

การออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว
ของการประปานครหลวง

Design of Temporary water stopping inside of a distribution pipe
of Metropolitan Waterworks Authority (MWA)

บุญลือ สิงห์บุบผา
BOONLUE SINGBUBPHA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-060-220

การออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว
ของการประปานครหลวง

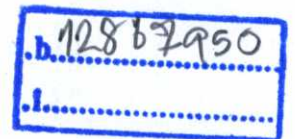
Design of Temporary water stopping inside of a distribution pipe
of Metropolitan Waterworks Authority (MWA)



T148235

บุญลือ สิงห์บุบผา
BOONLUE SINGBUBPHA

สารทิม
เลขทะเบียน 148235
ขึ้นเดือนปี 10 พ.ค. 2559



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-060-220

Design of Temporary water stopping inside of a distribution pipe
of Metropolitan Waterworks Authority (MWA)

BOONLUE SINGBUBPHA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-EN-M-060-220

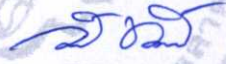

COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราวของการประปานครหลวง
Thesis Title Design of Temporary water stopping inside of a distribution pipe of Metropolitan Waterworks Authority (MWA)
นักศึกษา นายบุญลือ สิงห์บุบผา
รหัสประจำตัว 54611656
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุพรรณ กุลพานิชย์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-060-220

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ยุทธพงศ์	ทัฬหะดุจ	
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
รศ.ดร.ทวีพล	เชื้อสัดย์	
รศ.ดร.สุพรรณ	กุลพานิชย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 16 ธันวาคม พ.ศ. 2559 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 16 ธันวาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว ของการประปานครหลวง
นักศึกษา	นายบุญลือ สิงห์บุบผา
รหัสประจำตัว	54611656
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุพรรณ กุลพาณิชย์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการดำเนินการภาคสนามของท่อจ่ายน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ชนิด (Poly Vinyl Chloride : PVC) ในพื้นที่บริการของการประปานครหลวง มีจำนวนมากที่สุด ปัญหาหลักในการดำเนินงานภาคสนาม คือ ไม่สามารถปิดประตูน้ำได้ งานวิจัยนี้ จึงออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถหยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำได้ชั่วคราว มีส่วนที่สำคัญ คือ ปลั๊กบอลลูน หลักการทำงานของอุปกรณ์ คือ เพิ่มแรงดันให้ปลั๊กบอลลูนขยายตัว จนกว่าน้ำภายในท่อจะหยุดไหล ค่าแรงดันที่ทำให้ปลั๊กบอลลูนขยายตัวจนน้ำภายในท่อหยุดไหล จุดนี้เรียกว่า แรงเสียดทานสถิต ซึ่งเกิดจาก แรงเสียดทานตรงผิวสัมผัสผนังภายนอกปลั๊กบอลลูนกับผนังภายในท่อจ่ายน้ำ ที่มีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของแรงที่เกิดจากน้ำไหลภายในท่อ ตามทฤษฎีวิเคราะห์แนวแรงของกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ โดยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุปลั๊กบอลลูนกับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ชนิด (Poly Vinyl Chloride : PVC) ในงานวิจัย เท่ากับ 0.4 เป็นค่าคงที่ และออกแบบอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย โดยเพิ่มแรงดันปลั๊กบอลลูนให้ใช้งานเป็น 2 เท่าของแรงเสียดทานสถิต

Thesis	Design of Temporary water stopping inside of a distribution pipe of Metropolitan Waterworks Authority (MWA)
Student	Mr.Boonlue Singbubpha
Student ID.	54611656
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc.Prof Dr. Supan Gulphanich

ABSTRACT

The present of the field activity of water supply in Diameter of 300 millimeters of (Poly Vinyl Chloride: PVC) pipe in the service area of the Metropolitan Waterworks Authority is the highest. The main problem in the field is not able to close gate valves. This research is to design a device that could temporarily stopping the water. The plug balloon works is increasing pressure to plug balloon expands until the water in the pipes to stop flowing. This point is called Static friction caused by the friction surfaces of external walls of plug balloon with internal walls of water pipe. A direction opposite to the direction of the force of the water flowing inside the pipe. Theoretical Analysis of the three laws of motion, Newton is greater than or equal. By analyzing the friction coefficient of the material outlet pipe with a diameter of 300 millimeters in type (Poly Vinyl Chloride: PVC) in Researched 0.4 is a constant. Design and safety equipment. By increasing pressure to balloon plug is used double of the static friction.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุพรรณ กุลพาณิชย์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ให้โอกาส และช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้ และประสบการณ์ ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ นายกิตติ ศรีพรหมณี ผู้อำนวยการกองวางแผนและพัฒนาเทคโนโลยีน้ำสูญเสีย ฝ่ายบริหารจัดการน้ำสูญเสีย การประปานครหลวง ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ สำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการ การประปานครหลวง ที่ให้การสนับสนุน การใช้สถานที่ทำการทดลองภาคสนาม สำหรับการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ ครอบครัว รวมถึง เพื่อนทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจ

สุดท้ายต้องขอขอบคุณภรรยา และบุตรชายของข้าพเจ้า นางนวลรัตน์ สิงห์บุบผา และ ด.ช.ปณทัต สิงห์บุบผา ที่เป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

บุญลือ สิงห์บุบผา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญ (ต่อ).....	V
สารบัญ (ต่อ).....	VI
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
สารบัญรูป (ต่อ).....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย.....	5
2.1 ระบบท่อของการประปานครหลวง.....	5
2.1.1 ท่อประธาน (Main Pipe).....	5
2.1.2 ท่อจ่ายน้ำ (Distribution Pipe).....	6
2.1.3 ท่อบริการ (Service Pipe).....	6
2.2 วัสดุของท่อในระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง.....	7
2.2.1 ท่อชนิดเหล็กอาบสังกะสี (Galvanized Steel Pipe : GI).....	7
2.2.2 ท่อชนิด (Poly Vinyl Chloride : PVC).....	7
2.2.3 ท่อชนิดไซเลอร์.....	8
2.2.4 ท่อชนิด (Poly Ethylene : PE).....	9
2.2.5 ท่อชนิดเหล็กเหนียว (Steel : ST).....	10
2.2.6 ท่อชนิดซีเมนต์ใยหิน (Asbestos Cement : AC).....	10
2.3 งานภาคสนามของการประปานครหลวง.....	11
2.3.1 การวางท่อใหม่.....	11
2.3.2 การซ่อมท่อแตกรั่ว.....	13
2.3.3 การตัดบรรจบท่อแยก.....	14
2.3.4 การติดตั้งมิเตอร์น้ำ.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.5 การติดตั้งหัวดับเพลิง.....	15
2.3.6 การติดตั้งระบบเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย.....	16
2.4 งานลดน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง.....	23
2.4.1 การจำแนกปริมาณน้ำผลิตจ่ายของการประปานครหลวง.....	24
2.4.2 การจัดทำบัญชีปริมาณน้ำ.....	25
2.4.3 การจำแนกการเกิดน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง.....	26
2.4.4 มาตรการป้องกันน้ำสูญเสีย.....	26
2.4.5 สาเหตุที่ทำให้ท่อประปาแตกรั่ว.....	28
2.4.6 การจำแนกการสำรวจหาท่อรั่ว.....	29
2.4.7 ข้อแตกต่างระหว่างท่อรั่วบนดินและท่อรั่วใต้ดิน.....	30
2.4.8 เสียงที่เกิดจากท่อรั่ว.....	31
2.5 เทคนิคในการสำรวจหาท่อรั่วใต้ดิน.....	31
2.6 อุปสรรคที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการกำหนดจุดรั่ว.....	32
2.7 ระบบประตูน้ำของการประปานครหลวง.....	33
2.7.1 ประเภทและชนิดของประตูน้ำ.....	33
2.7.2 การปิด - เปิดประตูน้ำ.....	35
2.8 เครื่องมือ HOT TAPPING.....	35
2.9 ปัญหาการดำเนินงานภาคสนาม.....	37
2.10 ทฤษฎีของไหลภายในท่อปิด.....	38
2.11 ทฤษฎีแรงเสียดทาน.....	41
2.11.1 ประเภทของแรงเสียดทาน.....	41
2.11.2 ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทาน.....	41
2.11.3 คุณสมบัติของแรงเสียดทาน.....	42
2.12 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน (Newton's third law of motion).....	43
บทที่ 3 การออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว.....	44
3.1 การออกแบบอุปกรณ์.....	44
3.1.1 ส่วนของชุดอุปกรณ์.....	44
3.1.2 ส่วนของชุดระบบแรงดันลมปลั๊กบอลลูน.....	47
3.2 การวิเคราะห์ทฤษฎี.....	49
3.2.1 ส่วนของปลั๊กบอลลูน.....	49
3.2.2 ส่วนการไหลภายในเส้นท่อ.....	50
3.2.3 ส่วนแนวแรงเสียดทานของปลั๊กบอลลูน.....	50
3.2.4 ความสัมพันธ์แรงดันของน้ำภายในเส้นท่อ.....	51
3.2.5 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน.....	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 กระบวนการทำงาน (Flow Chart Diagram).....	54
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	56
4.1 การทดลองบนแท่น.....	56
4.1.1 การติดตั้งอุปกรณ์.....	56
4.1.2 วิธีการทดลอง.....	56
4.2 ผลการทดลองบนแท่น.....	57
4.3 การทดลองในภาคสนาม.....	58
4.3.1 ขั้นตอนการทดสอบภาคสนาม.....	59
4.4 ผลการทดลองในภาคสนาม.....	60
4.5 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	62
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	78

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประเภทท่อต่างๆของการประปานครหลวง.....	5
2.2 ค่ามาตรฐานสำหรับงานวางท่อในระบบท่อจ่ายน้ำ.....	11
2.3 บัญชีสมดุลงน้ำในระบบผลิตและระบบจ่ายน้ำ.....	25
2.4 การจำแนกการเกิดน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง.....	26
2.5 มาตรฐานงานลดน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง.....	27
2.6 ข้อแตกต่างระหว่างท่อรั่วบนดินและท่อรั่วใต้ดิน.....	30
3.1 คุณสมบัติของปั๊มลม.....	47
3.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุชนิดต่างๆ.....	53
4.1 ข้อมูลผลการทดลองบนแท่น จำนวน 5 ครั้ง.....	57
4.2 ข้อมูลเฉลี่ยโดยแสดงผลเป็นกราฟ จากผลการทดลองบนแท่น.....	58
4.3 กราฟข้อมูลเฉลี่ยจากผลการทดลองในสนาม.....	61

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ท่อชนิดเหล็กฉาบสังกะสี.....	7
2.2 ท่อชนิด PVC สีเหลือง.....	7
2.3 ท่อชนิด PVC สีเทา.....	8
2.4 ท่อชนิด PVC สีฟ้า.....	8
2.5 ท่อชนิดไจเลอร์.....	9
2.6 ท่อชนิดพีอี.....	9
2.7 ท่อชนิดเหล็กเหนียว.....	10
2.8 ท่อชนิดซีเมนต์ใยหิน.....	10
2.9 รูปตัดขวางมาตรฐานงานวางท่อในระบบท่อจ่ายน้ำ.....	11
2.10 การวางท่อ ชนิด PVC ขนาด ศก. 100 มม. ของการประปานครหลวง.....	12
2.11 การบดอัดชั้นทรายให้ได้มาตรฐานในงานวางท่อจ่ายน้ำ.....	12
2.12 การตรวจรั่วของท่อบริการ.....	13
2.13 การตรวจรั่วของท่อจ่ายน้ำ.....	13
2.14 การตัดบรรจุท่อแยก.....	14
2.15 การต่อท่อแยกสำหรับติดตั้งมิเตอร์น้ำ.....	14
2.16 การติดตั้งมิเตอร์น้ำ.....	15
2.17 ระบบท่อใต้ดินสำหรับงานติดตั้งหัวดับเพลิง.....	15
2.18 การทำแท่นพื้นรองรับ งานติดตั้งหัวดับเพลิง.....	16
2.19 การแบ่งพื้นที่ Distric Metering Area (DMA).....	17
2.20 อุปกรณ์หลักและการทำงานของตู้ Remote Terminal Unit : RTU.....	17
2.21 Flowmeter แบบ Electromagnetic และ แบบใบพัด (Turbine).....	18
2.22 Pressure Sensor และจุดวัดแรงดันน้ำบนเส้นท่อ.....	18
2.23 สภาพภายนอกตู้ RTU.....	19
2.24 อุปกรณ์ภายใน ตู้ RTU ด้านหน้า.....	19
2.25 อุปกรณ์ภายใน ตู้ RTU ด้านหลัง.....	20
2.26 รูปแบบการไหลของน้ำปกติในระบบ DMA.....	21
2.27 รูปแบบการไหลของน้ำ เมื่อเกิดท่อระเบิดแตกรั่ว.....	21
2.28 งานปรับปรุงทดแทนระบบเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย.....	22
2.29 องค์ประกอบของงานลดน้ำสูญเสีย.....	23
2.30 การจำแนกองค์ประกอบน้ำสูญเสีย.....	24
2.31 การจำแนกการสำรวจหาท่อรั่ว.....	29
2.32 แสดงต้นเหตุของเสียงที่เกิดจากท่อรั่ว.....	31
2.33 ประตูน้ำชนิดลิ้นเกต (Gate Valve).....	34
2.34 ประตูน้ำชนิดลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve).....	34
2.35 การดำเนินงาน ปิด - เปิด ประตูน้ำ ภาคสนาม.....	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.36 เครื่องมือ HOT TAPPING.....	36
2.37 ตัวอย่างปัญหาของการดำเนินงานภาคสนาม.....	37
2.38 ทฤษฎีความดันของปาสคาล.....	38
2.39 ความดันและความแตกต่างของรูปร่างภาชนะ.....	39
2.40 แสดงทิศทางของแรงเสียดทาน.....	41
2.41 ความสัมพันธ์ของแรงกด แรงดึง และแรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุ.....	41
2.42 ลักษณะของผิวสัมผัสที่มีผลต่อแรงเสียดทาน และแรงดึง.....	42
2.43 แสดงแนวแรงเสียดทาน.....	42
2.44 แสดงภาพกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน.....	43
3.1 แสดงรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์.....	44
3.2 หน้าจาวงกลม.....	45
3.3 อุปกรณ์แกนประคอง วาล์วน้ำ Pressure Gauge และแกนค้ำยัน.....	45
3.4 อุปกรณ์แกนส่ง แกนดัน และชุดแม่แรง.....	46
3.5 ปลั๊กบอลลูน.....	46
3.6 บี้มลมไฟฟ้า ยี่ห้อ PUMA.....	47
3.7 Regulator.....	47
3.8 แสดงรายละเอียดของส่วนชุดควบคุมแรงดันลม.....	48
3.9 อุปกรณ์ที่ถูกประกอบเข้าด้วยกันบนแท่นทดสอบ.....	48
3.10 แนวแรงที่กระทำขณะอัดแรงดันเข้าปลั๊กบอลลูน.....	49
3.11 แนวแรงที่กระทำภายในเส้นท่อต่อปลั๊กบอลลูน.....	50
3.12 แนวแรงเสียดทานของปลั๊กบอลลูนต่อผนังเส้นท่อภายใน.....	51
3.13 แนวแรงทั้งหมดของปลั๊กบอลลูนต่อผนังภายในท่อ.....	51
3.14 กระบวนการทำงานของอุปกรณ์.....	54
3.15 กระบวนการทำงานของอุปกรณ์ (ต่อ).....	55
4.1 การติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับแท่นทดสอบ.....	56
4.2 การขยายตัวของปลั๊กบอลลูนและหยุดน้ำภายในเส้นท่อ.....	57
4.3 จุดงานที่ทดสอบภาคสนามในแผนที่ GIS.....	58
4.4 การเปิดผิวเพื่อหาแนวท่อ.....	59
4.5 การติดตั้งแคลมป์รัดท่อ เพื่อรองรับชุดอุปกรณ์.....	59
4.6 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ในภาคสนาม.....	60
4.7 การไหลของน้ำประปาคล่อง.....	60
4.8 การหยุดไหลของน้ำภายในเส้นท่อ.....	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นับจากปีงบประมาณ 2555 จนถึงปัจจุบัน การประปานครหลวงยึดมั่นในทิศทางมุ่งสู่วิสัยทัศน์ “เป็นองค์กรชั้นนำด้านการบริหารจัดการที่ดีสู่ความเป็นเลิศ ที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม ในระดับแนวหน้าของกลุ่มประเทศอาเซียน ที่ให้บริการงานประปา” ภายใต้พันธกิจจากฐานพระราชบัญญัติการประปา พ.ศ. 2510 คือให้บริการงานประปาที่มีมาตรฐานคุณภาพ อย่างมั่นคง ท่วถึง เพียงพอ ด้วยเทคโนโลยีทันสมัย และบุคลากรมืออาชีพ เพื่อสร้างความพึงพอใจและความเชื่อมั่นแก่ผู้ใช้บริการ โดยมุ่งเน้นยกระดับและเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการ และเตรียมความพร้อมที่จะก้าวไปข้างหน้าให้ได้รับการยอมรับในระดับประเทศและระดับอาเซียนในอนาคต กำหนดเป้าหมายความสำเร็จก้าวแรก ได้รับรางวัลการบริหารสู่ความเป็นเลิศ หรือ Thailand Quality Class ในปี 2559 ตามกรอบเวลาสิ้นสุดของยุทธศาสตร์การบริหาร การประปาฯ ฉบับที่ 3 (2555 – 2559)

จากเป้าหมายก้าวแรกของความสำเร็จที่วางไว้ ส่งผลให้นโยบายและกรอบแนวทางดำเนินงานตลอดช่วงเวลา 5 ปี นับจากปีงบประมาณ 2555 เป็นต้นมา ให้ความสำคัญยกระดับการบริหารจัดการที่ดีเพื่อความเป็นเลิศ ตอบสนองผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอย่างสมดุล เน้นประชาชนเป็นศูนย์กลางตามปณิธานที่ตั้งไว้ “ประปาเพื่อประชาชน” โดยคำนึงถึงความยั่งยืนขององค์กรระยะยาว ภายใต้หลักการ “Triple S for MWA Sustainable Growth” และเมื่อวันที่ 26 กันยายน 2557 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย (พลเอกอนุพงษ์ เผ่าจินดา) เดินทางมาตรวจเยี่ยมกิจการการประปาฯ และได้มอบนโยบายที่เป็นองค์ประกอบของความยั่งยืนอีกประการหนึ่งคือ การส่งเสริมสุขอนามัยของประชาชน “Sanitary” และ สร้างความเชื่อมั่นในคุณภาพน้ำประปาที่ผลิต-จ่ายให้ผนวกรวมไว้ในหลักการสร้างความยั่งยืนขององค์กร และยึดถือเป็นแนวทางดำเนินงานเพิ่มเติมอีกมิติหนึ่ง ต่อเนื่องจากปีที่ผ่านมากการประปาฯ ได้กำหนดแนวทางการดำเนินงานในปีงบประมาณ 2558 ที่สำคัญ คือ ขยายการให้บริการน้ำประปาอย่างทั่วถึง เพียงพอ และมั่นคง ลดความเหลื่อมล้ำทางสังคมในการเข้าถึงบริการภาครัฐ สนับสนุนการแก้ไขปัญหาด้านสาธารณสุขปโภคขั้นพื้นฐานที่สำคัญจำเป็นสำหรับประชาชนและผู้รับบริการเป้าหมายให้บริการครอบคลุมทุกชุมชน (ไม่น้อยกว่า 15 ครัวเรือน) ในพื้นที่รับผิดชอบภายในปี 2560

วางกรอบแนวทางปรับปรุงและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานระบบประปาฯ ระยะยาว ครอบคลุม 30 ปี (2561 – 2590) จัดทำแผนแม่บทโครงสร้างพื้นฐานระบบประปาการประปาฯ หรือ MWA Master Plan กำหนดเวลาแล้วเสร็จในปี 2560 เตรียมลงทุนดำเนินโครงการปรับปรุงกิจการประปาฯ แผนหลักครั้งที่ 9 (ปี 2558 – 2564) เพื่อขยายกำลังการผลิตน้ำของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์เพิ่มขึ้นอีก 4 แสนลูกบาศก์เมตรต่อวัน ก่อสร้างสถานีสูบน้ำแห่งใหม่บริเวณพื้นที่ตอนล่างทางฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา และขยายถึงเก็บน้ำใสที่สถานีสูบน้ำลาดกระบัง และสถานีสูบน้ำบางพลี รองรับความต้องการใช้น้ำที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นในช่วง 20 ปีข้างหน้า บริหารจัดการน้ำสูญเสียและเพิ่มแรงดันในระบบจ่ายน้ำคู่ขนานไปกับการปรับปรุงท่อเพื่อลดน้ำสูญเสียเร่งด่วนในพื้นที่สาขาที่มีอัตราน้ำสูญเสียสูง เป้าหมายลดลงอย่างต่อเนื่อง คงเหลือร้อยละ 20 และแรงดันน้ำไม่น้อยกว่า 10 เมตร ภายในปี 2560

ยกระดับสมรรถนะงานด้านบริการให้มีประสิทธิภาพถึงประชาชนและลูกค้าแบบรายบุคคล บูรณาการความร่วมมือกับหน่วยงานภาครัฐและเอกชน มุ่งเน้นสะดวกรวดเร็ว นำเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมาใช้ให้บริการในรูปแบบต่างๆ ต่อยอดจากปีงบประมาณ 2557 เช่น รับคำร้องขอติดตั้งประปาใหม่ โดยใช้บัตรประจำตัวประชาชน หรือ SMART Card เพียงใบเดียว เป็นต้น เตรียมความพร้อมรองรับประชาคมอาเซียน (ASEAN Community : AC) ขยายความร่วมมือกับประเทศเพื่อนบ้าน สร้างสายสัมพันธ์ที่ดี พัฒนาผลิตภัณฑ์ บริการ และบุคลากรให้มีขีดความสามารถพร้อมรับปรับตัวต่อผลกระทบ นำไปสู่การแสวงหาโอกาสการลงทุนต่อยอดธุรกิจหลักและที่เกี่ยวข้องในอนาคต สร้างความเชื่อมั่น เสริมภาพลักษณ์องค์กรด้านคุณภาพน้ำประปาที่ได้มาตรฐานองค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) ให้ความสำคัญในการเข้าถึงบริการน้ำที่สะอาดปลอดภัย และยกระดับความเชื่อมั่นของประชาชนและผู้ใช้บริการ ภายใต้โครงการแผนน้ำประปาปลอดภัย (Water Safety Plan) จากการผสมผสานแนวคิดในการป้องกันแบบพหุแนว (Multi - Barrier Protection) ตั้งแต่ระบบน้ำดิบจนถึงบ้านผู้ใช้ (Catchment to Customer) สามารถนำไปใช้อุปโภค และบริโภคได้อย่างปลอดภัย

ซึ่งการให้บริการน้ำประปา ในปัจจุบันนั้น จะเป็นระบบการสูบส่งจ่ายน้ำ ผ่านระบบท่อต่างๆ โดยการประปานครหลวง ได้แบ่งประเภทของระบบท่อไว้ 3 ประเภท ดังนี้ ท่อประธาน ท่อจ่ายน้ำ และท่อบริการ โดยพื้นที่ที่ให้บริการจะครอบคลุมทั่วทั้ง 3 จังหวัดคือ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ และขั้นตอนการดำเนินงานภาคสนามที่จะกล่าวถึงในงานวิจัยนี้ จะเป็นการดำเนินงานภาคสนามในระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มม.ส่วนมากท่อประเภทนี้อยู่ในแนวทางเดินเท้าริมถนนและใช้เป็นระบบท่อในการแบ่งพื้นที่ย่อย (District Metering Area : DMA) เพื่อการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย จึงการดำเนินงานภาคสนามในระบบท่อจ่ายน้ำมีจำนวนมาก เช่น การซ่อมท่อ การตัดบรรจบท่อ การติดตั้งอุปกรณ์มาตรวัดน้ำ และการติดตั้งปรับปรุงระบบอุปกรณ์การวัดและควบคุมภาคสนาม (Remote Terminal Unit : RTU) สำหรับ DMA เป็นต้น ซึ่งการดำเนินงานดังกล่าวมีขั้นตอนหลักที่สำคัญคือ การปิดประตูน้ำ เพื่อหยุดการจ่ายน้ำชั่วคราวในพื้นที่ ปัญหาส่วนมากที่พบคือ ประตูน้ำที่ใช้ในการเปิดและปิดไม่สามารถใช้งานได้ จากหลายสาเหตุเช่น ประตูน้ำชำรุด ประตูน้ำปิดไม่สนิท แกนประตูน้ำถูกลักขโมย หรือฝาหีบประตูน้ำจมอยู่ในพื้นผิวใต้ดิน เป็นต้น

ยกตัวอย่างการดำเนินงานภาคสนามที่เกิดปัญหา เช่น งานติดตั้งปรับปรุงตู้ RTU ซึ่งในขอบเขตของงานต้องมีการถอดเปลี่ยนมิเตอร์วัดอัตราการไหล เมื่อไม่สามารถปิดประตูน้ำได้ จึงมีความจำเป็นต้องปิดประตูน้ำตัวถัดไป เพื่อดำเนินการเปลี่ยนมิเตอร์ ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงคือ มีพื้นที่ขาดน้ำเป็นบริเวณกว้างขึ้น มีข้อร้องเรียนจากผู้ใช้ น้ำเนื่องจากน้ำไม่ไหลหรือไหลอ่อน และ มีผลกระทบโดยอ้อมเช่น การขาดโอกาสในการบริการน้ำประปาแก่ประชาชนมีน้ำสูญเสียจากน้ำที่ค้างภายในท่อปริมาณมากเมื่อระยะทางในการปิดประตูน้ำเพิ่มขึ้น และในการคืนสภาพการจ่ายน้ำต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้นส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำประปา เป็นต้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้ ออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานภาคสนาม โดยแก้ไขปัญหาคือ การใช้งานของประตุน้ำเดิมในพื้นที่ดำเนินงานภาคสนามไม่ได้ โดยใช้หลักการทำงานของอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ขณะที่มีระบบการจ่ายน้ำปกติ มีน้ำไหลภายในท่อตลอดเวลา ไม่ต้องหยุดระบบสูบน้ำ โดยส่วนสำคัญคือการวิเคราะห์แนวแรงของปลั๊กบอลลูนเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นจนปลั๊กบอลลูนขยายตัวเต็มภายในท่อ และมีแรงเสียดทานตรงผิวสัมผัสมากพอที่สามารถหยุดน้ำภายในท่อได้ชั่วคราว และเมื่อเสร็จสิ้นงานภาคสนาม ก็สามารถนำอุปกรณ์ออกและเปิดระบบการสูบน้ำได้ปกติ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. อุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว สามารถใช้งานได้กับระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง
2. การออกแบบระบบการทำงานของอุปกรณ์ ต้องสามารถใช้งานได้ขณะที่ระบบการจ่ายน้ำยังเป็นภาวะปกติ ไม่ต้องหยุดระบบการสูบน้ำ
3. ปลั๊กบอลลูนสามารถขยายตัวภายในเส้นท่อได้ และเมื่อขยายเต็มพื้นที่หน้าตัดของท่อแล้วมีแรงเสียดทานบนผิวสัมผัสเพียงพอที่จะสามารถหยุดการไหลของน้ำภายในเส้นท่อได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

1. การออกแบบอุปกรณ์ใช้เป็นเครื่องมือหลักในการดำเนินงานภาคสนาม โดยติดตั้งชุดอุปกรณ์บนเส้นท่อจ่ายน้ำ
2. การขยายตัวของปลั๊กบอลลูนให้เต็มพื้นที่หน้าตัดของท่อ โดยใช้แรงดันลม ตามทฤษฎีการกระจายแรงดันภายในปลั๊กบอลลูน
3. แรงเสียดทานของปลั๊กบอลลูนต่อผนังภายในเส้นท่อ ต้องมีแรงเพียงพอที่จะสามารถหยุดน้ำภายในเส้นท่อจ่ายน้ำได้
4. อุปกรณ์ที่ออกแบบต้องสามารถใช้งานได้คล่องตัว และมีประสิทธิภาพกับระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในระบบท่อจ่ายน้ำชั่วคราว เพื่อใช้ในงานภาคสนามของการประปานครหลวง โดยการทำงาน สามารถติดตั้งอุปกรณ์ได้ ขณะที่ระบบการสูบน้ำยังปกติ
2. การแสดงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ออกแบบ จะพิจารณาว่า อุปกรณ์สามารถหยุดการไหลของน้ำภายในเส้นท่อได้จริงจากภาคสนาม
3. ระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวงที่ใช้ในการวิจัย จะเป็นท่อชนิด พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride : PVC) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นท่อที่มีจำนวนความยาวมากที่สุดในระบบท่อจ่ายน้ำ และมีการดำเนินการทำกิจกรรมภาคสนามมากที่สุดของการประปา นครหลวง
4. การวิเคราะห์เพื่อหาแรงเสียดทานผิวของปลั๊กบอลลูน และผนังท่อชนิด Polyvinyl chloride : PVC จะพิจารณาใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เท่ากับ 0.4 ซึ่งเป็นค่าคงที่

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. รวบรวมศึกษาข้อมูลระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง
2. ศึกษาข้อมูลวัสดุของท่อจ่ายน้ำที่ใช้งานอยู่ในระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง
3. รวบรวมข้อมูลการดำเนินงานภาคสนามของการประปานครหลวง ในระบบท่อจ่ายน้ำ
4. วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น ในงานภาคสนามของการประปานครหลวง ซึ่งทำให้การดำเนินงานภาคสนาม ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ
5. วิเคราะห์ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบการทำงานของอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง
6. ออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำในท่อจ่ายน้ำชั่วคราวของการประปานครหลวง โดยคำนึงถึงความ เป็นไปได้ตามทฤษฎี ความเหมาะสมกับระบบท่อ และลักษณะงานภาคสนาม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน
7. ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง บนแท่นทดสอบ
8. ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง ในพื้นที่ภาคสนามจริง
9. นำผลการทดสอบมาสรุปและประเมินผล อภิปรายผล และหาแนวทางพัฒนาในอนาคตต่อไป

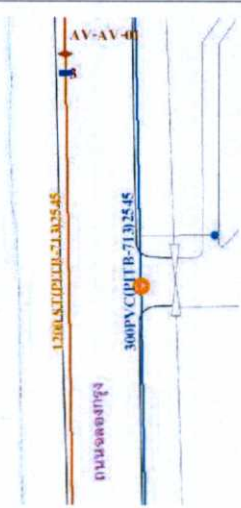
บทที่ 2



ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 ระบบท่อของการประปานครหลวง

ระบบการสูบน้ำของการประปานครหลวง จะเริ่มต้นตั้งแต่การสูบน้ำจากโรงสูบน้ำ โดยปัจจุบันมีโรงสูบน้ำจำนวน 12 สถานี ครอบคลุมทั่วพื้นที่บริการน้ำประปา ซึ่งจะสูบน้ำจากอุโมงค์ส่งน้ำที่รับมาจากโรงงานผลิตน้ำ น้ำที่สูบน้ำจากโรงสูบน้ำจะเคลื่อนที่ไปตามระบบท่อต่างๆของการประปานครหลวง ซึ่งการประปานครหลวงได้แบ่งประเภทท่อในระบบสูบน้ำได้ 3 ประเภท [1] ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ประเภทท่อต่างๆ ในระบบสูบน้ำของการประปานครหลวง

ประเภทท่อ	ลักษณะทางกายภาพ	ภาพสัญลักษณ์ในระบบแผนที่ของการประปานครหลวง
2.1.1 ท่อประธาน	มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 500 มิลลิเมตร ถึง 1,800 มิลลิเมตร เป็นท่อที่มีขนาดใหญ่ โดยในระบบการสูบน้ำของการประปานครหลวงท่อประเภทนี้จะเชื่อมต่อจากสถานีสูบน้ำตั้งอยู่ในพื้นที่บริการ และสูบน้ำผ่านเส้นท่อประธานไปยังท่อต่างๆต่อไป ท่อประธานจะอยู่ภายใต้การควบคุมของสายงานวิศวกรรม การวางท่อประธานจะเริ่มโครงการไปพร้อมกับการก่อสร้างเส้นทางหรือถนนต่างๆทั่วทั้งพื้นที่ เมื่อระยะเวลาผ่านไปเกิดการขยายความกว้างของถนน ซึ่งในปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว จึงส่งผลให้ตำแหน่งแนวเส้นท่อประธานส่วนมากจะอยู่บนเส้นทางพื้นผิวจราจรของถนน และระบบการก่อสร้างวางท่อประธาน ทุกๆ ระยะความยาวท่อ 1 กิโลเมตร จะมีการติดตั้งประตูน้ำแบบปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) เพื่อใช้ในการควบคุมการ ปิด/เปิดระบบการสูบน้ำของท่อประธานในการปฏิบัติงานภาคสนาม ซึ่งส่วนมากในการปฏิบัติงานภาคสนามจะไม่นิยมปิด	 <p>ท่อประธานคือ เส้นสีส้ม ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 1200 มม. ชนิดท่อ ST สัญลักษณ์ติดตั้ง PITB-713 (2545)</p>

	<p>ประตูน้ำท่อประธาน เพราะจะทำให้ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้น้ำเป็นบริเวณกว้าง</p>	
<p>2.1.2 ท่อจ่ายน้ำ</p>	<p>ท่อจ่ายน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 50 มิลลิเมตร ถึง 400 มิลลิเมตร เป็นท่อที่ติดตั้งวางท่อแยกออกมาจากท่อประธาน ท่อประเภทนี้ส่วนใหญ่จะถูกวางตำแหน่งอยู่ในแนวทางเดินเท้าริมถนน ท่อจ่ายน้ำจะอยู่ภายใต้การควบคุมกักกั้นดูแลโดยสายงานบริการ ท่อจ่ายน้ำนี้จะใช้เป็นเส้นท่อหลักในการแบ่งพื้นที่ย่อย (District Metering Area : DMA) เพื่อระบบการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย ระบบท่อจ่ายน้ำจะมีกิจกรรมภาคสนามเป็นจำนวนมาก เช่น การติดตั้งระบบเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย คืออุปกรณ์สื่อสารระยะไกล (Remote Terminal Unit : RTU) ,การสำรวจหาจุดรั่วไหล ,การซ่อมท่อจุดที่รั่วไหล ,การระบายน้ำที่ต่อคุณภาพทิ้ง ,การวางท่อใหม่ทดแทนท่อเดิมที่หมดสภาพการใช้งาน ,การบริการน้ำประปาแก่ประชาชน เป็นต้น ซึ่งการปฏิบัติงานภาคสนามจะมีขั้นตอนหนึ่งที่ต้องปฏิบัติคือ การปิด/เปิดประตูน้ำ เพื่อสนับสนุนกิจกรรมภาคสนาม</p> <p>วัสดุของท่อจ่ายน้ำ ณ ปัจจุบันของการประปานครหลวง ส่วนใหญ่เป็นท่อชนิด Polyvinyl chloride : PVC</p>	 <p>ท่อจ่ายน้ำคือเส้นสีน้ำเงิน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มม. ชนิดท่อ PVC สัญญาติดตั้ง PITB-713 (2545)</p>
<p>2.1.3 ท่อบริการ</p>	<p>ท่อบริการมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 50 มม. ซึ่งท่อบริการจะถูกติดตั้งวางท่อแยกออกมาจากท่อจ่ายน้ำ โดยเป็นท่อขนาดเล็กที่สุดของระบบท่อของการประปานครหลวง โดยทั่วไปแล้วท่อบริการเป็นท่อที่ต่อแยกเข้าบ้านผู้ใช้น้ำ และติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบท่อประเภณี</p>	 <p>ท่อบริการคือเส้นสีดำ ที่ติดตั้งแยกจากท่อจ่ายน้ำ</p>

2.2 วัสดุของท่อในระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง

ในปัจจุบัน การประปานครหลวงให้บริการโดยการสูบน้ำไปยังระบบท่อใต้ดิน เพื่อบริการน้ำประปาแก่ประชาชน ดังนั้น ท่อที่จะนำมาใช้ในระบบการสูบน้ำต้องได้มาตรฐานความปลอดภัย โดยสามารถจำแนกตามวัสดุที่ใช้ ได้ดังนี้

2.2.1 ท่อชนิดเหล็กอาบสังกะสี (Galvanized Steel Pipe : GI)

ท่อชนิดนี้ทำจากเหล็กกล้า ผ่านการอาบสังกะสี สามารถทำเกลียวได้ง่าย ท่อเหล็กอาบสังกะสี ปลายท่อทำเกลียวมาให้พร้อม มีแบบหนาปานกลาง ที่ท่อจะคาคสิ่น้ำเงิน และอย่างหนาที่ท่อคาคสิแดง ในการติดตั้งท่อชนิดนี้ จะค่อนข้างง่าย เพราะด้านปลายของท่อจะมีลักษณะเป็นเกลียวสำหรับขันยึดติดกัน ท่อชนิดนี้เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานาน จะเกิดการผุกร่อนได้ง่าย การวางท่อชนิดนี้ในระบบท่อจ่ายน้ำ ส่วนมากจะติดตั้งในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยากเช่น ชุมชนแออัดริมคลอง เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ท่อชนิดเหล็กอาบสังกะสี

2.2.2 ท่อชนิด (Poly Vinyl Chloride : PVC) สามารถแบ่งแยกการใช้งานตามลักษณะสัญลักษณ์สีต่างๆ ดังนี้

ท่อสีเหลือง เป็นท่อสำหรับร้อยสายไฟฟ้า และสาย โทรศัพท์ เพราะสามารถทนต่อความร้อนได้อย่างดี



รูปที่ 2.2 ท่อ PVC สีเหลือง

ท่อสีเทา เป็นท่อที่ใช้สำหรับการเกษตร หรือน้ำทิ้ง ก็ได้ ราคาค่อนข้างถูก ไม่ค่อยแข็งแรง ควรจะเดินลอย ไม่ควรฝังดิน



รูปที่ 2.3 ท่อชนิด PVC สีเทา

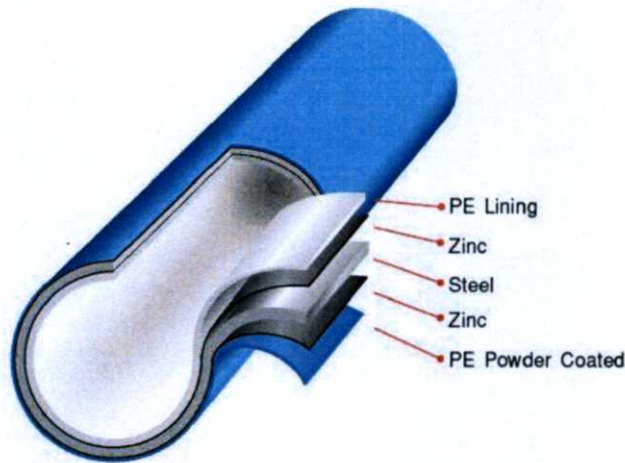
ท่อสีฟ้า เป็นท่อที่ใช้กับระบบน้ำ เช่น น้ำดี น้ำเสีย และการระบาย สามารถทนแรงดันน้ำได้ มากน้อย ตามประเภทของการใช้งาน



รูปที่ 2.4 ท่อชนิด PVC สีฟ้า

ท่อ PVC นี้ เป็นชนิดท่อที่ใช้ในปัจจุบัน การประปานครหลวงใช้งานมากที่สุด เพราะแข็งแรง และการติดตั้งง่าย คุ่มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และเหมาะสมกับพื้นที่ที่ติดตั้ง [1]

2.2.3 ท่อชนิดไฮเลอร์ ภายนอกเป็นท่อเหล็ก GSP ภายในเป็นท่อ PE มีความแข็งแรง รับน้ำหนักได้ดี ทนทานต่อแรง กระทบได้ ไม่หักงอ ทนต่อความดันได้มากกว่า 20 บาร์ และอุณหภูมิ สูง ถึง 90 องศา ไม่เป็นสนิม เหมาะสำหรับ ใช้ติดตั้งใน โรงแรม อาคารขนาดใหญ่ สถานที่ ๆ ที่ต้องการความทนทานสูง หรือสถานที่ที่ยากต่อการซ่อมแซม ท่อชนิดนี้มีราคาสูงเมื่อเทียบกับท่อ ชนิดอื่น ซึ่งการประปานครหลวง ได้เริ่มนำท่อชนิดนี้มาใช้ในระบบท่อจ่ายน้ำ ทดแทนท่อเหล็กเหนียว ST แบบเดิม เพราะจากคุณสมบัติที่กล่าวมา ท่อไฮเลอร์จะมีอายุการใช้งาน ยาวนานกว่าท่อเหล็ก เหนียวแบบเดิม การผุ และเกิดการสึกกร่อน เป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของท่อเหล็ก เหนียว ทำให้มีอายุการใช้งานสั้นลง เพราะฉะนั้น เมื่อใช้ท่อไฮเลอร์ทดแทน ก็จะสามารถยืดอายุการ ใช้งานของท่อที่เป็นวัสดุเหล็ก ที่ท่อถูกวางอยู่ใต้ดินได้ และลดการบำรุงรักษาเส้นท่อลงได้มากขึ้น



รูปที่ 2.5 ท่อชนิดไซเลอร์

2.2.4 ท่อชนิด (Poly Ethylene : PE) ท่อโพลีเอทิลีน หรือ ท่อ HDPE เป็นท่อพลาสติกอีกหนึ่งชนิด ซึ่งมีทั้งที่นำไปใช้เป็นท่อน้ำ และท่อร้อยสายไฟ มีความยืดหยุ่นสูงแต่ไม่สามารถนำมาใช้งานระบบน้ำร้อนได้ เหมาะสำหรับงานระบบประปาที่ฝังอยู่ใต้ดิน เพราะหากมีการทรุดตัวของดินไปกดทับท่อจะไม่ทำให้ท่อแตกได้ง่าย ท่อชนิดนี้มีความคงทน ไม่มีสารทำให้ของไหลเกิดก่อตัวเป็นสนิม และไม่มีสารทำให้เกิดการก่อมะเร็ง แต่ท่อชนิดนี้มีข้อจำกัด หากนำมาใช้กับงานที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอกมาก ด้วยคุณสมบัติของเม็ดพลาสติกเองจะทำให้มีการยืดตัวสูง เกิดท่อหย่อนตัวได้ในที่สุด กและการเชื่อมต่อท่อ ต้องใช้อุปกรณ์และวิธีเฉพาะในการเชื่อมต่อระหว่างท่อ ราคาในการวางท่อชนิดนี้ค่อนข้างสูง จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ที่ในพื้นที่ของการประปานครหลวง มีท่อชนิดนี้ไม่มากนัก



รูปที่ 2.6 ท่อชนิดพีอี

2.25 ท่อชนิดเหล็กเหนียว (Steel : ST) ทำมาจากเหล็กผสมคาร์บอนและทำการม้วนเป็นเกลียว รูปท่อ ท่อชนิดนี้การประปานครหลวงมีการใช้งานอยู่มากพอสมควร เนื่องจากงานก่อสร้างวางท่อใต้ดินที่มีลักษณะรับแรงกดทับจากด้านบนหลังท่อมัก ก็จะพิจารณาใช้ท่อประเภทนี้ เช่น การวางท่อจ่ายน้ำผ่านทางเข้า ออก ที่มีรถยนต์แล่นผ่าน เป็นต้น



รูปที่ 2.7 ท่อชนิดเหล็กเหนียว

2.26 ท่อชนิดซีเมนต์ใยหิน (Asbestos Cement : AC) หรือเรียกว่า ท่อปูน ท่อชนิดนี้มีราคาถูกในงานวางท่อ ในสมัยก่อนเทคโนโลยีในการผลิตท่อยังมีไม่มากนัก ท่อชนิดนี้ถูกนำมาใช้งานในการประปานครหลวงเป็นจำนวนมาก ในระบบท่อจ่ายน้ำ เนื่องจากแข็งแรง คงทน ราคาถูก แต่ในปัจจุบัน ท่อชนิดนี้ได้ถูกเปลี่ยนทดแทนเป็นท่อชนิด PVC แทน เนื่องจากอายุการใช้งานของท่อ AC มีน้อยกว่าท่อชนิดอื่นๆ และท่อชนิดนี้เมื่อครบอายุการใช้งานแล้ว ก็จะย่อยสลายหรือผุ อย่างรวดเร็ว เมื่อเพิ่มแรงดันเข้าระบบท่อจ่ายน้ำ ท่อ AC จะเกิดการระเบิดบ่อยๆ และเกิดจุกรั่วเป็นจำนวนมาก



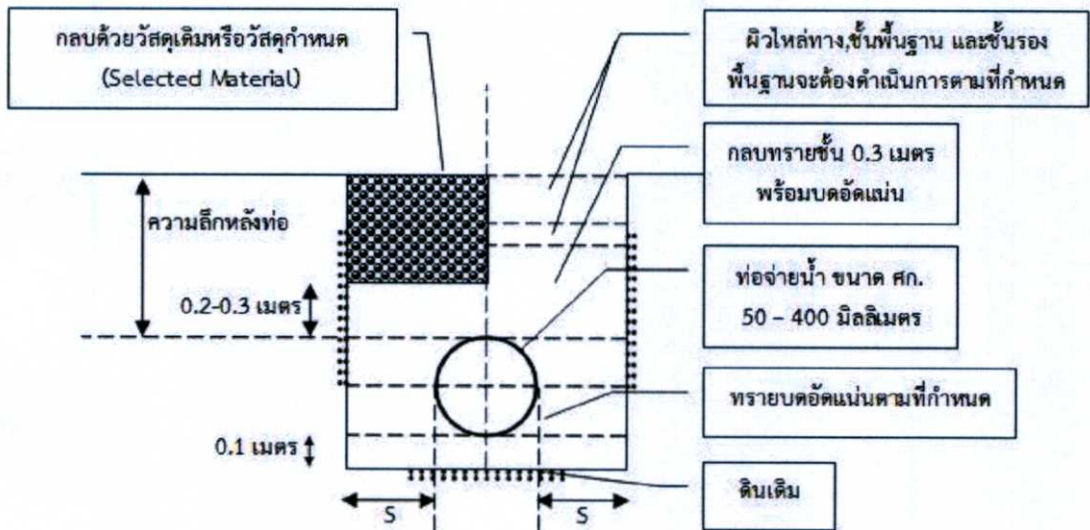
รูปที่ 2.8 ท่อชนิดซีเมนต์ใยหิน

2.3 งานภาคสนามของการประปานครหลวง

การประปานครหลวงได้ดำเนินการให้บริการน้ำประปาครอบคลุมทั้งพื้นที่ 3 จังหวัด คือ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ โดยวิธีการสูบน้ำประปาผ่านระบบเส้นท่อต่างๆ ตามประเภทท่อที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นลักษณะระบบโครงข่ายจำนวนมาก ดังนั้น การปฏิบัติงานสนามของการประปานครหลวงที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อและมีจำนวนมากในแต่ละวัน คือเป็นกิจกรรมการดำเนินงานภาคสนามในพื้นที่ โดยแบ่งตามลักษณะงาน ได้ดังนี้

2.3.1 การวางท่อใหม่

การวางท่อใหม่เป็นงานก่อสร้างวางท่อของการประปานครหลวง เป็นการขยายพื้นที่การให้บริการน้ำประปา การวางท่อที่กล่าวถึงนี้ เป็นการวางท่อในระบบท่อจ่ายน้ำ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ระหว่าง 50 ถึง 400 มิลลิเมตร โดยแนวพื้นที่ติดตั้งวางท่อใหม่จะเป็นแนวท่อบนทางเท้า โดยการวางท่อใหม่ การประปานครหลวงจะเลือกใช้ท่อชนิด PVC ในระบบท่อจ่ายน้ำ และจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานงานก่อสร้างวางท่อ ดังนี้



รูปที่ 2.9 รูปตัดขวางมาตรฐานงานวางท่อ ในระบบท่อจ่ายน้ำ

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานสำหรับงานวางท่อ ในระบบท่อจ่ายน้ำ

ขนาดท่อ (มิลลิเมตร)	50	100	150	200	300	400
ความลึกหลังท่อ (เมตร)	0.30	0.60	0.60	0.80	0.80	0.80
ค่า S (เมตร)	0.03	0.05				

แสดงรูปตัวอย่างของงานวางท่อจ่ายน้ำ ได้ดังนี้



รูปที่ 2.10 การวางท่อ ชนิด PVC ขนาด ศก. 100 มม. ของการประปานครหลวง



รูปที่ 2.11 การบดอัดชั้นทรายให้ได้มาตรฐานในงานวางท่อจ่ายน้ำ

จากรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11 เป็นงานวางท่อจ่ายน้ำ ในหมู่บ้านพื้นที่ขยายเขตบริการ ของสำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการ เป็นท่อชนิด PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ซึ่งมีการบดอัดชั้นทราย ตามข้อกำหนดมาตรฐานงานวางท่อของการประปานครหลวง

2.3.2 การซ่อมท่อแตกรั่ว

ระบบการสูบน้ำในระบบท่อจ่ายน้ำ สิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นตามลักษณะทางกายภาพของท่อที่เป็นส่วนใหญ่และประจำอยู่เสมอ คือ การแตกรั่วของท่อ ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดท่อแตกรั่ว เช่น ท่อมีอายุการใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน การก่อสร้างวางท่อที่ผิดวิธีและไม่ได้มาตรฐาน ข้อต่อหรือการเชื่อมต่อท่อไม่ได้มาตรฐานการที่เพียงพอจากโรงงานหรือจากบุคลากรสนาม เป็นต้น และเมื่อเกิดการแตกรั่วแล้ว ก็ต้องจำเป็นต้องซ่อมท่อที่แตกรั่วให้เร็วที่สุด เพราะหากดำเนินการช้า การประปานครหลวงก็จะเกิดน้ำสูญเสีย ที่รั่วไหลไปเปล่าประโยชน์ ซึ่งวิธีการซ่อมท่อที่แตกรั่ว ส่วนใหญ่ในภาคสนาม จะใช้วิธีขุดเปิดไปที่บริเวณตำแหน่งที่แตกรั่ว ปิดประตูน้ำและทำการซ่อม โดยการซ่อมมีหลายวิธี เช่น การใช้แคลมป์รัดท่อ การตัดบรรจบต่อท่อใหม่ การวางท่อใหม่ เป็นต้น ขึ้นอยู่กับสภาพการแตกรั่ว และระบบท่อบริเวณนั้น สามารถแสดงภาพตัวอย่างการแตกรั่วของท่อ ได้ดังรูป



รูปที่ 2.12 การแตกรั่วของท่อบริการ

จากรูปที่ 2.12 การแตกรั่วเกิดที่ท่อบริการ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.13 การแตกรั่วของท่อจ่ายน้ำ

จากรูปที่ 2.13 การแตกรั่วเกิดที่ท่อจ่ายน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร

2.3.3 การตัดบรจบท่อแยก

ระบบการสูบน้ำของการประปานครหลวง ในพื้นที่บริการรอบนอกเมือง หรือพื้นที่กำลังพัฒนาขยายเมือง เมื่อพื้นที่ขยาย ประชาชนที่ต้องการใช้น้ำประปาเพิ่มมากขึ้น จำเป็นที่ต้องวางระบบท่อจ่ายน้ำใหม่ หรือเพิ่มเติม เพื่อให้การบริการน้ำประปาเป็นไปอย่างทั่วถึง งานภาคสนามนี้เป็นงานที่ค่อนข้างใหญ่และสำคัญ เพราะต้องมีการตัดบรจบท่อจ่ายน้ำใหม่ที่แยกออกมาจากท่อประธานต่อเติม ในการดำเนินการภาคสนาม ก็จำเป็นต้องปิดน้ำระบบท่อประธาน และติดตั้งประตุน้ำใหม่ในระบบท่อจ่ายน้ำ เพื่อบรจบท่อแยกที่เป็นท่อจ่ายน้ำ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การตัดบรจบท่อแยก

2.3.4 การติดตั้งมิเตอร์น้ำ

การติดตั้งมาตรวัดน้ำ เป็นการดำเนินงานภาคสนามที่มีจำนวนมากที่สุด เพราะในพื้นที่การให้บริการน้ำประปาของการประปานครหลวง มีจำนวนผู้ใช้น้ำรายใหม่อยู่เป็นจำนวนมาก งานติดตั้งมิเตอร์มาตรวัดน้ำใหม่จึงมีการดำเนินงานทุกวัน แสดงได้ดังรูป 2.15 และรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 การต่อท่อแยกสำหรับติดตั้งมิเตอร์น้ำ



รูปที่ 2.16 การติดตั้งมิเตอร์น้ำ

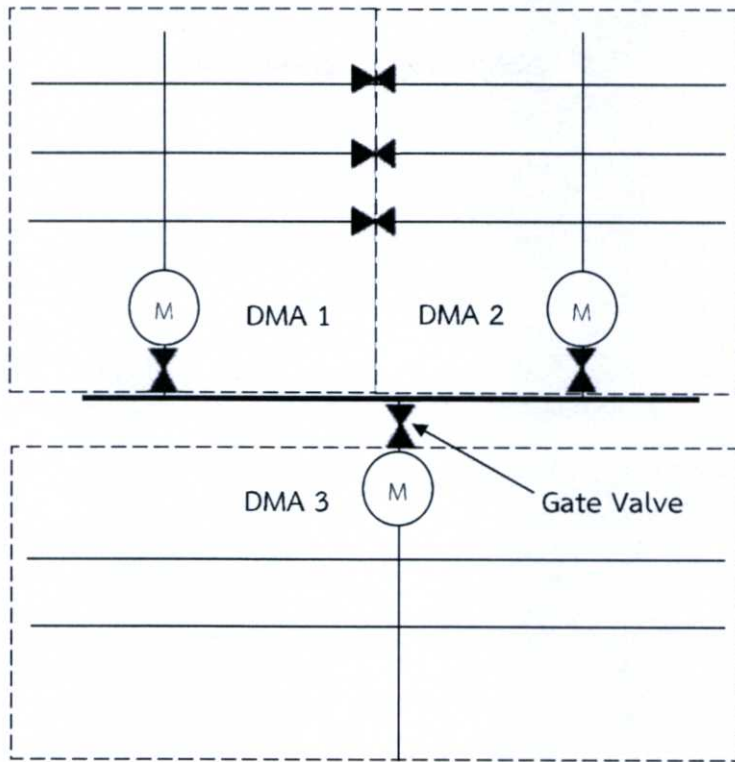
2.3.5 การติดตั้งหัวดับเพลิง

การดำเนินงานนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง เป็นการช่วยเหลือประชาชน เพื่อบรรเทาสาธารณภัย เช่น อัคคีภัย ภาวะภัยแล้ง เป็นต้น

การประปานครหลวง ได้ติดตั้งหัวดับเพลิงแดง ส่วนมากจะเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ไว้ในพื้นที่บริการ นอกจากจะช่วยเหลือบรรเทาสาธารณภัย ยังใช้งานหัวดับเพลิง สำหรับระบายน้ำชุมชนภายในท่อ จากการดำเนินงานภาคสนามต่างๆ อีกด้วย การติดตั้งต้องได้มาตรฐานของการประปานครหลวง แสดงได้ดังรูปที่ 2.17 และรูปที่ 2.18

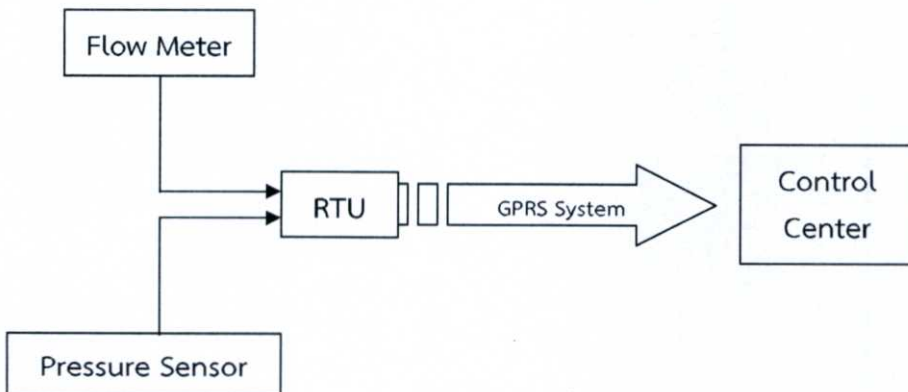


รูปที่ 2.17 ระบบท่อใต้ดินสำหรับงานติดตั้งหัวดับเพลิง



รูปที่ 2.19 การแบ่งพื้นที่ Distric Metering Area (DMA)

องค์ประกอบของ อุปกรณ์ DMA ประกอบด้วย อุปกรณ์หลัก 3 ส่วน คือ มาตรวัดน้ำ (Flowmeter) อุปกรณ์วัดแรงดัน (Pressure Sensor) และ อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมภาคสนาม (Remote Terminal Unit : RTU) ซึ่งสามารถบันทึกและส่งข้อมูล อัตราการไหล และ แรงดันน้ำ ในแต่ละช่วงเวลา ผ่าน สัญญาณมือถือ (GPRS) มายัง Control Center ในแต่ละพื้นที่สำนักงาน ประปาสาขา



รูปที่ 2.20 อุปกรณ์หลักและการทำงาน ของตู้ Remote Terminal Unit : RTU

รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือวัด ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ
 มาตรวัดน้ำ (Flow meter) ที่ การประปานครหลวงใช้งานมีด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบ
 Electromagnetic และแบบใบพัด (Turbine) โดยมาตรวัดน้ำแบบ Electromagnetic เป็นเครื่องวัด
 อัตราการไหลน้ำโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำสนามไฟฟ้า อาศัยตัว electrode ตรวจวัดสนามไฟฟ้าที่
 เกิดขึ้น เพื่อคำนวณอัตราไหลและค่าอื่น ที่เกี่ยวข้อง ส่วนมาตรวัดน้ำแบบใบพัด (Turbine) กับเครื่อง
 บันทึกแบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นมาตรแบบ Woltman และแสดงผลแบบอิเล็กทรอนิกส์ มาตรวัดน้ำ
 ทั้งสองแบบ ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ sensor และชุดแสดงผล



รูปที่ 2.21 Flowmeter แบบ Electromagnetic และแบบใบพัด (Turbine)

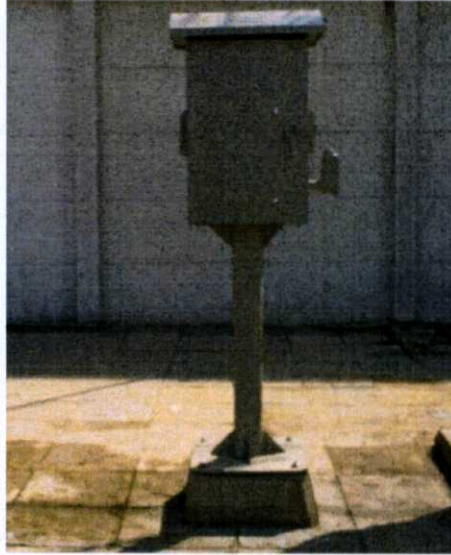
อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำ (Pressure Sensor) อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำเป็นแบบ electronic ใช้
 สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำ สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ระบบตรวจวัดและควบคุม
 ภาคสนาม (RTU)



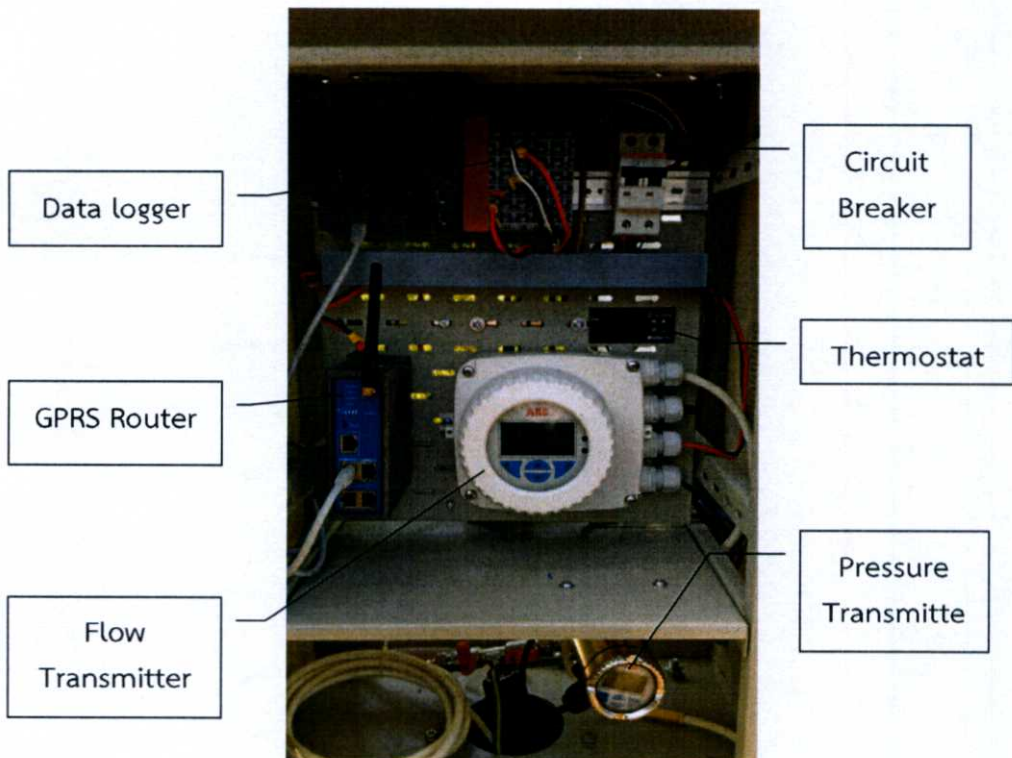
รูปที่ 2.22 Pressure Sensor และจุดวัดแรงดันน้ำบนเส้นท่อ

อุปกรณ์ระบบตรวจวัดและควบคุมภาคสนาม (RTU) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบเฝ้า
 ระวังตรวจสอบน้ำสูญเสียสำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วัดและควบคุมภาคสนาม เช่น มาตรวัดน้ำ และ
 อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำ โดยอุปกรณ์ระบบตรวจวัดฯ สามารถบันทึกข้อมูลภาคสนามและเหตุการณ์
 ผิดปกติที่เกิดขึ้นในพื้นที่เฝ้าระวังลงในหน่วยความจำ และส่งไฟล์ข้อมูลที่บันทึกไว้ไปยังระบบงาน
 บริหารจัดการน้ำสูญเสีย ได้ทั้งแบบ Batch และแบบ Real Time

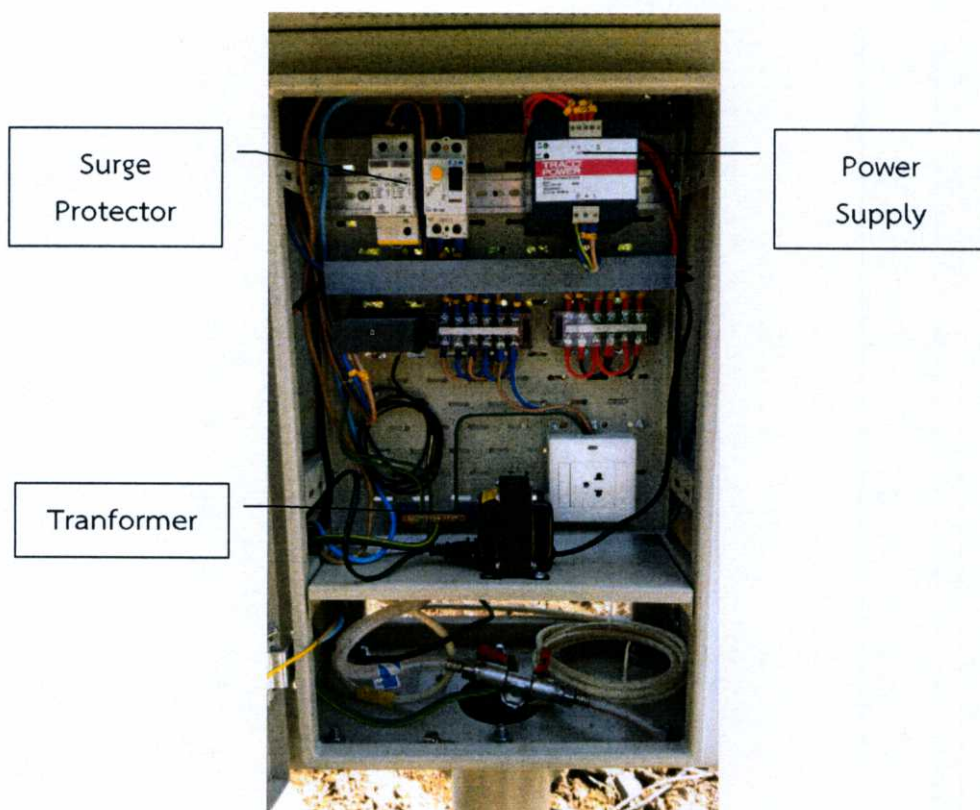
การติดตั้งตู้ RTU การประปานครหลวงจะติดตั้งบริเวณทางเท้า ริมถนนต่างๆทั่วพื้นที่ที่ให้บริการ โดยพื้นที่ 1 DMA จะสามารถมีจุดติดตั้ง RTU 1 จุด หรือมากกว่าก็ได้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ขนาดพื้นที่ของ DMA และระบบท่อของการสูญจ่ายน้ำ เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 สภาพภายนอกตู้ RTU



รูปที่ 2.24 อุปกรณ์ภายในตู้ RTU ด้านหน้า

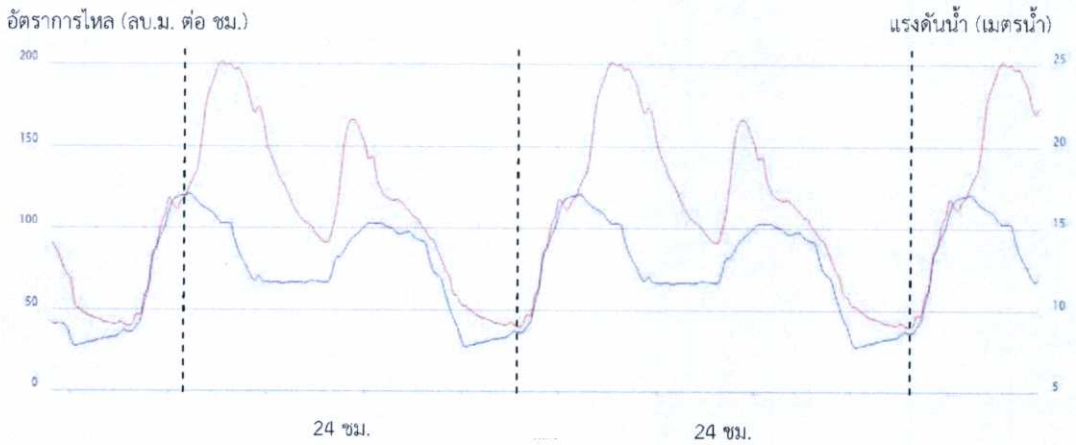


รูปที่ 2.25 อุปกรณ์ภายในตู้ RTU ด้านหลัง

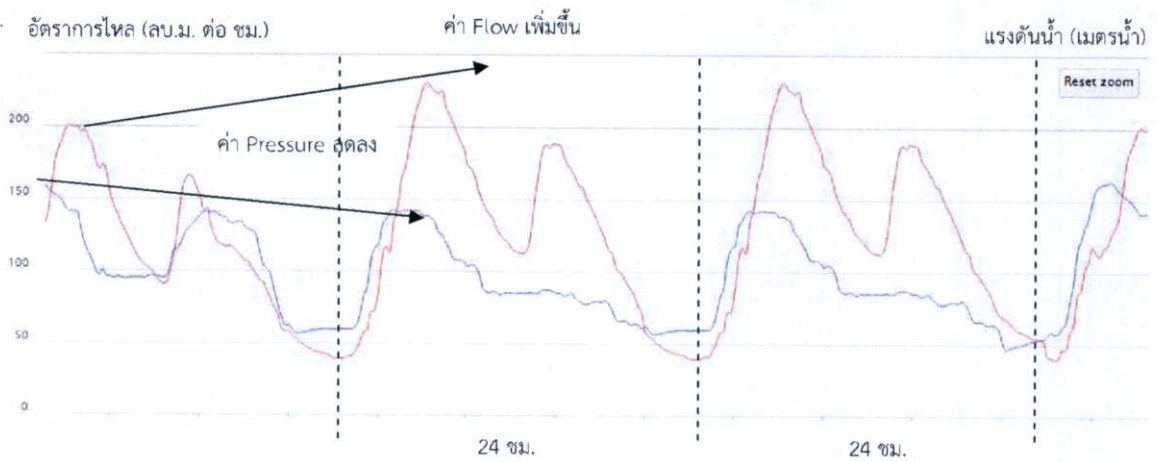
การทำงานโดยทั่วไปของอุปกรณ์ DMA มีลักษณะคล้ายกันตามภาพด้านบน ประกอบด้วยมาตรวัดน้ำ (Flow Meter) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลอัตราการไหล ส่งผ่านตัวแปรสัญญาณ (Converter / Transmitter) ไปยังอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data Logger) และอุปกรณ์วัดแรงดัน (Pressure Sensor) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแรงดัน ส่งไปยังอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data Logger) หลังจากนั้นชุดควบคุมส่วนกลาง (Control Center) ในแต่ละสาขาจะเรียกใช้งานข้อมูลทั้งอัตราการไหลและแรงดัน ผ่านอุปกรณ์ส่ง สัญญาณมือถือ (GPRS Router) เพื่อใช้ในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลจากอุปกรณ์ DMA โดยข้อมูลที่ได้ จะมีอยู่ 2 ชนิด คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) และแรงดันน้ำ (เมตรน้ำ) ซึ่งรูปแบบการไหลภายในพื้นที่ DMA นั้น เมื่ออัตราการใช้น้ำเป็นปกติ จะมีรูปแบบการไหลที่สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 2.26 จากเส้นกราฟข้อมูลจะเห็นได้ว่า ช่วงเช้าของวันกราฟข้อมูลจะมีค่าอัตราการไหลที่สูงและแรงดันที่สูงตามไปด้วย เพราะเนื่องจากประชาชนผู้ใช้น้ำ มีการใช้น้ำมากในกิจกรรมตอนเช้า เช่น การใช้น้ำเพื่ออุปโภค การอาบน้ำ เป็นต้น และหากเกิดเหตุการณ์ภาคสนามเช่นท่อระเบิดแตกรั่ว หรือมีการลักใช้น้ำขนาดใหญ่ กราฟข้อมูลที่ได้จาก DMA จะแสดงรูปแบบการไหลได้ ดังรูปที่ 2.27 หมายความว่า หากเกิดท่อระเบิดแตกรั่ว หรือลักใช้น้ำขนาดใหญ่ เส้นกราฟอัตราการไหลจะยกตัวสูงขึ้น พร้อมกับเส้นกราฟอัตราการไหลจะลดระดับลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเกิดเหตุการณ์รูปแบบของเส้นกราฟที่ผิดปกติไปจากเดิม

ผู้ดูแลควบคุม DMA จะรีบเข้าไปทำกิจกรรมเพื่อตรวจสอบว่าเส้นท่อเส้นไหนใน DMA เป้าหมายที่เกิดการรั่วไหล เพื่อทำการชี้จุดรั่วไหล (Pin Point) และดำเนินการรีบซ่อมจุดรั่วไหลต่อไป



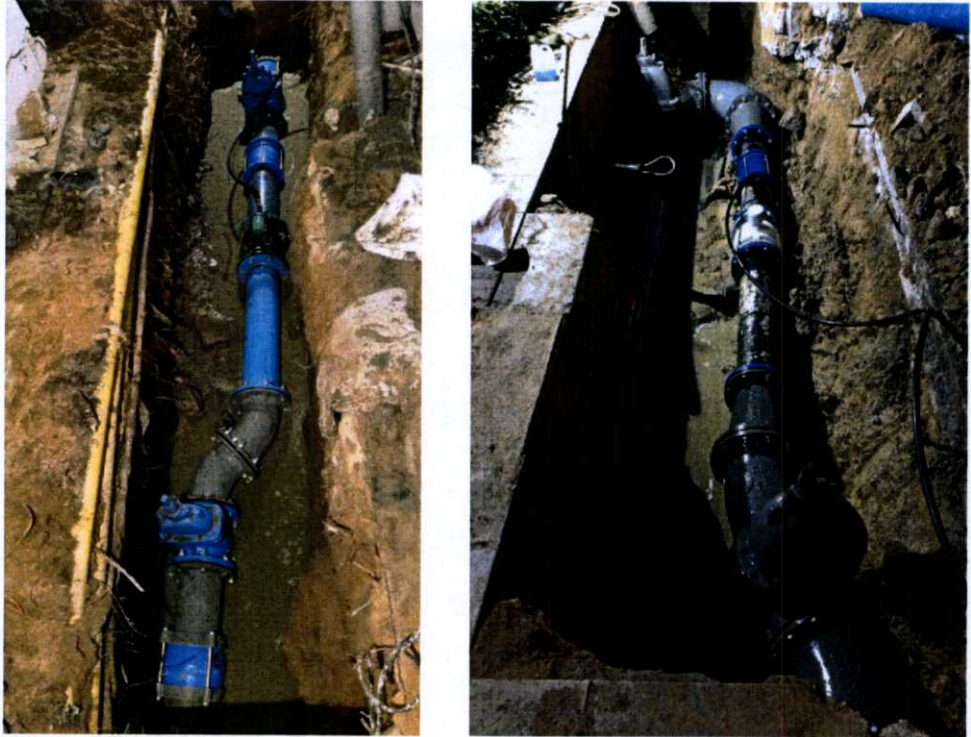
รูปที่ 2.26 รูปแบบการไหลของน้ำปกติ ในระบบ DMA
 เส้นสีแดง หมายถึง อัตราการไหลของน้ำ (ลบ.ม. ต่อ ชม.)
 เส้นสีน้ำเงิน หมายถึง แรงดันน้ำ (เมตรน้ำ)



รูปที่ 2.27 รูปแบบการไหลของน้ำ เมื่อเกิดท่อระเบิดแตกรั่ว
 เส้นสีแดง หมายถึง อัตราการไหลของน้ำ (ลบ.ม. ต่อ ชม.)
 เส้นสีน้ำเงิน หมายถึง แรงดันน้ำ (เมตรน้ำ)

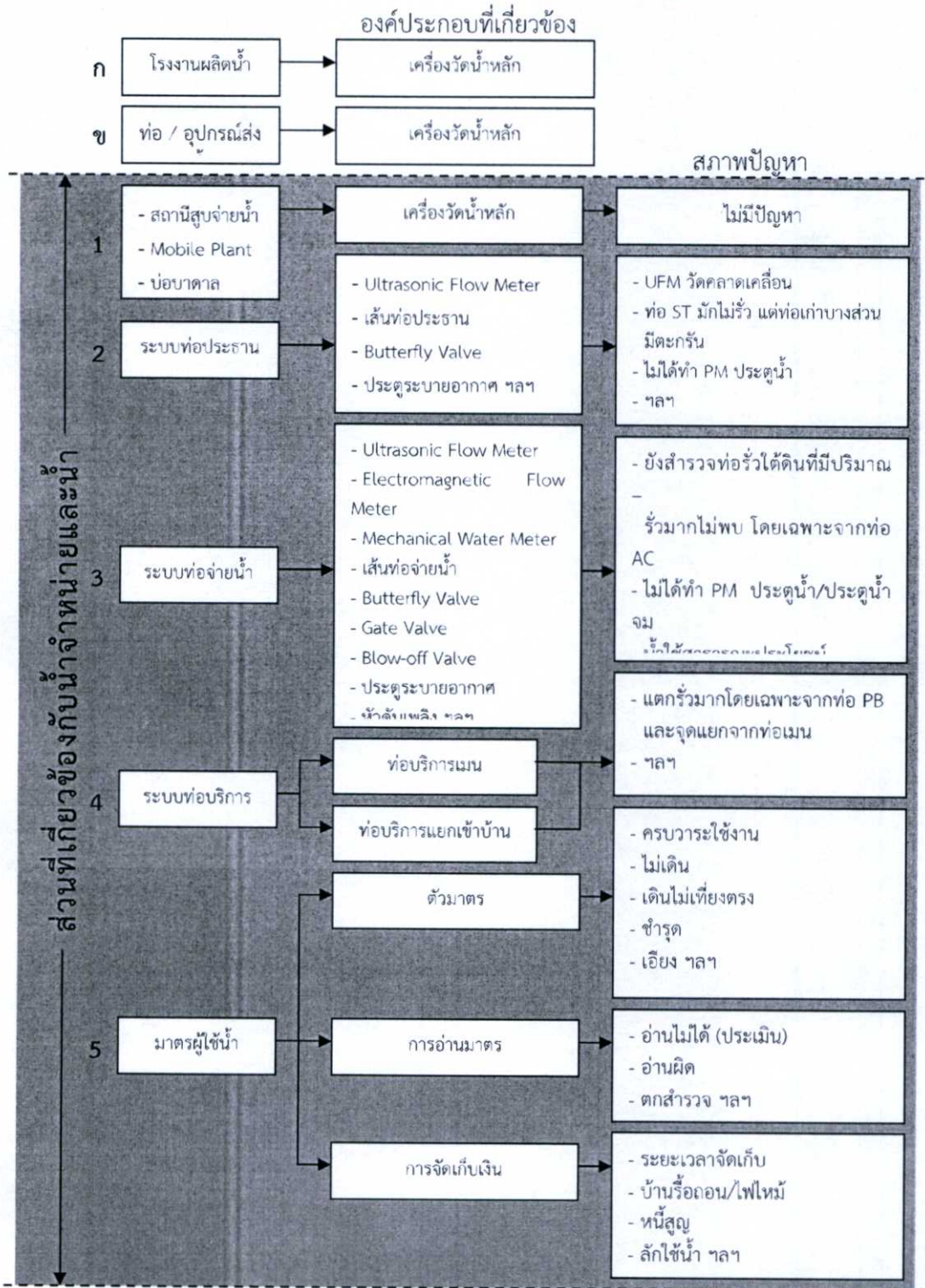
ในการปฏิบัติงานปกติ ช่วงเวลาหาจุดรั่วไหลจะไม่มากกว่า 1 สัปดาห์และช่วงเวลาในการซ่อมจะอยู่ภายใน 1 วัน ดังนั้นช่วงเวลาที่รู้ว่ามี การรั่วไหลเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำการสูญเสีย ซึ่งถ้าทราบว่ามี การรั่วไหลเร็วเท่าไร ก็จะสามารถลดน้ำสูญเสียได้มากยิ่งขึ้น

โดยในปัจจุบัน การประปานครหลวง ได้ดำเนินโครงการสัญญาจ้างปรับปรุงทดแทนระบบเผื่อระวังน้ำสูญเสียที่หมดสภาพการใช้งาน โดยเปลี่ยนทดแทนมิเตอร์มาตรวัดน้ำที่ใช้กับ DMA ในรอบครบวาระในการบำรุงรักษา ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนกิจกรรมภาคสนามมากขึ้น โดยการปรับปรุงทดแทนนี้ จะดำเนินการในระบบท่อจ่ายน้ำโดยตรง ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 งานปรับปรุงทดแทนระบบเผื่อระวังน้ำสูญเสีย

2.4 งานลดน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง

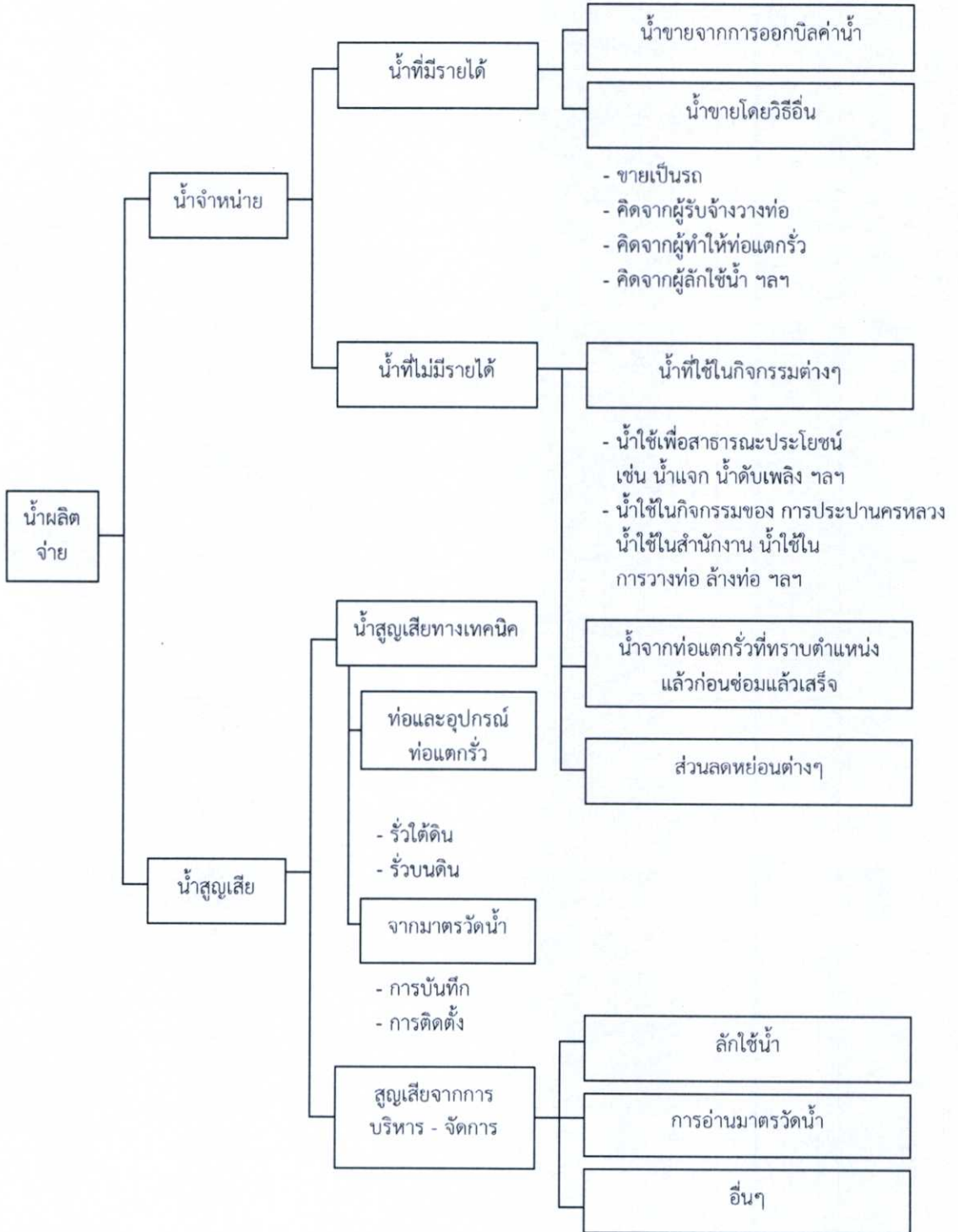


รูปที่ 2.29 องค์ประกอบของงานลดน้ำสูญเสียการประปานครหลวง

2.4.1 การจำแนกปริมาณน้ำผลิตจ่ายของการประปานครหลวง

การประปานครหลวง ใช้หลักการในการคิदन้ำสูญเสีย ดังนี้

$$\text{น้ำผลิตจ่าย} = \text{น้ำจำหน่าย} + \text{น้ำสูญเสีย}$$



รูปที่ 2.30 การจำแนกองค์ประกอบน้ำสูญเสีย

2.4.2 การจัดทำบัญชีปริมาณน้ำ

ตารางที่ 2.3 บัญชีสมดุลน้ำในระบบผลิต และระบบจ่ายน้ำ

บัญชีสมดุลน้ำในระบบผลิตน้ำ

<p>1</p> <p>ปริมาณน้ำดิบเข้าสู่ระบบ</p> <p>System Input Volume</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>2</p> <p>ปริมาณน้ำดิบที่ได้อบรมนุญต์</p> <p>Authorized Consumption</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>2.1</p> <p>ปริมาณน้ำดิบที่สร้างรายได้</p> <p>Revenue Raw Water</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>2.1.1</p> <p>ปริมาณน้ำดิบที่ขายเป็นเงินค่ามาตร</p> <p>Billed Metered Consumption</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>4</p> <p>ปริมาณน้ำที่สร้างรายได้</p> <p>Revenue Water</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	
			<p>2.1.2 (*)</p> <p>ปริมาณน้ำคิดที่ส่งให้สถานีประปาสาขาจำหน่ายให้ผู้ใช้</p> <p>Billed Metered for Branch Offices</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>		
		<p>3</p> <p>ปริมาณน้ำสูญเสีย</p> <p>Water Losses</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>3.1</p> <p>ปริมาณน้ำสูญหาย</p> <p>Apparent Loss</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>3.1.1</p> <p>ปริมาณน้ำสูญหายจากความคลาดเคลื่อน (Error) ในการบันทึกปริมาณน้ำ</p> <p>Metering Inaccuracies</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>5</p> <p>ปริมาณน้ำที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้</p> <p>Non - Revenue Water</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>
			<p>3.2</p> <p>ปริมาณน้ำสูญเสียจริง</p> <p>Real Losses</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>3.2.1</p> <p>ปริมาณน้ำที่สูญหายไปก่อนส่งน้ำ</p> <p>Extraneous Raw Water Transmission System</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	
				<p>3.2.2</p> <p>ปริมาณน้ำสูญหายในระบบผลิตของ</p> <p>Losses on Production System</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	
			<p>3.2.3</p> <p>ปริมาณน้ำที่สูญเสียในระบบส่งน้ำ</p> <p>Real Losses on Transmission Conduit</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>		

บัญชีสมดุลน้ำในระบบจ่ายน้ำ

<p>1 (*)</p> <p>ปริมาณน้ำเข้าสู่ระบบ (จากโรงกรองสถานีสูบน้ำที่ในเทศบาล)</p> <p>System Input Volume</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>2</p> <p>ปริมาณน้ำที่อนุญาต</p> <p>Authorized Consumption</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>2.1</p> <p>ปริมาณน้ำที่สร้างรายได้</p> <p>Billed Authorized Consumption</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>2.1.1</p> <p>ปริมาณน้ำที่ขายการออกมิเตอร์ (ค่ามาตร)</p> <p>Billed Metered Consumption</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>4</p> <p>ปริมาณน้ำที่สร้างรายได้</p> <p>Revenue Water</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	
			<p>2.1.2</p> <p>ปริมาณน้ำที่คิดมิเตอร์ ในเงินค่ามาตร</p> <p>Billed Unmetered Consumption</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>		
			<p>2.2</p> <p>ปริมาณน้ำที่ไม่มีการคิด</p> <p>Unbilled Unauthorized Consumption</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>2.2.1</p> <p>ปริมาณน้ำที่ไม่ได้ติดตั้งเงินค่ามาตร</p> <p>Unbilled Metered Consumption</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>5</p> <p>ปริมาณน้ำที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้</p> <p>Non - revenue Water</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>
				<p>2.2.2</p> <p>ปริมาณน้ำที่ไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์ (ไม่จ่ายค่า)</p> <p>Unbilled Unmetered Consumption</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	
		<p>3</p> <p>ปริมาณน้ำสูญเสีย</p> <p>Water Losses</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>3.1</p> <p>ปริมาณน้ำสูญหายจากการบริหารจัดการ</p> <p>Apparent Losses</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>3.1.1</p> <p>ปริมาณน้ำที่สูญหายจากมิเตอร์</p> <p>Unauthorized Consumption</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	
			<p>3.1.2</p> <p>ปริมาณน้ำจากมาตรวัดน้ำไม่เที่ยงตรง</p> <p>Metering Inaccuracies</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>		
		<p>3.2</p> <p>ปริมาณน้ำสูญหายทางด้านเทคนิค</p> <p>Real Losses</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>	<p>3.2.1</p> <p>ปริมาณน้ำรั่วในระบบท่อประปา ท่อจ่ายน้ำ และท่อบริการ</p> <p>Leakage of Pipes & nozzles</p> <p>.....ม³/ปี, เดือน</p>		

2.4.3 การจำแนกการเกิดน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง

ตารางที่ 2.4 การจำแนกการเกิดน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง

จุดที่สูญเสีย	สาเหตุ - สภาพปัญหา	มาตรการ และ การจัดการ
1. ตัวท่อ	1. ชนิดท่อและอุปกรณ์	1. การจัดการข้อมูลระบบท่อ
2. ข้อต่อ	2. ประเภทของวัสดุ	ประวัติการก่อสร้าง การซ่อม
และอุปกรณ์ประกอบ	3. มาตรฐานของวัสดุ	และแผนที่ระบบท่อ
3. ประตุน้ำ	4. อายุการใช้งาน	2. การบริหารงานก่อสร้าง
4. ประตุน้ำ	5. การผูกเรือนทั้งภายในและ	วางท่อ
5. ประตุน้ำ	ภายนอกท่อ	3. การประสานงาน
6. ประตุน้ำหน้ามาตร	6. การทรุดตัวของพื้นดิน	การก่อสร้างกับหน่วยงานอื่น
วัดน้ำ	7. การเคลื่อนตัวของดินข้าง	4. การบริหารการสูบน้ำ
7. ดับเพลิงสาธารณะ	แนวท่อ	5. การเลือกใช้ท่อและอุปกรณ์
8. อุปกรณ์ท่อแยกเข้าบ้าน	8. ตำแหน่งที่วางท่อ	6. การปรับปรุงมาตรฐาน
	9. ความลึกของท่อ	การต่อท่อแยกเข้าบ้าน
	10. ลักษณะการวางท่อเข้าบ้าน	7. การจัดการในการสำรวจ
	12. ผลกระทบจากน้ำหนักและ	หาท่อรั่วและทำการซ่อม
	การสั่นสะเทือนของการจราจร	8. การจัดการด้านการปรับปรุง
	13. ผลกระทบจากการ	หรือเปลี่ยนท่อ
	เปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ	9. จัดการฝึกอบรมทั้งทาง
	14. พฤติกรรมของผู้ปฏิบัติงาน	ทฤษฎีและปฏิบัติแก่
	ในสนาม	ผู้ที่เกี่ยวข้อง
	15. มาตรฐานการก่อสร้าง	

2.4.4 มาตรการป้องกันน้ำสูญเสีย

มาตรการป้องกันน้ำสูญเสีย แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ มาตรการพื้นฐานขั้นต้น (Fundamental Measure) มาตรการแก้ไข (Symptomatic Measure) และมาตรการปรับปรุงป้องกัน (Preventive Measure) ดังตารางที่ 2.5 ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนและวางแผนทางป้องกันน้ำประปาสูญเสียเป็นอย่างมาก โดยจะต้องดำเนินการทุก ๆ ด้านพร้อมกันไป และควรกำหนดช่วงระยะเวลาของการปฏิบัติงานของแต่ละกิจกรรมไว้ตามที่เหมาะสม

ตารางที่ 2.5 มาตรการงานลดน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง

มาตรการ	งาน	กิจกรรม
ขั้นต้น	เตรียมงานขั้นพื้นฐาน	จัดหาและเตรียมสถิติข้อมูลต่าง ๆ พร้อมทั้งแหล่งที่มาของข้อมูล จัดทำแผนที่ระบบท่อประปาและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ประตูน้ำ ประตูระบายอากาศ มาตรวัดน้ำ หัวดับเพลิง กำหนดพื้นที่ที่จะดำเนินการสำรวจ และตรวจสอบ ความถูกต้องของอุปกรณ์เครื่องวัดน้ำต่าง ๆ เป็นต้น
	ตรวจสอบสภาพที่แท้จริง	หาปริมาณหรืออัตราการรั่วไหลในระบบการจ่ายน้ำ วัดแรงดันน้ำในระบบส่งและจ่ายน้ำ ตรวจสอบสาเหตุที่ทำให้ท่อแตกรั่วแล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์
	ศึกษา ปรับปรุง และพัฒนาท่อ-อุปกรณ์ท่อ	ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงชนิด-ขนาดของท่อ และอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ประตูน้ำ ข้อต่อท่อ มาตรวัดน้ำ ให้ทันสมัยและเหมาะสมกับสภาพที่ใช้งานอยู่เสมอ
	เร่งด่วน	ซ่อมท่อรั่ว "ทุกจุด" ทันที
แก้ไข	งานที่ต้องปฏิบัติตลอดเวลา	สำรวจหาตำแหน่งที่ท่อรั่ว "ใต้ดิน" และท่อรั่ว "บนดิน" ที่ต้องใช้เครื่องมือกำหนดตำแหน่ง และรีบซ่อมทันที
ปรับปรุง	วางแผนงานป้องกัน	ในการวางแผน ต้องผนวกแผนงานสำรวจท่อรั่วเข้าไว้ด้วย
ป้องกัน	งานออกแบบและก่อสร้าง	ต้องออกแบบและก่อสร้างวางท่อและอุปกรณ์ท่อนั้น ให้ทนต่อแรงกระทำจากภายนอก เช่น พื้นดินทรุด แผ่นดินไหว การถูกกัดกร่อนจากสภาพความเป็นกรดต่างของดิน ฯลฯ เลือกชนิดท่อที่คงทนได้ในแต่ละลักษณะของพื้นที่วางท่อเพื่อให้มีอายุการใช้งานยาวนาน ท่อและข้อต่อจะต้องสามารถกันการรั่วซึมได้ และต้องหล่อแทนและตอกเข็มเพื่อเสริมความมั่นคงแข็งแรงที่สามทางหรือท่อโค้งเสมอ
	ปรับปรุงลักษณะและโครงสร้าง	เสริมท่อที่วางในบางจุดให้แข็งแรงขึ้น เช่น ต้องสวมท่อปลอกในแนวท่อที่วางข้ามถนนบริเวณสี่แยก หรือลอดใต้ทางรถไฟ ฯลฯ ทุกแห่ง
	ป้องกันระบบท่อ	ป้องกันท่อประปาและอุปกรณ์ท่อไม่ให้ชำรุดหรือผุกร่อนง่าย เช่น เคลือบผิวท่อทั้งภายในและภายนอก หล่อแทนและตอกเข็มรับโค้ง ติดตั้งมาตรวัดน้ำในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อความสะดวกในการตรวจสอบดูแลบำรุงรักษา เป็นต้น
	ยกเลิกท่อเดิมให้หมด	ตัดท่อที่ไม่ใช้งาน ออกจากระบบการจ่ายและจำหน่ายน้ำ "อย่างสิ้นเชิง" ซึ่งควรตัดท่อที่ยกเลิกแล้วพร้อมกับอุดปลั๊กตรงจุดที่บรรจบกับท่อเมนเดิม

2.4.5 สาเหตุที่ทำให้ท่อประปาแตกรั่ว

สาเหตุสำคัญที่มีผลทำให้ท่อประปาชำรุดแตกรั่ว ประกอบด้วย

2.4.5.1 แรงดันน้ำ แรงดันน้ำประปาที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ปริมาณน้ำสูญเสียเพิ่มขึ้น เพราะโดยทั่วไปจำนวนจุดแตกรั่วก็จะเพิ่มตามไปด้วย และจุดรั่วเดิมที่เป็นเพียงตามด้นนั้นเมื่อแรงดันน้ำประปามากขึ้นจุดนั้นก็ขยายใหญ่ขึ้น (แต่เมื่อแรงดันน้ำสูงการตรวจหาจุดรั่วไหลก็จะสะดวกกว่าเดิม โดยเฉพาะการใช้เครื่องมือตรวจหาเนื่องจากเสียงที่เกิดจากการรั่วไหลจะดังขึ้น) แรงดันน้ำที่ไม่คงที่ เช่น การใช้เครื่องสูบน้ำโดยตรงจากระบบท่อประปา หรือการปิดเปิดประตูน้ำบ่อยครั้ง ก็เป็นผลให้ท่อประปาแตกรั่วได้ง่ายขึ้นเช่นกัน ฯลฯ เป็นต้น

2.4.5.2 การเคลื่อนตัวและการทรุดตัวของดิน เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น การก่อสร้างอาคารสูง ๆ การก่อสร้างใกล้เคียงแนวท่อประปา การลดลงของระดับน้ำใต้ดิน ฯลฯ เหล่านี้ทำให้ท่อหรือข้อต่อท่อแตกหลุดจากกัน เพราะท่อไม่สามารถทนต่อแรงนี้ได้ หรือการก่อสร้างวางท่อไม่ถูกต้องตามหลักเกณฑ์ทางวิศวกรรม ก่อสร้าง ผิดไปจากแบบมาก และการเลือกชนิดท่อหรืออุปกรณ์ท่อที่ไม่ถูกต้อง เมื่อดินมีการเคลื่อนและทรุดตัวเป็นผลให้ ท่อแตกหักเสียหาย ทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำประปาในระบบท่อได้

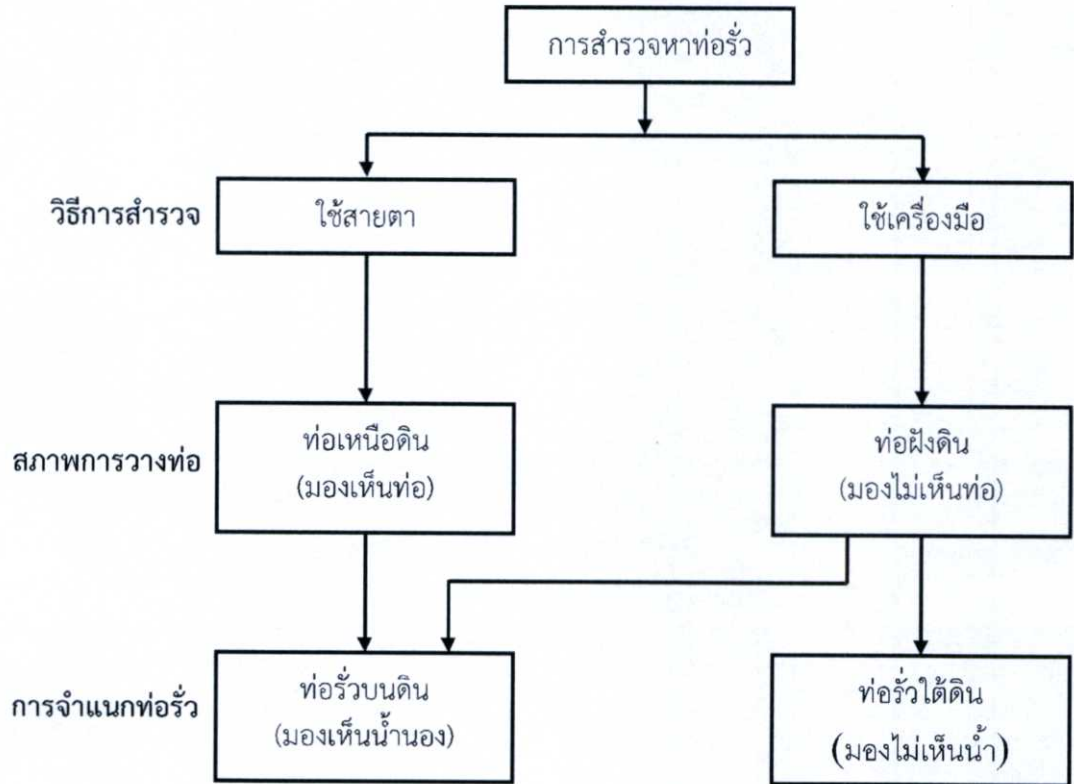
2.4.5.3 การกัดกร่อน ในสภาพที่พื้นดินเป็นกรด-ด่าง หรือมีความเค็ม เป็นเหตุให้ท่อที่เป็นโลหะผุกร่อนจากภายนอกเข้าไป หรือหากน้ำประปานั้นไม่บริสุทธิ์เพียงพอ ท่อก็จะถูกกัดกร่อนจากภายในออกมาได้ การรั่วไหลของน้ำประปาจึงเกิดขึ้น จึงควรเปลี่ยนใช้ท่อที่ไม่ใช่โลหะแทน หรือเลือกใช้ท่อที่มีการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการ กัดกร่อนไว้เป็นอย่างดี

2.4.5.4 สภาพการจราจร แรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการจราจรหรือรถที่น้ำหนักบรรทุกมากก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ท่อสั่นคลอนและอาจเกิดการแตกรั่วได้ในที่สุด ดังนั้นในการวางท่อจึงควรหลีกเลี่ยงการวางใต้ผิวจราจรให้มากที่สุด หรืออาจต้องพิจารณาวางท่อให้ลึกพอสมควรแต่ต้องไม่ลึกเกินไป เพราะจะไม่สะดวกในการตรวจสอบดูแลบำรุงรักษาและขุดซ่อมเมื่อมีการชำรุดรั่วไหลเกิดขึ้น

2.4.5.5 อายุการใช้งานของท่อและอุปกรณ์ท่อ ท่อและอุปกรณ์ท่อทุกชนิดมีอายุการใช้งาน เมื่อถึงเวลาที่สมควรจึงควรเปลี่ยนวางท่อใหม่ทดแทนท่อเดิม ท่อที่จะต้องเปลี่ยนเหล่านี้จะสังเกตได้จากการที่มีการแตกรั่วอยู่เสมอและต้องซ่อมบ่อยครั้ง ซึ่งการเปลี่ยนจะคุ้มต่อการลงทุนมากกว่าการที่จะต้องซ่อมอยู่เป็นประจำ

2.4.5.6 พฤติกรรมของผู้ปฏิบัติงาน ความละเอียดรอบคอบในการปฏิบัติงานก็เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้หลีกเลี่ยงปัญหาท่อแตกรั่วได้ทางหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ในการปิดเปิดประตูน้ำ หากปิดเปิดไม่เต็มที่ อาจทำให้ประตูน้ำรั่วซึมได้ หรือการใช้น้ำจากหัวดับเพลิงแล้วลืมปิดประตูน้ำ ก็อาจทำให้น้ำรั่วออกมาทางฝากรอบได้ หรือการหยุดบ่อบาดาลหากไม่ปิดประตูน้ำแบบเกต (Gate Valve) หน้าบ่อฯ น้ำในท่อประปาก็จะไหลกลับลงสู่บ่อบาดาล ผ่านทางประตูน้ำกั้นกลับ (Check Valve) ได้เช่นกัน รวมทั้งมีการลืมเปิดประตูระบายน้ำ (Blow-off Valve) ทิ้งไว้โดยไม่ปิดให้สนิทเต็มที่ ฯลฯ เป็นต้น

2.4.6 การจำแนกการสำรวจท่อรั่ว



รูปที่ 2.31 การจำแนกการสำรวจหาท่อรั่ว

2.4.6.1 **ท่อรั่วบนดิน** หมายถึง ท่อรั่วที่มองเห็นน้ำรั่วที่ผิวดินหรือผิวจราจร ไม่ว่าจะท่อที่รั่วนั้นจะอยู่บนดินหรือฝังอยู่ใต้ดินก็ตาม

2.4.6.2 **ท่อรั่วใต้ดิน** หมายถึง ท่อรั่วที่มองไม่เห็นน้ำที่รั่ว เพราะน้ำนี้จะไหลลงสู่ใต้ดินหรือไหลลงสู่ท่อระบายน้ำ เป็นต้น และส่วนใหญ่จะเกิดกับท่อที่วางฝังไว้ใต้ดิน จึงต้องใช้เทคนิค พร้อมทั้งประสบการณ์ และเครื่องมือสำรวจหาท่อรั่ว เพื่อค้นหาตำแหน่งรั่ว

2.4.7 ข้อแตกต่างระหว่างท่อรั่วบนดินกับท่อรั่วใต้ดิน

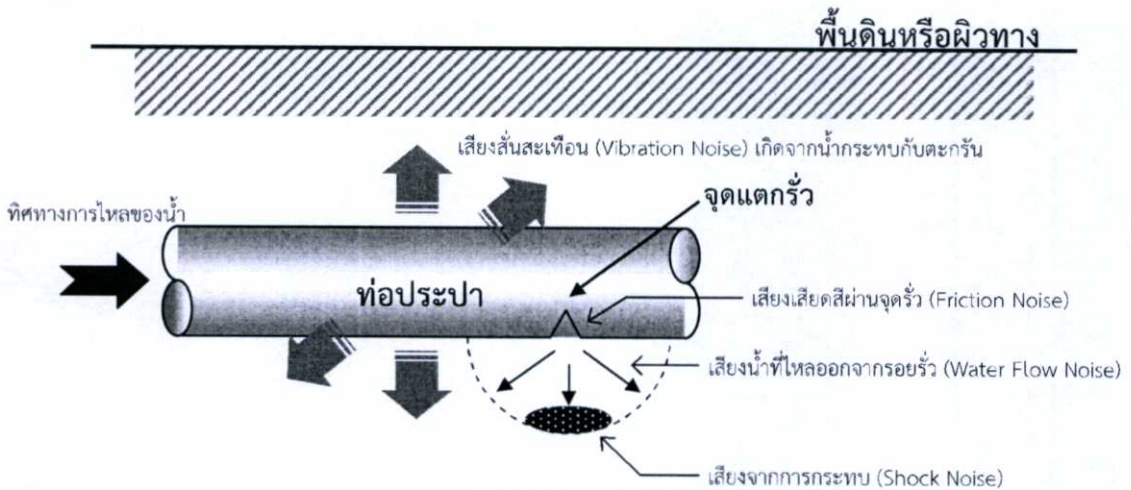
ตารางที่ 2.6 ข้อแตกต่างระหว่างท่อรั่วบนดินและรั่วใต้ดิน

ข้อแตกต่าง	ท่อรั่วบนดิน	ท่อรั่วใต้ดิน
ชนิดของท่อรั่ว	น้ำรั่วขึ้นสู่ผิวดิน ง่ายต่อการค้นหา	น้ำไหลลงสู่ใต้ดิน หรือไหลลงท่อน้ำทิ้ง ทำให้ตรวจหายาก
สภาพของสิ่งแวดล้อม	เกิดขึ้นในบริเวณที่ไม่มีท่อระบายน้ำทิ้ง ไม่มีทางเท้า-ไหล่ทาง และดินเป็นจำพวก ที่ไม่ยอมให้น้ำไหลผ่านได้ เช่น ดินเหนียว ดินที่ใช้ในการทำแบบพิมพ์ เป็นต้น	เกิดขึ้นในบริเวณที่มีท่อระบายน้ำทิ้ง ใต้ทางเท้า-ไหล่ทาง น้ำที่รั่วจะไหลลงท่อระบาย หรือไหลลงสู่แอ่งน้ำลำคลอง หรือซึมลงสู่ใต้ดิน และดินเป็นจำพวก กรวด ทราย เป็นต้น
ปริมาณน้ำที่รั่วไหล	ปริมาณน้ำสูญเสีย้น้อยหากรีบทำการซ่อม แม้ว่าจุดรั่วจะเกิดขึ้นบ่อย เพราะสามารถตรวจพบได้ง่าย ทำให้ซ่อมได้อย่างรวดเร็ว	ปริมาณน้ำสูญเสีย้มาก แม้ว่าจุดรั่วจะเกิดขึ้นน้อยกว่า ท่อรั่วบนดินก็ตาม เนื่องจากตรวจพบยาก ทำให้การรั่วไหล เป็นไปอย่างต่อเนื่องยาวนาน
อันตรายจากการรั่ว	ทำให้เกิดความเสียหายโดยตรง เช่น ฐานรากของอาคาร ถนนทรุด เนื่องจากดินทรายถูกน้ำพัดพาให้ไหลออกมา เกิดอุปสรรคต่อการจราจร และน้ำเสียจะไหลเข้าไปในท่อประปา ตรงจุดรั่วหากมีการใช้เครื่องสูบน้ำ สูบจากท่อประปาโดยตรง บริเวณที่มีการรั่ว เป็นต้น	ทำให้เสียหายต่อเศรษฐกิจโดยอ้อม เช่น เมื่อมีการรั่วทำให้แรงดันน้ำ ลดลง อัตราการไหลในระบบ DMA g เพิ่มขึ้น และมีปริมาณน้ำสูญเสีย้มากขึ้น จึงอาจเก็บค่าน้ำได้น้อยลง นอกจากนั้นยังทำให้ถนนทรุด เป็นอุปสรรคและอันตรายต่อ การจราจร และหากใช้เครื่องสูบน้ำ สูบจากท่อประปาโดยตรง น้ำเสียก็ จะไหลเข้าสู่ระบบท่อได้ ฯลฯ
วิธีแก้ไข	ต้องรีบทำการแก้ไขอย่างรวดเร็ว เช่น หากจุดรั่วไหลด้วยการเดินตรวจ ประชาสัมพันธ์เร่งเร้า ให้มีการแจ้งท่อรั่วที่พบเห็น และรีบทำการซ่อมทันที โดยจัดหน่วยซ่อมฉุกเฉินไว้ตลอดเวลา	ต้องจัดการบริหารงานโดยให้มี หน่วยงานสำรวจหาท่อรั่วใต้ดิน ปรับปรุงเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง กับงานสำรวจพัฒนาทางเทคนิค เช่น จัดฝึกอบรมผู้เกี่ยวข้อง และงานนี้จะต้องจัดทำ ในรูปของโครงการต่อเนื่อง

2.4.8 เสียงที่เกิดจากท่อรั่ว

เสียงที่เกิดจากท่อแตกรั่วนั้น เป็นเสียงผสมที่มีความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 100 ถึง 2,000 เฮิรตซ์ (Hertz : Hz) ซึ่งเกิดขึ้นจาก

1. เสียงการสั่นสะเทือนที่เกิดจากน้ำประปาที่ไหลในเส้นท่อกระทบกับผิวในของท่อ ซึ่งมักมีตะกรันเกิดขึ้น ท่อเก่าจึงมักมีเสียงน้ำไหลดังกว่าท่อใหม่
2. เสียงเสียดสีที่เกิดจากน้ำไหลผ่านรอยแตกรั่วของท่อ
3. เสียงน้ำที่ไหลออกมาจากรอยรั่วของท่อตามข้อ 2
4. เสียงที่เกิดจากน้ำที่รั่วไหลออกไปกระทบกับก้อนหินหรือวัสดุที่อยู่ใต้ดิน บริเวณที่ท่อรั่ว



รูปที่ 2.32 แสดงต้นเหตุของเสียงที่เกิดจากท่อรั่ว

ถ้าน้ำมีแรงดันสูง แต่ขนาดของรอยรั่วเล็ก ทำให้มีการเสียดสีที่รอยรั่วมาก เสียงที่ได้ยินก็จะ เป็นเสียงความถี่สูง แต่เสียงที่กระทบกับวัตถุภายนอกจะค่อย และปริมาณน้ำรั่วไหลก็จะน้อยกว่ากรณี รอยรั่วใหญ่ ถ้ารอยรั่วใหญ่ เสียงเสียดสีจะน้อย แต่เสียงกระทบจะดัง ทำให้เกิดเสียงความถี่ต่ำ เป็นต้น

2.5 เทคนิคในการสำรวจหาท่อรั่วใต้ดิน

วิธีการสำรวจหาท่อรั่วใต้ดิน การสำรวจหาตำแหน่งรั่วไหลในระบบท่อประปาที่ฝังอยู่ใต้ดิน ซึ่งไม่สามารถค้นหาได้ด้วยสายตานั้น สรุปได้ คือ เมื่อเริ่มปฏิบัติงาน จะต้องพิจารณาค้นหาตำแหน่งรั่ว "อย่างคร่าว ๆ" ซึ่งเรียกว่าเป็น การหาบริเวณรั่ว โดยวิธี "เดินโดยละเอียด" เพื่อสังเกตหาสิ่งผิดปกติไป ตามแนวท่อประปาและพิจารณาหา จุดรั่วไหล จาก การไหลวนของน้ำ และความใสของน้ำในบ่อพัก ของท่อน้ำทิ้ง หรือคูคลองต่าง ๆ ฯลฯ พร้อมสังเกตทิศทางการไหลของน้ำด้วย สังเกตน้ำที่นองผิวจราจร หรือทางเดินเท้า เป็นต้น โดยตรวจสอบดูลักษณะการไหลวนหรือความไม่นิ่งของน้ำ แต่ต้องพิจารณาให้

แน่ใจว่าเกิดจากน้ำทิ้งหรือน้ำท่วมขังหรือไม่ สังเกตด้วยการดมกลิ่นคลอรีนที่อาจหลงเหลืออยู่ในน้ำ หากน้ำนั้นเป็นน้ำที่รั่วจากท่อประปา ตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำและสังเกตปริมาณน้ำที่พบซึ่งมากขึ้นในเวลากลางคืนและลดลงในเวลากลางวันหรือไม่ เพราะโดยสภาพทั่วไปแล้วในเวลากลางคืนจะมีการใช้น้ำน้อย น้ำจึงรั่วไหลมากกว่าในเวลากลางวัน สังเกตรอยทรุดระหว่างตัวอาคารกับทางเท้า ซึ่งมักเป็นสาเหตุที่ทำให้ท่อประปาที่บรรจุเข้ากับมาตรวัดน้ำชำรุดแตกหลุด ทดสอบแรงดันน้ำโดยการวัดหรือสอบถามผู้ใช้น้ำว่าแรงดันน้ำที่ไหลลดลงบ้างหรือไม่ กรณีสำรวจหาท่อรั่วในเวลากลางคืนในช่วงเวลาที่มีอากาศเย็นมากหรือหนาวจัดให้ทดลองใช้ไฟฉายส่องไปยังที่ที่มีน้ำนอง หากเป็นน้ำประปารั่วก็อาจเห็นโอจาง ๆ เนื่องจากน้ำประปามีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก และสูงกว่าน้ำอื่น ๆ ที่ไหลนองอยู่แล้ว สังเกตด้วยการฟังเสียงรั่วของน้ำที่ฉีดไปกระทบผิวดิน ผิวน้ำจากร หรือ ทางเท้า ฯลฯ ซึ่งเกิดจากแรงดันน้ำของน้ำประปาที่รั่วไหลออกมาจากระบบท่อ เมื่อได้ดำเนินการแล้ว ขั้นตอนต่อไปต้องใช้เครื่องมือสำรวจหาท่อรั่ว ทำการตรวจหาเพื่อกำหนดตำแหน่งรั่วที่แน่นอนต่อไป

2.6 อุปสรรคที่ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการกำหนดตำแหน่งที่ท่อประปารั่ว

2.6.1 ลักษณะการแตกรั่ว กรณีท่อแตกรั่วเป็นจุดใหญ่ในบริเวณที่น้ำประปามีแรงดันสูงและท่อประปาฝังอยู่ภายใต้ พื้นดินที่ร่วนและอ่อน น้ำที่รั่วไหลออกมามักจะไปกระทบกับวัตถุแข็ง เช่น ปูนหรือก้อนหิน เป็นต้น ทำให้เกิดเสียงของแรงฉุด เป็นเหตุให้ผู้สำรวจโดยใช้เครื่องมือเข้าใจผิดคิดว่าจุดที่ได้ยินเสียงนั้นคือจุดรั่วที่แท้จริง ในกรณีนี้จึง มีความจำเป็นที่จะต้องนำแผนที่หรือแผนผังแสดงแนวและตำแหน่งท่อประปาใช้ประกอบในการสำรวจหาตำแหน่งรั่วด้วย จะได้ทราบว่าจุดรั่วจริงนั้นควรอยู่ที่ตำแหน่งใด

2.6.2 สภาพของพื้นผิว ที่จะต้องค้นหาตำแหน่งรั่ว เช่น ผิวน้ำจากรที่เป็นคอนกรีตหนา จะทำให้เสียงฉุดของน้ำประปากระจายไปทั่ว และอาจจางหายไปหรือค่อยลงมาก ในกรณีนี้ควรขุดทรายให้เป็นแอ่งและวิดหรือสูบน้ำที่นองออกให้หมด แล้วสังเกตว่าน้ำขึ้นมาตรงจุดใดมากที่สุด จากนั้นควรพยายามขุดให้ใกล้เส้นท่อที่ฝังอยู่เพื่อใช้เครื่องมือสำรวจหาท่อรั่วกำหนดตำแหน่งรั่วที่แน่นอน แต่หากดำเนินการเองไม่ได้ ควรขอความร่วมมือจากหน่วยซ่อมขุดให้ถึงหลังท่อที่สงสัยแล้วจึงใช้เครื่องมือสำรวจตรวจฟังที่หลังท่อที่ขุดแล้ว ก็จะสามารถระบุได้ว่า ท่อเส้นนั้นรั่วหรือไม่ แต่บางครั้งแม้ว่าขุดถึงหลังท่อแล้วก็ตามก็ยังไม่พบน้ำรั่วขึ้นมาให้เห็น แม้ว่าตรงนั้นจะเป็น จุดรั่วจริงทั้งนี้เพราะเป็นการรั่วใต้ตัวท่อ และน้ำรั่วได้ไหลเซาะลงไปทำให้เกิดเป็นโพรง ในกรณีนี้จำเป็นต้องขุด ลงไปถึงใต้ตัวท่อ ก็จะพบจุดรั่วดังกล่าว

2.6.3 ความลึกของท่อประปา ก็เป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการตรวจหาจุดรั่ว หรือกรณีที่ท่อฝังอยู่ ภายใต้อาคารหลาย ๆ เพราะเสียงที่เกิดจากน้ำประปารั่วจะจางหายไปมาก ทำให้ใช้เครื่องมือตรวจหาไม่พบ

2.6.4 เสียงรบกวน เช่น เสียงจากหม้อแปลงไฟฟ้า เสียงเครื่องปรับอากาศ เสียงตู้แช่น้ำอัดลมแบบหยอดเหรียญ เสียงปั๊ม-มอเตอร์ เสียงลม เสียงน้ำทิ้งไหลลงท่อระบายน้ำ เสียงรถยนต์ และเสียงไฟฟ้าไหลลงสู่ดิน ฯลฯ เป็นต้น เหล่านี้ เป็นอุปสรรคที่สำคัญมากต่อการสำรวจหาท่อรั่วใต้ดิน เพราะทำให้ผู้ปฏิบัติงานไขว่เขวและตรวจหาจุดรั่วลำบากขึ้น หากพบเสียงเหล่านี้ก็ต้องค้นหาสาเหตุของต้นเสียงให้ได้ และเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหมั่นฝึกฝนทักษะประสบการณ์ในการ

พิจารณาแยกเสียงต่าง ๆ ที่คล้ายกับเสียงน้ำรั่วและเสียงที่รบกวนการสำรวจ จนกระทั่งเกิดความชำนาญ

2.7 ระบบประตูน้ำของการประปานครหลวง

ระบบประตูน้ำ (VALVE SYSTEM) ที่ติดตั้งในระบบท่อประปาถือเป็นหัวใจสำคัญในการควบคุมการส่งจ่ายน้ำ และการซ่อมแซมบำรุงรักษา ซึ่งจะทำให้การบริการของการประปานครหลวงเป็นที่พึงพอใจของประชาชน อีกทั้งเป็นส่วนสำคัญในการลดปัญหาน้ำสูญเสียในระบบท่อ ซึ่งเป็นปัญหาหลักของการประปานครหลวงอีกส่วนหนึ่งด้วย โดยมีวัตถุประสงค์ของการใช้งาน เช่น

- ใช้สำหรับปิด - เปิดน้ำในเส้นท่อ (On-Off Service) เพื่อการซ่อมแซม บำรุงรักษาระบบท่อประปาหรือการหยุดจ่ายน้ำ เช่น ประตูน้ำลิ้นเกท (Gate Valve) ประตูน้ำชนิดลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve)

- ใช้สำหรับควบคุมอัตราการไหลของน้ำ (Throttling Service) เพื่อการแบ่งสรรปริมาณน้ำ (Flow) ที่จ่ายผ่านประตูน้ำไปยังพื้นที่ที่ต้องการ เช่น ประตูน้ำลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve)

- ใช้สำหรับควบคุมทิศและรักษาระดับความดันในระบบท่อ (Pressure Control Service) กรณี

ต้องการควบคุมและแบ่งระบบความดันจ่ายน้ำในระบบท่อประปาให้มีความแตกต่างกัน เช่น ประตูน้ำปรับความดัน (Pressure Reducing Valve)

- ใช้สำหรับควบคุมทิศทางการไหลของน้ำให้ไหลได้เพียงทางเดียว เช่น ประตูน้ำกั้นกลับ (Check Valve)

2.7.1 ประเภทและชนิดของประตูน้ำ

ประตูน้ำที่ใช้งานในระบบท่อส่ง-จ่ายน้ำประปา ที่ใช้ในการประปานครหลวง สามารถแบ่งออกได้ ตามชนิดประตูน้ำ ได้แก่ ประตูน้ำชนิดลิ้นเกท (Gate Valve) และประตูน้ำชนิดลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve)

2.7.1.1 ประตูน้ำชนิดลิ้นเกท (Gate Valve)

รายละเอียดเกี่ยวกับประตูน้ำชนิดลิ้นเกท (Gate Valve) ประตูน้ำชนิดลิ้นเกท หรือประตูน้ำเหล็กหล่อลิ้นยก ที่ใช้ในกิจการของการประปานครหลวงเป็นชนิดลิ้นยกก้านไม่ยก (Non-rising stem) การทำงานของลิ้นเลื่อนขึ้น - ลง (เปิด - ปิด) ในแนวตั้ง ตั้งฉากกับแนวเส้นทางน้ำผ่านการปิด - เปิด ประตูน้ำชนิดนี้โดยการขันผ่านแป้นประแจขันกรณีประตูน้ำติดตั้งใต้ดิน และหมุนพวงมาลัยกรณีประตูน้ำติดตั้งเหนือดิน รอบในการปิด - เปิดประตูน้ำ ของการประปานครหลวงคำนวณได้ จากสูตรจำนวนรอบ (โดยประมาณ) = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประตูน้ำ / 8 ประตูน้ำเหล็กหล่อลิ้นยก ในกิจการของการประปานครหลวงมี 2 แบบ ประตูน้ำเหล็กหล่อลิ้นยก : ลิ้นยกโลหะ และประตูน้ำเหล็กหล่อลิ้นยก : ลิ้นหุ้มยาง



รูปที่ 2.33 ประตูน้ำชนิดลิ้นเกต (Gate Valve)

ประตูน้ำเหล็กหล่อลิ้นยก เหมาะสำหรับงานที่ต้องปิดและเปิดลิ้นเต็มที่โดยไม่ขวางทางไหลของน้ำ เพราะหากใช้เพื่อปรับปริมาณการไหลของน้ำ โดยการเปิดลิ้นครึ่งๆ กลางๆ จะทำให้เกิดการไหลรัดแล้วขยายของน้ำ (Wire Drawing) และเกิดฟองอากาศซึ่งจะเซาะเนื้อโลหะและทำให้ลิ้นสั้น เป็นผลให้บารับลิ้นสึกกร่อนหรือลิ้นเบี้ยวร่องลิ้น เป็นเหตุให้ประตูน้ำปิดได้ไม่สนิท

2.7.1.2 ประตูน้ำชนิดลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve)

รายละเอียดเกี่ยวกับประตูน้ำชนิดลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ประตูน้ำลิ้นปีกผีเสื้อ ที่ใช้ในกิจการของการประปานครหลวงระบบท่อประธานทำหน้าที่ปิด - เปิดน้ำ และควบคุมปริมาณการไหลของน้ำในเส้นท่อ ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย สามารถปิดกั้นน้ำได้สนิท เนื่องจากมีแหวนยางเป็นวัสดุกันรั่ว ขณะประตูน้ำเปิดสุดลิ้นประตูน้ำและแกนประตูน้ำยังขวางทางน้ำไหลอยู่การใช้ประตูน้ำลิ้นปีกผีเสื้อ มีข้อจำกัดของความเร็วน้ำที่ไหลผ่านไม่ควรเกิน 2.4 เมตรต่อวินาที (8 ฟุตต่อวินาที) เมื่อใช้ประตูน้ำฯ ควบคุมปริมาณการไหลไม่ควรให้อัตราส่วนแรงดันต้นน้ำต่อด้านท้ายน้ำมากกว่า 2:1 มิฉะนั้นอาจเกิด Cavitation ทำให้ประตูน้ำ ท่อ และอุปกรณ์ใกล้เคียงเสียหายจนรั่วได้ ข้อดีของประตูน้ำลิ้นปีกผีเสื้อ



รูปที่ 2.34 ประตูน้ำชนิดลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve)

2.7.2 การปิด - เปิดประตูน้ำ

เนื่องจากการปิด-เปิดประตูน้ำในระบบท่อส่ง/จ่ายน้ำ ทั้งในกรณีการซ่อมแซมท่อประปา อุปกรณ์ต่อการควบคุมปริมาณ ความดันส่งจ่ายน้ำประปา การตรวจสอบประสิทธิภาพของประตูน้ำ ฯลฯ อันเป็นเหตุให้ระบบส่งจ่ายน้ำหยุดชะงักขาดตอน ซึ่งมีผลให้ผู้ใช้บริการได้รับความเดือดร้อน นอกจากนี้ การใช้งานปิด-เปิดประตูน้ำในระบบท่อประปา อาจมีผลกระทบต่อการผลิต-จ่ายน้ำจากแหล่งต่างๆ เช่น สถานีสูบน้ำ โรงงานผลิตน้ำ เป็นต้น ดังนั้น การประสานงานที่ระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานประตูน้ำ ย่อมจะมีผลให้การบริการประชาชนที่สะดวก เกิดความประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและเสริมสร้างภาพพจน์ที่ดีของ การประปานครหลวง โดยมีกิจกรรมที่จำเป็นต้องปิด-เปิดประตูน้ำ ดังนี้ การซ่อมท่อแตกรั่ว การตัดบรรจบท่อประปาที่วางใหม่เข้ากับท่อประปาเดิม การสำรวจหาท่อรั่วด้วยระบบพื้นที่ DMA การล้างเส้นท่อ การหยุดสถานีสูบน้ำ โรงงานผลิตน้ำ การงดจ่ายน้ำแก่ผู้ใช้น้ำ การเปิดจ่ายน้ำเข้าเส้นท่อประปาที่วางใหม่ และการควบคุมปริมาณความดันน้ำในระบบท่อประปา

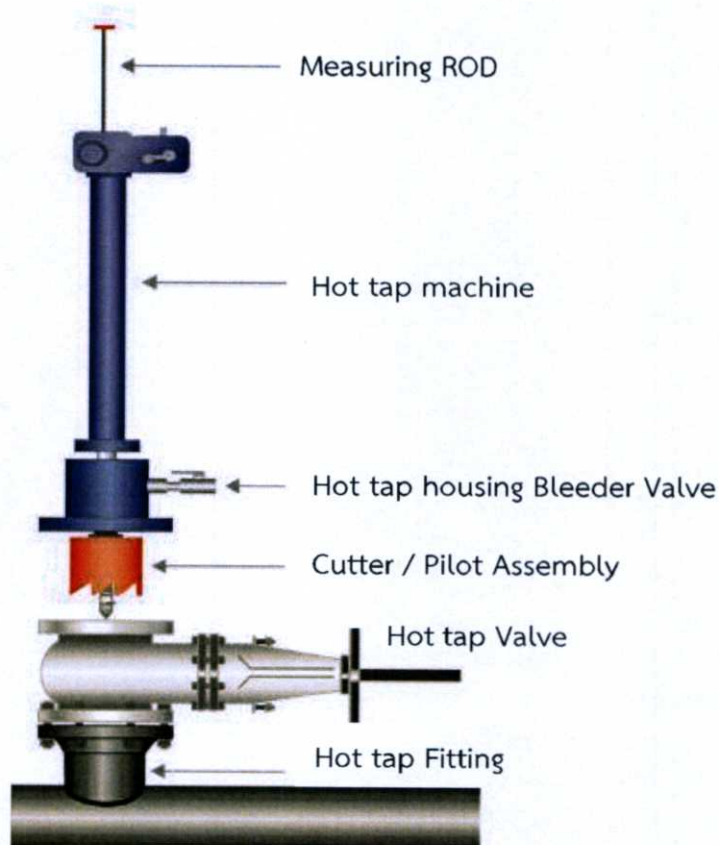


รูปที่ 2.35 การดำเนินงาน ปิด - เปิด ประตูน้ำภาคสนาม

2.8 เครื่องมือเจาะท่อแยกโดยไม่ต้องหยุดการสูบน้ำ (Hot Tapping)

เทคโนโลยี Hot tapping - Line stopping เป็นการขุดเจาะ ท่อน้ำโดยไม่ต้องหยุดน้ำ สามารถทำให้ การซ่อมท่อ และ ย้ายท่อเมนหลัก โดยไม่ต้องปิดระบบน้ำ พื้นที่รอบข้างก็ไม่ต้องเจอผลกระทบจากการใช้น้ำไม่พอ โดยวิธีการที่ใช้เจาะท่อเพื่อทำการ Reroute แนวท่อใหม่ ทำท่อแยก เพื่อส่งของไหลไปยังจุดอื่นโดยที่ของไหลยังคงไหลอยู่ในท่อตลอดเวลา เรียกว่า Hot Tap ก่อนที่จะทำการเจาะท่อเพื่อทำ Hot Tap นั้นจะต้องเตรียมอุปกรณ์ บุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญเป็นพิเศษ ระบบความปลอดภัย Emergency Plan จัดทำ Hazard Area, Hazob Case Study, Procedure

การทำงาน ตลอดจนแบบDrawing และการทำงานให้พร้อม ถ้าต้องทำ Line Bypass เพื่อให้ของไหลไหลผ่านได้ในขณะทำการก่อสร้างแนวท่อเดิม ก็ต้องจัดเตรียมให้พร้อมด้วยเช่นกัน การ Verify ท่อเดิม (Existing Pipe) ถือเป็นขั้นตอนแรกๆ ที่สำคัญ เนื่องจากต้องนำข้อมูลที่ได้จากการ Verify ไปออกแบบอุปกรณ์ Split Tee Sealing Element สำหรับกันของไหลไม่ให้ไหลผ่านได้เมื่อต้องการตัดท่อเพื่อเปลี่ยนแนว(Reroute) ท่อเดิม โดยให้ของไหลไหลผ่าน LineBypass แทนSplit Tee with Lock-O-Ring เป็นอุปกรณ์ Fitting ที่สำคัญในการที่จะเชื่อมยึดกับท่อเดิมเพื่อให้อุปกรณ์ที่ใช้เจาะ Tapping Machine เชื่อมต่อหน้าแปนเข้าท่อ Line Bypass, Balloon Insert, Stopple Plug ใช้งานได้ โดย Split Tee จะเชื่อมเป็น Sleeve หุ้มท่อเดิมไว้อย่างถาวร ในการระหว่างการเชื่อม Split Tee ติดกับท่อเดิมในขณะที่มีของไหลไหลอยู่ในท่อ เช่น ก๊าซ, น้ำมัน ต้องทำตาม Welding Procedure Specification (WPS) อย่างเคร่งครัด ซึ่งต้องมีอุปกรณ์วัดอุณหภูมิในขณะที่เชื่อมตามข้อกำหนดด้วย หลังจากนั้นต้องทำการทดสอบ NDT เช่น MT เพื่อยืนยันความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม และทำ Pneumatic Test ที่ตัว Split Tee ด้วยเพื่อทดสอบการรั่วซึมอีกครั้ง โดยจะติดตั้ง วาล์วไว้ด้วย เพื่อใช้ควบคุมการปิด/เปิดของไหลเข้าสู่ท่อ Bypassหรืออาจใช้เพื่อป้องกันของไหลรั่วออกมาเมื่อจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หน้าแปน เป็นต้น ภายหลังจากการทำเจาะ Hot Tap เสร็จสิ้นแล้ว จะใส่ Complete Plug with Scarf Nipple และ Blind Flange ปิดที่ตัว Split Tee ไว้เพื่อความปลอดภัย โดยที่ตัว Complete Plug with Scarf Nipple จะเชื่อมติดกับชิ้นงานท่อที่ถูกเจาะขึ้นมา (Coupon) เพื่อป้องกันการค้างของ Pig Gauging สำหรับรูเจาะขนาดใหญ่ไว้ด้วย [1]



รูปที่ 2.36 เครื่องมือ Hot Taping

2.9 ปัญหาการดำเนินงานภาคสนาม

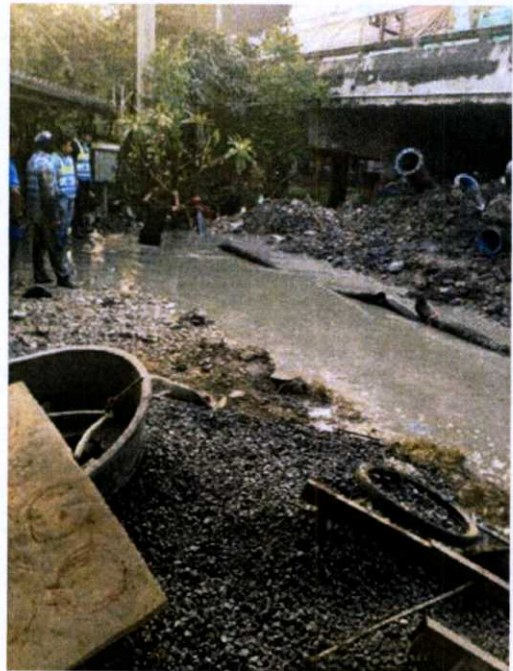
2.9.1 ประตุน้ำชำรุด ปัญหานี้เป็นหาหลักส่วนใหญ่ของการประปานครหลวง โดยการดำเนินกิจกรรมภาคสนามต่างๆ จำเป็นที่ต้องใช้งานประตุน้ำ เพื่อเป็นการปิด เปิด การไหลของน้ำภายในเส้นท่อ หากประตุน้ำเกิดชำรุดแล้ว ก็ไม่สามารถดำเนินการภาคสนามได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.9.2 ทึบประตุน้ำถูกฝังอยู่ใต้ดิน พื้นที่ของการประปานครหลวงเป็นพื้นที่สาธารณูปโภค จึงมีหลายหน่วยงานที่ใช้พื้นที่ร่วมกับการประปานครหลวง บางครั้งหน่วยงานได้ปรับปรุงพื้นที่ทางเท้า ซึ่งเป็นตำแหน่งของทึบประตุน้ำ จึงถูกปิดทับทำให้ไม่สามารถดำเนินการ ปิด เปิด ประตุน้ำได้

2.9.3 ข้อร้องเรียนจากผู้ใช้น้ำรายใหญ่ บางครั้งการดำเนินงานภาคสนามไม่สามารถหยุดน้ำได้ เนื่องจากผู้ใช้น้ำมีความจำเป็นในการใช้น้ำประปาตลอดเวลา

2.9.4 ข้อร้องเรียนเรื่องคุณภาพน้ำ หากการดำเนินงานภาคสนามทำการปิดน้ำเป็นบริเวณกว้าง เมื่องานแล้วเสร็จ อาจเกิดปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำได้ คือ เกิดน้ำขุ่นในท่อ

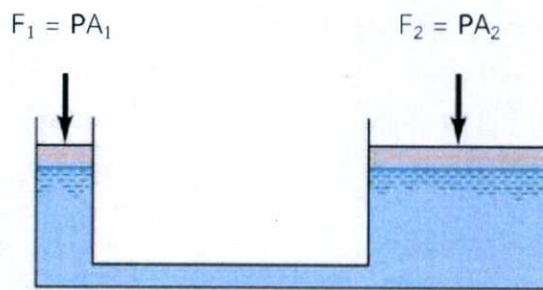
2.9.5 เกิดน้ำสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ เมื่อการดำเนินงานภาคสนามปิดน้ำบริเวณกว้าง ก็จะทำให้เกิดน้ำค้างท่อเยอะเวลา ตัดท่อออกหรือทำกิจกรรมต่างๆ น้ำเหล่านี้ก็จะป็นน้ำสูญเสียในระบบโดยเปล่าประโยชน์



รูปที่ 2.37 ตัวอย่างปัญหาการดำเนินงานภาคสนาม

2.10 ทฤษฎีของไหลภายในท่อปิด

งานวิจัยนี้ได้คำนึงถึง หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์การไหลของไหล (Fluid) คือ ของไหลชนิดต่างๆเช่น เหลวและก๊าซ ในการวิเคราะห์จะต่างกันตรงที่ก๊าซจะเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้ ส่วนของเหลวนั้นไม่สามารถอัดตัวได้ ถึงแม้จะอัดตัวได้บ้าง แต่ต้องใช้ความดันสูง จึงพิจารณาว่า ของเหลวเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ของไหลอัดตัวได้คือของไหลที่ความหนาแน่นไม่คงที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว เช่น ก๊าซอยู่ในภาวะปิดสนิท เมื่อได้รับความร้อน ความหนาแน่นของก๊าซก็จะเพิ่มขึ้น ตรงกันข้าม ถ้าสูญเสียความร้อน ความหนาแน่นก็จะลดลง ในงานวิจัยนี้จะกล่าวเฉพาะของไหลที่อัดตัวไม่ได้เท่านั้น โดยมีตัวแปรที่สำคัญ คือ ความหนาแน่น (Density, ρ) คือ มวล (m) ของสารนั้นหารด้วยปริมาตร (V) , ปริมาตรเฉพาะ (Specific volume, v) คือ ปริมาตรของสารนั้นหารด้วยมวล(m) ซึ่งจะมีค่าเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น ความหนืด (Viscosity, μ) ความหมายคือ คุณสมบัติการต้านการเคลื่อนที่ของของไหล ถ้าหนักจำเพาะ (Specific weight, γ) คือความหนาแน่น คูณกับค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) หรือน้ำหนัก (mg) หารด้วยปริมาตร โดยมีแรงสถิตของของไหลคือ ความดันของของไหล ณ จุดๆ หนึ่งจะมีค่าเท่ากันในทุกๆทิศทาง และจะกระทำในทิศทางที่ตั้งฉากกับ พื้นทีนั้นๆ ซึ่งก็เป็นทฤษฎีของปาสคาล ดังรูป



รูปที่ 2.38 ทฤษฎีความดันของปาสคาล

เมื่อใช้ทฤษฎีนี้และให้ความดันของของเหลวเป็น P (Pa)

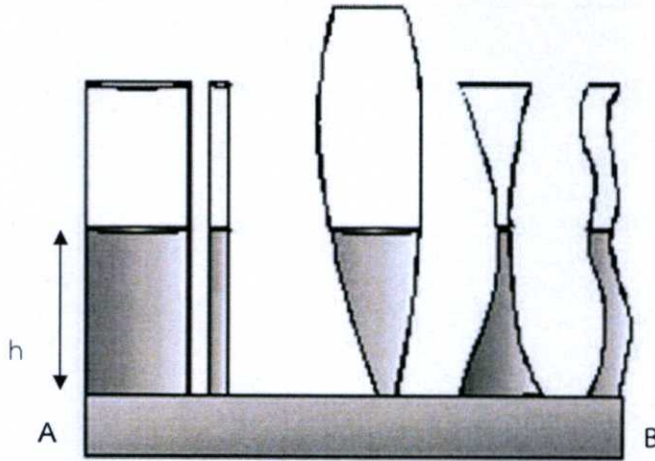
$$\text{จะ ได้ว่า } P = F(N)/A(m^2) = F_1/A_1 = F_2/A_2 \quad (2.1)$$

เครื่องวัดความดันนั้น โดยปกติแล้วจะแสดงผลออกมา เป็นค่าความดันที่มากหรือน้อยกว่าค่าความดันบรรยากาศ ค่าความดันที่แตกต่างจากบรรยากาศนี้จะเรียกว่า “ความดันเกจ (Gauge Pressure)” [3]

ค่าความดันในของไหล (ของเหลว) จะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดหรือความใหญ่ของภาชนะที่บรรจุโดยค่าความแตกต่างกันของความดันของจุด 2 จุดที่มีความลึกที่แตกต่างกันในของไหล

โดยในสมการนี้ $P_2 - P_1$ คือ ค่าความแตกต่างของความดัน ระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 และ ρ คือค่าความหนาแน่นของของไหล (ของเหลว) (kg/m^3), g คือค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2), $(z_2 - z_1)$ คือ ค่าความแตกต่างกันของความลึกในของเหลว (m) จากรูปที่ 2.38

ความดันของจุดทุกจุดบนเส้น A-B ซึ่งมีความลึกเท่ากัน คือ h จะมีค่าเท่ากัน จะสังเกตได้ ว่าไม่ได้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของภาชนะของไหลนั้นๆ



รูปที่ 2.39 ความดันและความแตกต่างของรูปร่างภาชนะ

มวลสารที่เกิดการไหลในระบบหนึ่ง จะเท่ากันตลอดทุกๆ หน้าตัดเมื่อให้ปริมาณการไหลของมวลสาร เป็น M (kg/s) จะเขียนสมการได้ว่า

$$M = \rho VA = \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = \text{ค่าคงที่} \quad (2.2)$$

$$= \rho Q = \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 = \text{ค่าคงที่} \quad (2.3)$$

ในสมการนี้ค่า ρ คือค่าความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3) , Q เป็นอัตราการไหลของปริมาตร (Volume flow rate) หรือเรียกสั้นๆ ว่า อัตราการไหล (Flow rate) ของของไหล (m^3/s), ถ้าให้ค่า Q เท่ากับ VA แล้ว และ ρ เป็นค่าคงที่ (เป็นของเหลวที่อัดตัวไม่ได้) ในกรณีนี้จะทำให้ Q ก็เป็นค่าคงที่เช่นเดียวกัน [4]

และตามกฎการอนุรักษ์พลังงานคือ พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลต่อหน่วยมวล คือ ค่าเอนทัลปีจำเพาะ (J/kg) พลังงานจลน์ $V^2/2$ (J/kg) และพลังงานศักย์ gz (J/kg) ในระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่ 1 และ 2 เมื่อมีพลังงานจากภายนอกเข้ามาโดย จะให้พลังงานนี้เป็น E_{in} (J/kg) (ยกตัวอย่างเช่นพลังงานจากปั๊ม, Blower, หรือการเพิ่มความร้อน) และถ้าให้พลังงานจากของไหลที่ออกไปสู่สิ่งแวดล้อมเป็น E_{out} (เช่นงานจากกังหัน, การทำความเย็น) จากกฎของการ อนุรักษ์พลังงาน การไหลคงตัวจะเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$(h_1 + V_1^2/2 + gz_1) + (E_{in} - E_{out}) = (h_2 + V_2^2/2 + gz_2) \quad (2.4)$$

โดยค่า g เป็นค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก $g_n = 9.80665$ (m/s^2)

สมการนี้จะเป็นสมการทั่วไปของการไหล สำหรับการไหลที่คิดค่าความหนืดเป็นการไหลในบริเวณที่ ไกลกับผนังแข็ง เช่นผิวท่อ งานที่เกิดจากความเสียดทานในการไหลอันเนื่องมาจากความหนืด ฯลฯ จำเป็นที่ จะต้องคิดพลังงานในส่วนนี้แยกออกมาอีก ซึ่งงานจำนวนนี้ก็จะเป็นความ

ร้อน และกลายเป็นพลังงานไม่มีประสิทธิภาพ (ไม่สามารถนำมาใช้งานได้) การสูญเสียพลังงานที่มีประสิทธิภาพจำนวนนี้จะสูญเสียในรูปแบบ ของความดัน โดยพลังงานที่สูญเสียไปนี้ เป็น E_{loss} ในวิชาอุณหภูมิมัลศาสตร์นั้น [5]

การเปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปี Δh กับการเปลี่ยนแปลงความดัน Δp สามารถเขียนเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์กันได้ดังนี้

$$(\Delta h = \Delta q + v\Delta p = \Delta q + \Delta p/\rho) \quad (2.5)$$

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

$$\Delta h = E_{loss} + \Delta p/\rho \quad (2.6)$$

เมื่อใช้ค่า $h_1 - h_2 = E_{loss} + (p_2 - p_1)/\rho$ แทนลงไปและไม่คิดถึงเรื่องการเปลี่ยนแปลง ความหนาแน่นของของไหลจะเขียนสมการได้เป็น

$$(p_1/\rho + V_1^2/2 + gz_1) + (E_{in} - E_{out} - E_{loss}) = (p_2/\rho + V_2^2/2 + gz_2) \quad (2.7)$$

สมการนี้เป็นสมการของการอนุรักษ์พลังงานในกรณีของการไหลไม่สามารถอัดตัวได้ สมการนี้ไม่เพียงแต่จะใช้กับของเหลวได้เท่านั้น ในกรณีของแก๊สมีการเปลี่ยนแปลงความดัน และอุณหภูมिन้อยมากจนถือได้ว่า ρ มีค่าคงที่สมการนี้ก็สามารถนำไปใช้ได้อีกด้วย สมการนี้ไม่มีพลังงานเข้า หรือออกจากภายนอกและไม่มี E_{loss} จะเขียนได้ใหม่ เป็น

$$p + \rho V^2/2 + \rho gz = \text{ค่าคงที่} \quad (2.8)$$

สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation) นี้ใช้ในกรณีที่การไหลไม่มีการสูญเสียพลังงาน ไม่มีงาน เข้า-ออกจากระบบ และไม่สามารถอัดตัวได้ในการไหลเทอม p , $\rho V^2/2$, ρgz ในสมการนี้จะหมายถึงแรงดันสถิตย (Static Pressure) ความดันขั้ว และความดันรวม อนึ่งค่า ρ ของแก๊สจะมีค่าน้อยมาก และถ้าค่า z ของจุดที่ พิจารณา 2 จุด มีค่าไม่แตกต่างกันมาก ทำให้เทอม ρgz สามารถตัดทิ้งไปได้ [6]

งานวิจัยนี้ กำหนดให้การไหลในเส้นท่อที่ทำการทดสอบไม่มีการสูญเสียพลังงาน และค่าแรงดันน้ำเป็นหน่วย เมตรน้ำ (MH₂O) โดย 1 บาร์ จะเท่ากับ 10 เมตรน้ำ หน่วยเมตรน้ำนั้นคือ หน่วยบอกแรงดันน้ำ ที่การประปานครหลวงใช้งาน เป็นค่าของปั้มน้ำที่สามารถส่งแรงดันน้ำได้ที่ความสูงขนาดต่างๆกัน หรืออีกอย่างหนึ่งก็คือระดับความสูงของถังเก็บน้ำบนที่สูง ลงมาถึงพื้น 10 เมตร จะได้แรงดันน้ำเท่ากับ 1 บาร์ หรือเท่ากับ 100 Kpa [1]

2.11 ทฤษฎีแรงเสียดทาน

แรงเสียดทาน (friction) เป็นแรงที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุหนึ่งพยายามเคลื่อนที่ หรือกำลังเคลื่อนที่ไปบนผิวของอีกวัตถุ เนื่องจากมีแรงมากระทำ มีลักษณะที่สำคัญ คือ เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ และมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่หรือตรงข้ามทิศทางของแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่ ดังรูป



รูปที่ 2.40 แสดงทิศทางของแรงเสียดทาน

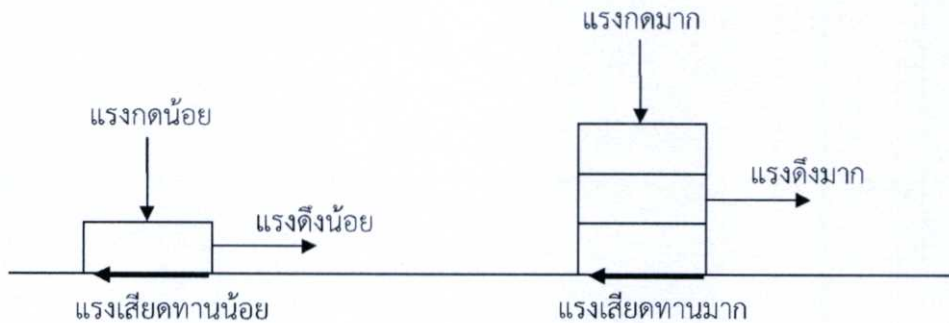
2.11.1 ประเภทของแรงเสียดทาน

แรงเสียดทานมี 2 ประเภท คือ แรงเสียดทานสถิต (static friction) คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ ในสภาวะที่วัตถุได้รับแรงกระทำแล้วอยู่นิ่ง และ แรงเสียดทานจลน์ (kinetic friction) คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ ในสภาวะที่วัตถุได้รับแรงกระทำแล้วเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

2.11.2 ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทาน

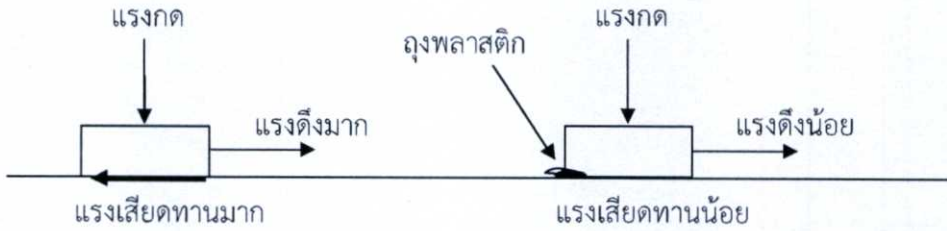
แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

แรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส ถ้าแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัสมากจะเกิดแรงเสียดทานมาก ถ้าแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัสน้อยจะเกิดแรงเสียดทานน้อย ดังรูป



รูปที่ 2.41 ความสัมพันธ์ของแรงกด แรงดึง และแรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุ

ลักษณะของผิวสัมผัส ถ้าผิวสัมผัสหยาบ ขรุขระจะเกิดแรงเสียดทานมาก ดังรูป



รูปที่ 2.42 ลักษณะของผิวสัมผัสที่มีผลต่อแรงเสียดทาน และแรงดึง

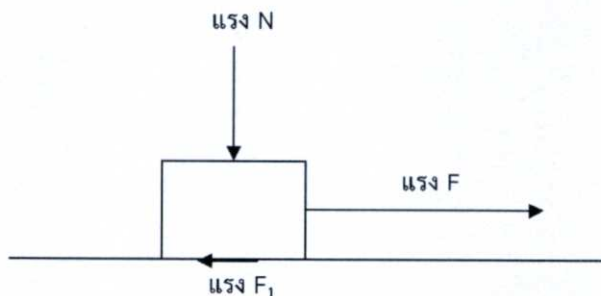
ชนิดของผิวสัมผัส เช่น คอนกรีตกับเหล็ก เหล็กกับไม้ จะเห็นว่าผิวสัมผัสแต่ละคู่ มีความหยาบ ขรุขระ หรือเรียบลื่น เป็นมันแตกต่างกัน ทำให้เกิดแรงเสียดทานไม่เท่ากัน

2.11.3 คุณสมบัติของแรงเสียดทาน

- แรงเสียดทานมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อวัตถุไม่มีแรงภายนอกมากกระทำ
- ขณะที่ไม่มีแรงภายนอกมากกระทำต่อวัตถุ และวัตถุยังไม่เคลื่อนที่ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีขนาดต่างๆ กัน ตามขนาดของแรงที่มากระทำ และแรงเสียดทานที่มีค่ามากที่สุดคือ แรงเสียดทานสถิต เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่
- แรงเสียดทานมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ
- แรงเสียดทานสถิตมีค่าสูงกว่าแรงเสียดทานจลน์เล็กน้อย
- แรงเสียดทานจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวสัมผัส ผิวสัมผัสหยาบหรือขรุขระ จะมีแรงเสียดทานมากกว่าผิวเรียบและลื่น
- แรงเสียดทานขึ้นอยู่กับน้ำหนักหรือแรงกดของวัตถุที่กดลงบนพื้น ถ้าน้ำหนักหรือแรงกดมาก แรงเสียดทานก็จะมากขึ้นด้วย
- แรงเสียดทานไม่ขึ้นอยู่กับขนาดหรือพื้นที่ของผิวสัมผัส

2.11.4 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน

สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสคู่หนึ่งๆ คือ อัตราส่วนระหว่างแรงเสียดทานต่อแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส



รูปที่ 2.43 แสดงแนวแรงเสียดทาน

จากรูปที่ 2.42

เมื่อ F คือ แรงลากวัตถุ (นิวตัน)
 F_1 คือ แรงเสียดทานมีทิศทางตรงข้ามกับแรง F (นิวตัน)
 N คือ แรงที่กดทับวัตถุ (นิวตัน)
 μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
 สามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(μ) ได้คือ

$$\mu = F_1 / N \quad (2.12)$$

2.12 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน (Newton's third law of motion)

การออกแรงดึงหรือกดไปที่สิ่งหนึ่ง ก็จะถูกสิ่งๆ นั้นดึงหรือกดด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าเอามือกดลงบนก้อนหิน ก้อนหินก็จะออกแรงกดลงบนมือกลับมา นั่นคือ เมื่อวัตถุออกแรงกระทำไปยังอีกวัตถุหนึ่ง วัตถุที่ถูกแรงกระทำก็จะมีแรงโต้ตอบ โดยที่แรงทั้งสองจะมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ เรียกว่า “แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา (action-reaction pair)”

เป็นกฎการเคลื่อนที่ข้อ 3 ของนิวตัน (Newton's third law of motion) ที่กล่าวว่า “ทุกแรงกิริยา (action) ย่อมมีแรงปฏิกิริยา (reaction) ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ”

กฎข้อนี้เรียกว่า กฎของกิริยาและปฏิกิริยา (Law of action and reaction) แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา หมายถึง แรงกระทำและแรงกระทำตอบ โดยเป็นแรงซึ่งกระทำต่อมวลที่ต่างกันและเกิดขึ้นพร้อมกันเป็นคู่เสมอ โดยที่มวลอาจไม่สัมผัสกันและถือว่าแรงหนึ่งแรงใดเป็นแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาก็ได้ เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$F_A = -F_R \quad (2.13)$$



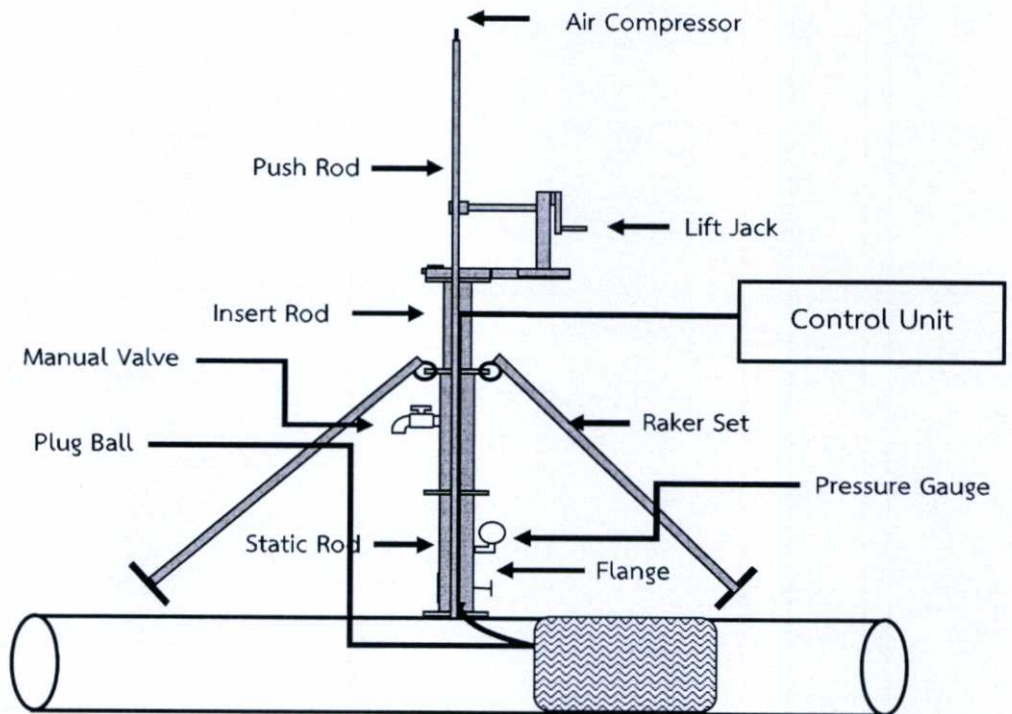
รูปที่ 2.44 แสดงภาพกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน

บทที่ 3

การออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว

3.1 การออกแบบอุปกรณ์

การออกแบบชุดอุปกรณ์หยุดน้ำภายในระบบท่อจ่ายน้ำชั่วคราว เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากที่กล่าวมานั้น อาศัยหลักการของแรงดันในชุดปลั๊กบอลอุดน้ำต้องมีค่ามากพอเพื่อมีแรงเสียดทานสถิตที่ผิวสัมผัสเพียงพอที่ต้านการไหลของน้ำภายในท่อที่มีทิศทางของแรงตรงกันข้าม เพื่อหยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว องค์ประกอบของส่วนต่างๆของอุปกรณ์ แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ดังนี้



รูปที่ 3.1 รายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์

โดยใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์แนวแรงตาม กฎการเคลื่อนที่ข้อ 3 ของนิวตัน (Newton's third law of motion) ซึ่งกล่าวว่า “ทุกแรงกิริยา (action) ย่อมมีแรงปฏิกิริยา (reaction) ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ” และการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน โดยแบ่งการออกแบบ เป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.1.1 ส่วนชุดอุปกรณ์

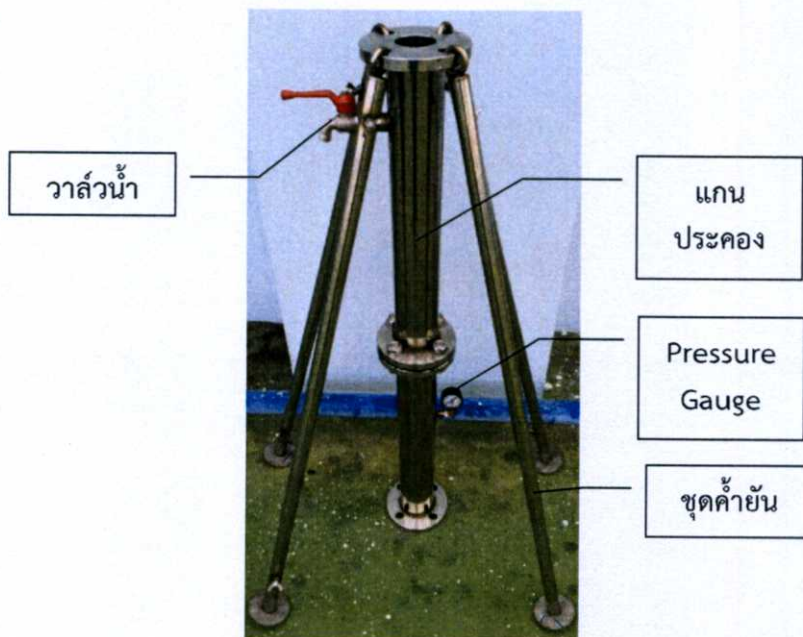
ประกอบด้วย

1. หน้าจานวงกลม สำหรับติดตั้งแกนประคอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว (Flange)



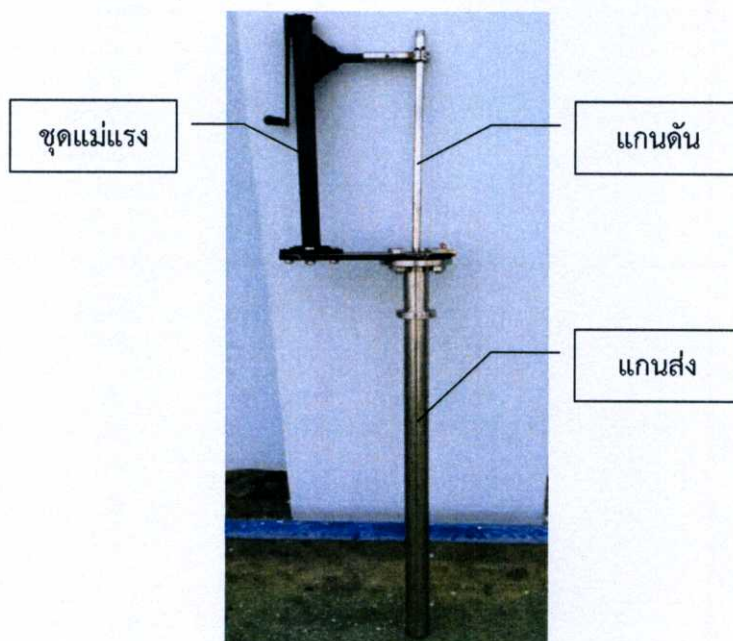
รูปที่ 3.2 หน้าจานวงกลม

2. แกนประคอง คือท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ความยาว 1 เมตร จำนวน 1 ท่อน (Static Rod)
3. วาล์วน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว เพื่อระบายน้ำออกขณะดันแกนส่งลงไป ภายในท่อ (Manual Valve)
4. Pressure Gauge ย่านการวัด 0-2 บาร์
5. ชุดค้ำยัน คือ ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6/8 นิ้ว ความยาว 1 เมตร จำนวน 4 ท่อน (Raker Set)



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์แกนประคอง วาล์วน้ำ Pressure Gauge และชุดค้ำยัน

6. แกนส่ง คือท่อขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ความยาว 1.5 เมตร จำนวน 1 ท่อน พร้อมเชื่อมหน้างานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ติดตั้งวาล์วน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว จำนวน 1 ตัว เพื่อระบายน้ำออกขณะดันแกนต้นของชุดปลั๊กบอลลูน (Insert Rod)
7. แกนต้น สำหรับดันชุดปลั๊กบอลลูนหยุดน้ำ คือท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ความยาว 2.5 เมตร จำนวน 1 ท่อน (Push Rod)
8. ชุดแม่แรง สำหรับยกแกนต้นของชุดปลั๊กบอลลูนหยุดน้ำ 1 ชุด (Lift Jack)



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์แกนส่ง แกนต้น และชุดแม่แรง

9. ปลั๊กบอลลูน คือ วัสดุยาง PVC รูปทรงกระบอก โดยปัจจุบันการติดตั้งเทคโนโลยีของปลั๊กบอลลูน ที่ใช้สำหรับการอุดท่อมีอย่างมาก [7] [8] ในงานวิจัยนี้ได้คำนึงถึงความคุ้มค่าในการใช้งานและสามารถผลิตได้ภายในประเทศ จึงได้ออกแบบใช้ปลั๊กบอลลูน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ความยาว 0.6 เมตร (Plug Balloon) ดังรูปที่ 3.5 ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.5 ปลั๊กบอลลูน

3.1.2 ส่วนชุดระบบแรงดันลมปลีกบอลถุน ประกอบด้วย

1. ป้ลมไฟฟ้า ยี่ห้อ PUMA (Air Erupt Inflator)

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของป้ลม

Model number	12-2038T
Supply	DC 12 V
Operation voltage	DC 10-15 V
Ambient temp	-20 °C - +80 °C
Amperage	Max. 15A
Delivery Pressure	Max. 10 kg/cm ² Q 2.5 l/min
Size	330x225x190 mm.
Weight	2.6 kg.



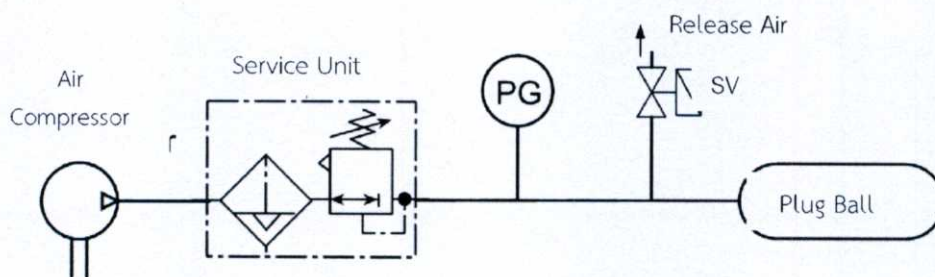
รูปที่ 3.6 ป้ลมไฟฟ้า ยี่ห้อ PUMA

2. อุปกรณ์ปรับแรงดันคงที่ (Regulator Unit)



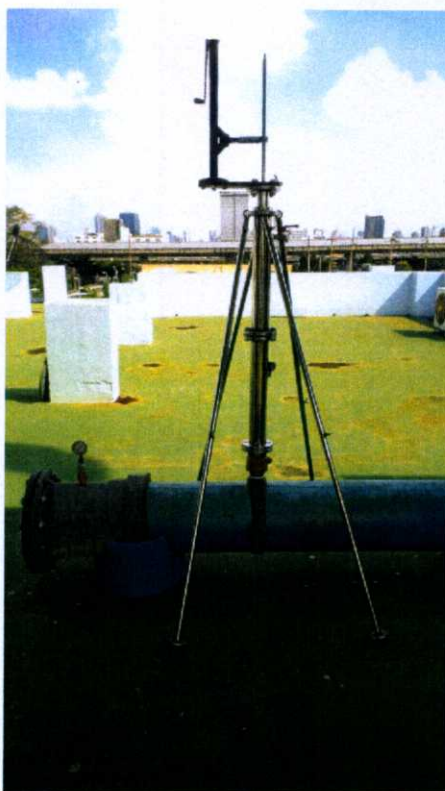
รูปที่ 3.7 Regulator

3. Pressure Gauge ย่านการวัด 0-2 บาร์
4. วาล์วระบายแรงดัน (Release Air Valve)



รูปที่ 3.8 แสดงรายละเอียดของส่วนชุดควบคุมแรงดันลม

การออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว จะใช้สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานภาคสนามของการประปานครหลวง ตามกิจกรรมที่กล่าวถึงในข้างต้นได้ โดยอุปกรณ์นี้จะติดตั้งด้านบนของท่อ อุปกรณ์ได้ถูกออกแบบมาให้ใช้ได้ทั้งท่อที่สึกและท่อที่ติดตั้งตามสภาพหน้างาน และการติดตั้งอุปกรณ์ สามารถติดตั้งได้โดยใช้เทคโนโลยี Hot Tapping ไม่ต้องหยุดการสูบน้ำในระบบท่อประปา เมื่อออกแบบแล้วเสร็จ และนำอุปกรณ์มาประกอบ จะได้ภาพโดยรวมของอุปกรณ์ดังนี้



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ที่ถูกประกอบเข้าด้วยกัน บนแท่นทดสอบ

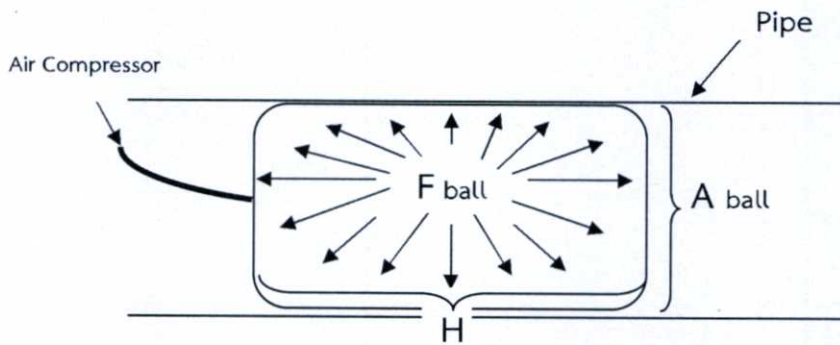
3.2 การวิเคราะห์ทฤษฎี

กำหนดให้

F_{water}	แทนแรงการทำจากน้ำในเส้นท่อกับปลั๊กบอลลูน (นิวตัน)
F_{ball}	แทนแรงเสียดทานกระทำกับผนังภายในท่อ (นิวตัน)
F_{break}	แทนแรงเสียดทานของ ปลั๊กบอลลูนกับผนังท่อภายใน (นิวตัน)
A_{pipe}	แทนพื้นที่หน้าตัดของท่อ (ตารางเมตร)
A_{ball}	แทนพื้นที่ผิวสัมผัสภายในท่อของปลั๊กบอลลูน (ตารางเมตร)
H	แทนความกว้างของปลั๊กบอลลูน (เมตร)
P_{water}	แทนแรงดันน้ำภายในเส้นท่อ (เมตรน้ำ)
P_{pump}	แทนแรงดันที่อัดเข้าไปในปลั๊กบอลลูน (เมตรน้ำ)
R	แทนรัศมีเส้นท่อ (เมตร)

3.2.1 ส่วนของปลั๊กบอลลูน

ในส่วนนี้สำหรับการสุบลมใส่เข้าไปภายใน จะใช้แรงดันจากปั๊ม ผ่านระบบของชุดสายลม ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของปลั๊กบอลลูนเต็มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ โดยเสมือนว่ามีแรงกระทำจากภายในทุกทิศทางที่กระทำต่อผนังของปลั๊กบอลลูนและผิวสัมผัสภายในเส้นท่อ แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.10 แนวแรงที่กระทำขณะอัดแรงดันเข้าปลั๊กบอลลูน

$$\text{โดยที่ } A_{ball} = H (2 \pi R) \quad (3.1)$$

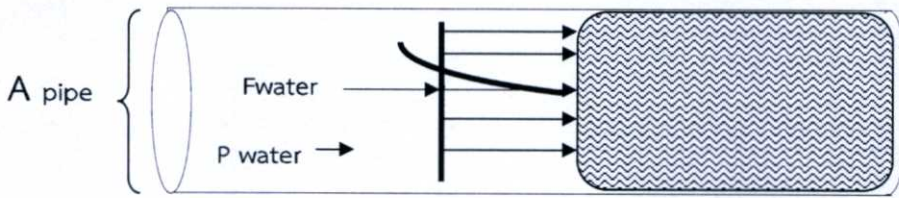
สมการแรงดันภายในปลั๊กบอลลูน

จากความสัมพันธ์ของแรงดัน(P) กับพื้นที่หน้าตัด(A) จะได้แรงที่กระทำ(F) ของ Ball ดังนี้

$$F_{ball} = P_{pump} \cdot A_{ball} \quad (3.2)$$

3.2.2 ส่วนการไหลภายในเส้นท่อ

โดยการไหลภายใต้แรงดัน (Flow in Pressure Conduit) โดยจะเน้นที่การไหลแบบคงที่ภายในท่อกลมของของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Steady Incompressible Flow in Pipe) และไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยจะถือว่าอุณหภูมิตลอดช่วงเวลาที่พิจารณานั้นคงที่ ทั้งนี้ก็เพื่อตัดผลกระทบทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ออก ดังนั้นความหมายของการไหลภายในรางแบบปิด หรือการไหลภายใต้แรงดัน ในที่นี้คือการไหลของของไหลภายในท่อที่มีผนังปิดล้อมทุกด้าน และมีของไหลไหลอยู่เต็มพื้นที่หน้าตัดของท่อ ไม่มีผิวอิสระอยู่ด้านบนของหน้าตัดการไหล (ของไหลไม่มีส่วนใดสัมผัสอากาศ) การไหลจะอยู่ภายใต้ความดันตลอดช่วงของการพิจารณาดังรูป



รูปที่ 3.11 แนวแรงที่กระทำภายในเส้นท่อต่อปลั๊กบอลลูน

$$\text{โดยที่ } A_{\text{pipe}} = \pi R^2 \quad (3.3)$$

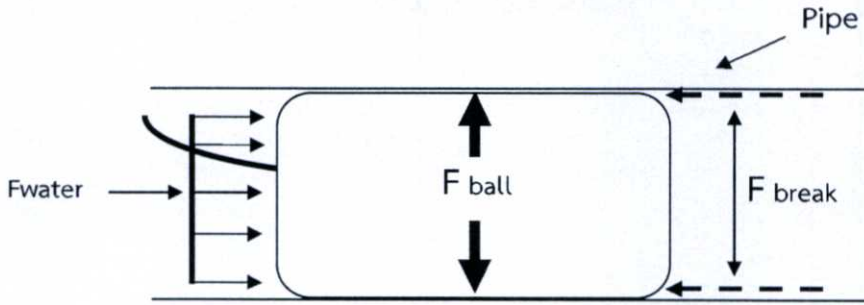
จากความสัมพันธ์ของแรงดัน(P) กับพื้นที่หน้าตัด(A) จะได้แรงที่กระทำ(F) ภายในเส้นท่อ ได้ดังสมการดังนี้

$$F_{\text{water}} = P_{\text{water}} \cdot A_{\text{pipe}} \quad (3.4)$$

3.2.3 ส่วนแนวแรงเสียดทานของปลั๊กบอลลูน

ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญ เพื่อหยุดการไหลของน้ำจากการออกแบบเพื่อให้อุปกรณ์หยุดน้ำภายในเส้นท่อยุ่ชั่วคราวสามารถใช้งานได้ในระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง โดยพิจารณาจากแรงของน้ำภายในเส้นท่อ และแรงเสียดทานของปลั๊กบอลลูนที่ผนังภายในเส้นท่อ โดย F_{break} จะต้องมีค่ามากกว่า F_{water}

ตามทฤษฎีกฎการเคลื่อนที่ข้อ 3 ของนิวตัน (Newton's third law of motion) กล่าวว่า "ทุกแรงกิริยา (action) ย่อมมีแรงปฏิกิริยา (reaction) ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ" กฎข้อนี้เรียกว่า กฎของกิริยาและปฏิกิริยา (Law of action and reaction) แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา หมายถึง แรงกระทำและแรงกระทำตอบ โดยเป็นแรงซึ่งกระทำต่อมวลที่ต่างกันและเกิดขึ้นพร้อมกันเป็นคู่เสมอ โดยที่มวลอาจไม่สัมผัสกันและถือว่าแรงหนึ่งแรงใดเป็นแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาก็ได้เขียนเป็นความสัมพันธ์ของแรงแสดงได้ดังรูป

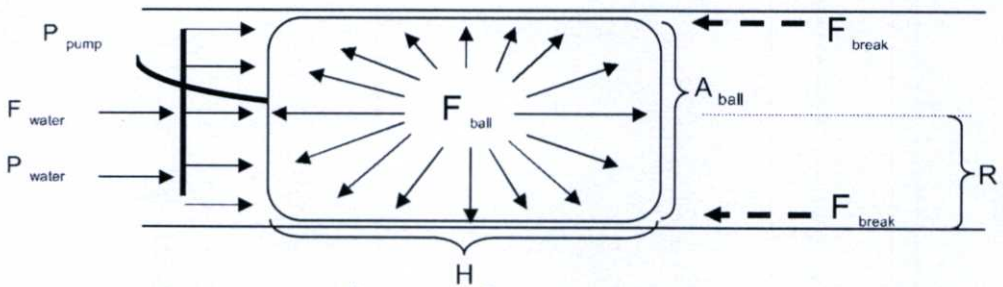


รูปที่ 3.12 แนวแรงเสียดทานของปลั๊กบอลลูนต่อผนังเส้นท่อภายใน

จากความสัมพันธ์ของ F_{ball} กับ F_{break} แสดงได้ดังนี้

$$F_{break} = \mu \cdot F_{ball} \tag{3.5}$$

3.2.4 ความสัมพันธ์แรงดันของน้ำภายในเส้นท่อ



รูปที่ 3.13 แนวแรงทั้งหมดของปลั๊กบอลลูนต่อผนังภายในท่อ

จากรูปที่ 3.6

โดยที่ $A_{ball} = H \cdot (2\pi R)$ (3.6)

แทนค่า จะได้

$$F_{ball} = P_{pump} \cdot A_{ball}$$

$$F_{ball} = P_{pump} \cdot (H) \cdot (2\pi R) \tag{3.7}$$

และ $A_{pipe} = \pi R^2$

$$F_{water} = P_{water} \cdot A_{pipe} \tag{3.8}$$

แทนค่า จะได้

$$F_{\text{water}} = P_{\text{water}} \cdot TTR^2$$

$$F_{\text{break}} = \mu \cdot F_{\text{ball}}$$

แทนค่า จะได้

$$F_{\text{break}} = \mu \cdot [P_{\text{pump}} \cdot (H) \cdot (2TTR)] \quad (3.9)$$

จากสมการความสัมพันธ์ $F_{\text{break}} > F_{\text{water}}$ โดยกำหนดให้ค่าความปลอดภัย Safety Factor มีค่าเท่ากับ 2 วิเคราะห์จากค่าแรงดันที่ออกแบบไว้ให้กับปลั๊กบอลลูนมมีค่า 20 เมตรน้ำ และแรงดันจริงภายในเส้นท่อมมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10 เมตรน้ำ

$$\mu \cdot [P_{\text{pump}} \cdot (H) \cdot (2TTR)] > P_{\text{water}} \cdot TTR^2 \quad (3.10)$$

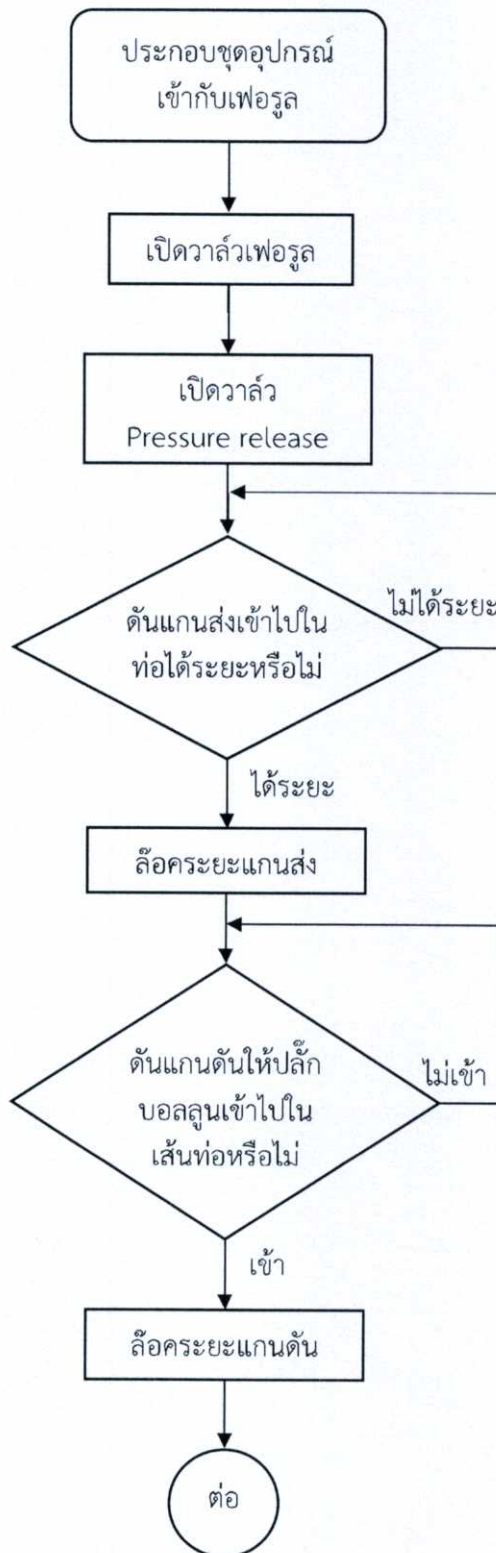
3.2.5 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

การคำนวณงานวิจัยนี้ ใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน μ ของวัสดุชนิด Polypropylene เนื่องจากเป็นค่า μ ที่เป็นวัสดุใกล้เคียงกับชนิดท่อที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งมีคุณสมบัติโครงสร้างส่วนประกอบของวัสดุที่คล้ายคลึงกัน [9] โดยค่า μ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานจลน์ (Dynamic friction) ของวัสดุแต่ละชนิดกับเหล็ก มีสถานะอยู่ในของเหลว ซึ่งแรงเสียดทานจลน์มีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานสถิตเสมอ ในสถานะวัสดุและสิ่งแวดล้อมเดียวกัน จึงพิจารณาใช้ค่า μ มีค่าเท่ากับ 0.4 ของวัสดุชนิด Polypropylene และโครงสร้างวัสดุชนิด PVC มีความยืดหยุ่นมากกว่าเหล็ก จึงวิเคราะห์ได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.4 ของวัสดุชนิดนี้ จึงนำมาใช้ในการคำนวณ โดยค่า μ ที่สอดคล้องกับสภาพของท่อที่ใช้งานจริงของระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง มีองค์ประกอบหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง เช่น ความเรียบของผนังในเส้นท่อมอายุการใช้งานของท่อ และชนิดต่างๆของท่อ เป็นต้น โดยการศึกษามีข้อจำกัดในทดสอบ แต่สามารถคำนวณหาค่า μ ที่แท้จริงได้จากข้อมูลการทดสอบใช้งานภาคสนามต่อไป

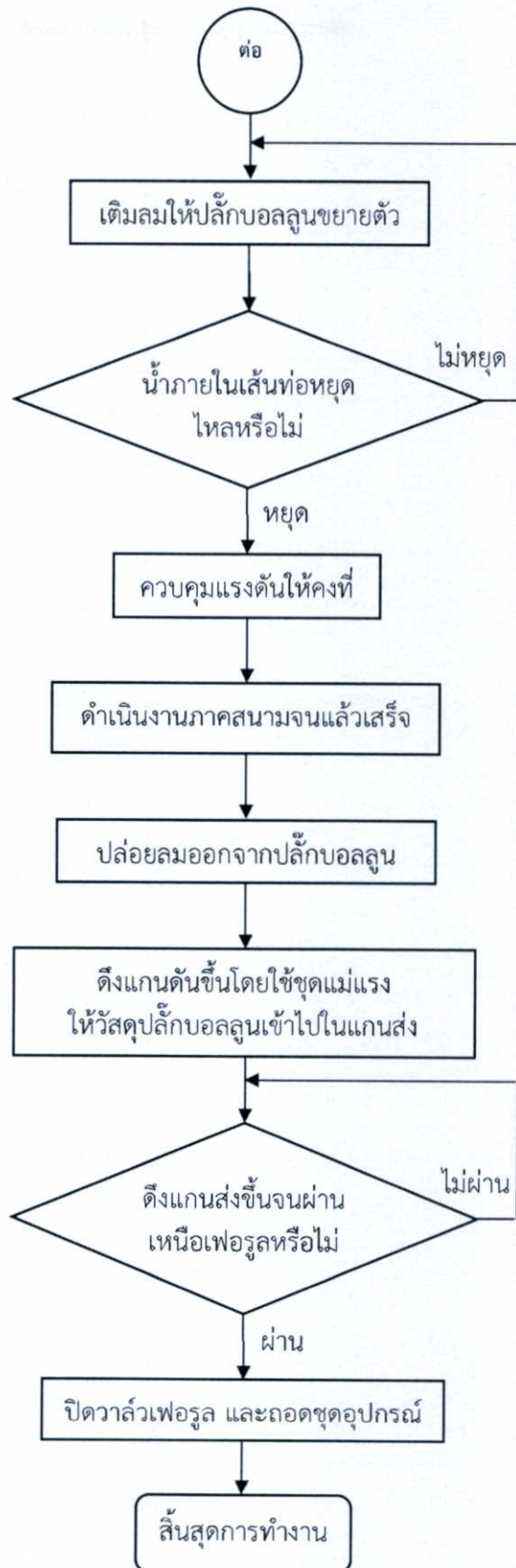
ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของท่อวัสดุชนิดต่างๆ

Material	Coefficient of Dynamic Friction
UHMWPE	0.1-0.2
PTFE	0.05-0.1
FEB	0.08-0.3
Polypropylene	0.3-0.4
HDPE	0.07-0.4
Ethylene tetrafluoroethylene (ETFE)	0.3-0.4
PMMA	0.5-0.8
Polycarbonate	0.3-0.9
Nylon	0.2-0.5
Acetal	0.1-0.4
Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)	0.2-0.5
NexPrene (RTM) thermoplastic vulcanizates	0.4-0.5

3.3 การบวนการทำงาน (Flow Chart Diagram)



รูปที่ 3.14 กระบวนการทำงานของอุปกรณ์



รูปที่ 3.15 กระบวนการทำงานของอุปกรณ์ (ต่อ)

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองบนแท่นทดสอบ

4.1.1 การติดตั้งอุปกรณ์

โดยพบวัสดุปลั๊กบอลลูนอยู่ในแกนส่ง ดันแกนส่งจนได้ระยะ และดันแกนดันปลั๊กบอลลูน เพื่อให้วัสดุปลั๊กบอลลูนเข้าไปในท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้สำหรับงานวิจัย คือ 300 มิลลิเมตร ชนิดท่อ Polyvinyl Chloride : PVC เพราะท่อชนิดนี้มีจำนวนมากที่สุดในระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวงในปัจจุบัน



รูปที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับแท่นทดสอบ

4.1.2 วิธีการทดลอง

ทำการทดลอง 5 ครั้ง วิธีการคือ จำลองปั๊มแรงดันน้ำ P water เข้าไปภายในระบบท่อจำลอง และกำหนดให้แรงดันคงที่ประมาณ 10 เมตรน้ำ และปั๊มแรงดันลมให้ปลั๊กบอลลูนขยายตัวจนเต็มภายในท่อ ดังรูปที่ 4.2 โดยกำหนดเป็น P pump และเพิ่มค่าแรงดันของปลั๊กบอลลูน เพื่อหาจุดค่าแรงดันที่อัดให้ปลั๊กบอลลูนแล้วเริ่มหยุดการไหลของน้ำภายในเส้นท่อได้



รูปที่ 4.2 การขยายตัวของปลี๊กบอลลูนและหยุดน้ำภายในเส้นท่อ

4.2 ผลการทดลองบนแท่น

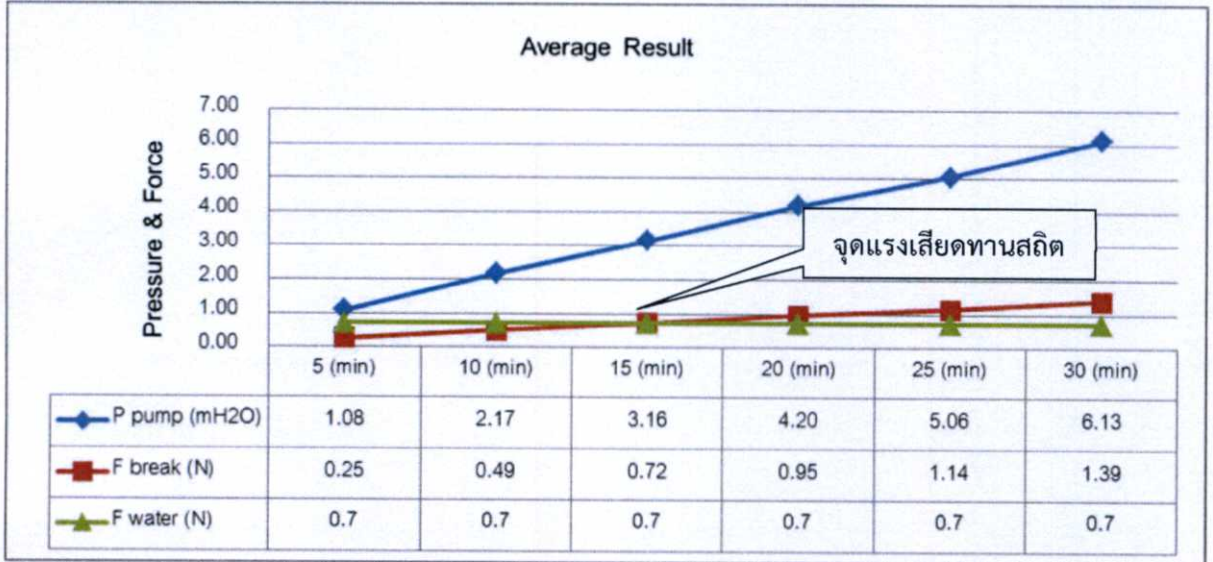
โดยทำการทดลอง จำนวน 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลผลการทดลองบนแท่น จำนวน 5 ครั้ง

Time (min)	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		Average	
	P pump (MH ₂ O)	F break (N) (Calculate)	P pump (MH ₂ O)	F break (N) (Calculate)	P pump (MH ₂ O)	F break (N) (Calculate)	P pump (MH ₂ O)	F break (N) (Calculate)	P pump (MH ₂ O)	F break (N) (Calculate)	P pump (MH ₂ O)	F break (N)
5	1.12	0.25	1.10	0.25	1.14	0.26	1.01	0.23	1.05	0.24	1.08	0.25
10	2.20	0.50	2.25	0.51	2.23	0.50	2.03	0.46	2.12	0.48	2.17	0.49
15	3.21	<u>0.73</u>	3.21	<u>0.73</u>	3.12	<u>0.71</u>	3.20	<u>0.72</u>	3.05	<u>0.69</u>	3.16	<u>0.72</u>
20	4.13	0.93	4.10	0.93	4.34	0.98	4.24	0.96	4.21	0.95	4.20	0.95
25	5.02	1.13	5.01	1.13	5.10	1.15	5.03	1.14	5.13	1.16	5.06	1.14
30	6.14	1.39	6.16	1.39	6.02	1.36	6.15	1.39	6.19	1.40	6.13	1.39

โดยนำข้อมูลเฉลี่ย แสดงผลข้อมูลเป็นกราฟได้ดังนี้

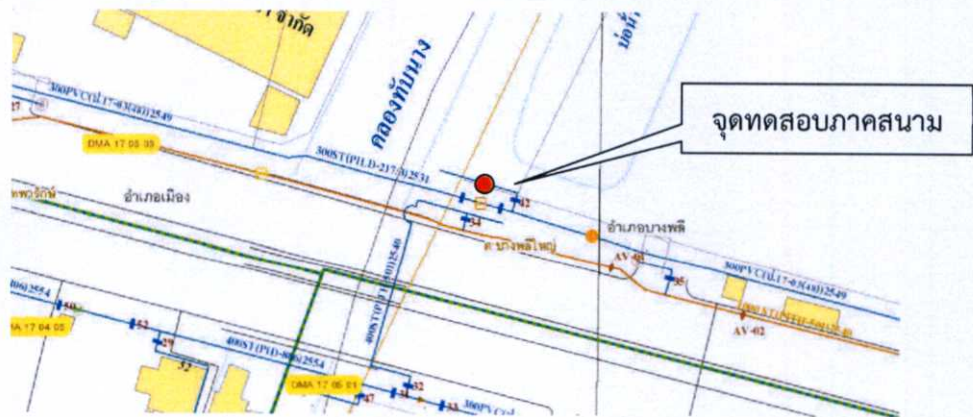
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเฉลี่ยโดยแสดงผลเป็นกราฟ จากผลการทดลองบนแท่น



4.3 การทดลองในภาคสนาม

การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ ว่าตรงตามวัตถุประสงค์ได้หรือไม่ โดยได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการ สถานที่ทำการทดลองคือ ถนนเทพารักษ์ มีสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบภาคสนามตามระบบแผนที่ของการประปานครหลวง ดังรูป ที่ 4.3

จุดที่ทำการทดสอบนี้ จะพิจารณาผลสัมฤทธิ์ของอุปกรณ์ว่าสามารถหยุดการไหลของน้ำภายในเส้นท่อได้หรือไม่ โดยเลือกจุดที่ทำการทดสอบเป็นเส้นท่อจ่ายน้ำชนิด PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร เป็นเส้นท่อที่ออกแบบมาเพื่อระบายน้ำประปาคลองของระบบการสูบน้ำ



รูปที่ 4.3 จุดงานที่ทดสอบภาคสนามในแผนที่ GIS

4.3.1 ขั้นตอนการทดสอบภาคสนาม

การทดสอบภาคสนามจะเริ่มจากการเปิดผิวเพื่อหาแนวเส้นท่อ ดังรูปที่ 4.4 และทำการเจาะท่อด้วยวิธี HOT TAPPING และทำการติดตั้งแคลมป์รัดท่อ และเฟอ์รูรู ดังรูปที่ 4.5 จากนั้นคือขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์บนเส้นท่อจ่ายน้ำที่ทำการทดสอบอุปกรณ์ ดำเนินการทดสอบ โดยวัดผลสัมฤทธิ์ของอุปกรณ์ว่าสามารถหยุดน้ำภายในเส้นท่อได้จริงหรือไม่

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์แล้วเสร็จ ดังรูปที่ 4.6 ก็จะเริ่มเปิดประตูน้ำจำลองการไหลของน้ำภายในเส้นท่อและน้ำประปาไหลลงคลอง ดังรูปที่ 4.7 จากนั้นก็ดำเนินการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์



รูปที่ 4.4 การเปิดผิวเพื่อหาแนวท่อ



รูปที่ 4.5 การติดตั้งแคลมป์รัดท่อ เพื่อรองรับชุดอุปกรณ์



รูปที่ 4.6 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ในภาคสนาม

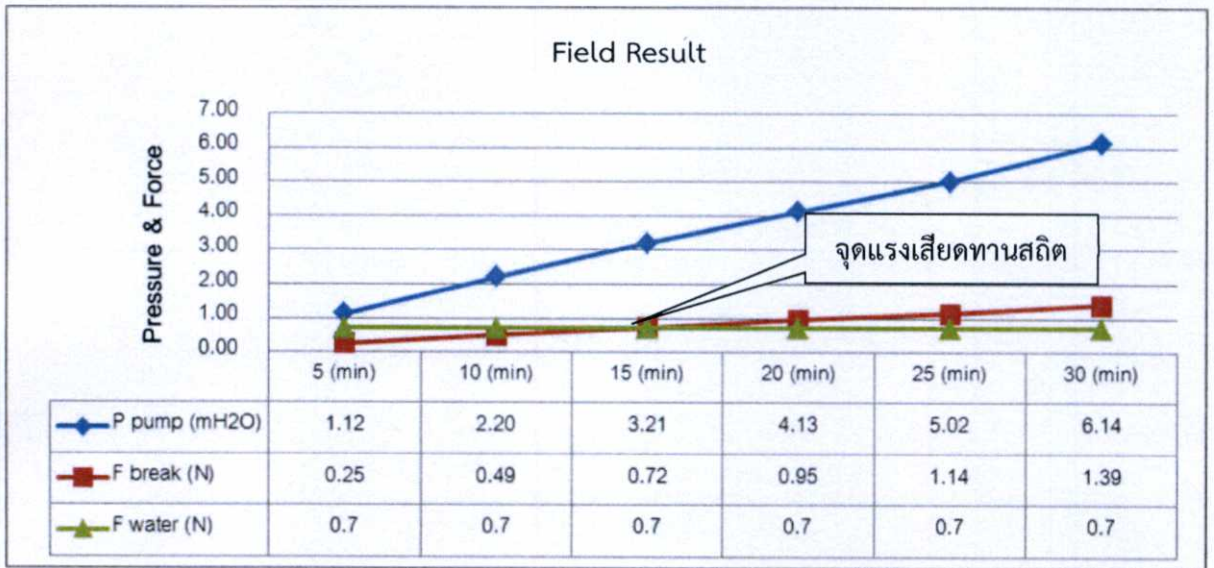


รูปที่ 4.7 การไหลของน้ำประปาลงคลอง

4.4 ผลการทดลองในภาคสนาม

การทดลองนี้จะวัดการหยุดการไหลของน้ำ โดยได้บันทึกเวลาที่ใช้ในการทดลองและตรวจสอบปลายเส้นท่อที่ทำการทดสอบว่าน้ำหยุดไหลสนิท โดยสามารถแสดงผลได้ว่า อุปกรณ์สามารถหยุดน้ำภายในเส้นท่อได้ ดังผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.3 กราฟข้อมูลเฉลี่ยจากผลการทดลองในภาคสนาม



รูปที่ 4.8 การหยุดไหลของน้ำภายในเส้นท่อ

4.5 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองทั้งบนแท่นและภาคสนาม จะเห็นว่าข้อมูลกราฟสรุปในตารางที่ 4.2 และ 4.3 วิจารณ์ผลการทดลองได้ดังนี้

เมื่อตั้งค่าระบบท่อจำลองมีค่าแรงดันน้ำคงที่เท่ากับ 10 เมตรน้ำ ซึ่งค่า F_{water} จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0.70 นิวตัน และเพิ่มแรงดัน P_{pump} ให้กับปลั๊กบอลลูน โดย ณ เวลาที่ 15 นาที มีค่าแรงดัน P_{pump} เฉลี่ยเท่ากับ 3.16 เมตรน้ำ และเริ่มหยุดน้ำได้ ซึ่งค่า F_{break} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.72 นิวตัน พบว่า ณ เวลาที่ 15 นาทีนี้ F_{break} มีค่าใกล้เคียงกับ F_{water} ความหมายคือ ณ จุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นของค่าแรงเสียดทานสถิต (Static friction) ปลั๊กบอลลูนเริ่มหยุดน้ำภายในท่อได้ โดยแนวของแรงที่กระทำตามการวิเคราะห์ตามทฤษฎีกฎการเคลื่อนที่ข้อ 3 ของนิวตัน (Newton's third law of motion) กล่าวว่า "ทุกแรงกิริยา (action) ย่อมมีแรงปฏิกิริยา (reaction) ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ"

จากนั้น เพิ่มแรงดัน P_{pump} จนถึงค่าเฉลี่ยที่ 6.13 เมตรน้ำ ได้ค่าเฉลี่ย F_{break} เท่ากับ 1.39 นิวตัน ซึ่งค่าแรงดันของปลั๊กบอลลูน ณ จุดนี้ เป็นการกำหนดค่าความปลอดภัย Safety Factor มีค่าเท่ากับ 2 เท่าของ ณ จุดเริ่มต้นแรงเสียดทานสถิต หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง F_{break} มีค่ามากกว่า F_{water} ถึง 2 เท่า ดังนั้นอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราวสามารถหยุดน้ำภายในระบบท่อจ่ายน้ำชั่วคราวได้อย่างสมบูรณ์ โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่นำมาคำนวณ โดยค่า μ เป็นค่าคงที่ที่นำมาคำนวณ แต่ค่า μ ที่แท้จริงและสอดคล้องกับสภาพของท่อจริงของระบบท่อจ่ายน้ำ นั้น มีองค์ประกอบหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง เช่น ความเรียบของผนังในท่อ อายุการใช้งานของท่อ และชนิดต่างๆของท่อ เป็นต้น โดยการศึกษาวิจัยมีข้อจำกัด เรื่องสถานที่ที่ใช้ทดสอบภาคสนามจริง

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การให้บริการน้ำประปา ในปัจจุบันนั้น จะเป็นระบบการสูบส่งจ่ายน้ำ ผ่านระบบท่อต่างๆ โดยการประปานครหลวง ได้แบ่งประเภทของระบบท่อไว้ 3 ประเภท ดังนี้ ท่อประธาน ท่อจ่ายน้ำ และท่อบริการ โดยพื้นที่ที่ให้บริการจะครอบคลุมทั่วทั้ง 3 จังหวัดคือ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ และขั้นตอนการดำเนินงานภาคสนามในงานวิจัยนี้ จะเป็นการดำเนินงานภาคสนามในระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตรส่วนมากท่อประเภทนี้อยู่ในแนวทางเดินเท้าริมถนนและใช้เป็นระบบท่อในการแบ่งพื้นที่ย่อย (District Metering Area : DMA) เพื่อการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย จึงการดำเนินงานภาคสนามในระบบท่อจ่ายน้ำมีจำนวนมาก เช่น การซ่อมท่อ การตัดบรจบท่อ การติดตั้งอุปกรณ์มาตรวัดน้ำ และการติดตั้งปรับปรุงระบบอุปกรณ์การวัดและควบคุมภาคสนาม (Remote Terminal Unit : RTU) สำหรับ DMA เป็นต้น ซึ่งการดำเนินงานดังกล่าวมีขั้นตอนหลักที่สำคัญคือ การปิดประตูน้ำ เพื่อหยุดการจ่ายน้ำชั่วคราวในพื้นที่ ปัญหาส่วนมากที่พบคือ ประตูน้ำที่ใช้ในการเปิดและปิดไม่สามารถใช้งานได้ จากหลายสาเหตุ เช่น ประตูน้ำชำรุด ประตูน้ำปิดไม่สนิท แกนประตูน้ำถูกลักขโมย หรือฝาหีบประตูน้ำจมอยู่ในพื้นผิวใต้ดิน เป็นต้น

ยกตัวอย่างการดำเนินงานภาคสนามที่เกิดปัญหา เช่น งานติดตั้งปรับปรุงตู้ RTU ซึ่งในขอบเขตของงานต้องมีการถอดเปลี่ยนมิเตอร์วัดอัตราการไหล เมื่อไม่สามารถปิดประตูน้ำได้ จึงมีความจำเป็นต้องปิดประตูน้ำตัวถัดไป เพื่อดำเนินการเปลี่ยนมิเตอร์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อโดยตรงคือ มีพื้นที่ขาดน้ำเป็นบริเวณกว้างขึ้น มีข้อร้องเรียนจากผู้ใช้น้ำเนื่องจากน้ำไม่ไหลหรือไหลอ่อนและมีผลกระทบต่ออ้อมเช่น การขาดโอกาสในการบริการน้ำประปาแก่ประชาชนมีน้ำสูญเสียจากน้ำที่ค้างภายในท่อปริมาณมากเมื่อระยะทางในการปิดประตูน้ำเพิ่มขึ้น และในการคืนสภาพการจ่ายน้ำต้องใช้เวลานานมากขึ้นส่งผลต่อคุณภาพน้ำประปา เป็นต้น

การออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวงนี้ จะเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานภาคสนามของการประปานครหลวง โดยอุปกรณ์นี้สามารถติดตั้งได้บนเส้นท่อ และใช้ระบบการทำงานแบบไม่ต้องหยุดการส่งจ่ายน้ำประปา ทำให้การประปานครหลวงไม่เสียโอกาสในการให้บริการน้ำประปา และป้องกันมิให้เกิดผลกระทบในบริเวณกว้าง

โดยจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า พบว่า ณ เวลาที่ 15 นาทีนี้ F_{break} มีค่าใกล้เคียงกับ F_{water} ซึ่ง ณ เวลานี้ จุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นของค่าแรงเสียดทานสถิต (Static friction) ปลั๊กบอลลูนเริ่มหยุดน้ำภายในท่อได้ โดยแนวของแรงที่กระทำตามการวิเคราะห์ตามทฤษฎีกฎการเคลื่อนที่ข้อ 3 ของนิวตัน (Newton's third law of motion) กล่าวคือ "ทุกแรงกิริยา (action) ย่อมมีแรงปฏิกิริยา (reaction) ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ"

จากนั้น เพิ่มแรงดัน จนให้เกิดค่าความปลอดภัย Safety Factor ของปลั๊กบอลลูนมีค่าเท่ากับ 2 เท่าของ ณ จุดเริ่มต้นแรงเสียดทานสถิต หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง F_{break} มีค่ามากกว่า F_{water} ถึง 2 เท่า ดังนั้นอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราวสามารถหยุดน้ำภายในระบบท่อจ่ายน้ำชั่วคราวได้อย่างสมบูรณ์

โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(μ) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่นำมาคำนวณ โดยค่า μ ที่เสถียรคล้องกับสภาพของท่อจริงของระบบท่อจ่ายน้ำ มีองค์ประกอบหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง เช่น ความเรียบของผนังในท่อ อายุการใช้งานของท่อ และชนิดต่างๆของท่อ เป็นต้น โดยการศึกษาที่มีข้อจำกัด จึงเลือกใช้ค่า μ เป็นค่าคงที่

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไปในอนาคต อาจจะพัฒนาออกแบบให้ใช้ได้ในระบบท่อประธาน ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าท่อจ่ายน้ำ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานภาคสนามให้กับท่อประธาน แต่ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัยที่จะเกิดขึ้น เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน แรงดันที่เพิ่มขึ้น และรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ฝ่ายสื่อสารองค์กร , “รายงานประจำปี 2558 (ฉบับสมบูรณ์)” การประปานครหลวง
- [2] Farley, M. and Trow, S (2003) “Losses in Water Distribution Networks – A Practitioner’s Guide to Assessment, Monitoring and Control”. London : IWA Publishing
- [3] E. Russel Johnston, Jr. (1996). Vector Mechanics for Engineers (Sixth ed.). Mc Graw-Hill.
- [4] Meriam, J. L.; L. G. Kraige (2002). Engineering Mechanics (fifth ed.). John Wiley & Sons.
- [5] Ruina, Andy; Rudra Pratap (2002). Introduction to Statics and Dynamics. Oxford University Press.
- [6] Hibbeler, R. C. (2007). Engineering Mechanics (Eleventh ed.). Pearson, Prentice Hall.
- [7] PETERSON. Inflatable Pipe Plugs for Almost Any Application. [Online] Available : http://www.petersenproducts.com/inflatable_plugs.aspx
- [8] Pronal ASIA-Manufacturing Elastomer Engineering. Stopper >>UNIPLUG. [Online] Available : http://www.pronalasia.com/product.php?menu=productshow&no=32&category_title=Stopper
- [9] Anthony Jones, Jonathan UPSDELL. 2014. Piston Seal. Oxford Nanopore Technologies Limited. EP2755703 A2

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เรื่องตีพิมพ์ประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 54 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

The Proceedings of 54th KASETSART UNIVERSITY ANNUAL CONFERENCE

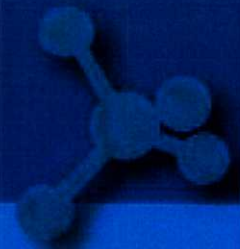
สาขาวิทยาศาสตร์ Science
สาขาพันธุวิศวกรรม Genetic Engineering
สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและวิศวกรรมศาสตร์
Architecture and Engineering
สาขาอุตสาหกรรมเกษตร Agro-Industry
สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
Natural Resources and Environment

กลุ่มที่ 2



นวัตกรรมด้านการเกษตรเพื่อห่วงโซ่มูลค่าระดับโลก

Agricultural Innovation for Global Value Chain



การออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพงาน
ภาคสนาม ของการประปานครหลวง

Design of temporary water stopping inside of a distribution pipe to enhance field activity
of Metropolitan Waterworks Authority (MWA)

บุญลือ สิงห์บุบผา¹ และ สุพรรณ กุลพานิชย์¹

Boonlue Singbubpha¹ and Supan Gulphanich¹

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการดำเนินการภาคสนามของการประปานครหลวง ส่วนมากคือท่อจ่ายน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 300 มิลลิเมตร เมื่อมีปัญหากรณีท่อแตกรั่วหรือซ่อมบำรุงท่อ จำเป็นต้องปิดประตูน้ำ แต่พบอุปสรรค ทำให้ไม่สามารถปิดประตูน้ำได้ ในงานวิจัยนี้ขอนำเสนอ อุปกรณ์ที่สามารถหยุดน้ำภายในท่อได้ชั่วคราว โดยมีส่วนสำคัญคือ ปลั๊กบอลลูน อาศัยหลักการของแรงเสียดทานของผิวสัมผัสผนังปลั๊กบอลลูนกับผนังท่อ เพื่อเป็นแรงต้านมีทิศทางฝั่งตรงกันข้ามกับแรงของน้ำภายในท่อเพื่อหยุดการไหล แรงนี้จะเรียกว่า แรงเสียดทานสถิต ตามทฤษฎีวิเคราะห์แนวแรงตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน โดยมีการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุปลั๊กบอลลูนกับท่อที่ใช้ในงานวิจัยนี้ การทดสอบเพื่อวัดขีดความสามารถของปลั๊กบอลลูนคือ เพิ่มแรงดันจนกว่าน้ำภายในท่อจะหยุดไหล ณ จุดนี้แรงเสียดทานสถิตมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงดันน้ำภายในท่อ ในทางปฏิบัติ เพื่อความปลอดภัยจะเพิ่มแรงเสียดทานให้ใช้งานเป็น 2 เท่า ของแรงเสียดทานสถิตที่ใช้ทดสอบ

ABSTRACT

At present, field activity of Metropolitan Waterworks Authority(MWA) ,Most of distribution pipe is 300 mm of diameter. When there is a problem, the broken or maintenance pipe. Need to close gate valve ,but had problems. Can not close gate valve. This research presents device for water stopping temporary. Important part is plug ball. The principle of friction of a plug with a force to the opposite side to the water pressure force inside the pipe to stop the flow. This is called Static friction. theoretical analysis force from The third law of motion. Research has analyzed coefficient of friction for plug ball and pipe material that used in this research. In a test to measure the ability of a plug ball. By pressure increased until the water stops flowing. At this point the static friction is greater than or equal water pressure force inside the pipe. The safety guidelines will increase .The friction to be used as double of static friction test.

¹ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

¹ Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

คำนำ

ท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มม. ส่วนมากท่อประเภทนี้อยู่ในแนวทางเดินเท้าริมถนน และใช้เป็นระบบท่อในการแบ่งพื้นที่ย่อย (District Metering Area : DMA) เพื่อการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย (Farley, M. and Trow, S., 2003) จึงการดำเนินงานภาคสนามในระบบท่อจ่ายน้ำมีจำนวนมาก เช่น การซ่อมท่อ การตัดบรรจบท่อ การติดตั้งอุปกรณ์มาตรวัดน้ำ และการติดตั้งปรับปรุงระบบอุปกรณ์การวัดและควบคุมภาคสนาม (Remote Terminal Unit : RTU) สำหรับ DMA เป็นต้น ซึ่งการดำเนินงานดังกล่าว มีขั้นตอนหลักที่สำคัญคือ การปิดประตูน้ำ เพื่อหยุดการจ่ายน้ำชั่วคราวในพื้นที่ ปัญหาส่วนมากที่พบ คือ ประตูน้ำที่ใช้ในการเปิดและปิดไม่สามารถใช้งานได้ จากหลายสาเหตุเช่น ประตูน้ำชำรุด ประตูน้ำปิดไม่สนิท แกนประตูน้ำถูกลึกลับขโมย หรือฝาทึบประตูน้ำจมอยู่ในพื้นผิวใต้ดิน เป็นต้น

ยกตัวอย่างการดำเนินงานภาคสนามที่เกิดปัญหา เช่น งานติดตั้งปรับปรุงตู้ RTU ซึ่งในขอบเขตของงานต้องมีการถอดเปลี่ยนมิเตอร์วัดอัตราการไหล เมื่อไม่สามารถปิดประตูน้ำได้ จึงมีความจำเป็นต้องปิดประตูน้ำตัวถัดไป เพื่อดำเนินการเปลี่ยนมิเตอร์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ที่ขาดน้ำเป็นบริเวณกว้างขึ้น มีข้อร้องเรียนจากผู้ใช้น้ำเนื่องจากน้ำไม่ไหลหรือไหลอ่อน และมีผลกระทบต่อขีดโอกาสในการบริการน้ำประปาแก่ประชาชน มีน้ำสูญเสียจากน้ำที่ค้างภายในท่อปริมาณมากเมื่อระยะทางในการปิดประตูน้ำเพิ่มขึ้น และในการคืนสภาพการจ่ายน้ำต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้นส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำประปา เป็นต้น

งานวิจัยนี้ จึงออกแบบอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานภาคสนาม โดยแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นได้ ใช้หลักการออกแบบของอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ขณะที่มีระบบการจ่ายน้ำปกติ ไม่ต้องหยุดการจ่ายน้ำ มีน้ำไหลภายในท่อตลอดเวลา โดยส่วนสำคัญคือการวิเคราะห์แนวแรงของปลั๊กบอลลูน เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นจนปลั๊กบอลลูนขยายตัวเต็มภายในท่อ และมีแรงเสียดทานตรงผิวสัมผัสมากที่สุดที่สามารถหยุดน้ำภายในท่อได้ (Peterson.) (Pronal ASIA-Manufacturing Elastomer Engineering.)

อุปกรณ์และวิธีการ

การออกแบบชุดอุปกรณ์หยุดน้ำภายในระบบท่อจ่ายน้ำชั่วคราว เพื่อแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นจากที่กล่าวมานั้น อาศัยหลักการของแรงดันในชุดปลั๊กบอลลูนอุดน้ำต้องมีค่ามากพอเพื่อมีแรงเสียดทานสถิตที่ผิวสัมผัสเพียงพอ ที่ต้านการไหลของน้ำภายในท่อที่มีทิศทางของแรงตรงกันข้าม เพื่อหยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราว โดยใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์แนวแรงตาม กฎการเคลื่อนที่ข้อ 3 ของนิวตัน (Newton's third law of motion) ซึ่งกล่าวว่า "ทุกแรงกิริยา (action) ย่อมมีแรงปฏิกิริยา (reaction) ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ" และการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน โดยแบ่งการออกแบบเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของชุดอุปกรณ์ ประกอบด้วย

1.1 หน้าจาวงกลม สำหรับติดตั้งแกนประคอง ขนาด \varnothing 2 นิ้ว (Flange)

1.2 แกนประคอง คือ ท่อขนาด \varnothing 3 นิ้ว ความยาว 1 เมตร จำนวน 1 ท่อน (Static Rod)

1.3 วาล์วน้ำขนาด \varnothing $\frac{3}{4}$ นิ้ว เพื่อระบายน้ำออกขณะดันแกนส่งลงไปภายในท่อ (Manual Valve)

1.4 Pressure Gauge ย่านการวัด 0-2 บาร์

1.5 ชุดค้ำยัน คือ ท่อขนาด \varnothing 6/8 นิ้ว ความยาว 1 เมตร จำนวน 4 ท่อน (Raker Set)

1.6 แกนส่ง คือ ท่อขนาด \varnothing 2 นิ้ว ความยาว 1.5 เมตร จำนวน 1 ท่อน พร้อมเชื่อมหน้าจวนที่มีขนาด \varnothing $\frac{1}{2}$ นิ้ว ติดตั้งวาล์วน้ำขนาด \varnothing $\frac{1}{2}$ นิ้ว จำนวน 1 ตัว เพื่อระบายน้ำออกขณะดันแกนต้นของชุดปลั๊กบอลลง (Insert Rod)

1.7 แกนดันชุดปลั๊กบอลลงหยุดน้ำ คือ ท่อขนาด \varnothing 1/2 นิ้ว ความยาว 2.5 เมตร จำนวน 1 ท่อน (Push Rod)

1.8 ชุดแม่แรงยกแกนต้นของชุดปลั๊กบอลลงหยุดน้ำ 1 ชุด (Lift Jack)

1.9 ปลั๊กบอล คือ วัสดุยาง PVC รูปทรงกระบอก ขนาด \varnothing 0.30 เมตร ความยาว 0.6 เมตร (Plug Ball)

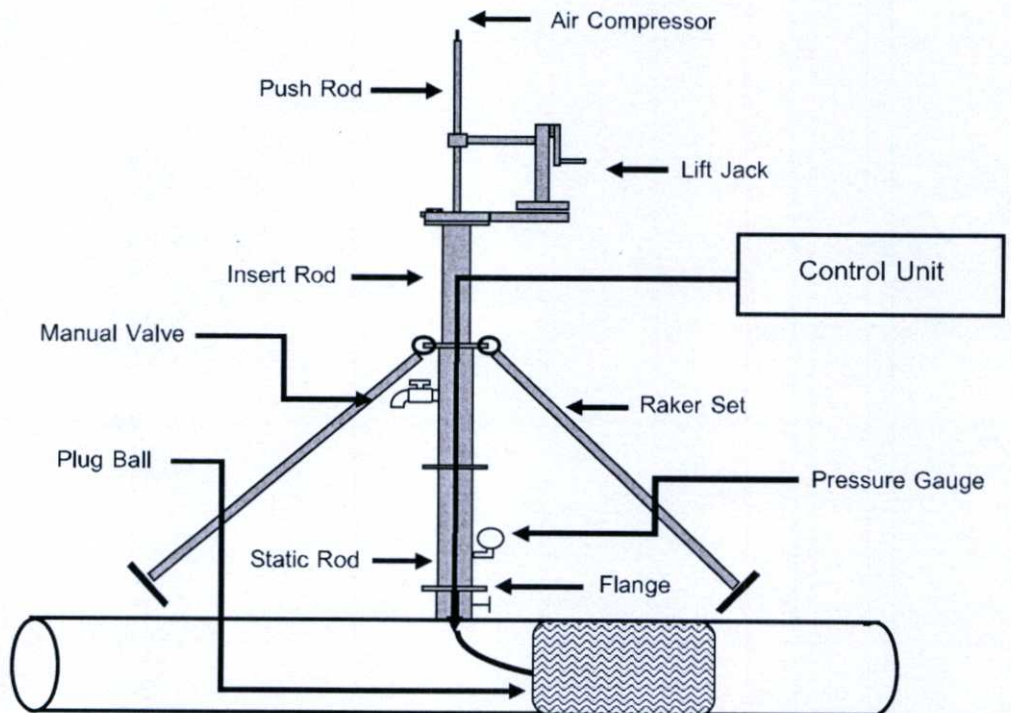


Figure 1 Components of Device

2. ส่วนของชุดควบคุมแรงดันลมปลั๊กบอลรุ่น ประกอบด้วย

- 2.1 ปี่ลม กำลัง 105 W ปริมาณลม 150 L/min
- 2.2 อุปกรณ์ควบคุมแรงดันคงที่ (Service Unit)
- 2.3 Pressure Gauge ย่านการวัด 0-2 บาร์
- 2.4 วาล์วระบายแรงดัน (Release Air Valve)

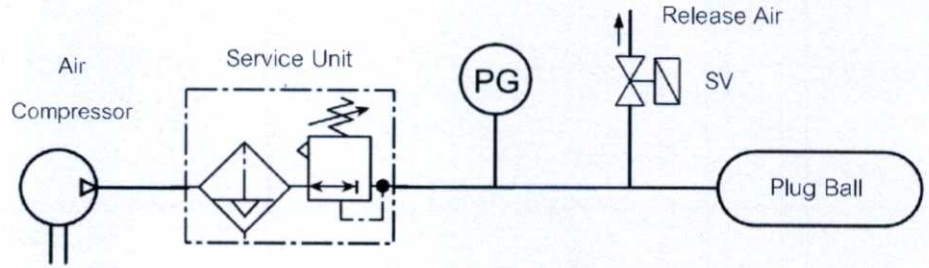


Figure 2 Control Unit

การกำหนดตัวแปรของแรงที่กระทำต่อปลั๊กบอลรุ่น เพื่อหยุดการไหลของน้ำภายในท่อ

จากการออกแบบเพื่อให้อุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อชั่วคราวสามารถใช้งานได้ในระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง โดยพิจารณาจากแรงของน้ำภายในท่อ และแรงเสียดทานของปลั๊กบอลรุ่นที่ผนังภายในท่อ โดย F_{break} จะต้องมีค่ามากกว่า F_{water} ตามทฤษฎีของกฎการเคลื่อนที่ข้อ 3 ของนิวตัน (Newton's third law of motion) กล่าวคือ "ทุกแรงกิริยา (action) ย่อมมีแรงปฏิกิริยา (reaction) ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ" กฎข้อนี้เรียกว่า กฎของกิริยาและปฏิกิริยา (Law of action and reaction) แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา หมายถึง แรงกระทำและแรงกระทำตอบ โดยเป็นแรงซึ่งกระทำต่อมวลที่ต่างกันและเกิดขึ้นพร้อมกันเป็นคู่เสมอ โดยที่มวลอาจไม่สัมผัสกันและถือว่าแรงหนึ่งแรงใดเป็นแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาก็ได้ (Figure 3)

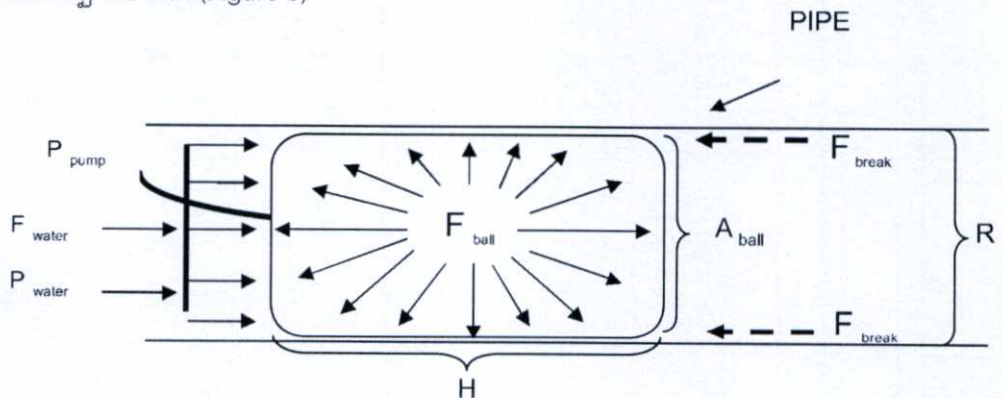


Figure 3 Force diagram of plug ball in a pipe

กำหนดให้	F_{water}	แทนแรงการทำจากน้ำในท่อกับปลั๊กบอลลูน (นิวตัน)
	F_{ball}	แทนแรงดันลมที่กระทำกับผนังภายในปลั๊กบอลลูน (นิวตัน)
	F_{break}	แทนแรงเสียดทานของปลั๊กบอลลูนกับผนังท่อภายใน (นิวตัน)
	A_{pipe}	แทนพื้นที่หน้าตัดของท่อ (ตารางเมตร)
	A_{ball}	แทนพื้นที่ผิวสัมผัสภายในท่อของปลั๊กบอลลูน (ตารางเมตร)
	H	แทนความยาวของปลั๊กบอลลูน (เมตร)
	P_{water}	แทนแรงดันน้ำภายในท่อ (เมตรน้ำ)
	P_{pump}	แทนแรงดันที่อัดเข้าไปในปลั๊กบอลลูน (เมตรน้ำ)
	R	แทนรัศมีท่อที่ทำการทดลอง (เมตร)

ความสัมพันธ์แรงดันของน้ำภายในท่อ F_{water} และแรงเสียดทานของปลั๊กบอลลูน F_{break}

โดยที่ $A_{\text{ball}} = H \cdot (2\pi R)$ (สมการที่ 1)

$F_{\text{ball}} = P_{\text{pump}} \cdot A_{\text{ball}}$ (สมการที่ 2)

แทนค่า สมการที่ 1 ในสมการที่ 2 จะได้

$F_{\text{ball}} = P_{\text{pump}} \cdot (H) \cdot (2\pi R)$ (สมการที่ 3)

และ $A_{\text{pipe}} = \pi R^2$ (สมการที่ 4)

$F_{\text{water}} = P_{\text{water}} \cdot A_{\text{pipe}}$ (สมการที่ 5)

แทนค่า สมการที่ 4 ในสมการที่ 5 จะได้

$F_{\text{water}} = P_{\text{water}} \cdot \pi R^2$ (สมการที่ 6)

โดย $F_{\text{break}} = \mu \cdot F_{\text{ball}}$ (สมการที่ 7)

แทนค่า สมการที่ 3 ในสมการที่ 7 จะได้

$F_{\text{break}} = \mu \cdot [P_{\text{pump}} \cdot (H) \cdot (2\pi R)]$ (สมการที่ 8)

จากสมการความสัมพันธ์ F_{break} ต้องมีค่ามากกว่า F_{water} โดยกำหนดให้ค่าความปลอดภัย (Safety Factor) มีค่าเท่ากับ 2 โดยวิเคราะห์จากค่าแรง F_{break} ให้มีค่าเป็น 2 เท่าของ F_{water} ซึ่ง F_{water} คือแรงของน้ำภายในท่อ ที่ค่าแรงดันน้ำปกติมีค่าเฉลี่ยเพียง 10 เมตรน้ำ จากสมการความสัมพันธ์ สรุปได้ดังนี้

$$\mu \cdot [P_{\text{pump}} \cdot (H) \cdot (2\pi R)] > P_{\text{water}} \cdot \pi R^2$$

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

การคำนวณงานวิจัยนี้ ใช้ค่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน μ ของวัสดุชนิด Polypropylene เนื่องจากเป็นค่า μ ที่เป็นวัสดุใกล้เคียงกับชนิดท่อที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งมีคุณสมบัติโครงสร้างส่วนประกอบของวัสดุที่คล้ายคลึงกัน (Anthony Jones, Jonathan UPSDELL.,2014) (Table 1)

Table 1 Coefficient of Dynamic Friction to each material

Material	Coefficient of Dynamic Friction
UHMWPE	0.1-0.2
PTFE	0.05-0.1
FEB	0.08-0.3
Polypropylene	0.3-0.4
HDPE	0.07-0.4
Ethylene tetrafluoroethylene (ETFE)	0.3-0.4
PMMA	0.5-0.8
Polycarbonate	0.3-0.9
Nylon	0.2-0.5
Acetal	0.1-0.4
Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)	0.2-0.5
NexPrene (RTM) thermoplastic	0.4-0.5

โดยค่า μ (Table 1) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานจลน์ (Dynamic friction) ของวัสดุแต่ละชนิดกับเหล็ก มีสถานะอยู่ในของเหลว ซึ่งแรงเสียดทานจลน์มีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานสถิตเสมอ ในสภาวะวัสดุและสิ่งแวดล้อมเดียวกัน จึงพิจารณาใช้ค่า μ มีค่าเท่ากับ 0.4 ของวัสดุชนิด Polypropylene และโครงสร้างวัสดุชนิด PVC มีความยืดหยุ่นมากกว่าเหล็ก จึงวิเคราะห์ได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.4 ของวัสดุชนิดนี้ จึงนำมาใช้ในการคำนวณ โดยค่า μ ที่เสถียรคล้องกับสภาพของท่อที่ใช้งานจริงของระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวง มีองค์ประกอบหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง เช่น ความเรียบของผนังในเส้นท่อ อายุการใช้งานของท่อ และชนิดต่างๆของท่อ เป็นต้น โดยการศึกษามีข้อจำกัดในทดสอบ แต่สามารถคำนวณหาค่า μ ที่แท้จริงได้จากข้อมูลการทดสอบใช้งานภาคสนามในอนาคต

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ทดลองโดยติดตั้งระบบท่อจำลอง และติดตั้งอุปกรณ์หยุดน้ำภายในระบบท่อจ่ายน้ำชั่วคราว (Figure 4) โดยพับวัสดุปลั๊กบอลลงในแกนส่ง ดันแกนส่งจนได้ระยะ และดันแกนดันปลั๊กบอลลง เพื่อให้วัสดุปลั๊กบอลลงเข้าไปในท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้สำหรับงานวิจัยคือ 0.30 เมตร ชนิดท่อ Polyvinyl Chloride : PVC เพราะท่อชนิดนี้มีจำนวนมากที่สุดในระบบท่อจ่ายน้ำของการประปา นครหลวงในปัจจุบัน (ฝ่ายสื่อสารองค์กร.,2557) และการคำนวณจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) มีค่าเท่ากับ 0.4 ของวัสดุชนิด Polypropylene (Table 1) โดยทำการทดลอง 5 ครั้ง วิธีการคือ จำลองปั๊ม แรงดันน้ำ P_{water} เข้าไปภายในระบบท่อจำลอง และกำหนดให้แรงดันคงที่ประมาณ 10 เมตรน้ำ (ฝ่ายสื่อสารองค์กร.,2557) และปั๊มแรงดันลมให้ปลั๊กบอลขยายตัวจนเต็มภายในท่อ(Figure 5) โดยกำหนดเป็น P_{pump} และเพิ่มค่าแรงดันของปลั๊กบอล เพื่อหาจุดค่าแรงดันที่อัดให้ปลั๊กบอลแล้วเริ่มหยุดการไหลของน้ำได้

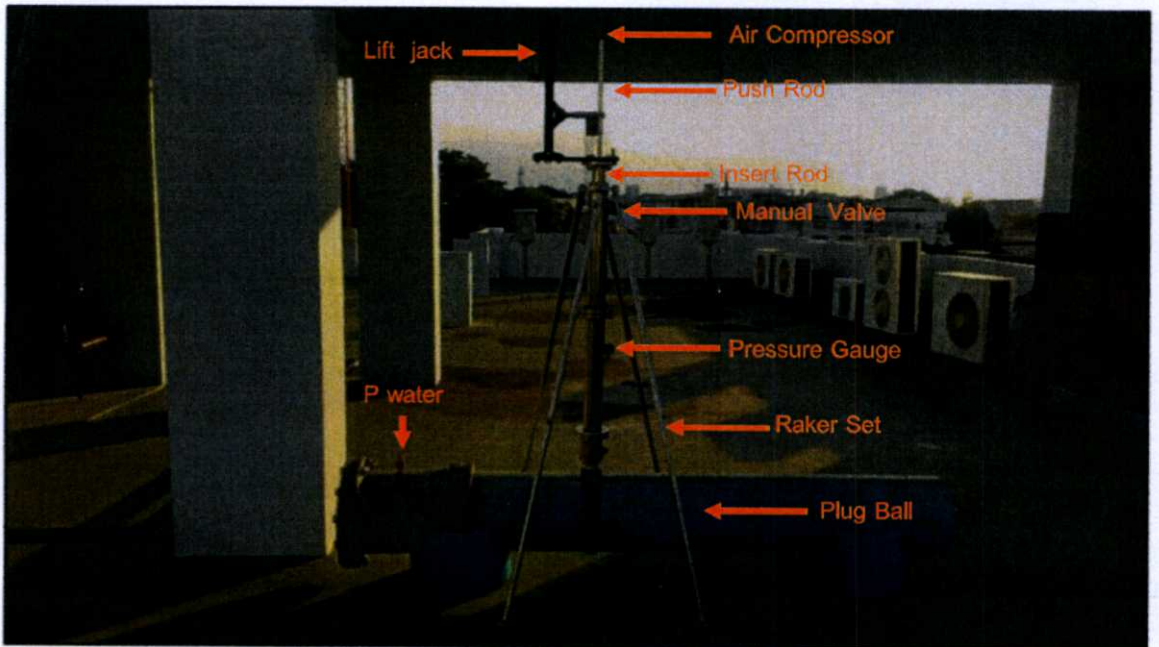


Figure 4 Model system setup

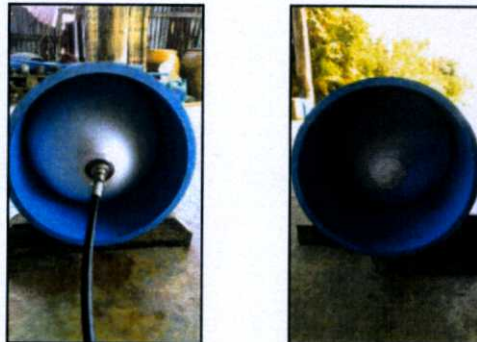


Figure 5 Plug Ball Inflation

ควบคุมระบบแรงดันคงที่ (Figure 2) และเมื่อสิ้นสุดการดำเนินการภาคสนาม ระบายแรงดันลมออกจาก วาล์วระบายแรงดัน (Release Valve) (Figure 2) และใช้ระบบแม่แรง (Lift Jack) ดึงแกนต้นขึ้น เพื่อให้ วัสดุปลั๊กบอลลูนหดตัวอยู่ในแกนส่ง จากนั้นดึงแกนส่งขึ้น เพื่อเป็นการดึงปลั๊กบอลลูนออกจากระบบท่อ จำลอง สิ้นสุดการทำงาน และผลการทดลอง (Table 2)

Table 2 Experimental results

Time(s)	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		Average	
	P pump (MH2O)	F break (N) (Calculate)	P pump (MH2O)	F break (N) (Calculate)	P pump (MH2O)	F break (N) (Calculate)	P pump (MH2O)	F break (N) (Calculate)	P pump (MH2O)	F break (N) (Calculate)	P pump (MH2O)	F break (N) (Calculate)
5	1.12	0.25	1.10	0.25	1.14	0.26	1.01	0.23	1.05	0.24	1.08	0.25
10	2.20	0.50	2.25	0.51	2.23	0.50	2.03	0.46	2.12	0.48	2.17	0.49
15	3.21	0.73	3.21	0.73	3.12	0.71	3.20	0.72	3.05	0.69	3.16	0.72
20	4.13	0.93	4.10	0.93	4.34	0.98	4.24	0.96	4.21	0.95	4.20	0.95
25	5.02	1.13	5.01	1.13	5.10	1.15	5.03	1.14	5.13	1.16	5.06	1.14
30	6.14	1.39	6.16	1.39	6.02	1.36	6.15	1.39	6.19	1.40	6.13	1.39

Water Pressure is fixed at 10 mH2O and Calculation F_{water} is 0.70 (Equation 6). The experimental results plug ball can water stopping at 15 second, Pump Pressure Average is 3.16 mH2O.

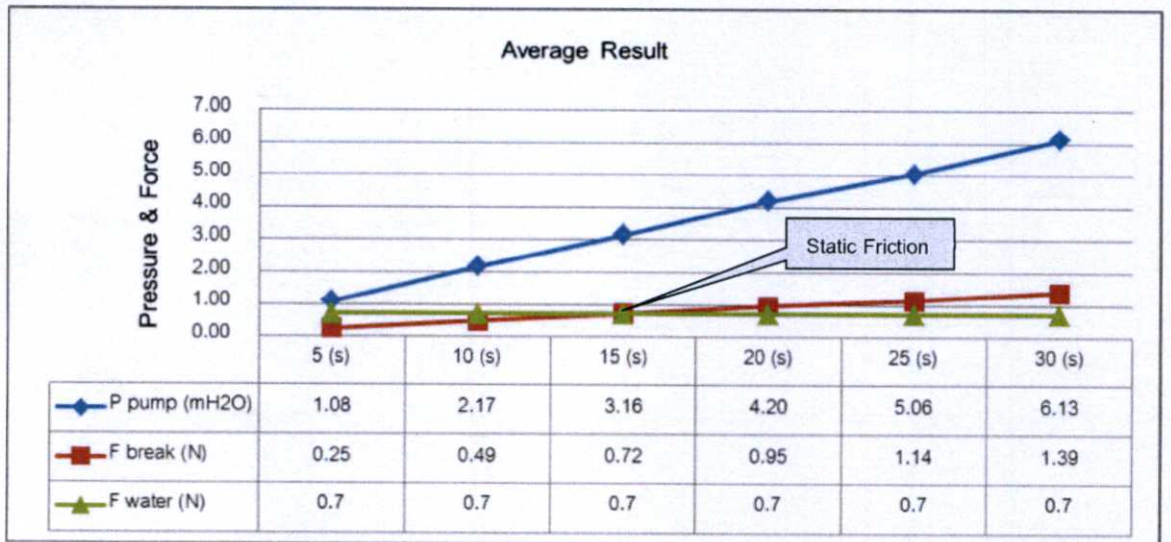


Figure 6 Average pressure and force of the system

จาก (Table 2) เมื่อตั้งค่าระบบท่อจำลองมีค่าแรงดันน้ำคงที่เท่ากับ 10 เมตรน้ำ ซึ่งค่า F_{water} จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0.70 นิวตัน(สมการที่ 5) และเพิ่มแรงดัน P_{pump} ให้กับปลั๊กบอลลูน โดย ณ เวลาที่ 15 วินาที มีค่าแรงดัน P_{pump} เฉลี่ยเท่ากับ 3.16 เมตรน้ำ และเริ่มหยุดน้ำได้ และค่า F_{break} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.72 นิวตัน(สมการที่ 8) พบว่า ณ เวลาที่ 15 วินาทีนี้ F_{break} มีค่าใกล้เคียงกับ F_{water} ความหมายคือ ณ จุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นของค่าแรงเสียดทานสถิต (Static friction) ปลั๊กบอลลูนเริ่มหยุดน้ำ ภายในท่อได้ โดยแนวของแรงที่กระทำตามการวิเคราะห์ตามทฤษฎีการเคลื่อนที่ข้อ 3 ของนิวตัน

(Newton's third law of motion) กล่าวว่า "ทุกแรงกิริยา (action) ย่อมมีแรงปฏิกิริยา (reaction) ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ" และเพิ่มแรงดัน P_{pump} จนถึงค่าเฉลี่ยที่ 6.13 เมตรน้ำ ได้ค่าเฉลี่ย F_{break} เท่ากับ 1.39 นิวตัน ซึ่งค่าแรงดันของปลั๊กบอลลูน ณ จุดนี้ เป็นการกำหนดค่าความปลอดภัย Safety Factor มีค่าเท่ากับ 2 เท่าของ ณ จุดเริ่มต้นแรงเสียดทานสถิต หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง F_{break} มีค่ามากกว่า F_{water} ถึง 2 เท่า ดังนั้นอุปกรณ์หยุดน้ำภายในท่อจ่ายน้ำชั่วคราวสามารถหยุดน้ำภายในระบบท่อจ่ายน้ำชั่วคราวได้อย่างสมบูรณ์ โดยค่า μ (Table 1) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่นำมาคำนวณ โดยค่า μ ที่สอดคล้องกับสภาพของท่อจริงของระบบท่อจ่ายน้ำ มีองค์ประกอบหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง เช่น ความเรียบของผนังในท่อ อายุการใช้งานของท่อ และชนิดต่างๆของท่อ เป็นต้น โดยการศึกษามีข้อจำกัด แต่สามารถคำนวณหาค่า μ ที่สอดคล้องและแท้จริง ได้จากข้อมูลการทดสอบใช้งานภาคสนามของอุปกรณ์ในอนาคต

สรุป

จากการทดลองพบว่า ถ้าเพิ่มแรงดันของปลั๊กบอลลูน ให้แรงเสียดทานสถิตที่ไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แล้ว F_{break} มีค่าเป็น 2 เท่า ของ F_{water} ที่เป็นแรงดันน้ำปกติ มีค่าความปลอดภัยสูงมากพอต่อการใช้งาน เพื่อหยุดน้ำภายในระบบท่อจ่ายน้ำชั่วคราวของการประปานครหลวง ตามทฤษฎีการวิเคราะห์แนวแรงกฎการเคลื่อนที่ข้อ 3 ของนิวตัน (Newton's third law of motion) และค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน ที่งานวิจัยนี้ได้อ้างอิงถึง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ฝ่ายบริหารจัดการน้ำสูญเสีย การประปานครหลวง ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ส่วนควบต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Farley, M. and Trow, S (2003) "Losses in Water Distribution Networks – A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control". London : IWA Publishing

PETERSON. Inflatable Pipe Plugs for Almost Any Application. Available Source : http://www.petersenproducts.com/inflatable_plugs.aspx , January 20, 2015.

Pronal ASIA-Manufacturing Elastomer Engineering. Stopper>>UNIPLUG. Available Source : http://www.pronalasia.com/product.php?menu=productshow&no=32&category_title=Stopper , June 27, 2015.

Anthony Jones, Jonathan UPSDELL. 2014. Piston Seal. Oxford Nanopore Technologies Limited. EP2755703 A2

ฝ่ายสื่อสารองค์กร , การประปานครหลวง . 2557. รายงานประจำปี 2557 (ฉบับร่าง) .44

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายบุญลือ สิงห์บุบผา
วัน เดือน ปีเกิด	27 มีนาคม 2529 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	109/12 หมู่ 1 หมู่บ้านโนโววิลส์ ตำบลลำโพ อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี
ประวัติการศึกษา	2548-2551 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบการสูบน้ำของการประปานครหลวง 2.) ระบบฝึกระวังน้ำสูญเสีย 3.) ระบบงานสัญญาจ้าง การติดตั้ง หรือปรับปรุงทดแทนอุปกรณ์เครื่องมือวัด
การทำงาน	- ปัจจุบัน ดำรงตำแหน่ง วิศวกร 5 ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและประเมินผล กองวางแผนและพัฒนาเทคโนโลยีน้ำสูญเสีย ฝ่ายบริหารจัดการน้ำสูญเสีย การประปานครหลวง
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2556	- วิศวกร 4 ส่วนวางแผนงานลดน้ำสูญเสีย - ผู้ช่วยผู้ควบคุมงาน งานจ้างปรับปรุงทดแทนระบบฝึกระวังน้ำสูญเสีย สัญญาเลขที่ จล.89-1/2556
พ.ศ.2557	- วิศวกร 4 ส่วนวางแผนงานลดน้ำสูญเสีย - ผู้ช่วยผู้ควบคุมงาน งานจ้างปรับปรุงทดแทนระบบฝึกระวังน้ำสูญเสีย สัญญาเลขที่ จล.23-1/2557
พ.ศ.2558	- วิศวกร 4 ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและประเมินผล - ผู้ช่วยผู้ควบคุมงาน งานจ้างปรับปรุงทดแทนระบบฝึกระวังน้ำสูญเสีย สัญญาเลขที่ จล.28-1/2558
ปัจจุบัน	- วิศวกร 5 ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและประเมินผล - ผู้ช่วยผู้ควบคุมงาน งานจ้างปรับปรุงทดแทนระบบฝึกระวังน้ำสูญเสีย สัญญาเลขที่ จล.29-1/2559