รายงานสหกิจฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์ระบบท่อประปาเพื่อประมาณค่าการสูญเสียแรงดัน

An Analysis of Plumbing System

นายปัณณทัต บุญมาก

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การวิเคราะห์ระบบท่อประปาเพื่อประมาณค่าการสูญเสียแรงดัน

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายปัณณทัต บุญมาก

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณวิชิต อนันต์วิจิตร

สถานประกอบการ ทีเอชเอส ดีเวลล็อปเม้นท์จำกัด

บทคัดย่อ

เมื่อของไหลไหลภายในท่อ แรงเสียดทานระหว่างของเหลวกับผนังท่อ จะทำให้เกิดความดันลดในระบบท่อ จึงต้องจ่ายความดันให้กับระบบท่อให้ไม่น้อยกว่าความดันลดนั้น เพื่อให้ของไหลสามารถไหลไปถึงปลายท่อ ระบบท่อประปาจะถูกออกแบบท่อและการจ่ายความดันให้เหมาะสมกับการใช้งานน้ำในสถานการณ์ปกติ แต่ถ้าหากมีการใช้งานน้ำมากกว่าสถานการณ์ปกติ ความดันลดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการใช้งาน ส่งผลให้ความดันที่ปลายท่อมีค่าลดลง จนกระทั่งความดันมีค่าไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน โครงงานนี้จึงมุ่งหวังที่จะทำวิธีการประมาณค่าหาความดันลดของระบบท่อที่มีวิธีการคำนวณที่สะดวกเหมาะสำหรับผู้รับเหมา หรือผู้ดูแลระบบประปา ในการตรวจสอบความดันของระบบ เพื่อให้ปรับปรุงหรือแก้ไขความดันน้ำในระบบให้ไม่น้อยกว่าความดันลดที่จะเกิดขึ้น ทำให้ระบบประปาสามารถจ่ายน้ำได้อย่างไม่มีปัญหา

คำสำคัญ : แรงเสียดทานจากการไหลภายในท่อ, การประมาณค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: An Analysis of Plumbing System

Student intern name: Mr.Pannathat Boonmak

Faculty: Engineering **Department:** Mechanical Engineering

Advisor name: Dr.Natthawut Ruangtrakoon

Mentor name: Mr.Wichit Anan-vijit

Company: THS Development

ABSTRACT

When fluid flow inside the pipe, the friction between fluid and pipe wall will create the pressure drop in the piping system. To overcome that pressure drop, the supply pressure must not below than the pressure drop and the fluid could flow through the pipe. The plumbing system's pipe and supply pressure was designed to handle the water usage in normal condition but when the water usage is increase more than normal condition, the pressure drop will increase respectively and result to the outlet pressure of pipe is inappropriate to use. this project is aim to fabricate the estimation method to find pressure drop of the piping system, the method is also convenient to use for contractor or plumbing technician to inspect and adjust the supply pressure of the system to be suitable for the pressure drop, making plumbing system capable of supply the water without problem

Keywords : Friction loss in pipe, estimation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์นิเทศก์ ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางสำหรับการแก้ไขปัญหาต่างๆ

ขอขอบพระคุณรุ่นพี่วิศวกรที่บริษัทที่เอชเอส ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด ทุกท่านที่ได้สละเวลามาสอนงาน และอธิบายงานต่างๆ แม้ว่าในบางครั้งทุกคนจะมีงานทำจนล้นมือ แต่ก็ยังพยายามหาเวลาว่างมาให้ความรู้ด้วยความตั้งใจจริง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างปริญญานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้ความกรุณาแนะนำและชี้แนะแนวทางจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดามาดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้วิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ผู้จัดทำ

ปัณณทัต บุญมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....2

1.3 สมมติฐาน.....2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้.....2

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....2

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....3

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 จุดประสงค์ของระบบท่อ.....4

2.2 หลักการเบื้องต้นของระบบท่อ.....4

2.3 วัสดุของท่อประปา.....5

2.4 อัตราการไหลและความดันของเครื่องสุขภัณฑ์.....6

2.5 ท่อน้ำที่เหมาะสม.....7

2.6 กลศาสตร์ของไหล.....9

2.6.1 ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynold number; Re) 9

2.6.2 สมการดาร์ซี (Darcy's equation) 9

2.6.3 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบราบเรียบ (Friction loss in laminar flow) 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.4 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบปั่นป่วน (Friction loss in turbulent flow) 10

2.6.5 สมการสำหรับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Equation for the friction factor) 11

2.6.6 สมการของ Hazen-Williams (Hazen-Williams formula for water flow) 12

2.6.7 การสูญเสียรอง (Minor losses) 16

2.6.8 ความยาวสมมูล.....16

2.7 ความแม่นยำของวิธีการคำนวณ.....18

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการทดลอง.....22

3.1 รวบรวมแบบที่จะใช้ในการคำนวณ.....22

3.2 สร้างแบบจำลองจากโปรแกรมเพื่อหาความดันลด.....23

3.2.1วาดโครงสร้างของระบบท่อด้วยโปรแกรม AutoCAD.....23

3.2.2 การนำเข้าด้วยโปรแกรม Pumpsim 3D.....24

3.2.3 การหาค่าความดันลดด้วยโปรแกรม Pumpsim 3D.....28

3.3 การประมาณค่าความดันลดโดยใช้จำนวนสุขภัณฑ์เป็นตัวแปร.....29

3.3.1 หาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพื่อทำตารางบันทึกผล.....29

3.3.2 หาความสัมพันธ์กับผลการคำนวณที่ได้.....29

3.3.3 ลดความซับซ้อนของการคำนวณ.....32

3.3.4 สรุปวิธีการประมาณค่าความดันลดแบบนับสุขภัณฑ์.....32

3.4 การประมาณค่าความดันลดโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปร.....36

3.4.1 วัดความยาวท่อในระบบ.....37

3.4.2 เปรียบเทียบอัตราส่วนความดันลดกับความยาวท่อในระบบ.....37

3.5 ประเมิณค่าความคลาดเคลื่อน.....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง....39

4.1 การประมาณค่าความดันลดโดยใช้สุขภัณฑ์เป็นตัวแปร....41

4.1.1 รายละเอียดสุขภัณฑ์....41

4.1.2 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม....42

4.1.3 ผลรวมอัตราส่วนความดันลด....43

4.1.4 ค่าคงที่เพื่อใช้หาค่าความดันลดในระบบ....45

4.1.5 ผลลัพธ์ที่ได้ และ ความคลาดเคลื่อน....46

4.2 การประมาณค่าโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปร....48

4.2.1 ความยาวท่อที่วัดได้....48

4.2.2 อัตราส่วนความดันลดกับความยาวท่อในระบบ....49

4.2.3 ผลลัพธ์ที่ได้ และความคลาดเคลื่อน....51

บทที่ 5 บทสรุป และ ข้อเสนอแนะ....53

5.1 สรุป....53

5.2 ข้อเสนอแนะ....54

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 อัตราการไหลและความดันสำหรับเครื่องสุขภัณฑ์....6
2.2 จำนวนท่อขนาด 15 มม. (1/2 นิ้ว) ที่สามารถเชื่อมต่อได้ ในท่อขนาดต่างๆ....8
2.3 จำนวนฟลัชวาล์วที่สามารถเชื่อมต่อได้ ในท่อขนาดต่างๆ....8
2.4 สัมประสิทธิ์ความหยาบของท่อชนิดต่างๆ....13
2.5 ความยาวสมมูลของ ข้อต่อ และอุปกรณ์เป็นเมตร....17
3.1 ตารางแสดงวิธีการคำนวณโดยใช้จำนวนสุขภัณฑ์เป็นตัวแปร....35
4.1 รายละเอียดจำนวนสุขภัณฑ์จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1....41
4.2 รายละเอียดจำนวนสุขภัณฑ์จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....41
4.3 ความดันลดจากการสร้างแบบจำลองจากกลุ่มตัวอย่างที่ 1 (เมตรน้ำ)....42
4.4 ความดันลดจากการสร้างแบบจำลองจากกลุ่มตัวอย่างที่ 2 (เมตรน้ำ)....42
4.5 ผลลัพธ์อัตราส่วนความดันลด จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1....43
4.6 ผลลัพธ์อัตราส่วนความดันลด จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....44
4.7 ค่าคงที่ของความสัมพันธ์ จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1....45
4.8 ค่าคงที่ของความสัมพันธ์ จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....45
4.9 ความดันลด (เมตรน้ำ) และ ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) จากการประมาณค่าโดยใช้สุขภัณฑ์เป็นตัวแปรของกลุ่มตัวอย่างที่ 1....46
4.10 ความดันลด (เมตรน้ำ) และ ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) จากการประมาณค่าโดยใช้สุขภัณฑ์เป็นตัวแปรของกลุ่มตัวอย่างที่ 1....47
4.11 ความยาวของท่อทั้งหมดในระบบท่อของกลุ่มตัวอย่างที่ 1....48
4.12 ความยาวของท่อทั้งหมดในระบบท่อของกลุ่มตัวอย่างที่ 2....48
4.13 อัตราส่วนความดันลดต่อความยาวท่อในระบบท่อของกลุ่มตัวอย่างที่ 1....49
4.14 อัตราส่วนความดันลดต่อความยาวท่อในระบบท่อของกลุ่มตัวอย่างที่ 2....49
4.15 ความดันลด (เมตรน้ำ) และ ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) จากการประมาณค่าโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปรของกลุ่มตัวอย่างที่ 1....51
4.16 ความดันลด (เมตรน้ำ) และ ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) จากการประมาณค่าโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปรของกลุ่มตัวอย่างที่ 2....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แผนภาพมูดี้ 11
2.2 ความดันลดในหน่วยฟุตต่อ 100 ฟุต หรือ เมตรต่อ 100 เมตร (สำหรับท่อทองแดง หรือ ท่อเรียบ) 14
2.3 ความดันลดในหน่วยฟุตต่อ 100 ฟุต หรือ เมตรต่อ 100 เมตร (สำหรับท่อผิวหยาบปานกลาง).....15
2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด และ ตัวเลขเรย์โนลด์ (ท่อผนังเรียบ ขนาด 23.5 มม.) 18
2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด และ ตัวเลขเรย์โนลด์ (ท่อผนังเรียบ ขนาด 13.3 มม.) 19
2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด และ ตัวเลขเรย์โนลด์ (ท่อผนังขรุขระ ขนาด 25 มม. ความขรุขระเฉลี่ย 0.015 มม.).....20
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด และ ตัวเลขเรย์โนลด์ (ท่อผนังขรุขระ ขนาด 14 มม. ความขรุขระเฉลี่ย 0.02 มม.).....21
3.1 ภาพตัวอย่างแบบระบบท่อ.....22
3.2 ตัวอย่างโครงสร้างระบบท่อที่วาดจากโปรแกรม AutoCAD.....23
3.3 ตัวอย่างการนำเข้าไฟล์ด้วยโปรแกรม Pumpsim 3D.....24
3.4 ตัวอย่างระบบท่อที่วาดด้วยโปรแกรม Pumpsim 3D.....25
3.5 ตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดของท่อ.....26
3.6 ตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดของข้อต่อ.....26
3.7 ตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดที่ท่อน้ำส่งออก.....27
3.8 ตัวอย่างระบบท่อที่กำหนดขนาดและชนิดของท่อ ข้อต่อ และ อัตราการไหลแล้ว.....28
3.9 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม.....28
3.10 แผนภาพแสดงการหาวิธีการคำนวณ.....33
3.11 แผนภาพแสดงตัวอย่างการหาวิธีการคำนวณ.....34
3.12 แผนภาพแสดงตัวอย่างการใช้งานวิธีการคำนวณ.....36
3.13 การวัดความยาวท่อในแบบระบบท่อ.....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.14 การวัดความยาวท่อในแบบระบบท่อ....38
4.1 แผนภาพชี้แจงผลการทดลอง ในกระบวนการประมาณค่าโดยใช้สุขภัณฑ์เป็นตัวแปร....39
4.2 แผนภาพชี้แจงผลการทดลอง ในกระบวนการประมาณค่าโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปร....40
4.3 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณด้วยการใช้สุขภัณฑ์เป็นตัวแปร....47
4.4 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนความยาวท่อต่อความดันลด และค่าเฉลี่ย....50
4.5 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณด้วยการใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปร....52
ก.1 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 1 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1....57
ก.2 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 2 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1....58
ก.3 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 3 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1....59
ก.4 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำโรงหนังชั้น 4 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1....60
ก.5 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 4 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1....61
ก.6 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 5 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1....62
ก.7 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น G จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....63
ก.8 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 2 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....64
ก.9 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 3 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....65
ก.10 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 7 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....66
ก.11 แบบระบบท่อประปาของห้อง 501 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....67
ก.12 แบบระบบท่อประปาของห้อง 502 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....68
ก.13 แบบระบบท่อประปาของห้อง 503 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....69
ก.14 แบบระบบท่อประปาของห้อง 601 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....70
ก.15 แบบระบบท่อประปาของห้อง 602 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....71
ก.16 แบบระบบท่อประปาของห้อง 701 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....72
ก.17 แบบระบบท่อประปาของห้อง 801 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....73
ก.18 แบบระบบท่อประปาของห้อง 901 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2....74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการติดตั้งระบบประปาภายในอาคาร จะเริ่มต้นที่การออกแบบระบบให้รองรับการใช้งานที่ตำแหน่งต่าง ๆ เช่น ห้องน้ำ ห้องครัว หรือการใช้งานอื่น ๆ โดยต้องวางรูปแบบการเดินท่อ และขนาดของท่อ ก่อนการติดตั้งระบบประปาของอาคารนั้น ทางวิศวกรได้มีการคำนวณขนาดของท่อ และความดันที่ต้องจ่ายให้เหมาะสมกับอัตราการใช้น้ำของสุขภัณฑ์ต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ช่างฝ่ายติดตั้งมีหน้าที่ติดตั้งตามแบบที่ได้รับมา ถึงแม้ว่าทางวิศวกรจะมีการคำนวณความดันที่ต้องจ่ายระบบท่อแล้ว แต่ก็มีในบางสถาณการณ์ หรือ สถานที่ที่มีการใช้น้ำมากกว่าปกติ ความดันที่ต้องจ่ายให้ระบบจึงต้องมีค่ามากกว่าสถาณการณ์ปกติ หากจ่ายความดันให้ระบบท่อตามที่ระบบต้องการไม่ได้ จะทำให้สุขภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติ ซึ่งปัญหาเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัย และภาพลักษณ์ขององค์กรได้

จากการเข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษากับบริษัท ทีเอชเอส ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด ข้าพเจ้าได้เล็งเห็นปัญหาที่เกิดขึ้น และเห็นความสำคัญของการมีส่วนร่วมรับผิดชอบต่องานที่ได้รับมอบหมาย จึงได้จัดทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การวิเคราะห์ระบบประปาเพื่อประมาณค่าการสูญเสียแรงดัน” ขึ้น เพื่อใช้ในการประมาณค่าความดันลดที่เกิดจากแรงเสียดทานภายในท่อ สำหรับตรวจสอบความถูกต้องหลังจากภายหลังจากการติดตั้ง

โครงงานนี้จึงมุ่งไปที่การสร้างวิธีการคำนวณเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง โดยมีวิธีการคำนวณจากการหาค่าความดันลดภายในท่อจากหลาย ๆ ตัวอย่าง แล้วบันทึกข้อมูลไว้ เช่น จำนวนสุขภัณฑ์ อัตราการไหล ขนาด และความยาวท่อ แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเหล่านี้ กับค่าความดันลด เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าความดันลดในตัวอย่างอื่น ๆ ซึ่งวิธีการแบบนี้สามารถหาผลลัพธ์ได้ไว อย่างไรก็ตามวิธีการคำนวณนี้จะมุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบความถูกต้องของระบบแบบคร่าว ๆ จึงอาจยังมีความแม่นยำเทียบกับการคำนวณหาความดันลดวิธี Hazen William ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อจัดทำวิธีในการหาค่าความดันลดโดยใช้ความสัมพันธ์กับข้อมูลในแบบ
2. เพื่อจัดทำวิธีการคำนวณหาค่าความดันลดอย่างง่ายเพื่อการตรวจสอบตรวจสอบ
3. เพื่อหาเปรียบเทียบวิธีการคำนวณเพื่อหาวิธีที่มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

1.3 สมมติฐาน

ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการประมาณค่าความดันลดของโครงงานนี้ จะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของน้ำที่สุขภัณฑ์ใช้ แต่แปรผกผันกับขนาดท่อของสุขภัณฑ์

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้

1. พื้นฐานการทำงานของระบบประปา
2. การหาความดันลดด้วยวิธี Hazen William

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1. โครงงานนี้จะคำนวณความดันลดภายในท่อน้ำของท่อน้ำดีเท่านั้น เป็นท่อผนังเรียบ
2. โครงงานนี้จะคำนวณการใช้น้ำจากทุกสุขภัณฑ์ในระบบ เพื่อหาค่าภาระสูงสุดที่อาจเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. คำนวณหาความดันลดด้วยโปรแกรม “Pumpsim 3D”
2. บันทึกข้อมูลของระบบ และผลลัพธ์ที่ได้เป็นตาราง
3. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของระบบประปา และความดันลดโดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรที่ต่างกัน คือ วิเคราะห์โดยใช้จำนวนสุขภัณฑ์เป็นตัวแปร และใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปร เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ที่มีรูปแบบหลากหลาย และแตกต่างกัน
4. แทนค่าความสัมพันธ์ที่ได้ในทุกตัวอย่าง เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าด้วยความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม
5. เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของความสัมพันธ์แต่ละรูปแบบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 เพื่อหาความสัมพันธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเพื่อนำไปใช้งาน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบง่าย จะทำให้การทำงานบางอย่างมีความรวดเร็วมากขึ้น
2. เป็นการตรวจสอบระบบประปาของโครงการที่จะทำงานไว้ล่วงหน้า หรือ หากมีตัวอย่างโครงการในอดีตก็สามารถนำข้อมูลมาใช้เพื่อพัฒนาปรับปรุงให้ระบบมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นได้
3. ทำให้มีการตรวจสอบความถูกต้องกันมากขึ้นเนื่องจาก การตรวจสอบมีความสะดวกมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในการทำโครงงานนี้ผู้จัดทำได้ศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำองค์ความรู้มาใช้ในการทำโครงงาน ดังต่อไปนี้

2.1 จุดประสงค์ของระบบท่อ

การติดตั้งระบบท่อต่างๆ ให้กับอาคารก็เพื่อความเหมาะสม และความสุขสบายอย่างถูกสุขลักษณะของผู้ใช้สอยอาคารนั้นๆ ท่อส่ง จะนำน้ำ ก๊าซ หรือ ไอน้ำ ส่งไปยังจุดที่ต้องการใช้ และท่อระบายน้ำจะนำน้ำส่งต่อไปยังจุดที่สามารถปล่อยทิ้งได้ หรือส่งต่อไปยังโรงบำบัดของเสียต่อไป เป็นต้น การออกแบบอาจจะเริ่มต้นด้วยการมุ่งไปที่การประหยัดน้ำ และของไหลที่ใช้ในการบริโภค และการใช้สอยภายในอาคารก่อน ขั้นต่อไปก็อาจจะค้นหาวิธีการลดค่าใช้จ่ายในการนำของเสียที่เหลือออกไปจากอาคาร การออกแบบระบบท่อควรจะมีจุดประสงค์รวมไปถึงการออกแบบให้ท่อมีขนาดเล็ก และความยาวน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น รวมไปจนถึงการพยายามที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายของระบบท่อน้อยที่สุดด้วย โดยทั่วไปแล้วการที่จะบรรลุถึงจุดประสงค์หลังสุดนี้ได้ ย่อมหมายถึงการเลือกสิ่งต่อไปนี้ให้เหมาะสมที่สุด คือ วัสดุท่อ และส่วนประกอบของท่อ เครื่องสุขภัณฑ์ ฉนวนหุ้มท่อ เครื่องสูบน้ำ และอุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวกับระบบท่อ

2.2 หลักการเบื้องต้นของระบบท่อ

ขั้นแรกจะต้องจัดหาน้ำประปา ให้แก่อาคารอย่างพอเพียงแก่การใช้สอยของผู้ใช้อาคารนั้น โดยมีความดัน และอัตราการไหลที่พอเหมาะ ความดันของน้ำที่เครื่องสุขภัณฑ์ต่างๆ ต้องการเพื่อการทำงานอย่างเหมาะสม ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.35 ถึง 1.4 บาร์ (5 ถึง 20 psi) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องสุขภัณฑ์ ขนาดของท่อจ่ายน้ำจะต้องมีขนาดเพียงพอแก่การจ่ายน้ำโดยไม่ทำให้เกิดเสียงดังจนเป็นที่น่ารำคาญ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบน้ำเช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องสุขภัณฑ์ และถังเก็บน้ำ ควรจะได้รับการเลือก และติดตั้งเพื่อที่จะให้สามารถบำรุงรักษาได้ง่าย และมีเครื่องสำรองในการใช้งานตามความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบท่อน้ำเสีย และน้ำโสโครก ควรได้รับการออกแบบ และติดตั้งป้องกันมิให้เกิดการอุดตันได้ง่าย ระบบท่อควรจะมีช่องล้างท่อพอเพียง ในทุกอาคารควรจัดให้มีท่อระบายน้ำฝนขนาดที่พอเพียงพอต่อการระบายน้ำฝนออกจากอาคารในระยะเวลาที่เหมาะสม แล้วส่งต่อไปยังท่อระบายน้ำสาธารณะ หรือ แหล่งระบายน้ำอื่นๆ ท่อ และข้อต่อของระบบท่อจะต้องไม่มีรอยรั่วซึม เมื่อทำการทดสอบด้วยความดันที่เหมาะสมกับระบบท่อ ควรทำการทดสอบท่อทุกๆ ส่วน เพื่อตรวจหารอยรั่ว และข้อบกพร่องก่อนการใช้งาน

2.3 วัสดุของท่อประปา

โดยปกติแล้วจะมีการกำหนดมาตรฐานวัสดุของท่อประปาโดยหน่วยงานรัฐบาล เพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้ส่งน้ำ ท่อประปาภายในอาคารจะเป็น ท่อเหล็กอาบสังกะสี ท่อเหล็กดำ (black steel pipe) ท่อทองแดง ท่อเหล็กหล่อ หรือ ท่อพลาสติก เช่น polyvinyl chloride (ท่อPVC), ท่อ polyethylene ท่อที่ใช้ส่งน้ำภายในอาคารที่นิยมกันมากที่สุดคือ ท่อเหล็กอาบสังกะสี ทั้งนี้เพราะมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีพอสมควร และราคาไม่สูงจนเกินไป ถึงแม้ว่าท่อเหล็กดำจะมีราคาถูกกว่าท่อเหล็กอาบสังกะสี แต่ก็ไม่เป็นที่นิยมใช้เป็นท่อประปาของอาคาร ทั้งนี้เพราะจะเกิดการกัดกร่อนได้เร็วกว่า ส่วนท่อที่นิยมใช้กันมากเช่นกันก็คือ ท่อPVC แต่จะต้องใช้ในที่ไม่ถูกกับแสงแดด เพราะคุณภาพของท่อจะเสื่อมและเกิดการอ่อนตัวหรือบวมได้ ท่อPVC สามารถต่อได้ง่ายโดยการใช้น้ำยาประสาน และมีน้ำหนักเบา จึงเป็นเหตุผลให้มีการนำมาใช้กันมากขึ้น แต่ข้อต่อจะไม่มีความแข็งแรงเท่ากับท่อโลหะ สำหรับท่อทองแดงจะราคาสูงกว่าท่อเหล็กมาก ฉะนั้นในประเทศเราจึงไม่สู้ที่จะนิยมนำมาใช้เป็นท่อประปา อย่างไรก็ตามท่อทองแดงจะเบากว่าท่อเหล็ก ทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี มีผิวเรียบ และเกิดตระกันจับช้า จึงมีความต้านทานต่อการไหลของน้ำน้อยกว่าท่อเหล็ก ซึ่งหมายถึงว่าผู้ออกแบบอาจจะสามารถใช้ขนาดท่อเล็กกว่าท่อเหล็กได้ และเมื่อคิดถึงอายุการใช้งานของท่อทองแดงซึ่งนานกว่าท่อเหล็กแล้ว จะเห็นได้ว่าท่อทองแดงมีความเหมาะสมอยู่มากเช่นกัน ส่วนมากแล้วนิยมใช้ท่อทองแดงในการส่งน้ำร้อนเพื่อการใช้สอยภายในอาคาร เช่น ในโรงแรม โรงพยาบาล เป็นต้น สำหรับท่อเหล็กหล่อมักจะไม่นำมาใช้เป็นท่อส่งน้ำภายในอาคาร แต่มักจะใช้เป็นท่อประปาที่อยู่ใต้ดินภายนอกอาคารซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตตั้งแต่ 100 มม.ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อัตราการไหล และความดันของเครื่องสุขภัณฑ์

เครื่องสุขภัณฑ์แต่ละชนิดต้องการความดันของน้ำที่พอเหมาะเพื่อการทำงานอย่างเป็นที่พอใจแตกต่างกันไป เมื่อมีความดันที่พอดีตามคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องสุขภัณฑ์แล้ว อัตราการไหลของน้ำก็จะพอเหมาะกับการใช้สอยด้วย ตารางที่ 2.1 แสดงถึงความดัน และอัตราการไหลต่ำสุดของเครื่องสุขภัณฑ์ทั่วไป ความดันในตารางที่ 2.1 นี้หมายถึงความดันภายในเส้นท่อ ณ ตำแหน่งที่จะจ่ายน้ำเข้าสู่เครื่องสุขภัณฑ์ และอัตราการไหลของน้ำจะเป็นอัตราการไหลในขณะที่เปิดวาล์วของเครื่องสุขภัณฑ์เต็มที่ ในระยะหลังนี้มีการตื่นตัวทางด้านการประหยัดพลังงานกันมากขึ้น จึงมีการทดสอบดูว่า ถ้าอัตราการไหลของน้ำสำหรับเครื่องสุขภัณฑ์แต่ละชนิดลดลง ผู้ใช้จะยังคงมีความพอใจอยู่หรือไม่ ซึ่งผลกรากฏว่าอัตราการไหลของน้ำสำหรับเครื่องสุขภัณฑ์บองชนิดลดลงได้ ฉะนั้นผู้ผลิตจึงได้มีการดัดแปลงเครื่องสุขภัณฑ์บองชนิดให้ใช้น้ำน้อยลง ซึ่งวิศวกรระบบท่อควรที่จะศึกษาข้อมูลเหล่านี้จากผู้ผลิตเครื่องสุขภัณฑ์โดยตรง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล ที่แต่ละเครื่องสุขภัณฑ์ เพื่อควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ในขณะที่ความดันในเส้นท่อแปรเปลี่ยนไปอีกด้วย การใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลนี้มีผลดี คือ

1.ผู้ออกแบบสามารถจำกัดอัตราการไหลให้น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นต่อการใช้สอยสำหรับเครื่องสุขภัณฑ์แต่ละชนิดได้

2.ผู้ออกแบบสามารถท่จะออกแบบระบบท่อได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

3.เป็นการประหยัดพลังงานให้แก่ระบบน้ำได้

ตารางที่ 2.1 อัตราการไหล และความดันสำหรับเครื่องสุขภัณฑ์

เครื่องสุขภัณฑ์	ความดัน บาร์ (psi)	อัตราการไหล LPS (gpm)
Ordinary basin faucet	0.55 (8)	0.19 (3)
Self-closing basin faucet	0.84 (12)	0.16 (2.5)
Sink Faucet (15 mm.)	0.35 (5)	0.28 (4.5)
Bathtub faucet	0.35 (5)	0.38 (6)
Laundry tub cock	0.35 (5)	0.32 (5)
Shower	0.84 (12)	0.32 (5)
Ball cock for closet	1.00 (15)	0.19 (3)
Flush valve for closet	0.7-1.4 (10-20)	0.9-2.5 (15-40)
Flush valve for urinal	1.00 (15)	0.95 (15)

(ที่มา : ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์. (2558). การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร (พิมพ์ครั้งที่20), หน้าที่21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ท่อน้ำที่เหมาะสม

ในขณะที่น้ำไหลไปภายในท่อ เนื่องจากความหนืดของน้ำจะทำให้เกิดความเสียดทานขึ้น ถ้าผนังของท่อมีพื้นผิวหยาบ ก็จะเพิ่มความเสียดทานขึ้นอีก เนื่องจากความหยาบของผนังท่อทำให้เพิ่มการไหลแบบปั่นป่วน ภายในท่อ พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทานนี้แสดงออกมาในรูปของความดันลด (pressure loss) ความดันลดมีค่าแปรผันตรงกับความยาวของท่อ, ความเร็วของน้ำ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และความหยาบของผนังท่อ ถ้าถือผิวภายในเป็นหลักก็อาจจะแบ่งท่อออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1.ท่อผิวเรียบ หมายถึง ท่อที่มีผนังเรียบมาก และหลังจากใช้งานไปเป็นเวลานาน ความหยาบของผนังจะไม่เพิ่มขึ้นมากนัก ท่อประเภทนี้ ได้แก่ ท่อทองแดง ท่อทองเหลือง ท่อPVC เป็นต้น

2.ท่อผิวหยาบปานกลาง หมายถึง ท่อที่มีผนังเรียบดีในสภาพใหม่ แต่หลังจากใช้งานไปเป็นระยะเวลาประมาณ 3 ถึง 4 ปี ผนังท่อจะมีความหยาบในระดับปานกลาง ท่อประเภทนี้ได้แก่ ท่อเหล็กดำ ท่อเหล็กอาบสังกะสี ท่อเหล็กหล่อ เป็นต้น

3.ท่อผิวหยาบมาก หมายถึง ท่อที่ทำด้วยวัสดุที่มีผนังท่อหยาบมากหลังจากที่ได้ใช้งานไปแล้วเป็นระยะเวลาหนึ่ง หรือท่อเก่าที่นำมาใช้ใหม่ สำหรับระยะเวลาที่ใช้งานจนผนังท่อ หยาบมากนั้น ยังไม่มีการวางหลักเกณฑ์ลงไป จึงต้องเป็นหน้าที่ของวิศวกรระบบท่อที่จะต้องพิจารณาเอง

ขนาดของท่อจะหาได้จากสมการเบื้องต้นทางกลศาสตร์ของไหล คือ

$$Q = AV \qquad (2.1)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหล (m^3/s หรือ ft^3/s)

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2 หรือ ft^2)

V = ความเร็วของน้ำภายในท่อ (m/s หรือ ft/s)

ความเร็วของน้ำภายในท่อ ไม่ควรมีค่าเกิน 3 m/s (10 ft/s) เพื่อป้องกันมิให้มีเสียงดังของน้ำและลดอัตราการสึกกร่อนของวาล์ว และท่อ รวมถึงเป็นการจำกัดความดันลดไม่ให้สูงมากจนทำให้ต้องใช้แรงดันน้ำสูงเกินไป ค่าที่ออกแบบในทางปฏิบัติควรอยู่ระหว่าง 1.2 m/s (4 ft/s) ถึง 2.4 m/s (8 ft/s) ข้อมูลตารางที่ 2.2 และ2.3 จะช่วยให้การออกแบบขนาดท่อรวดเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตารางที่ 2.2 จะบอกถึงจำนวนท่อขนาด 15 มม. ที่สามารถท่อแยกออกมาได้จากท่อเส้นหลักขนาดต่างๆ ส่วนตารางที่ 2.3 ใช้สำหรับเทียบจำนวนท่อขนาด 25 มม. ซึ่งเป็นสุขภัณฑ์แบบฟลัชวาล์ว

ตารางที่ 2.2 จำนวนท่อขนาด 15 มม. (1/2 นิ้ว) ที่สามารถเชื่อมต่อได้ ในท่อขนาดต่างๆ

ขนาดท่อ มม. (นิ้ว)	Avarage demand*	100 percent demand**
15 (1/2)	1	1
20 (3/4)	4	3
25 (1)	10	6
30 (1 1/4)	20	12
40 (1 1/2)	30	20
50 (2)	50	35
65 (2 1/2)	90	60
80 (3)	125	85
100 (4)	225	150

(ที่มา : ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์. (2558). การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร (พิมพ์ครั้งที่20), หน้าที่30

*Average demand คือ ระบบประปาที่มีอัตราการใช้น้ำในระดับปกติ เช่น ห้องน้ำของห้างสรรพสินค้า

**100 percent demand คือ ระบบประปาที่มีอัตราการใช้น้ำเท่ากับการใช้น้ำทุกทางออกที่มีพร้อมกันทั้งหมด เช่น ห้องน้ำของห้องประชุมที่ผู้คนจำนวนมากจะมาใช้งานพร้อมๆกัน

ตารางที่ 2.3 จำนวนฟลัชวาล์วที่สามารถเชื่อมต่อได้ ในท่อขนาดต่างๆ

ขนาดท่อ มม. (นิ้ว)	จำนวนฟลัชวาล์ว 25 มม.(1นิ้ว) ที่รองรับได้
30 (1 1/4)	1
40 (1 1/2)	2 - 4
50 (2)	5 - 12
65 (2 1/2)	13 - 25
80 (3)	26 - 40
100 (4)	41 - 100

(ที่มา : ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์. (2558). การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร (พิมพ์ครั้งที่20), หน้าที่31)

* ให้นับฟลัชวาล์วขนาด 20 มม. จำนวน 2 ตัว มีขนาดเท่ากับ ฟลัชวาล์ว ขนาด 25 มม. จำนวน 1 ตัว และใช้ท่อขนาด 25 มม. จ่ายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 กลศาสตร์ของไหล

2.6.1 ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynold number; Re)

ในการพิจารณาพฤติกรรมของของไหล โดยเฉพาะการสูญเสียพลังงาน จำเป็นที่จะต้องพิจารณาว่าการไหลนั้นเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) หรือเป็นการไหลแบบปั่นป่วน(Turbulent flow) ทั้งนี้ ปัจจัยที่ใช้ประกอบการพิจารณาคือ ค่าความหนาแน่นของของไหล (ρ) ค่าความหนืดของของไหล (μ) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (D) และความเร็วเฉลี่ยของของไหล (v)

Osborne Reynolds เป็นคนแรกที่อธิบายการไหลแบบราบเรียบ และแบบปั่นป่วนด้วย ตัวเลขซึ่งเรียกว่า ตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Re} = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\upsilon} \quad \text{เมื่อ } \upsilon = \frac{\mu}{\rho} \tag{2.2}$$

ตัวเลขเรย์โนลด์เป็นค่าที่ไม่มีหน่วยเนื่องจาก สมการในตัวแปรมีหน่วยที่หักล้างกันหมด

Re < 2000 เรียกว่า การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

2000 < Re < 4000 เรียกว่า การไหลในช่วงเปลี่ยนแปลง (Transition Flow)

R > 4000 เรียกว่า การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

2.6.2 สมการดาร์ซี (Darcy's equation)

จากสมการทั่วไปของสมการพลังงาน

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \tag{2.3}$$

เมื่อ h_A คือ พลังงานที่ได้จากปั๊ม

h_R คือ พลังงานที่น้ำเปลี่ยนเป็นพลังงานกล หรือพลังงานที่นำไปใช้กับกังหัน

h_L คือ พลังงานที่สูญเสียไปในระบบ ประกอบด้วยการสูญเสียหลัก และการสูญเสียรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่สูญเสียไปในระบบนั้น มีการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานเป็นการสูญเสียหลัก โดยสามารถหาค่าได้จากสมการดังต่อไปนี้ ซึ่งเรียกว่า สมการดาร์ซี (Darcy's equation)

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \tag{2.4}$$

เมื่อ h_L คือ พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทาน

L คือ ความยาวของท่อหรือความยาวของการไหล (m หรือ ft)

D คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (m หรือ ft)

v คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/s หรือ ft/s)

f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction factor)

สมการข้างต้น สามารถใช้ได้กับสภาพการไหลได้ทั้งแบบราบเรียบ และการไหลแบบปั่นป่วน ในส่วนของการคำนวณหาการสูญเสียรองจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 2.6.7

2.6.3 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบราบเรียบ (Friction loss in laminar flow)

การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบราบเรียบ สามารถหาค่าได้จากสมการของ Hagen-Poiseuille ดังนี้

$$h_L = \frac{32\mu L v}{\gamma D^2} \tag{2.5}$$

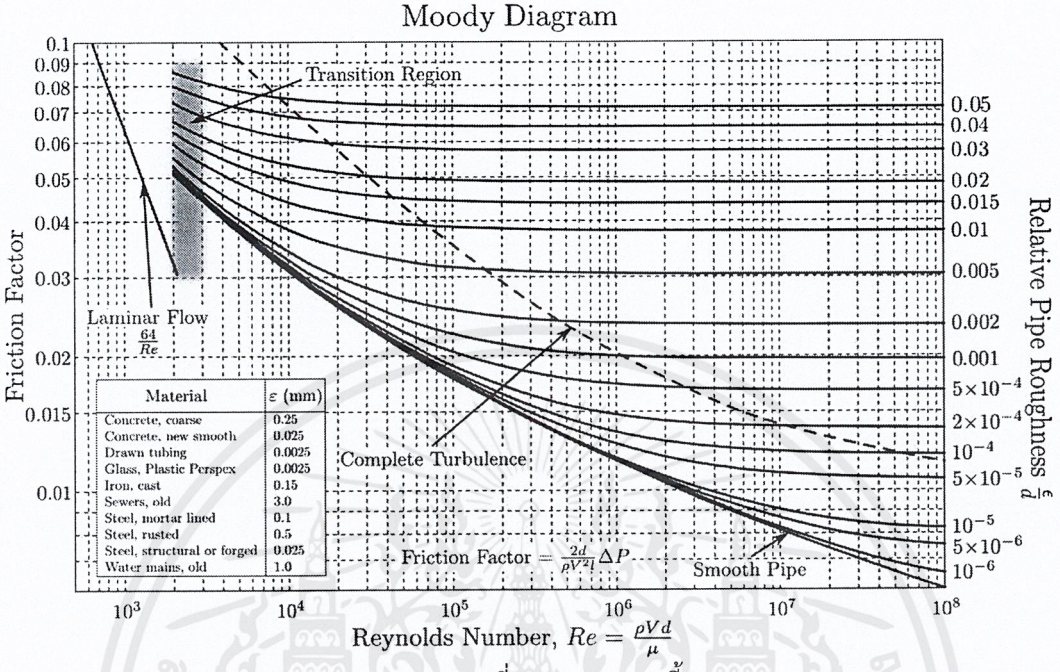
สมการข้างต้น ใช้ในกรณีที่ Re < 2000 หรือเป็นการไหลแบบราบเรียบ อย่างไรก็ตาม สมการของดาร์ซีก็สามารถใช้กับการไหลแบบราบเรียบได้ด้วยเช่นกัน คือ

$$f = \frac{64}{Re} \tag{2.6}$$

2.6.4 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบปั่นป่วน (Friction loss in turbulent flow)

สำหรับการสูญเสียพลังงานในการไหลแบบปั่นป่วนสามารถนำสมการของดาร์ซีมาใช้ได้ โดยสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) หาค่าได้จากแผนผังมูดี้ (Moody Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเรย์โนลด์ และอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเฉลี่ยภายใน (D) กับ ความขรุขระเฉลี่ย (ε) ทั้งนี้ ความขรุขระเฉลี่ยของท่อขึ้นกับชนิดของท่อ และอายุการใช้งานของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แผนภาพมูดี้

(ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart, 2562)

2.6.5 สมการสำหรับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Equation for the friction factor)

นอกจากการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ด้วย Moody Diagram ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แล้วนั้น ยังมีสมการอื่นๆ อีกที่สามารถจะวิเคราะห์ และหาค่าดังกล่าวได้ กล่าวคือ สำหรับการไหลแบบราบเรียบ (Re < 2000) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.6

สำหรับการไหลที่อยู่ในช่วง Transition (2000 < Re < 4000) จะไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้ แต่สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Re > 4000) สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$f = \frac{0.26}{\left(log\left(\frac{1}{37\left(\frac{D}{\varepsilon}\right)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2} \qquad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.6 สมการของ Hazen-Williams (Hazen-Williams formula for water flow)

สมการของ Hazen-Williams เป็นอีกสมการหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้เพื่อการออกแบบ และวิเคราะห์ระบบน้ำ แต่สมการนี้ก็มีข้อจำกัดที่ว่าเหมาะสำหรับการไหลของน้ำในท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 นิ้ว แต่เล็กกว่า 6 ฟุต และความเร็วของการไหลไม่ควรเกิน 10.0 ฟุตต่อวินาที ณ อุณหภูมิน้ำที่ 60 °C ซึ่งหากมากกว่าหรือน้อยกว่านี้จะเกิดความคลาดเคลื่อนได้

สมการของ Hazen-Williams ในหน่วยอังกฤษ คือ

$$hf = \frac{4.727}{D^{4.87}} L \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.85} \quad (2.8)$$

โดยที่ hf = ความดันลด (ft)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (ft)

L = ความยาวของท่อ (ft)

Q = อัตราการไหล (ft^3/s)

C = สัมประสิทธิ์ความหยาบ สามารถดูได้จากตารางที่ 2.4

ค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบนี้ ขึ้นอยู่กับความหยาบของผนังท่อ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุท่อ และอายุที่ได้ใช้งานมาแล้ว ท่อผนังเรียบจะมีค่าสัมประสิทธ์ความหยาบสูงกว่าท่อผนังหยาบ สำหรับค่าสัมประสิทธ์ความหยาบที่ใช้ในการออกแบบระบบท่อควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 100 ถึง 140 ซึ่งขึ้นอยู่กับความหยาบของผนังท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

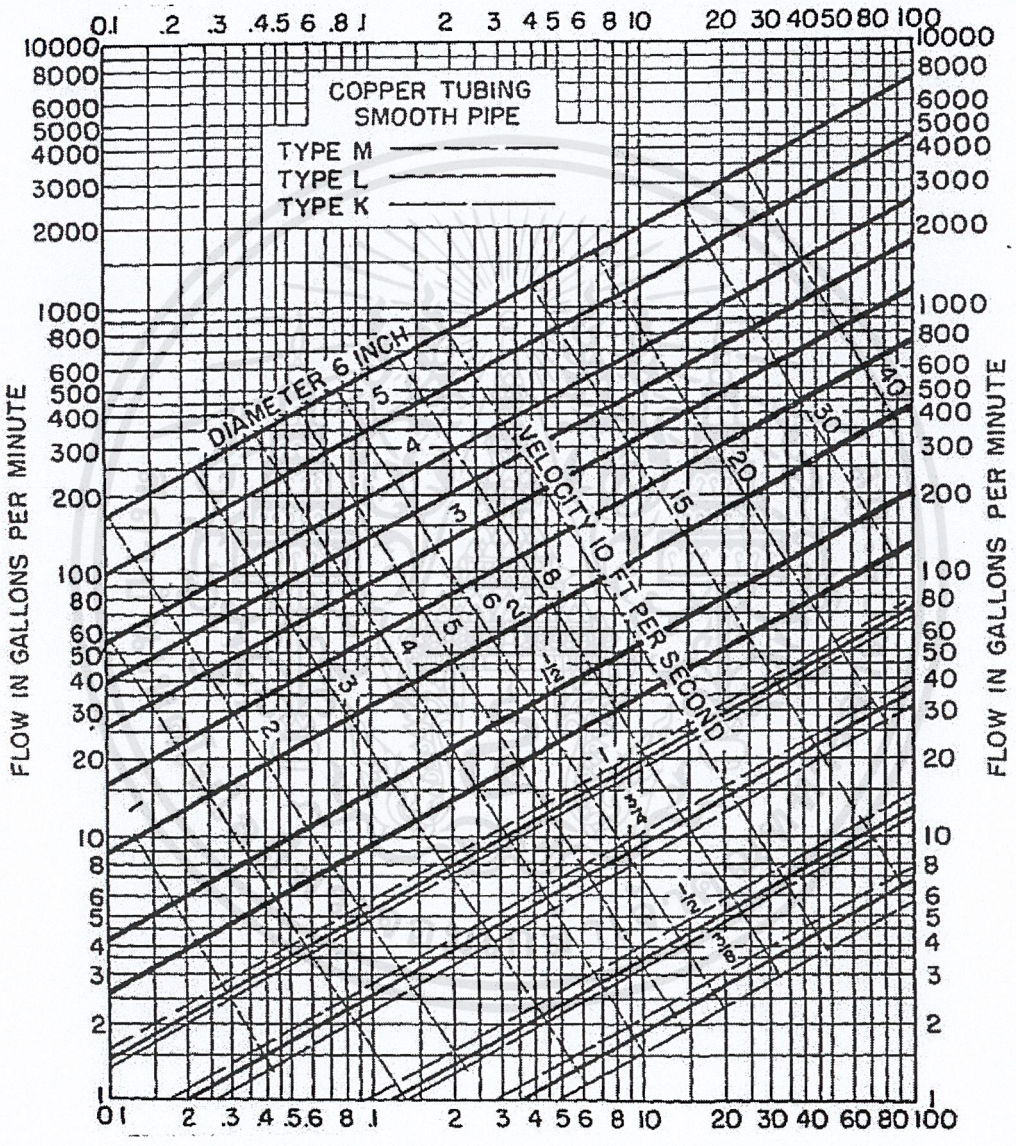
ตารางที่ 2.4 สัมประสิทธิ์ความหยาบของท่อชนิดต่างๆ

Material	Hazen-Williams Coefficient (c)	Material	Hazen-Williams Coefficient (c)
Aluminum	130 - 150	Corrugated Metal	60
Asbestos Cement	140	Ductile Iron Pipe (DIP)	140
Asphalt Lining	130 - 140	Ductile Iron, cement lined	120
Brass	130 - 140	Galvanized iron	120
Brick sewer	90 - 100	Lead	130 - 140
Cast-Iron - new unlined (CIP)	130	Metal Pipes - Very to extremely smooth	130 - 140
Cast-Iron 10 years old	107 - 113	Plastic	130 - 150
Cast-Iron 20 years old	89 - 100	Polyethylene, PE, PEH	140
Cast-Iron 30 years old	75 - 90	Polyvinyl chloride, PVC, CPVC	150
Cast-Iron 40 years old	64-83	Smooth Pipes	140
Cast-Iron, asphalt coated	100	Steel new unlined	140 - 150
Cast-Iron, cement lined	140	Steel, corrugated	60
Cast-Iron, bituminous lined	140	Steel, welded and seamless	100
Cast-Iron, sea-coated	120	Steel, interior riveted, no projecting rivets	110
Cast-Iron, wrought plain	100	Steel, projecting girth and horizontal rivets	100
Cement lining	130 - 140	Steel, vitrified, spiral-riveted	90 - 110
Concrete	100 - 140	Steel, welded and seamless	100
Concrete lined, steel forms	140	Tin	130
Concrete lined, wooden forms	120	Vitrified Clay	110
Concrete, old	100 - 110	Wrought iron, plain	100
Copper	130 - 140		

(ที่มา : https://www.engineeringtoolbox.com/hazen-williams-coefficients-d_798.html, 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

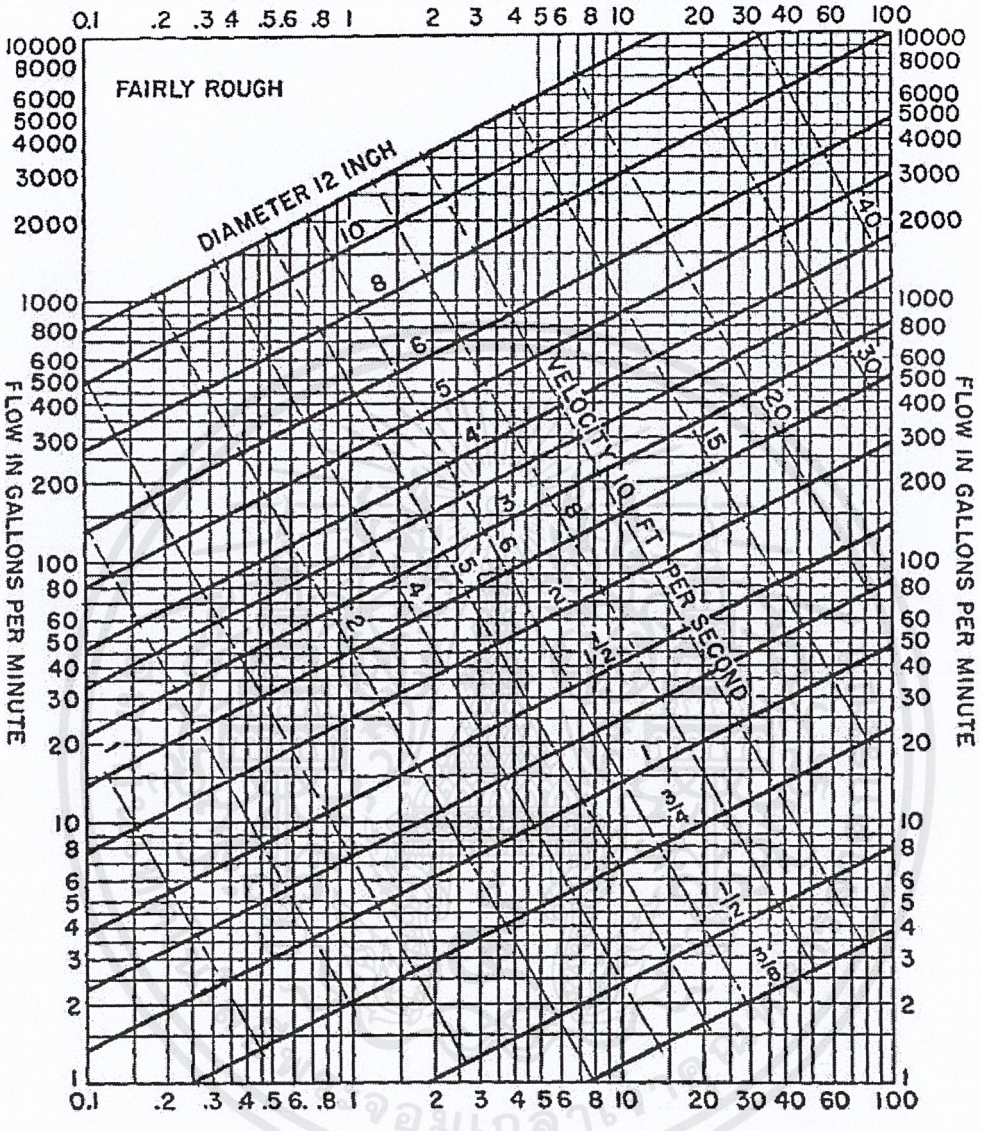
อย่างไรก็ตามการใช้การที่จะใช้สมการ (2.1) และ(2.2) ในการคำนวณนั้นย่อมไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ สมการเหล่านี้สามารถแปลงมาอยู่ในรูปของกราฟได้ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 2.2 และ2.3 ดังนั้นผู้ออกแบบจึงสามารถอ่านค่าขนาดท่อ ความเร็วของน้ำ อัตราการไหล และความดันลดได้จากกราฟโดยตรง



รูปที่ 2.2 ความดันลดในหน่วยฟุตต่อ 100 ฟุต หรือ เมตรต่อ 100 เมตร (สำหรับท่อทองแดง หรือท่อเรียบ)

(ที่มา : https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.133467/page/n293, 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ความดันลดในหน่วยฟุตต่อ 100 ฟุต หรือ เมตรต่อ 100 เมตร (สำหรับท่อผิวหยาบปานกลาง)

(ที่มา : https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.133467/page/n293, 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7 การสูญเสียรอง (Minor losses)

การสูญเสียรอง คือ การสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนขนาด และทิศทางการไหล เนื่องจากวัสดุที่ของเหลวไหลผ่าน ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$h_L = K\left(\frac{v^2}{2g}\right) \tag{2.9}$$

เมื่อ h_L คือ การสูญเสียรอง (ft)

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย เป็นค่าที่ขึ้นกับชนิด และรูปร่างของวัสดุที่ของเหลวไหลผ่าน

v คือ ความเร็วเฉลี่ย ณ ตำแหน่งที่พิจารณาการสูญเสียรอง (ft/s)

2.6.8 ความยาวสมมูล

เมื่อน้ำไหลไปในท่อย่อมเกิดความดันลดขึ้น ค่าของความดันลดสำหรับท่อขนาดต่างๆ ที่ความเร็วหนึ่งสามารถที่จะหาได้จากรูปที่ 2.2 และ 2.3 ความดันลดทั้งหมดภายในระบบท่อประกอบด้วยความดันลดของท่อเอง และความดันลดของ ข้องอ ข้อต่อ และวาล์วต่างๆ ข้อมูลเกี่ยวกับความดันลดในส่วนหลังนี้สามารถที่จะหาได้ แต่ก็ไม่สะดวกในการออกแบบในทางปฏิบัติให้รวดเร็ว วิธีการที่สะดวกที่สุดคือ การใช้ความยาวสมมูล (equivalent length) ความยาวสมมูลของ ข้องอ ข้อต่อ หรือวาล์ว หมายถึง ความยาวของท่อตรงที่มีขนาดเดียวกันกับขนาดของ ข้องอ ข้อต่อหรือวาล์ว ซึ่งจะให้ค่าความดันลด เท่ากับความดันลดของอุปกรณ์ที่กล่าวถึงในขณะที่มีอัตราการไหลของน้ำเท่ากัน หลักการนี้ช่วยให้การออกแบบกระทำได้รวดเร็วขึ้น โดยการนำความยาวสมมูลไปรวมกับความยาวจริง แล้วจึงทำการหาความดันลด โดยใช้ความยาวดังกล่าวนี้ ตารางที่ 2.5 แสดงถึงความยาวสมมูลของอุปกรณ์ต่างๆ

ในระบบท่อปกติแล้วความดันลดของ ข้องอ ข้อต่อ และอุปกรณ์รวมกันจะมีค่าอยู่ระหว่าง 20% ถึง 50% ของความดันลดของท่อเอง ฉะนั้นในทางปฏิบัติ วิศวกรระบบท่อจึงมักจะสมมติให้ข้องอ ข้อต่อ และอุปกรณ์เหล่านี้มีความยาวสมมูล อยู่ประมาณ 20% ถึง 50% ของความยาวจริงของท่อ การที่จะเลือกค่าใดนั้น ก็ขึ้นอยู่กับระบบท่อมีอุปกรณ์เหล่านี้อยู่มากเพียงใด ซึ่งจะต้องอาศัยความชำนาญงานของวิศวกรระบบท่อในการพิจารณาเป็นการเฉพาะแต่ละระบบๆไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ความยาวสมมูลของ ข้อต่อ และอุปกรณ์เป็นเมตร

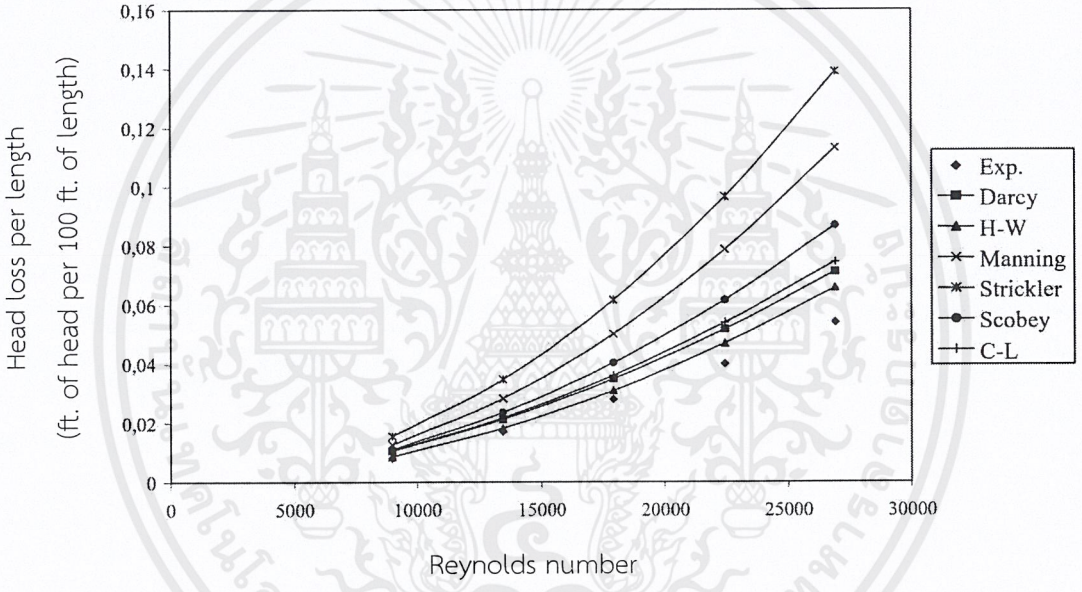
ขนาด มม.(นิ้ว)	ข้องอ		สามทาง		Gate valve	Globe valve	Angle valve
	90°	45°	Side branch	Straight run			
10 (3/8)	0.8	0.2	0.5	0.1	0.06	2.4	1.2
15 (1/2)	0.6	0.4	0.9	0.2	0.12	4.5	2.4
20 (3/4)	0.8	0.5	1.2	0.25	0.15	6.0	3.6
25 (1)	0.9	0.6	1.5	0.3	0.18	7.6	4.5
30 (1 1/4)	1.2	0.7	1.8	0.4	0.25	11.0	5.5
40 (1 1/2)	1.5	0.9	2.1	0.5	0.3	14.0	6.7
50 (2)	2.1	1.2	3.0	0.6	0.4	17.0	8.5
65 (2 1/2)	2.4	1.5	3.6	0.8	0.5	20.0	10.0
80 (3)	3.0	1.8	4.5	0.9	0.6	24.0	12.0
100 (4)	4.2	2.4	6.4	1.2	0.8	38.0	17.0
125 (5)	5.1	3.0	7.6	1.5	1.0	42.0	21.0
150 (6)	6.0	3.6	9.0	1.8	1.2	50.0	24.0

(ที่มา : ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์. (2558). การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร (พิมพ์ครั้งที่20), หน้าที่34)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ความแม่นยำของวิธีการคำนวณ

เนื่องจากการคำนวณด้วยวิธี Hazen William equation เป็นสูตรการคำนวณเชิงประจักษ์ (Empirical formula) จึงยังคงมีความคลาดเคลื่อน ไม่แม่นยำเท่าการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical formula) จากบทความของ Yasmina Lahiouel, A.K. Haddad, Kamel Chaoui เรื่อง "EVALUATION OF HEAD LOSSES IN FLUID TRANSPORTATION NETWORKS" ได้ทำการทดลองเชิงปฏิบัติ (Experimental) เทียบกับการคำนวณเชิงทฤษฎี ได้ผลลัพธ์ดังนี้

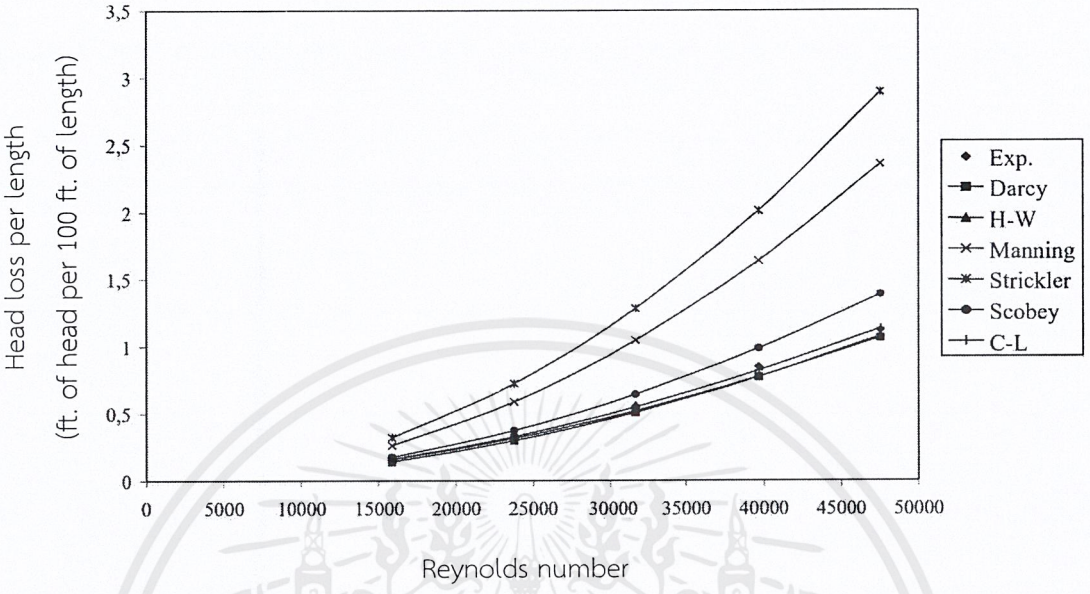


รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด และตัวเลขเรย์โนลด์ (ท่อผนังเรียบ ขนาด 23.5 มม.)

(ที่มา : Yasmina Lahiouel, A.K. Haddad, Kamel Chaoui . (2008). EVALUATION OF HEAD LOSSES IN FLUID TRANSPORTATION NETWORKS, หน้าที่ 4)

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าการคำนวณด้วยวิธี Darcy-Weisbach และ Hazen-William มีค่าใกล้เคียงความดันลดในทางปฏิบัติมากที่สุด และจะเห็นได้ว่าในช่วงที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์มีค่ามากขึ้น ความใกล้เคียงกับค่าความดันลดในทางปฏิบัติจะมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

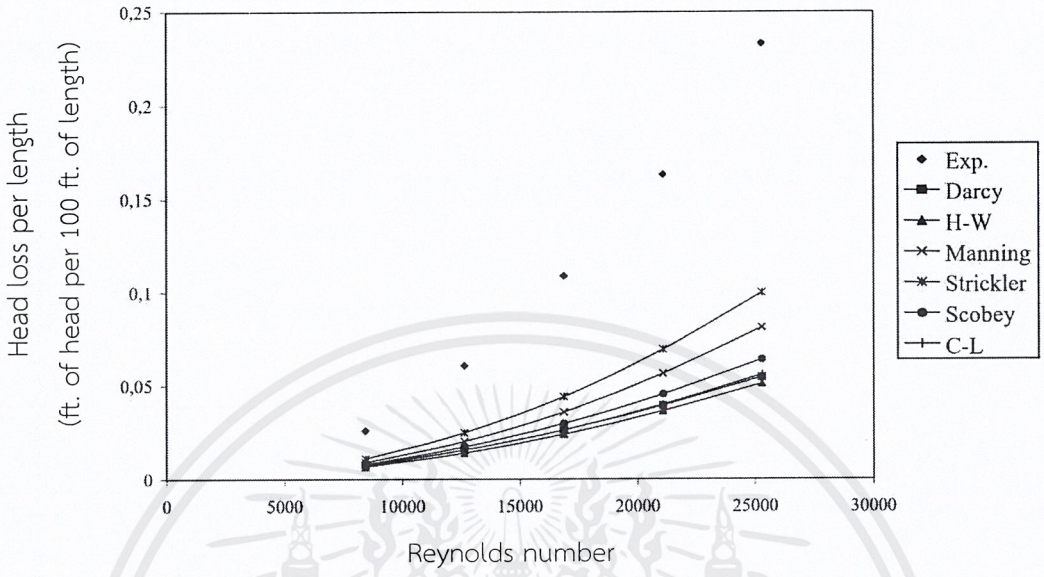


รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด และตัวเลขเรย์โนลด์ (ท่อผนังเรียบ ขนาด 13.3 มม.)

(ที่มา : Yasmina Lahiouel, A.K. Haddad, Kamel Chaoui . (2008). EVALUATION OF HEAD LOSSES IN FLUID TRANSPORTATION NETWORKS, หน้าที่ 4)

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าท่อที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็กลงเป็น 13.3 มม. แต่ยังคงใช้ท่อผนังเรียบอยู่ ซึ่งพบว่าการคำนวณด้วยวิธี Darcy-Weisbach และ Hazen-William ยังคงเป็นวิธีที่มีค่าใกล้เคียงความดันลดในทางปฏิบัติมากที่สุด และจะเห็นได้ว่าในช่วงที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์มีค่ามากขึ้น ความใกล้เคียงกับค่าความดันลดในทางปฏิบัติจะมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

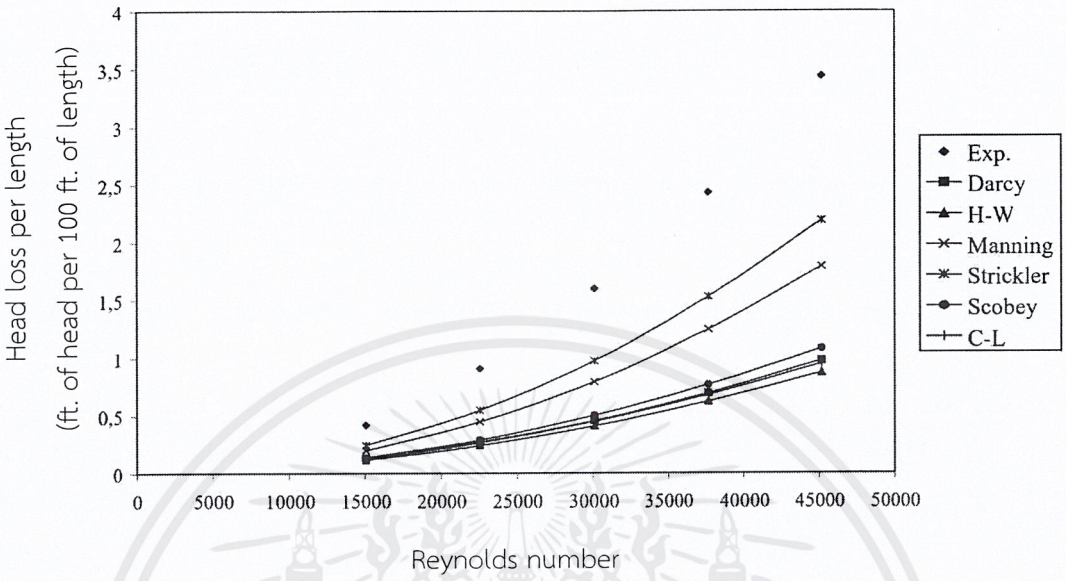


รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด และตัวเลขเรย์โนลด์ (ท่อผนังขรุขระ ขนาด 25 มม. ความขรุขระเฉลี่ย 0.015 มม.)

(ที่มา : Yasmina Lahiouel, A.K. Haddad, Kamel Chaoui . (2008). EVALUATION OF HEAD LOSSES IN FLUID TRANSPORTATION NETWORKS, หน้าที่ 4)

จากรูปที่ 2.6 เป็นการทดลองโดยใช้ท่อผนังขรุขระที่มีความขรุขระเฉลี่ย 0.015 มม. ใช้ท่อขนาด 25 มม. ซึ่งพบว่าค่าความดันลดในทางปฏิบัติ มีค่าไม่ใกล้เคียงกับวิธีการใดเลย แต่ในระบบท่อของโครงงานนี้มีการใช้ท่อผนังเรียบเท่านั้น ความผิดพลาดจากการคำนวณในท่อผนังขรุขระจึงไม่มีผลต่อผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณในโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด และตัวเลขเรย์โนลด์ (ท่อผนังขรุขระ ขนาด 14 มม. ความขรุขระเฉลี่ย 0.02 มม.)

(ที่มา : Yasmina Lahiouel, A.K. Haddad, Kamel Chaoui . (2008). EVALUATION OF HEAD LOSSES IN FLUID TRANSPORTATION NETWORKS, หน้าที่ 5)

จากรูปที่ 2.7 เป็นการทดลองโดยใช้ท่อผนังขรุขระที่มีความขรุขระเฉลี่ย 0.02 มม. ใช้ท่อขนาด 14 มม. ซึ่งพบว่าค่าความดันลดในทางปฏิบัติ มีค่าไม่ใกล้เคียงกับวิธีการใดเลย แต่ในระบบท่อของโครงงานนี้มีการใช้ท่อผนังเรียบเท่านั้น ความผิดพลาดจากการคำนวณในท่อผนังขรุขระจึงไม่มีผลต่อผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณในโครงงานนี้

จากการเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ข้างต้นพบว่า การคำนวณด้วยวิธี Darcy-Weisbach และ Hazen-William มีค่าใกล้เคียงค่าทางปฏิบัติมากที่สุดในท่อผนังเรียบ แต่ความคลาดเคลื่อนจะมากขึ้นเมื่อตัวเลขเรย์โนลด์มีค่าเพิ่มขึ้น และมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดในท่อผนังขรุขระ เนื่องจากท่อที่ใช้คำนวณในโครงงานนี้เป็นท่อผนังเรียบจึงสามารถเชื่อถือวิธีการคำนวณนี้ได้ และเนื่องจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Pumpsim 3D เป็นการคำนวณโดยใช้ 2 วิธีนี้โดยทราบได้จากตัวแปรที่โปรแกรมต้องการในการกำหนดคุณสมบัติของระบบท่อ และผลลัพธ์ที่โปรแกรมประมวลผลได้ จึงสามารถเชื่อถือได้ว่าโปรแกรมจะให้ผลลัพธ์เป็นค่าความดันลดที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าความดันลดในทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

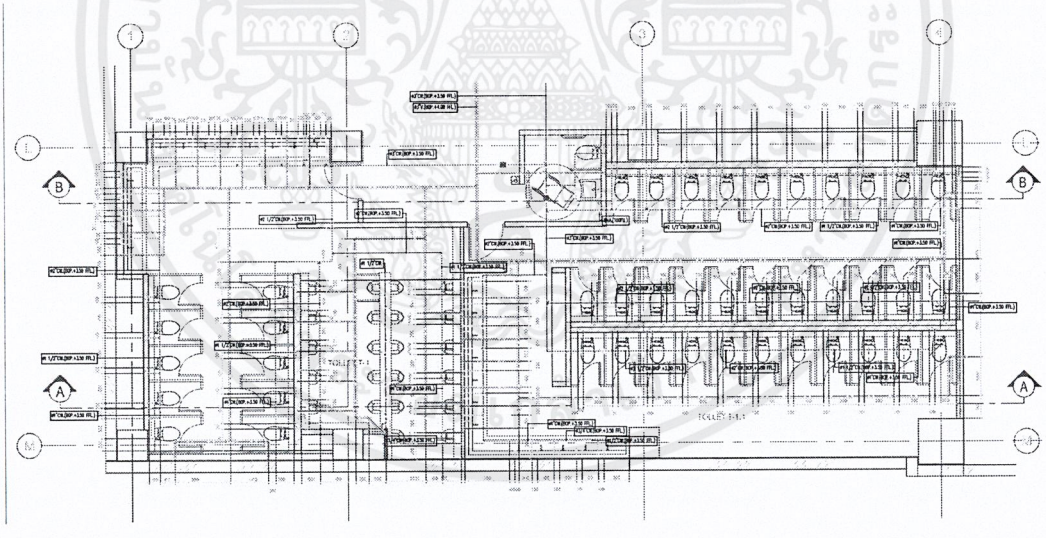
บทที่3

ระเบียบวิธีการทดลอง

โครงงานนี้เป็นการทำวิธีการประมาณค่าการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานภายในท่อ หรือ ความดันลด(friction head) โดยคำนวณความดันลด จากระบบท่อในหลายๆตัวอย่าง แล้วหาความสัมพันธ์ที่มีผลต่อการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลภายในท่อ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดในการทำโครงงาน ได้แก่

3.1 รวบรวมแบบที่จะใช้ในการคำนวณ

รวบรวมแบบระบบท่อ ที่ใช้อ้างอิงในการติดตั้งระบบ โดยแบบที่ใช้จะเป็นแบบ ประเภท as-built นั่นคือ มีการตรวจสอบจากสถานที่จริง แล้วปรับปรุงให้แบบตรงตามความจริง ผลที่ได้จากการคำนวณจึงเป็นผลที่มาจากระบบท่อที่ถูกติดตั้งในสถานที่จริง



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างแบบระบบท่อ

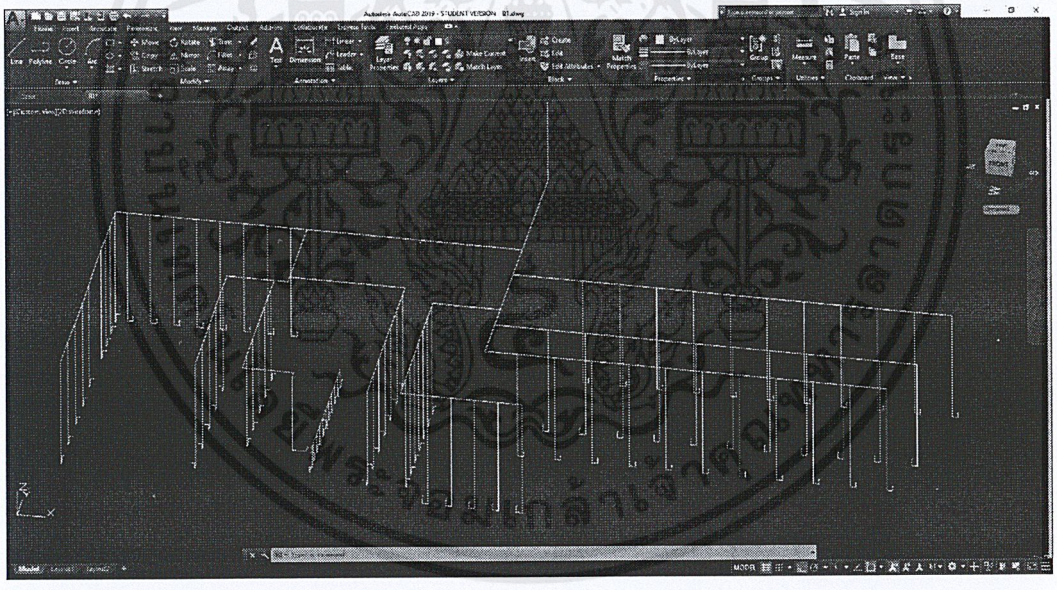
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สร้างแบบจำลองจากโปรแกรมเพื่อหาความดันลด

ในการสร้างแบบจำลองของโครงงานนี้จะใช้โปรแกรม Pumpsim 3D เนื่องจากสามารถนำเข้าไฟล์จากโปรแกรม AutoCAD ได้ซึ่งสามารถวาดโครงสร้างระบบท่อได้สะดวก และรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดคุณสมบัติของท่อ และชิ้นส่วนต่างๆของระบบได้ รวมถึงสามารถคำนวณหาค่าความดันลดที่เกิดขึ้นจากระบบที่กำหนดได้ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อนี้

3.2.1 วาดโครงสร้างของระบบท่อด้วยโปรแกรม AutoCAD

วาดโครงสร้างระบบท่อโดยอ้างอิงจากแบบระบบท่อที่ได้จากหัวข้อ 3.1 ให้มีความยาวเท่ากัน รวมถึงรายละเอียดของท่อสุขภัณฑ์ ซึ่งจะต้องวาดเป็นแบบ 3 มิติ ให้โครงสร้างมีลักษณะเหมือนระบบท่อจริง

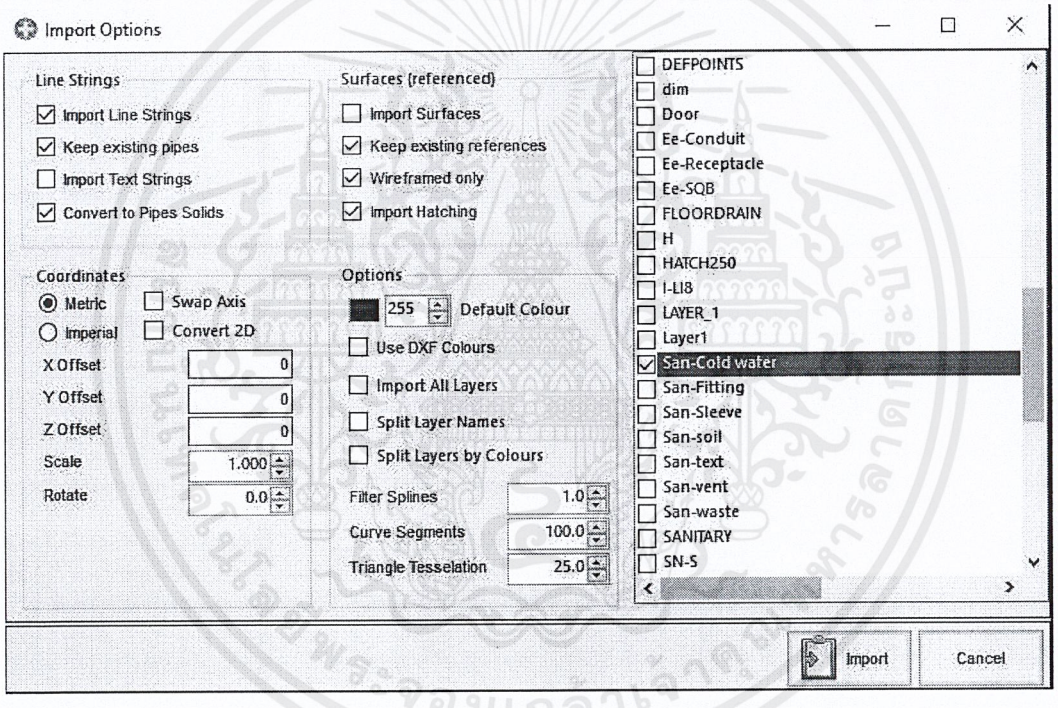


รูปที่ 3.2 ตัวอย่างโครงสร้างระบบท่อที่วาดจากโปรแกรม AutoCAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การนำเข้าด้วยโปรแกรม Pumpsim 3D

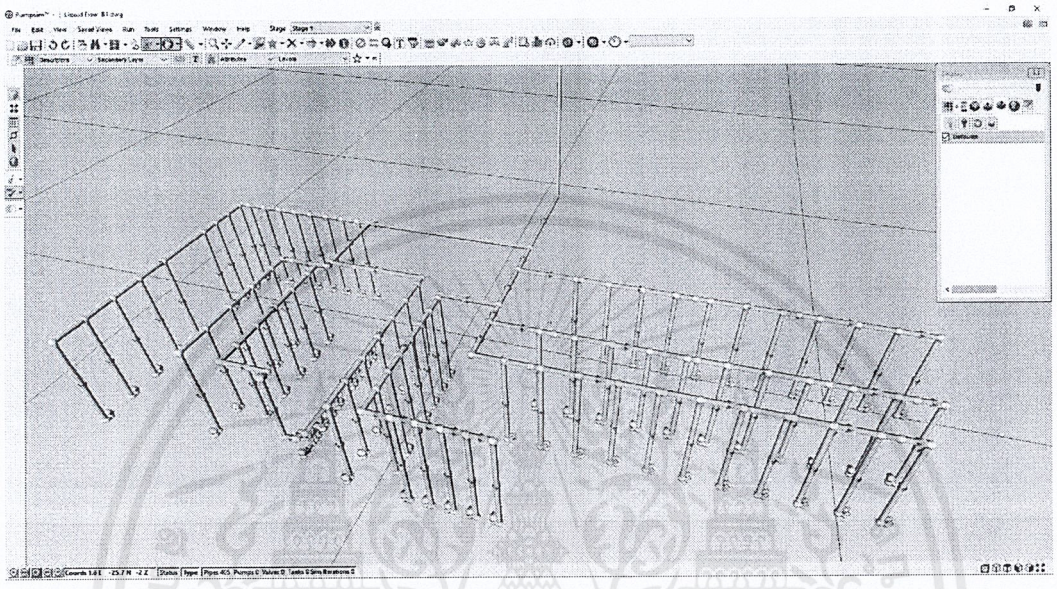
โปรแกรม Pumpsim 3D สามารถนำเข้าไฟล์จากโปรแกรม AutoCAD ได้โดยการคลิกที่คำว่า File และ import เมื่อเลือกไฟล์ที่ต้องการนำเข้าแล้วจะปรากฏหน้าต่างดังที่แสดงในรูปที่ 0.0 จากนั้น เลือก Convert to Pipes Solids จากนั้นสามารถเลือกเลเยอร์ที่ต้องการนำเข้าโปรแกรม และตั้งค่าอัตราส่วนสเกลของไฟล์ที่จะนำเข้า



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการนำเข้าไฟล์ด้วยโปรแกรม Pumpsim 3D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนำเข้าแล้วจะได้ระบบท่อตามโครงสร้างที่วาดไว้ในโปรแกรม AutoCAD ดังรูป

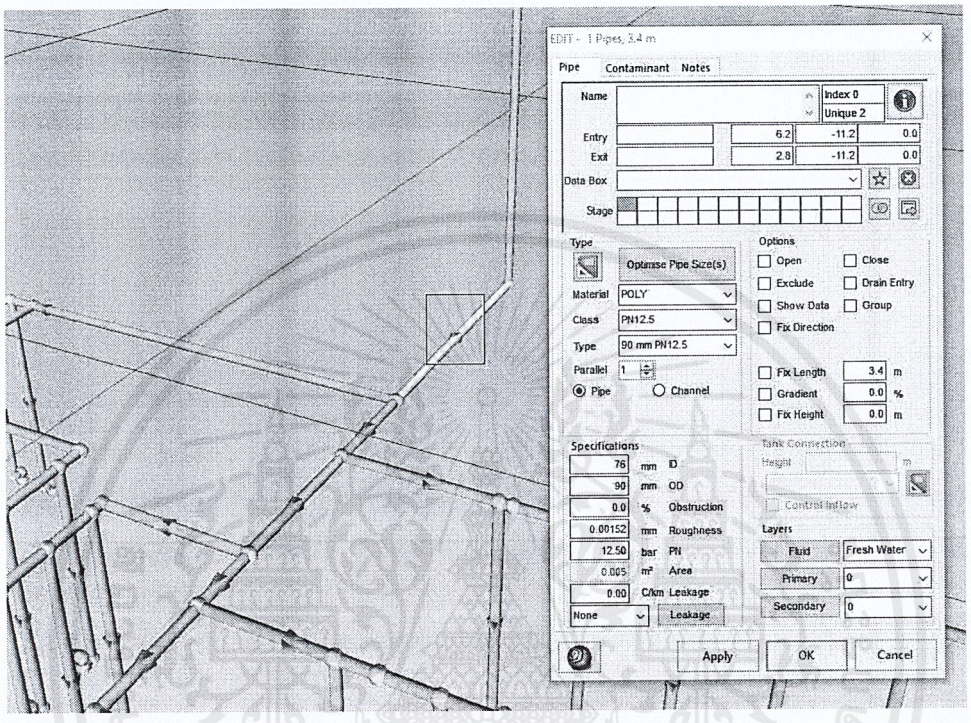


รูปที่ 3.4 ตัวอย่างระบบท่อที่วาดด้วยโปรแกรม Pumpsim 3D

ซึ่งระบบท่อที่ได้ยังต้องกำหนดรายละเอียดของท่อ เช่น ขนาด และชนิดของท่อ รวมถึงชิ้นส่วนของระบบท่อ เช่น ขนาด และชนิดของข้อต่อ อัตราการไหลของทางออกท่อ รวมถึงตรวจทิศทางการไหลของของไหลในระบบท่อ ชนิดของของไหลในระบบท่อ และอื่นๆ

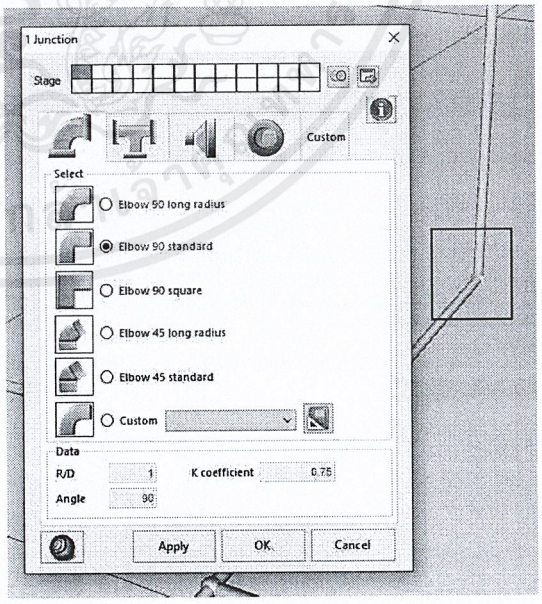
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของท่อน้ำจะต้องกำหนดชนิดของท่อ และขนาดในแต่ละส่วนของท่อ รวมถึงของไหลที่ใช้ ซึ่งกำหนดให้เป็นน้ำ และอื่นๆดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดของท่อ

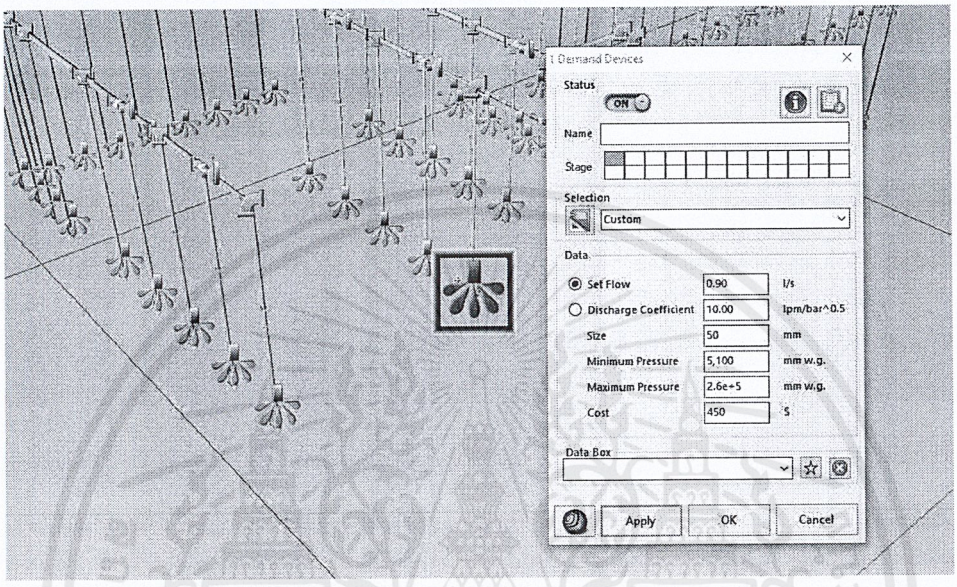
ในส่วนของข้อต่อ สามารถกำหนดชนิดได้ เช่น ข้องอ 90 องศา, ข้อต่อ 3 ทาง, ข้อต่อลดขนาด , วาร์ว กรณีเป็นชนิดอื่นๆ สามารถกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียได้เอง



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดของข้อต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ทางออกของท่อซึ่งจะต่อกับสุขภัณฑ์จะถูกกำหนดให้เป็นจุดที่มีของไหลไหลออก และจะต้องกำหนดอัตราการไหล ในส่วนด้านล่างอัตราการไหลจะเป็นรายละเอียดสำหรับกรณีที่ใช้หัวสปริงเกอร์



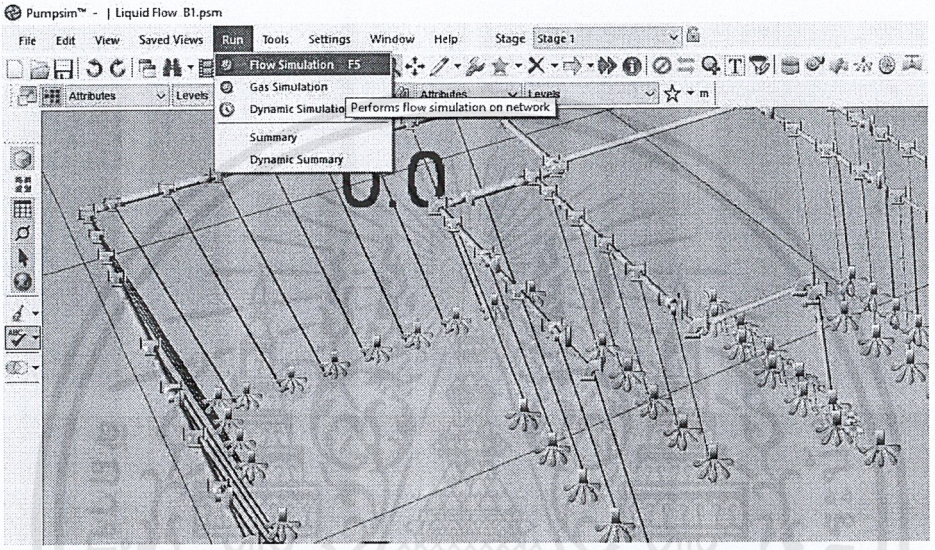
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดที่ท่อน้ำส่งออก

(discharge coefficient คือ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลทางปฏิบัติ (actual mass flowrate) กับอัตราการไหลเชิงมวลทางทฤษฎี (theoritical mass flowrate) ที่ปลายของหัวฉีด) (ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Discharge_coefficient)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

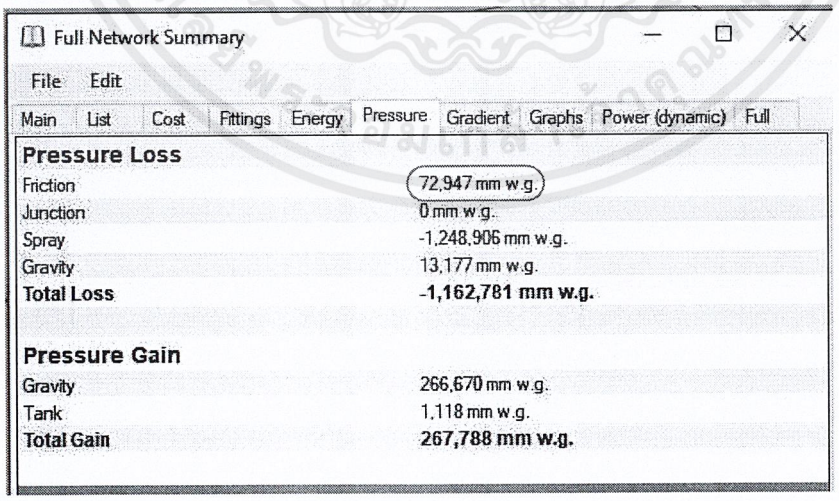
3.2.3 การหาค่าความดันลดด้วยโปรแกรม Pumpsim 3D

หลังจากกำหนดรายละเอียดของท่อ, ข้อต่อ และอัตราการไหลที่ปลายท่อแล้ว เพื่อให้โปรแกรมประมวลผลจะต้องคลิกที่ Run และ Flow Simulation



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างระบบท่อที่กำหนดขนาดและชนิดของท่อ ข้อต่อ และ อัตราการไหลแล้ว

หลังจากผ่านการประมวลผลของโปรแกรม จะได้ผลลัพธ์เป็นรายละเอียดผลลัพธ์ต่างๆ ในส่วนของความดันลดจะอยู่ในช่อง Pressure ดังรูป



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองของโปรแกรมในแต่ละตัวอย่าง เช่น ในส่วนของชั้น 1 ได้ผลลัพธ์เป็น 72.947 เมตรน้ำ (เปิดใช้งานทุกสุขภัณฑ์พร้อมกัน) เป็นต้น

(เมตรน้ำ, meter water gauge คือ หน่วยของความดัน มักใช้ในการคำนวณค่าความดันลด มีค่าเท่ากับความดันที่กระทำโดยน้ำที่มีความลึก 1 เมตร หรือเท่ากับ 1.42 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 9806.65 ปาสคาล)

3.3 การประมาณค่าความดันลดโดยใช้จำนวนสุขภัณฑ์เป็นตัวแปร

3.3.1 หาตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพื่อทำตารางบันทึกผล

วิเคราะห์แบบของระบบท่อแล้วบันทึกรายละเอียดต่างๆ ได้แก่ ชนิดของสุขภัณฑ์, จำนวนสุขภัณฑ์แต่ละชนิด, ขนาดของท่อ และ อัตราการไหลที่สุขภัณฑ์ต้องการ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเรียบเรียงเป็นตาราง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับขั้นตอนต่อๆไปในภายหลัง

ตัวอย่างเช่น ห้องน้ำชั้น 1 มีสุขภัณฑ์ คือ
อ่างล้างหน้าจำนวน 24 ตัว ใช้ท่อขนาด ½ นิ้ว และ ใช้น้ำที่อัตราการไหล 0.15 ลิตร/วินาที
โถปัสสาวะจำนวน 22 ตัว ใช้ท่อขนาด ¾ นิ้ว และ ใช้น้ำที่อัตราการไหล 0.38 ลิตร/วินาที
ชักโครกจำนวน 42 ตัว ใช้ท่อขนาด 1 นิ้ว และ ใช้น้ำที่อัตราการไหล 0.90 ลิตร/วินาที

3.3.2 หาความสัมพันธ์กับผลการคำนวณที่ได้

เริ่มจากการหาค่าแฟกเตอร์หนึ่งที่จะเป็นตัวแทนความดันลดสำหรับสุขภัณฑ์แต่ละชนิด โดยตัวแปรนี้จะเป็นตัวแปรเปรียบเทียบอัตราส่วนความดันลดกับสุขภัณฑ์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากแต่ละสุขภัณฑ์มีการใช้น้ำในอัตราการไหลที่ไม่เท่ากัน และ ขนาดท่อไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นต่อสุขภัณฑ์แต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน เช่น สุขภัณฑ์ที่ใช้ท่อขนาดเล็กแต่ใช้น้ำในอัตราการไหลมากย่อมมีความดันลดมากกว่าสุขภัณฑ์ที่ใช้ท่อขนาดใหญ่แต่ใช้น้ำในอัตราการไหลต่ำ ซึ่งในการหาตัวแปรนี้จะใช้การคำนวณหาความดันลดโดยอ้างอิงจาก Hazen William equation เพื่อหาแรงเสียดทาน โดยจะเปรียบเทียบอัตราส่วนความดันลดต่อความยาวท่อ ของแต่ละสุขภัณฑ์ (meter head loss per 100 meter pipe length) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{psi\ per\ ft} = \frac{P_d}{L} = \frac{4.52\ Q^{1.852}}{C^{1.852}\ d^{4.8704}} \quad (3.1)$$

เมื่อ

P_d คือ ความดันที่ลดลงเนื่องจากความยาวของท่อ (psig)

L คือ ความยาวของท่อ (ft)

Q คือ อัตราการไหล (gallon/min)

C คือ สัมประสิทธิ์ความหยาบของท่อ

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (in)

$$S_{Lavatory} \quad : \quad S_{Urinal} \quad : \quad S_{Water\ closet}$$

$$\frac{4.52\ \ Q_{Lav}^{1.852}}{C_{Lav}^{1.852}\ \ d_{Lav}^{4.8704}} : \frac{4.52\ \ Q_{Ur}^{1.852}}{C_{Ur}^{1.852}\ \ d_{Ur}^{4.8704}} : \frac{4.52\ \ Q_{WC}^{1.852}}{C_{WC}^{1.852}\ \ d_{WC}^{4.8704}}$$

จะใช้ขนาดของท่อน้ำ และ อัตราการไหล ในการคำนวณดังต่อไปนี้

อ่างล้างหน้า ใช้ท่อขนาด ½ นิ้ว และใช้น้ำที่อัตราการไหล 0.15 ลิตร/วินาที

โถปัสสาวะ ใช้ท่อขนาด ¾ นิ้ว และใช้น้ำที่อัตราการไหล 0.38 ลิตร/วินาที

ชักโครก ใช้ท่อขนาด 1 นิ้ว และใช้น้ำที่อัตราการไหล 0.90 ลิตร/วินาที

เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้ของทุกสุขภัณฑ์จะนำไปคำนวณเป็นอัตราส่วนต่อกันในภายหลัง จึงสามารถตัดตัวแปรบางตัวในสมการที่มีค่าเท่ากันออกไปได้

$$\frac{\cancel{4.52}\ \ Q_{Lav}^{1.852}}{\cancel{C^{1.852}}\ \ d_{Lav}^{4.8704}} : \frac{\cancel{4.52}\ \ Q_{Ur}^{1.852}}{\cancel{C^{1.852}}\ \ d_{Ur}^{4.8704}} : \frac{\cancel{4.52}\ \ Q_{WC}^{1.852}}{\cancel{C^{1.852}}\ \ d_{WC}^{4.8704}}$$

$$\frac{0.15^{1.852}}{1/2^{4.8704}} \quad : \quad \frac{0.38^{1.852}}{3/4^{4.8704}} \quad : \quad \frac{0.9^{1.852}}{1^{4.8704}}$$

$$0.34 \quad : \quad 0.49 \quad : \quad 0.71$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่าอัตราส่วนความดันลดสำหรับแต่ละสุขภัณฑ์ คือ

อ่างล้างมือ : โถปัสสาวะ : ชักโครก = 0.34 : 0.49 : 0.71

ในโครงงานนี้จะยึดอัตราส่วนนี้เป็นหลักในการหาความดันลดของแต่ละสุขภัณฑ์

แล้วนำอัตราส่วนนี้ คูณด้วยจำนวนสุขภัณฑ์ที่มีแต่ละชนิด แล้วรวมผลลัพธ์ของสุขภัณฑ์ทุกชนิด

ตัวอย่างเช่น ห้องน้ำชั้น1 มีอ่างล้างหน้าจำนวน 24 ตัว, โถปัสสาวะจำนวน 22 ตัว, โถส้วมจำนวน 42 ตัว มีวิธีการหาค่าความดันลด ดังนี้

อัตราส่วนความดันลดที่เกิดจากอ่างล้างมือ = 0.34 x จำนวนอ่างล้างมือ = 0.34 x 24 = 8.16

อัตราส่วนความดันลดที่เกิดจากโถปัสสาวะ = 0.49 x จำนวนโถปัสสาวะ = 0.49 x 22 = 10.78

อัตราส่วนความดันลดที่เกิดจากชักโครก = 0.71 x จำนวนชักโครก = 0.71 x 42 = 29.82

เมื่อรวมผลลัพธ์ที่ได้(อัตราส่วนความดันลด) จะได้เป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงความดันลดที่เกิดขึ้นต่อระบบ ซึ่งยังไม่ใช่หน่วยเมตรน้ำ จะต้องนำผลรวมที่ได้ไปเปรียบเทียบกับความดันลดในทางปฏิบัติ (ผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างนี้มีค่าความดับลดเท่ากับ 72.947 เมตรน้ำ)

(ผลรวมอัตราส่วนความดันลด -> เทียบกับผลลัพธ์จากโปรแกรม -> ค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยนความดันลด)

จะได้ผลลัพธ์เป็นตัวเลขค่าคงที่ค่าหนึ่ง เพื่อใช้แปลงอัตราส่วนความดันลดให้เป็นค่าความดันลดของระบบ

สามารถหาค่าคงที่ ได้ดังนี้

จากตัวอย่างข้างต้น คือ ค่าคงที่ x (8.16 + 10.78 + 29.82) = Friction Head = 72.947

จะได้ว่า ค่าคงที่ x 48.76 = 72.947

ค่าคงที่ = 72.947/48.76 = 1.49

จะต้องหาค่าคงที่นี้ จากหลายๆตัวอย่าง เพื่อจะนำผลลัพธ์ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยที่เป็นกลาง ซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้ เป็นแฟกเตอร์ในการประมาณค่าความดันลด ของตัวอย่างอื่นๆในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ลดความซับซ้อนของการคำนวณ

จากตัวอย่าง จะเห็นว่าวิธีการคำนวณมีการคูณกันสองครั้งก่อนจะได้ผลลัพธ์เป็นหน่วยเมตรน้ำ คืออัตราส่วนความดันลดของสุขภัณฑ์แต่ละชนิด และ ค่าคงที่ที่คูณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นเมตรน้ำ ซึ่งสามารถคูณรวมกันก่อน เพื่อให้การนำไปใช้มีความสะดวกขึ้นได้ ดังนี้

จากการหาค่าคงที่ทั้งหมดแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 1.5 (จากตารางที่ 4.8)

อ่างล้างมือ = 0.34 x 1.5 = 0.51

โถปัสสาวะ = 0.49 x 1.5 = 0.735

ชักโครก = 0.71 x 1.5 = 1.065

3.3.4 สรุปวิธีการประมาณค่าความดันลดแบบนับสุขภัณฑ์

สามารถสรุปวิธีการประมาณค่าความดันลดแบบนับสุขภัณฑ์เป็นขั้นตอนได้ดังนี้

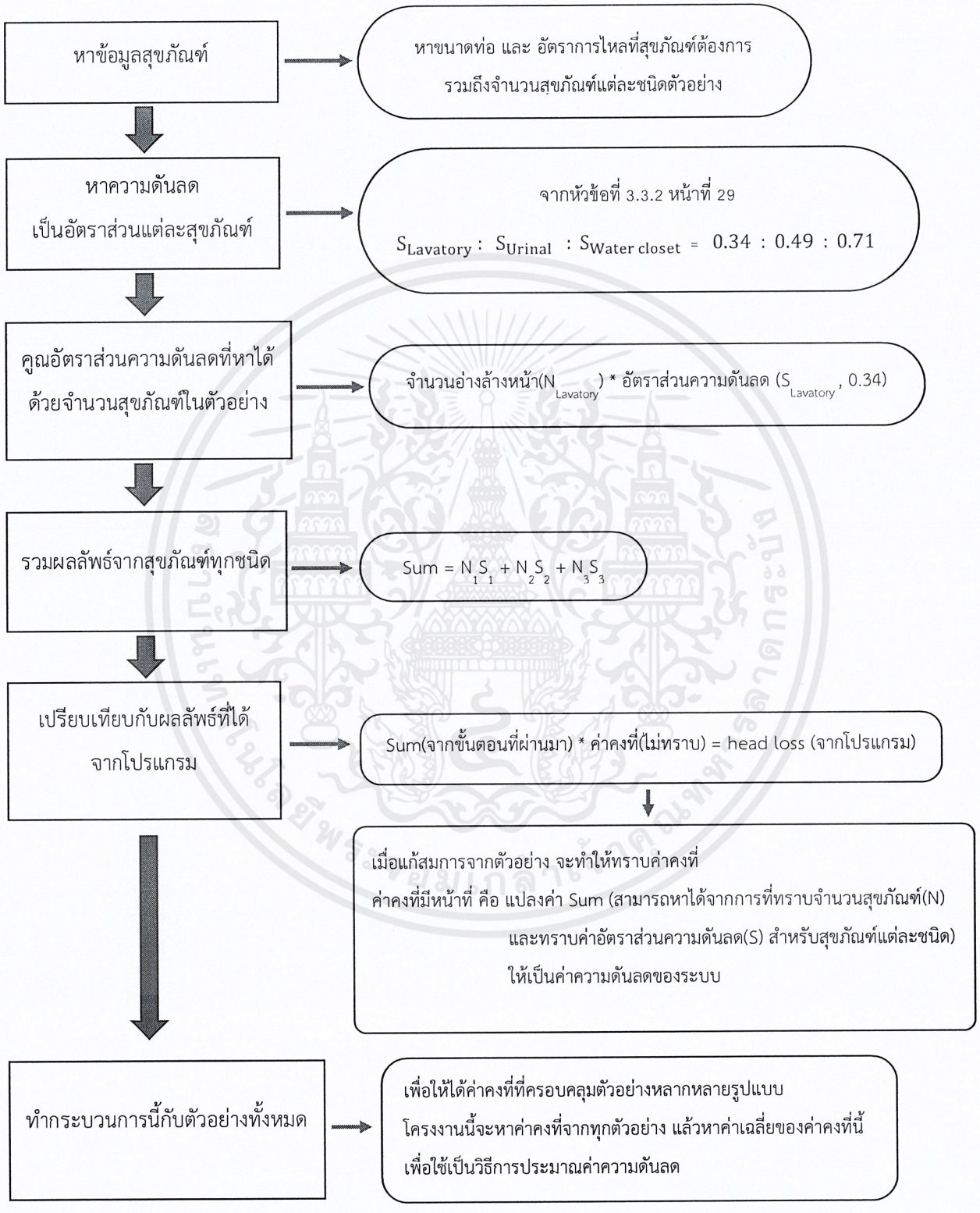
1. นับจำนวนสุขภัณฑ์แต่ละชนิดในระบบท่อนั้นๆ

2. สุขภัณฑ์ชนิดอ่างล้างมือ จะทำให้เกิดความดันลด 0.51 เมตรต่อจำนวนสุขภัณฑ์
   สุขภัณฑ์ชนิดโถปัสสาวะ จะทำให้เกิดความดันลด 0.735 เมตรต่อจำนวนสุขภัณฑ์
   สุขภัณฑ์ชนิดชักโครก จะทำให้เกิดความดันลด 1.065 เมตรต่อจำนวนสุขภัณฑ์

3. รวมค่าความดันลด ที่เกิดขึ้นต่อสุขภัณฑ์ทั้งหมด จะได้ค่าความดันลดรวมของระบบท่อนั้นๆ

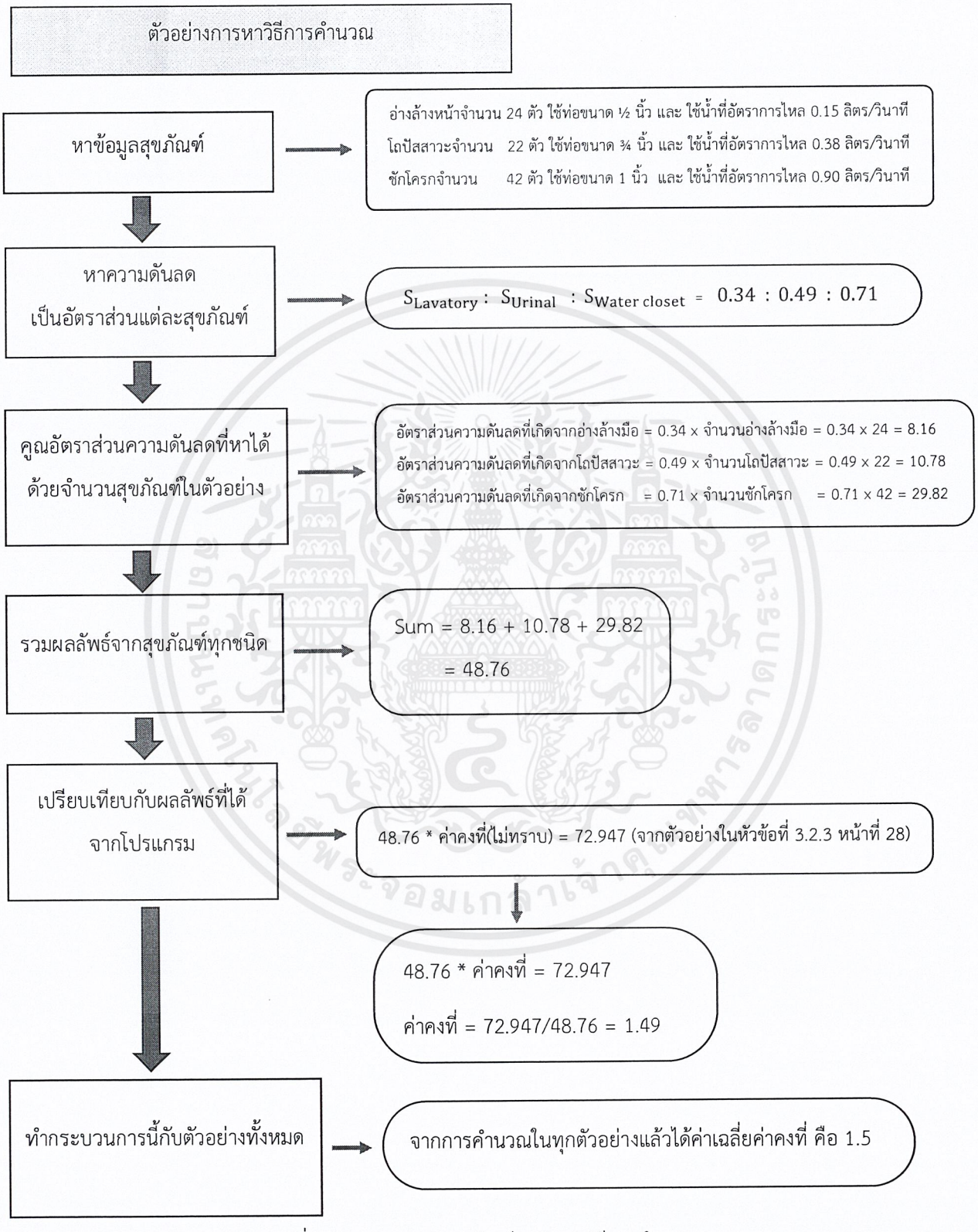
เพื่อความเข้าใจ สามารถศึกษาแผนภาพแสดงกระบวนการของวิธีการประมาณค่าความดันลดโดยใช้จำนวนสุขภัณฑ์เป็นตัวแปรได้ในหน้าถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงการหาวิธีการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงตัวอย่างการหาวิธีการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าสามารถรวมกระบวนการเป็นสมการได้ดังนี้

$$(N_1S_1 + N_2S_2 + N_3S_3) * \text{ค่าคงที่} = \text{ความดันลด}$$

$$((N_{\text{Lavatory}} * 0.34) + (N_{\text{Urinal}} * 0.49) + (N_{\text{Water closet}} * 0.71)) * 1.5 = \text{ความดันลด}$$

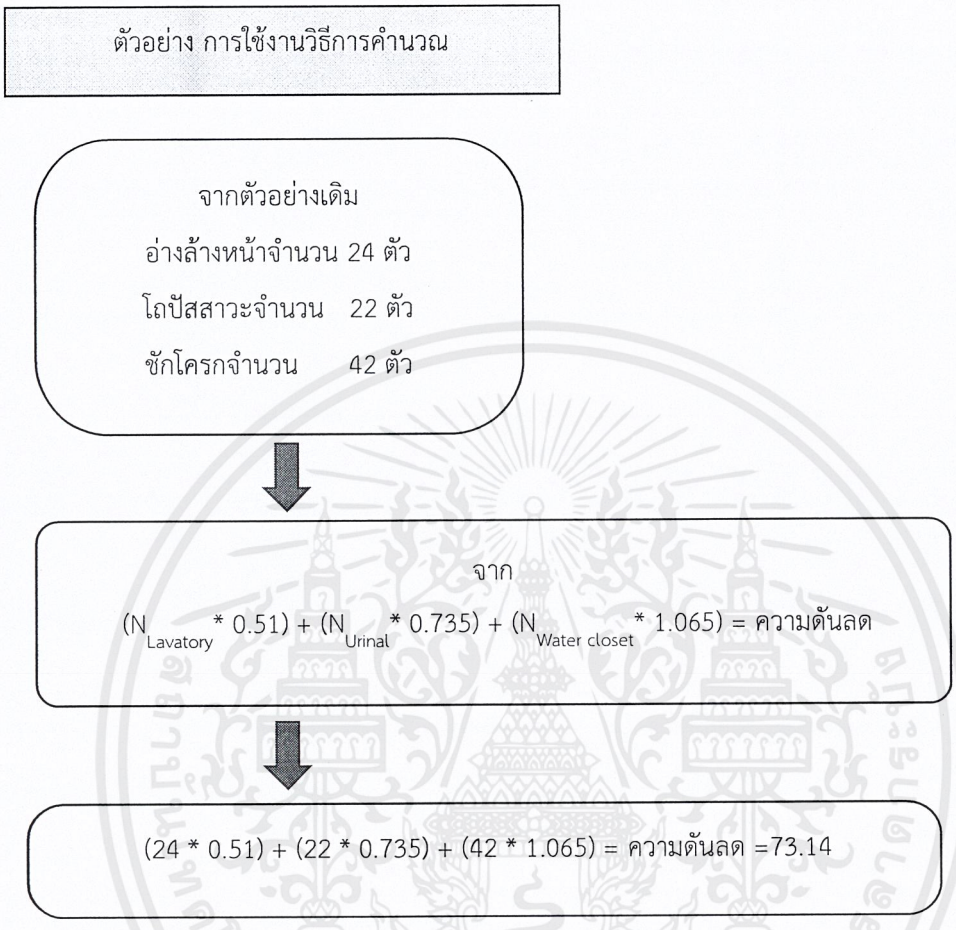
$$(N_{\text{Lavatory}} * 0.51) + (N_{\text{Urinal}} * 0.735) + (N_{\text{Water closet}} * 1.065) \quad = \text{ความดันลด} \qquad (3.2)$$

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงวิธีการคำนวณโดยใช้จำนวนสุขภัณฑ์เป็นตัวแปร

สุขภัณฑ์	จำนวนสุขภัณฑ์ในระบบ	เลขคูณ	ความดันลด (เมตรน้ำ)
อ่างล้างมือ Lavatory)	(จำนวนอ่างล้างมือ)*	0.51	(จำนวนอ่างล้างมือ* x 0.51)
โถปัสสาวะ (Urinal)	(จำนวนโถปัสสาวะ)*	0.735	(จำนวนโถปัสสาวะ* x 0.735)
ชักโครก (Water closet)	(จำนวนชักโครก)*	1.065	(จำนวนชักโครก* x 1.065)
			รวมผลลัพธ์ความดันลดทั้งหมด = ความดันลดของระบบท่อนี้

(ช่องที่มีเครื่องหมาย * คือ ช่องสำหรับใส่ข้อมูลจากโจทย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงตัวอย่างการใช้งานวิธีการคำนวณ

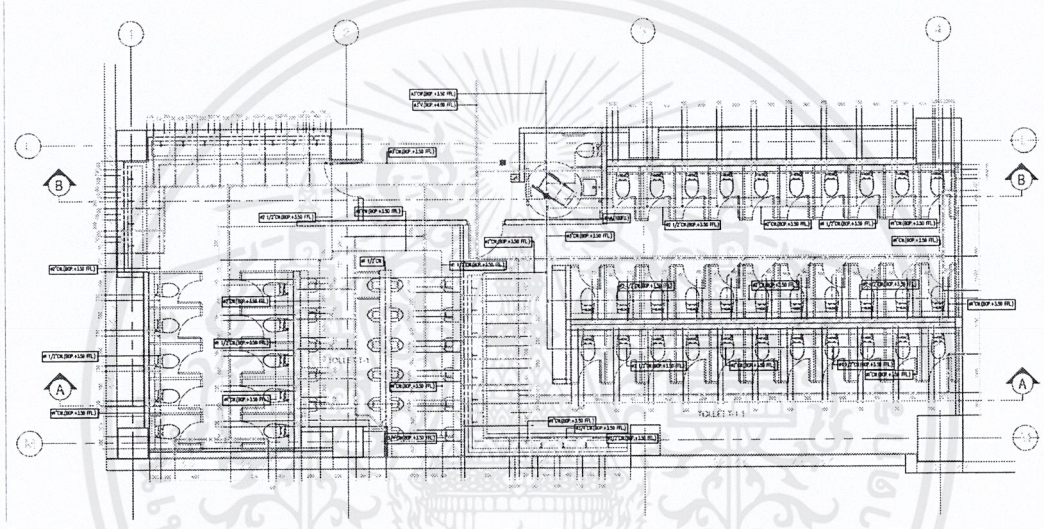
3.4 การประมาณค่าความดันลดโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปร

เนื่องจากโครงงานนี้ต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของระบบท่อกับความดันลดในหลากหลายรูปแบบ หัวข้อนี้จึงเป็นการหาความสัมพันธ์อีกรูปแบบหนึ่ง เพื่อให้เกิดการเปรียบเทียบหาวิธีการที่ดีที่สุด รวมถึงเป็นทางเลือกให้ผู้ใช้งานได้พิจารณานำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 วัดความยาวท่อในระบบ

วัดความยาวของท่อทั้งหมดในระบบท่อรวมถึงในส่วนรายละเอียดท่อที่ไปถึงสุขภัณฑ์ โดยไม่สนใจขนาดของท่อ ในโครงงานนี้จะใช้การวัดความยาวจะวัดจากแบบระบบท่อในโปรแกรมAuto CAD แล้วทำการบันทึกผลไว้เป็นตารางกับทุกตัวอย่างที่มี เช่น จากตัวอย่าง ชั้น 1 มีความยาวท่อในระบบทั้งหมด 388.98 เมตร (รวมท่อรายละเอียดที่ไปถึงสุขภัณฑ์แล้ว)



รูปที่ 3.13 การวัดความยาวท่อในแบบระบบท่อ

3.4.2 เปรียบเทียบความดันลดกับความยาวท่อในระบบ

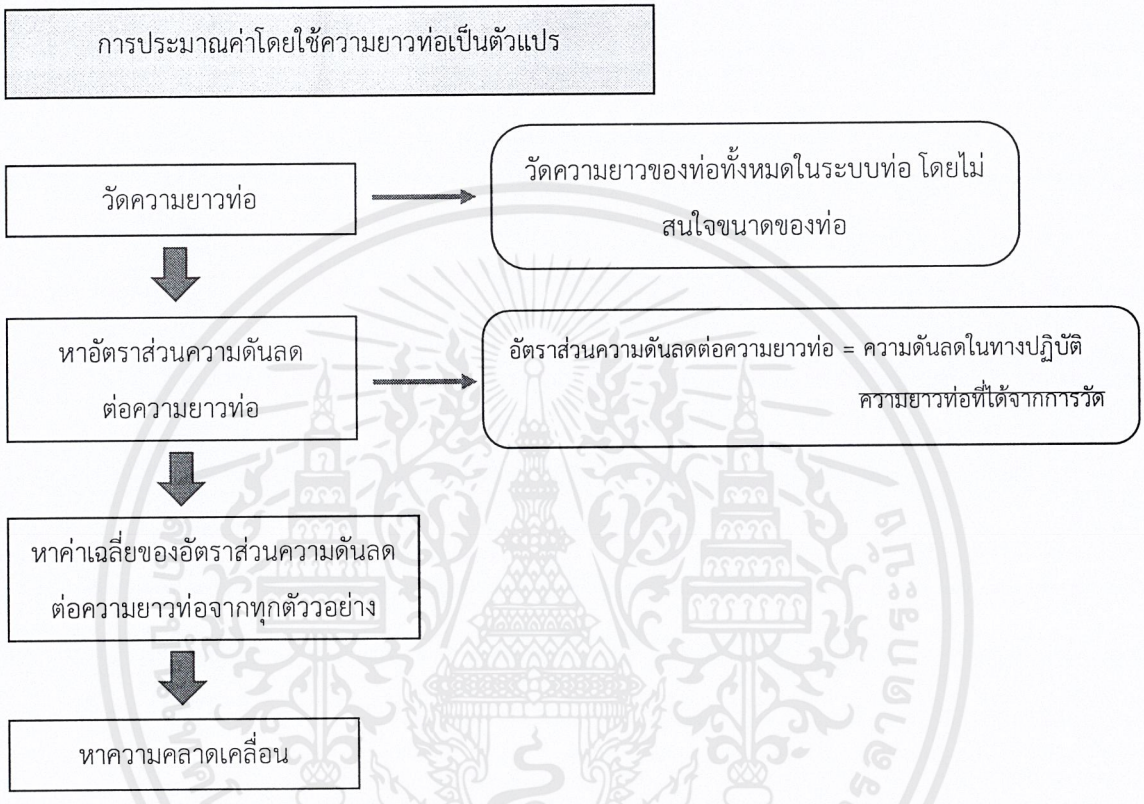
เมื่อได้ผลรวมความยาวท่อทั้งหมดในระบบแล้วจึงหาอัตราส่วนระหว่างความดันลดที่เกิดขึ้น กับความยาวท่อทั้งหมดในระบบ อัตราส่วนนี้จะเป็นอัตราส่วนที่ใช้คูณเพื่อเปลี่ยนความยาวท่อที่วัดได้จากแบบระบบท่อ เป็นค่าความดันลด เมื่อหาค่าอัตราส่วนได้ครบทุกตัวอย่างแล้วจะต้องเฉลี่ยอัตราส่วนนี้เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นกลางกับทุกตัวอย่าง

$$\text{อัตราส่วนแปลงความยาวท่อเป็นความดันลด} = \frac{\text{ความดันลดในทางปฏิบัติ}}{\text{ความยาวท่อที่ได้จากการวัด}} \qquad (3.3)$$

จากตัวอย่างข้างต้นจะได้ว่า อัตราส่วนแปลงความยาวท่อเป็นความดันลด = 72.947 / 388.98 = 0.1875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อความเข้าใจ สามารถศึกษาแผนภาพแสดงกระบวนการของวิธีการประมาณค่าความดันลดโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปรได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.14 การวัดความยาวท่อในแบบระบบท่อ

3.5 ประเมิณค่าความคลาดเคลื่อน

เมื่อได้ผลลัพธ์ของแต่ละตัวอย่างแล้ว จะต้องนำไปเปรียบเทียบกับความดันลดที่เป็นค่าทางปฏิบัติ เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการคำนวณจากโครงงานนี้ โดยมีวิธีการหาค่าความคลาดเคลื่อน ดังนี้

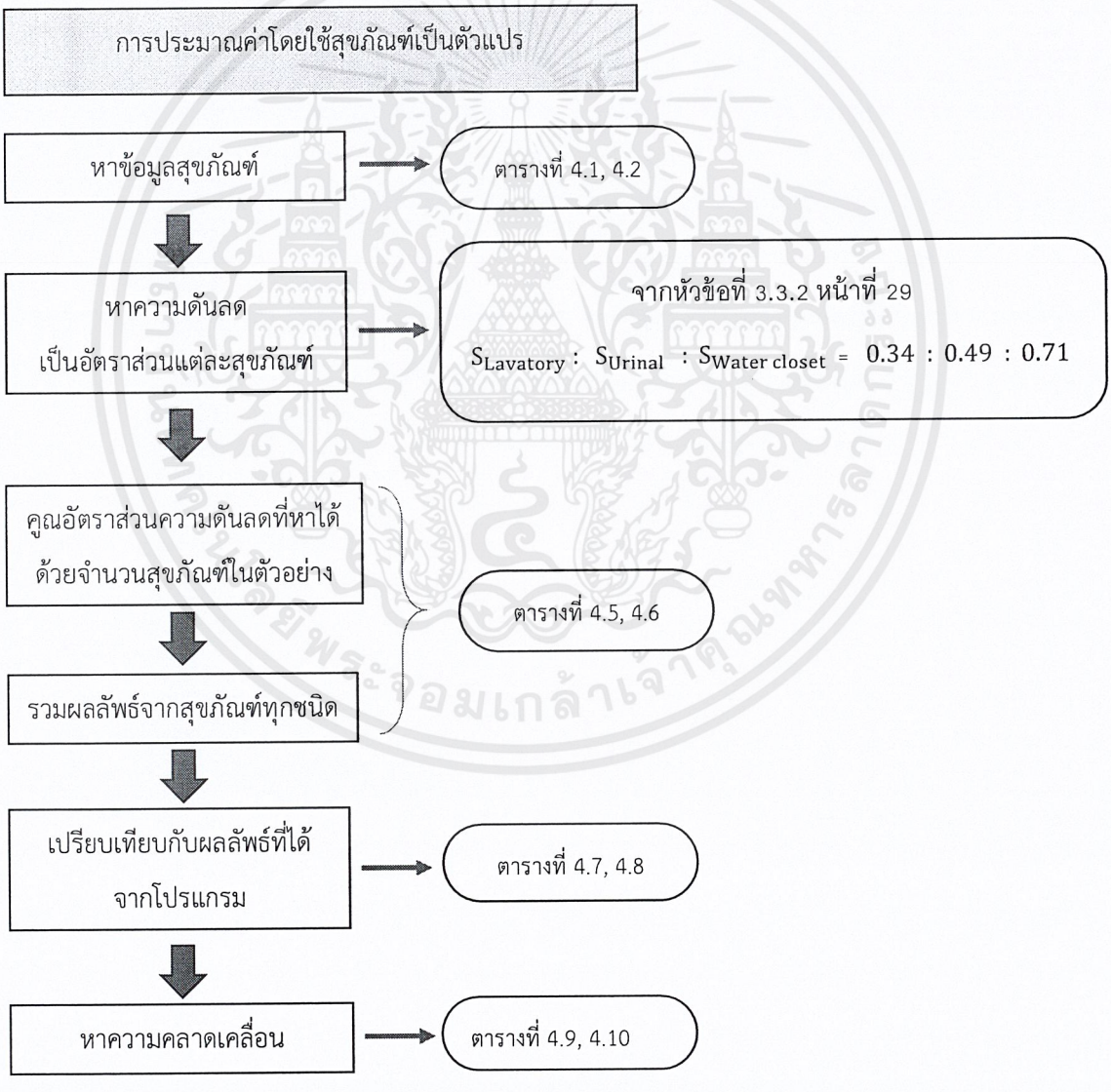
$$\%\ \text{error} = \frac{data_{estimate} - da \quad experimental}{data_{experimental}} \times 100 \qquad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

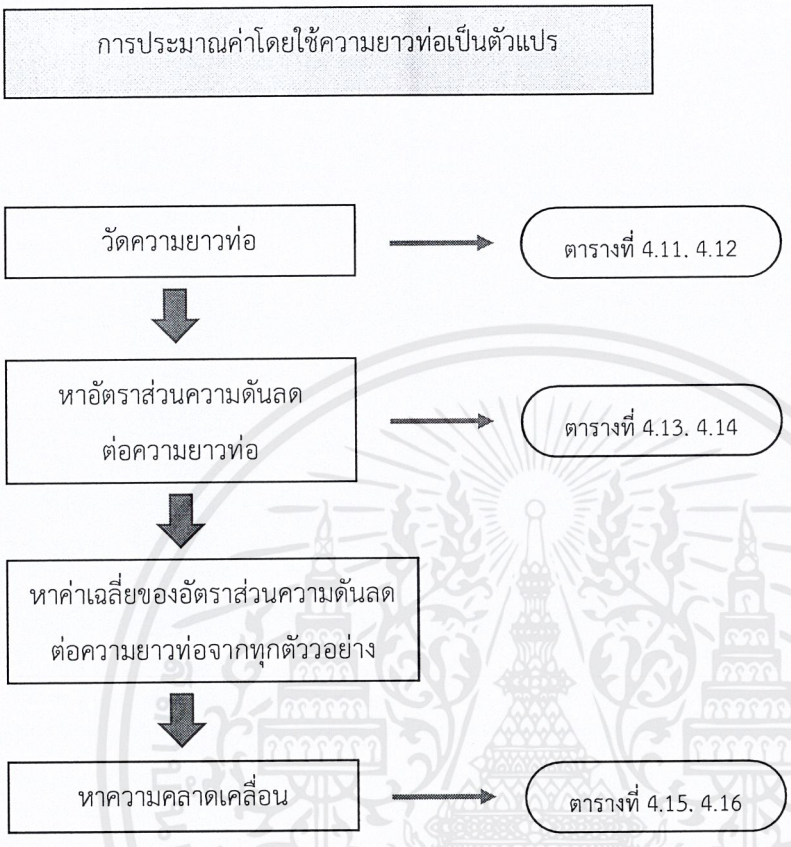
ผลการทดลอง

หลังจากที่ทราบวิธีหาผลลัพธ์ และค่าคงที่ทั้งหมดแล้ว ในบทนี้จะนำเสนอ ผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอน ได้แก่ รายละเอียดสุขภัณฑ์ในแต่ละห้อง, ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าความดันลด, ค่าคงที่ต่าง ๆ และค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าความดันลด เพื่อให้มีความเข้าใจง่ายขึ้น แผนภาพในรูปที่ 4.1 และ 4.2 เป็นแผนภาพอธิบายกระบวนการ เพื่อให้ทราบว่าผลการทดลองต่าง ๆ อยู่ในขั้นตอนใด



รูปที่ 4.1 แผนภาพชี้แจงผลการทดลอง ในกระบวนการประมาณค่าโดยใช้สุขภัณฑ์เป็นตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แผนภาพชี้แจงผลการทดลอง ในกระบวนการประมาณค่าโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การประมาณค่าความดันลดโดยใช้สุขภัณฑ์เป็นตัวแปร

4.1.1 รายละเอียดสุขภัณฑ์

จากการวิเคราะแบบของแต่ละห้องที่มีการใช้น้ำ แล้วบันทึกรายละเอียดเป็นตาราง ประกอบด้วย สถานที่ที่ทำการวิเคราะห์, ชนิดสุขภัณฑ์, ขนาดของท่อ outlet และ อัตราการไหลที่สุขภัณฑ์ต้องการ ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดจำนวนสุขภัณฑ์จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1

สถานที่	จำนวนอ่างล้างมือ	จำนวนโถปัสสาวะ	จำนวนชักโครก
ชั้นที่ 1	24	22	42
ชั้นที่ 2	21	19	38
ชั้นที่ 3	21	19	38
ชั้นที่ 4 โรงหนัง	12	5	17
ชั้นที่ 4	16	12	20
ชั้นที่ 5	8	2	11

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดจำนวนสุขภัณฑ์จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

สถานที่	จำนวนอ่างล้างมือ	จำนวนโถปัสสาวะ	จำนวนชักโครก
ชั้น G	12	6	16
ชั้นที่ 2	6	3	5
ชั้นที่ 3	7	4	8
ชั้นที่ 7	3	2	3
ห้อง 501	3	5	4
ห้อง 502	3	5	4
ห้อง 503	6	0	9
ห้อง 601	4	2	4
ห้อง 602	7	4	8
ห้อง 701	10	5	13
ห้อง 801	10	5	13
ห้อง 901	11	5	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม

หลังจากวิเคราะห์สุขภัณฑ์ของตัวอย่างแล้วขั้นตอนต่อมาคือ การวาดแบบลงในโปรแกรมสร้างแบบจำลอง และใส่รายละเอียดต่าง ๆ ให้ตรงตามแบบ เมื่อทำการสร้างแบบจำลองออกมาแล้ว พบว่าได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ความดันลดจากการสร้างแบบจำลองจากกลุ่มตัวอย่างที่ 1 (เมตรน้ำ)

สถานที่	ความดันลด
ชั้นที่ 1	72.947
ชั้นที่ 2	74.149
ชั้นที่ 3	62.276
ชั้นที่ 4 โรงหนัง	30.546
ชั้นที่ 4	30.341
ชั้นที่ 5	18.887

ตารางที่ 4.4 ความดันลดจากการสร้างแบบจำลองจากกลุ่มตัวอย่างที่ 2 (เมตรน้ำ)

สถานที่	ความดันลด
ชั้น G	28.498
ชั้นที่ 2	11.235
ชั้นที่ 3	16.178
ชั้นที่ 7	5.655
ห้อง 501	7.499
ห้อง 502	7.869
ห้อง 503	13.161
ห้อง 601	6.224
ห้อง 602	16.91
ห้อง 701	24.448
ห้อง 801	25.492
ห้อง 901	27.167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลรวมอัตราส่วนความดันลด

ให้หัวข้อนี้จะแสดงผลลัพธ์ในขั้นตอนการหาผลรวมของอัตราส่วนความดันลดจากบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.2 อัตราส่วนความดันลดสำหรับแต่ละสุขภัณฑ์ คือ อ่างล้างมือ : โถปัสสาวะ : ชักโครกเท่ากับ 0.34 : 0.49 : 0.71 เมื่อคูณด้วยจำนวนสุขภัณฑ์ทั้งหมด แล้วรวมผลลัพธ์ที่ได้ จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์อัตราส่วนความดันลด จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1

สถานที่	ความดันลด (เมตร)	จำนวนอ่างล้างมือ	จำนวนโถปัสสาวะ	จำนวนชักโครก	อัตราส่วนความดันลดของอ่างล้างมือ	อัตราส่วนความดันลดของโถปัสสาวะ	อัตราส่วนความดันลดของชักโครก	ผลรวมอัตราส่วนความดันลด
ชั้นที่ 1	72.947	24	22	42	8.20	10.67	29.78	48.65
ชั้นที่ 2	74.149	21	19	38	7.17	9.22	26.94	43.33
ชั้นที่ 3	62.276	21	19	38	7.17	9.22	26.94	43.33
ชั้นที่ 4 โรงหนัง	30.546	12	5	17	4.10	2.43	12.05	18.58
ชั้นที่ 4	30.341	16	12	20	5.47	5.82	14.18	25.47
ชั้นที่ 5	18.887	8	2	11	2.73	0.97	7.80	11.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์อัตราส่วนความดันลด จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

สถานที่	ความดันลด (เมตร)	จำนวน อ่างล้างมือ	จำนวน โถปัสสาวะ	จำนวน ชักโครก	อัตราส่วน ความดันลด ของอ่างล้างมือ	อัตราส่วน ความดันลด ของโถปัสสาวะ	อัตราส่วน ความดันลด ของชักโครก	ผลรวม อัตราส่วน ความดันลด
ชั้น G	28.498	12	6	16	4.10	2.91	11.35	18.35
ชั้นที่ 2	11.235	6	3	5	2.05	1.46	3.55	7.05
ชั้นที่ 3	16.178	7	4	8	2.39	1.94	5.67	10.00
ชั้นที่ 7	5.655	3	2	3	1.02	0.97	2.13	4.12
ห้อง 501	7.499	3	5	4	1.02	2.43	2.84	6.29
ห้อง 502	7.869	3	5	4	1.02	2.43	2.84	6.29
ห้อง 503	13.161	6	0	9	2.05	0.00	6.38	8.43
ห้อง 601	6.224	4	2	4	1.37	0.97	2.84	5.17
ห้อง 602	16.91	7	4	8	2.39	1.94	5.67	10.00
ห้อง 701	24.448	10	5	13	3.42	2.43	9.22	15.06
ห้อง 801	25.492	10	5	13	3.42	2.43	9.22	15.06
ห้อง 901	27.167	11	5	14	3.76	2.43	9.93	16.11

4.1.4.ค่าคงที่เพื่อใช้หาค่าความดันลดในระบบ

หลังจากได้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองของโปรแกรม แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลรวมอัตราส่วนเฮดของสุขภัณฑ์ จะได้ค่าคงที่ ที่จะนำไว้ใช้คูณผลรวมอตราส่วนเฮดของสุขภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นเมตรน้ำ ซึ่งผลลัพธ์ของค่าคงที่นี้ จะต้องหาค่าเฉลี่ยจากหลาย ๆ ตัวอย่าง ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ค่าคงที่ของความสัมพันธ์ จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1

สถานที่	ความดันลด (เมตรน้ำ)	อัตราส่วนความดันลดของอ่างล้างมือ	อัตราส่วนความดันลดของโถปัสสาวะ	อัตราส่วนความดันลดของชักโครก	ผลรวมอัตราส่วนความดันลด	ค่าคงที่
ชั้นที่ 1	72.947	8.20	10.67	29.78	48.65	1.50
ชั้นที่ 2	74.149	7.17	9.22	26.94	43.33	1.71
ชั้นที่ 3	62.276	7.17	9.22	26.94	43.33	1.44
ชั้นที่ 4 โรงหนัง	30.546	4.10	2.43	12.05	18.58	1.64
ชั้นที่ 4	30.341	5.47	5.82	14.18	25.47	1.19
ชั้นที่ 5	18.887	2.73	0.97	7.80	11.50	1.64

ตารางที่ 4.8 ค่าคงที่ของความสัมพันธ์ จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

สถานที่	ความดันลด (เมตรน้ำ)	อัตราส่วนความดันลดของอ่างล้างมือ	อัตราส่วนความดันลดของโถปัสสาวะ	อัตราส่วนความดันลดของชักโครก	ผลรวมอัตราส่วนความดันลด	ค่าคงที่
ชั้น G	28.498	4.10	2.91	11.35	18.35	1.55
ชั้นที่ 2	11.235	2.05	1.46	3.55	7.05	1.59
ชั้นที่ 3	16.178	2.39	1.94	5.67	10.00	1.62
ชั้นที่ 7	5.655	1.02	0.97	2.13	4.12	1.37
ห้อง 501	7.499	1.02	2.43	2.84	6.29	1.19
ห้อง 502	7.869	1.02	2.43	2.84	6.29	1.25
ห้อง 503	13.161	2.05	0.00	6.38	8.43	1.56
ห้อง 601	6.224	1.37	0.97	2.84	5.17	1.20
ห้อง 602	16.91	2.39	1.94	5.67	10.00	1.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ค่าคงที่ของความสัมพันธ์ จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

สถานที่	ความดันลด (เมตรน้ำ)	อัตราส่วนความดันลดของอ่างล้างมือ	อัตราส่วนความดันลดของโถปัสสาวะ	อัตราส่วนความดันลดของชักโครก	ผลรวมอัตราส่วนความดันลด	ค่าคงที่
ห้อง 701	24.448	3.42	2.43	9.22	15.06	1.62
ห้อง 801	25.492	3.42	2.43	9.22	15.06	1.69
ห้อง 901	27.167	3.76	2.43	9.93	16.11	1.69
						ค่าเฉลี่ย = 1.50

4.1.5.ผลลัพธ์ที่ได้ และ ความคลาดเคลื่อน

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ ได้แก่ ความดันลดในทางปฏิบัติ (Experimental) และ วิธีการประมาณค่าโดยใช้สุขภัณฑ์เป็นตัวแปร รวมถึงเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของวิธีการประมาณค่า

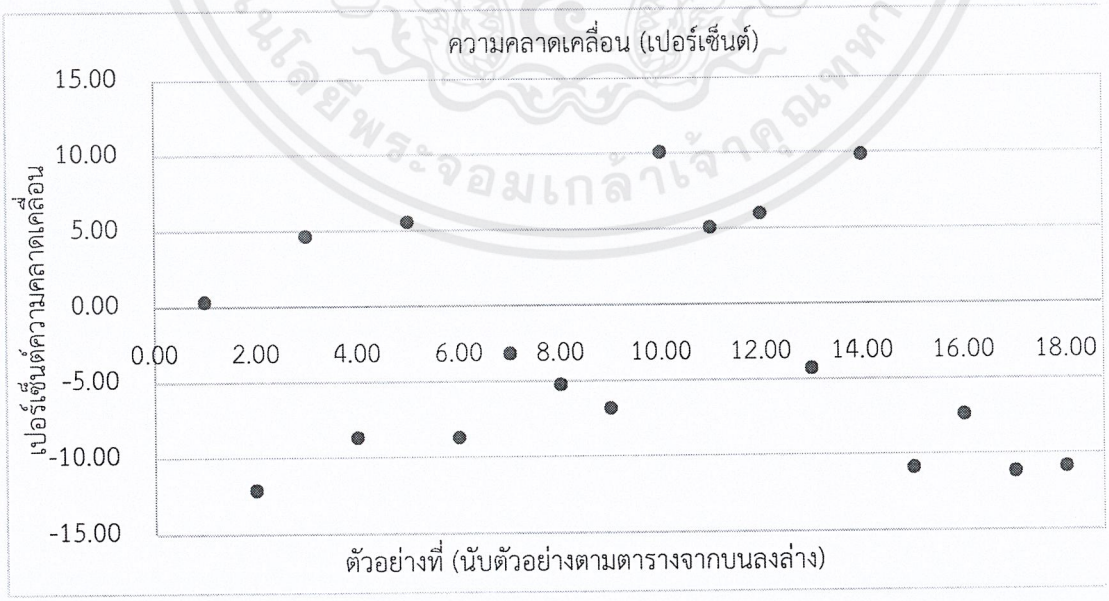
ตารางที่ 4.9 ความดันลด (เมตรน้ำ) และ ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) จากการประมาณค่าโดยใช้สุขภัณฑ์เป็นตัวแปรของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

สถานที่	ความดันลดในทางปฏิบัติ	ความดันลดจากการประมาณค่า	ความคลาดเคลื่อน
ชั้นที่ 1	72.947	73.20	0.35
ชั้นที่ 2	74.149	65.18	-12.10
ชั้นที่ 3	62.276	65.18	4.66
ชั้นที่ 4 โรงหนัง	30.546	27.90	-8.66
ชั้นที่ 4	36.37	38.40	5.58
ชั้นที่ 5	18.887	17.25	-8.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ความดันลด (เมตรน้ำ) และ ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) จากการประมาณค่าโดยใช้สุขภัณฑ์เป็นตัวแปรของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

สถานที่	ความดันลดในทางปฏิบัติ	ความดันลดจากการประมาณค่า	ความคลาดเคลื่อน
ชั้น G	28.498	27.60	-3.15
ชั้นที่ 2	11.235	10.65	-5.21
ชั้นที่ 3	16.178	15.08	-6.82
ชั้นที่ 7	5.655	6.23	10.08
ห้อง 501	9.064	9.53	5.09
ห้อง 502	8.985	9.53	6.01
ห้อง 503	13.161	12.60	-4.26
ห้อง 601	7.099	7.80	9.87
ห้อง 602	16.91	15.08	-10.85
ห้อง 701	24.448	22.65	-7.35
ห้อง 801	25.492	22.65	-11.15
ห้อง 901	27.167	24.23	-10.83



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของตัวอย่างที่คำนวณด้วยการใช้สุขภัณฑ์เป็นตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การประมาณค่าความดันลดโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปร

4.2.1 ความยาวท่อที่วัดได้

จากการวัดความยาวของท่อทั้งหมดในระบบและรวมความยาว โดยไม่สนใจนาดท่อได้ผลลัพธ์ ดังนี้

ตารางที่ 4.11 ความยาวของท่อทั้งหมดในระบบท่อของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

สถานที่	ความยาวท่อ (เมตร)
ชั้นที่ 1	388.98
ชั้นที่ 2	355.64
ชั้นที่ 3	396.4
ชั้นที่ 4 โรงหนัง	168.02
ชั้นที่ 4	231.24
ชั้นที่ 5	112.34

ตารางที่ 4.12 ความยาวของท่อทั้งหมดในระบบท่อของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

สถานที่	ความยาวท่อ (เมตร)
ชั้น G	190.17
ชั้นที่ 2	72.07
ชั้นที่ 3	114.33
ชั้นที่ 7	48.65
ห้อง 501	59.45
ห้อง 502	62.84
ห้อง 503	93.38
ห้อง 601	63.59
ห้อง 602	154.48
ห้อง 701	163.59
ห้อง 801	225.49
ห้อง 901	227.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 อัตราส่วนความดันลดต่อความยาวท่อในระบบ

เมื่อได้ผลรวมความยาวท่อทั้งหมดในระบบแล้วหาอัตราส่วนระหว่างความดันลดที่เกิดขึ้น กับความยาวท่อทั้งหมดในระบบ ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.13 อัตราส่วนความดันลดต่อความยาวท่อในระบบท่อ ของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

สถานที่	อัตราส่วนความดันลดต่อความยาวท่อ
ชั้นที่ 1	0.1875
ชั้นที่ 2	0.2085
ชั้นที่ 3	0.1571
ชั้นที่ 4 โรงหนัง	0.1818
ชั้นที่ 4	0.1573
ชั้นที่ 5	0.1681

ตารางที่ 4.14 อัตราส่วนความดันลดต่อความยาวท่อในระบบท่อ ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

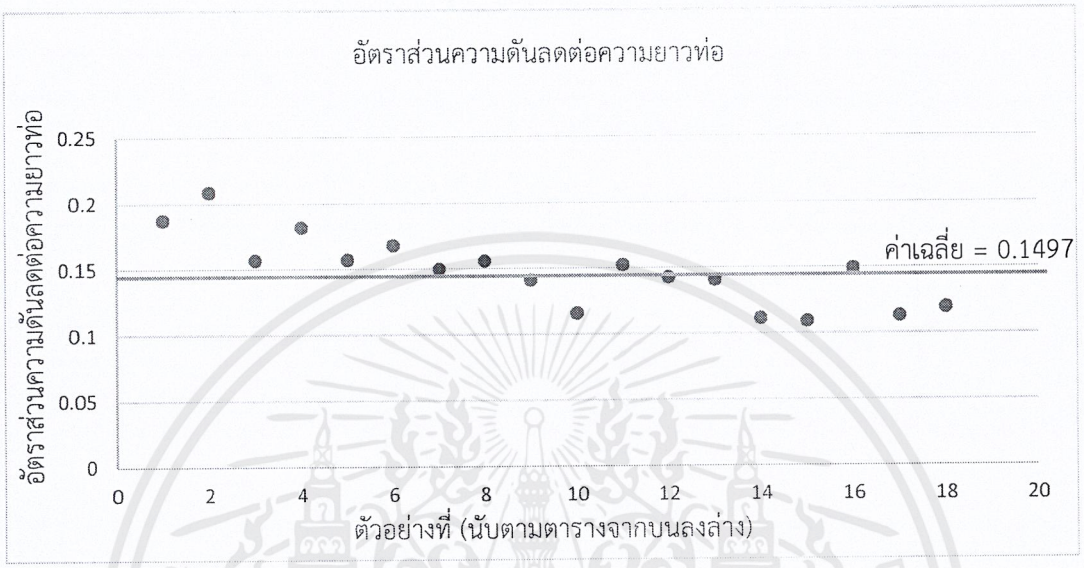
สถานที่	อัตราส่วนความดันลดต่อความยาวท่อ
ชั้น G	0.1499
ชั้นที่ 2	0.1559
ชั้นที่ 3	0.1415
ชั้นที่ 7	0.1162
ห้อง 501	0.1525
ห้อง 502	0.143
ห้อง 503	0.1409
ห้อง 601	0.1116
ห้อง 602	0.1095
ห้อง 701	0.1494
ห้อง 801	0.1131
ห้อง 901	0.1196

จากผลลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ 4.13 และ 4.14

สามารถหาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความดันลดต่อความยาวท่อ ได้เท่ากับ 0.1479

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาแสดงผลในรูปแบบการพล็อตกราฟ จะได้ดังนี้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนความยาวท่อต่อความดันลด และค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความยาวท่อต่อความดันลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลลัพธ์ที่ได้ และความคลาดเคลื่อน

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าโดยการใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปร รวมถึงเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการประมาณค่า มาเปรียบเทียบกันแล้วหาค่าความคลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของการประมาณค่าต่อไป

ตารางที่ 4.15 ความดันลด (เมตรน้ำ) และ ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) จากการประมาณค่าโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปรของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

สถานที่	ความดันลดจากการประมาณค่า	ความดันลดในทางปฏิบัติ	ความคลาดเคลื่อน
ชั้นที่ 1	57.556	72.947	-21.09
ชั้นที่ 2	52.622	74.149	-29.03
ชั้นที่ 3	58.654	62.276	-5.81
ชั้นที่ 4 โรงหนัง	24.861	30.546	-18.60
ชั้นที่ 4	34.215	36.37	-5.92
ชั้นที่ 5	16.622	18.887	-11.98

ตารางที่ 4.16 ความดันลด (เมตรน้ำ) และ ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์) จากการประมาณค่าโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปรของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

สถานที่	ความดันลดจากการประมาณค่า	ความดันลดในทางปฏิบัติ	ความคลาดเคลื่อน
ชั้น G	28.138	28.498	-1.26
ชั้นที่ 2	10.663	11.235	-5.08
ชั้นที่ 3	16.917	16.178	4.56
ชั้นที่ 7	7.1985	5.655	27.29
ห้อง 501	8.796	9.064	-2.94
ห้อง 502	9.298	8.985	3.48
ห้อง 503	13.817	13.161	4.98
ห้อง 601	9.409	7.099	32.54
ห้อง 602	22.857	16.91	35.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 (ต่อ) ผลลัพธ์ที่ได้ และ ค่าความคลาดเคลื่อน จากการประมาณค่าโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปรของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

สถานที่	ความดันลดจากการประมาณค่า	ความดันลดในทางปฏิบัติ	ความคลาดเคลื่อน
ห้อง 701	24.205	24.448	-0.99
ห้อง 801	33.365	25.492	30.88
ห้อง 901	33.616	27.167	23.74

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของตัวอย่างที่คำนวณด้วยการใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป และ ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากผลการคำนวณโดยใช้วิธีการประมาณค่า พบว่าสามารถหาความดันลดได้ โดยใช้ชนิด และจำนวนสุขภัณฑ์เป็นตัวแปร ซึ่งจะจำแนกตามขนาดท่อขาเข้าของสุขภัณฑ์ และ อัตราการไหลที่สุขภัณฑ์ใช้ จากการทำโครงงานได้ผลลัพธ์เป็นวิธีการประมาณค่า ดังต่อไปนี้ ในระบบท่อน้ำหนึ่ง สุขภัณฑ์ประเภทอ่างล้างมือจะส่งผลให้เกิดความดันลดต่อระบบที่ 0.51 เมตรต่อหนึ่งจำนวนสุขภัณฑ์, โถปัสสาวะแบบฟลัชวาล์วที่ 0.735 เมตรต่อหนึ่งจำนวนสุขภัณฑ์ , ชักโครกแบบฟลัชวาล์วที่ 1.065 เมตรต่อหนึ่งจำนวนสุขภัณฑ์ ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในมุมมองของบริษัทรับเหมาที่ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษา มีเกณฑ์อนุญาติให้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่ายอมรับได้

ในวิธีการประมาณค่าความดันลดโดยใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปร สามารถหาความดันลดได้โดยวัดความยาวท่อทั้งหมดของระบบแล้วคูณด้วย 0.147 จะได้ผลเป็นความดันลดเช่นกันแต่เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่ 30 เปอร์เซ็น จึงสามารถสรุปได้ว่าเป็นวิธีที่ไม่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนมากเกินกว่าเกณฑ์ที่บริษัทจะยอมรับได้

วิธีการประมาณค่าในโครงงานนี้มีค่าแปรผันตรงกับอัตราการไหลของน้ำที่สุขภัณฑ์ใช้ แต่แปรผกผันกับขนาดท่อของสุขภัณฑ์ โดยสามารถพิสูจน์ได้ในหัวข้อที่ 3.3.2 หน้าที่ 29 จะเห็นได้จากอัตราส่วนว่าความดันลดว่าอัตราการไหลของน้ำที่สุขภัณฑ์ใช้จะทำให้ความดันลดมีค่าเพิ่มมากขึ้น และขนาดท่อของสุขภัณฑ์จะทำให้ความดันลดมีค่าน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงงานนี้ได้จัดทำวิธีการคำนวณแบบประมาณค่าด้วยวิธีการนับสุขภัณฑ์ และ การวัดความยาวท่อ เพื่อเป็นอีกวิธี ในการประมาณค่าความดันลดในระบบ โดยคำนึงถึงความสะดวกและรวดเร็วเป็นหลัก เหมาะสมที่จะใช้ในงานตรวจสอบระบบ หรือ ประมาณค่าเพียงเบื้องต้นเท่านั้น ถึงแม้การคำนวณจะมีความสะดวกรวดเร็วกว่าการคำนวณด้วยใช้วิธี Hazen William แต่การประมาณค่าของโครงงานนี้ยังมีข้อพิจารณา คือ ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่า ซึ่งทางผู้จัดทำมีความเห็นว่าวิธีการคำนวณนี้มีความเหมาะสมที่จะใช้ในงานตรวจสอบระบบ หรือ ประมาณค่าความมดันลดเพียงเบื้องต้นเท่านั้น หากต้องทำงานที่ต้องการความละเอียดของผลลัพธ์สูง หรือ งานที่ไม่เร่งรัดในเวลา การคำนวณด้วยวิธี Hazen William equation ยังถือเป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์. (2558). การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร (พิมพ์ครั้งที่20). กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ปรียาพร โกษา. (ม.ป.ป.). Hydraulic Handout. สืบค้น 28 พฤศจิกายน 2562, จาก http://eng.sut.ac.th/ce/download/homwork/HydraulicHandout_AllCh_Book02withLOGO_Ch5.pdf

Engineeringtoolbox (นามปากกา). (ม.ป.ป.). Hazen-Williams Coefficients. สืบค้น 1 ธันวาคม 2562, จาก https://www.engineeringtoolbox.com/hazen-williams-coefficients-d_798.html

Jacqueline Martin, James Heaney. (2008). WATER USE BY URINALS. สืบค้น 3 ธันวาคม 2562, จาก https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MARTIN%20and%20HEANEY%202008%20Water%20Use%20by%20Urinals.pdf

Klaus Reichardt. (2015). Water Saved or Water Wasted?. สืบค้น 3 ธันวาคม 2562, จาก https://www.cmmonline.com/articles/water-saved-or-water-wasted

Manas, Vincent T., (1957). NATIONAL PLUMBING CODE HANDBOOK (พิมพ์ครั้งที่1). สหรัฐอเมริกา: McGraw-Hill.

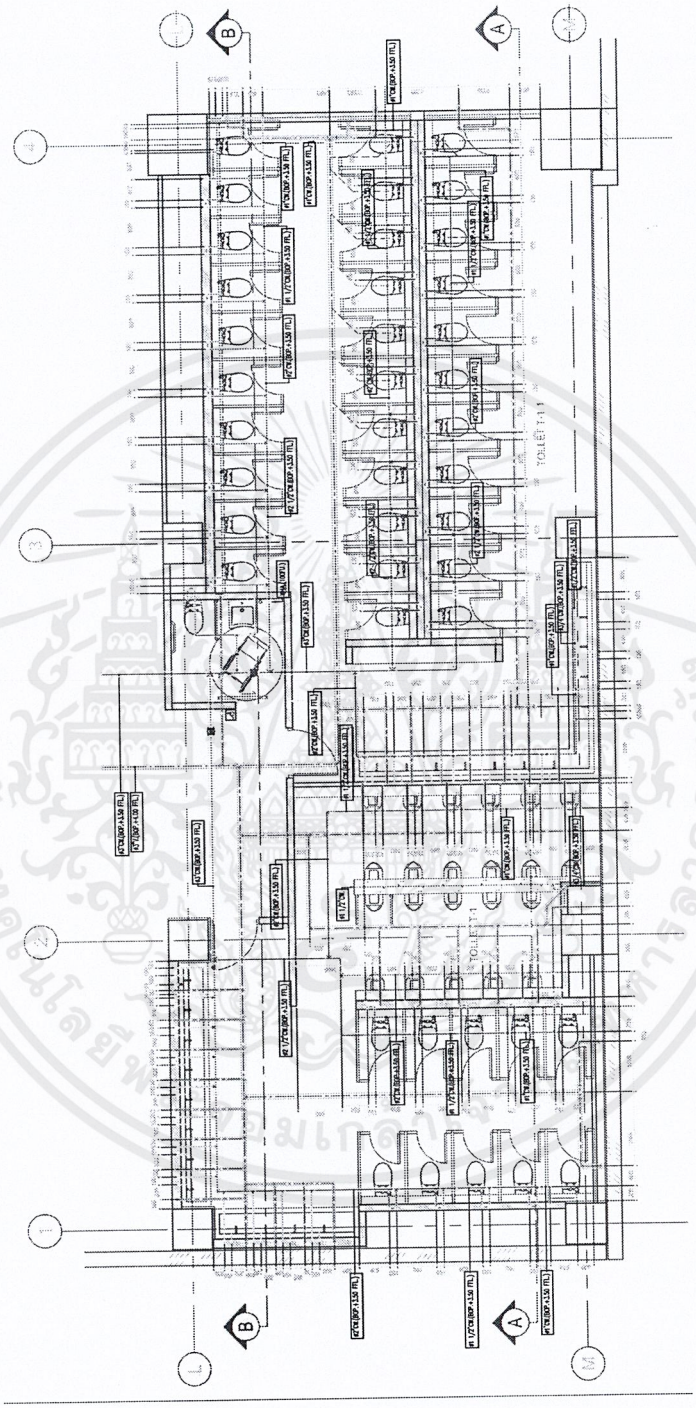
Wikipedia, (2019). Moody chart. สืบค้น 5 ธันวาคม 2562 https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart)

Yasmina Lahiouel, A.K. HADDAD, Kamel Chaoui. (2005). EVALUATION OF HEAD LOSSES IN FLUID TRANSPORTATION NETWORKS. สืบค้น 8 ธันวาคม 2562, จาก https://www.researchgate.net/publication/236462188_EVALUATION_OF_HEAD_LOSSES_IN_FLUID_TRANSPORTATION_NETWORKS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

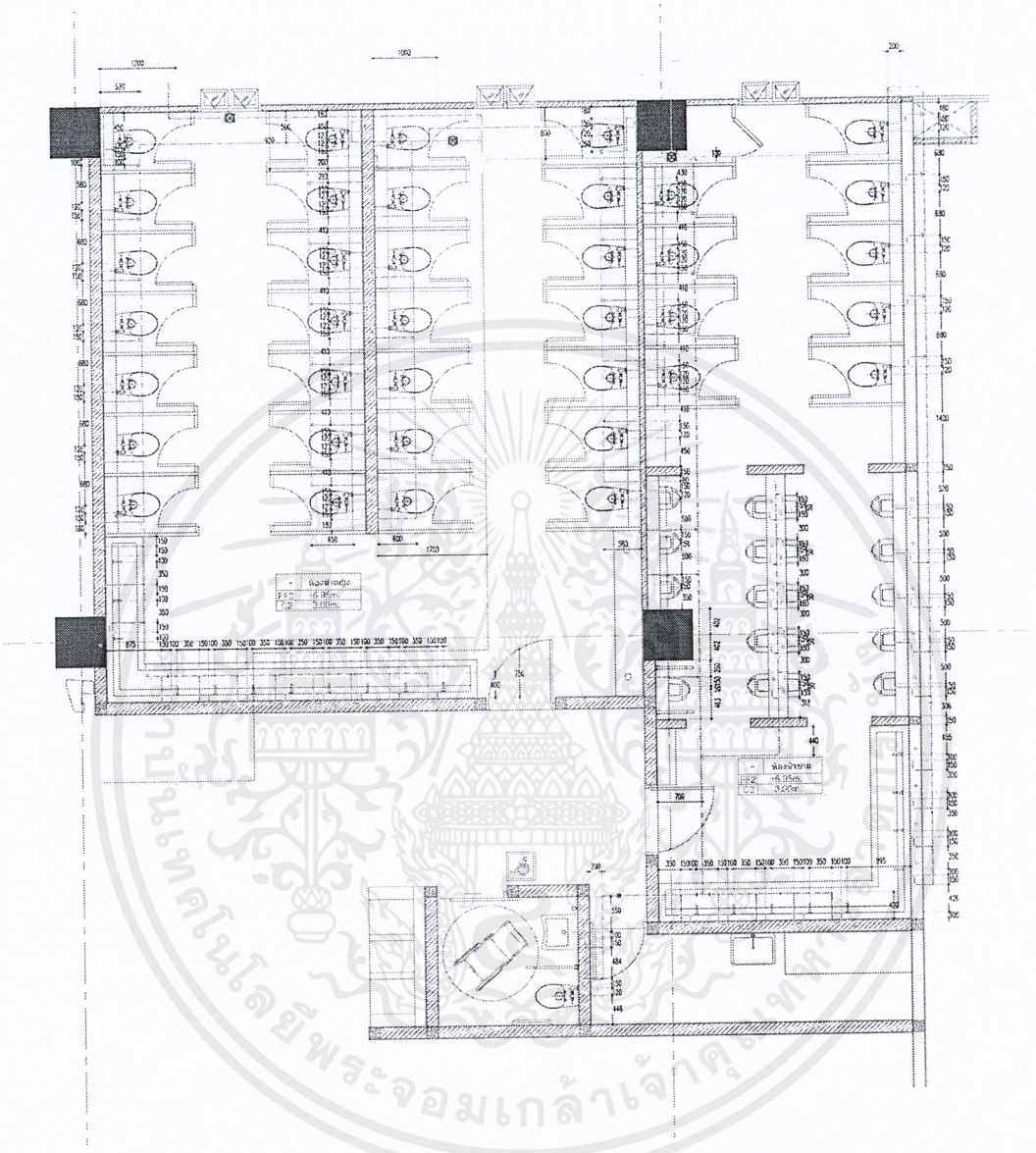
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 1 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1

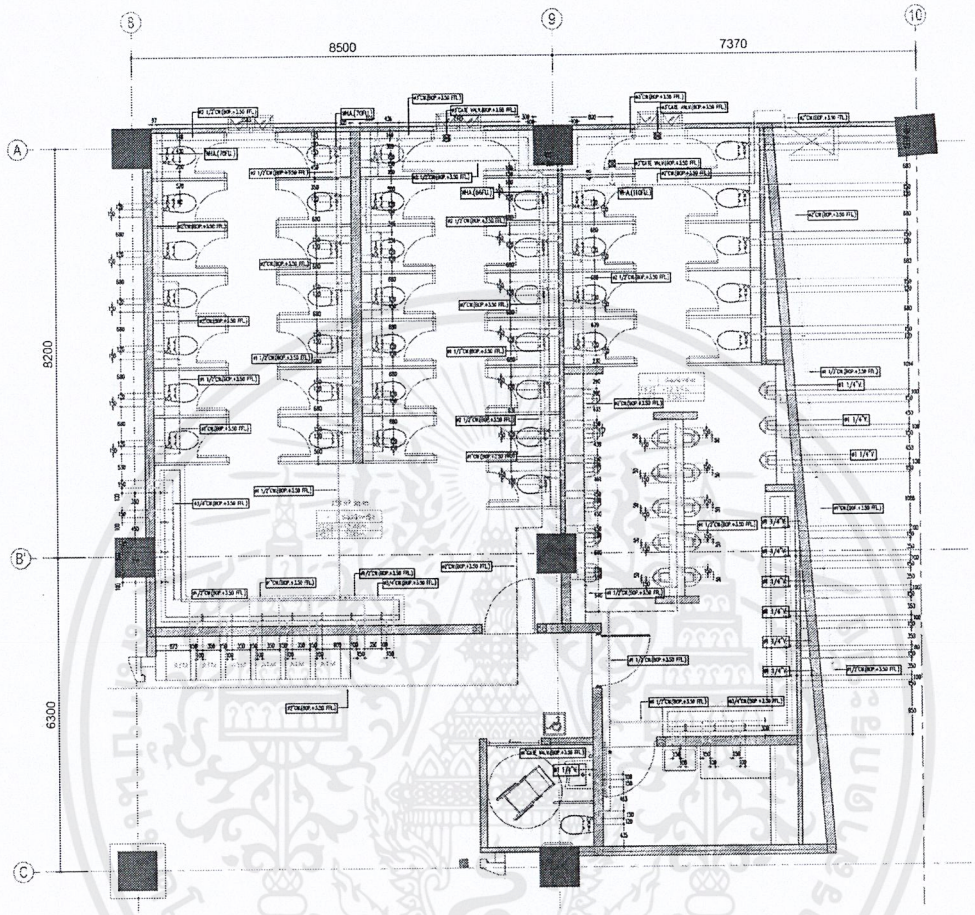
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 2 จากกลุ่มตัวอย่างที่

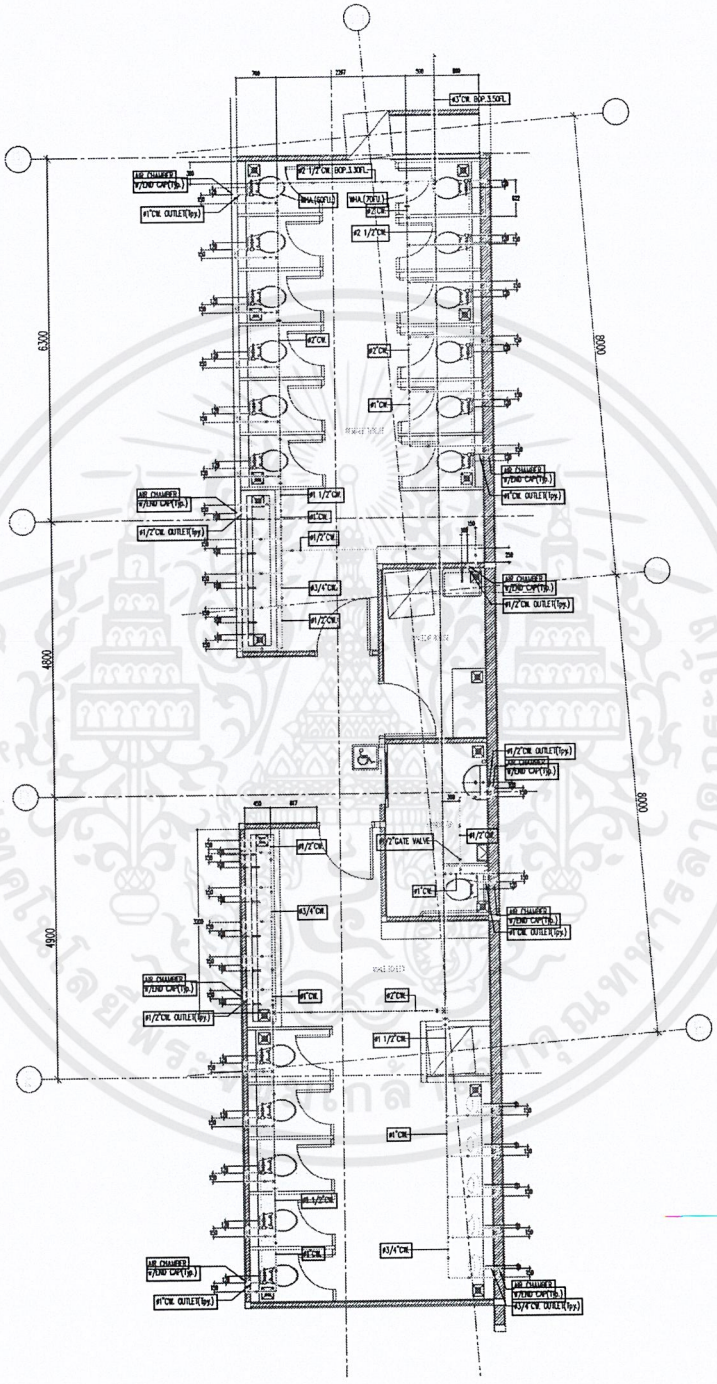
1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



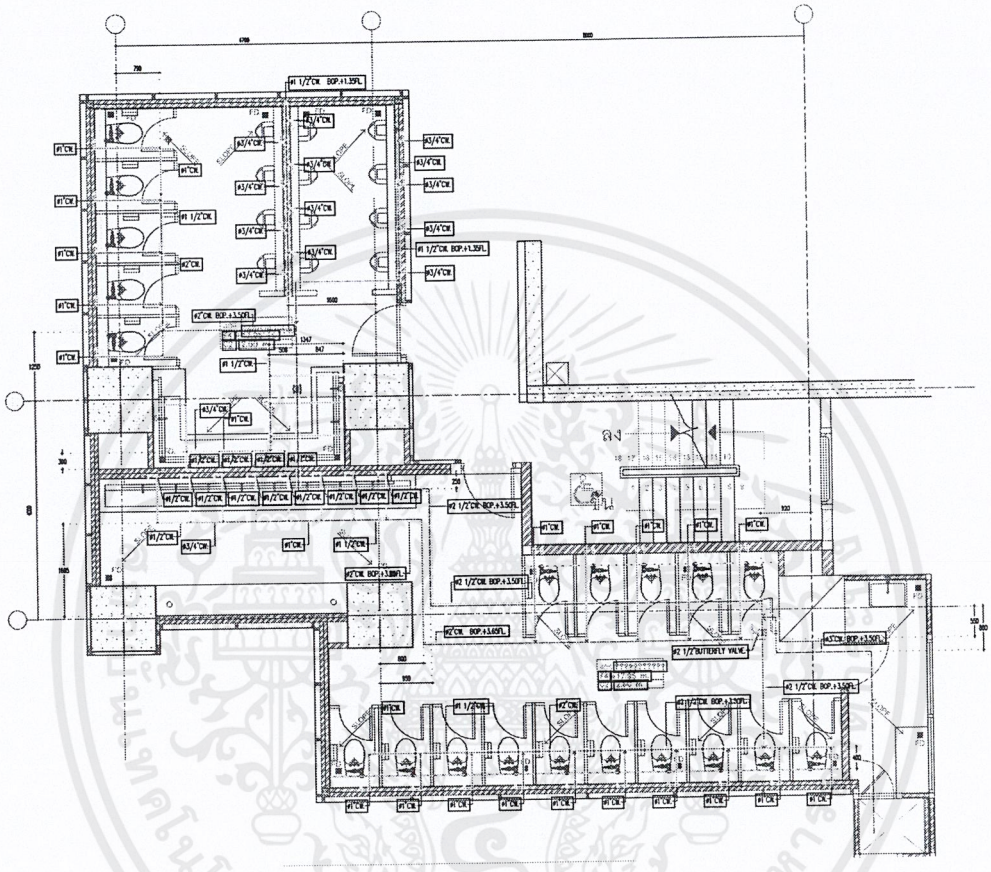
รูปที่ ก.3 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 3 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



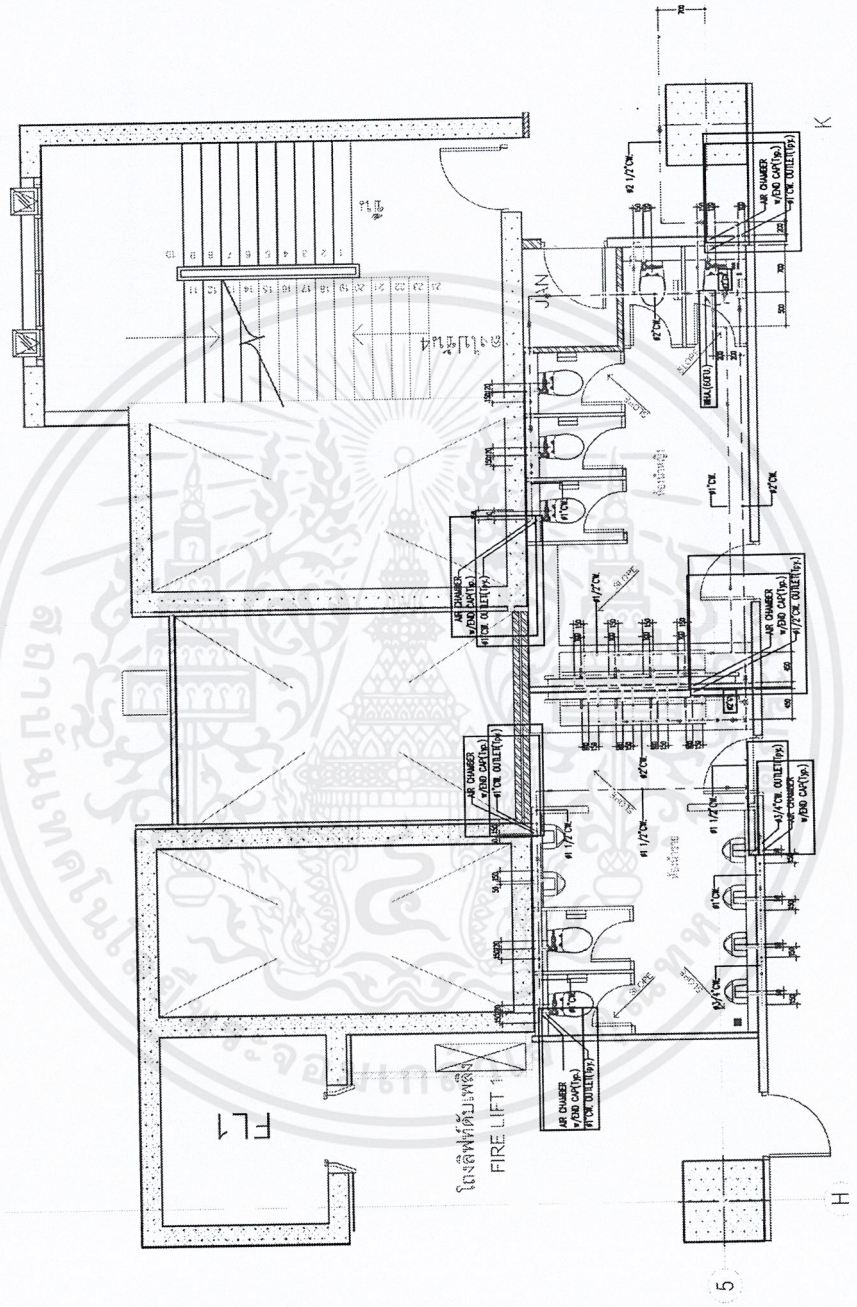
รูปที่ ก.4 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำโรงหนังชั้น 4 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



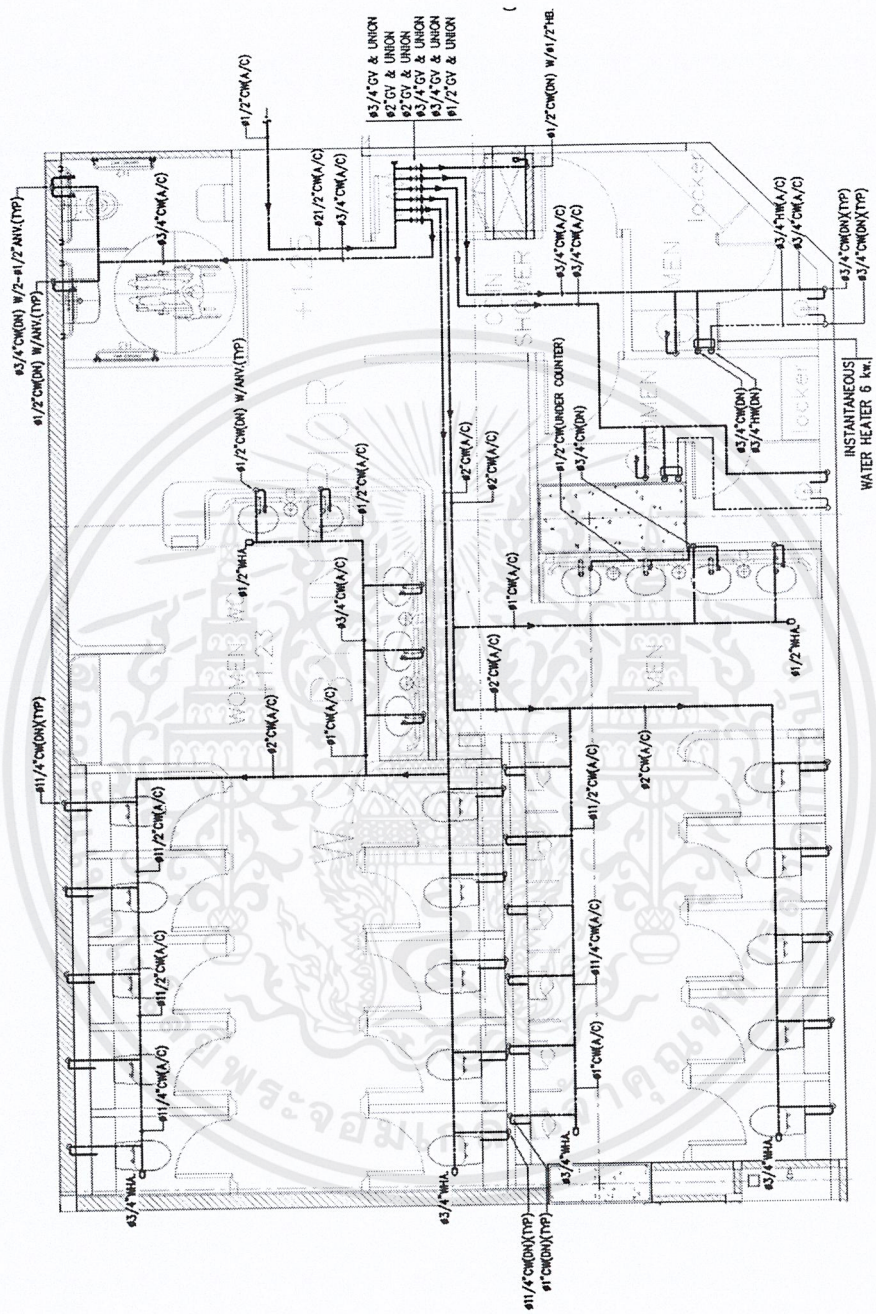
รูปที่ ก.5 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 4 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 5 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 1

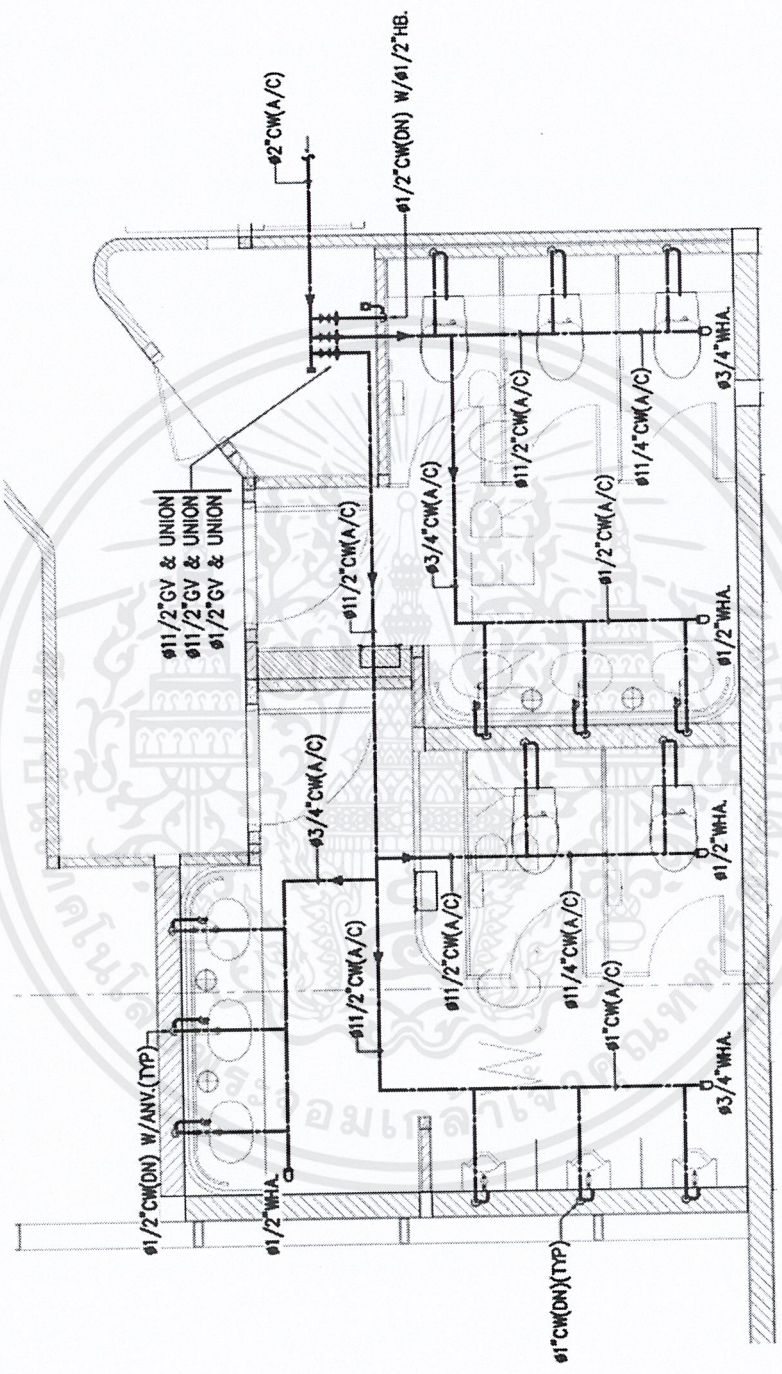
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น G จากกลุ่มตัวอย่างที่

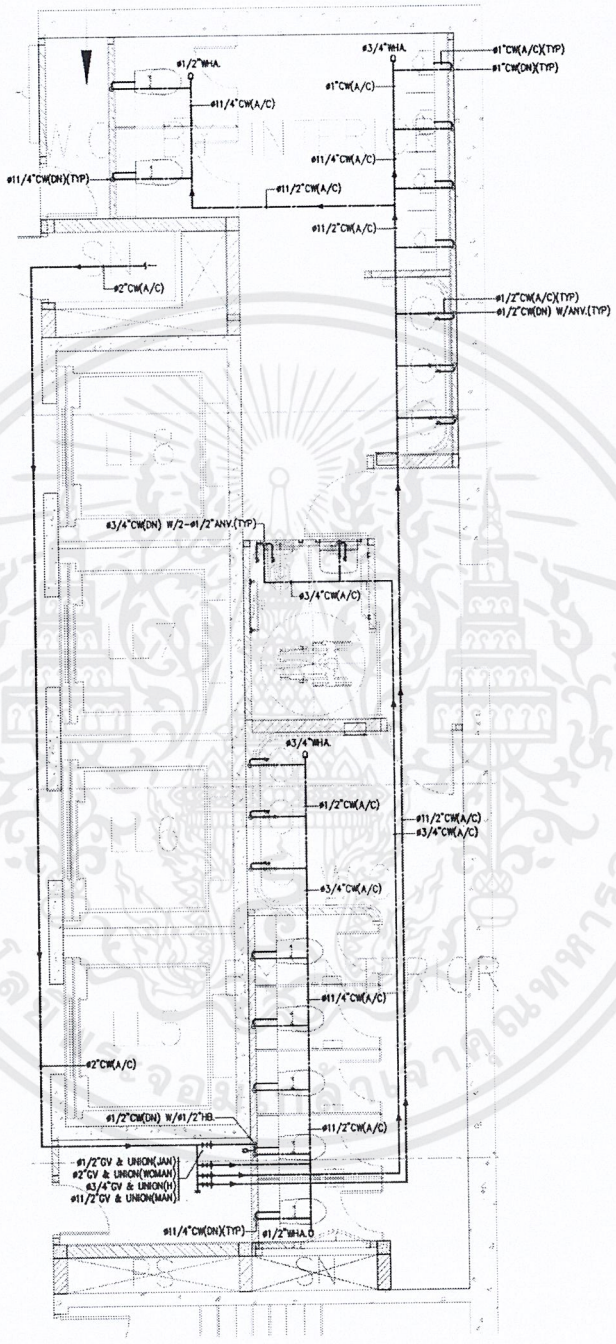
2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



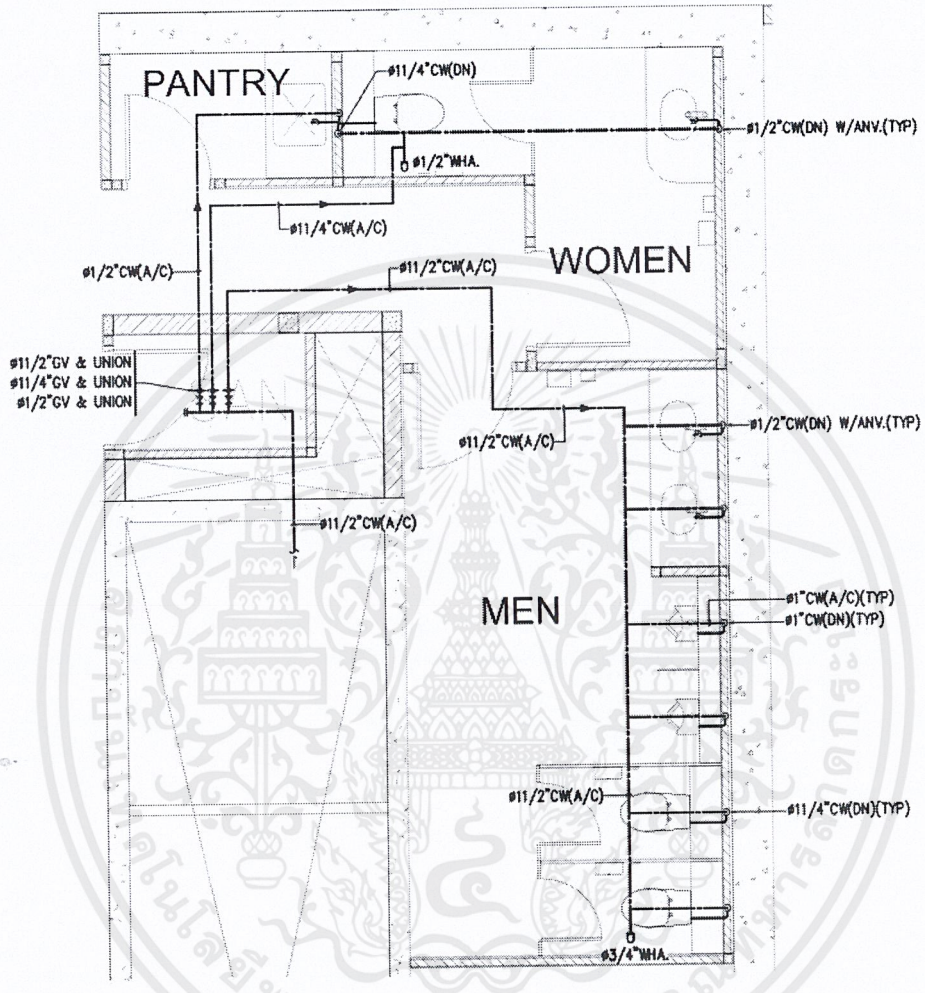
รูปที่ ก.8 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 2 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



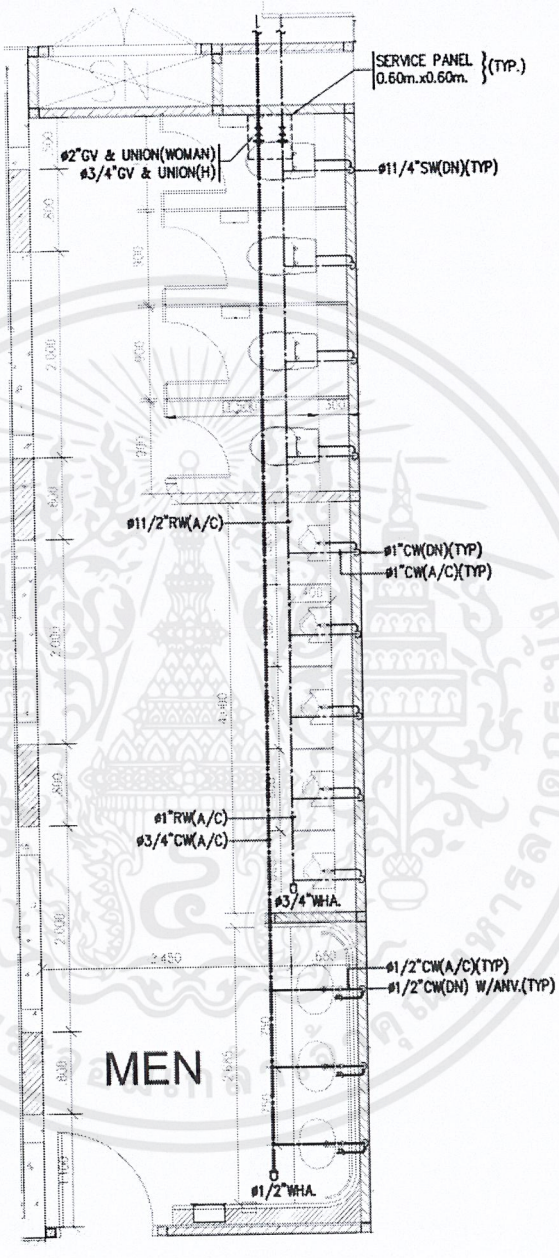
รูปที่ ก.9 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 3 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



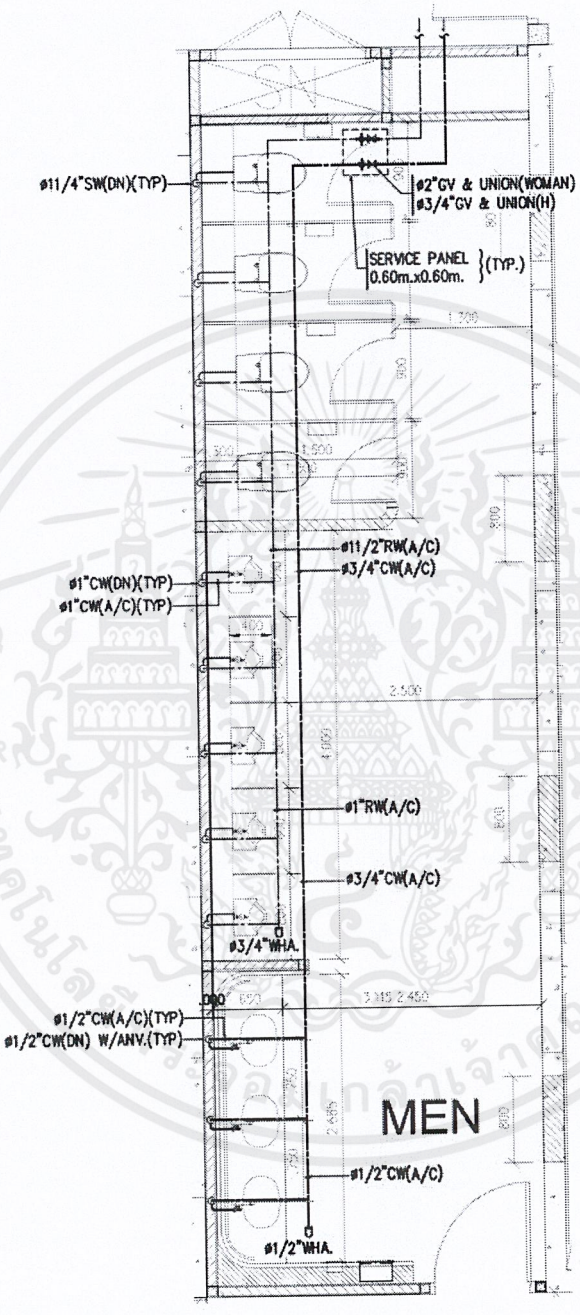
รูปที่ ก.10 แบบระบบท่อประปาของห้องน้ำชั้น 7 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



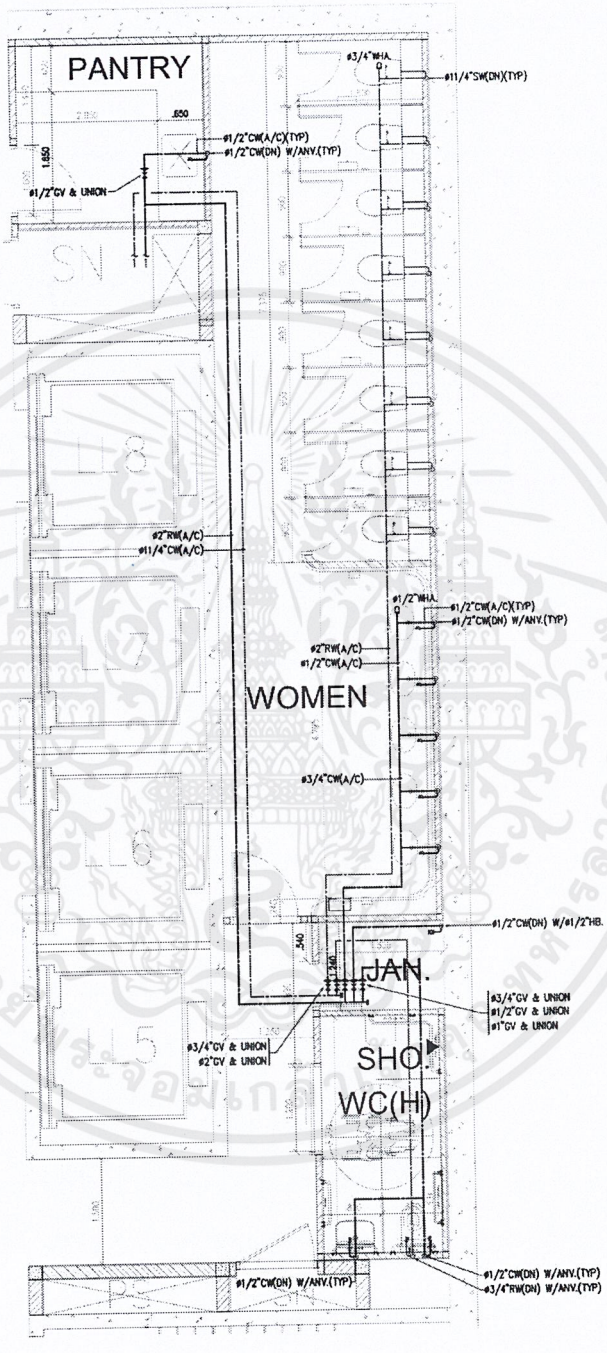
รูปที่ ก.11 แบบระบบท่อประปาของห้อง 501 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



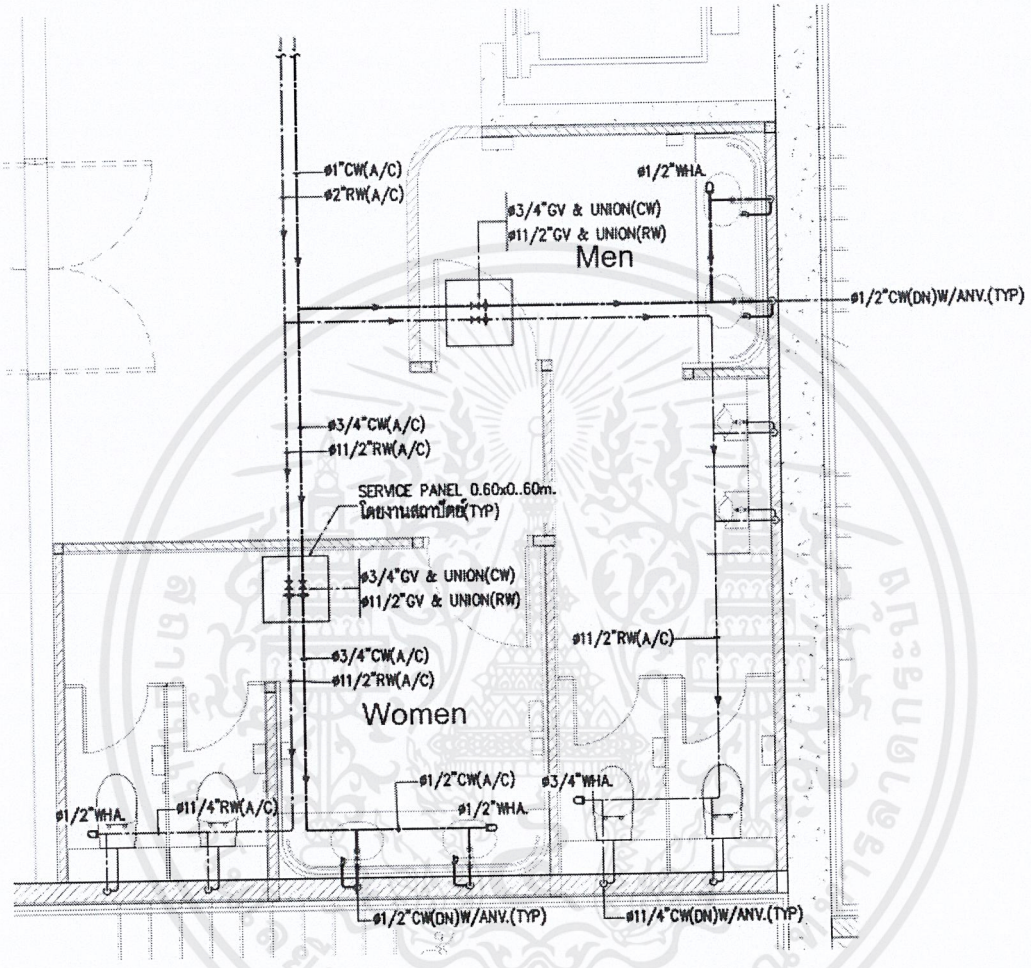
รูปที่ ก.12 แบบระบบท่อประปาของห้อง 502 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



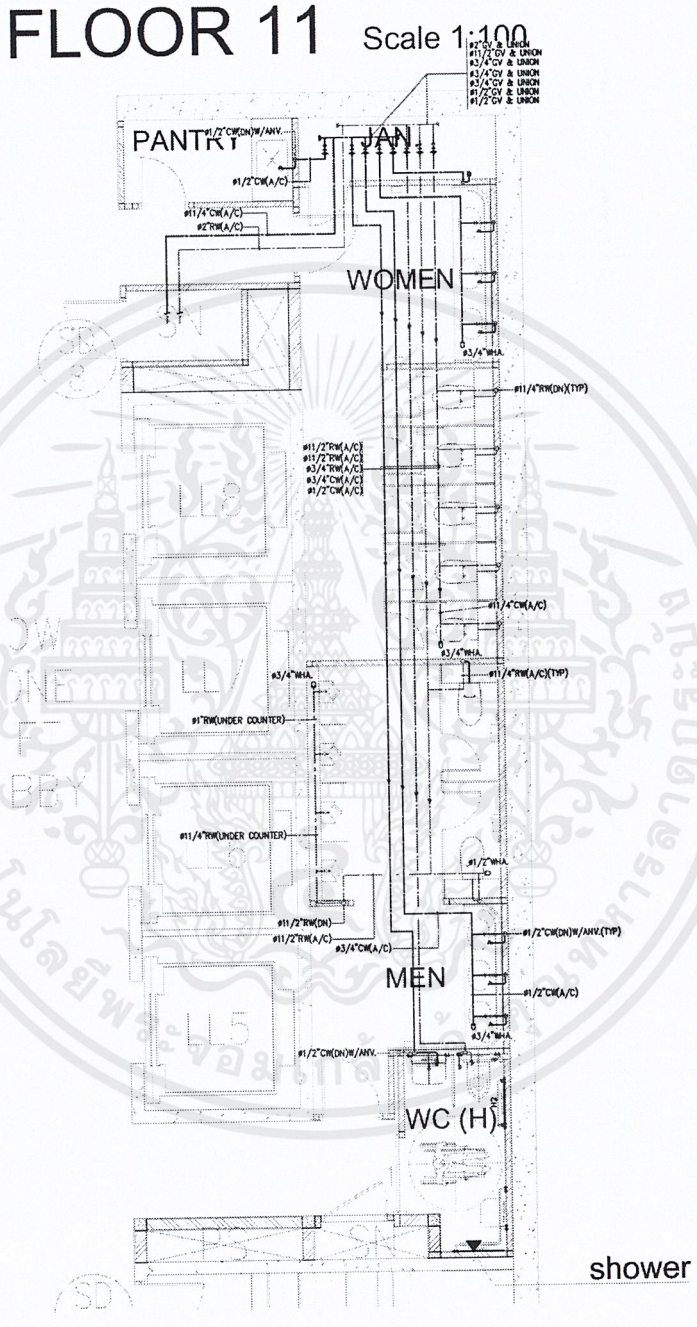
รูปที่ ก.13 แบบระบบท่อประปาของห้อง 503 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



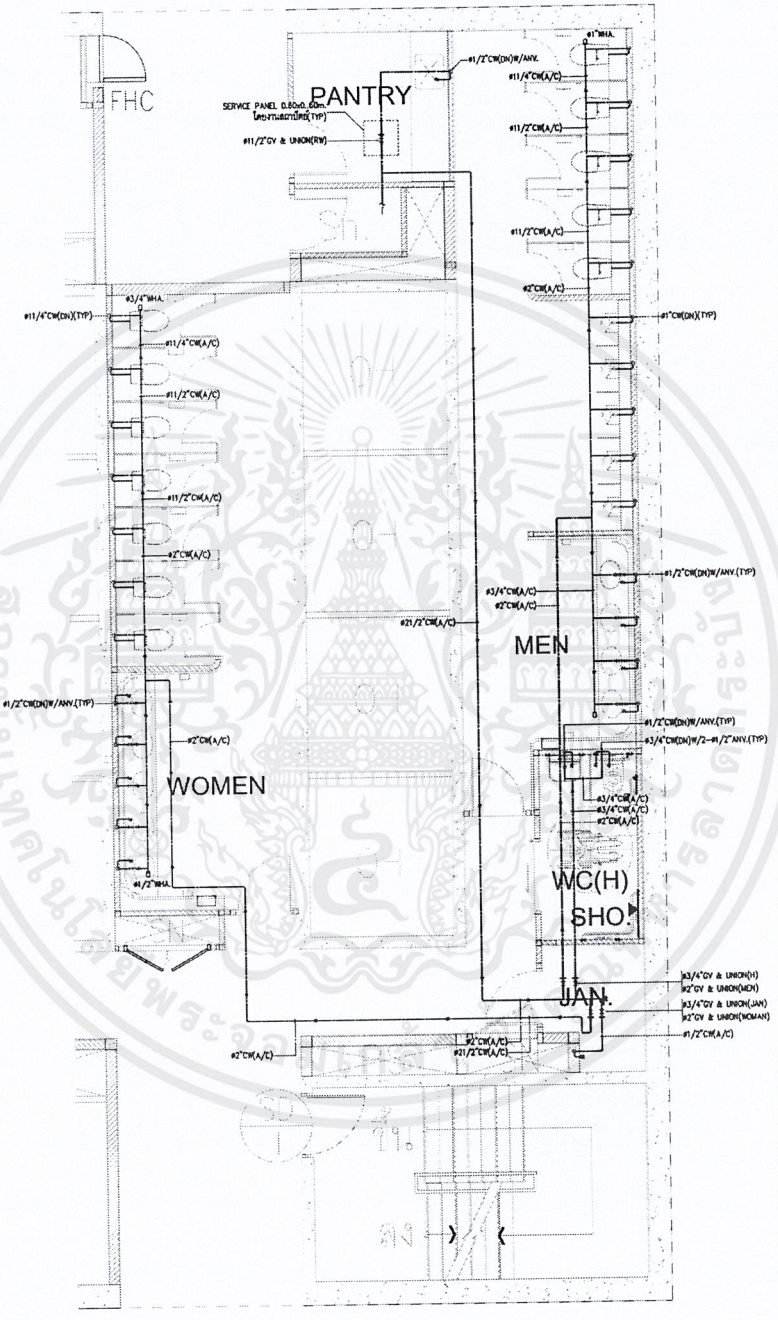
รูปที่ ก.14 แบบระบบท่อประปาของห้อง 601 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



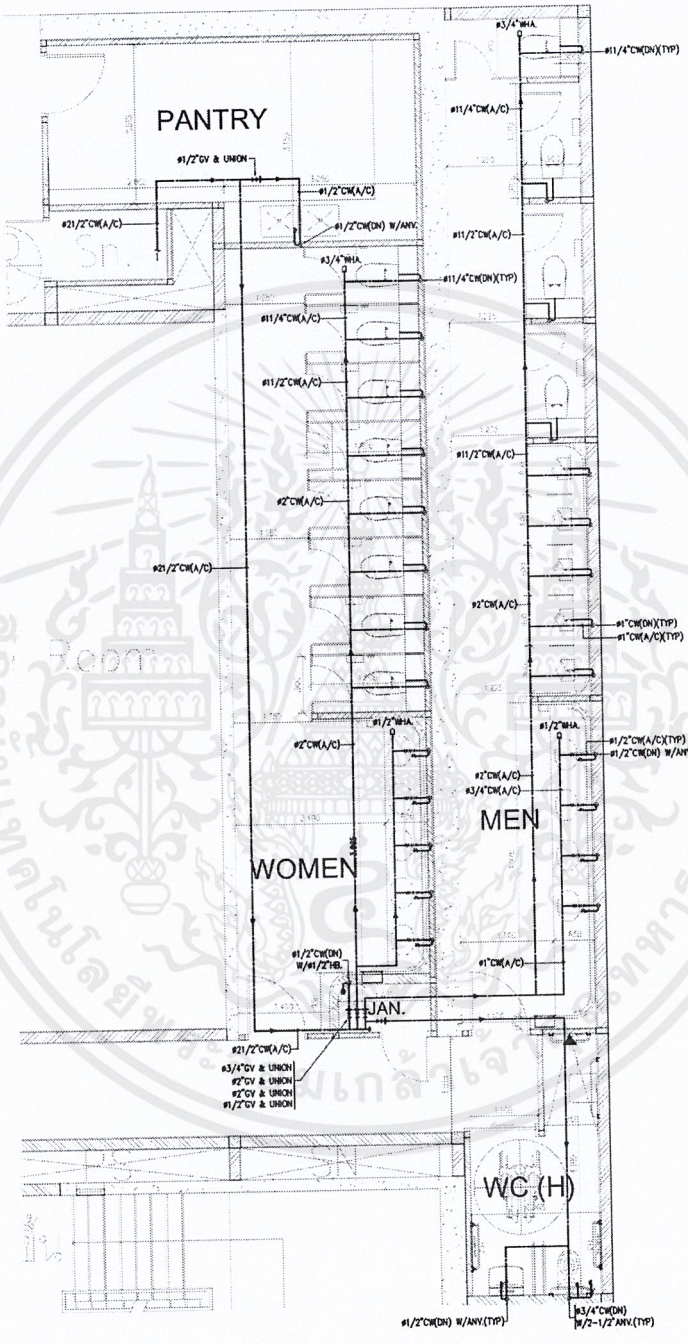
รูปที่ ก.15 แบบระบบท่อประปาของห้อง 602 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



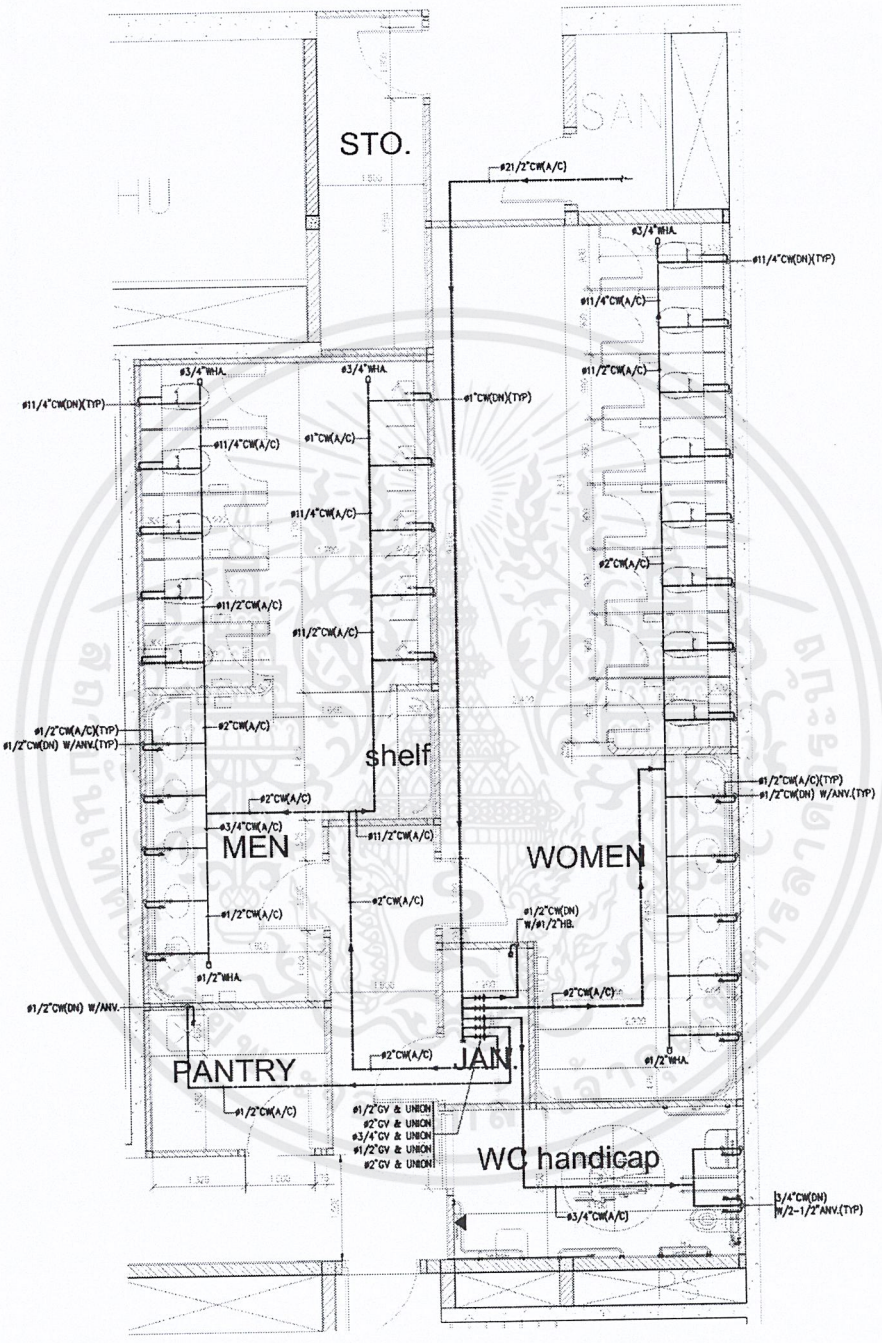
รูปที่ ก.16 แบบระบบท่อประปาของห้อง 701 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.17 แบบระบบท่อประปาของห้อง 801 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.18 แบบระบบท่อประปาของห้อง 901 จากกลุ่มตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้