศไหลเข้าเข้าสู่กล่องเก็บอากาศ โดยที่ไม่มีอากาศไหลผ่านวาล์ว 2 เข้าสู่กล่องอากาศ จะทำให้วาล์ว 2 ระบายน้ำได้อย่างราบรื่น และระบบจะเกิดในลักษณะนี้เป็นวัฏจักร ดังภาพที่ 4.33



ภาพที่ 4.33 การระบายน้ำออก

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

#### 5.1 ตารางผลการทดลอง

จากการทดลองได้ทำการวัดปริมาณน้ำที่ระดับความสูง 2, 3 และ 4 เท่าจากระดับน้ำต้นทุน ซึ่งในแต่ละระดับความสูงทำการวัดปริมาณน้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง ได้ข้อสรุปดังนี้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูงต่างๆ (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

ระดับความสูง (เมตร)	ครั้งที่	ปริมาณน้ำ เฉลี่ย (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำ ที่สูญเสีย (มิลลิลิตร)	อัตราส่วนระหว่าง ปริมาณน้ำที่ได้กับ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
1	1	141	3383	717600	1:212	13.43
	2	131.67	2765	627900	1:227	8.13
	3	136.81	2873	627900	1:218	12.3
2	1	103.9	2182	627900	1:287	6.17
	2	86.46	2421	837200	1:345	6.63
	3	87.21	2529	867100	1:342	7.45
3	1	82.88	1409	508300	1:360	5.94
	2	84.65	1693	598000	1:353	8.72
	3	85.74	1629	568100	1:348	7.52

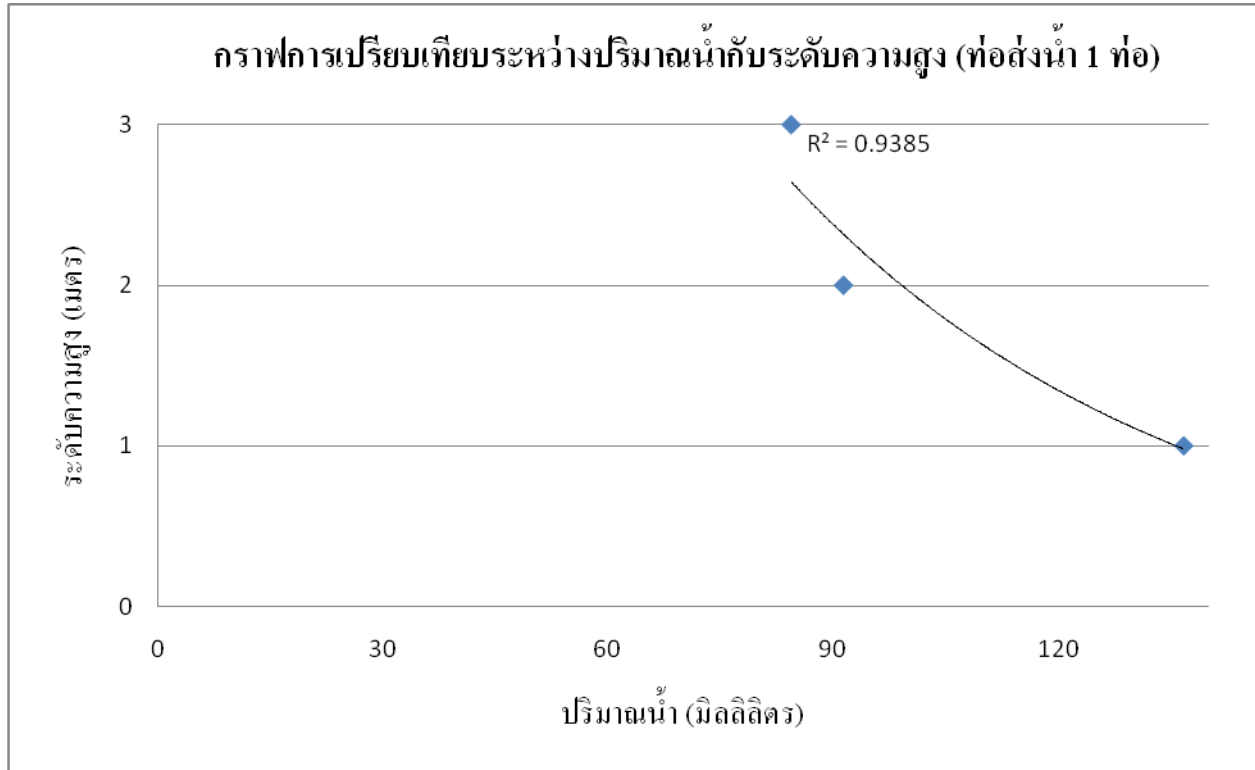
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูงต่างๆ (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

ระดับความสูง (เมตร)	ครั้งที่	ปริมาณน้ำ เฉลี่ย (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำ ที่สูญเสีย (มิลลิลิตร)	อัตราส่วนระหว่าง ปริมาณน้ำที่ได้กับ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย	ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
1	1	310.71	10875	1046500	1:96	15.40
	2	316	11047	1046500	1:94	15.22
	3	314	10677	1016600	1:95	16.43
2	1	178.37	5896	986700	1:167	6.44
	2	171	5465	956800	1:175	14.97
	3	174	5917	1016600	1:171	15.33
3	1	162.71	5044	926900	1:183	16.62
	2	167.39	5524	986700	1:178	7.96
	3	168.23	5888	1046500	1:177	7.37



## 5.2 ผลการทดลองและวิจารณ์

### 5.2.1 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูงต่างๆ (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)



ภาพที่ 5.1 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำ และระดับความสูง (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

จากกราฟการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำ และระดับความสูง (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำที่ได้ของการทดลองที่ความสูงระดับ 1 เมตร ได้ปริมาณน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 136.68 มิลลิลิตร ใช้ระยะเวลารอบโดยเฉลี่ย 35 วินาที ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ได้ทางทฤษฎี

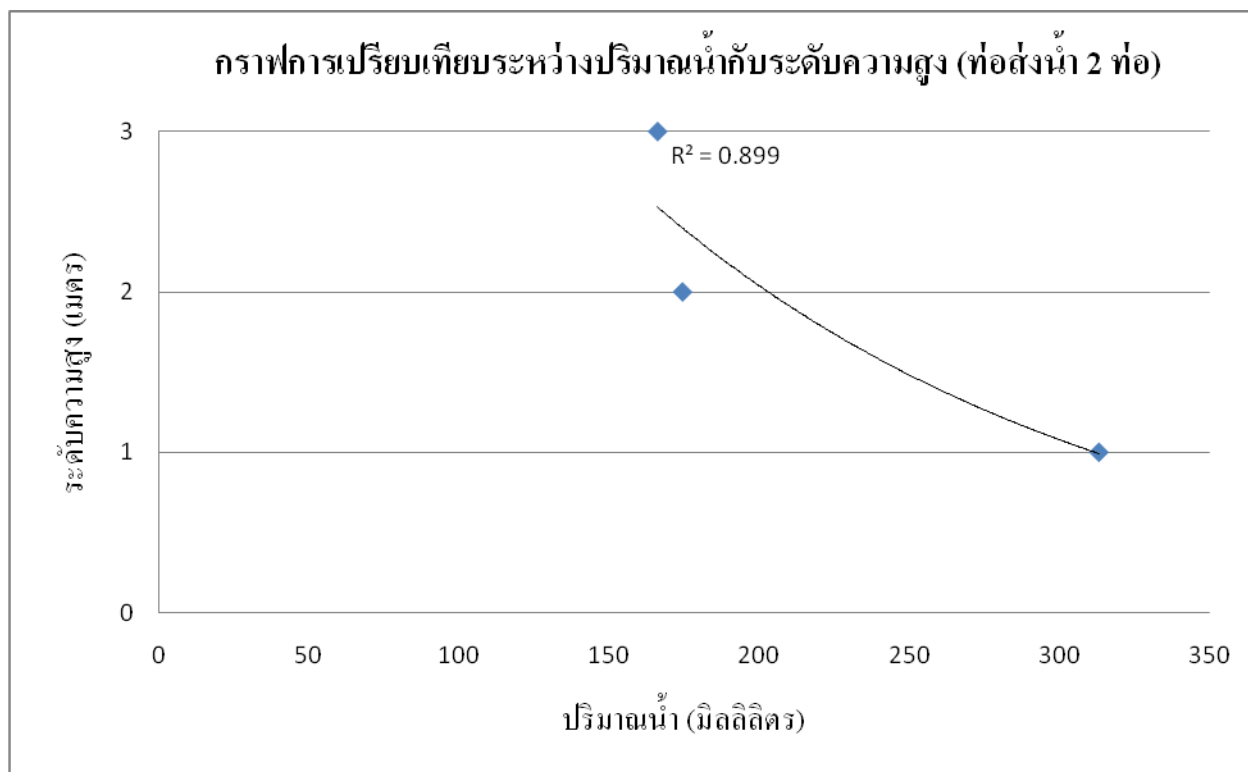
ปริมาณน้ำที่ได้ของการทดลองที่ความสูงระดับ 2 เมตร ได้ปริมาณน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 91.43 มิลลิลิตร ใช้ระยะเวลารอบโดยเฉลี่ย 1.12 นาที ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ได้ทางทฤษฎี

ปริมาณน้ำที่ได้ของการทดลองที่ความสูงระดับ 3 เมตร ได้ปริมาณน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 84.48 มิลลิลิตร ใช้ระยะเวลารอบโดยเฉลี่ย 1.56 นาที ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ได้ทางทฤษฎี

แสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำที่ได้จะลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่าถ้าระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ ยิ่งระดับความสูงเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่ได้ก็จะแปรผกผันตามไปด้วย ดังเกิดจากกราฟแนวโน้มที่จะมีค่าลดลงเรื่อยๆตามระดับความสูง เมื่อค่า

$R^2$  ของการทดลองครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.94

### 5.2.2 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำ ที่ระดับความสูงต่างๆ (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)



ภาพที่ 5.2 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำ และระดับความสูง (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

จากกราฟการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำและระดับความสูง (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำที่ได้ของการทดลองที่ความสูงระดับ 1 เมตร ได้ปริมาณน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 313.45 มิลลิลิตร ใช้ระยะเวลารอบโดยเฉลี่ย 20 วินาที ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ได้ทางทฤษฎี

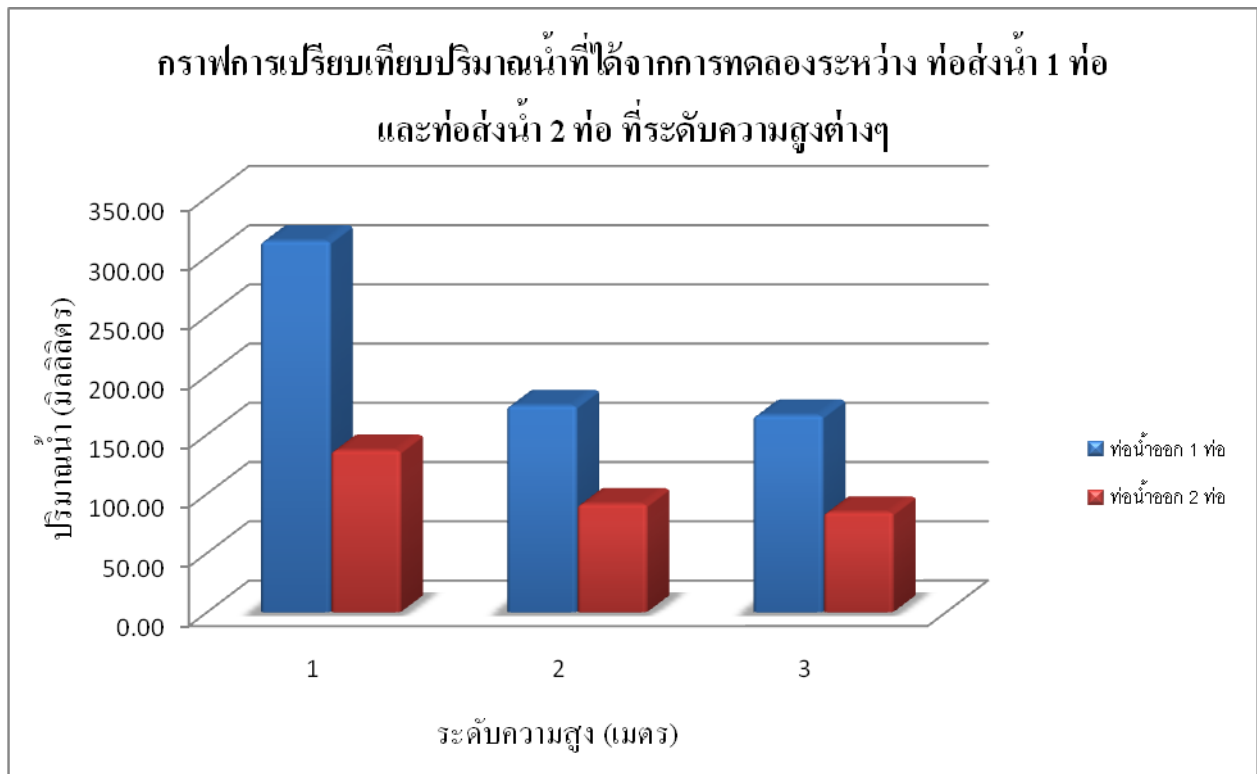
ปริมาณน้ำที่ได้ของการทดลองที่ความสูงระดับ 2 เมตร ได้ปริมาณน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 174.53 มิลลิลิตร ใช้ระยะเวลารอบโดยเฉลี่ย 25 วินาที ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ได้ทางทฤษฎี

ปริมาณน้ำที่ได้ของการทดลองที่ความสูงระดับ 3 เมตร มีได้ปริมาณน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 166.22 มิลลิตร ใช้ระยะเวลารอบโดยเฉลี่ย 55 วินาที ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ได้ทางทฤษฎี

แสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำที่ได้จะลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่าถ้าระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ ยิ่งระดับความสูงเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่ได้ก็จะแปรผกผันตามไปด้วย สังเกตจากกราฟแนวโน้มที่จะมีค่าลดลงเรื่อยๆตามระดับความสูง เมื่อค่า

$R^2$  ของการทดลองครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.90

### 5.2.3 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 5.3 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองระหว่าง ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ

และท่อส่งน้ำ 2 ท่อ ที่ระดับความสูงต่างๆ

กราฟการเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองระหว่าง ท่อส่งน้ำ 1 ท่อและท่อส่งน้ำ 2 ท่อ ที่ระดับความสูงต่างๆ

สรุปได้ว่า ที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ปริมาณน้ำที่ได้ 136.68 มิลลิลิตร และที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ปริมาณน้ำที่ได้ 313.45 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำที่ได้จากท่อส่งน้ำ 1 ท่อ คิดเป็น 2.30 เท่าของปริมาณน้ำที่ได้จากท่อส่งน้ำ 1 ท่อ

ที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ปริมาณน้ำที่ได้ 91.44 มิลลิลิตร และที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ปริมาณน้ำที่ได้ 174.53 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำที่ได้จากท่อส่งน้ำ 1 ท่อ คิดเป็น 1.91 เท่าของปริมาณน้ำที่ได้จากท่อส่งน้ำ 1 ท่อ

ที่ระดับความสูง 3 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ปริมาณน้ำที่ได้ 84.48 มิลลิลิตร และที่ระดับความสูง 3 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ปริมาณน้ำที่ได้ 166.22 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำที่ได้จากท่อส่งน้ำ 1 ท่อ คิดเป็น 1.97 เท่าของปริมาณน้ำที่ได้จากท่อส่งน้ำ 1 ท่อ

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ที่ระดับความสูงต่างๆ ปริมาณน้ำที่วัดได้จากท่อส่งน้ำ 2 ท่อ มากกว่า ปริมาณน้ำที่วัดได้จากท่อส่งน้ำ 1 ท่อ

### 5.3 วิจารณ์ผลการศึกษา

#### 5.3.1 ประสิทธิภาพในการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำ

จากการศึกษาการทำงานของเครื่องสูบน้ำน้ำพลังงานอากาศ พบว่ามีความสามารถในการสูบน้ำเฉลี่ยที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) เท่ากับ 313.45 มิลลิลิตรต่อรอบการทำงาน มีอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย เท่ากับ 1:95 ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ได้ทางทฤษฎี เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำบางส่วนในการทำงานขณะที่แรงดันอากาศในกล่องอัดอากาศลดลง จนไม่สามารถผลักดันน้ำขึ้นสู่ที่สูงได้ ทำให้น้ำไหลย้อนกลับ จากสูตร  $P = \gamma h$  จึงทำให้มีแรงดันกลับมากขึ้นด้วย จากสูตรความดันในของเหลว  $F = P \times A$  เมื่อมีแรงดันน้ำมากกว่าแรงดันในกล่องอัดอากาศ เครื่องสูบน้ำไม่สามารถสูบน้ำขึ้นสู่ที่สูงได้ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง

#### 5.3.2 ประสิทธิภาพในการส่งน้ำขึ้นสู่ที่สูงของเครื่องสูบน้ำ

จากการศึกษาการทำงานของเครื่องสูบน้ำน้ำพลังงานอากาศ พบว่ามีความสามารถในการสูบน้ำขึ้นสู่ที่สูงได้ความสูงสูงสุดที่ 3 เมตรจากระดับน้ำเริ่มต้นที่สะสมในเครื่องสูบน้ำ ในทางทฤษฎีพบว่าเครื่องสูบน้ำสามารถสูบน้ำได้ปริมาณมากกว่านี้ ขึ้นอยู่กับกลไกการผสมของเหลวและอากาศ โดยใช้การลดแรงดัน ณ จุดออกให้น้อยกว่าแรงดันเริ่มต้น จากสูตร  $p_{gh} = \gamma h$  จึงทำให้ปริมาณน้ำที่ได้มีน้อยกว่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ส่งผลให้เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศมีอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสียเท่ากับ 1:95

### 5.3.3 ข้อจำกัดของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานเชื้อเพลิง แต่จะอาศัยการไหลของน้ำธรรมชาติเท่านั้นซึ่งจะต้องมีแหล่งน้ำต้นทุนจากที่ระดับสูงกว่า เข้าสู่ระบบการทำงานของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งได้จำลองลักษณะการไหลของน้ำเข้าสู่ระบบมาเท่านั้น และระบบของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศจะต้องมีการสูญเสียน้ำหรือทิ้งน้ำไปจำนวนหนึ่ง

## บทที่ 6

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการศึกษา

ปัจจุบันมีการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือย ทำให้เกิดปัญหาและส่งผลกระทบต่อต่างๆมากมาย และด้วยในอัตราการใช้พลังงานในระดับนี้นั้นสังคมมนุษย์จะไม่สามารถอยู่ได้อย่างยั่งยืนจึงจำเป็นต้องปรับแนวทางการใช้พลังงานในโลก เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนให้ได้ในอนาคตดังนั้นเราจึงต้องหาพลังงานมาใช้ทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้าและขาดแคลนพลังงานเชื้อเพลิง ทำให้มีความลำบากในการนำน้ำไปใช้ในการเกษตรและการอุปโภค-บริโภค เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศนี้สร้างขึ้น เพื่อต้องการผลิต และพัฒนาเครื่องสูบน้ำในการนำไปใช้ทางด้านการเกษตรที่สามารถทำงานได้โดยไม่ใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป แต่ใช้พลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดหรือพลังงานหมุนเวียนในการทำงาน ซึ่งก็คือพลังงานจากอากาศนั่นเอง

เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานเชื้อเพลิง แต่จะอาศัยการไหลของน้ำธรรมชาติเท่านั้น เข้าสู่ระบบการทำงานของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งได้จำลองลักษณะการไหลของน้ำเข้าสู่ระบบมาเท่านั้น จากการศึกษาพบว่า เครื่องสูบน้ำมีความสามารถในการสูบน้ำสูงสุดที่ความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) เท่ากับ 313.45 มิลลิลิตรต่อรอบการทำงาน มีอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำที่สูญเสียเท่ากับ 1:95 ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ได้ทางทฤษฎี เนื่องจากมีการสูญเสียบางส่วนในการทำงานขณะที่แรงดันอากาศในกล่องอัดอากาศลดลง จนไม่สามารถผลักดันน้ำขึ้นสู่ที่สูงได้ ทำให้น้ำไหลย้อนกลับ จากสูตร  $P = \gamma h$  จึงทำให้มีแรงดันกลับมากขึ้นด้วย จากสูตรความดันในของเหลว  $F = P \times A$  เมื่อมีแรงดันน้ำมากกว่าแรงดันในกล่องอัดอากาศ เครื่องสูบน้ำไม่สามารถสูบน้ำขึ้นสู่ที่สูงได้ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง

เมื่อศึกษาในด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นพบว่า โดยทั่วไปในการใช้เครื่องสูบน้ำจำเป็นจะต้องอาศัยไฟฟ้าหรือน้ำมัน และค่าบำรุงรักษา เมื่อพิจารณาณน้ำขึ้นสู่ที่สูงระดับ 1 เมตร เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศสามารถสูบน้ำได้ 265.128 ลิตรใน 1 วัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ สเปคของเครื่องสูบน้ำรุ่น HERRICANE ราคา 1990 บาท ซึ่งมีกำลัง 150 วัตต์ ปริมาณการสูบน้ำ 20 ลิตรต่อนาที ในเวลา 1 ชั่วโมง และค่าไฟหน่วยละ 5 บาท ซึ่งคิดเป็นค่าไฟ 130 บาท ต่อปี

ตารางที่ 6.1 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ในการในเครื่องสูบน้ำ

ปีที่	รายการ	เครื่องสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้า		เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ	
		ราคา (บาท)	ราคาสะสมรวม(บาท)	ราคา (บาท)	ราคาสะสมรวม(บาท)
0	เครื่องสูบน้ำ	1990	1990	3300	3300
1	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	2030	0	3300
2	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	2160	0	3300
3	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	2290	0	3300
4	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	2420	0	3300
5	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	2550	0	3300
6	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	2680	0	3300
7	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	2810	0	3300
8	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	2940	0	3300
9	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	3070	0	3300
10	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	3200	0	3300
11	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	3230	0	3300
12	ค่าไฟ(ต่อปี)	130	3360	0	3300

จากตารางแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศแทนการใช้เครื่องสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้านั้น จะคุ้มทุนในปีที่ 12 (ไม่รวมค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา)

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเลือกใช้วัสดุที่มีความคงทน ถาวร ในการทำตัวเครื่องสูบน้ำ
2. จากการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ปริมาณน้ำและระดับความสูงที่ต้องการยกน้ำจะขึ้นอยู่กับการปรับอัตราส่วนของน้ำกับอากาศ
3. ถ้าต้องการเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้น
  - 3.1 ควรเพิ่มจำนวนท่อส่งน้ำให้มากขึ้น
  - 3.2 ควรปรับขนาดของท่อส่งน้ำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
  - 3.3 ปรับแต่งสายยางทางท่อส่งน้ำ ทำให้ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น
4. ถ้าต้องการเพิ่มระดับความสูง
  - 4.1 ทำการผสมน้ำกับอากาศโดยให้น้ำมีปริมาณที่น้อยลงเป็นการลดความหนาแน่นของของเหลวให้ต่ำกว่าพลังงานตั้งต้น
  - 4.2 เลือกใช้สายยางที่มีแรงเสียดทานต่ำเพื่อให้แรงดึงผิวของของเหลวลดลง
5. หากต้องการนำไปใช้จริงในชีวิตประจำวันจำเป็นต้องกรองน้ำก่อนเข้าสู่เครื่องสูบน้ำเพื่อยืดอายุการใช้งาน
6. จากการศึกษานี้ได้ทำศึกษาเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศซึ่งจำเป็นต้องมีแหล่งน้ำต้นทุนจากที่มีระดับสูงกว่าเท่านั้น
7. ต้องทำการทดลองหลายๆ ครั้งเพื่อที่จะสามารถประมาณค่าปริมาณน้ำได้ เนื่องจากผลการทดลองยังมีพลังงานจลน์อยู่ ซึ่งต้องมีการพัฒนาให้เกิดแต่พลังงานศักย์หรือมีพลังงานจลน์น้อยมาก



## เอกสารอ้างอิง

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2545.สถิติสำหรับงานวิศวกรรมเล่ม 2. แหล่งที่มา : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

บรรจง วรธนะพงษ์. 2525.คู่มือเครื่องสูบน้ำพลังน้ำและกังหันน้ำสูบน้ำ.

มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์. 2550. บทที่ 6 กลศาสตร์ของไหล. แหล่งที่มา : <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/nuch/introphysics/6.pdf>, [15 มีนาคม 2553]

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

วิบูลย์ บุญยชโรกุล. 2529.ปั๊มน้ำและระบบสูบน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

Douglas C. Montgomery. 1953.**Engineering Statistics**. Arizona State University.

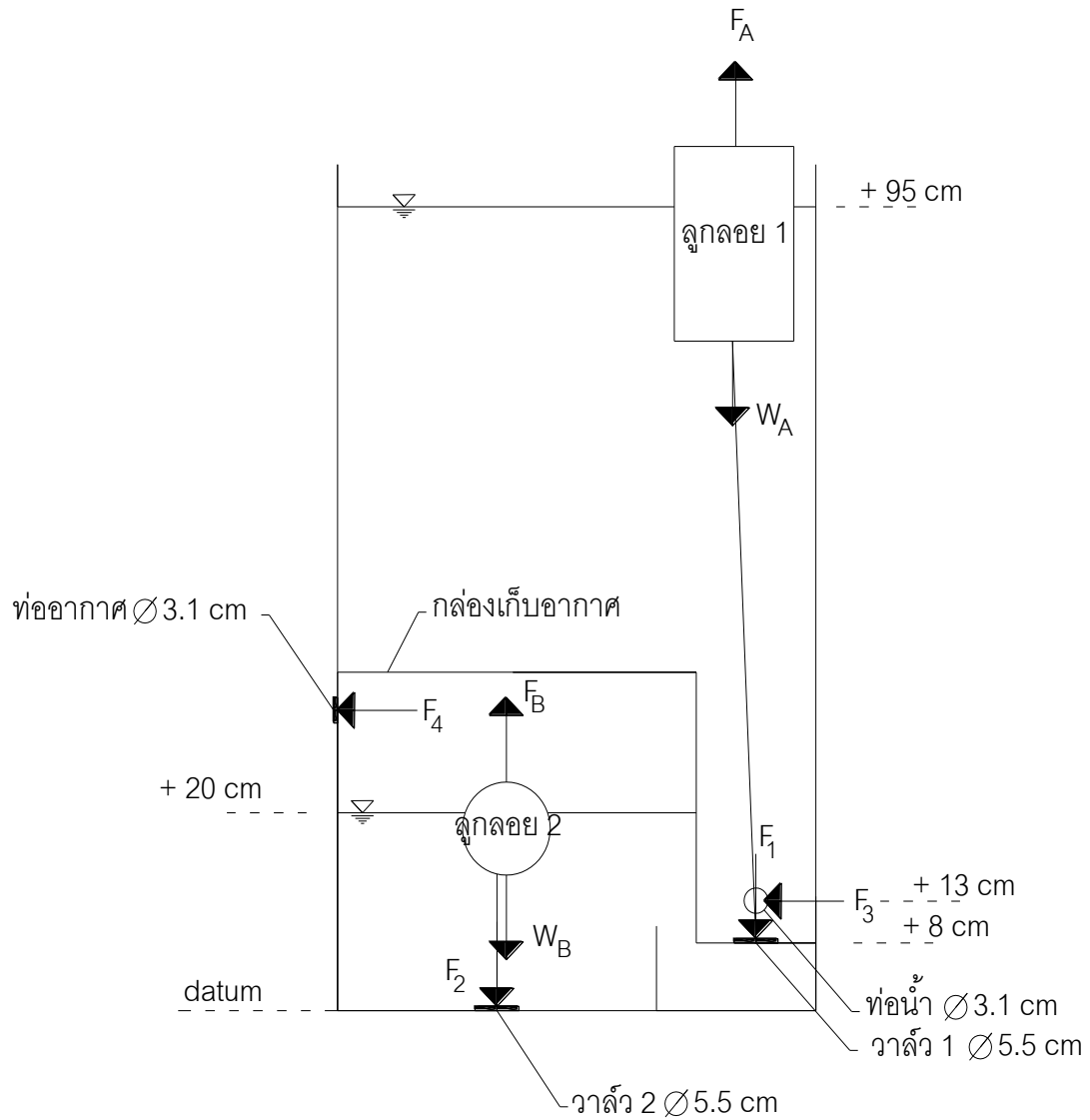
Logos.2552. **Pulser Pump** .Pulser pump.แหล่งที่มา:<http://lanpanya.com/wash/archives/663>, 20 มีนาคม 2553.

Richard A. Johnson. 1982 .**APPLIED MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS**. University of Wisconsin-Madison

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
การออกแบบ  
เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ

## การคำนวณแรงดัน ณ ตำแหน่งต่างๆ



ภาพผนวกที่ 1 แรงดันที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ

หาแรงดัน ณ ตำแหน่ง วาล์ว 1

$$\begin{aligned} \gamma_w h_A &= 1000(\text{kg/m}^3) \times \frac{(95-8)}{100} (\text{m}) \times \frac{\pi}{4} (5.5 \times 10^{-2})^2 (\text{m}^2) \\ &= 2.067 \text{ kg} \end{aligned}$$

เนื่องจากวาล์ว1 เอียงทำมุมกับแนวราบ  $10^\circ$

$$\begin{aligned}\text{คิดเป็นแรงดัน} &= 2.067(\text{kg})\sin 10^\circ \\ &= 0.359 \text{ kg}\end{aligned}$$

เนื่องจากจุดยกไม่ได้อยู่ที่กึ่งกลางวาล์ว มีการเลื่อนจุดยกมาเข้าใกล้จุดหมุน

$$\text{ระยะจากจุดหมุนถ้ากึ่งกลางวาล์ว} = 6.5 \text{ cm}$$

$$\text{ระยะจากจุดหมุนถ้าจุดยก} = 4 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\therefore F_1 &= \frac{6.5(\text{cm})}{4(\text{cm})} \times (0.359(\text{kg}) + 2.067(\text{kg})) \\ &= 3.492 \text{ kg}\end{aligned}$$

หาแรงลอยตัว ( $F_A$ )

โดยใช้ลูกลอยขนาด  $18 \times 15.5 \times 23 \text{ cm}$

$$\text{น้ำหนักลูกลอย } (W_A) = 500 \text{ g} = 0.5 \text{ kg}$$

$$\text{คิดเป็นปริมาตร} = 6417 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\text{ลูกลอยปริมาตร } 1 \text{ m}^3 \text{ สามารถยกได้ } 1000 \text{ kg}$$

$$\text{ถ้าลูกลอยปริมาตร } 6417 \text{ cm}^3 \text{ สามารถยกได้} = 6417 \times 10^{-6} \times 10^3 \text{ kg} = 6.417 \text{ kg}$$

พิจารณาลูกลอยจมลงในน้ำ  $\frac{3}{4}$  ลูก

$$\begin{aligned}\therefore F_A &= \frac{3}{4} \times 6.417(\text{kg}) \\ &= 4.813 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{แรงดัน ณ ตำแหน่ง วาล์ว1} + \text{น้ำหนักลูกลอย} &= 3.492(\text{kg}) + 0.5(\text{kg}) \\ &= 3.992 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\therefore F_A = 4.813 \text{ kg} > 3.992 \text{ kg} \quad \text{OK.}$$

$$\begin{aligned}\text{แรงดันอากาศ} &= \gamma_w h = 1000(\text{kg/m}^3) \times \frac{((95-8) - 20)}{100} (\text{m}) \\ &= 670 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{แรงดันเนื่องจากแรงดันอากาศ} &= 670(\text{kg/m}^2) \times \frac{\pi}{4} (5.5 \times 10^{-2})^2 (\text{m}^2) \\ &= 1.592 \text{ kg}\end{aligned}$$

แรงดัน ณ ตำแหน่งวาล์ว 2

$$\begin{aligned} \gamma_w h A &= 1000(\text{kg/m}^3) \times \frac{20}{100}(\text{m}) \times \frac{\pi}{4} (5.5 \times 10^{-2})^2 (\text{m}^2) \\ &= 0.475 \text{ kg} \end{aligned}$$

เนื่องจากวาล์ว 2 เอียงทำมุมกับแนวราบ  $10^\circ$

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นแรงดัน} &= 0.475(\text{kg}) \sin 10^\circ \\ &= 0.083 \text{ kg} \end{aligned}$$

เนื่องจากจุดยกไม่ได้อยู่ที่กึ่งกลางวาล์ว มีการเลื่อนจุดยกมาเข้าใกล้จุดหมุน

$$\text{ระยะจากจุดหมุนถึงกึ่งกลางวาล์ว} = 6.5 \text{ cm}$$

$$\text{ระยะจากจุดหมุนถึงจุดยก} = 4 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \therefore F_2 &= \frac{6.5(\text{cm})}{4(\text{cm})} \times (0.475(\text{kg}) + 0.083(\text{kg})) \\ &= 0.907 \text{ kg} \end{aligned}$$

หาแรงลอยตัว ( $F_B$ )

โดยใช้ลูกลอยทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 cm จำนวน 8 ลูก

$$\text{คิดเป็นปริมาตร} = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \times \pi \times 5.5^3 \times 8 = 55.75.28 \text{ cm}^3$$

$$\text{น้ำหนักลูกลอย 8 ลูก } (W_B) = 800 \text{ g} = 0.8 \text{ kg}$$

$$\text{ลูกลอยปริมาตร } 1 \text{ m}^3 \text{ สามารถยกได้ } 1000 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้าลูกลอยปริมาตร } 5575.78 \text{ cm}^3 \text{ สามารถยกได้} &= 5575.78 \times 10^{-6} \times 10^3 \text{ kg} \\ &= 5.575 \text{ kg} \end{aligned}$$

พิจารณาลูกลอยจมลงในน้ำ  $\frac{3}{4}$  ลูก

$$\begin{aligned} \therefore F_B &= \frac{3}{4} \times 5.575(\text{kg}) \\ &= 4.181 \text{ kg} \end{aligned}$$

แรงดัน ณ ตำแหน่ง วาล์ว 2 + น้ำหนักลูกลอย 2 + แรงดันเนื่องจากแรงดันอากาศ

$$= 0.907(\text{kg}) + 1.592(\text{kg}) + 0.8(\text{kg})$$

$$= 3.299 \text{ kg}$$

$$\therefore F_B = 4.181 \text{ kg} > 3.299 \text{ kg} \quad \text{OK.}$$

แรงดันน้ำ ณ ตำแหน่งท่อน้ำ ( $F_3$ )

$$\begin{aligned}\gamma_{whA} &= 1000(\text{kg/m}^3) \times \frac{(95-13)}{100}(\text{m}) \times \frac{\pi}{4}(3.1 \times 10^{-2})^2(\text{m}^2) \\ &= 0.619 \text{ kg}\end{aligned}$$

แรงดันอากาศที่มากที่สุด ณ ตำแหน่งท่ออากาศ ( $F_4$ )

$$\begin{aligned}\gamma_{whA} &= 1000(\text{kg/m}^3) \times \frac{(95-8)}{100}(\text{m}) \times \frac{\pi}{4}(3.1 \times 10^{-2})^2(\text{m}^2) \\ &= 0.657 \text{ kg}\end{aligned}$$

แรงดันอากาศที่น้อยที่สุด ณ ตำแหน่งท่ออากาศ ( $F_4$ )

$$\begin{aligned}\gamma_{whA} &= 1000(\text{kg/m}^3) \times \frac{((95-8)-20)}{100}(\text{m}) \times \frac{\pi}{4}(3.1 \times 10^{-2})^2(\text{m}^2) \\ &= 0.506 \text{ kg}\end{aligned}$$

**การออกแบบระดับลูกลอยในกล่องเก็บอากาศ**

ตารางผนวกที่ 1 การวัดค่าปริมาตรน้ำสะสม ระยะเวลาและระดับน้ำที่ลดลง ที่ระดับความสูง 2 เมตร ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ (ครั้งที่ 1)

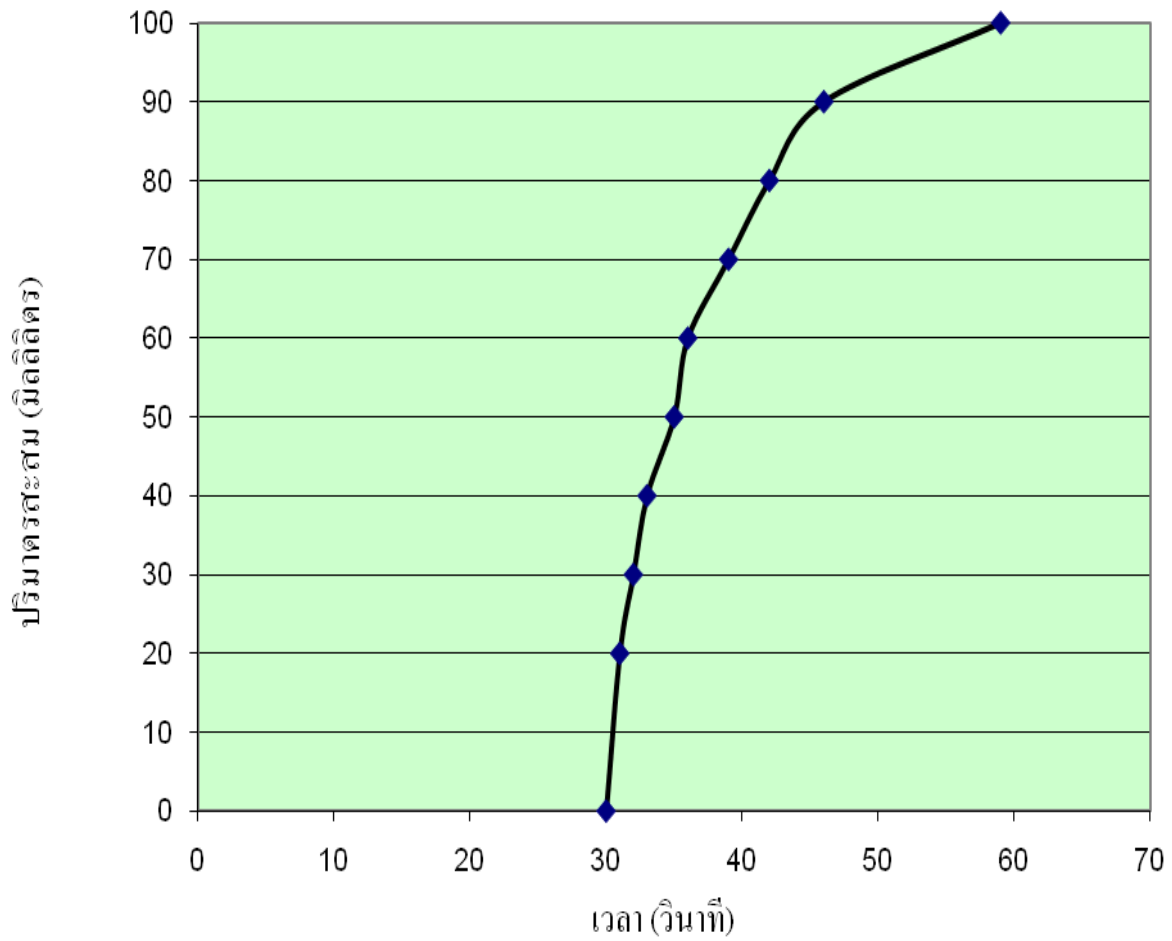
ปริมาตรสะสม (มิลลิลิตร)	เวลา (วินาที)	ระดับน้ำ(เซนติเมตร)
0	30	44.3
20	31	41
30	32	40.6
40	33	40
50	35	39.8
60	36	39.3
70	39	38.2
80	42	37.2
90	46	35.3
100	59	30.2

ตารางผนวกที่ 2 การวัดค่าปริมาตรน้ำสะสม ระยะเวลาและระดับน้ำที่ลดลง ที่ระดับความสูง 2 เมตร ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ (ครั้งที่ 2)

ปริมาตรสะสม (มิลลิลิตร)	เวลา (วินาที)	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)
0	37	44.5
30	41	41.2
40	42	40.8
50	43	40.2
60	44	39.5
70	46	38.5
80	48	37.5
90	52	35.8
100	64	32

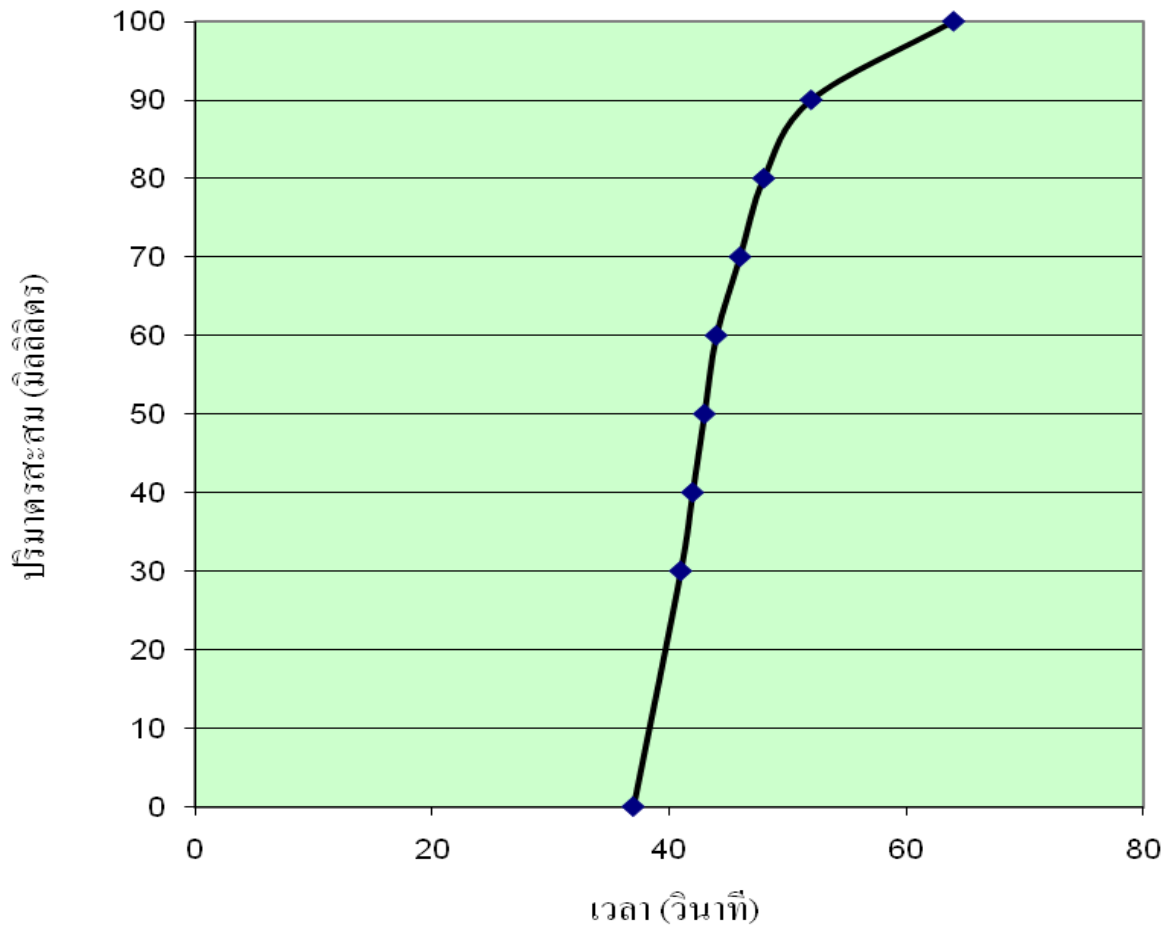


## ปริมาณสะสม-เวลา



ภาพผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสะสมกับเวลา (ครั้งที่ 1)

## ปริมาณสะสม-เวลา



ภาพผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสะสมกับเวลา (ครั้งที่ 2)

จากภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสะสมกับเวลา (ครั้งที่ 1) และภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำสะสมกับเวลา (ครั้งที่ 2) จะเห็นได้ว่า ในช่วงแรกปริมาตรน้ำสะสมจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเร็วมาก และใช้ระยะเวลาสั้นๆ จนถึงปริมาตรน้ำสะสมที่ 80 ถึง 100 มิลลิลิตร ปริมาตรน้ำสะสมจะเพิ่มขึ้นช้าลง หรือใช้ระยะเวลามากขึ้น แสดงว่าแรงดันอากาศช่วงหลังสามารถใช้ประโยชน์ได้น้อยลง ดังนั้นในการปรับระดับลูกลอยในกล่องเก็บอากาศ จึงใช้ปริมาตรสะสมที่ 80 มิลลิลิตร ในการคำนวณเพื่อที่จะได้ใช้ประโยชน์ของแรงดันอากาศได้มากที่สุด และทำให้ระยะเวลาของรอบการผลัดน้ำเร็วขึ้น

การคำนวณ ทำการเลือกปริมาตรน้ำสะสมที่ 80 มิลลิลิตร

ครั้งที่ 1 ที่ปริมาตรน้ำสะสม 80 มิลลิลิตร ระดับน้ำจะลดลง =  $44.3 - 37.2 = 7.1$  เซนติเมตร

คิดเป็นปริมาตร =  $7.1 \times 50 \times 60 = 21300$  มิลลิลิตร

ดังนั้นระดับในกล่องเก็บอากาศสูง =  $21300 / (45 \times 50) = 9.5$  เซนติเมตร

ครั้งที่ 2 ที่ปริมาตรน้ำสะสม 80 มิลลิลิตร ระดับน้ำจะลดลง =  $44.5 - 37.5 = 7$  เซนติเมตร

คิดเป็นปริมาตร =  $7 \times 50 \times 60 = 21000$  มิลลิลิตร

ดังนั้น ระดับในกล่องเก็บอากาศสูง =  $21000 / (45 \times 50) = 9.4$  เซนติเมตร

ดังนั้น เลือกปรับระดับลูกลอยให้สูงขึ้นจากระดับน้ำที่ขังอยู่ในกล่องเก็บอากาศเป็นระยะ 10 เซนติเมตร

**ภาคผนวก ข**  
**ตารางผลการทดสอบประสิทธิภาพ**  
**เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ**

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

**วันที่** 25 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	0.00	00.36	01.03	162
2	02.32	04.00	04.32	146
3	05.32	06.06	06.40	154
4	07.59	08.49	09.20	120
5	10.31	11.07	11.33	160
6	13.06	14.01	14.30	138
7	15.29	16.04	16.28	150
8	17.59	18.56	19.22	140
9	20.23	20.54	21.21	148
10	22.55	24.11	24.38	124
11	25.4	26.55	27.23	126
12	28.29	29.50	30.29	146
13	31.29	32.34	32.50	138
14	34.16	35.00	35.30	148

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาที)	เวลาหดรอบ (นาที)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาที)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
15	36.26	37.20	37.47	124
16	39.11	39.45	40.11	160
17	41.37	42.28	42.57	136
18	44.00	45.09	45.34	161
19	46.31	47.14	47.48	142
20	49.07	49.40	50.03	138
21	51.32	52.15	52.41	122
22	53.57	54.53	55.20	126
23	56.16	57.14	57.41	152
24	58.55	59.46	60.19	122

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร  
ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

**วันที่** 25 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2  
(ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหดรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	0.00	00.30	00.55	150
2	02.28	2.58	03.23	140
3	04.54	5.27	05.52	193
4	07.23	07.58	08.24	162
5	09.52	10.30	11.00	129
6	12.20	13.06	13.32	120
7	14.52	15.46	16.12	140
8	17.06	17.38	18.03	122
9	19.43	20.20	20.47	130
10	22.14	22.51	23.18	128
11	24.42	25.27	25.55	138
12	27.15	27.46	28.12	120
13	29.40	30.28	30.53	130
14	32.15	33.05	33.31	132
15	35.15	35.50	36.16	168
16	37.37	38.17	38.44	134
17	40.09	40.42	41.11	127

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหดรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	42.38	44.02	44.32	120
19	45.39	46.21	46.52	120
20	48.12	48.46	49.11	132
21	50.45	51.17	51.42	139
22	53.10	53.43	54.12	136
23	55.40	56.31	56.58	170
24	58.20	59.10	59.48	138
25	60.53	61.29	62.54	140



**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร  
ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

**วันที่** 25 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3  
(ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหดรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	00.38	01.02	151
2	02.35	03.14	03.38	140
3	05.07	05.38	06.08	144
4	07.31	08.50	09.19	150
5	10.25	11.01	11.30	187
6	12.59	13.38	14.09	168
7	15.39	16.30	16.58	180
8	18.01	18.43	19.08	122
9	20.41	21.12	21.39	136
10	23.08	24.09	24.36	122
11	25.30	25.59	26.30	125
12	28.05	28.42	29.08	126
13	30.35	31.09	31.36	152
14	33.04	33.47	34.13	129
15	35.39	36.12	36.38	120
16	38.00	39.17	39.49	134
17	40.48	41.23	41.54	134

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหดรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	43.22	44.36	45.02	128
19	46.02	46.38	47.10	146
20	48.37	49.09	49.35	136
21	51.07	51.36	52.03	126
22	53.33	54.02	54.30	145
23	56.05	56.37	57.01	134
24	61.09	61.53	62.10	141

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร  
ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

**วันที่** 25 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1  
(ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหวนรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	00.33	01.00	74
2	02.31	03.09	03.38	116
3	5.03	05.41	06.09	107
4	07.38	08.16	08.45	108
5	10.09	10.47	11.15	106
6	12.45	13.25	13.51	107
7	15.16	15.55	16.20	100
8	17.50	18.26	18.54	100
9	20.25	21.05	21.31	113
10	22.59	23.27	24.03	100
11	25.35	26.13	26.39	105
12	28.07	28.44	29.18	100
13	30.39	31.16	31.41	102
14	33.17	33.56	34.22	108
15	35.52	36.30	36.56	104
16	38.28	39.03	39.28	103
17	41.16	49.50	42.15	70

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหวนรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	44.42	45.13	45.37	56
19	48.01	48.40	49.06	87
20	50.42	51.18	51.44	96
21	53.05	53.44	54.09	97
22	55.30	56.11	56.37	107
23	57.56	58.35	59.04	106
24	60.31	61.01	61.35	110

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

**วันที่** 25 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิสยา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหดรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	01.08	01.31	72
2	02.21	03.35	04.00	81
3	04.53	05.43	06.10	92
4	06.57	07.47	08.15	86
5	08.59	09.48	10.23	85
6	11.05	11.57	12.28	78
7	13.09	13.58	14.41	86
8	15.14	16.04	16.28	86
9	17.17	18.05	18.27	79
10	19.18	20.05	20.43	82
11	21.21	22.06	22.45	85
12	23.23	24.15	24.42	84
13	25.28	26.76	26.44	82
14	27.30	28.20	28.42	83
15	29.34	30.20	30.45	99
16	31.37	32.27	32.50	87
17	33.41	34.31	34.55	98

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อต่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหวนรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	35.45	36.36	37.12	84
19	37.50	38.42	39.26	81
20	39.55	40.47	41.11	97
21	41.58	42.47	43.17	99
22	43.58	44.50	45.23	95
23	46.04	46.54	47.15	94
24	48.09	48.57	49.20	90
25	50.14	51.02	51.35	82
26	52.13	53.06	53.30	84
27	54.19	55.12	55.36	86
28	56.26	57.18	57.41	84
29	58.35	59.14	59.46	110

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร  
ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

**วันที่** 25 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3  
(ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหดรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	0.00	01.23	01.42	90
2	02.17	03.12	03.42	89
3	04.27	05.14	05.45	84
4	06.29	07.23	07.49	81
5	08.37	09.30	10.10	82
6	10.45	11.38	12.22	88
7	12.54	13.50	14.30	88
8	15.03	16.00	16.35	88
9	17.12	18.07	18.40	90
10	19.20	20.12	20.17	88
11	21.26	22.19	22.42	84
12	23.33	24.23	24.48	87
13	25.37	26.28	27.02	86
14	27.45	28.37	29.10	89
15	29.52	30.46	31.25	90
16	31.59	32.54	33.23	83
17	34.07	35.00	35.24	90

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	36.15	37.04	37.31	88
19	38.15	39.09	39.45	85
20	40.22	41.18	41.50	92
21	42.33	43.25	44.00	85
22	44.49	45.40	46.20	90
23	46.55	47.45	48.20	80
24	49.21	50.14	50.55	90
25	51.27	52.20	53.00	90
26	53.35	54.30	55.09	90
27	55.41	56.34	57.10	87
28	57.54	58.18	58.45	97
29	59.21	59.58	61.35	78



**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร  
ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

**วันที่** 26 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิสยา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 1  
(ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	02.31	03.02	94
2	03.59	06.22	07.00	82
3	07.55	10.17	10.51	92
4	11.44	14.03	14.45	87
5	15.32	17.49	18.22	89
6	19.21	21.31	21.59	90
7	25.10	25.09	25.35	85
8	26.27	28.29	28.52	84
9	29.57	32.05	32.31	78
10	33.35	35.24	35.49	80
11	36.50	38.42	39.13	74
12	40.29	42.04	42.43	80
13	43.34	45.23	45.48	80
14	46.49	48.37	49.13	76
15	50.06	51.52	52.31	77
16	53.40	55.19	56.05	75
17	56.38	58.40	59.20	86

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร  
ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

**วันที่** 26 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2  
(ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	0.00	01.47	02.43	100
2	03.07	05.05	06.02	89
3	06.54	08.42	09.38	88
4	10.05	11.47	12.45	84
5	13.07	15.11	16.10	75
6	16.27	18.12	18.47	77
7	19.28	21.22	21.48	70
8	22.43	24.25	24.57	94
9	25.30	27.26	27.52	80
10	28.42	30.21	30.47	77
11	31.39	33.21	33.53	89
12	34.33	36.22	36.48	70
13	37.35	39.12	40.00	73
14	40.28	42.22	42.50	100
15	43.39	45.20	45.58	88
16	46.45	48.32	49.02	85
17	49.46	51.32	51.00	83

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาที)	เวลาห้รอบ (นาที)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาที)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	52.45	54.23	55.10	90
19	55.34	57.20	58.00	89
20	58.35	60.24	61.00	92

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร  
ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

**วันที่** 26 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 11 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 3  
(ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	01.32	02.07	80
2	02.47	04.30	05.05	87
3	05.46	07.18	07.49	77
4	08.35	10.17	11.30	73
5	13.09	14.30	14.58	87
6	16.14	17.58	18.18	93
7	20.56	22.30	23.00	94
8	23.49	25.31	26.07	85
9	26.51	28.38	29.02	91
10	29.54	31.24	32.00	78
11	32.42	34.13	35.00	80
12	35.27	37.00	37.30	83
13	38.17	40.34	40.58	102
14	42.01	43.47	44.22	98
15	45.00	46.50	47.15	90
16	48.05	49.45	50.24	78
17	51.02	52.50	53.08	90

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาห้รอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	54.03	55.44	56.10	83
19	57.02	58.35	59.04	80

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร  
ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

**วันที่** 26 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 12 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1  
(ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหวนรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	00.14	00.31	258
2	01.32	01.46	02.06	275
3	02.56	03.13	03.50	277
4	04.39	05.13	05.53	252
5	06.29	06.51	07.22	332
6	08.10	08.39	09.10	300
7	10.00	10.22	10.46	287
8	11.39	11.56	12.38	280
9	13.12	13.34	14.03	336
10	14.58	15.29	15.55	288
11	16.46	17.14	17.45	291
12	18.26	18.48	19.25	347
13	20.11	20.32	21.03	337
14	21.50	22.09	22.37	325
15	23.29	24.16	24.46	319
16	25.29	25.48	26.15	336
17	27.07	27.26	27.58	323

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	29.09	29.42	30.26	315
19	31.54	33.00	33.26	319
20	33.54	34.30	35.01	310
21	35.46	36.05	36.26	316
22	37.23	37.43	38.11	330
23	39.06	39.26	40.08	310
24	40.36	41.15	41.55	296
25	42.12	42.30	43.02	350
26	43.48	44.10	44.50	320
27	45.28	45.45	46.08	320
28	47.00	47.19	47.50	324
29	48.55	49.33	49.55	300
30	50.32	50.52	51.09	324
31	52.01	52.25	52.57	315
32	53.39	54.01	54.35	295
33	55.10	55.24	56.04	320
34	56.40	57.00	57.26	326
35	58.20	58.38	59.07	322

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร  
ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

**วันที่** 26 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 13 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2  
(ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	00.18	00.45	328
2	01.40	02.00	02.38	326
3	03.21	03.40	04.00	296
4	05.00	05.18	05.47	304
5	06.36	06.54	07.20	300
6	08.16	08.43	09.24	320
7	10.14	10.23	11.00	336
8	11.57	12.23	13.02	315
9	13.23	13.32	13.58	308
10	14.48	15.20	16.05	336
11	17.01	17.28	18.00	303
12	19.02	19.22	20.30	334
13	20.50	21.13	21.35	304
14	22.41	23.03	23.22	318
15	24.30	25.20	25.51	308
16	26.10	26.30	26.55	296
17	27.57	28.16	28.50	310



ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาห้รอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	30.00	30.22	30.47	326
19	31.58	32.11	32.38	304
20	33.37	33.57	34.22	306
21	35.20	35.36	36.00	304
22	37.03	37.30	38.03	308
23	38.52	39.14	39.36	316
24	40.40	40.58	41.28	320
25	42.22	42.42	43.06	309
26	44.12	44.31	45.14	330
27	45.55	46.13	46.33	302
28	47.40	47.57	48.37	315
29	49.22	49.44	50.00	277
30	51.22	51.34	52.09	307
31	52.52	53.10	53.34	339
32	54.40	55.04	55.36	324
33	56.25	56.57	57.30	348
34	58.20	58.40	59.24	342
35	60.03	60.28	60.58	354

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร  
ครั้งที่ 3 (ท่อดังน้ำ 2 ท่อ)

**วันที่** 26 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 14 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3  
(ท่อดังน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหดรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	00.26	00.52	332
2	01.52	02.14	03.01	350
3	03.44	04.05	05.01	317
4	05.36	06.07	06.44	321
5	07.34	07.50	08.01	340
6	09.14	09.37	10.06	348
7	11.13	11.43	12.07	300
8	13.10	13.39	13.48	322
9	14.58	15.16	15.46	320
10	16.40	17.09	17.35	290
11	18.41	19.02	19.35	330
12	20.33	20.56	21.17	328
13	22.21	22.45	23.05	338
14	24.14	24.50	25.19	354
15	26.13	26.34	26.57	326
16	28.01	28.35	29.03	290
17	30.02	30.24	30.48	317

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3 (ท่อดำน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	31.54	32.17	32.53	320
19	33.44	34.02	34.25	308
20	35.28	35.43	36.10	294
21	37.09	37.27	37.58	294
22	38.57	39.16	39.47	306
23	40.58	41.05	41.38	298
24	42.36	43.02	43.28	304
25	43.57	44.38	45.02	298
26	46.08	46.37	46.52	282
27	48.01	48.18	48.35	294
28	49.47	50.00	50.34	286
29	51.16	51.31	51.59	298
30	52.50	53.05	53.31	280
31	54.26	54.43	55.28	296
32	56.01	56.16	56.31	292
33	57.31	57.49	58.29	372
34	59.19	59.56	1.00.21	332

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร  
ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

**วันที่** 29 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 15 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1  
(ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	00.24	00.46	174
2	01.36	02.01	02.32	153
3	03.19	03.43	04.17	172
4	05.05	05.30	05.52	180
5	06.50	07.14	07.47	170
6	08.27	08.53	09.22	174
7	10.13	10.39	11.03	180
8	11.58	12.24	12.48	174
9	13.38	14.02	14.26	174
10	15.16	15.43	16.10	172
11	17.01	17.24	17.52	188
12	18.42	19.10	19.31	180
13	20.28	20.53	21.26	174
14	22.05	22.30	22.48	178
15	23.53	24.17	24.40	179
16	25.28	25.50	26.30	174
17	27.09	27.32	27.54	187

ตารางผนวกที่ 15 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	29.08	29.31	29.57	192
19	31.06	31.30	31.59	182
20	32.42	33.06	33.39	184
21	34.39	35.42	35.34	181
22	36.16	36.41	37.06	179
23	38.01	38.24	38.52	180
24	39.40	40.03	40.25	182
25	41.32	41.55	42.25	182
26	44.17	44.40	45.08	170
27	46.07	46.30	46.49	194
28	47.39	48.05	48.27	174
29	49.29	49.58	50.23	194
30	51.15	51.38	52.25	173
31	52.53	53.19	53.43	179
32	54.22	54.46	55.09	168
33	56.26	56.45	57.15	192
34	58.02	58.28	58.52	176
35	59.40	60.03	60.27	178

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร  
ครั้งที่ 2 (ท่อดังน้ำ 2 ท่อ)

**วันที่** 29 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 16 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2  
(ท่อดังน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	00.23	00.42	190
2	02.26	02.46	3.26	198
3	04.50	05.19	05.56	234
4	06.48	07.10	07.33	164
5	08.23	08.44	09.15	154
6	10.36	10.52	11.17	179
7	12.31	12.58	13.17	150
8	14.21	14.52	15.11	178
9	16.01	16.26	16.40	160
10	17.39	18.11	18.28	159
11	19.27	19.50	20.11	160
12	21.19	21.40	22.00	170
13	23.15	23.35	23.50	170
14	24.39	24.58	25.29	150
15	26.30	26.50	27.09	172
16	29.00	29.18	29.42	190
17	31.31	31.42	31.57	175

ตารางผนวกที่ 16 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	33.07	33.30	33.48	210
19	35.34	35.50	36.23	172
20	36.45	37.04	37.33	184
21	38.50	39.18	39.38	182
22	40.26	40.47	41.15	168
23	42.28	42.40	42.53	170
24	43.47	44.07	44.44	180
25	45.25	45.45	46.01	174
26	47.02	47.23	47.56	160
27	48.54	49.09	49.45	170
28	50.38	51.03	51.20	160
29	52.17	52.45	53.06	140
30	54.14	54.41	55.03	180
31	55.53	56.14	56.36	150
32	57.30	57.55	58.15	160
33	59.21	59.49	60.10	186

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร  
ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

**วันที่** 29 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 17 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2  
(ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	00.19	00.37	165
2	00.53	01.31	02.02	160
3	02.36	02.56	03.33	160
4	04.15	04.38	05.01	172
5	05.45	06.00	06.33	156
6	07.42	08.00	08.32	170
7	10.05	10.27	10.59	160
8	11.23	11.47	12.04	180
9	13.48	14.08	14.32	192
10	15.46	16.15	16.42	160
11	17.26	17.49	18.10	180
12	19.25	19.49	20.20	192
13	21.31	21.51	22.30	160
14	23.24	23.49	24.30	148
15	25.21	25.43	26.07	174
16	27.30	27.50	28.30	160
17	28.45	28.57	29.17	172



ตารางผนวกที่ 17 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	31.00	31.27	31.44	180
19	33.20	33.48	34.21	206
20	35.32	35.54	36.18	160
21	36.55	37.16	37.46	176
22	39.00	39.25	39.55	203
23	40.35	40.59	41.23	168
24	42.05	42.26	42.52	180
25	43.28	43.49	44.17	160
26	45.25	45.48	46.15	189
27	47.02	47.25	47.46	174
28	48.37	48.57	49.27	170
29	50.13	50.30	50.57	160
30	51.49	52.11	52.40	208
31	53.22	53.56	54.16	242
32	55.14	56.07	56.31	142
33	56.58	57.25	57.53	216
34	58.15	59.06	59.34	194
35	60.23	60.45	61.12	170

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร  
ครั้งที่ 1 (ท่อดังน้ำ 2 ท่อ)

**วันที่** 29 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 18 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 1  
(ท่อดังน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาห้รอบ (นาท)	เวลาน้าระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	00.47	01.12	150
2	02.01	02.47	03.04	177
3	03.50	04.29	04.51	160
4	05.33	06.23	06.49	177
5	08.21	09.21	09.53	150
6	11.48	12.24	12.42	152
7	13.01	14.04	14.18	180
8	15.13	15.57	16.19	154
9	17.13	17.57	18.23	181
10	19.01	19.52	20.21	186
11	20.48	21.19	21.37	140
12	22.22	23.31	23.59	200
13	24.59	25.44	26.01	163
14	26.45	27.14	27.56	170
15	28.21	28.56	29.21	165
16	30.02	30.43	31.06	160
17	31.33	31.59	32.16	158

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 1 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	32.59	33.40	34.08	140
19	35.02	35.49	35.08	148
20	36.48	37.35	37.50	150
21	38.32	39.05	39.23	190
22	39.59	40.19	40.39	198
23	41.14	41.47	42.05	152
24	44.47	44.49	45.20	154
25	48.07	49.25	49.38	145
26	50.47	51.08	51.40	150
27	52.22	53.12	53.40	140
28	54.23	55.08	55.46	148
29	56.08	56.26	56.57	162
30	57.39	58.24	58.47	174
31	62.00	63.06	63.40	170

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร  
ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

**วันที่** 29 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 19 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2  
(ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหดรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	01.01	01.58	176
2	02.25	02.57	03.22	160
3	04.15	04.55	05.16	158
4	05.58	06.41	07.02	164
5	07.55	08.23	09.03	175
6	10.02	10.55	11.48	165
7	12.23	12.59	13.45	173
8	14.43	15.03	15.25	156
9	15.58	16.34	17.03	170
10	18.01	18.50	19.22	165
11	19.55	20.21	20.56	170
12	21.25	22.58	23.26	178
13	24.05	24.43	25.08	160
14	25.48	26.22	26.59	155
15	27.41	28.03	28.32	165
16	29.02	29.41	30.15	160
17	31.23	31.46	32.04	170

ตารางผนวกที่ 19 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2 (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	32.51	33.26	33.58	165
19	34.26	34.59	35.56	172
20	36.19	36.48	37.21	168
21	38.02	38.39	39.18	173
22	39.58	40.23	40.55	165
23	41.22	42.04	42.44	158
24	43.45	44.02	44.39	168
25	45.09	45.51	46.23	170
26	46.58	47.22	48.01	172
27	48.39	49.02	49.45	168
28	50.11	51.00	51.33	173
29	52.03	52.44	53.28	175
30	54.59	55.33	56.02	166
31	56.39	56.58	57.24	170
32	58.11	58.53	59.22	173
33	59.51	61.01	62.03	168

**การทดสอบเรื่อง** การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร  
ครั้งที่ 3 (ท่อดังน้ำ 2 ท่อ)

**วันที่** 29 มีนาคม 2553

**สถานที่** ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

**ผู้ทดสอบ** นายนิพัทธ์ ทองประไพ

นางสาวอลิษา น้อยนิล

นางสาวศิริกัญญา หลักฐาน

ตารางผนวกที่ 20 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 3  
(ท่อดังน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	00.00	00.55	01.36	155
2	01.59	02.34	03.05	160
3	03.45	04.12	04.55	170
4	05.21	05.52	06.21	165
5	06.57	07.35	08.02	175
6	08.35	08.52	09.45	160
7	10.21	10.55	11.22	170
8	11.56	12.21	12.51	158
9	13.25	13.57	14.20	162
10	14.59	15.33	16.01	159
11	16.40	17.03	17.41	160
12	18.15	18.50	19.21	172
13	19.55	20.22	20.52	160
14	21.25	21.53	22.36	163
15	23.02	23.40	24.16	170
16	24.48	25.15	25.53	168
17	26.27	26.59	27.33	175

ตารางผนวกที่ 20 (ต่อ) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 3 (ต่อส่งน้ำ 2 ท่อ)

รอบที่	เวลาเริ่ม (นาท)	เวลาหมกรอบ (นาท)	เวลาน้ำระบายเสร็จ (นาท)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
18	28.03	28.36	29.01	159
19	29.33	29.58	30.36	160
20	31.45	32.22	32.49	172
21	33.40	33.59	34.21	172
22	34.58	35.26	35.57	175
23	36.32	37.05	37.44	170
24	38.11	38.57	39.23	170
25	39.57	40.32	41.03	168
26	41.35	42.03	42.46	172
27	43.21	43.52	44.22	177
28	45.02	45.46	46.05	182
29	46.35	46.59	47.48	180
30	48.22	48.58	49.23	176
31	49.55	50.43	51.22	176
32	52.03	52.54	53.39	175
33	54.04	54.48	55.13	170
34	55.58	56.32	57.11	155
35	58.01	58.55	59.43	177

**ภาคผนวก ค**

**การตรวจสอบการหาค่า outlier**

**โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot)**



ในการตรวจสอบการหาค่า Outliner โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot) จะทำการนำค่า correlation coefficient ( $r_Q$ ) จากตารางผนวกที่ 21 มาเปรียบเทียบกับค่า  $r_Q$  ที่ได้จากการทดลอง โดยที่ค่า  $r_Q$  ที่ได้จากการทดลองต้องมีค่ามากกว่า  $r_Q$  ที่ได้จากการตารางผนวกที่ 21 ถ้าได้ค่า  $r_Q$  น้อยกว่าจะต้องทำการปรับแก้ค่าโดยการตัดข้อมูลที่มีการกระจายตัวที่มีแนวโน้มห่างจากข้อมูลถัดมา หรือทำการทดลองตัดข้อมูลแล้วสังเกตว่าการตัดข้อมูลใดทำให้ค่า  $r_Q$  มากขึ้น แสดงว่าข้อมูลนั้น มีความคลาดเคลื่อนมาก ควรตัดข้อมูลนั้นออกเพื่อการปรับแก้ค่า จากการวิเคราะห์ใช้ค่า Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05)

ตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient test for normality

Sample size N	Significance levels $\alpha$		
	0.01	0.05	0.10
5	0.8299	0.8788	0.9032
10	0.8801	0.9198	0.9351
15	0.9126	0.9389	0.9503
20	0.9269	0.9508	0.9604
25	0.9410	0.9591	0.9665
30	0.9794	0.9652	0.9715
35	0.9538	0.9682	0.9740
40	0.9599	0.9726	0.9771
45	0.9632	0.9749	0.9792
50	0.9671	0.9768	0.9809
55	0.9695	0.9787	0.9822
60	0.9720	0.9801	0.9836
75	0.9771	0.9838	0.9866
100	0.9822	0.9873	0.9895
150	0.9879	0.9913	0.9928
200	0.9905	0.9931	0.9942
300	0.9935	0.9953	0.9960

(ที่มา : Richard A. Johnson and Dean W. Wichern, 1982)

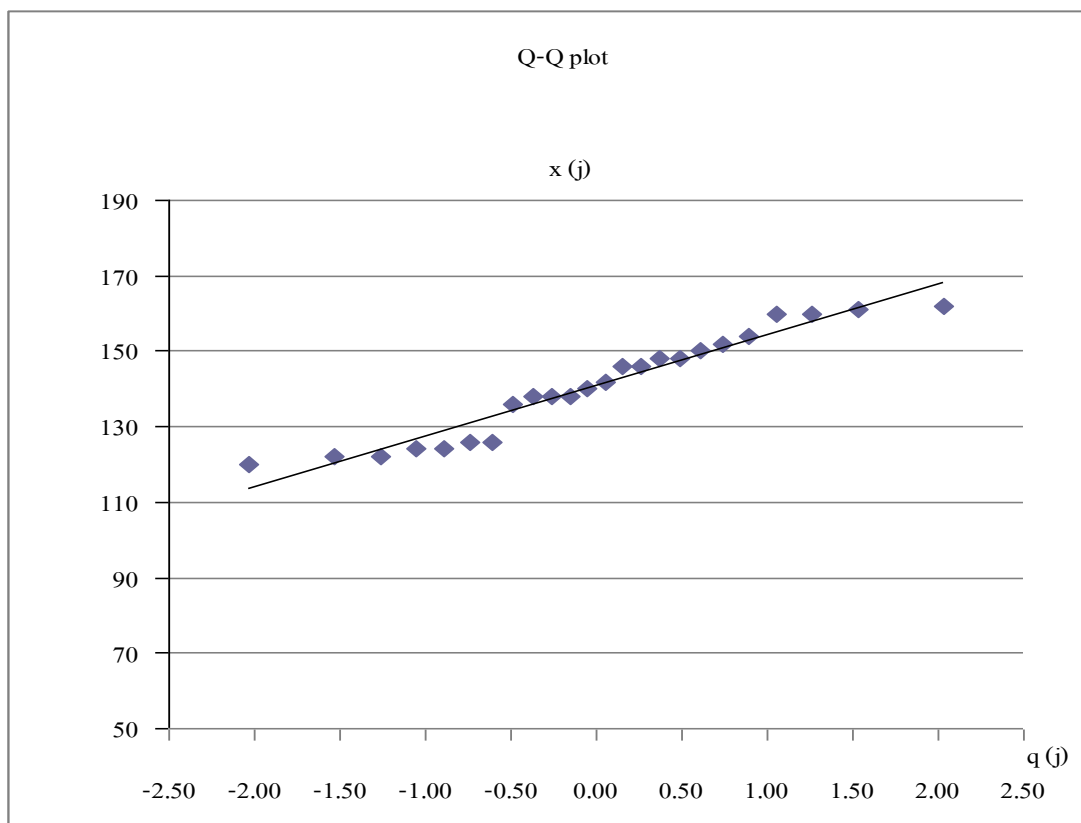
ตารางผนวกที่ 22 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 24$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9574)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	120	0.0208	-2.0368
2	122	0.0625	-1.5341
3	122	0.1042	-1.2582
4	124	0.1458	-1.0545
5	124	0.1875	-0.8871
6	126	0.2292	-0.7416
7	126	0.2708	-0.6103
8	136	0.3125	-0.4888
9	138	0.3542	-0.3741
10	138	0.3958	-0.2641
11	138	0.4375	-0.1573
12	140	0.4792	-0.0522
13	142	0.5208	0.0522
14	146	0.5625	0.1573
15	146	0.6042	0.2641
16	148	0.6458	0.3741
17	148	0.6875	0.4888
18	150	0.7292	0.6103
19	152	0.7708	0.7416
20	154	0.8125	0.8871
21	160	0.8542	1.0545
22	160	0.8958	1.2582
23	161	0.9375	1.5341
24	162	0.9792	2.0368

ตารางผนวกที่ 22 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 24$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9574)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
$r_Q = 0.9711 > 0.9574$ OK.			

จากตารางผนวกที่ 22 ได้ค่า  $r_Q = 0.9711$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 4 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 1-1

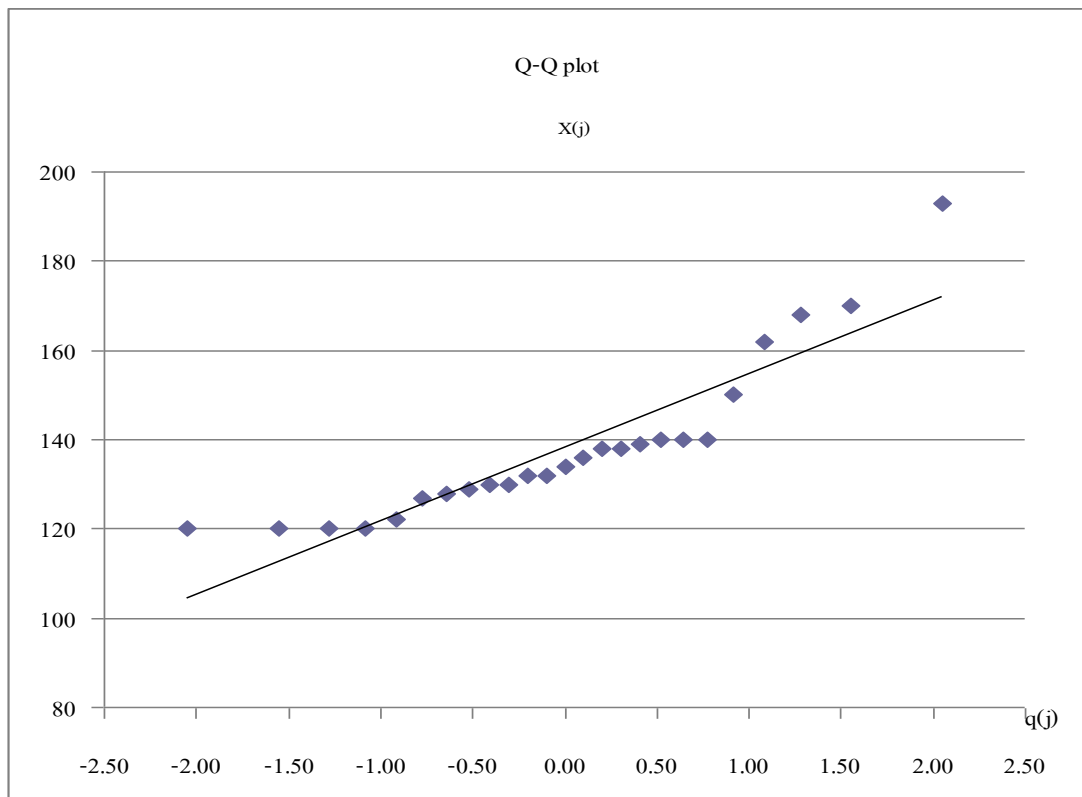
ตารางผนวกที่ 23 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 25$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9591)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	120	0.0200	-2.0537
2	120	0.0600	-1.5548
3	120	0.1000	-1.2816
4	120	0.1400	-1.0803
5	122	0.1800	-0.9154
6	127	0.2200	-0.7722
7	128	0.2600	-0.6433
8	129	0.3000	-0.5244
9	130	0.3400	-0.4125
10	130	0.3800	-0.3055
11	132	0.4200	-0.2019
12	132	0.4600	-0.1004
13	134	0.5000	0.0000
14	136	0.5400	0.1004
15	138	0.5800	0.2019
16	138	0.6200	0.3055
17	139	0.6600	0.4125
18	140	0.7000	0.5244
19	140	0.7400	0.6433
20	140	0.7800	0.7722
21	150	0.8200	0.9154
22	162	0.8600	1.0803
23	168	0.9000	1.2816
24	170	0.9400	1.5548

ตารางผนวกที่ 23 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 25$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9591)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
25	193	0.9800	2.0537
$r_Q = 0.9120 < 0.9591$ NO.K			

จากตารางผนวกที่ 23 ได้ค่า  $r_Q = 0.9120$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่ปกติ ดังนั้นต้องทำการปรับแก้ค่า

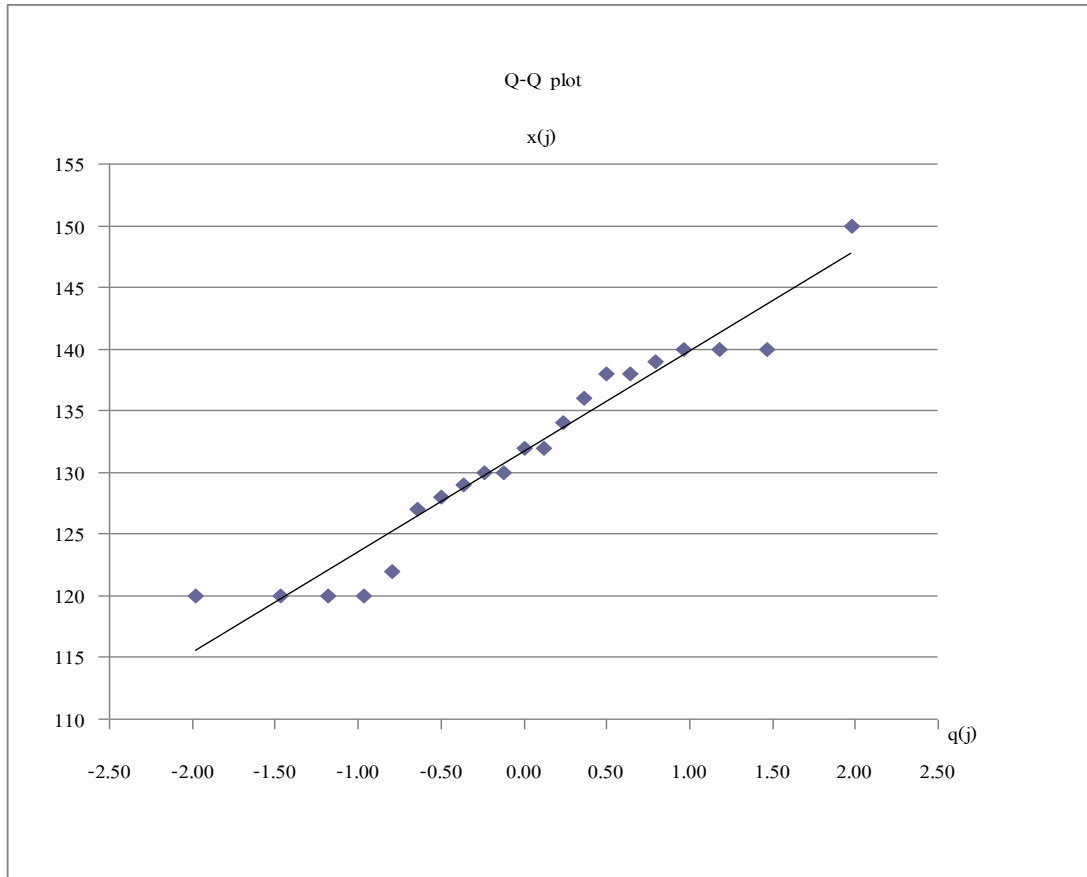


ภาพผนวกที่ 5 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 2-1

ตารางผนวกที่ 24 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 25$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9591)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
1	120	0.0238	-1.9808
2	120	0.0714	-1.4652
3	120	0.1190	-1.1798
4	120	0.1667	-0.9674
5	122	0.2143	-0.7916
6	127	0.2619	-0.6375
7	128	0.3095	-0.4972
8	129	0.3571	-0.3661
9	130	0.4048	-0.2410
10	130	0.4524	-0.1196
11	132	0.5000	0.0000
12	132	0.5476	0.1196
13	134	0.5952	0.2410
14	136	0.6429	0.3661
15	138	0.6905	0.4972
16	138	0.7381	0.6375
17	139	0.7857	0.7916
18	140	0.8333	0.9674
19	140	0.8810	1.1798
20	140	0.9286	1.4652
21	150	0.9762	1.9808
$r_Q = 0.9710 > 0.9591$ OK.			

จากตารางผนวกที่ 24 เมื่อมีการปรับแก้ค่าจากตารางผนวกที่ 23 จะได้ค่า  $r_Q = 0.9710$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้ปรับแก้เป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 6 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 2-2

ตารางผนวกที่ 25 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 25$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9591)

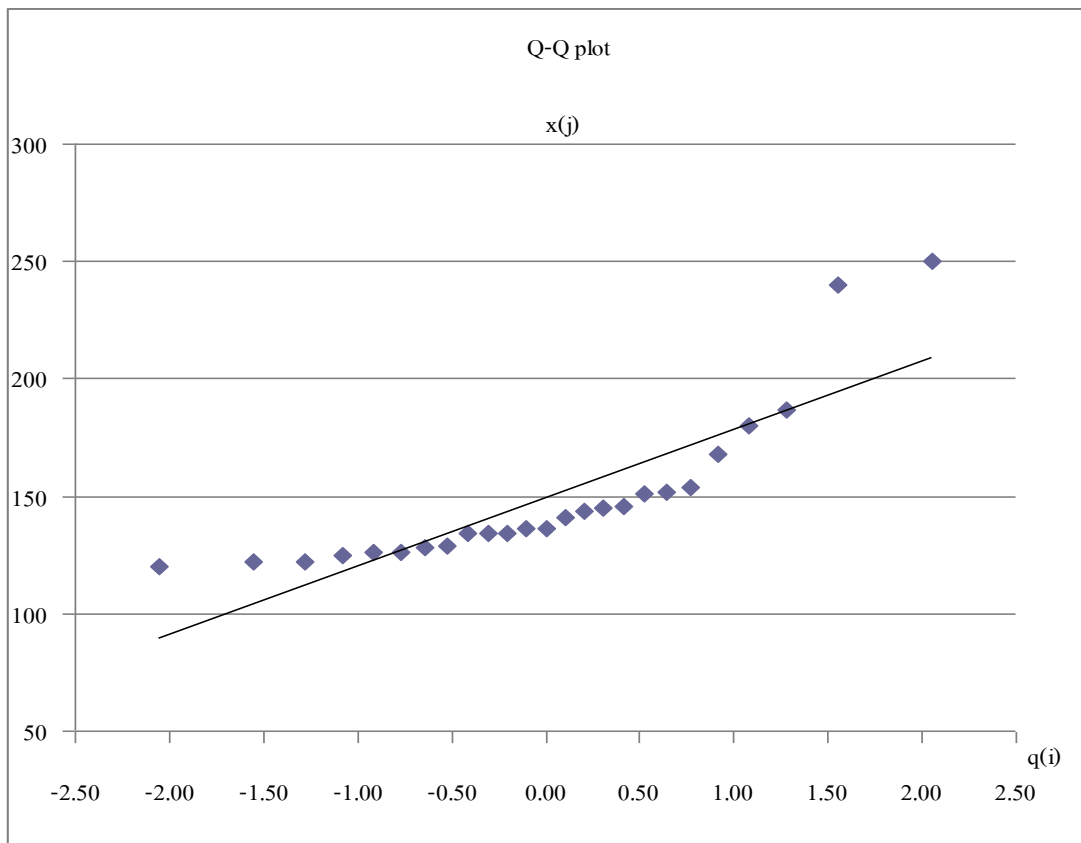
j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	120	0.0200	-2.0537
2	122	0.0600	-1.5548
3	122	0.1000	-1.2816
4	125	0.1400	-1.0803
5	126	0.1800	-0.9154
6	126	0.2200	-0.7722
7	128	0.2600	-0.6433
8	129	0.3000	-0.5244
9	134	0.3400	-0.4125
10	134	0.3800	-0.3055
11	134	0.4200	-0.2019
12	136	0.4600	-0.1004
13	136	0.5000	0.0000
14	141	0.5400	0.1004
15	144	0.5800	0.2019
16	145	0.6200	0.3055
17	146	0.6600	0.4125
18	151	0.7000	0.5244
19	152	0.7400	0.6433
20	154	0.7800	0.7722
21	168	0.8200	0.9154
22	180	0.8600	1.0803
23	187	0.9000	1.2816
24	240	0.9400	1.5548



ตารางผนวกที่ 25 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 25$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9591)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
25	250	0.9800	2.0537
$r_Q = 0.8598 < 0.9591$ NO.K			

จากตารางผนวกที่ 25 ได้ค่า  $r_Q = 0.8598$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่ปกติ ดังนั้นต้องทำการปรับแก้ค่า

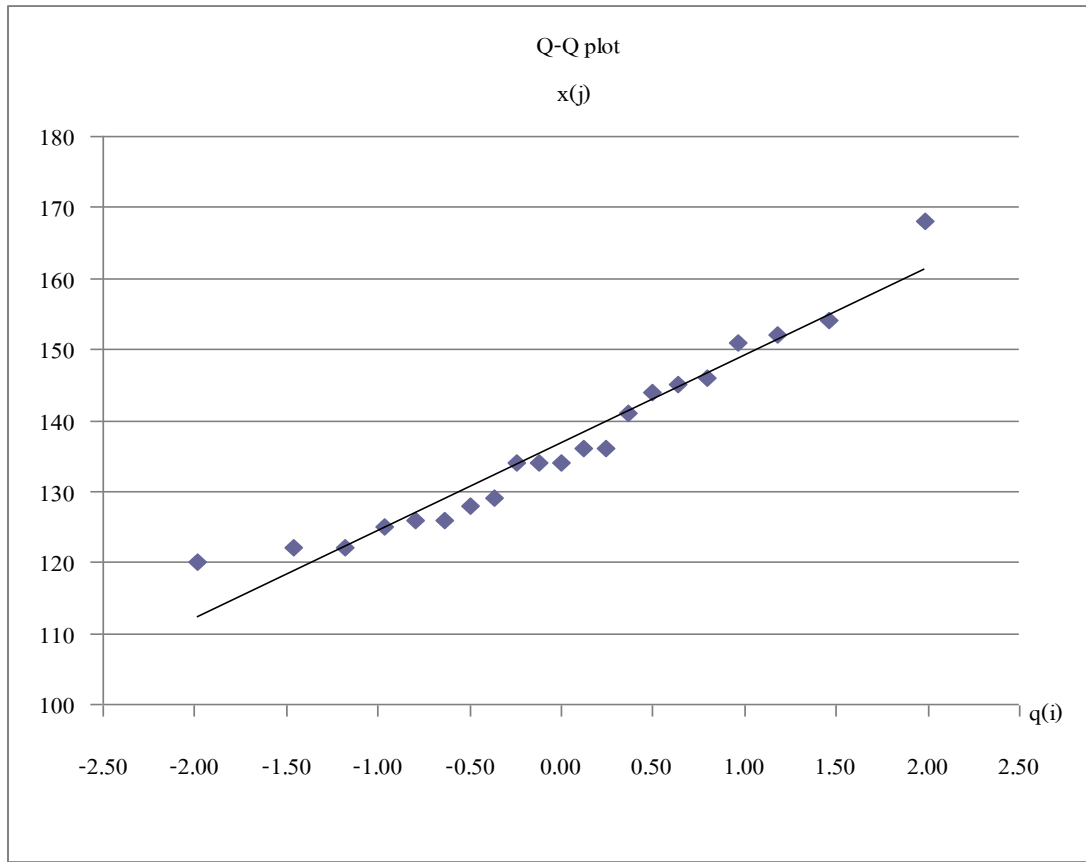


ภาพผนวกที่ 7 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 3-1

ตารางผนวกที่ 26 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 25$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9591)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
1	120	0.0238	-1.9808
2	122	0.0714	-1.4652
3	122	0.1190	-1.1798
4	125	0.1667	-0.9674
5	126	0.2143	-0.7916
6	126	0.2619	-0.6375
7	128	0.3095	-0.4972
8	129	0.3571	-0.3661
9	134	0.4048	-0.2410
10	134	0.4524	-0.1196
11	134	0.5000	0.0000
12	136	0.5476	0.1196
13	136	0.5952	0.2410
14	141	0.6429	0.3661
15	144	0.6905	0.4972
16	145	0.7381	0.6375
17	146	0.7857	0.7916
18	151	0.8333	0.9674
19	152	0.8810	1.1798
20	154	0.9286	1.4652
21	168	0.9762	1.9808
$r_Q = 0.9714 > 0.9591$ OK.			

จากตารางผนวกที่ 26 เมื่อมีการปรับแก้ค่าจากตารางผนวกที่ 25 จะได้ค่า  $r_Q = 0.9714$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้ปรับแก้เป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 8 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 3-2

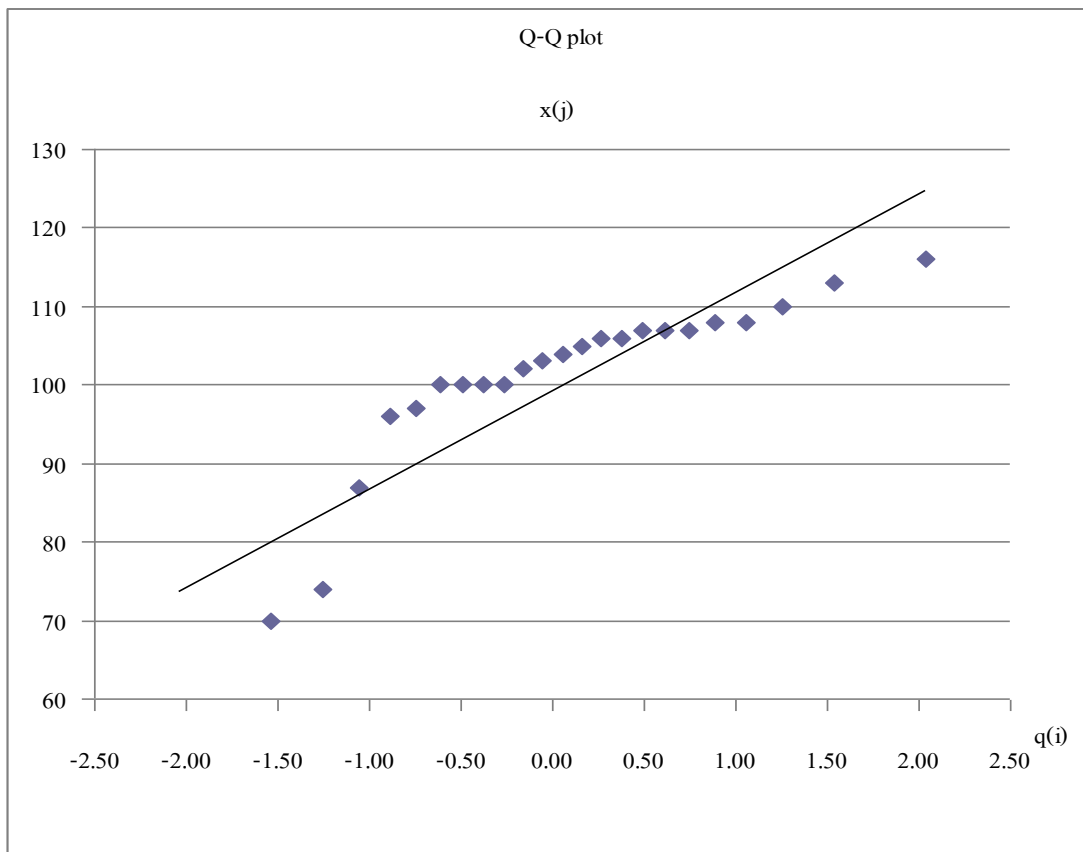
ตารางผนวกที่ 27 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 24$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9574)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	56	0.0208	-2.0368
2	70	0.0625	-1.5341
3	74	0.1042	-1.2582
4	87	0.1458	-1.0545
5	96	0.1875	-0.8871
6	97	0.2292	-0.7416
7	100	0.2708	-0.6103
8	100	0.3125	-0.4888
9	100	0.3542	-0.3741
10	100	0.3958	-0.2641
11	102	0.4375	-0.1573
12	103	0.4792	-0.0522
13	104	0.5208	0.0522
14	105	0.5625	0.1573
15	106	0.6042	0.2641
16	106	0.6458	0.3741
17	107	0.6875	0.4888
18	107	0.7292	0.6103
19	107	0.7708	0.7416
20	108	0.8125	0.8871
21	108	0.8542	1.0545
22	110	0.8958	1.2582
23	113	0.9375	1.5341
24	116	0.9792	2.0368

ตารางผนวกที่ 27 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 24$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9574)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
$r_Q = 0.8812 < 0.9574$ NO.K			

จากตารางผนวกที่ 27 ได้ค่า  $r_Q = 0.8812$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่ปกติ ดังนั้นต้องทำการปรับแก้ค่า

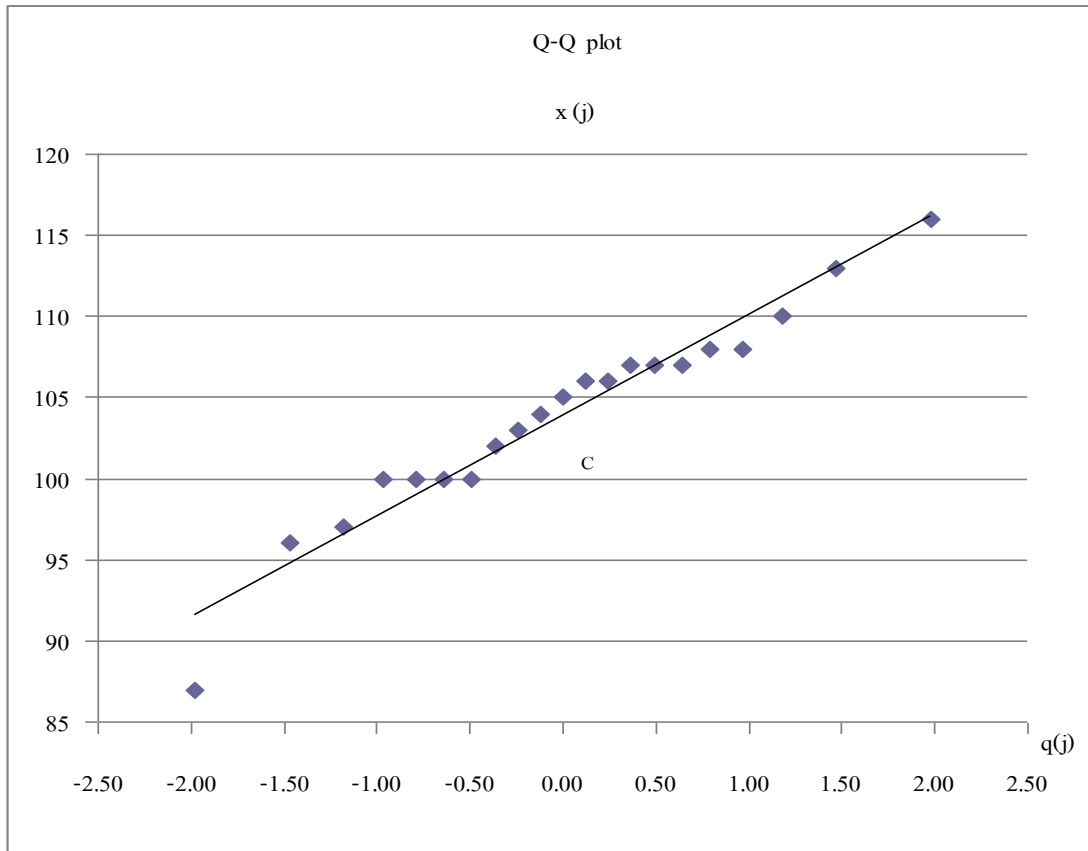


ภาพผนวกที่ 9 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 1-1

ตารางผนวกที่ 28 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 24$  (จากตารางภาคผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9574)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	87	0.0238	-1.9808
2	96	0.0714	-1.4652
3	97	0.1190	-1.1798
4	100	0.1667	-0.9674
5	100	0.2143	-0.7916
6	100	0.2619	-0.6375
7	100	0.3095	-0.4972
8	102	0.3571	-0.3661
9	103	0.4048	-0.2410
10	104	0.4524	-0.1196
11	105	0.5000	0.0000
12	106	0.5476	0.1196
13	106	0.5952	0.2410
14	107	0.6429	0.3661
15	107	0.6905	0.4972
16	107	0.7381	0.6375
17	108	0.7857	0.7916
18	108	0.8333	0.9674
19	110	0.8810	1.1798
20	113	0.9286	1.4652
21	116	0.9762	1.9808
$r_Q = 0.96203 > 0.9574$ OK.			

จากตารางผนวกที่ 28 เมื่อมีการปรับแก้ค่าจากตารางผนวกที่ 27 จะได้ค่า  $r_Q = 0.96203$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้ปรับแก้เป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 10 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 1-2

ตารางผนวกที่ 29 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 29$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9640)

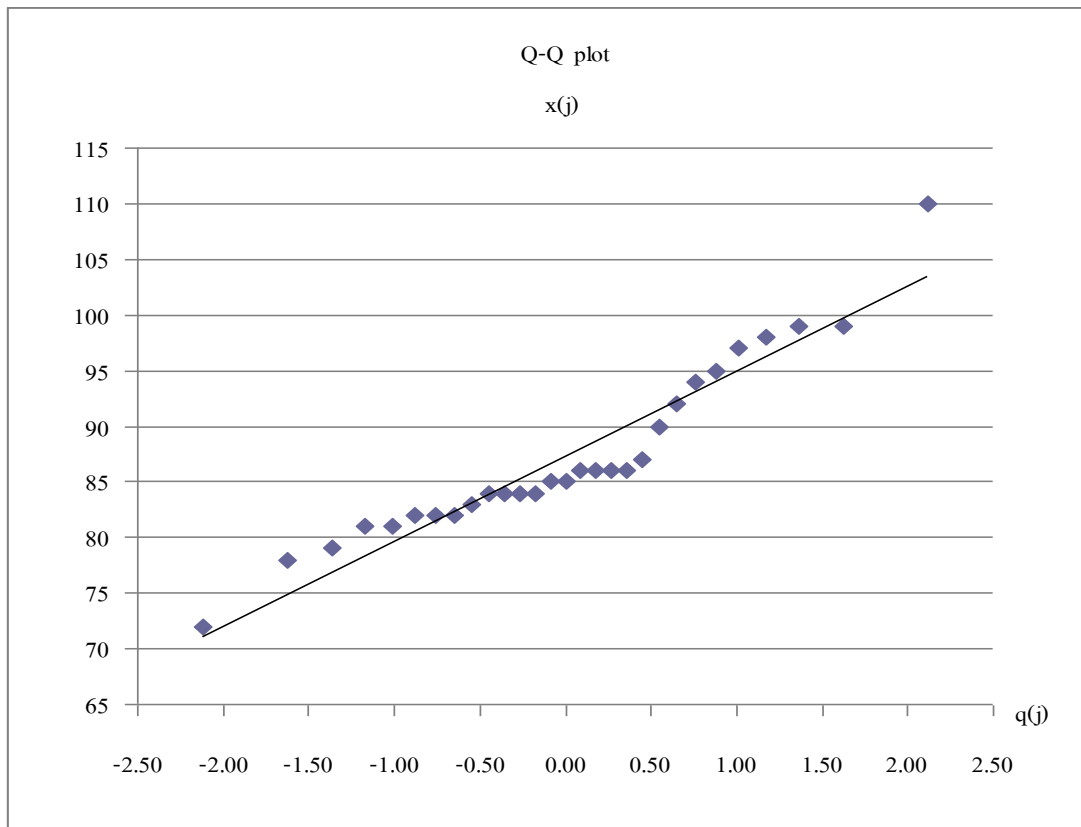
j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
1	72	0.0172	-2.1144
2	78	0.0517	-1.6284
3	79	0.0862	-1.3645
4	81	0.1207	-1.1715
5	81	0.1552	-1.0145
6	82	0.1897	-0.8792
7	82	0.2241	-0.7583
8	82	0.2586	-0.6476
9	83	0.2931	-0.5443
10	84	0.3276	-0.4466
11	84	0.3621	-0.3529
12	84	0.3966	-0.2623
13	84	0.4310	-0.1737
14	85	0.4655	-0.0865
15	85	0.5000	0.0000
16	86	0.5345	0.0865
17	86	0.5690	0.1737
18	86	0.6034	0.2623
19	86	0.6379	0.3529
20	87	0.6724	0.4466
21	90	0.7069	0.5443
22	92	0.7414	0.6476
23	94	0.7759	0.7583
24	95	0.8103	0.8792



ตารางผนวกที่ 29 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 29$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9640)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
25	97	0.8448	1.0145
26	98	0.8793	1.1715
27	99	0.9138	1.3645
28	99	0.9483	1.6284
29	110	0.9828	2.1144
$r_Q = 0.9572 < 0.9640$ NO.K			

จากตารางผนวกที่ 29 ได้ค่า  $r_Q = 0.9572$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่ปกติ ดังนั้นต้องทำการปรับแก้ค่า



ภาพผนวกที่ 11 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 2-1

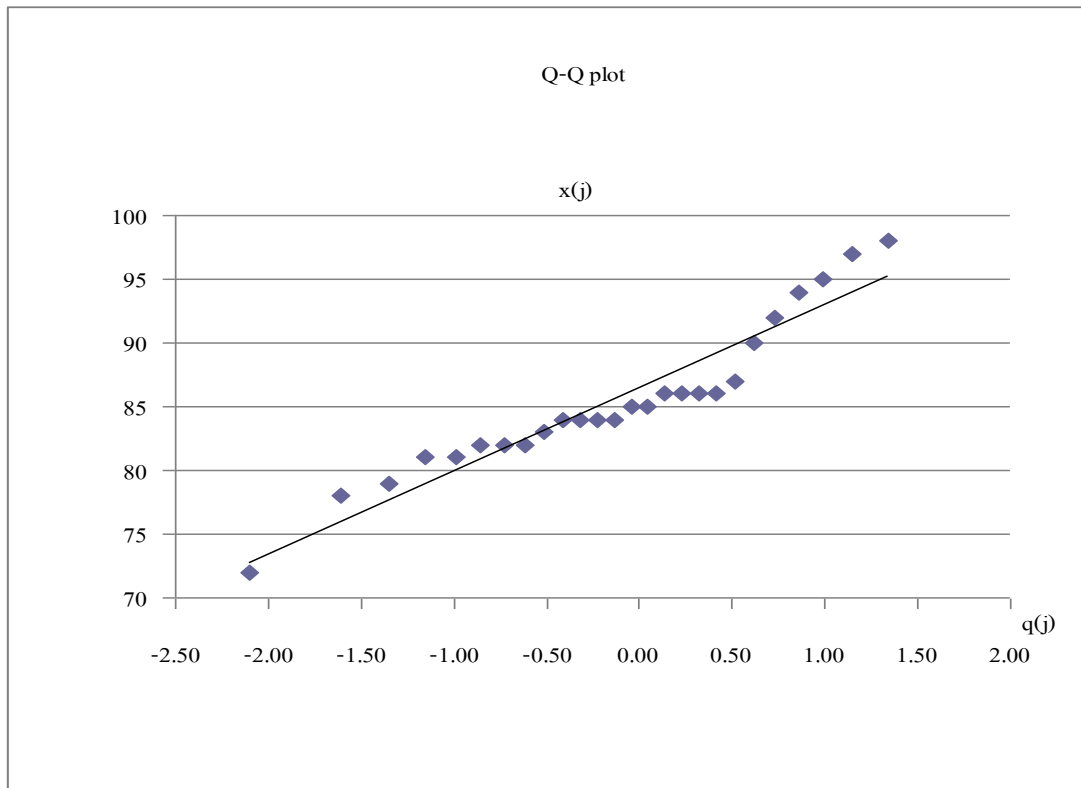
ตารางผนวกที่ 30 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 29$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9640)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	72	0.0179	-2.1002
2	78	0.0536	-1.6112
3	79	0.0893	-1.3452
4	81	0.1250	-1.1503
5	81	0.1607	-0.9915
6	82	0.1964	-0.8544
7	82	0.2321	-0.7318
8	82	0.2679	-0.6193
9	83	0.3036	-0.5142
10	84	0.3393	-0.4144
11	84	0.3750	-0.3186
12	84	0.4107	-0.2257
13	84	0.4464	-0.1347
14	85	0.4821	-0.0448
15	85	0.5179	0.0448
16	86	0.5536	0.1347
17	86	0.5893	0.2257
18	86	0.6250	0.3186
19	86	0.6607	0.4144
20	87	0.6964	0.5142
21	90	0.7321	0.6193
22	92	0.7679	0.7318
23	94	0.8036	0.8544
24	95	0.8393	0.9915

ตารางผนวกที่ 30 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 29$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9640)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
25	97	0.8750	1.1503
26	98	0.9107	1.3452
27	99	0.9464	1.6112
28	99	0.9821	2.1002
$r_Q = 0.9658 > 0.9640$ OK			

จากตารางผนวกที่ 30 เมื่อมีการปรับแก้ค่าจากตารางผนวกที่ 29 จะได้ค่า  $r_Q = 0.9658$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้ปรับแก้เป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 12 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 2-2

ตารางผนวกที่ 31 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 29$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9640)

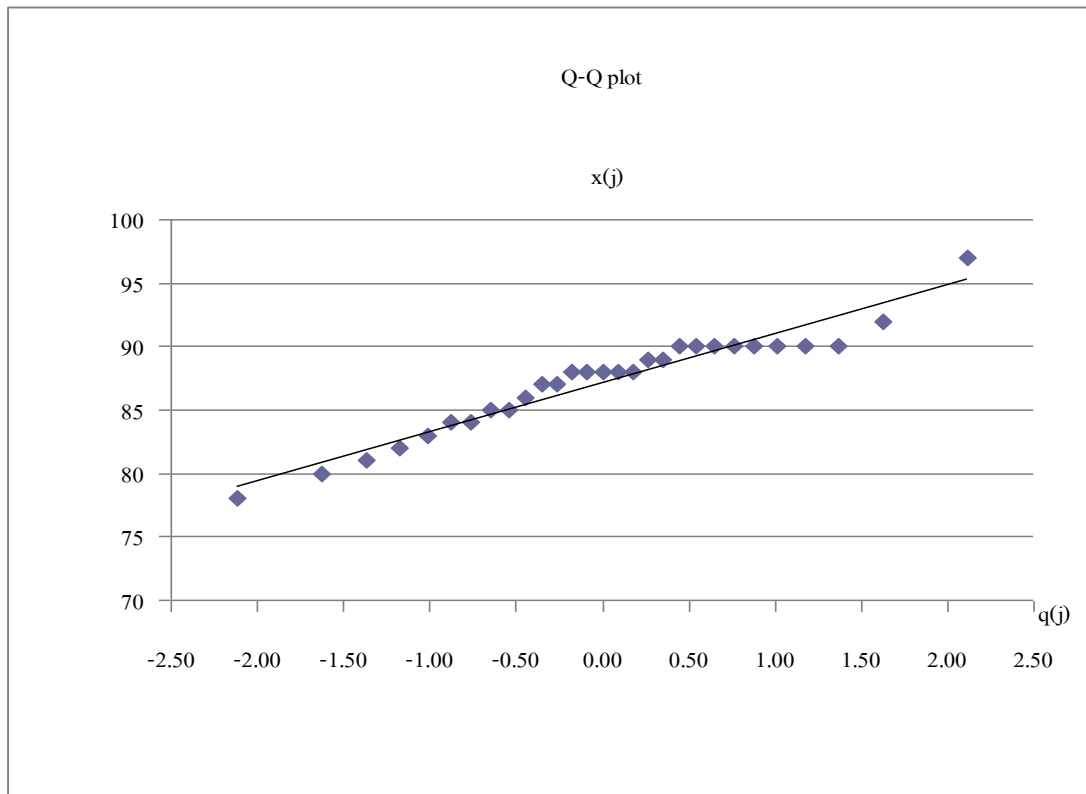
j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	78	0.0172	-2.1144
2	80	0.0517	-1.6284
3	81	0.0862	-1.3645
4	82	0.1207	-1.1715
5	83	0.1552	-1.0145
6	84	0.1897	-0.8792
7	84	0.2241	-0.7583
8	85	0.2586	-0.6476
9	85	0.2931	-0.5443
10	86	0.3276	-0.4466
11	87	0.3621	-0.3529
12	87	0.3966	-0.2623
13	88	0.4310	-0.1737
14	88	0.4655	-0.0865
15	88	0.5000	0.0000
16	88	0.5345	0.0865
17	88	0.5690	0.1737
18	89	0.6034	0.2623
19	89	0.6379	0.3529
20	90	0.6724	0.4466
21	90	0.7069	0.5443
22	90	0.7414	0.6476
23	90	0.7759	0.7583
24	90	0.8103	0.8792

ตารางผนวกที่ 31 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 29$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9640)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
25	90	0.8448	1.0145
26	90	0.8793	1.1715
27	90	0.9138	1.3645
28	92	0.9483	1.6284
29	97	0.9828	2.1144

$r_Q = 0.9676 > 0.9640$  OK.

จากตารางผนวกที่ 31 ได้ค่า  $r_Q = 0.9676$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ

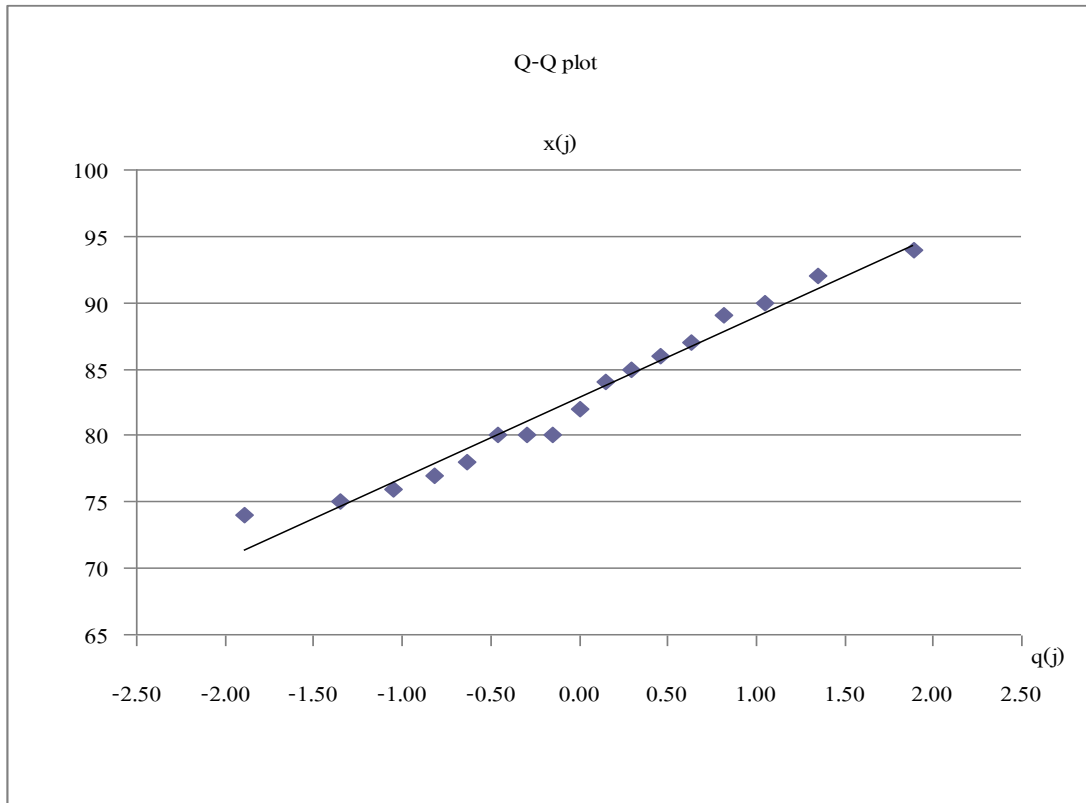


ภาพผนวกที่ 13 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 3-1

ตารางผนวกที่ 32 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้ง  
 ที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 17$  (จากตารางผนวกที่  
 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9437)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	74	0.0294	-1.8895
2	75	0.0882	-1.3517
3	76	0.1471	-1.0491
4	77	0.2059	-0.8208
5	78	0.2647	-0.6289
6	80	0.3235	-0.4579
7	80	0.3824	-0.2993
8	80	0.4412	-0.1480
9	82	0.5000	0.0000
10	84	0.5588	0.1480
11	85	0.6176	0.2993
12	86	0.6765	0.4579
13	87	0.7353	0.6289
14	89	0.7941	0.8208
15	90	0.8529	1.0491
16	92	0.9118	1.3517
17	94	0.9706	1.8895
$r_Q = 0.9849 > 0.9437$ OK			

จากตารางผนวกที่ 32 ได้ค่า  $r_Q = 0.9849$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21  
 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ



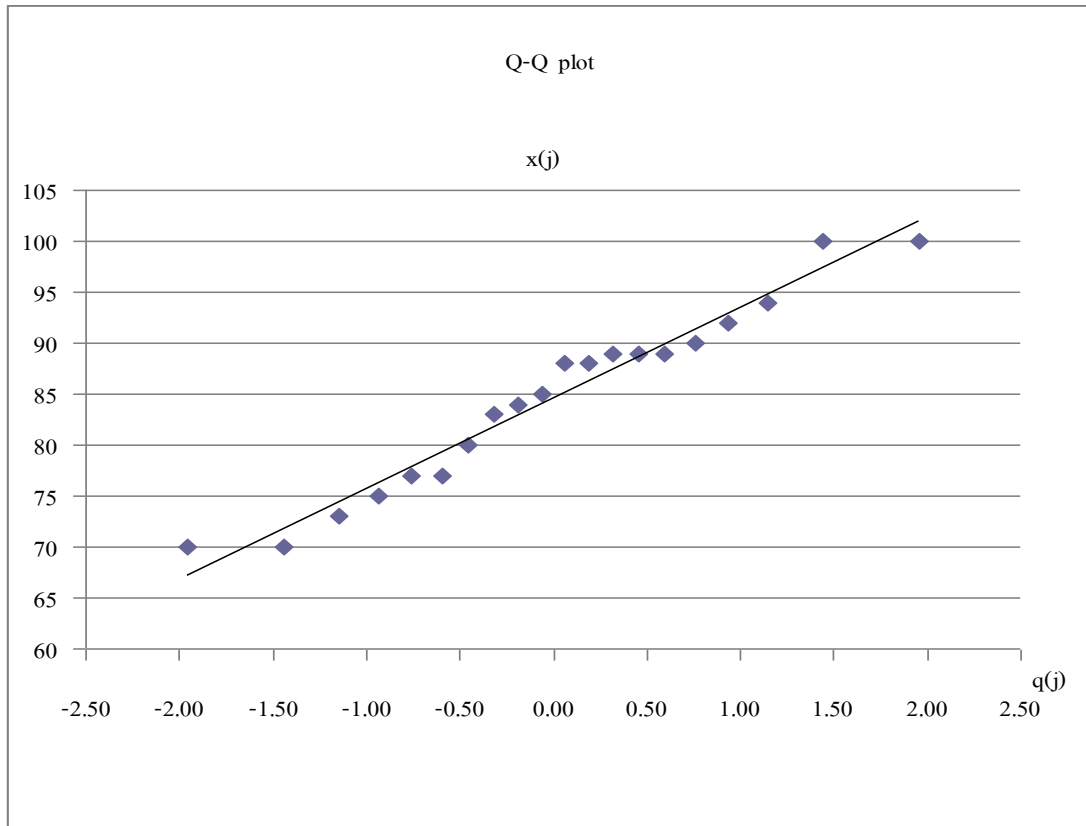
ภาพผนวกที่ 14 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 3 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 1-1

ตารางผนวกที่ 33 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 20$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9508)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	70	0.0250	-1.9600
2	70	0.0750	-1.4395
3	73	0.1250	-1.1503
4	75	0.1750	-0.9346
5	77	0.2250	-0.7554
6	77	0.2750	-0.5978
7	80	0.3250	-0.4538
8	83	0.3750	-0.3186
9	84	0.4250	-0.1891
10	85	0.4750	-0.0627
11	88	0.5250	0.0627
12	88	0.5750	0.1891
13	89	0.6250	0.3186
14	89	0.6750	0.4538
15	89	0.7250	0.5978
16	90	0.7750	0.7554
17	92	0.8250	0.9346
18	94	0.8750	1.1503
19	100	0.9250	1.4395
20	100	0.9750	1.9600
$r_Q = 0.9824 > 0.9508$ OK.			

จากตารางผนวกที่ 33 ได้ค่า  $r_Q = 0.9824$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ



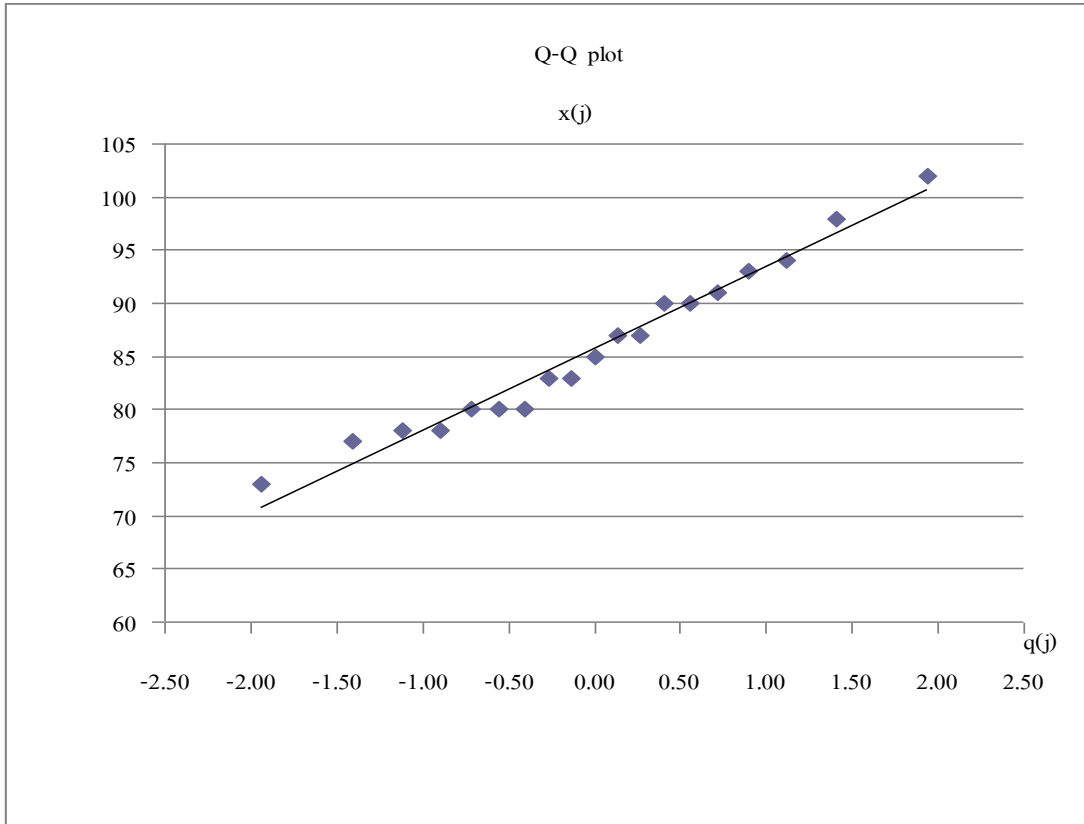


ภาพผนวกที่ 15 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 3 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 2-1

ตารางผนวกที่ 34 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้ง  
 ที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 19$  (จากตารางผนวกที่  
 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9484)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	73	0.0263	-1.9379
2	77	0.0789	-1.4122
3	78	0.1316	-1.1190
4	78	0.1842	-0.8994
5	80	0.2368	-0.7165
6	80	0.2895	-0.5549
7	80	0.3421	-0.4067
8	83	0.3947	-0.2670
9	83	0.4474	-0.1323
10	85	0.5000	0.0000
11	87	0.5526	0.1323
12	87	0.6053	0.2670
13	90	0.6579	0.4067
14	90	0.7105	0.5549
15	91	0.7632	0.7165
16	93	0.8158	0.8994
17	94	0.8684	1.1190
18	98	0.9211	1.4122
19	102	0.9737	1.9379
$r_Q = 0.9861 > 0.9484$ OK			

จากตารางผนวกที่ 22 ได้ค่า  $r_Q = 0.9861$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21  
 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 16 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 3 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 3-1

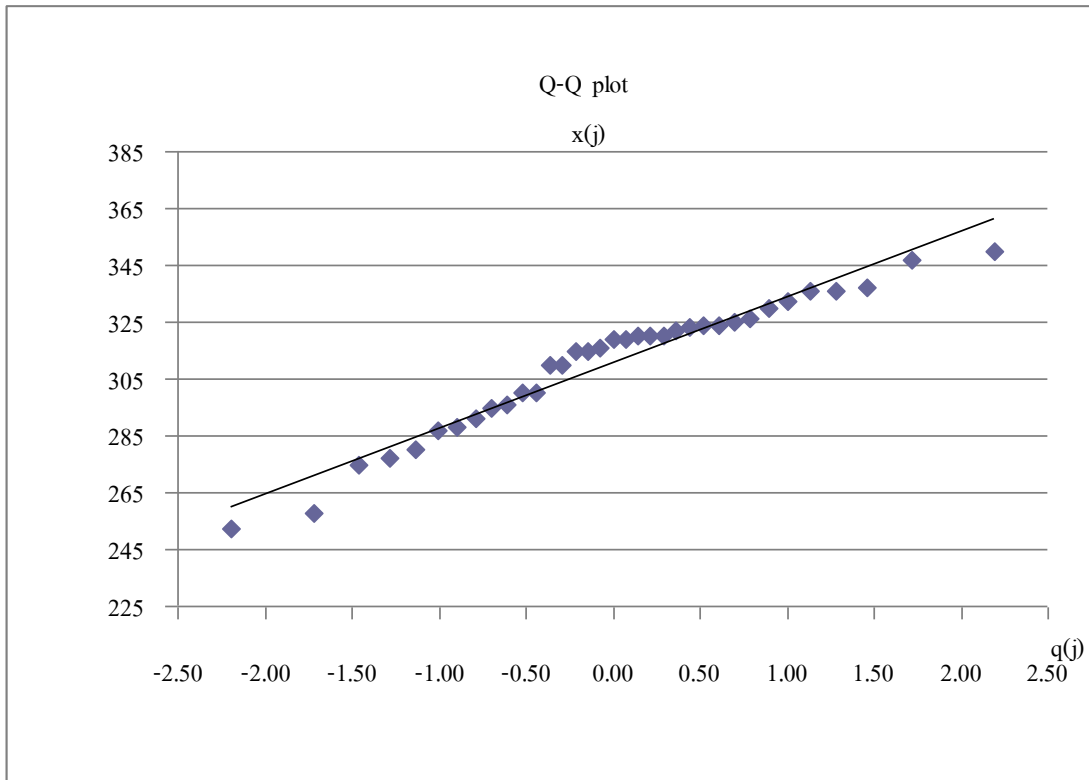
ตารางผนวกที่ 35 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	252	0.0143	-2.1893
2	258	0.0429	-1.7185
3	275	0.0714	-1.4652
4	277	0.1000	-1.2816
5	280	0.1286	-1.1332
6	287	0.1571	-1.0063
7	288	0.1857	-0.8938
8	291	0.2143	-0.7916
9	295	0.2429	-0.6971
10	296	0.2714	-0.6085
11	300	0.3000	-0.5244
12	300	0.3286	-0.4439
13	310	0.3571	-0.3661
14	310	0.3857	-0.2905
15	315	0.4143	-0.2165
16	315	0.4429	-0.1437
17	316	0.4714	-0.0717
18	319	0.5000	0.0000
19	319	0.5286	0.0717
20	320	0.5571	0.1437
21	320	0.5857	0.2165
22	320	0.6143	0.2905
23	322	0.6429	0.3661
24	323	0.6714	0.4439

ตารางผนวกที่ 35 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
25	324	0.7000	0.5244
26	324	0.7286	0.6085
27	325	0.7571	0.6971
28	326	0.7857	0.7916
29	330	0.8143	0.8938
30	332	0.8429	1.0063
31	336	0.8714	1.1332
32	336	0.9000	1.2816
33	337	0.9286	1.4652
34	347	0.9571	1.7185
35	350	0.9857	2.1893
$r_Q = 0.9734 > 0.9682$ OK			

จากตารางผนวกที่ 35 ได้ค่า  $r_Q = 0.9734$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 17 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 1-1

ตารางผนวกที่ 36 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

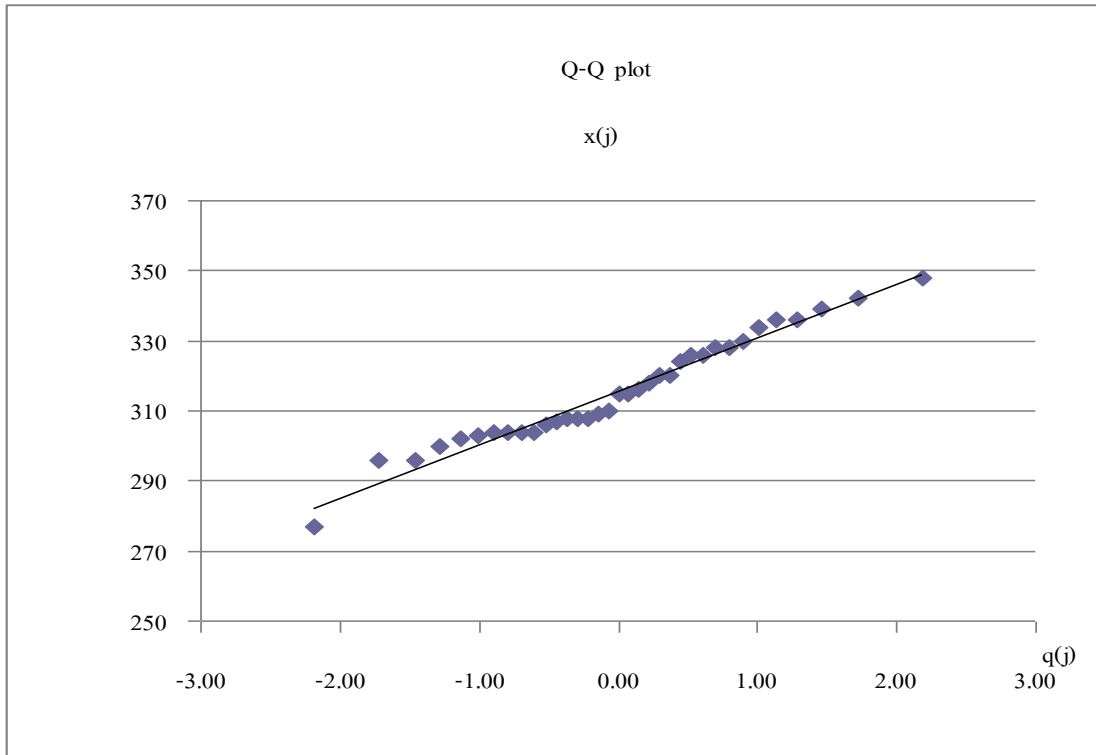
j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
1	277	0.0143	-2.1893
2	296	0.0429	-1.7185
3	296	0.0714	-1.4652
4	300	0.1000	-1.2816
5	302	0.1286	-1.1332
6	303	0.1571	-1.0063
7	304	0.1857	-0.8938
8	304	0.2143	-0.7916
9	304	0.2429	-0.6971
10	304	0.2714	-0.6085
11	306	0.3000	-0.5244
12	307	0.3286	-0.4439
13	308	0.3571	-0.3661
14	308	0.3857	-0.2905
15	308	0.4143	-0.2165
16	309	0.4429	-0.1437
17	310	0.4714	-0.0717
18	315	0.5000	0.0000
19	315	0.5286	0.0717
20	316	0.5571	0.1437
21	318	0.5857	0.2165
22	320	0.6143	0.2905
23	320	0.6429	0.3661
24	324	0.6714	0.4439

ตารางผนวกที่ 36 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
25	326	0.7000	0.5244
26	326	0.7286	0.6085
27	328	0.7571	0.6971
28	328	0.7857	0.7916
29	330	0.8143	0.8938
30	334	0.8429	1.0063
31	336	0.8714	1.1332
32	336	0.9000	1.2816
33	339	0.9286	1.4652
34	342	0.9571	1.7185
35	348	0.9857	2.1893
$r_Q = 0.9846 > 0.9682$ OK			

จากตารางผนวกที่ 36 ได้ค่า  $r_Q = 0.9846$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ





ภาพผนวกที่ 18 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 2-1

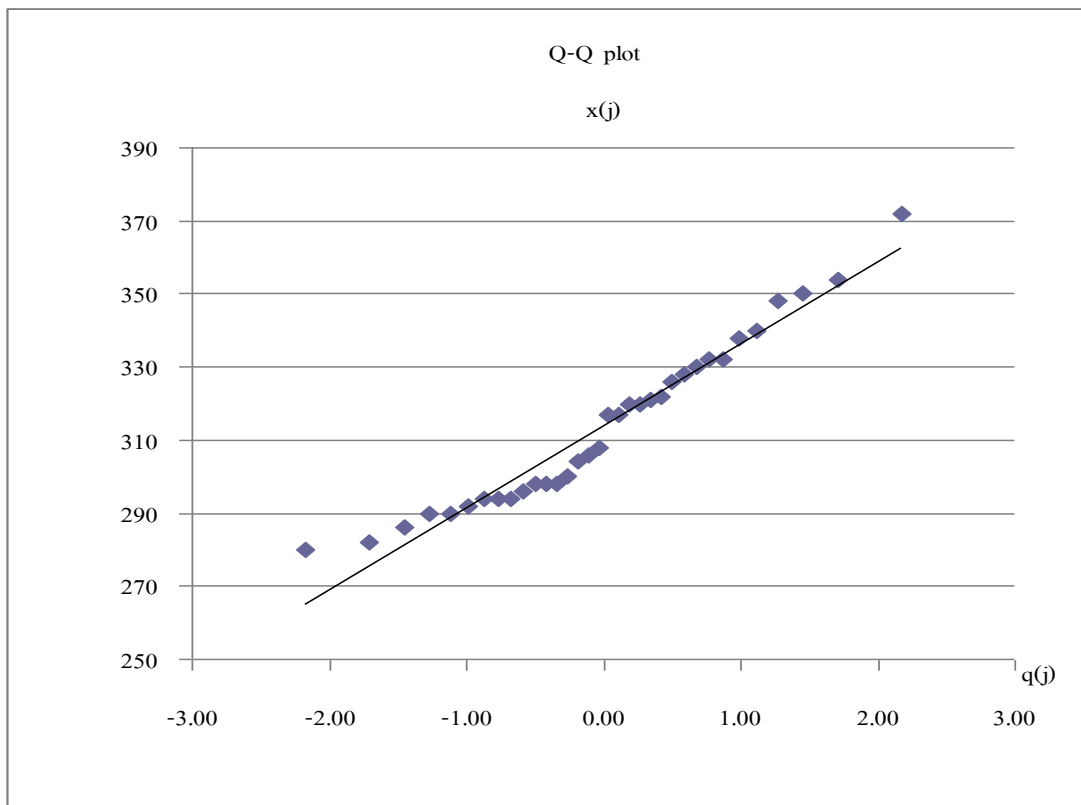
ตารางผนวกที่ 37 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 34$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.966)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
1	280	0.0147	-2.1779
2	282	0.0441	-1.7048
3	286	0.0735	-1.4500
4	290	0.1029	-1.2650
5	290	0.1324	-1.1153
6	292	0.1618	-0.9872
7	294	0.1912	-0.8736
8	294	0.2206	-0.7702
9	294	0.2500	-0.6745
10	296	0.2794	-0.5846
11	298	0.3088	-0.4992
12	298	0.3382	-0.4173
13	298	0.3676	-0.3381
14	300	0.3971	-0.2610
15	304	0.4265	-0.1854
16	306	0.4559	-0.1108
17	308	0.4853	-0.0369
18	317	0.5147	0.0369
19	317	0.5441	0.1108
20	320	0.5735	0.1854
21	320	0.6029	0.2610
22	321	0.6324	0.3381
23	322	0.6618	0.4173
24	326	0.6912	0.4992

ตารางผนวกที่ 37 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 1 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 34$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.966)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
25	328	0.7206	0.5846
26	330	0.7500	0.6745
27	332	0.7794	0.7702
28	332	0.8088	0.8736
29	338	0.8382	0.9872
30	340	0.8676	1.1153
31	348	0.8971	1.2650
32	350	0.9265	1.4500
33	354	0.9559	1.7048
34	372	0.9853	2.1779
$r_Q = 0.9767 > 0.966$ OK			

จากตารางผนวกที่ 37 ได้ค่า  $r_Q = 0.9767$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 19 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 3-1

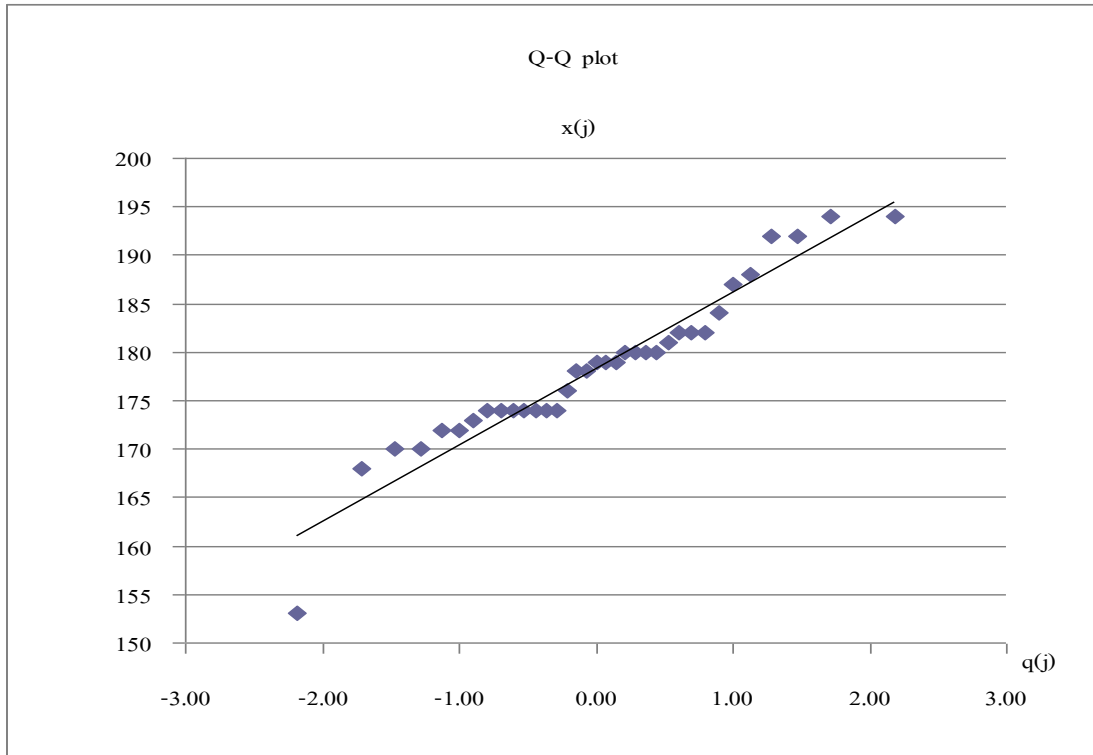
ตารางผนวกที่ 38 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	153	0.0143	-2.1893
2	168	0.0429	-1.7185
3	170	0.0714	-1.4652
4	170	0.1000	-1.2816
5	172	0.1286	-1.1332
6	172	0.1571	-1.0063
7	173	0.1857	-0.8938
8	174	0.2143	-0.7916
9	174	0.2429	-0.6971
10	174	0.2714	-0.6085
11	174	0.3000	-0.5244
12	174	0.3286	-0.4439
13	174	0.3571	-0.3661
14	174	0.3857	-0.2905
15	176	0.4143	-0.2165
16	178	0.4429	-0.1437
17	178	0.4714	-0.0717
18	179	0.5000	0.0000
19	179	0.5286	0.0717
20	179	0.5571	0.1437
21	180	0.5857	0.2165
22	180	0.6143	0.2905
23	180	0.6429	0.3661
24	180	0.6714	0.4439

ตารางผนวกที่ 38 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
25	181	0.7000	0.5244
26	182	0.7286	0.6085
27	182	0.7571	0.6971
28	182	0.7857	0.7916
29	184	0.8143	0.8938
30	187	0.8429	1.0063
31	188	0.8714	1.1332
32	192	0.9000	1.2816
33	192	0.9286	1.4652
34	194	0.9571	1.7185
35	194	0.9857	2.1893
$r_Q = 0.9637 < 0.9682$ NO.K			

จากตารางผนวกที่ 38 ได้ค่า  $r_Q = 0.9637$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่ปกติ ดังนั้นต้องทำการปรับแก้ค่า



ภาพผนวกที่ 20 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 1-1

ตารางผนวกที่ 39 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

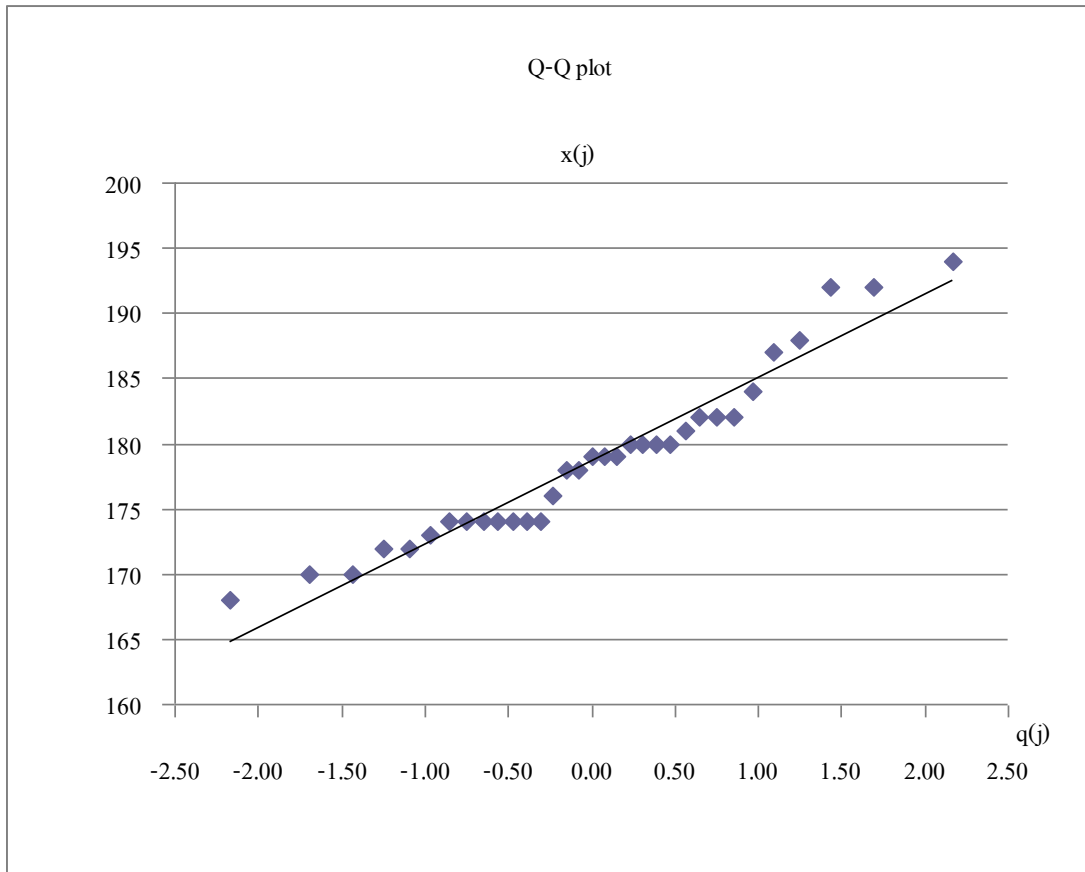
j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	168	0.0152	-2.1661
2	170	0.0455	-1.6906
3	170	0.0758	-1.4342
4	172	0.1061	-1.2478
5	172	0.1364	-1.0968
6	173	0.1667	-0.9674
7	174	0.1970	-0.8525
8	174	0.2273	-0.7479
9	174	0.2576	-0.6508
10	174	0.2879	-0.5596
11	174	0.3182	-0.4728
12	174	0.3485	-0.3894
13	174	0.3788	-0.3087
14	176	0.4091	-0.2299
15	178	0.4394	-0.1525
16	178	0.4697	-0.0760
17	179	0.5000	0.0000
18	179	0.5303	0.0760
19	179	0.5606	0.1525
20	180	0.5909	0.2299
21	180	0.6212	0.3087
22	180	0.6515	0.3894
23	180	0.6818	0.4728
24	181	0.7121	0.5596



ตารางผนวกที่ 39 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 1-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
25	182	0.7424	0.6508
26	182	0.7727	0.7479
27	182	0.8030	0.8525
28	184	0.8333	0.9674
29	187	0.8636	1.0968
30	188	0.8939	1.2478
31	192	0.9242	1.4342
32	192	0.9545	1.6906
33	194	0.9848	2.1661
$r_Q = 0.9705 > 0.9682$ OK			

จากตารางผนวกที่ 39 เมื่อมีการปรับแก้ค่าจากตารางผนวกที่ 38 จะได้ค่า  $r_Q = 0.9705$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้ปรับแก้เป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 21 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 1-2

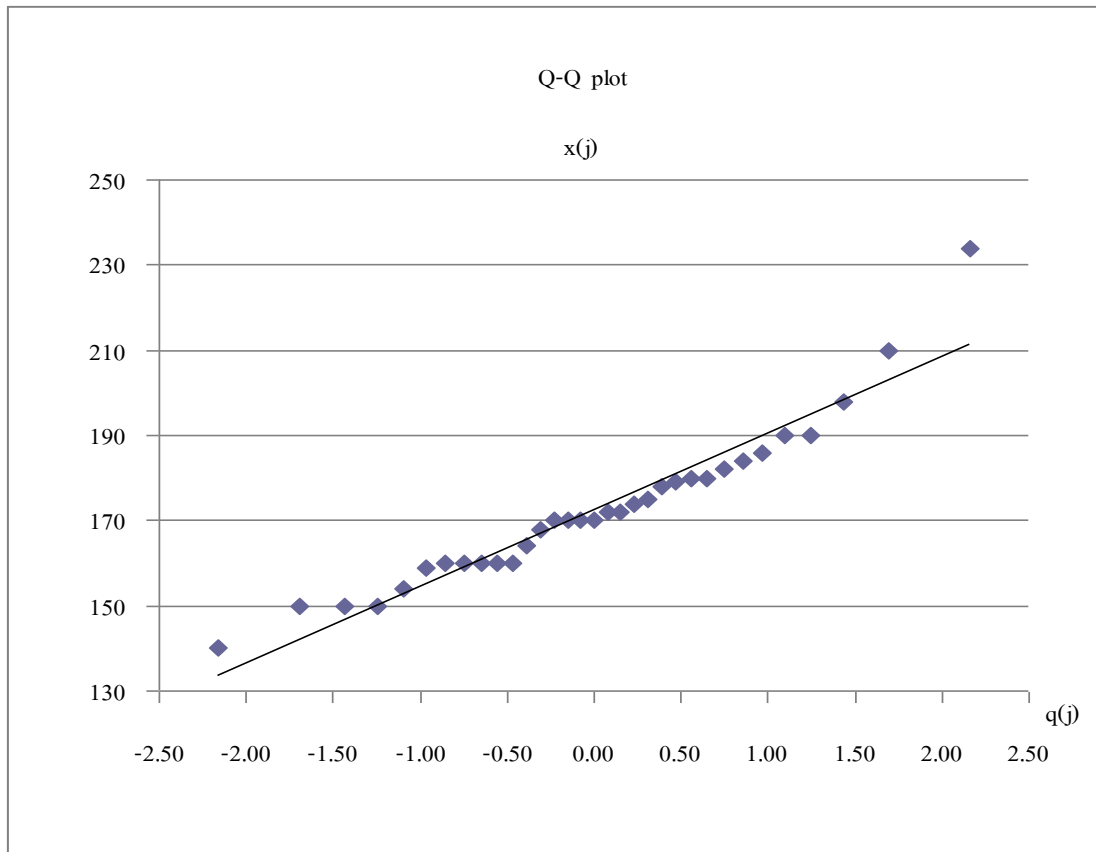
ตารางผนวกที่ 40 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 33$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.967)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	140	0.0152	-2.1661
2	150	0.0455	-1.6906
3	150	0.0758	-1.4342
4	150	0.1061	-1.2478
5	154	0.1364	-1.0968
6	159	0.1667	-0.9674
7	160	0.1970	-0.8525
8	160	0.2273	-0.7479
9	160	0.2576	-0.6508
10	160	0.2879	-0.5596
11	160	0.3182	-0.4728
12	164	0.3485	-0.3894
13	168	0.3788	-0.3087
14	170	0.4091	-0.2299
15	170	0.4394	-0.1525
16	170	0.4697	-0.0760
17	170	0.5000	0.0000
18	172	0.5303	0.0760
19	172	0.5606	0.1525
20	174	0.5909	0.2299
21	175	0.6212	0.3087
22	178	0.6515	0.3894
23	179	0.6818	0.4728
24	180	0.7121	0.5596

ตารางผนวกที่ 40 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 33$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.967)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
25	180	0.7424	0.6508
26	182	0.7727	0.7479
27	184	0.8030	0.8525
28	186	0.8333	0.9674
29	190	0.8636	1.0968
30	190	0.8939	1.2478
31	198	0.9242	1.4342
32	210	0.9545	1.6906
33	234	0.9848	2.1661
$r_Q = 0.9598 < 0.967$ NO.K			

จากตารางผนวกที่ 40 ได้ค่า  $r_Q = 0.9598$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่ปกติ ดังนั้นต้องทำการปรับแก้ค่า



ภาพผนวกที่ 22 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 2-1

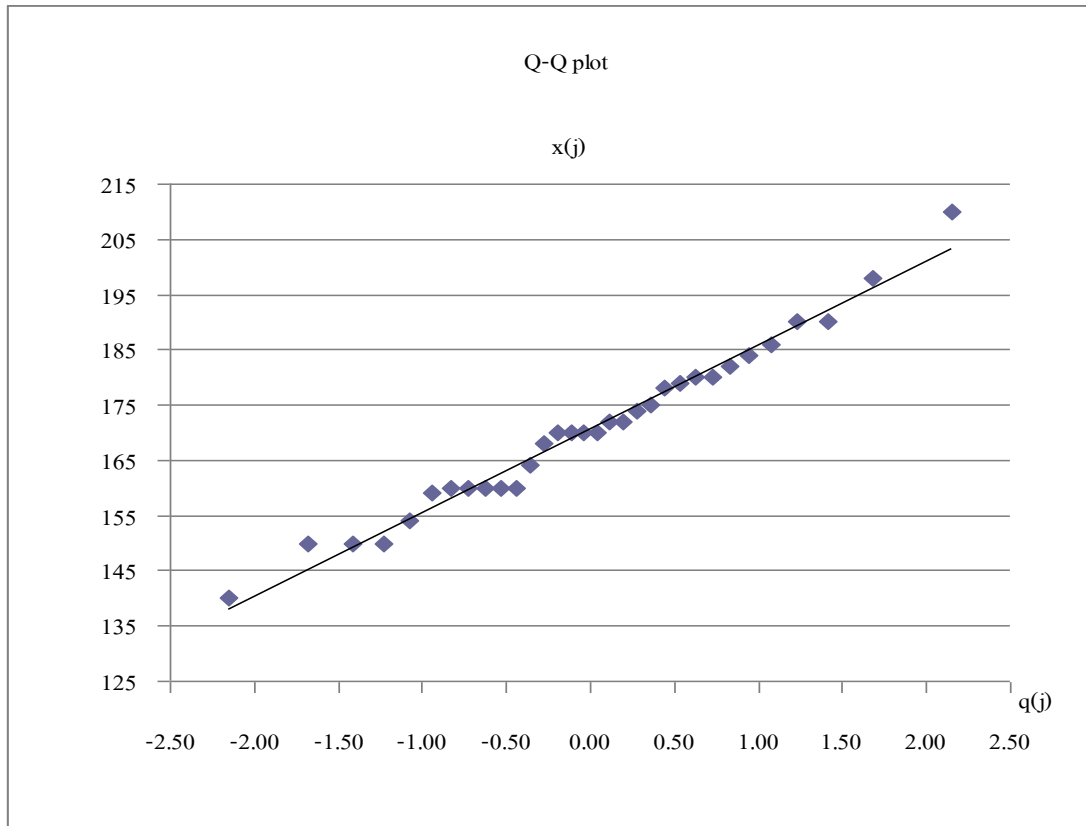
ตารางผนวกที่ 41 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 33$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.967)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	140	0.0156	-2.1539
2	150	0.0469	-1.6759
3	150	0.0781	-1.4178
4	150	0.1094	-1.2299
5	154	0.1406	-1.0775
6	159	0.1719	-0.9468
7	160	0.2031	-0.8305
8	160	0.2344	-0.7245
9	160	0.2656	-0.6261
10	160	0.2969	-0.5334
11	160	0.3281	-0.4451
12	164	0.3594	-0.3601
13	168	0.3906	-0.2777
14	170	0.4219	-0.1971
15	170	0.4531	-0.1178
16	170	0.4844	-0.0392
17	170	0.5156	0.0392
18	172	0.5469	0.1178
19	172	0.5781	0.1971
20	174	0.6094	0.2777
21	175	0.6406	0.3601
22	178	0.6719	0.4451
23	179	0.7031	0.5334
24	180	0.7344	0.6261

ตารางผนวกที่ 41 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 2-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 33$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.967)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
25	180	0.7656	0.7245
26	182	0.7969	0.8305
27	184	0.8281	0.9468
28	186	0.8594	1.0775
29	190	0.8906	1.2299
30	190	0.9219	1.4178
31	198	0.9531	1.6759
32	210	0.9844	2.1539
$r_Q = 0.9900 > 0.967$ OK			

จากตารางผนวกที่ 41 เมื่อมีการปรับแก้ค่าจากตารางผนวกที่ 40 จะได้ค่า  $r_Q = 0.9900$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้ปรับแก้เป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 23 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 2-2



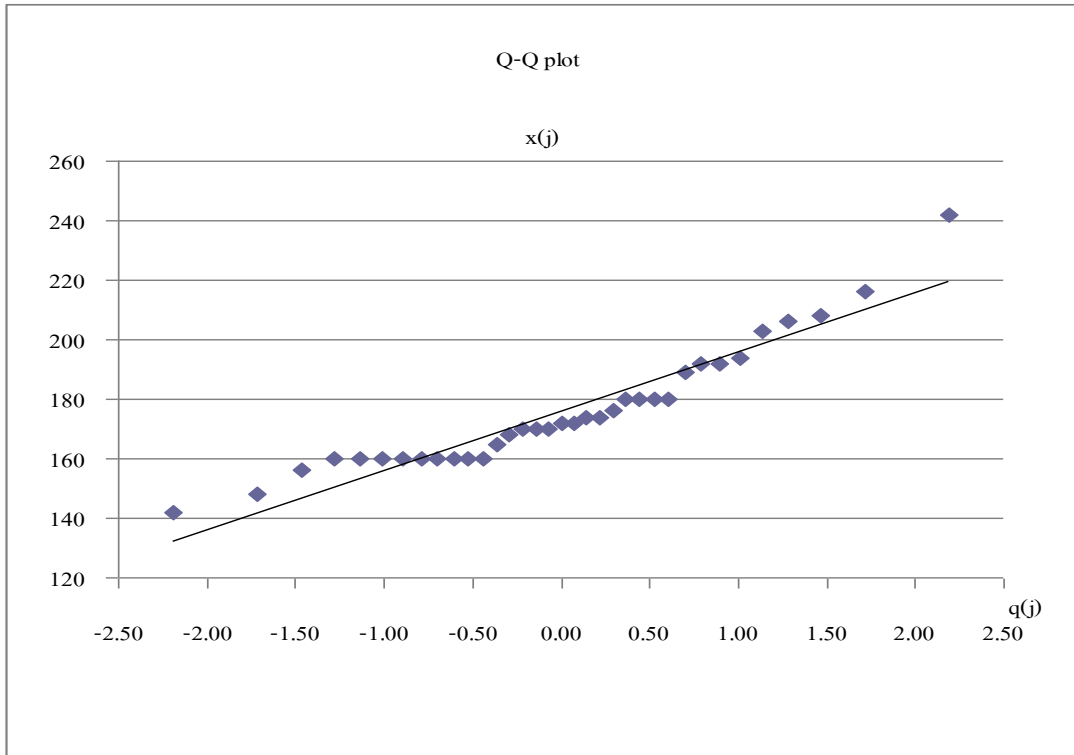
ตารางผนวกที่ 42 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	142	0.0143	-2.1893
2	148	0.0429	-1.7185
3	156	0.0714	-1.4652
4	160	0.1000	-1.2816
5	160	0.1286	-1.1332
6	160	0.1571	-1.0063
7	160	0.1857	-0.8938
8	160	0.2143	-0.7916
9	160	0.2429	-0.6971
10	160	0.2714	-0.6085
11	160	0.3000	-0.5244
12	160	0.3286	-0.4439
13	165	0.3571	-0.3661
14	168	0.3857	-0.2905
15	170	0.4143	-0.2165
16	170	0.4429	-0.1437
17	170	0.4714	-0.0717
18	172	0.5000	0.0000
19	172	0.5286	0.0717
20	174	0.5571	0.1437
21	174	0.5857	0.2165
22	176	0.6143	0.2905
23	180	0.6429	0.3661
24	180	0.6714	0.4439

ตารางผนวกที่ 42 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
25	180	0.7000	0.5244
26	180	0.7286	0.6085
27	189	0.7571	0.6971
28	192	0.7857	0.7916
29	192	0.8143	0.8938
30	194	0.8429	1.0063
31	203	0.8714	1.1332
32	206	0.9000	1.2816
33	208	0.9286	1.4652
34	216	0.9571	1.7185
35	242	0.9857	2.1893
$r_Q = 0.9511 < 0.9682$ NO.K			

จากตารางผนวกที่ 42 ได้ค่า  $r_Q = 0.9511$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่ปกติ ดังนั้นต้องทำการปรับแก้ค่า



ภาพผนวกที่ 24 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 3-1

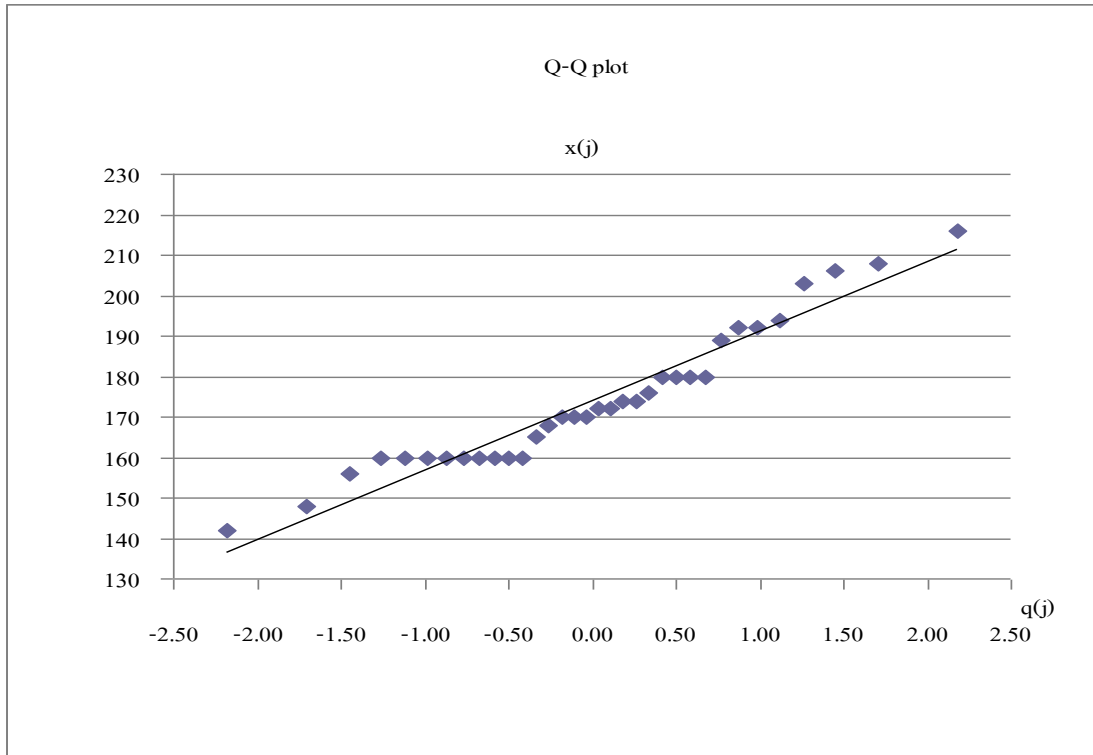
ตารางผนวกที่ 43 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	142	0.0147	-2.1779
2	148	0.0441	-1.7048
3	156	0.0735	-1.4500
4	160	0.1029	-1.2650
5	160	0.1324	-1.1153
6	160	0.1618	-0.9872
7	160	0.1912	-0.8736
8	160	0.2206	-0.7702
9	160	0.2500	-0.6745
10	160	0.2794	-0.5846
11	160	0.3088	-0.4992
12	160	0.3382	-0.4173
13	165	0.3676	-0.3381
14	168	0.3971	-0.2610
15	170	0.4265	-0.1854
16	170	0.4559	-0.1108
17	170	0.4853	-0.0369
18	172	0.5147	0.0369
19	172	0.5441	0.1108
20	174	0.5735	0.1854
21	174	0.6029	0.2610
22	176	0.6324	0.3381
23	180	0.6618	0.4173
24	180	0.6912	0.4992

ตารางผนวกที่ 43 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 2 เมตร ครั้งที่ 3-2 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
25	180	0.7206	0.5846
26	180	0.7500	0.6745
27	189	0.7794	0.7702
28	192	0.8088	0.8736
29	192	0.8382	0.9872
30	194	0.8676	1.1153
31	203	0.8971	1.2650
32	206	0.9265	1.4500
33	208	0.9559	1.7048
34	216	0.9853	2.1779
$r_Q = 0.9704 > 0.9682$ OK			

จากตารางผนวกที่ 43 เมื่อมีการปรับแก้ค่าจากตารางผนวกที่ 42 จะได้ค่า  $r_Q = 0.9704$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้ปรับแก้เป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 25 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 2 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 3-2

ตารางผนวกที่ 44 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 31$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9658)

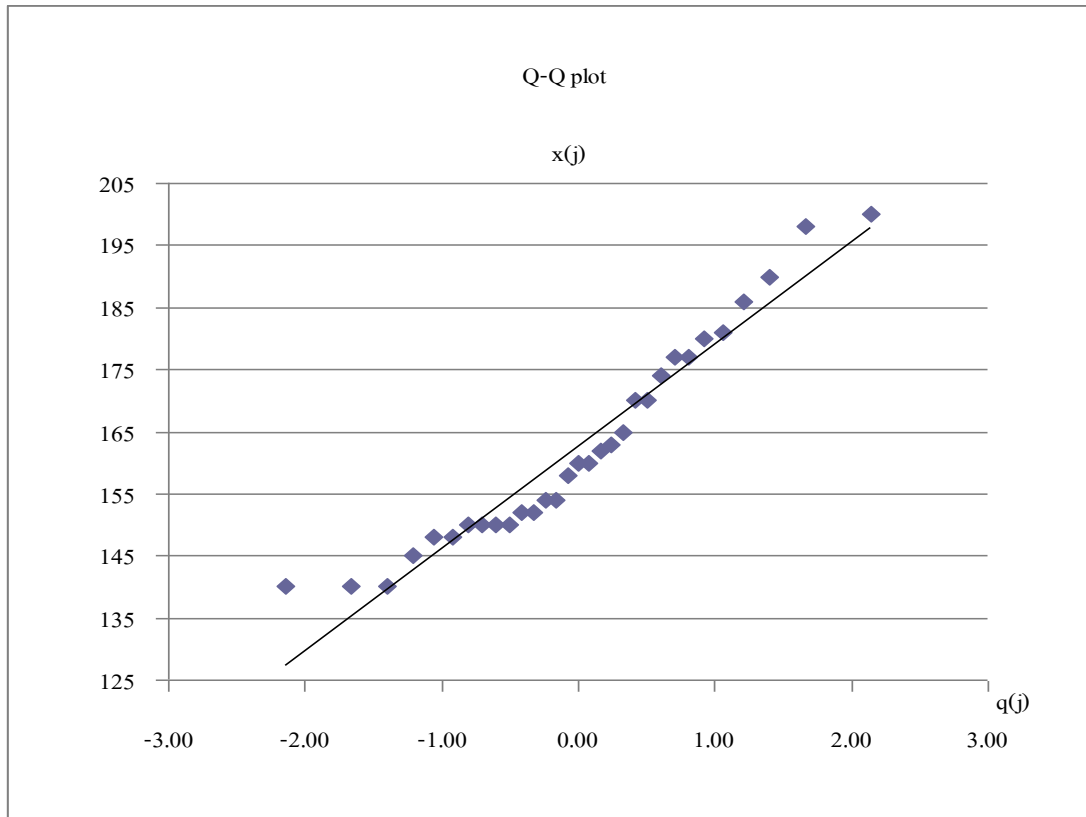
j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	140	0.0161	-2.1412
2	140	0.0484	-1.6607
3	140	0.0806	-1.4007
4	145	0.1129	-1.2112
5	148	0.1452	-1.0574
6	148	0.1774	-0.9252
7	150	0.2097	-0.8075
8	150	0.2419	-0.7001
9	150	0.2742	-0.6002
10	150	0.3065	-0.5059
11	152	0.3387	-0.4160
12	152	0.3710	-0.3293
13	154	0.4032	-0.2450
14	154	0.4355	-0.1624
15	158	0.4677	-0.0809
16	160	0.5000	0.0000
17	160	0.5323	0.0809
18	162	0.5645	0.1624
19	163	0.5968	0.2450
20	165	0.6290	0.3293
21	170	0.6613	0.4160
22	170	0.6935	0.5059
23	174	0.7258	0.6002
24	177	0.7581	0.7001

ตารางผนวกที่ 44 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 1-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 31$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9658)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
25	177	0.7903	0.8075
26	180	0.8226	0.9252
27	181	0.8548	1.0574
28	186	0.8871	1.2112
29	190	0.9194	1.4007
30	198	0.9516	1.6607
31	200	0.9839	2.1412
$r_Q = 0.9700 > 0.9658$ OK			

จากตารางผนวกที่ 44 ได้ค่า  $r_Q = 0.9700$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ





ภาพผนวกที่ 26 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 3 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 1-1

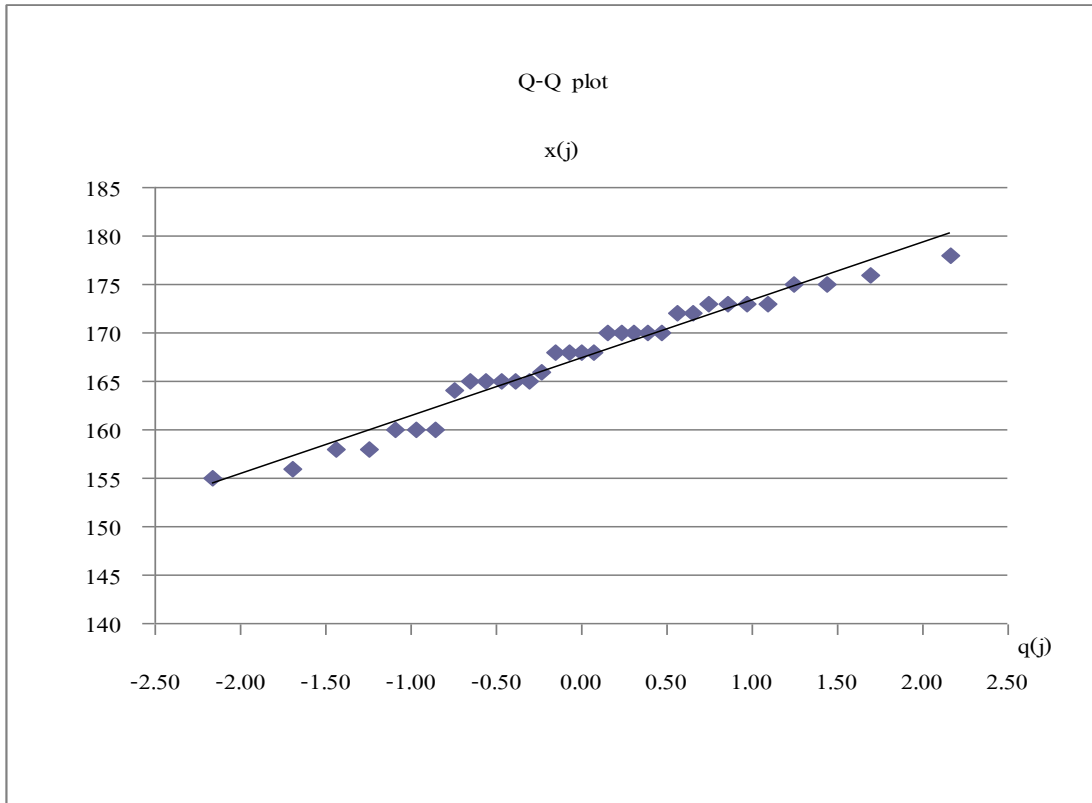
ตารางผนวกที่ 45 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 33$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.967)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	155	0.0152	-2.1661
2	156	0.0455	-1.6906
3	158	0.0758	-1.4342
4	158	0.1061	-1.2478
5	160	0.1364	-1.0968
6	160	0.1667	-0.9674
7	160	0.1970	-0.8525
8	164	0.2273	-0.7479
9	165	0.2576	-0.6508
10	165	0.2879	-0.5596
11	165	0.3182	-0.4728
12	165	0.3485	-0.3894
13	165	0.3788	-0.3087
14	166	0.4091	-0.2299
15	168	0.4394	-0.1525
16	168	0.4697	-0.0760
17	168	0.5000	0.0000
18	168	0.5303	0.0760
19	170	0.5606	0.1525
20	170	0.5909	0.2299
21	170	0.6212	0.3087
22	170	0.6515	0.3894
23	170	0.6818	0.4728
24	172	0.7121	0.5596

ตารางผนวกที่ 45 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 2-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 33$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.967)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
25	172	0.7424	0.6508
26	173	0.7727	0.7479
27	173	0.8030	0.8525
28	173	0.8333	0.9674
29	173	0.8636	1.0968
30	175	0.8939	1.2478
31	175	0.9242	1.4342
32	176	0.9545	1.6906
33	178	0.9848	2.1661
$r_Q = 0.9819 > 0.967$ OK			

จากตารางผนวกที่ 45 ได้ค่า  $r_Q = 0.9819$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 27 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 3 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 2-1

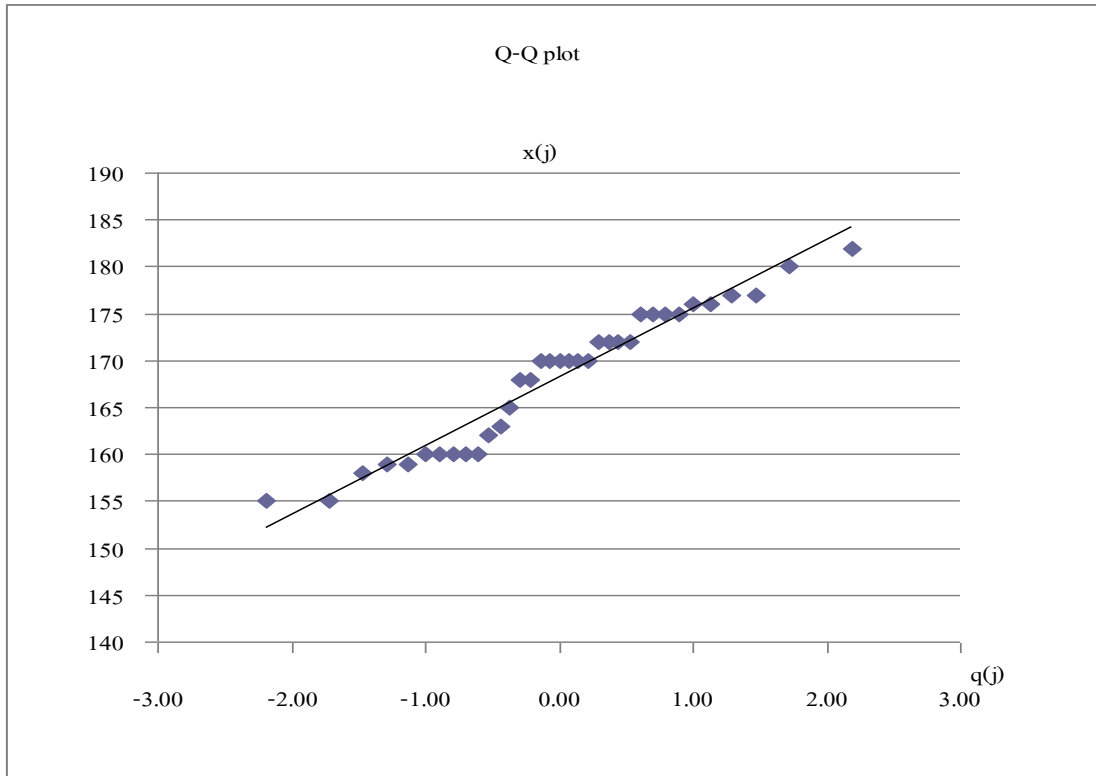
ตารางผนวกที่ 46 การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal quantiles , q(j)
1	155	0.0143	-2.1893
2	155	0.0429	-1.7185
3	158	0.0714	-1.4652
4	159	0.1000	-1.2816
5	159	0.1286	-1.1332
6	160	0.1571	-1.0063
7	160	0.1857	-0.8938
8	160	0.2143	-0.7916
9	160	0.2429	-0.6971
10	160	0.2714	-0.6085
11	162	0.3000	-0.5244
12	163	0.3286	-0.4439
13	165	0.3571	-0.3661
14	168	0.3857	-0.2905
15	168	0.4143	-0.2165
16	170	0.4429	-0.1437
17	170	0.4714	-0.0717
18	170	0.5000	0.0000
19	170	0.5286	0.0717
20	170	0.5571	0.1437
21	170	0.5857	0.2165
22	172	0.6143	0.2905
23	172	0.6429	0.3661
24	172	0.6714	0.4439

ตารางผนวกที่ 46 (ต่อ) การตรวจสอบหาค่า outlier ของชุดข้อมูล (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ที่ระดับความสูง 3 เมตร ครั้งที่ 3-1 โดยใช้วิธี probability plot (Q-Q plot), Significance levels  $\alpha = 95\%$  (0.05),  $N = 35$  (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient = 0.9682)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)
25	172	0.7000	0.5244
26	175	0.7286	0.6085
27	175	0.7571	0.6971
28	175	0.7857	0.7916
29	175	0.8143	0.8938
30	176	0.8429	1.0063
31	176	0.8714	1.1332
32	177	0.9000	1.2816
33	177	0.9286	1.4652
34	180	0.9571	1.7185
35	182	0.9857	2.1893
$r_Q = 0.9732 > 0.9682$ OK			

จากตารางผนวกที่ 46 ได้ค่า  $r_Q = 0.9732$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ



ภาพผนวกที่ 28 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 3 เมตร (ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ) ครั้งที่ 3-1

## ตัวอย่างการคำนวณ

ตารางผนวกที่ 47 การปรับแก้ชุดข้อมูล ที่ระดับความสูง 1 เมตร (ต่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 2 ,

N = 25 (จากตารางผนวกที่ 21 Critical point for the Q-Q plot correlation coefficient =0.9591)

j	Ordered observations , x(j)	Probability levels , (j-(1/2))/n	standard normal guantiles , q(j)	$x(j) - \bar{x}$	$(x(j) - \bar{x})^2$	$q(j) - \bar{q}$	$(q(j) - \bar{q})^2$	$(x(j) - \bar{x})(q(j) - \bar{q})$
1	120	0.0238	-1.9691	-11.6667	136.1111	3.8773	22.9726	22.97283
2	120	0.0714	-1.4537	-11.6667	136.1111	2.1132	16.9596	16.95983
3	120	0.1190	-1.1682	-11.6667	136.1111	1.3646	13.6288	13.62900
4	120	0.1667	-0.9555	-11.6667	136.1111	0.9129	11.1473	11.14750
5	122	0.2143	-0.7798	-9.6667	93.4444	0.6081	7.5379	7.53807
6	127	0.2619	-0.6257	-4.6667	21.7778	0.3915	2.9198	2.91993
7	128	0.3095	-0.4855	-3.6667	13.4444	0.2357	1.7801	1.78017
8	129	0.3571	-0.3544	-2.6667	7.1111	0.1256	0.9450	0.94507
9	130	0.4048	-0.2291	-1.6667	2.7778	0.0525	0.3818	0.38183
10	130	0.4524	-0.1078	-1.6667	2.7778	0.0116	0.1796	0.17967
11	132	0.5000	0.0118	0.3333	0.1111	0.0001	0.0039	0.00393
12	132	0.5476	0.1314	0.3333	0.1111	0.0173	0.0438	0.04380
13	134	0.5952	0.1298	2.3333	5.4444	0.0169	0.3029	0.30287
14	136	0.6429	0.2527	4.3333	18.7778	0.0639	1.0951	1.09503
15	138	0.6905	0.5091	6.3333	40.1111	0.2592	3.2244	3.22430
16	138	0.7381	0.6493	6.3333	40.1111	0.4216	4.1124	4.11223
17	139	0.7857	0.8034	7.3333	53.7778	0.6455	5.8917	5.89160
18	140	0.8333	0.9791	8.3333	69.4444	0.9587	8.1593	8.15917
19	140	0.8810	1.1918	8.3333	69.4444	1.4204	9.9318	9.93167
20	140	0.9286	1.4773	8.3333	69.4444	2.1825	12.3110	12.31083
21	150	0.9762	1.9927	18.3333	336.1111	3.9709	36.5332	36.53283



ค่า standard normal quantiles ,  $q(j)$  นำมาจากตาราง I Cumulative Standard Distribution (ที่มา : Douglas C. Montgomery, George C. Runger and Norma Faris Hubele, 1953)

$$\bar{x} = 131.6667$$

$$\bar{q} = 0.00$$

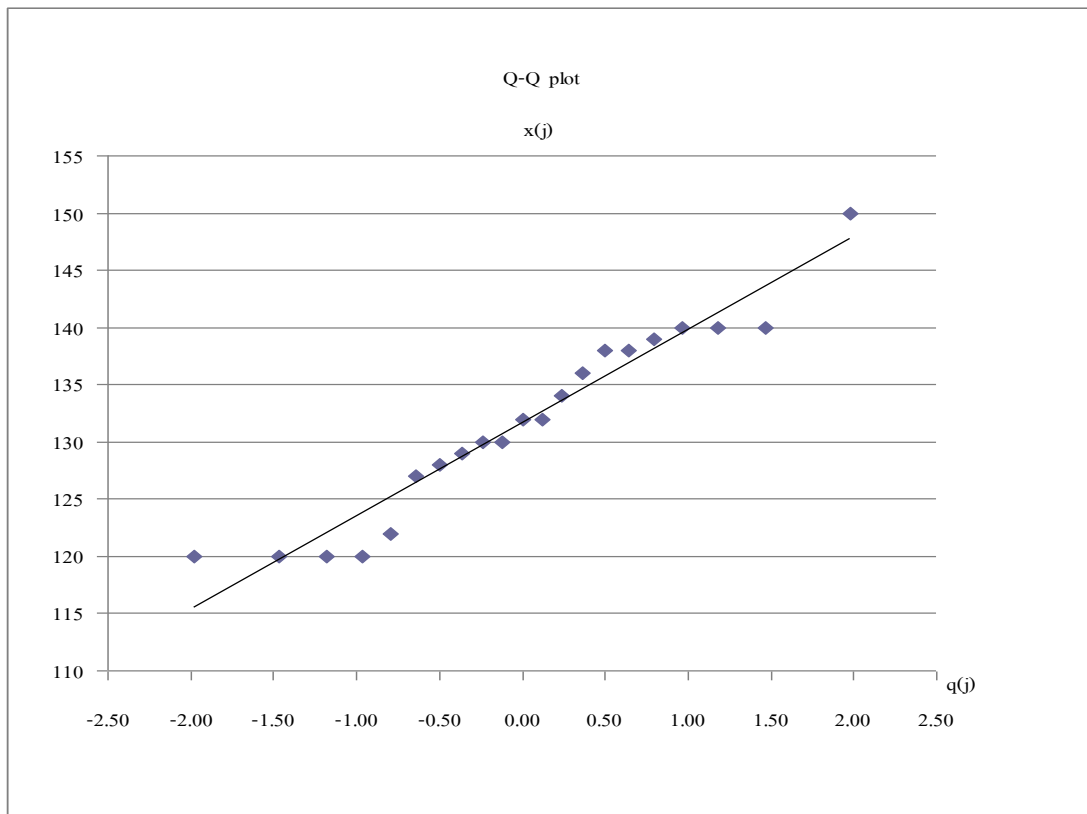
$$\sum_{j=1}^{21} (x(j) - \bar{x})(q(j) - \bar{q}) = 160.0622$$

$$\sum_{j=1}^{21} (x(j) - \bar{x})^2 = 37.2648$$

$$\sum_{j=1}^{21} (q(j) - \bar{q})^2 = 4.4328$$

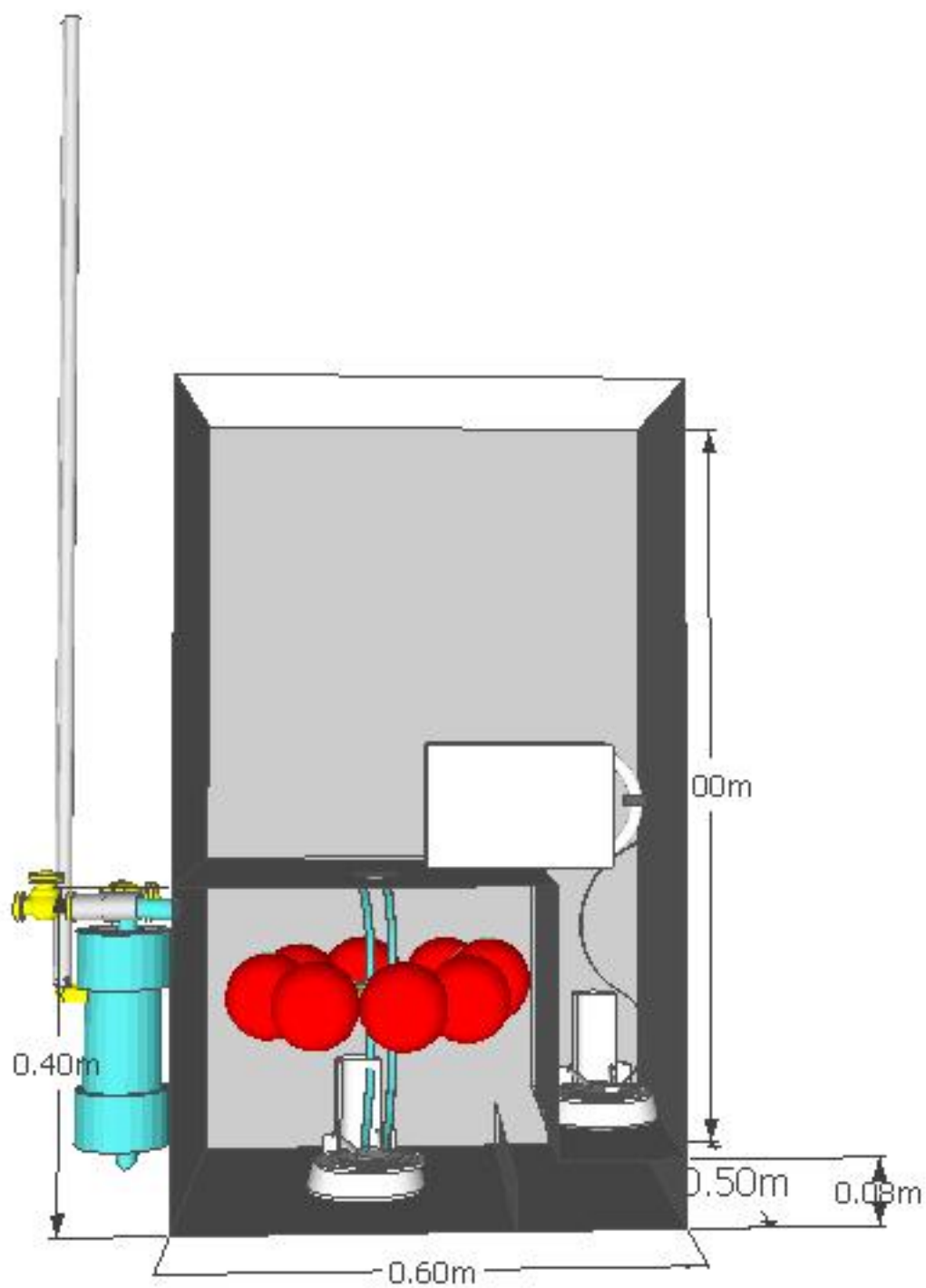
$$r_Q = \frac{\sum_{j=1}^{21} (x(j) - \bar{x})(q(j) - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{21} (x(j) - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^{21} (q(j) - \bar{q})^2}} = \frac{160.0622}{\sqrt{37.2648} \sqrt{4.4328}} = 0.9689 > 0.9591 \text{ OK}$$

จากตารางผนวกที่ 47 ได้ค่า  $r_Q = 0.9689$  ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า Critical point จากตารางผนวกที่ 21 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นปกติ

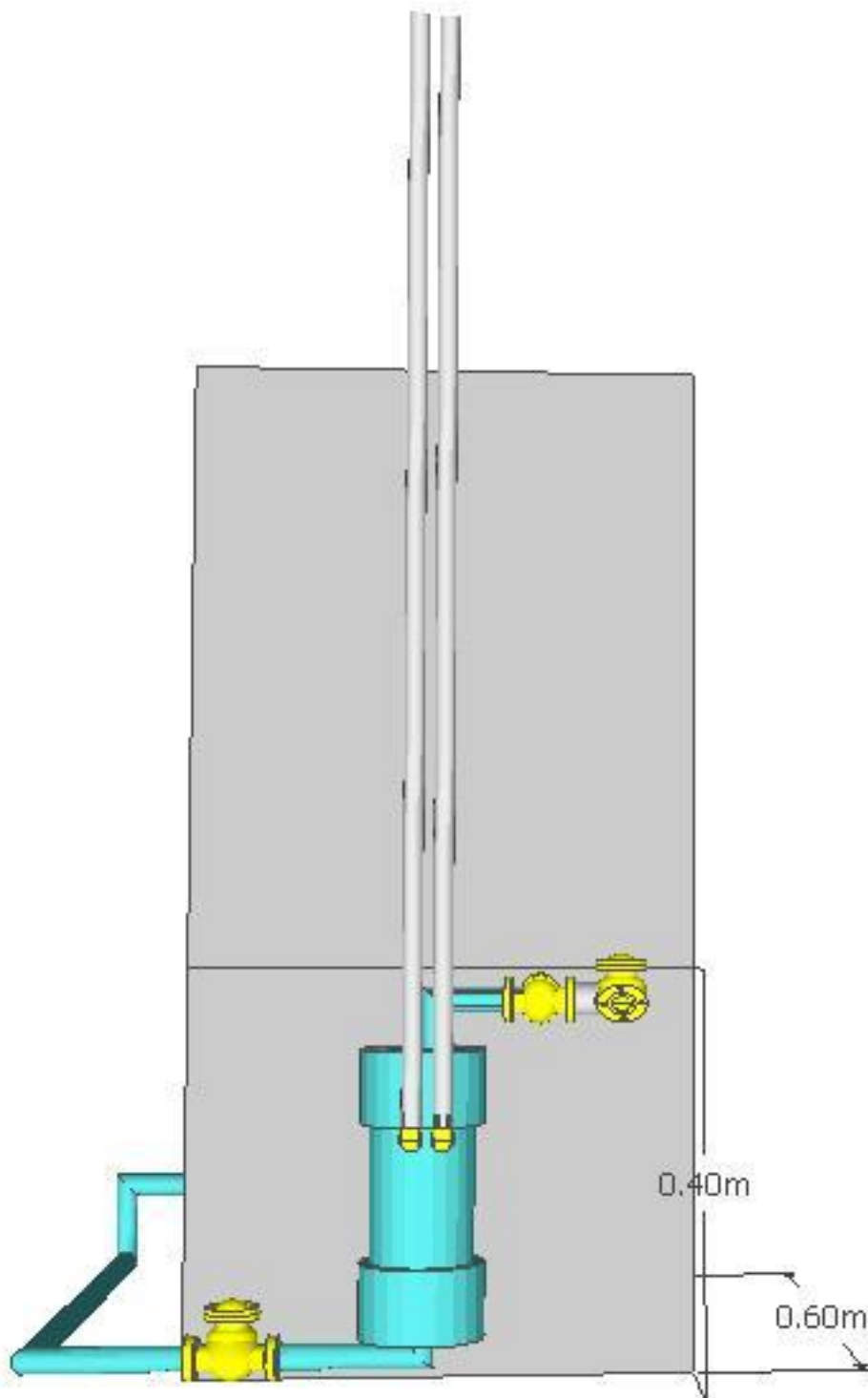


ภาพผนวกที่ 29 Q-Q plot ของชุดข้อมูลที่ระดับความสูง 1 เมตร (ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ) ครั้งที่ 2

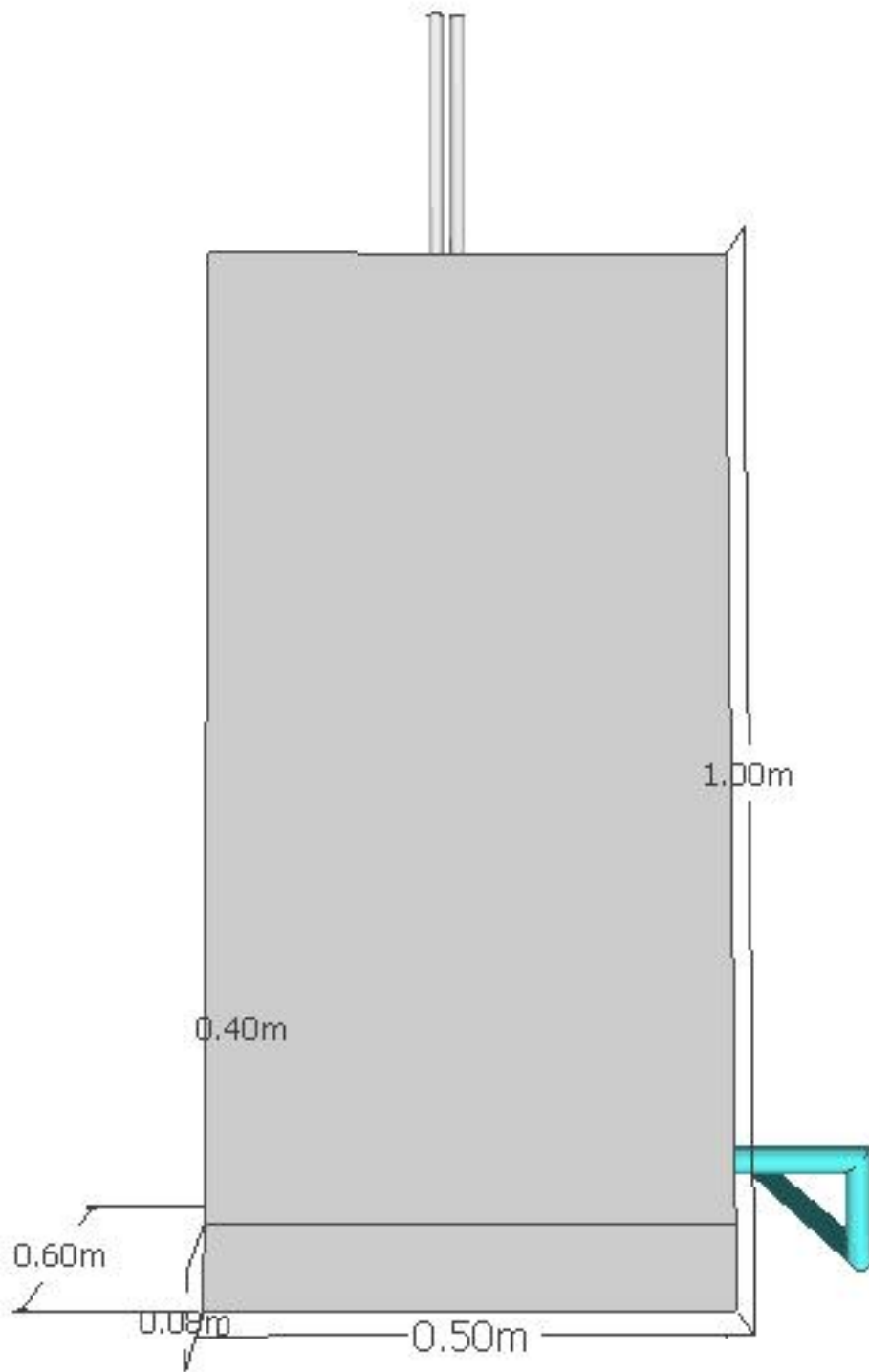
ภาคผนวก ง  
ภาพเครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ  
และเครื่องผสมน้ำกับอากาศ



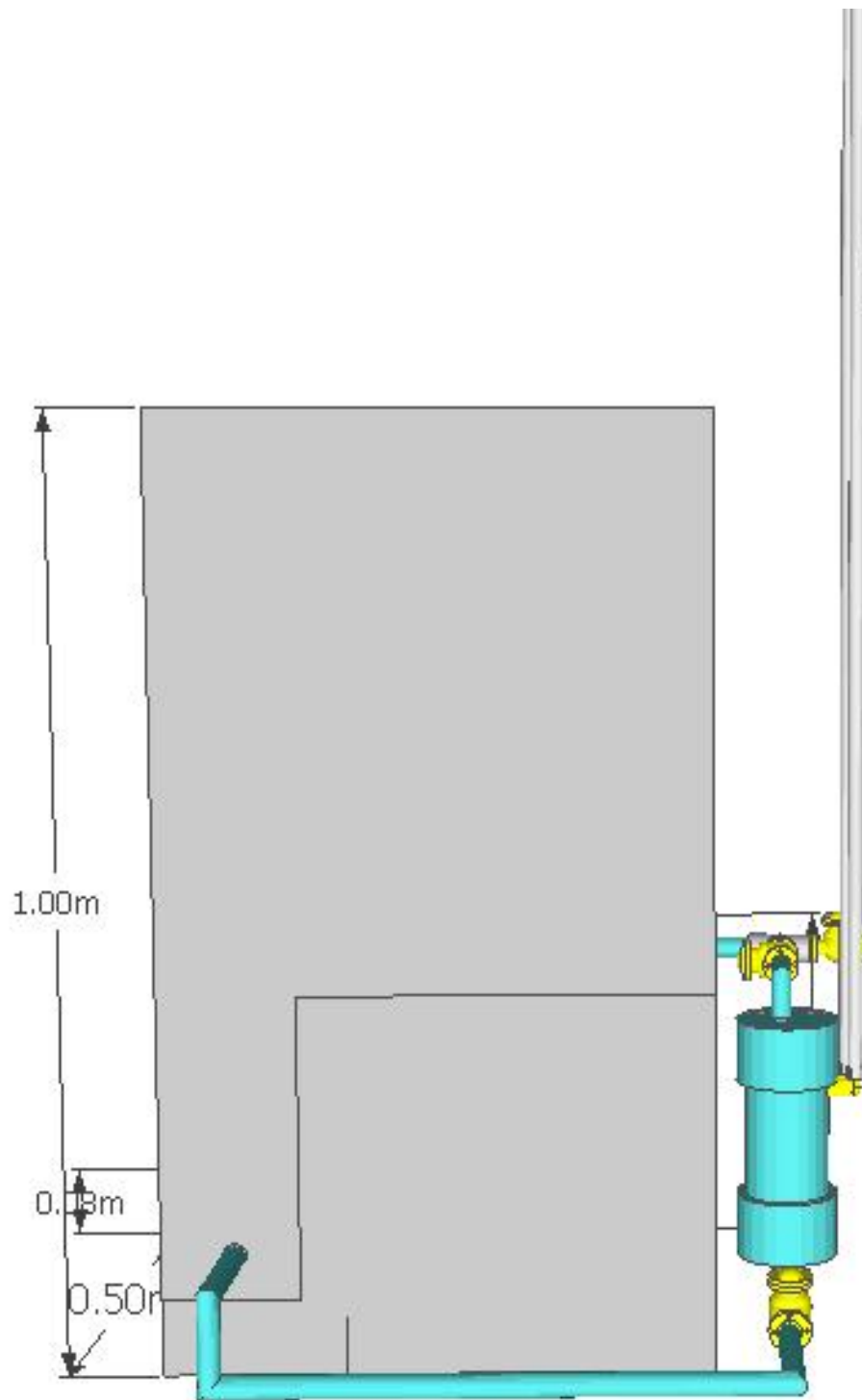
ภาพผนวกที่ 30 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านหน้า)



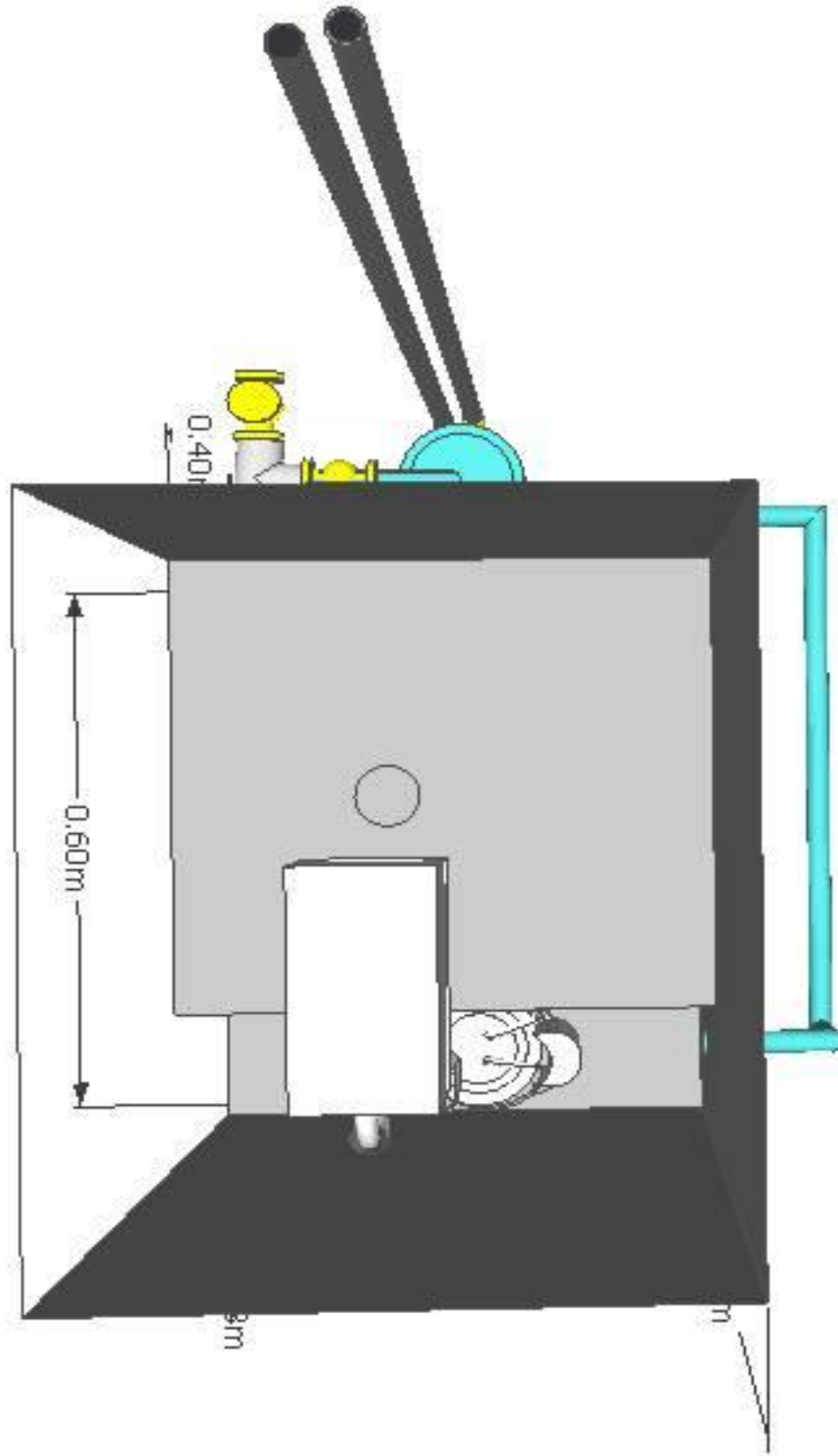
ภาพผนวกที่ 31 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง 1)



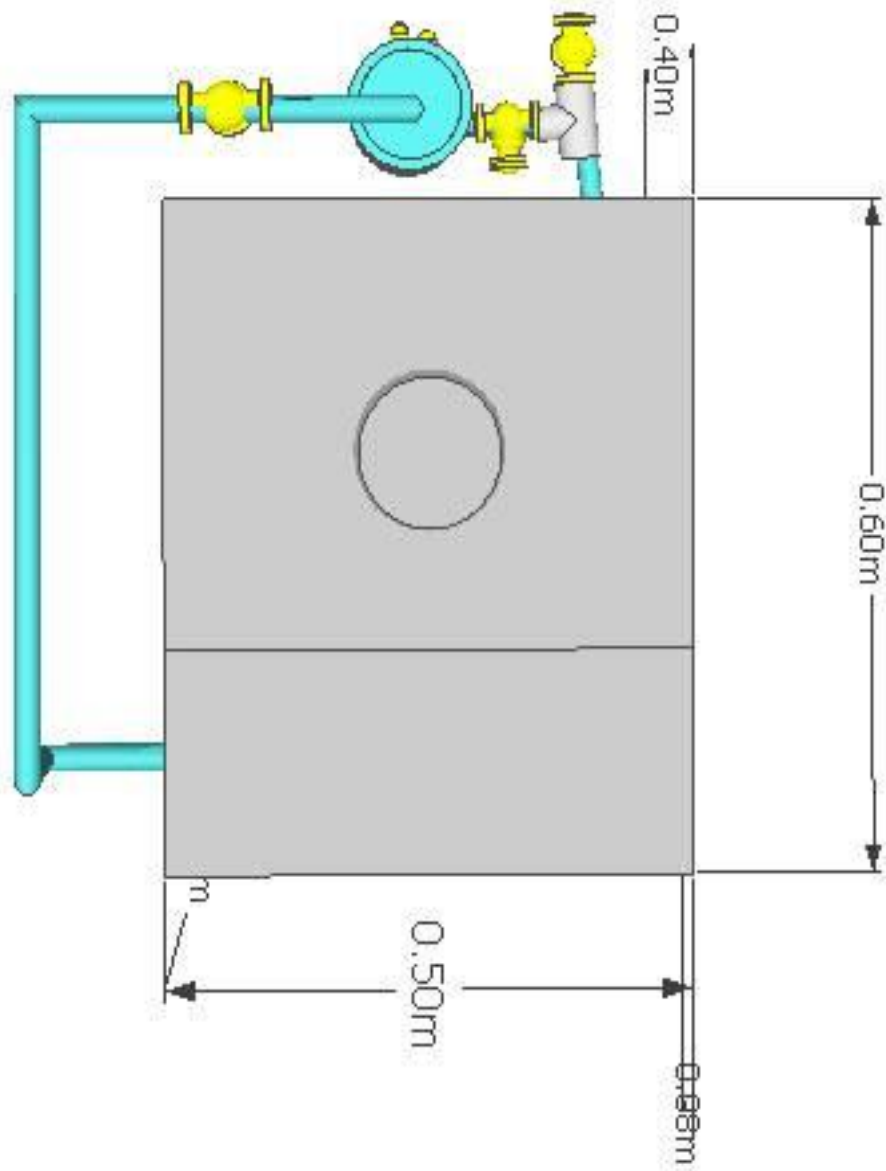
ภาพผนวกที่ 32 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านข้าง 2)



ภาพผนวกที่ 33 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านหลัง)

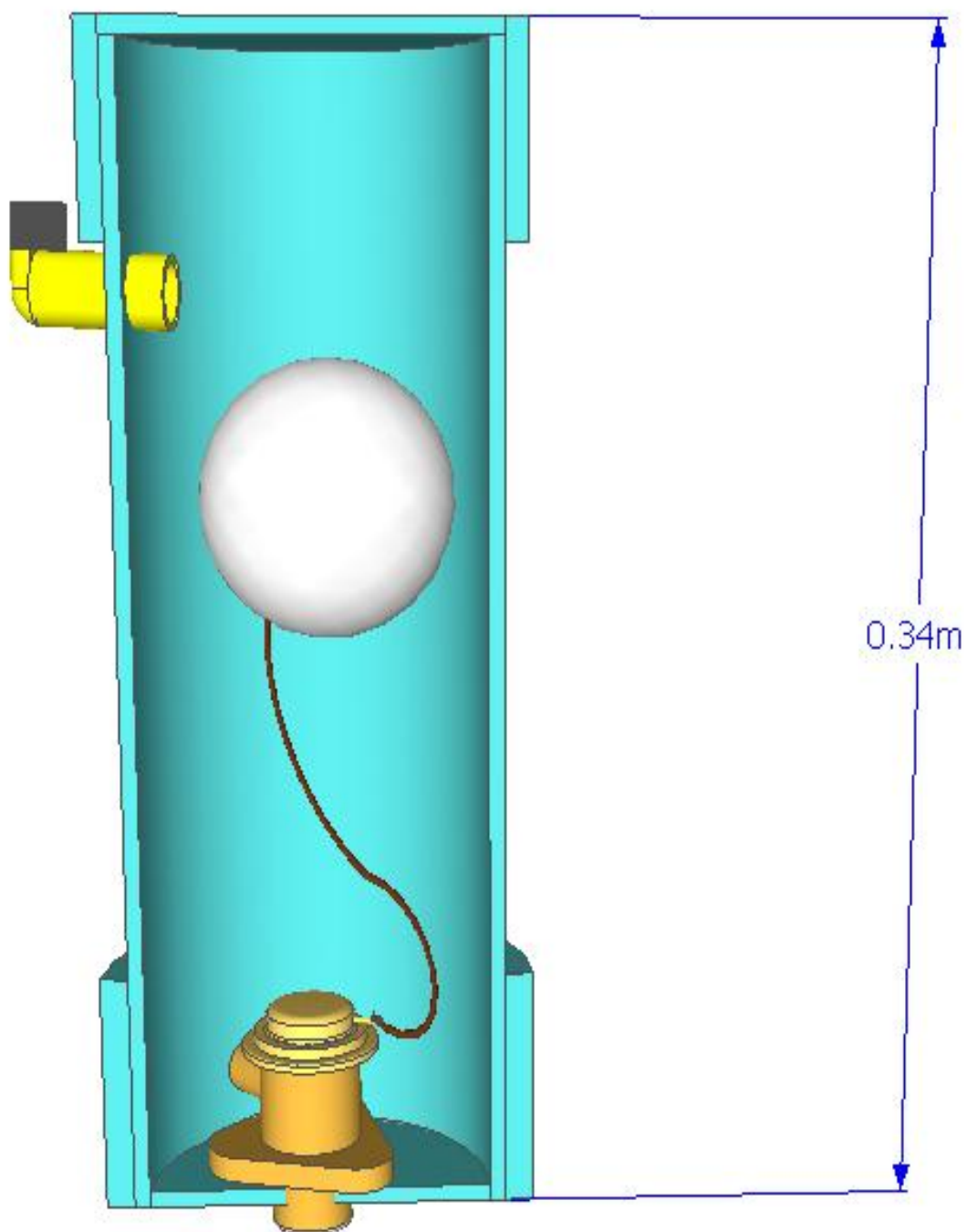


ภาพผนวกที่ 34 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านบน)



ภาพผนวกที่ 35 เครื่องสูบน้ำพลังงานอากาศ (ภาพด้านล่าง)

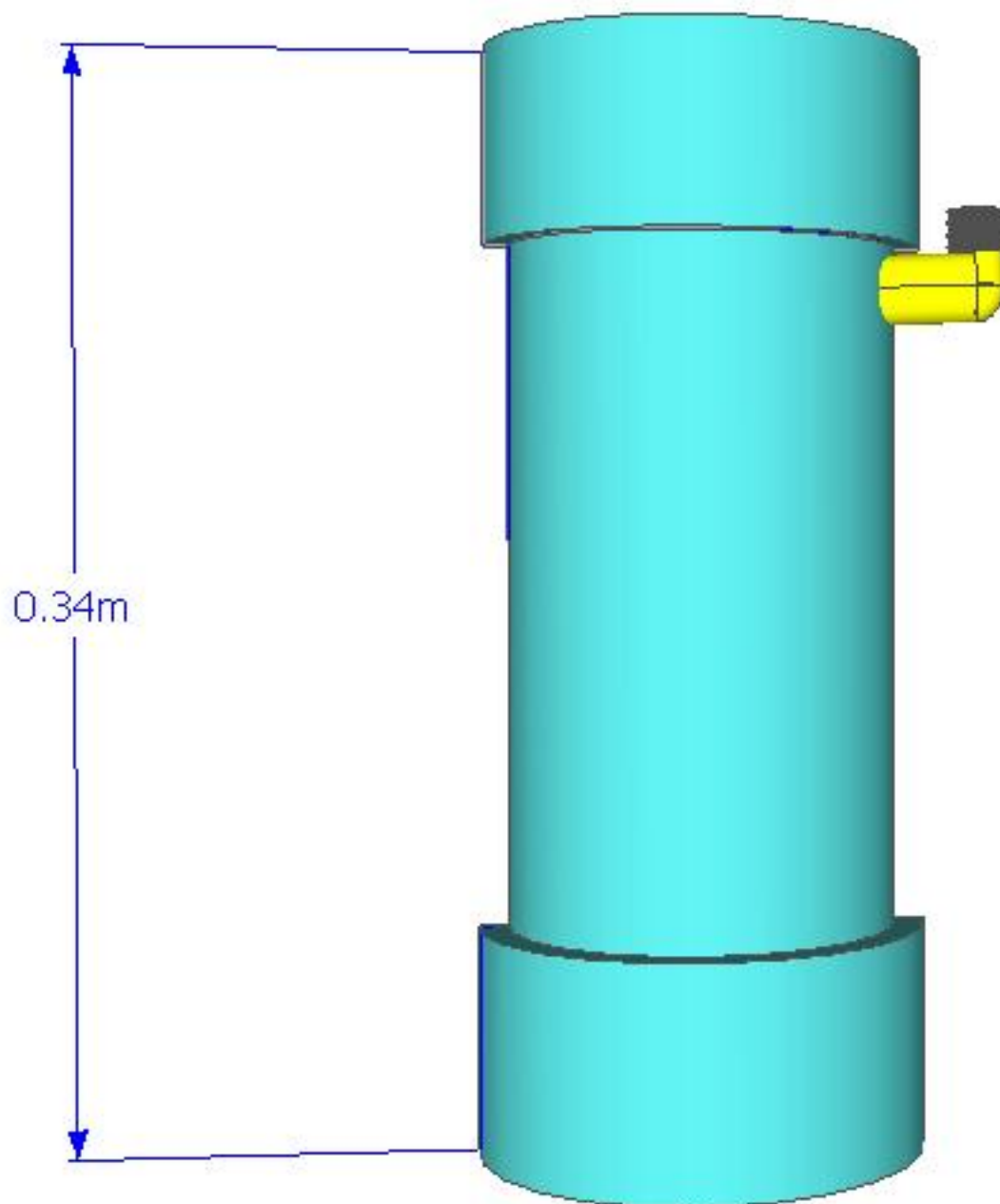




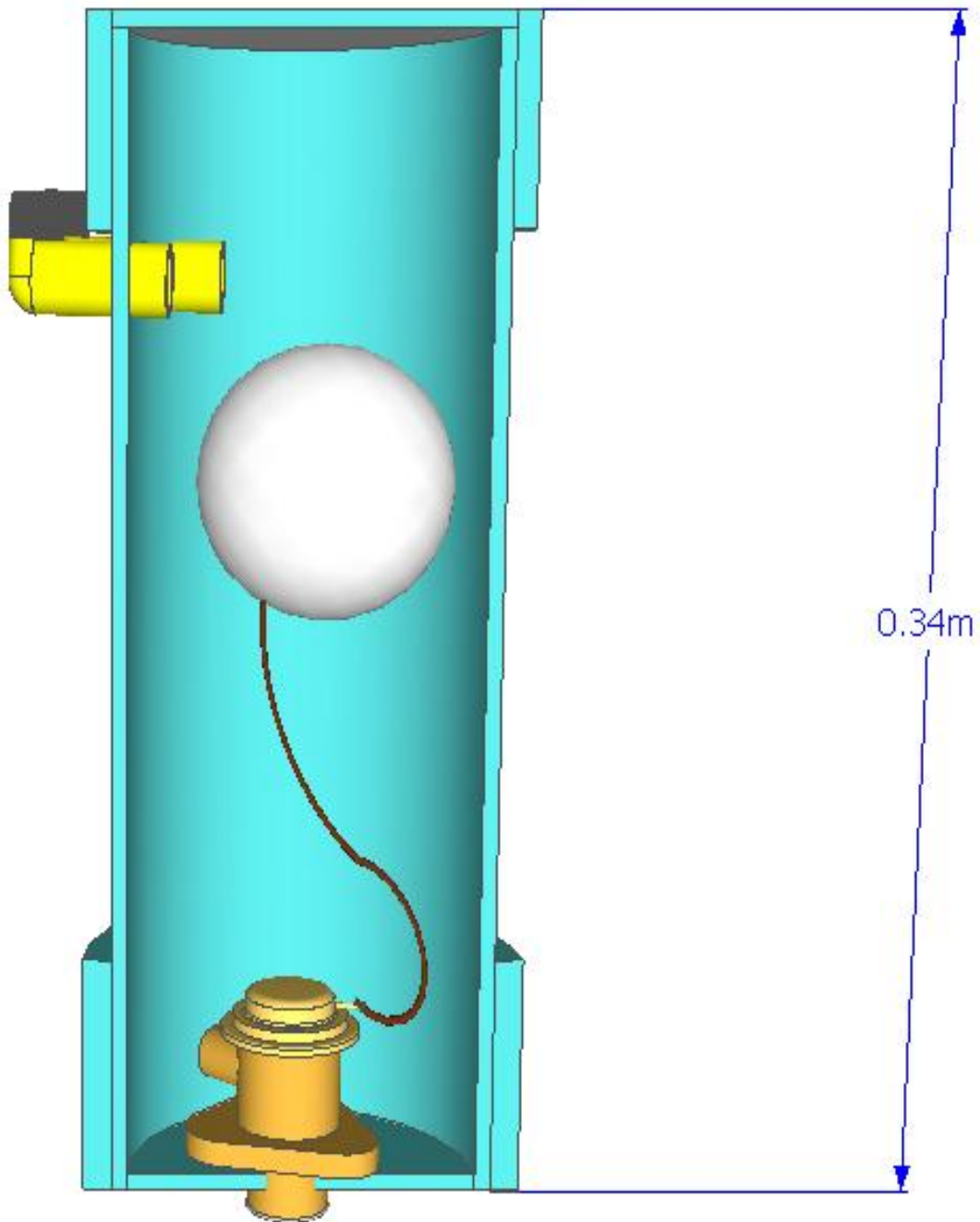
ภาพผนวกที่ 36 เครื่องผสมน้ำกับอากาศ ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ (ภาพด้านหน้า)



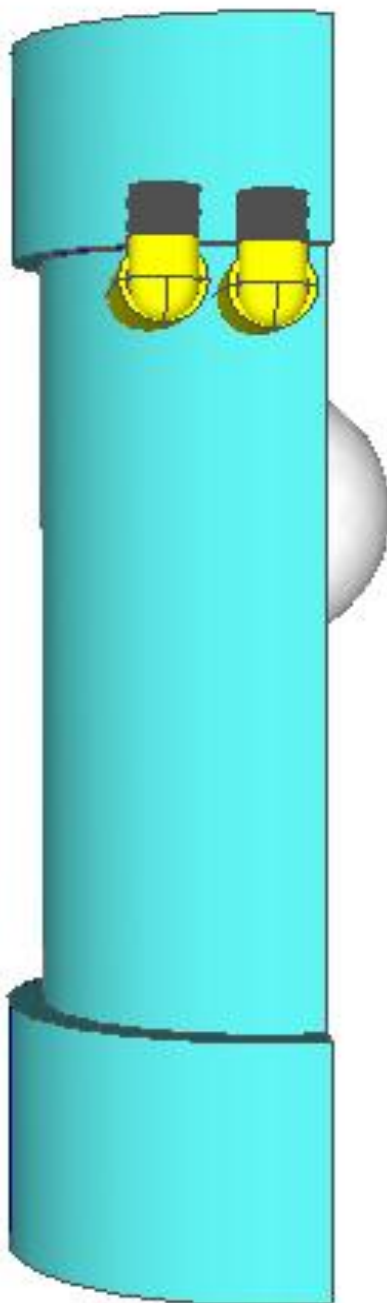
ภาพผนวกที่ 37 เครื่องผสมน้ำกับอากาศ ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ (ภาพด้านข้าง



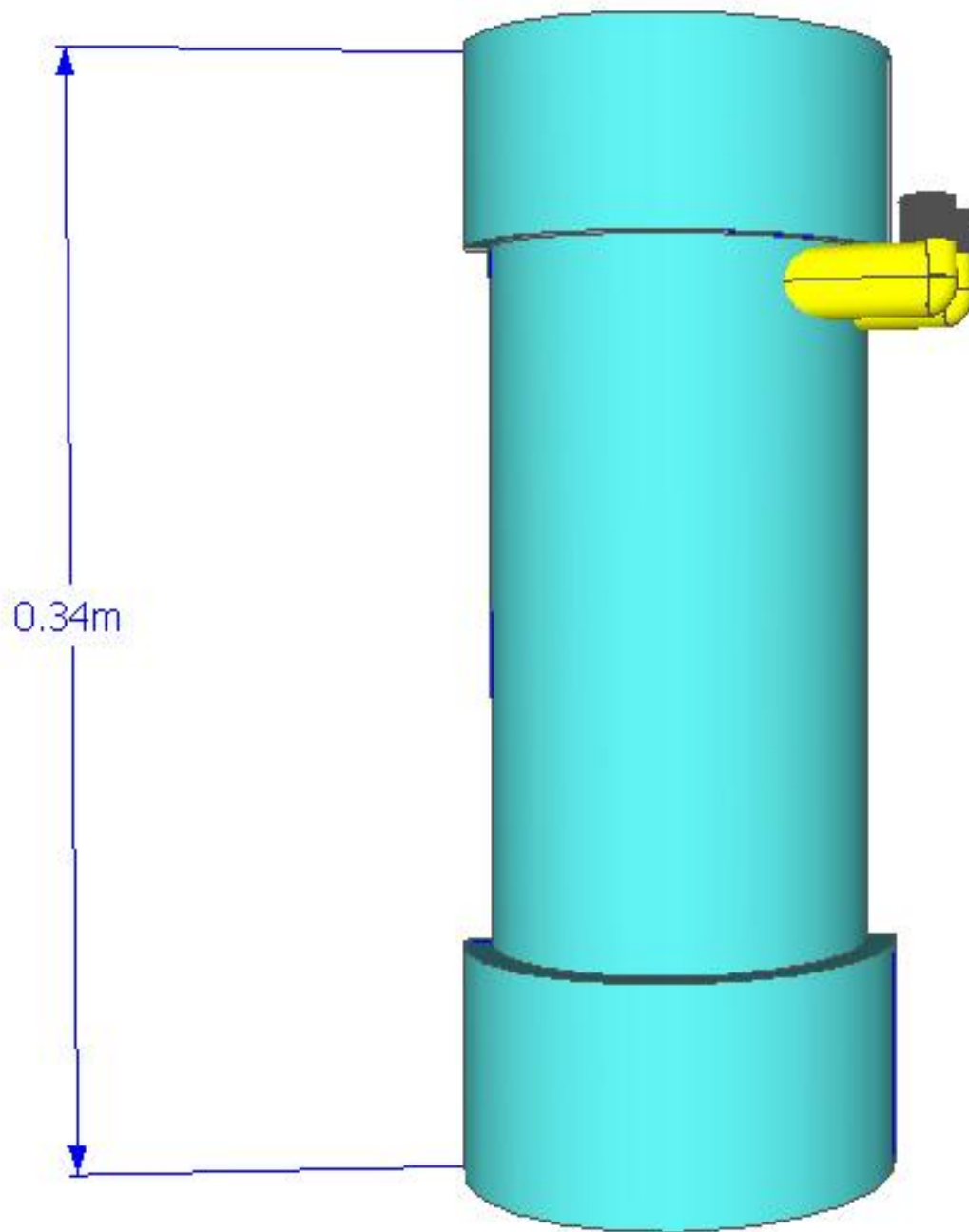
ภาพผนวกที่ 38 เครื่องผสมน้ำกับอากาศ ท่อส่งน้ำ 1 ท่อ (ภาพด้านหลัง)



ภาพผนวกที่ 39 เครื่องผสมน้ำกับอากาศ ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ (ภาพด้านหน้า)



ภาพผนวกที่ 40 เครื่องผสมน้ำกับอากาศ ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ (ภาพด้านข้าง 1)



ภาพผนวกที่ 41 เครื่องผสมน้ำกับอากาศ ท่อส่งน้ำ 2 ท่อ (ภาพด้านข้าง 2)