



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

### การลดการใช้พลังงานของปั๊มในระบบน้ำดี

A Reduction of Power Consumption Consumed by Pump used  
in Cold Water System

นายณัฐพงศ์ วนากิตติเสถียร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การลดการใช้พลังงานของปั๊มในระบบน้ำดี

ชื่อ-สกุล นายณัฐพงศ์ วนากิตติเสถียร

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.ณัฐฉิ เรื่องตระกูล

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายเอกวัฒน์ พุ่มนิคม

สถานประกอบการ บริษัท ทีเอชเอส ดีเวลอปเม้นท์ จำกัด

### บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องการลดการใช้พลังงานของปั๊มในระบบน้ำดี (Reduction of Pump Usage in Cold Water System) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค้นคว้าหาวิธีลดการใช้พลังงานของปั๊มน้ำในการใช้ในอาคารและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ โดยมีขั้นตอนคือ 1.) ออกแบบระบบประปาในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดใหญ่สูบขึ้นครั้งเดียว 2.) ออกแบบระบบประปาในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วง 3.) Simulation การทำงานของระบบในโปรแกรม Pumpsim 4.) นำผลที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรมของแต่ละระบบมาเปรียบเทียบ จากผลการวิจัยพบว่ามีการใช้พลังงานในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดใหญ่สูบขึ้นครั้งเดียวเท่ากับ 249.2 kwh และมีการใช้พลังงานในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วงเท่ากับ 207.1 kwh พบว่ามีการใช้พลังงานในการสูบน้ำลดลง 42.1 kwh หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 16.9 เปอร์เซ็นต์ หรือลดค่าใช้จ่ายไปได้ปีละ 6,663 บาท และจะมีระยะเวลาในการคืนทุนอยู่ที่ 15 ปี

คำสำคัญ : ระบบประปา, เครื่องสูบน้ำ, ระบบจ่ายน้ำลง

**Cooperative Title:** Reduce Pump Usage in Cold Water System

**Student intern name:** Nuttapong Vanakittistien

**Faculty:** Engineering **Department:** Mechanical Engineering

**Advisor name:** Dr.Natthawut Ruangtrakoon

**Mentor name:** Mr.Aekkawat Pumnikom

**Company:** Teo Hong Silom Co., Ltd

## ABSTRACT

Our objectives for this research "Reduction of Pump Usage in Cold Water System" are to find out how to reduce the pump's energy usage installed in the building and to increase efficiency in the system, reduce waste energy usage and prolong the tool's lifetime. In our method 1.) design the plumbing system in the building which uses large pump to pump up within a time 2.) design the plumbing system in the building using small pump to pump up within 2 step 3.) simulate the system workflow by using Pumpsim program 4.) compare the computation results in each system from the program. Our result found that there is energy usage from the large pump totals 249.2 kwh, and energy usage from the small pump totals 207.1 kwh. Moreover, we found that there is energy usage for the pump decreased in 42.1 kwh (16.9% decrease from the previous usage), and reduce annual expense in 6,663 Baht, which means that it takes 15 years to pay back.

**Keyword :** Sanitary, Pump, Down feed System

II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการลดการใช้พลังงานของปั๊มในระบบน้ำดี (Reduction of Pump Usage in Cold Water System) เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท ทีเอสเอส ดีเวลอปเม้นท์ จำกัด ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณอาจารย์ ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาในการทำโครงการตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอดจนโครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณพี่เอกวัฒน์ และพี่ๆในบริษัท ทีเอสเอส ดีเวลอปเม้นท์ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คอยแนะนำ สั่งสอน ชีวิตในการทำงานมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ และคอยให้คำแนะนำ ทำให้การทำโครงการครั้งนี้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการนี้เป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษาไม่มากนักน้อย หากผิดพลาดและเกิดข้อบกพร่องใดๆ คณะผู้จัดทำต้องขออภัยเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายณัฐพงศ์ วนากิตติเสถียร

ผู้จัดทำรายงาน

## สารบัญ

บทคัดย่อ .....	I
ABSTRACT .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 .....	1
บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
บทที่ 2 .....	3
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 ความรู้พื้นฐานทางกลศาสตร์ของไหล.....	3
2.2 ระบบจ่ายน้ำประปาภายในอาคาร .....	9
2.3 ระบบท่อประปาภายในอาคาร .....	14
2.4 การเลือกขนาดปั๊มที่เหมาะสม.....	22
บทที่ 3 .....	28
วิธีดำเนินการวิจัย .....	28
3.1 ออกแบบระบบประปาในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดใหญ่สูบขึ้นครั้งเดียว .....	28

## สารบัญ (ต่อ)

3.2 ออกแบบระบบประปาในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วง.....	40
บทที่ 4 .....	53
ผลการวิจัย .....	53
4.1 ผลการทำงานของปั๊มในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดใหญ่สูบน้ำขึ้นครั้งเดียว.....	53
4.2 ผลการทำงานของปั๊มในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วง.....	54
บทที่ 5 .....	57
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	57
สรุปผลการวิจัย .....	57
ข้อเสนอแนะ .....	57
เอกสารอ้างอิง .....	58
ภาคผนวก.....	59
ประวัติผู้เขียน.....	72

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลง velocity profile.....	3
รูปที่ 2.2 ระบบจ่ายน้ำประปาขึ้น .....	11
รูปที่ 2.3 ระบบจ่ายน้ำประปาลง.....	12
รูปที่ 2.4 ระบบจ่ายน้ำประปาสองทาง .....	13
รูปที่ 2.5 Nomograph ท่อเหล็กอาบสังกะสี (Friction loss m. /100 m.).....	21
รูปที่ 2.6 Performance Curve .....	22
รูปที่ 2.7 แสดง Curve ของการต่อปั๊มแบบขนาน.....	23
รูปที่ 2.8 แสดง Curve ของการต่อปั๊มแบบอนุกรม .....	24
รูปที่ 2.9 System Curve .....	26
รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของปั๊ม 2 ตัวที่มีขนาดเท่ากัน .....	26
รูปที่ 2.11 รูปแสดงการทำงานของปั๊ม 2 ตัวที่มีขนาดไม่เท่ากัน.....	27
รูปที่ 3.1 Riser Diagram ของระบบน้ำดี .....	30
รูปที่ 3.2 ความดันลดของท่อ Steel Galvanized.....	33
รูปที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของข้อต่อ,ข้อต่อและวาล์ว .....	35
รูปที่ 3.4 Duty chart ของปั๊มรุ่น Wilo Helix V.....	36
รูปที่ 3.5 System Curve ของสมการ $H = 0.002134Q^2 + 85.85$ .....	36
รูปที่ 3.6 Pump Performance Curve ของ Helix V 3601-3611.....	37
รูปที่ 3.7 กำหนดอัตราการใช้น้ำของอาคาร.....	38
รูปที่ 3.8 กำหนดขนาดของปั๊มและ Pump Performance Curve .....	38
รูปที่ 3.10 ผลการทำงานของปั๊ม .....	39
รูปที่ 3.11 ออกแบบระบบประปาในอาคารแบบสูบน้ำขึ้น 2 ช่วง .....	41
รูปที่ 3.12 Duty chart ของปั๊มรุ่น Wilo Helix V.....	43
รูปที่ 3.13 System Curve คือ $H = 0.001480Q^2 + 53.90$ .....	43

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 3.14 Pump Performance Curve ของ Helix V 3601-3611 .....	44
รูปที่ 3.15 ความดันลดของท่อ Steel Galvanized .....	46
รูปที่ 3.16 Duty chart ของปั๊มรุ่น Wilo Helix V.....	48
รูปที่ 3.17 System Curve ของสมการ $H = 0.005920Q^2 + 23.4$ .....	48
รูปที่ 3.18 Pump Performance Curve ของ Helix V 2201-2216 .....	49
รูปที่ 3.19 กำหนดอัตราการใช้น้ำของแทงค์ชั้น 14 .....	50
รูปที่ 3.20 กำหนดอัตราการใช้น้ำของแทงค์ชั้น 22 .....	50
รูปที่ 3.21 กำหนด Pump Performance Curve ของปั๊มชั้น B1 .....	51
รูปที่ 3.22 กำหนด Pump Performance Curve ของปั๊มชั้น 14 .....	51
รูปที่ 3.23 Run Simulation.....	52
รูปที่ 3.24 ผลการทำงานของปั๊ม .....	52
รูปที่ 4.1 วัฏจักรการทำงานของปั๊มในช่วงเวลา 10 วัน.....	53
รูปที่ 4.2 Dynamic Data ของปั๊ม B1.....	53
รูปที่ 4.3 วัฏจักรการทำงานของปั๊มชั้น B1 ในช่วงเวลา 10 วัน.....	54
รูปที่ 4.4 Dynamic Data ของปั๊มชั้น B1.....	54
รูปที่ 4.5 วัฏจักรการทำงานของปั๊มชั้น 14 ในช่วงเวลา 10 วัน.....	55
รูปที่ 4.6 Dynamic Data ของปั๊มชั้น 14.....	55
รูปที่ ก.1 แบบอาคารโครงการ 28 chidlom.....	60
รูปที่ ก.2 แบบห้องพัก type V1A-1,V1A-1M,V1A-2,V1A-3 .....	61
รูปที่ ก.3 แบบห้องพัก type V1A-2M,V1A-3M,V1B,V1B-M .....	62
รูปที่ ก.4 แบบห้องพัก type V1B-MS,V1C,V1C-M,V1C-MS .....	63
รูปที่ ก.5 แบบห้องพัก type V1D,V1E,V1F.....	64
รูปที่ ก.6 แบบห้องพัก type V2A,V2B,V2C .....	65

## VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ ก.7 แบบห้องพัก type V2D-1,V2D-2.....	66
รูปที่ ก.8 แบบห้องพัก type V2E,V2G-1.....	67
รูปที่ ก.9 แบบห้องพัก type V2F,V2G-1.....	68
รูปที่ ก.10 แบบห้องพัก type V2G-2,V2G-1M.....	69
รูปที่ ก.11 แบบห้องพัก type V2G-1M,V2G-2M.....	70



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ความต้องการน้ำประปาคิดเป็นหน่วยสุขภัณฑ์.....	14
ตารางที่ 2.2 อัตราความต้องการน้ำสูงสุด (Hunter's Curve).....	15
ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่า Water Factors สำหรับอาคารประเภทโรงเรียน อาคารสำนักงานและ อพาร์ทเมนต์.....	17
ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ความหยابสำหรับแต่ละวัสดุ.....	19
ตารางที่ 2.5 การหาจุด Performance Curve ของการต่อปั๊มแบบขนาน .....	23
ตารางที่ 2.6 การหาจุด Performance Curve ของการต่อปั๊มแบบอนุกรม.....	24
ตารางที่ 3.1 ตารางหน่วยสุขภัณฑ์ .....	28
ตารางที่ 3.2 Fixture Unit รวมของห้องแต่ละแบบ.....	29
ตารางที่ 3.3 รวม Fixture Unit ของแต่ละชั้น.....	31
ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงค่า Water Factors สำหรับอาคารประเภทโรงเรียน อาคารสำนักงานและ อพาร์ทเมนต์.....	32
ตารางที่ 3.5 แรงดันสูญเสียรอง(Minor loss).....	35
ตารางที่ 3.6 ตารางรวมการใช้พลังงานของปั๊มทั้ง 2 ตัวในชั้นต่างๆ .....	40
ตารางที่ 3.7 แรงดันสูญเสียรอง(Minor loss).....	42
ตารางที่ 3.8 แรงดันสูญเสียรอง(Minor loss).....	47

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ระบบประปาที่ใช้ในงานวิจัยเป็นระบบถังน้ำสูง (Elevated Tank System) หลักการของระบบถังน้ำสูงคือ น้ำประปาไหลจากท่อประปาประธานเข้าสู่ถังเก็บน้ำใต้ดิน มีเครื่องสูบน้ำทำการสูบน้ำประปาขึ้นไปเก็บไว้ในถังน้ำบนหลังคาของอาคาร น้ำประปาจากถังเก็บน้ำบนหลังคาจะจ่ายลงไปที่อาคาร ระบบนี้เหมาะกับอาคารประมาณ 4 ชั้นขึ้นไป หรือเป็นอาคารที่มีการใช้น้ำเยอะๆ เช่น บ้านพักอาศัยขนาดใหญ่ อาคารพาณิชย์หอพัก โรงแรม คอนโดมีเนียม เมื่อน้ำบนถังด้านบนเต็มก็พักไว้ น้ำใกล้จะหมดเครื่องสูบน้ำก็ทำงานใหม่ ข้อดีของระบบถังน้ำสูงคือเครื่องสูบน้ำจะไม่ต้องทำงานแบบเดินๆหยุดๆ จึงสามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องสูบน้ำได้มากขึ้น ความแรงของน้ำขึ้นกับความสูงของถังบน ยิ่งสูงยิ่งแรงเป็นการจ่ายน้ำแบบอาศัยแรงโน้มถ่วง เรียกว่า gravity flow ด้วยการวางระบบแบบถังน้ำสูงนี้ทำให้ชั้นที่อยู่ส่วนล่างของอาคารที่มีความสูงมาก มีความดันใช้งานและใช้กำลังมากเกินความจำเป็น ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการศึกษาและออกแบบระบบน้ำดีโดยออกแบบให้มีการติดตั้งแท่งค้ำเพิ่มไว้ระหว่างชั้นเพื่อให้สามารถใช้ปั๊มขนาดเล็กลงแต่แบ่งออกเป็น 2 ช่วงโดยจะปั๊มน้ำขึ้นไปไว้แท่งค้ำชั้น 14 แล้วจึงค่อยปั๊มขึ้นไปเก็บไว้ชั้นดาดฟ้าเพื่อแบ่งกันจ่ายน้ำโดยแท่งค้ำชั้น 14 จะจ่ายน้ำให้ตั้งแต่ชั้น B6 – 10 และแท่งค้ำชั้นดาดฟ้าจะจ่ายน้ำให้ชั้น 11 – 22 เพื่อลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นในการสูบน้ำ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบ 2 ช่วง
2. เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดการใช้พลังงานของปั๊มในระบบ
3. ยืดอายุการใช้งานของเครื่องสูบน้ำ

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาและออกแบบระบบน้ำดีเฉพาะในช่วงจ่ายขึ้น (Up Feed)
2. เขียนแบบจำลอง Simulation ในโปรแกรม Pumpsim ช่วงระยะเวลาไม่เกิน 10 วัน
3. กำหนดให้ในอาคารมีผู้เข้าอยู่อาศัยทุกห้องและมีอัตราการใช้น้ำคงที่

### 1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาการออกแบบระบบประปาและการเลือกเครื่องสูบน้ำ
2. หาหน่วยสุขภัณฑ์ (Fixture Unit) เพื่อทราบอัตราการใช้น้ำและขนาดของปั๊ม
3. เขียนแบบจำลอง Simulation ในโปรแกรม Pumpsim เก็บบันทึกผลการการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
4. ออกแบบระบบน้ำดีที่มีการสูบน้ำแบ่งเป็น 2 ช่วง
5. หาอัตราการไหลและความดันที่ต้องการเพื่อหาขนาดเครื่องสูบน้ำแต่ละตัว
6. เขียนแบบจำลอง Simulation ในโปรแกรม Pumpsim เก็บบันทึกผลการการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
7. เปรียบเทียบลักษณะการทำงานและพลังงานที่ใช้ทั้ง 2 วิธีและเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของแต่ละแบบนำมาสรุปผล

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงกระบวนการออกแบบระบบน้ำดีแบบแยกโซนจ่ายน้ำ
2. สามารถลดการใช้พลังงานและยืดอายุการใช้งานของเครื่องสูบน้ำได้
3. ได้แบบจำลองการทำงานของเครื่องสูบน้ำในอาคาร

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิดและทฤษฎี

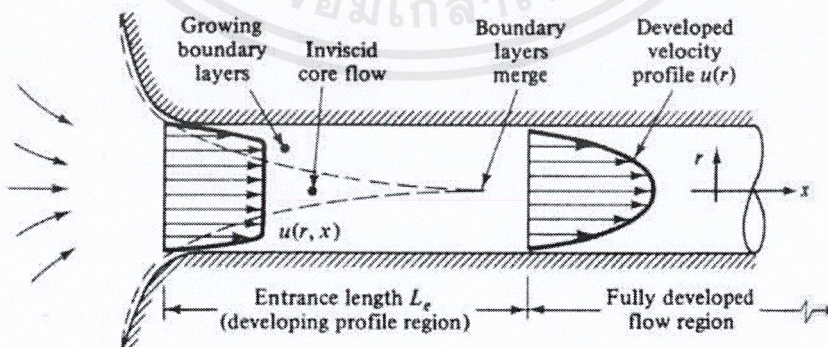
ในบทนี้จะพูดถึงแนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญของความรู้พื้นฐานทางกลศาสตร์ของไหล ซึ่งประกอบด้วย การคำนวณการไหล ความดันลดภายในท่อ และกล่าวถึงระบบการจ่ายประปาภายในอาคาร และการเลือกขนาดปั๊มที่เหมาะสม

#### 2.1 ความรู้พื้นฐานทางกลศาสตร์ของไหล

สมการพื้นฐานทางกลศาสตร์ของไหล ได้แก่ สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) สมการโมเมนตัม (Momentum equation) สมการพลังงาน (Energy equation) สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli equation) โดยสมการทั้งสี่แสดงเฉพาะในกรณีการไหลในท่อปิดเท่านั้นและพิจารณาการไหลในมิติเดียว

##### 2.1.1 การไหลภายในท่อ

จากการทดลองของ Reynold พบว่าการไหลในท่อจะมีลักษณะการไหลขึ้นอยู่กับกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่เรียกว่า Reynold number,  $Re$  โดยที่การไหลที่  $Re$  ต่ำๆ ลักษณะของ Streamline จะเรียกตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งเรียกรวมกันว่า Laminar flow เมื่อ  $Re$  มีค่าสูงมากขึ้น (ในการไหลปกติหนึ่งมีความเรียบน้อยเมื่อ  $Re > 2300$  ลักษณะการไหลจะเปลี่ยน) ลักษณะการไหลจะเปลี่ยนไปกล่าวคือลักษณะของ Stream line มีลักษณะยุ่งเหยิง ซึ่งเรียกรวมกันว่า Turbulent flow การไหลแบบ Laminar ในท่อช่วงต้นของทางเข้าจะมี Velocity Profile ไม่คงที่จนกระทั่งถึงความยาวค่าหนึ่ง Velocity Profile จะมีลักษณะคงที่ตลอดดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลง velocity profile

(ที่มา: ดุลยโชติ ชลศึกษ์, (2560), การออกแบบระบบท่อทางวิศวกรรม)

บริเวณปากทางเข้าความเร็วของของไหลจะมีลักษณะ uniform มีความเร็ว  $u_0$  เนื่องจากของไหลมีความหนืดทำให้เกิดแรงเสียดทานที่ผนังท่อ ดังนั้นของเหลวที่ติดกับผนังท่อจะมีความเร็วเป็นศูนย์และผลของแรงเสียดทานทำให้การกระจายของความเร็วตามแนวหน้าตัดของท่อเปลี่ยนรูปไปจากที่เป็นอยู่ที่ปากทางเข้าแนวเส้นที่แสดงรอยต่อระหว่าง velocity profile ที่เป็นเส้นตรงและเส้นโค้งเรียกว่า boundary layer จากรูปจะเห็นว่าความหนาของ boundary layer จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงระยะหนึ่ง ความหนาของ boundary layer มีค่า  $= \frac{D}{2}$  m จุดนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นการเกิด fully developed velocity profile (การกระจายความเร็ว เกิดการเปลี่ยนแปลงเต็มรูปแบบ) เลยจากจุดนี้ไปแล้ว การกระจายของความเร็ว (velocity profile) จะเหมือนกันตลอดความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัดใดๆ ของท่อ มีค่าคงที่และคำนวณได้จาก

$$\bar{V} = \frac{1}{A} \int u dA = U_0 \quad (2.1)$$

ความยาวของ entrance length ขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลในกรณี Laminar flow ความยาว entrance length หาได้จาก

$$\frac{L}{D} = 0.06 \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad (2.2)$$

ในกรณี Turbulent flow ความยาว entrance length จะอยู่ในช่วงประมาณ 25 – 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

### 2.1.2 สมการความต่อเนื่อง

สมการความต่อเนื่องของของไหลเป็นสมการที่ใช้หลักการอนุรักษ์มวลสาร (Conservation of mass) กล่าวคือ มวลสารไม่มีทางสูญหายหรือเพิ่มขึ้นได้ แต่มวลสารสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ ดังนั้น ปริมาตรควบคุมใดๆที่มีการไหลเข้าและออกปริมาตรควบคุมนั้น อัตราการไหล ของมวลโดยสุทธิข้ามผิวควบคุมสำหรับการไหลแบบคงตัว steady state สามารถเขียนได้เป็น

$$\sum \rho_o v_o A_o = \sum \rho_i v_i A_i \quad (2.3)$$

$$\sum Q_o = \sum Q_i = \sum v_i A_i = \sum v_o A_o \quad (2.4)$$

เมื่อ	$\rho$	คือ	ความหนาแน่นของของไหล ( $\text{kg/m}^3$ )
	$V$	คือ	ความเร็วของของไหล ( $\text{m/s}$ )
	$A$	คือ	พื้นที่หน้าตัดของการไหล ( $\text{m}^2$ )
	$Q$	คือ	อัตราการไหลของของไหล ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

ส่วนตัวห้อย ๐ และ l คือ การไหลออกและเข้าปริมาตรควบคุมตามลำดับ

### 2.1.3 สมการโมเมนตัม

สมการโมเมนตัมที่คิดผลของโมเมนตัมที่เกิดจากมวลของไหลที่เคลื่อนที่เข้ากระทบโดย ตรงต่อสิ่งที่กีดขวางการไหล เช่น ข้อต่อ หรือ ข้องอ ของท่อ เป็นต้น การวิเคราะห์หาค่าศักย์กฎการ เคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน และสมการความต่อเนื่องดังนี้

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\sum F = \frac{d(mv)}{dt} \quad (2.5)$$

### 2.1.4 สมการพลังงาน

สมการพลังงานหรือกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ กรณีการไหลแบบคงตัวในหนึ่งมิติ ภายในท่อ สมการพลังงานสามารถเขียนในรูปสัญลักษณ์นี้ได้

$$\frac{P_1}{\gamma_1} - \frac{P_2}{\gamma_2} + M + q = Z_2 - Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} + U_2 - U_1 \quad (2.6)$$

เมื่อ	$M$	คือ	งานที่กระทำโดยระบบ (kJ)
	$p$	คือ	ความดันของของไหลในระบบ (kPa)
	$q$	คือ	ความร้อนที่ให้กับระบบ (kJ)
	$U$	คือ	พลังงานภายใน (kJ)
	$\gamma$	คือ	น้ำหนักจำเพาะของของไหล ( $\text{N/m}^3$ )
	$Z$	คือ	ความสูงของอนุภาคของของไหลที่วัดจากระนาบที่กำหนดให้ (m)
	$V$	คือ	ความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ยในท่อ (m/s)

ส่วนตัวห้อย 1 และ 2 จะระบุตำแหน่งของจุดที่พิจารณาตามลำดับ

สมการพลังงานและสมการการไหลต่อเนื่อง (continuity equation) เป็นสมการสำคัญที่ใช้ แก้ ปัญหาต่างๆในกลศาสตร์ของไหล แต่ถ้าหากเป็นของไหลที่อัดตัวได้ก็จะต้องมีสมการที่สามมา ช่วย สมการนี้คือ สมการสถานะของแก๊ส (equation of state) ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง ความดัน อุณหภูมิ และปริมาตรจำเพาะ (หรือน้ำหนักจำเพาะ หรือ ความหนาแน่น)ของ ของ ไหล

### 2.1.5 สมการเบอร์นูลลี

สมการเบอร์นูลลีนี้เป็นผลจากสมการพลังงาน 2.4 เมื่อไม่มีงานกระทำให้ระบบ และตัดทิ้ง การ เปลี่ยนแปลงเนื่องจากพลังงานภายใน ซึ่งมีผลกระทบต่อการไหลน้อยมาก สมการเบอร์นูลลี สามารถ เขียนในรูปสัญลักษณ์นี้ได้

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + h_p = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_L + h_m \quad (2.7)$$

สำหรับสมการเบอร์นูลลีนี้ ไม่ได้คิดผลกระทบเนื่องจากแรงเสียดทาน ถ้าพิจารณาเทอมต่างๆ ใน สมการ 2.7 แล้วจะเห็นได้ว่าเทอมแต่ละเทอมนั้นมีหน่วยเป็นหน่วยของความยาวทั้งสิ้น

$\frac{P}{\gamma}$  คือ เฮดความดัน (pressure head) ซึ่งเป็นความสูงของของเหลวที่เทียบเท่า ความดัน  $p$  ของของไหลที่มีน้ำหนักจำเพาะเป็น (m)

$\frac{v^2}{2g}$  คือ เฮดความเร็ว (velocity head) (m)

$Z$  คือ เฮดของระดับความสูง (elevation head) (m)

$h_p$  คือ เฮดของพลังงานที่เครื่องสูบน้ำให้แก่ของไหล (m)

$h_L$  คือ เฮดการสูญเสียความดันจากความเสียดทาน (Major loss) (m)

$h_m$  คือ เฮดการสูญเสียความดันจากข้อต่อ (Minor loss) (m)

### 2.1.5 การสูญเสียความดันในระบบท่อของเหลว

จากสมการ 2.8 พลังงานที่สูญเสียไปกับความเสียดทานในท่อกลมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (2.8)$$

$f$  คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ moody =  $f(N_R, \frac{\epsilon}{D})$

$L$  คือ ความยาวของท่อ (m)

$D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

$$N_R = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$N_R$  คือ เลขเรย์โนลด์ (Reynold number)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล ( $N/m^3$ )

$\mu$  คือ ความหนืดของของไหลในท่อ ( $N \cdot s/m$ )

$\epsilon$  คือ ขนาดความขรุขระของผิวในท่อ (m)

$\frac{\epsilon}{D}$  คือ ความขรุขระสัมพัทธ์

เราเรียกสมการ 2.9 นี้ว่า สมการสำหรับหาความเสียดทานของท่อ (pipe friction equation) หรือ เรียกอีกชื่อว่า Darcy-Weisbach Equation

จากการทดลองที่ผ่านมาในอดีตการไหลผ่านท่อแบบราบเรียบ (Laminar) เกิดขึ้นที่ค่าเลขเรย์โนลด์ ไม่เกิน 2100 และการไหลผ่านท่อแบบปั่นป่วน (Turbulent) เกิดขึ้นที่ค่าเลขเรย์โนลด์โดยเฉลี่ยมากกว่า 4000

$$h_L = 32 \frac{\mu L}{\gamma D^2} v \quad (2.9)$$

เราเรียกสมการ 2.9 นี้ว่า Hagen-Poiseuille Law ที่สำคัญใช้กับการไหลในท่อที่มีการไหลแบบราบเรียบ จะเห็นได้ว่าพลังงานที่สูญเสียไปกับความเสียดทาน นี้สามารถหาได้โดยวิธี การวิเคราะห์

ทางมิติตามสมการ 2.8 อีกด้วย ดังนั้นเมื่อนำเอา จากสมการ 2.8 และสมการ 2.9 มาเท่ากันแล้ว ค่า friction factor , f ก็จะมีค่าเป็น :

$$f = \frac{64}{N_R}$$

ดังนั้น ในการหา f จึงสัมพันธ์กับเลขเรย์โนลด์พบว่า

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ

$$f = \frac{64}{N_R}$$

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

Colebrook 
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln \left[ \left( \frac{\epsilon}{3.7D} \right) + \frac{2.51}{N_R \sqrt{f}} \right] \quad (2.11)$$

Blasius 
$$f = \frac{0.046}{(N_R)^{0.2}} \quad (2.12)$$

Blasius พบว่า friction factor ,f ของท่อที่มีผิวเรียบมาก และมีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 3,000 ถึง 100,000

2. Minor Losses เกิดจากการที่ของไหลไหลผ่านสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น Gate Valve, Elbow ท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่และทางแยกต่าง ๆ Minor Losses คำนวณได้จากสมการ

$$h_m = \frac{\sum k v^2}{2g} = f \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad (2.13)$$

โดยที่  $k$  คือ loss coefficient

$L_e$  คือ ความยาวเทียบเท่าของท่อที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดันเท่าสิ่งกีดขวางนั้น (m)

## 2.2 ระบบจ่ายน้ำประปาภายในอาคาร

ระบบจ่ายน้ำประปาภายในอาคารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

### 2.2.1 ระบบจ่ายน้ำประปาขึ้น (Up feed Distribution System)

ระบบจ่ายน้ำประปาขึ้น หมายถึง ระบบการจ่ายน้ำภายในอาคารซึ่งทำการจ่ายน้ำ ให้แก่เครื่องสุขภัณฑ์และอุปกรณ์ต่างๆ ในขณะที่ท่อจ่ายน้ำ เดินจากชั้นล่างขึ้นไปตามความสูงของอาคารในกรณีของบ้านพักอาศัยทั่วไป ซึ่งมีความสูงเพียง 2 ชั้น ความดันจากท่อเมนของการประปาแต่เพียงอย่างเดียวควรจะเพียงพอแล้ว เพราะตามมาตรฐานของการประปาแล้วความดันในเส้นท่อ ณ ตำแหน่งใดๆ จะต้องไม่น้อยกว่า 2 บาร์ซึ่งก็เพียงพอสำหรับการจ่ายน้ำให้กับอาคารได้สูงถึง 3 ชั้น ในกรณีที่ความดันในบางพื้นที่ต่ำกว่ามาตรฐานผู้อยู่อาศัยก็จำเป็นต้องใช้ชุดเครื่องสูบน้ำ (Booster Pumping Set) ช่วยเสริมความดันในเส้นท่อสำหรับอาคารที่มีหลายชั้น ระบบจ่ายขึ้นอาจจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.2 ระบบดังกล่าวประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำ ซึ่งดูดน้ำจากถังเก็บน้ำแล้วอัดเข้าไปภายในถังความดัน (Pneumatic or Pressure Tank) จนกระทั่งระดับน้ำภายในถังความดันสูงถึงระดับที่ต้องการ ส่วนเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ซึ่งมีได้แสดงอยู่ในรูปจะอัดอากาศเข้าไปในถังความดันจนกระทั่งมีความดันตามต้องการและเพียงพอแก่การจ่ายน้ำขึ้นไปยังชั้นต่างๆของอาคาร ในรูปแสดงถึงอาคารที่มี 8 ชั้นและระบบท่อประกอบด้วยท่อตั้ง (riser) เพียง 5 ท่อ ระบบที่ใช้กับถังอัดความดันในการเพิ่มแรงดันให้เส้นท่อนี้เหมาะสำหรับอาคารขนาดปานกลาง ซึ่งมีความสูงไม่เกิน 10 ชั้นและพื้นที่ใช้งานไม่มากกว่า 10,000 ตารางเมตรเท่านั้น สำหรับอาคารที่มีความสูงมากกว่านี้ควรจะใช้ระบบถังเก็บน้ำสูง เพราะจะช่วยประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ได้มากกว่า อีกประการหนึ่งสำหรับอาคารขนาดใหญ่ที่มีความต้องการน้ำมากระบบถังความดันจะมีถังความดันที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าความเหมาะสมทางด้านปฏิบัติ

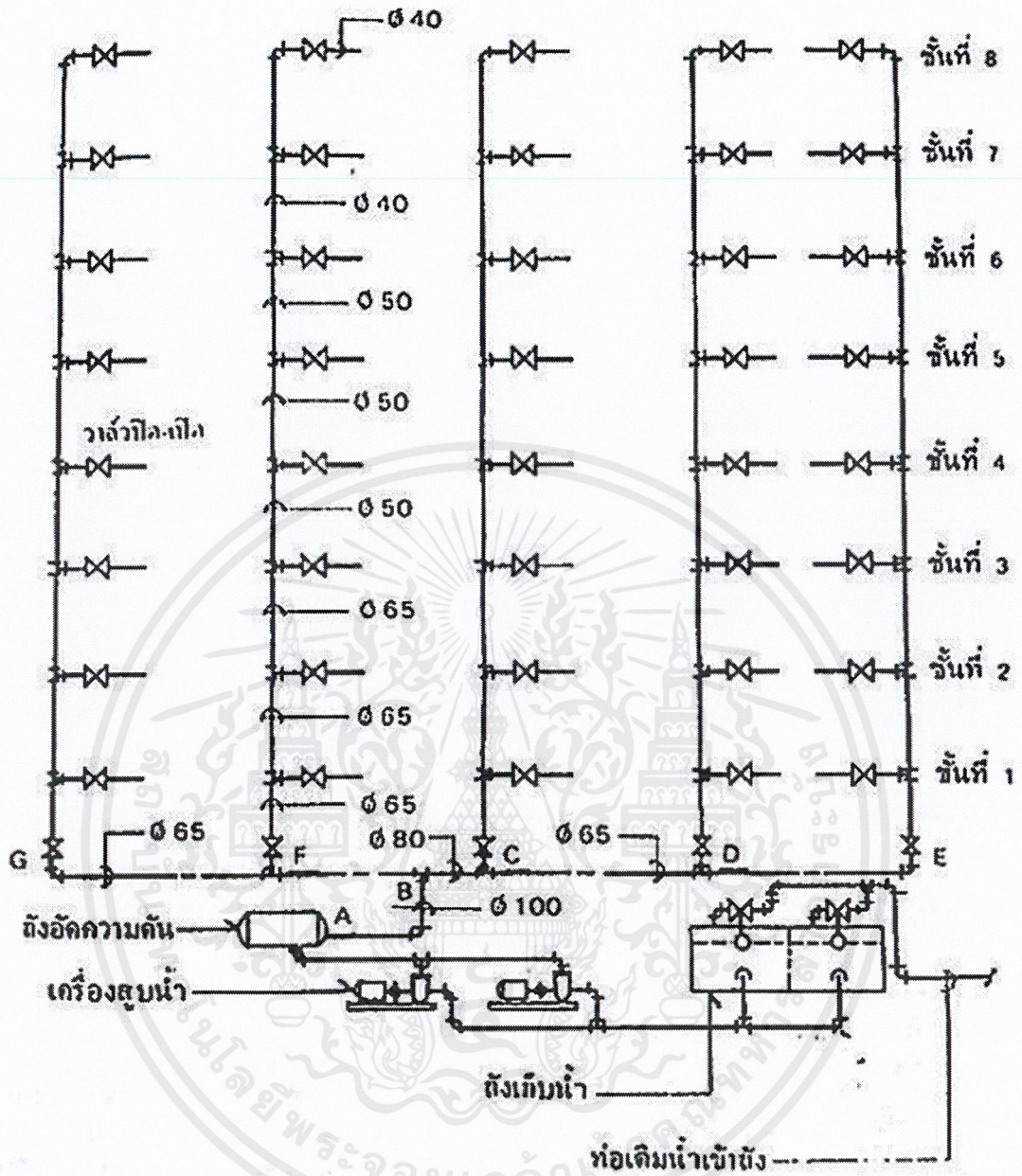
### 2.2.2 ระบบจ่ายน้ำประปาลง (Down feed Distribution System)

ระบบจ่ายน้ำลงหมายถึง ระบบการจ่ายน้ำภายในอาคารซึ่งทำการจ่ายน้ำ ให้แก่เครื่องสุขภัณฑ์และอุปกรณ์ต่างๆโดยเริ่มจากชั้นบนสุด ลงมาจนถึงชั้นล่างระบบดังกล่าวนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.3 ประกอบด้วยถังเก็บน้ำตั้งอยู่บนชั้นหลังคา (Roof Tank) ถังเก็บน้ำสูงนี้อาจจะสร้างด้วยคอนกรีต เหล็ก หรือไฟเบอร์กลาส ระบบนี้เหมาะสำหรับอาคารขนาดตั้งแต่ขนาดย่อมไปจนถึงขนาดใหญ่ๆ ซึ่งมีความสูงตั้งแต่ 4 ชั้นขึ้นไปในรูปแสดงถึงระบบการจ่ายน้ำสำหรับอาคาร 30 ชั้น 3 เครื่องสูบน้ำที่ระดับพื้นจะสูบน้ำขึ้นไปเก็บไว้บนถังสูง พร้อมทั้งจะจ่ายให้กับเครื่องสุขภัณฑ์ได้ทันทีโดยปรกติถังเก็บน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อที่จะสามารถทำความสะอาดได้ที่ละส่วนโดยที่ อาคารยังคงมีน้ำใช้อยู่เสมอ

เครื่องสูบน้ำจะทำงานโดยการควบคุมของสวิทช์ลูกลอย (Float switch) หรือสวิทช์อื่นๆเมื่อระดับน้ำภายในถังลดลงถึงระดับน้ำที่ตั้งไว้สวิทช์จะควบคุมให้เครื่องสูบน้ำทำงานจนกระทั่งระดับน้ำภายในถังสูงถึงระดับที่ต้องการจึงจะหยุด โดยปกติระบบการจ่ายน้ำจะใช้เครื่องสูบน้ำสองเครื่องโดยมีเครื่องสูบน้ำเป็นเครื่องสำรองอยู่หนึ่งเครื่อง และจะให้เครื่องสูบน้ำทั้งสองทำงานสลับกันเพื่อให้มีอายุการใช้งานนาน ส่วนถังเก็บน้ำสูง จะมีส่วนหนึ่งเก็บน้ำสำรองเอาไว้เพื่อการดับเพลิง ซึ่งควรจะมีปริมาณไม่น้อยกว่า 15 ลูกบาศก์เมตรขนาดของถังเก็บน้ำทั้งบนชั้นหลังคาและใต้ดินรวมกันแล้วควรมีปริมาณน้ำเพียงพอแก่การใช้สอยอย่างน้อย 6 ชั่วโมง อาคารที่มีความสูงมากแรงดันน้ำในเส้นท่อที่ชั้นล่างๆจะสูงเกินไป ซึ่งจะทำให้วาล์วสึกหรอเร็ว เครื่องสุขภัณฑ์เสียหายได้ง่ายและต้องใช้วาล์วที่ทนความดันสูง ดังนั้นจึงต้องติดตั้งวาล์วลดความดัน (Pressure Reducing Valve) ที่ท่อแยกตามชั้นต่างๆ โดยปกติไม่ควรที่จะให้ความดันในเส้นท่อที่ จ่ายให้เครื่องสุขภัณฑ์สูงเกิน 4 บาร์หรืออาจจะใช้วาล์วลดความดันประมาณทุกๆ 10 ชั้น ก็ได้

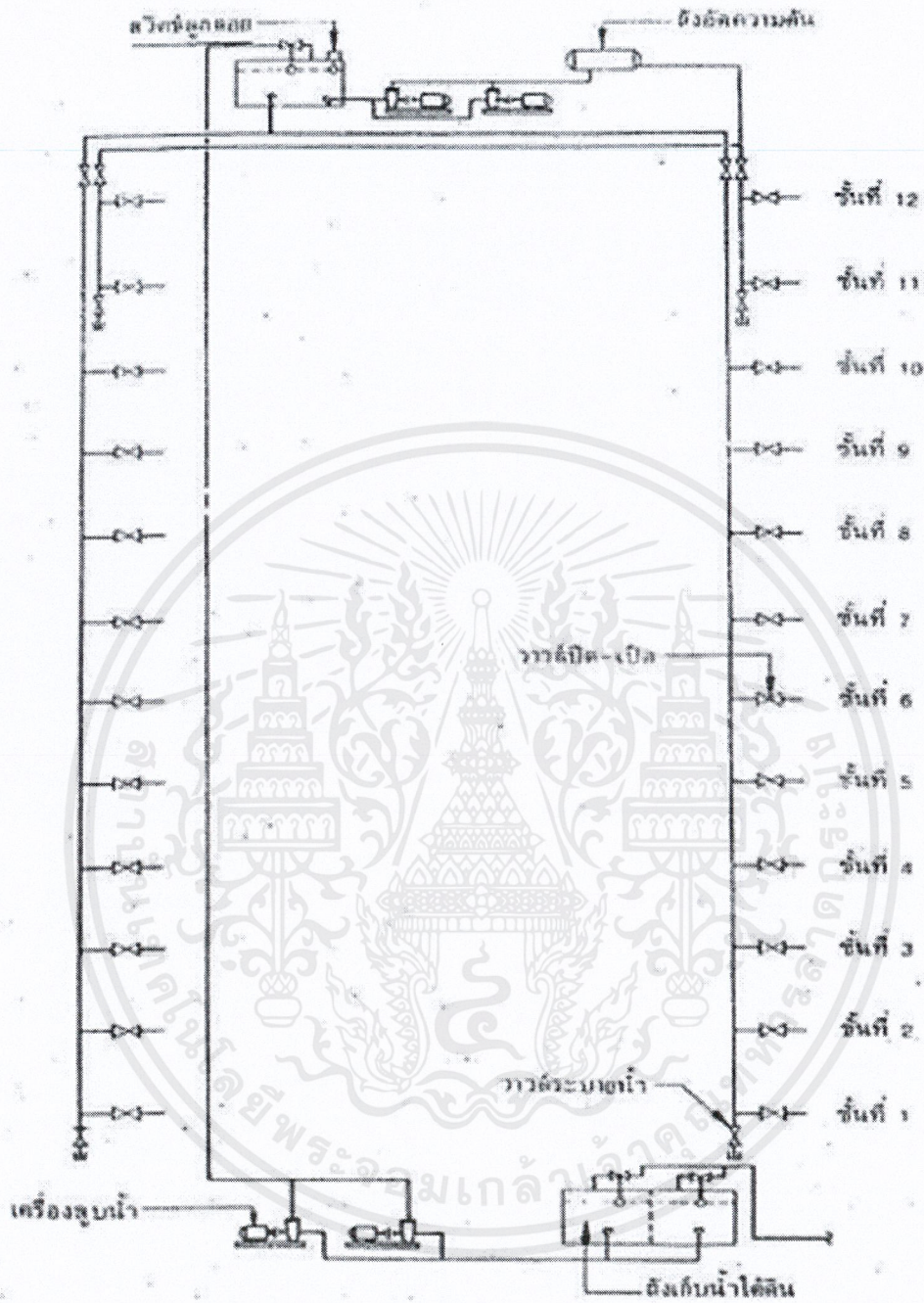
### 2.2.3 ระบบจ่ายน้ำประปาสองทาง (Dual Distribution System)

ระบบจ่ายน้ำประปาสองทาง หมายถึง ระบบจ่ายน้ำประปาที่มีทั้งแบบจ่ายขึ้นและแบบจ่ายลงแสดงดังรูปที่ 2.4 โดยสามารถทำหน้าที่จ่ายน้ำประปาแบบใดแบบหนึ่งได้ขึ้นอยู่กับผู้อาศัยจะเลือกใช้ ข้อดีของระบบนี้ คือ สามารถรับน้ำที่จ่ายจากท่อน้ำประปาประธานหรือระบบสูบน้ำโดยตรงจากชั้นล่างได้หรือสามารถรับน้ำประปาที่จ่ายจากถังเก็บน้ำบนหลังคาได้ เช่น บางเวลาน้ำประปาจากท่อประปาประธานเกิดหยุดไหลผู้อยู่อาศัยเพียงแต่เปิดวาล์วให้น้ำจากถังเก็บน้ำบนชั้นหลังคาจ่ายลงไปทั่วอาคารได้ทันที โดยปราศจากการขาดแคลนน้ำใช้ในอาคาร สำหรับข้อเสียของระบบคือจำเป็นต้องมีการติดตั้งท่อประปายาวขึ้นกว่าปกติซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของอาคารด้วย



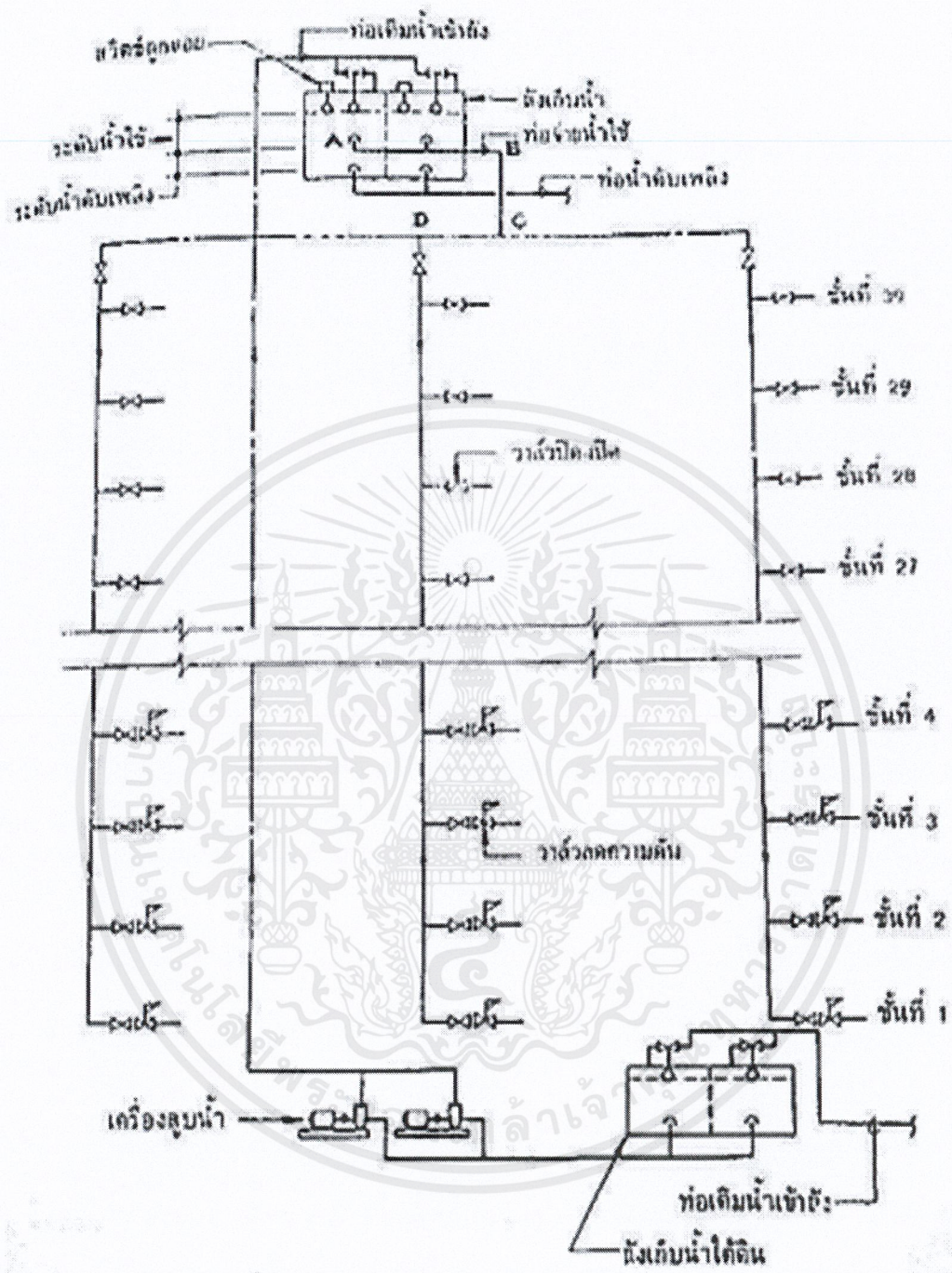
รูปที่ 2.2 ระบบจ่ายน้ำประปาขึ้น

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



รูปที่ 2.3 ระบบจ่ายน้ำประปาสูง

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



รูปที่ 2.4 ระบบจ่ายน้ำประปาสองทาง  
 (ที่มา:ดร.วริทธิ์ อิงภากรณ์, (2558), การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร)

## 2.3 ระบบท่อประปาภายในอาคาร

ระบบท่อประปาภายในอาคารจำเป็นต้องออกแบบโดยวิศวกรที่มีความชำนาญเกี่ยวกับระบบท่อเพื่อสามารถช่วยประหยัดท่อคือพยายามเดินท่อโดยใช้ความยาวท่อที่สั้นที่สุด มีการเลี้ยว คดไปมาน้อยที่สุด ตำแหน่งของท่อประปาควรอยู่บริเวณที่สามารถเข้าไปบำรุงรักษาและซ่อมแซม ได้ง่าย ในการเดินท่อโดยสถาปนิกต้องการให้ท่อที่เดินภายในอาคาร ซ่อนอยู่ภายในกำแพงและอยู่เหนือเพดาน เพื่อความสวยงาม แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ต้องไม่ไปกระทบโครงสร้างของอาคารด้วยเช่น เดินท่อนขนาดใหญ่ผ่านทะลุคานของบริเวณที่รับน้ำหนักมาก ๆ

### 2.3.1 ค่าหน่วยสุขภัณฑ์ (Fixture Units)

สำหรับท่อประปาวิธีนี้สร้างโดย Roy B.Hunter ซึ่งพิจารณาถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ระยะเวลาของการใช้เครื่องสุขภัณฑ์แต่ละชุด เช่น ใช้เวลาที่วินาทีต่อการเปิดก๊อกน้ำซักผ้า
2. จำนวนครั้งในการใช้เครื่องสุขภัณฑ์เช่น พิจารณาใช้อ่างล้างมือกี่ครั้งในแต่ละวัน
3. อัตราการไหลของน้ำประปาจากเครื่องสุขภัณฑ์แต่ละชุด เช่น มีปริมาณน้ำประปาไหลออกจากก๊อกรดน้ำ สนามหญ้ากี่ลิตรต่อวินาที
4. ปริมาณน้ำทั้งหมดต่อการใช้เครื่องสุขภัณฑ์แต่ละชุดใน 1 ครั้ง เช่น มีปริมาณน้ำประปาที่ถูกใช้ไปสำหรับการล้างมือแต่ละครั้งกี่ลิตร

ตารางที่ 2.1 ความต้องการน้ำประปาคิดเป็นหน่วยสุขภัณฑ์

Fixture	Occupancy	Type of Supply Control	Load Values In Water (Supply Fixture Units)		
			Cold	Hot	Total
Water Closet	Public	Flush Valve	10	--	10
Water Closet	Public	Flush Tank	5	--	5
Urinal	Public	1" Flush Valve	10	--	10
Urinal	Public	3/4" Flush Valve	5	--	5
Urinal	Public	Flush Tank	3	--	3
Lavatory	Public	Faucet	1.5	1.5	2
Bathtub	Public	Faucet	3	3	4
Shower Head	Public	Mixing Valve	3	3	4
Service Sink	Offices, etc.	Faucet	2.25	2.25	3
Kitchen Sink	Hotel/Restaur.	Faucet	3	3	4
Drinking Fountain	Office, etc.	3/8" Valve	0.25	--	0.25
Water Closet	Private	Flush Valve	6	--	6
Water Closet	Private	Flush Tank	3	--	3
Lavatory	Private	Faucet	0.75	0.75	1
Bathtub	Private	Faucet	1.5	1.5	2
Shower Stall	Private	Mixing Valve	1.5	1.5	2
Kitchen Sink	Private	Faucet	1.5	1.5	2
Laundry Trays (1 to 3)	Private	Faucet	2.25	2.25	3
Combination Fixture	Private	Faucet	2.25	2.25	3
Dishwashing Machine	Private	Automatic	--	1	1
Laundry Machine (8 Ib)	Private	Automatic	1.5	1.5	2
Laundry Machine (8 Ib)	Public/General	Automatic	2.25	2.25	3
Laundry Machine (16 Ib)	Public/General	Automatic	3	3	4

ตารางที่ 2.2 อัตราความต้องการน้ำสูงสุด (Hunter's Curve)

ปริมาณการใช้สำหรับอ้งน้ำล่าง		ปริมาณการใช้สำหรับประตูน้ำล่าง	
จำนวน (หน่วยสุขภัณฑ์)	ความต้องการน้ำ (แกลลอนต่อนาที)	จำนวน (หน่วยสุขภัณฑ์)	ความต้องการน้ำ (แกลลอนต่อนาที)
1	3.0	-	-
2	5.0	-	-
3	6.5	-	-
4	8.0	-	-
5	9.4	5	15.0
6	10.7	6	17.4
7	11.8	7	19.8
8	12.8	8	22.2
9	13.7	9	24.6
10	14.6	10	27.0
11	15.4	11	27.8
12	16.0	12	28.6
13	16.5	13	29.4
14	17.0	14	30.2
15	17.5	15	31.0
16	18.0	16	31.8
17	18.4	17	32.6
18	18.8	18	33.4
19	19.2	19	34.2
20	19.6	20	35.0
25	21.5	25	38.0
30	23.3	30	42.0
35	24.9	35	44.0
40	26.3	40	46.0
45	27.7	45	48.0
50	29.1	50	50.0
60	32.0	60	54.0
70	35.0	70	58.0
80	38.0	80	61.2

ตารางที่ 2.2 อัตราความต้องการน้ำสูงสุด (Hunter's Curve)(ต่อ)

ปริมาณการใช้สำหรับถังน้ำล้าง		ปริมาณการใช้สำหรับประตูน้ำล้าง	
จำนวน (หน่วยสุขภัณฑ์)	ความต้องการน้ำ (แกลลอนต่อนาที)	จำนวน (หน่วยสุขภัณฑ์)	ความต้องการน้ำ (แกลลอนต่อนาที)
90	41.0	90	64.3
100	43.5	100	67.5
120	48.0	120	73.0
140	52.5	140	77.0
160	57.0	160	81.0
180	61.0	180	85.5
200	65.0	200	90.0
225	70.0	225	95.5
250	75.0	250	101.0
275	80.0	275	104.5
300	85.0	300	108.5
400	105.0	400	127.0
500	124.0	500	143.0
750	170.0	750	177.0
1000	208.0	1000	208.0
1250	239.0	1250	239.0
1500	269.0	1500	269.0
1750	297.0	1750	297.0
2000	325.0	2000	325.0
2500	380.0	2500	380.0
3000	433.0	3000	433.0
4000	525.0	4000	525.0
5000	593.0	5000	593.0

ค่าที่ออกแบบในทางปฏิบัติควรอยู่ระหว่าง 1.2 – 2.4 เมตรต่อวินาทีตารางที่ 2.3 แสดงตัวประกอบน้ำคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งแนะนำให้นำไปคูณอัตราค่าความต้องการน้ำสูงสุดที่ได้จากHunter's curve เพื่อปรับค่าให้ใกล้เคียงความเป็นจริงยิ่งขึ้น ตัวประกอบเหล่านี้เรียกว่า Water Factors

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่า Water Factors สำหรับอาคารประเภทโรงเรียน อาคารสำนักงานและอพาร์ทเมนต์

FU	Hunter, gpm	Percent	Adjusted, gpm	Minimum, gpm
Up to 400	125	100	125	
401-600	155	87	135	130
601-900	195	75	145	140
901-1200	235	64	150	150
1201-1500	270	63	170	155
1501-2000	330	61	200	175
2001-2500	385	60	230	205
2501-3000	435	59	255	235
3001-4000	550	58	320	260
4001-5000	675	56	380	325
5001-6000	775	56	435	385
6001-7000	875	56	490	440
7001-8000	975	55	540	495

### 2.3.2 การคำนวณหาขนาดท่อน้ำ

ขณะที่น้ำไหลจะเกิดความเสียดทานขึ้นอันเนื่องมาจากความหนืดของน้ำถ้าผนังของท่อหยาบก็จะเพิ่มความเสียดทานขึ้นอีก เนื่องจากความหยาบของผนังท่อทำให้เพิ่ม Turbulent Flow ภายในท่อ พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทานนี้จะแสดงออกมาในรูปของ ความดันลด (Pressure loss) ความดันลดนี้แปรตามความยาวท่อ ความเร็วของน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อและความหยาบของผนังท่อถ้าถือเอาผิวภายในเป็นหลักก็อาจจะแบ่งท่อได้เป็น 3 ประเภทคือ 1) ท่อผิวเรียบ หมายถึง ท่อที่มีผนังเรียบมากและหลังจากได้ใช้งานไปนานแล้วความหยาบของผนังจะไม่เพิ่มขึ้นมากนัก ท่อประเภทนี้ได้แก่ ท่อทองแดง ท่อเหล็กเหลือง PVC เป็นต้น

2) ท่อผิวยาบปานกลาง หมายถึงท่อใหม่ที่มีผนังเรียบดีแต่หลังจากใช้งานไปสัก 3 ถึง 4 ปี แล้วผนังจะมีความหยาบปานกลาง ท่อประเภทนี้ได้แก่ ท่อเหล็กดำ ท่อเหล็กอาบสังกะสี ท่อเหล็กหล่อ เป็นต้น

3) ท่อผิวยาบมาก หมายถึง ท่อซึ่งทำด้วยวัสดุที่มีผนังท่อหยาบมากหลังจากที่ใช้งานไปแล้วเป็นระยะเวลาหนึ่ง หรือท่อเก่าที่นำมาใช้ใหม่สำหรับระยะเวลาที่ใช้งานจนผนังท่อหยาบนั้น ยังไม่มีการวางหลักเกณฑ์ ลงไปจึงต้องเป็นหน้าที่ของวิศวกรระบบท่อที่จะต้องพิจารณา

ขนาดของท่อจะหาได้จากสมการเบื้องต้นทางกลศาสตร์ของไหล

$$Q=AV$$

โดยที่

$Q$  = อัตราการไหลของน้ำ ( $m^3/s$ )

$A$  = พื้นที่หน้าตัด ( $m^2$ )

$V$  = ความเร็วของน้ำภายในท่อ ( $m/s$ )

หรือสามารถหาได้จากสูตร Hazen – Williams คือ

$$hl = \frac{4.727}{D^{4.87}} L \left( \frac{Q}{C} \right)^{1.85} \quad (2.14)$$

$hl$  = ความดันลดของน้ำ (m)

$L$  = ความยาวท่อ (m)

$D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

$C$  = สัมประสิทธิ์ความหยาบ

$Q$  = อัตราการไหลของน้ำ ( $m^3/s$ )

ค่า C นี้ขึ้นอยู่กับขนาดของผนังท่อซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุท่อและอายุที่ได้ใช้งานมาแล้วท่อผนังเรียบ ท่อผนังเรียบจะมีค่า C สูงกว่าท่อผนังหยาบ สำหรับค่า C ที่ใช้ในการออกแบบระบบท่อนี้ สามารถหาได้จากตารางที่ 2.4 ค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับความหยาบของผนัง อย่างไรก็ตามการที่จะใช้ สมการ (1) และ (2) ในการคำนวณย่อมไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ สมการเหล่านี้สามารถแปลงมาอยู่ในรูปของกราฟได้ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6 ดังนั้นผู้ออกแบบจึงสามารถอ่านขนาดท่อ ความเร็วน้ำ อัตราการไหลและความดันลดได้จากกราฟโดยตรง ความเร็วของน้ำภายในท่อไม่ควรเกิน 3 เมตรต่อวินาทีเพื่อป้องกันมิให้มีเสียงดังของน้ำ และลดอัตราการสึกหรอ ของบ่่าวาล์วและท่อตลอดจนจำกัดความดันลดไม่ให้สูงมากจนทำให้ต้องใช้แรงดันน้ำสูงเกินไป

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบสำหรับแต่ละวัสดุ

Type of pipe	C
Asbestos Cement	140
brass	130-140
Brick Sewer	100
Cast Iron	
New Unlined	130
Old Unlined	120
Cement Lined	130-150
Bituminastic Enamel Lined	140-150
Tar - Coated	115-135
Concrete or Concrete Lined	
Steel forms	140
Wooden form	120
Centrifugally Spun	135
Copper	130-140
Fire Hose (Rubber Lined)	135
Galvanize Iron	120
Glass	140
Lead	130-140
Masonry Conduit	120-140
Plastic	140-150
Steel	
Coal - Tar Enamel Lined	145-150
New Unlined	140-150
Riveted	110
Tin	130
Wood Stave	120

ขั้นตอนการคำนวณขนาดท่อประปา การหาปริมาณการไหลของน้ำสูงสุด คำนวณได้จากการเปลี่ยนจำนวนหน่วยสุขภัณฑ์ทั้งหมดมาเป็นอัตราการไหลของน้ำสูงสุด โดยใช้Hunter's curve ยกเว้นจุดซึ่งมีการใช้น้ำสม่ำเสมอ เช่น น้ำหล่อเย็นเครื่องล้างจาน เครื่องซักผ้าสาธารณะ และน้ำรดสนามหญ้า จะต้องคิดตามอัตราการใช้น้ำจริง

1) เลือกเส้นทางเดินท่อโดยมีข้อแนะนำ ดังนี้

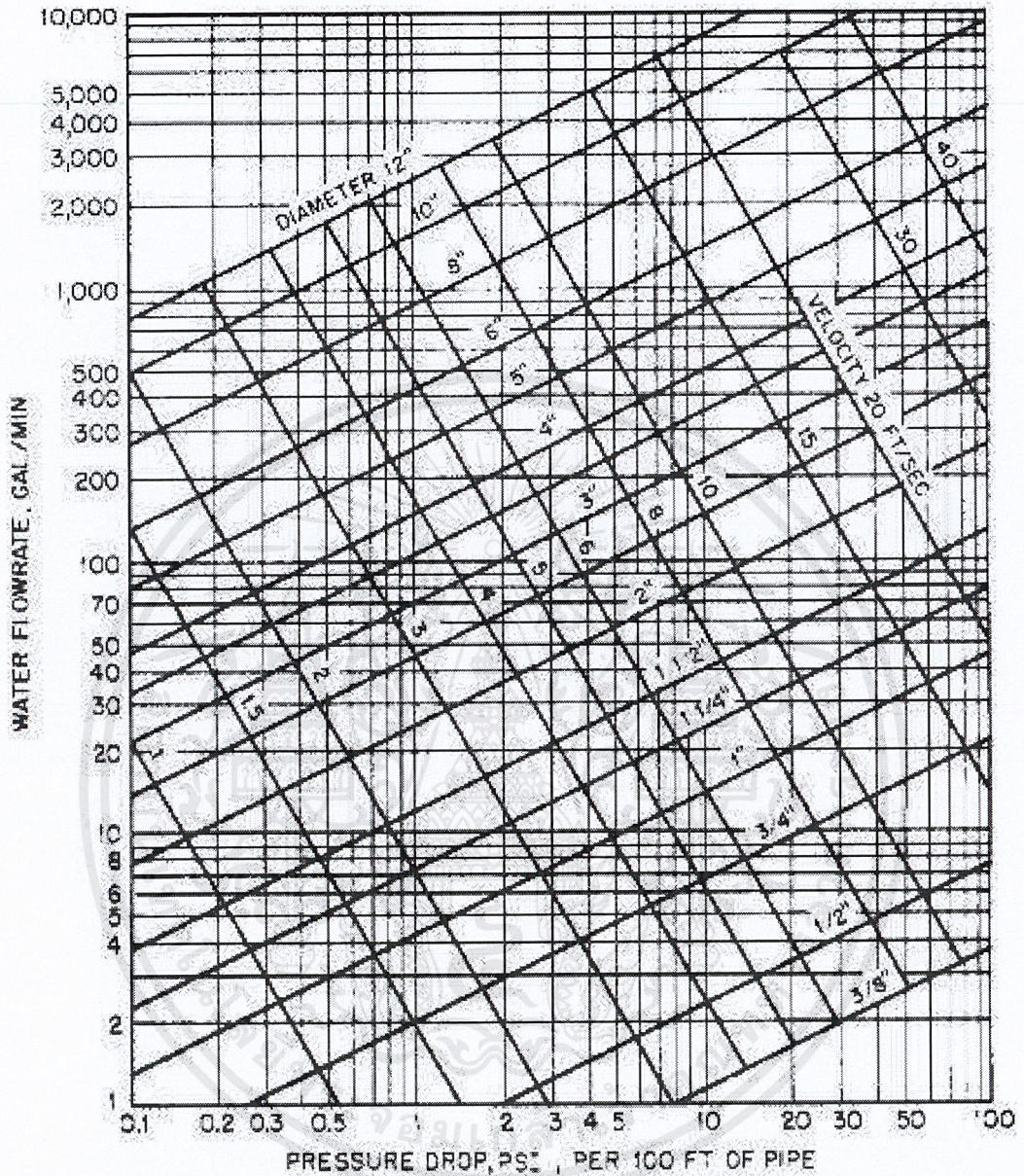
- เลือกเส้นทางที่ใช้ความยาวท่อสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้
- อยู่ในช่องทางที่สถาปนิกกำหนด(สำหรับท่อดิ่ง)
- เลือกเส้นทางที่เป็นเส้นตรงมากที่สุด

2) นับจำนวนสุขภัณฑ์ที่มีอยู่ในเส้นทางเดินท่อที่พิจารณา

3) คำนวณหาจำนวนสุขภัณฑ์รวมจากตารางที่2.1

4) นำจำนวนสุขภัณฑ์รวมที่ได้มาหาค่า Demand (Q) จากตารางที่2.2

5) นำค่า Q ที่ได้จากข้อ 4 มาหาขนาดท่อจากรูป 2.5 หรือหาจากสมการ(2) กรณีที่จำนวนสุขภัณฑ์รวมมากกว่า 400 FU จะต้องหา Water Factors จากตารางที่ 3 เพื่อปรับแก้ไขค่า Demand (Q) จากข้อ4

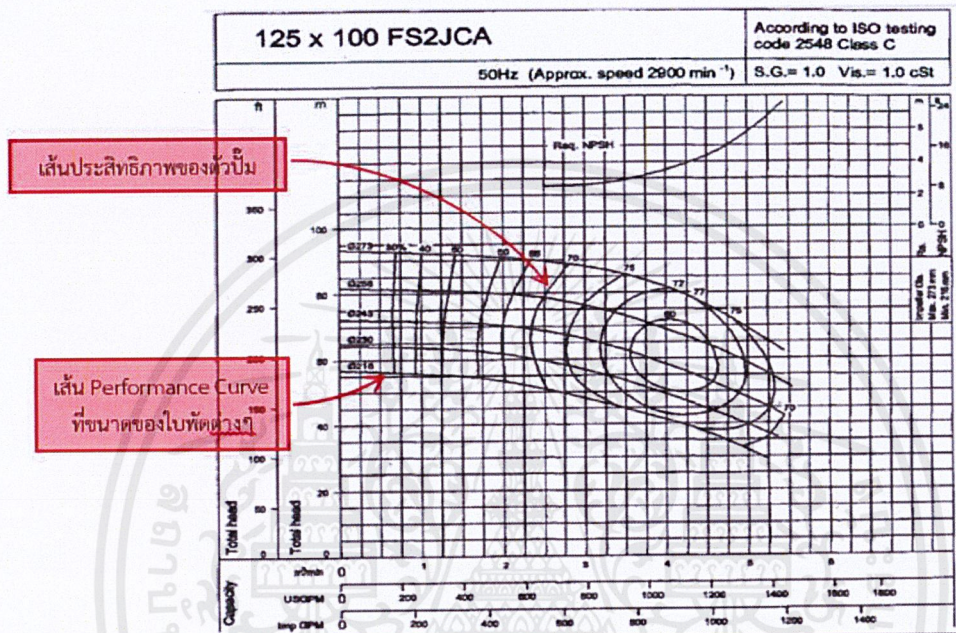


รูปที่ 2.5 Nomograph ท่อเหล็กอบสังกะสี (Friction loss m. /100 m.)

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

## 2.4 การเลือกขนาดปั๊มที่เหมาะสม

ปั๊มแต่ละตัวจะมีพฤติกรรมการทำงานไม่เหมือนกัน เส้นพฤติกรรมนี้เรียกว่า Pump performance curve หรือ H-Q curve ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 2.6 ถ้าเราเอาปั๊มมาต่อกันทั้งแบบขนานและแบบอนุกรมเราจะต้องเขียน Pump performance curve ของชุดปั๊มที่ต่อกัน เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของปั๊ม



รูปที่ 2.6 Performance Curve

หลักการต่อปั๊มถ้าเรานำ Pump curve ของปั๊มที่จะต่อกันมาวาดลงบนกราฟ H-Q curve แล้วพบว่า เส้น Pump curve มันเหลื่อมกัน ก็มีโอกาสปั๊มทั้งสองตัวจะต่อกันได้ ไม่ว่าจะต่อแบบขนานหรืออนุกรม แต่จะทำงานได้หรือไม่ขึ้นกับ System curve อีกที โดยปั๊มที่ต่อกันแบบขนานนั้น เมื่อปั๊มทั้งหมดทำงาน ปั๊มแต่ละตัวจะมี Head เท่ากัน ส่วนอัตราการไหลจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ โดยอัตราการไหลรวมจะเท่ากับอัตราการไหลของปั๊มแต่ละตัวรวมกัน ส่วนการต่อแบบอนุกรมนั้น เมื่อปั๊มทั้งหมดทำงาน ปั๊มแต่ละตัวจะมีอัตราการไหลเท่ากัน โดย Head รวมของระบบจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ Head ของปั๊มแต่ละตัวรวมกัน รูปที่ 2.6 เป็นตัวอย่างของปั๊มรุ่น 125x100 FS2JCA โดยแกนนอนเป็นอัตราการไหลของปั๊ม ส่วนแกนตั้งเป็นความดันที่ปั๊มสร้างได้ (Total Head) โดยในกราฟจะมีเส้น Performance curve ของใบพัดแต่ละใบ ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าใบพัด 4 ขนาดด้วยกัน นอกจากนี้ในกราฟยังแสดงค่าประสิทธิภาพของปั๊มมาให้ด้วย

หลักการวาด Performance Curve ของชุดปั๊มที่นำมาต่อกัน

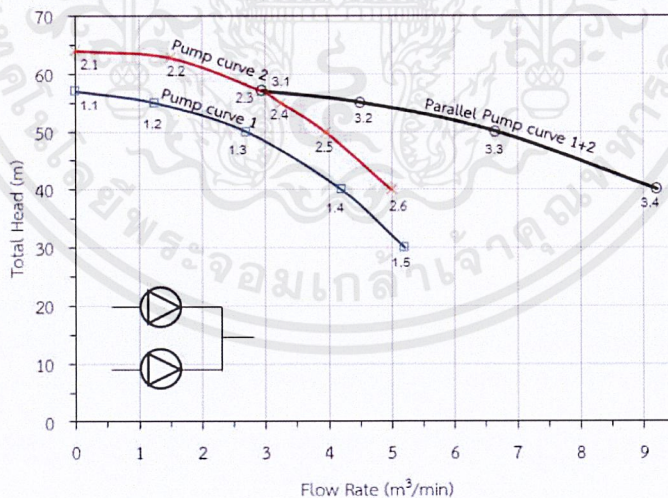
1) การต่อแบบขนาน

การต่อแบบขนานจะต้องนำค่าอัตราการไหลที่ Head เท่ากันมาบวกกัน ตัวอย่างนี้เป็นการต่อกันของปั๊ม 2 ตัวที่มีขนาดใบพัดไม่เท่ากัน (เลือกขนาดใบพัด Dia.230 และ Dia.216 จากรูปที่ 2.6) เริ่มต้นเราจะต้องอ่านค่าอัตราการไหลของปั๊มทั้ง 2 ตัวที่ Head เท่ากันแล้วจึงนำมาบวกกันดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การหาจุด Performance Curve ของการต่อปั๊มแบบขนาน

Head (m)	จุดบนกราฟ					
	Pump 1		pump 2		Pump 1 + pump 2	
	จุด	Flow (m <sup>3</sup> /min)	จุด	Flow (m <sup>3</sup> /min)	จุด	Flow (m <sup>3</sup> /min)
64	-	-	2.1	0	-	-
62.8	-	-	2.2	1.5	-	-
57	1.1	0	2.3	2.95	3.1	2.95
55	1.2	1.25	2.4	3.25	3.2	4.5
50	1.3	2.7	2.5	3.95	3.3	6.65
40	1.4	4.2	2.6	5	3.4	9.2
30	1.5	5.2	-	-	-	-

เมื่อเราได้ค่าอัตราการไหลรวมของปั๊มทั้ง 2 ตัวแล้วจึงนำมาเขียนเป็นเส้น curve ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดง Curve ของการต่อปั๊มแบบขนาน

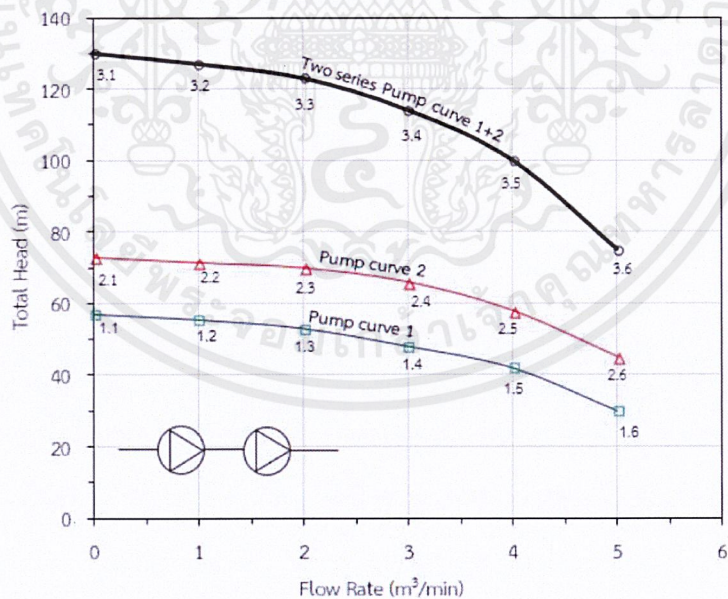
## 2) การต่อปั๊มแบบอนุกรม

โดยตัวอย่างนี้เป็นการต่อกันของปั๊ม 2 ตัวที่มีขนาดใบพัดไม่เท่ากัน (เลือกขนาดใบพัด Dia.243 และ Dia.216 จากรูปที่ 2.6) เริ่มต้นเราจะต้องอ่านค่า Head ของปั๊มทั้ง 2 ตัวที่อัตราการไหลเท่ากันแล้วจึงนำมาบวกกันดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การหาจุด Performance Curve ของการต่อปั๊มแบบอนุกรม

Flow (m <sup>3</sup> /min)	จุดบนกราฟ					
	Pump 1		pump 2		Pump 1+ pump 2	
	จุด	Head (m)	จุด	Head (m)	จุด	Head (m)
0	1.1	57	2.1	73	3.1	130
1	1.2	55.5	2.2	71.5	3.2	127
2	1.3	53	2.3	70	3.3	123
3	1.4	48	2.4	66	3.4	114
4	1.5	42	2.5	58	3.5	100
5	1.6	30	2.6	45	3.6	75

เมื่อเราได้ค่า Head รวมแล้ว จึงนำมาเขียนเป็นเส้น Curve ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดง Curve ของการต่อปั๊มแบบอนุกรม

## การเขียน System curve

เส้นพฤติกรรมการไหลของน้ำในระบบท่อ เราเรียกว่า H – Q curve หรือ System curve ซึ่งเป็นเส้นที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและแรงดันสูญเสียของน้ำ เส้น System curve นี้มีประโยชน์มากในการนำไปเลือก Pump และใช้ในการทำนายการไหลของน้ำในระบบท่อที่ต่อกับ Pump ได้

### ความรู้เบื้องต้น

การที่น้ำไหลจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง น้ำย่อมเกิดการสูญเสียแรงดันในท่อขึ้น ซึ่งเราสามารถเขียนสมการการสูญเสียที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลได้ดังนี้

$$H = H_{\text{major}} + H_{\text{minor}} + H_{\text{ST}} \quad (2.15)$$

โดย H คือ ค่า Total Head หรือการสูญเสียความดันรวมเนื่องจากการไหล (m)

$H_{\text{major}}$  คือ แรงดันสูญเสียหลักที่เกิดขึ้นในท่อตรงเนื่องจากแรงเสียดทาน (m)

$H_{\text{minor}}$  คือ แรงดันสูญเสียรองที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ข้อต่อ, ข้องอ, วาล์ว และอุปกรณ์อื่นๆ (m)

$H_{\text{ST}}$  คือ แรงดันสถิตย์ (Static head) (m)

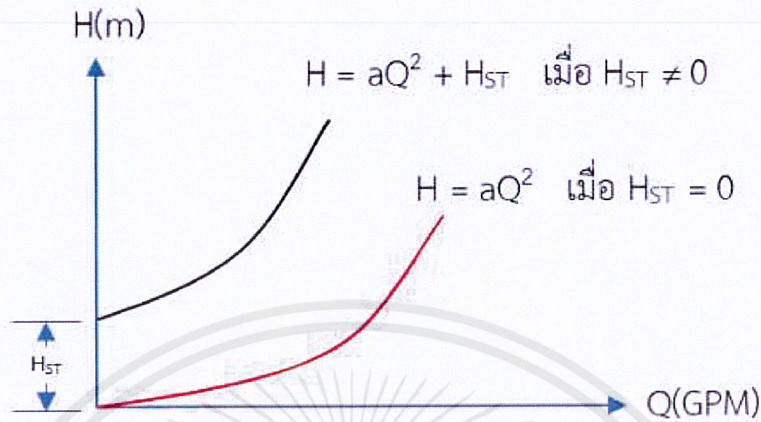
โดยที่ ค่าแรงดันสูญเสียหลัก ( $H_{\text{major}}$ ) และแรงดันสูญเสียรอง ( $H_{\text{minor}}$ ) จะแปรผันกับอัตราการไหลยกกำลังสอง ดังนั้นเราจึงสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของ Total Head จากสมการที่ 2.15 ใหม่ได้ดังนี้

$$H = aQ^2 + H_{\text{ST}} \quad (2.16)$$

โดย a คือ ค่าคงที่ใดๆ

Q คือ อัตราการไหล ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

เมื่อนำสมการ Total Head มาเขียนเป็นกราฟก็จะได้กราฟความสัมพันธ์ของ Total Head กับ การไหลได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งกราฟนี้มีชื่อเรียกว่า System curve หรือ H-Q curve

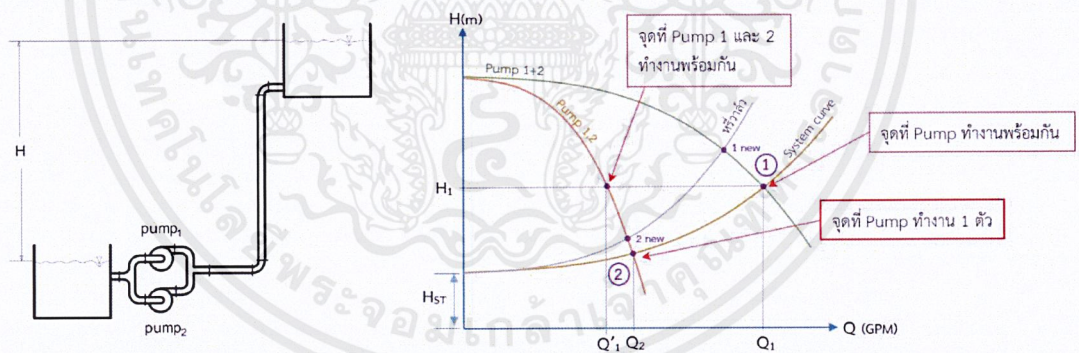


รูปที่ 2.9 System Curve

### การรวม Pump curve และ System curve

การรวม Pump curve และ System curve ของระบบท่อที่มีการต่อปั๊มแบบขนาน

ตัวอย่างที่ 1 เป็นการต่อปั๊มที่มีขนาดเท่ากัน 2 ตัว แบบขนาน ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของปั๊ม 2 ตัวที่มีขนาดเท่ากัน

เมื่อเขียน System curve รวมกับ Pump curve เพื่อหาจุดทำงานของปั๊ม ก็จะได้จุดทำงานของปั๊ม ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และจากรูปจะอธิบายจุดการทำงานของปั๊มที่จุดต่าง ๆ ได้ดังนี้

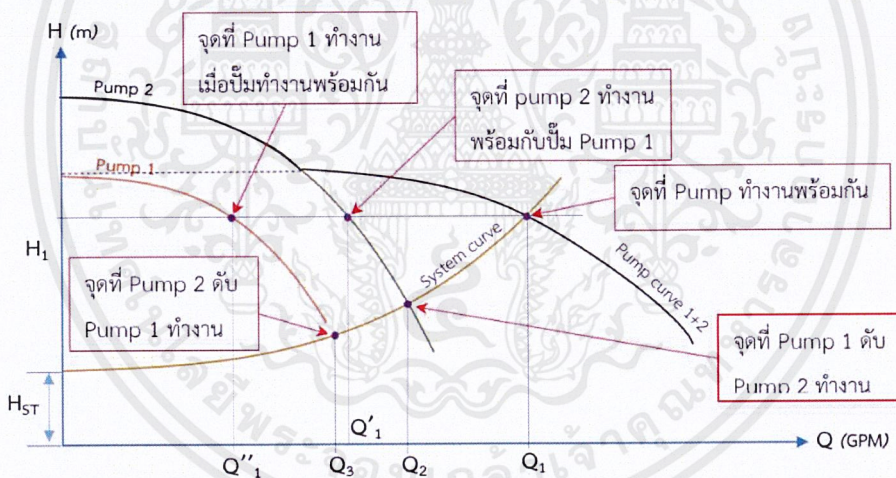
1. เมื่อปั๊มทำงานพร้อมกัน: จะได้อัตราการไหลเท่ากับ  $Q_1$  และมี Head เท่ากับ  $H_1$  ซึ่งเมื่อลากเส้น มาทางซ้ายตัดกับ Pump curve ของปั๊มแต่ละตัว ก็จะทำให้เราทราบอัตราการไหลของปั๊มแต่ละตัว โดยมีค่าเท่ากับ  $Q'_1$  และเนื่องจากปั๊มมีขนาดเท่ากัน ดังนั้น  $Q_1$  จะเท่ากับ 2 เท่าของ  $Q'_1$
2. เมื่อปั๊มทำงานเพียง 1 ตัว: เมื่อเราหยุดการทำงานของปั๊ม 1 ตัว จุดทำงานของปั๊มจะต้อง

เป็นจุดที่ตัดกับเส้น System curve เดิม (เพราะระบบท่อยังคงเหมือนเดิมไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงอะไรในเส้นท่อและอุปกรณ์) ซึ่งก็คือจุดที่ 2 ดังแสดงในรูป และจากรูปจะสังเกตเห็นว่าอัตราการไหลของน้ำจะลดลงจาก  $Q_1$  มาเป็น  $Q_2$  ซึ่งอัตราการไหลไม่ได้ลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับเมื่อปั๊มทำงาน 2 ตัวแต่อย่างใด

**ตัวอย่างที่ 2** เป็นการต่อปั๊ม 2 ตัว ที่มีขนาดไม่เท่ากัน (หรือปั๊มมีขนาดเท่ากัน แต่ตัวที่ 1 ถูกครอบด้วย inverter) ซึ่งเมื่อเรารวม Pump curve กับ System curve เข้าด้วยกันแล้วก็จะได้จุดทำงานของปั๊มดังแสดงในรูปที่ 5 และจากรูปจะอธิบายจุดทำงานของปั๊มที่จุดต่างๆ ได้ดังนี้

เมื่อปั๊มทำงานพร้อมกัน: จะได้อัตราการไหลเท่ากับ  $Q_1$  และได้ Total Head เท่ากับ  $H_1$  เมื่อลากเส้นมาทางด้านซ้ายตัดกับ Pump curve 1 และ 2 เราก็จะได้จุดทำงานของปั๊มแต่ละตัว คือปั๊ม 1 มีอัตราการไหลเท่ากับ  $Q'_1$  และปั๊ม 2 มีอัตราการไหลเท่ากับ  $Q'_2$  ดังแสดงในรูปที่ 2.11

เมื่อปั๊มทำงานเพียงตัว 1 ตัว ถ้าเราหยุดการทำงานของปั๊ม 1 จะทำให้ปั๊ม 2 มีอัตราการไหลเท่ากับ  $Q_2$  แต่ถ้าเราหยุดการทำงานของปั๊ม 2 จะทำให้ปั๊ม 1 มีอัตราการไหลเท่ากับ  $Q_3$  ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 รูปแสดงการทำงานของปั๊ม 2 ตัวที่มีขนาดไม่เท่ากัน

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ออกแบบระบบประปาในอาคารแบบใช้ปั๊มน้ำขนาดใหญ่สูบขึ้นครั้งเดียว

##### 3.1.1 การหาอัตราความต้องการน้ำสูงสุด

ในการประมาณอัตราความต้องการน้ำสูงสุดในระบบท่อมักจะเทียบอัตราความต้องการน้ำของเครื่องสุขภัณฑ์เป็นหน่วยเปรียบเทียบ เรียกว่า หน่วยสุขภัณฑ์ (Fixture Unit) ในตารางที่ 3.1 โดยคำนึงถึงอัตราการไหลและความถี่ในการใช้งานของแต่ละเครื่องสุขภัณฑ์ประกอบกัน โดยเริ่มคำนวณอัตราความต้องการน้ำของห้องแต่ละ Type ก่อนแล้วจึงหาอัตราความต้องการน้ำของทั้งอาคาร ในตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ตารางหน่วยสุขภัณฑ์

Fixture	Occupancy	Type of Supply Control	Load Values In Water (Supply Fixture Units)		
			Cold	Hot	Total
Water Closet	Public	Flush Valve	10	--	10
Water Closet	Public	Flush Tank	5	--	5
Urinal	Public	1" Flush Valve	10	--	10
Urinal	Public	3/4" Flush Valve	5	--	5
Urinal	Public	Flush Tank	3	--	3
Lavatory	Public	Faucet	1.5	1.5	2
Bathtub	Public	Faucet	3	3	4
Shower Head	Public	Mixing Valve	3	3	4
Service Sink	Offices, etc.	Faucet	2.25	2.25	3
Kitchen Sink	Hotel/Restaur.	Faucet	3	3	4
Drinking Fountain	Office, etc.	3/8" Valve	0.25	--	0.25
Water Closet	Private	Flush Valve	6	--	6
Water Closet	Private	Flush Tank	3	--	3
Lavatory	Private	Faucet	0.75	0.75	1
Bathtub	Private	Faucet	1.5	1.5	2
Shower Stall	Private	Mixing Valve	1.5	1.5	2
Kitchen Sink	Private	Faucet	1.5	1.5	2
Laundry Trays (1 to 3)	Private	Faucet	2.25	2.25	3
Combination Fixture	Private	Faucet	2.25	2.25	3
Dishwashing Machine	Private	Automatic	--	1	1
Laundry Machine (8 Ib)	Private	Automatic	1.5	1.5	2
Laundry Machine (8 Ib)	Public/General	Automatic	2.25	2.25	3
Laundry Machine (16 Ib)	Public/General	Automatic	3	3	4

ตารางที่ 3.2 Fixture Unit รวมของห้องแต่ละแบบ

Private	ROOM/No.Fixture	Water Closet (Flush Tank)	Bathup	Lavatory	Shower	Kitchen Sink	Laundry Machine	Faucet	Fixture Unit	
	V1B	1	0	1	1	1	1	1	10.5	
	V1A	1	0	1	1	1	1	1	10.5	
	V1B-M	1	0	1	1	1	1	1	10.5	
	V1B-MS	1	0	1	1	1	1	1	10.5	
	V1C	1	0	1	1	1	1	1	10.5	
	V1C-M	1	0	1	1	1	1	1	10.5	
	V1C-MS	1	0	1	1	1	1	1	10.5	
	V1D	1	0	1	1	1	1	1	10.5	
	V1E	1	0	1	1	1	1	1	10.5	
	V1F	1	0	1	1	1	1	1	10.5	
	V2A	2	0	2	2	1	1	1	16.5	
	V2B	2	0	2	2	1	1	1	16.5	
	V2C	2	0	2	2	1	1	1	16.5	
	V2D-1	2	0	2	2	1	1	1	16.5	
	V2D-2	2	0	2	2	1	1	1	16.5	
	V3A	3	1	3	3	1	1	2	25	
	V3B	3	1	3	3	1	1	2	25	
	V3C	3	1	3	3	1	1	2	25	
	V2G-2	2	1	2	2	2	1	2	21	
	V2G-1M	2	1	2	2	2	1	2	21	
	V2G-2M	2	1	2	2	2	1	2	21	
Public	ROOM/No.Fixture	Water Closet (Flush Tank)	Bathup	Lavatory	Shower	Kitchen Sink	Laundry Machine	Urinal	Faucet	Fixture Unit
	T-01	1	0	3	1	0	0	2	0	35
	T-02	2	0	3	2	0	0	0	0	24
	B1 Toilet Man	1	0	1	0	0	0	1	1	21
	B1 Toilet Woman	2	0	1	0	0	0	0	2	20
	G Toilet Man	1	0	1	0	0	0	1	0	17
	G Toilet Woman	1	0	1	0	0	0	0	0	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 3.3 รวม Fixture Unit ของแต่ละชั้น

FLOOR/No.Fixture	V1B	V1A	V1B-M	V1B-NG	V1C	V1C-M	V1C-MS	V1D	V1E	V1F	V2A	V2B	V2C	V2D-1	V2D-2	V3A	V3B	V3C	V2G-2	V2G-IM	V2G-5M	F001-T-02	Hose-BHbb	B1 Toilet	G Toilet	Retrace Unit
B6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	2
B5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	2
B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	2
B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	2
B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	2
B1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	63
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	1	34
2	1	2	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	117.5
3	1	2	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	117.5
4	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
5	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
6	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
7	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
8	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
9	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
10	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
11	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
12	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
13	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
14	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
15	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
16	1	3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	128
17	1	3	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	107
18	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	31.5
19	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	63
20	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	73.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงค่า Water Factors สำหรับอาคารประเภทโรงเรียน อาคารสำนักงานและ  
อพาร์ทเมนต์

FU	Hunter, gpm	Percent	Adjusted, gpm	Minimum, gpm
Up to 400	125	100	125	
401-600	155	87	135	130
601-900	195	75	145	140
901-1200	235	64	150	150
1201-1500	270	63	170	155
1501-2000	330	61	200	175
2001-2500	385	60	230	205
2501-3000	435	59	255	235
3001-4000	550	58	320	260
4001-5000	675	56	380	325
5001-6000	775	56	435	385
6001-7000	875	56	490	440
7001-8000	975	55	540	495

ทำการรวม FU ของสุขภัณฑ์ทั้งหมดจากตารางที่ 3.3

Total Fixture Unit = 2261

ให้อ่านค่าอัตราการความต้องการน้ำสูงสุดจากHunter's Curve ตารางที่ 2.2 จะได้ว่า 2261 FU มี  
ค่าประมาณ 349.2 GPM

จากตารางที่ 3.4 water factor เท่ากับ 0.6

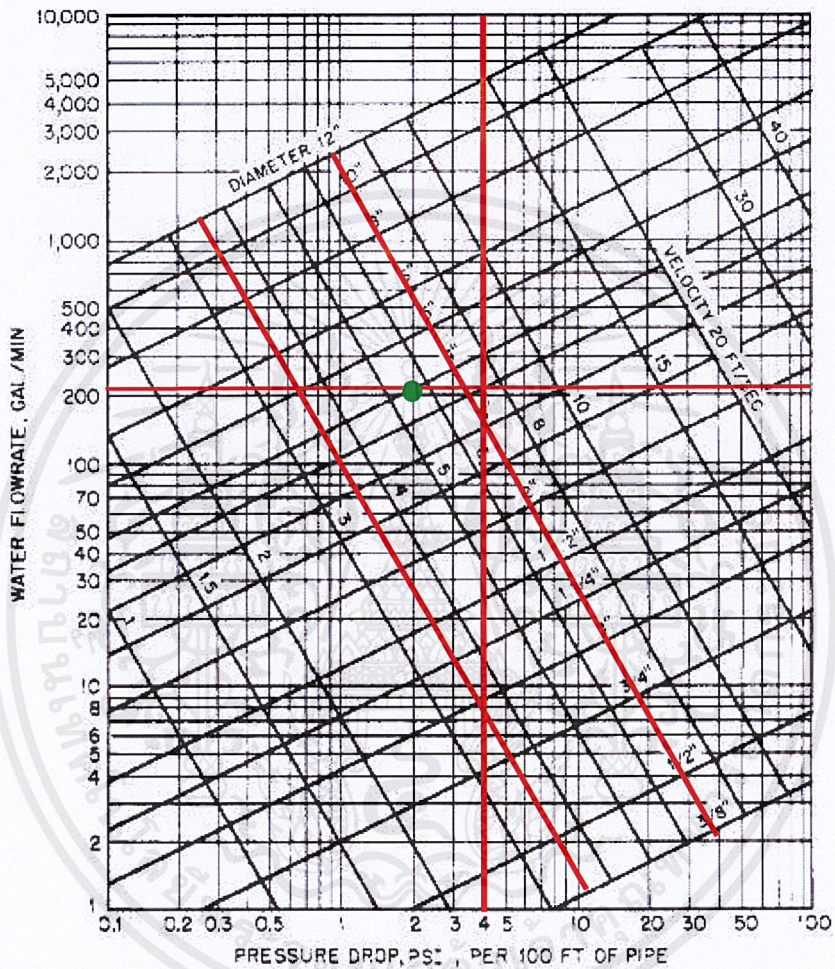
ปรับค่าอัตราการความต้องการน้ำสูงสุดนี้โดยใช้ water factor

ดังนั้นจะมีอัตราการความต้องการน้ำเท่ากับ  $349.2 \times 0.6 = 209.5$  GPM

หรือ =  $47.58 \text{ m}^3/\text{h}$

### 3.1.2 หาขนาดท่อประปา

ขั้นตอนการหาขนาดท่อประปาซึ่งท่อที่ใช้เป็นท่อ Steel Galvanized หลังจากรวมจำนวนหน่วยสุขภัณฑ์และหาอัตราความต้องการน้ำสูงสุดแล้ว หาขนาดของท่อได้จากรูปที่ 3.2 โดยให้ความเร็วของน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 3.6 – 7.2 ft/sec และความดันตกไม่ควรเกิน 4 psi ต่อ 100 ft



รูปที่ 3.2 ความดันตกของท่อ Steel Galvanized

ดังนั้นขนาดท่อที่เหมาะสมคือท่อขนาด 4 นิ้วโดยมีความเร็วของน้ำในท่อประมาณ 5.5 ft/sec และมีความดันตกของท่อ 2 psi ต่อ 100 ft

### 3.1.3 การเลือกขนาดปั๊มที่เหมาะสม

ขนาดของเครื่องสูบน้ำบอกได้ด้วยอัตราการไหลและแรงดันสุทธิ(Total Dynamic Head) เพื่อนำมาเขียน System Curve และนำมารวมกับ Pump performance curve เพื่อเลือกปั๊มที่มีจุดทำงานที่มี BEP(Best efficiency point) สูงที่สุด

หาแรงดันสุทธิ(Total Dynamic Head) ได้จากสมการ

$$TDH= H_{major}+H_{minor}+H_{ST}$$

$H_{ST}$  คือ ความสูงเป็นเมตรซึ่งวัดระหว่างผิวของแหล่งน้ำไปจนถึงระดับที่ปล่อยน้ำออก

$H_{major}$  คือ แรงดันสูญเสียหลักที่เกิดขึ้นในท่อตรงเนื่องจากแรงเสียดทาน

$H_{minor}$  คือ แรงดันสูญเสียรองที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ข้อต่อ, ข้องอ, วาล์วและอุปกรณ์อื่นๆ

$$H_{ST} = 85.85 \text{ m จากรูปที่ 3.1}$$

หา  $H_{major}$  แรงดันสูญเสียหลักที่เกิดขึ้นในท่อตรงเนื่องจากแรงเสียดทาน

$$H_{major} = \frac{1.1342 \times 10^9 \times L \times Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.8655}} \quad (\text{metric})$$

$L$  = ความยาวท่อเป็นเมตร (m)

$D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (mm)

$C$  = สัมประสิทธิ์ความหยาบ

$Q$  = อัตราการไหล ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$$H_{major} = \frac{1.1342 \times 10^9 \times 130 \times 47.58^{1.85}}{120^{1.85} 100^{4.8655}}$$

$$H_{major} = 4.818 \text{ m}$$

หา  $H_{\text{minor}}$  แรงดันสูญเสียรองที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ข้อต่อ, ข้องอ, วาล์วและอุปกรณ์อื่นๆ

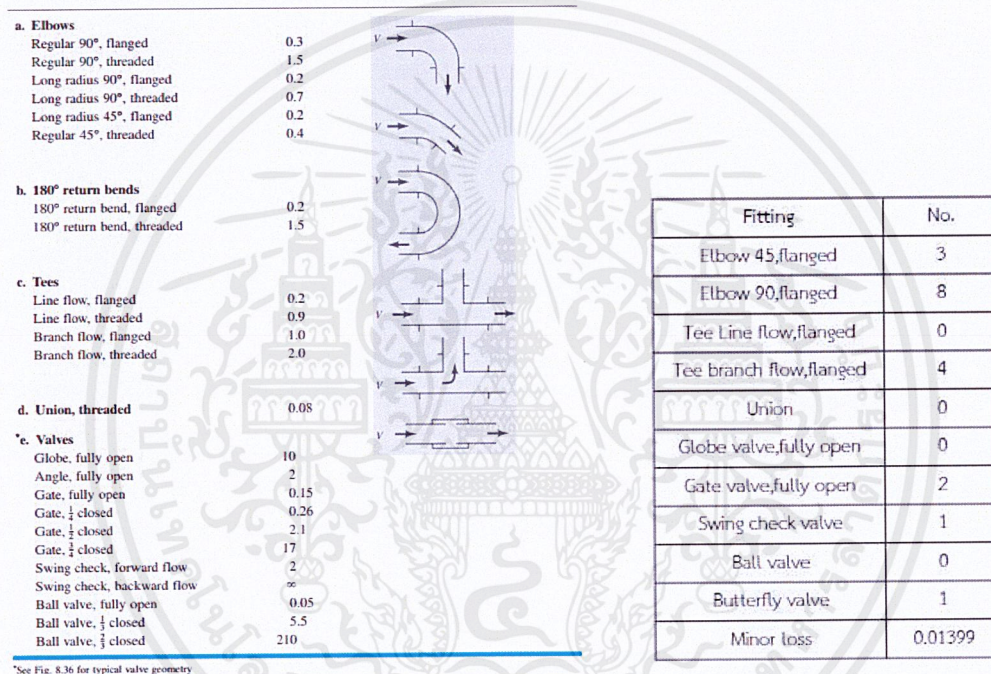
$$H_{\text{minor}} = \sum K \frac{V^2}{2g}$$

$V$  = ความเร็วของของไหล (m/s)

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

$K$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของข้องอ, ข้อต่อและวาล์ว

จากรูปที่ 3.2 ของไหลมีความเร็วเท่ากับ 5.5 ft/sec

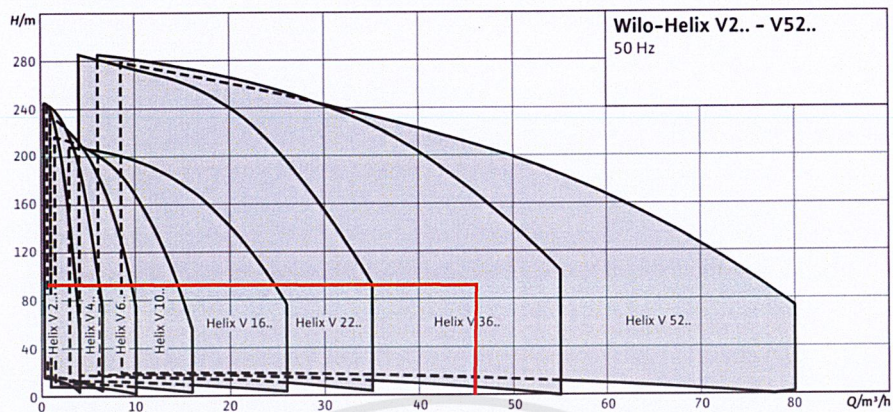


รูปที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของข้องอ, ข้อต่อและวาล์ว ตารางที่ 3.5 แรงดันสูญเสียรอง (Minor loss)

$$TDH = H_{\text{major}} + H_{\text{minor}} + H_{\text{ST}}$$

$$\therefore TDH = 4.818 + 0.01399 + 85.85 = 90.68 \text{ m}$$

หลังจากทราบแรงอัดการไหลและแรงดันสุทธิ(Total Dynamic Head)สามารถหารุ่นของปั๊มที่ใช้ได้



รูปที่ 3.4 Duty chart ของปั๊มรุ่น Wilo Helix V

ปั๊มรุ่นที่ใช้เป็นปั๊มรุ่น Helix V 36 เป็นปั๊มประเภท Vertical Multistage Centrifugal Pump เนื่องจากเหมาะกับการปั๊มน้ำขึ้นตึกสูงมากกว่าเพราะสามารถสร้างแรงดันได้มากกว่าปั๊มแรงเหวี่ยงปกติ เขียน system curve เพื่อนำไปหาขนาดปั๊มที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดจากสมการ

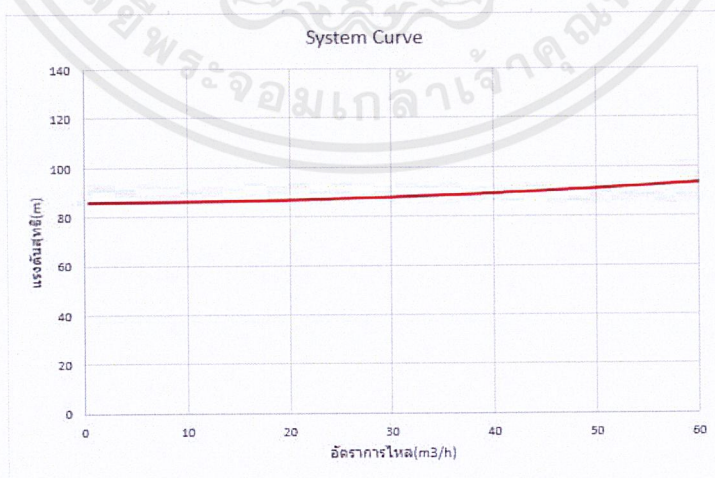
$$H = aQ^2 + H_{ST}$$

หาค่า a

$$90.68 = a(47.58)^2 + 85.85$$

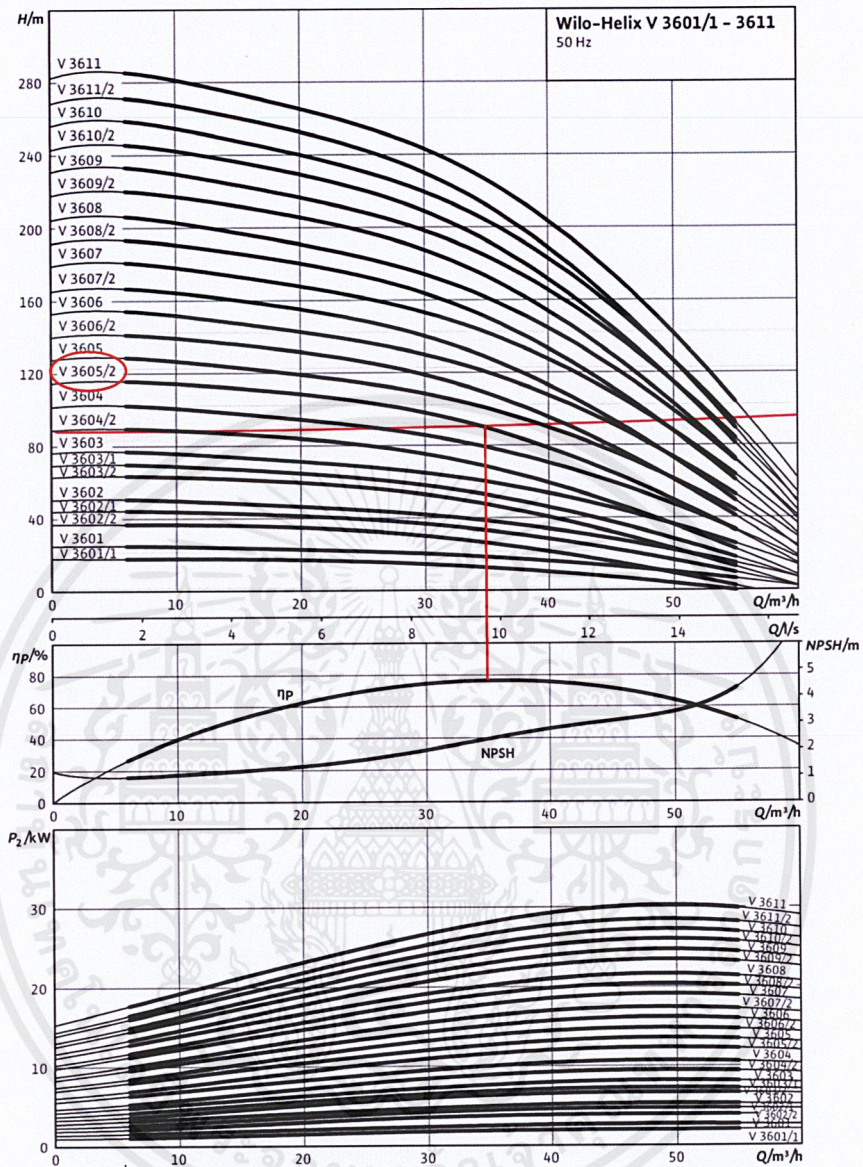
$$a = 0.002134$$

ได้สมการ System Curve คือ  $H = 0.002134Q^2 + 85.85$



รูปที่ 3.5 System Curve ของสมการ  $H = 0.002134Q^2 + 85.85$

นำ system curve มาเทียบหาขนาดปั๊มที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดจากรูป 3.6



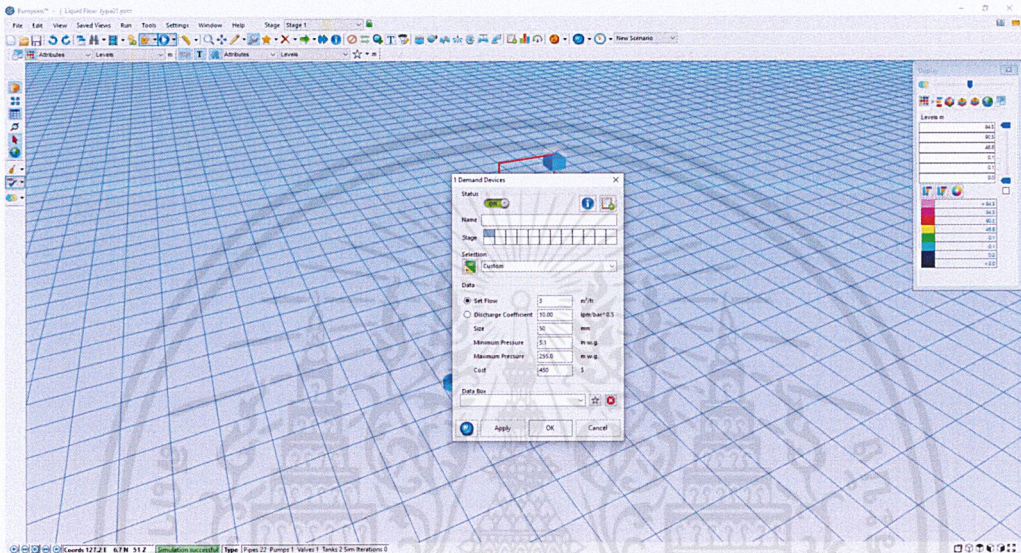
รูปที่ 3.6 Pump Performance Curve ของ Helix V 3601-3611

ขนาดของปั๊มที่เหมาะสมคือ Helix V 3605/2 มีจุด Operating point ที่แรงดัน 88.2 m อัตราการไหลที่ 35 m<sup>3</sup>/h ประสิทธิภาพของปั๊ม 73.0 % กำลังขับของมอเตอร์ 11.3 kw

### 3.1.4 เขียนแบบจำลอง Simulation การทำงานของระบบในโปรแกรม Pumpsim

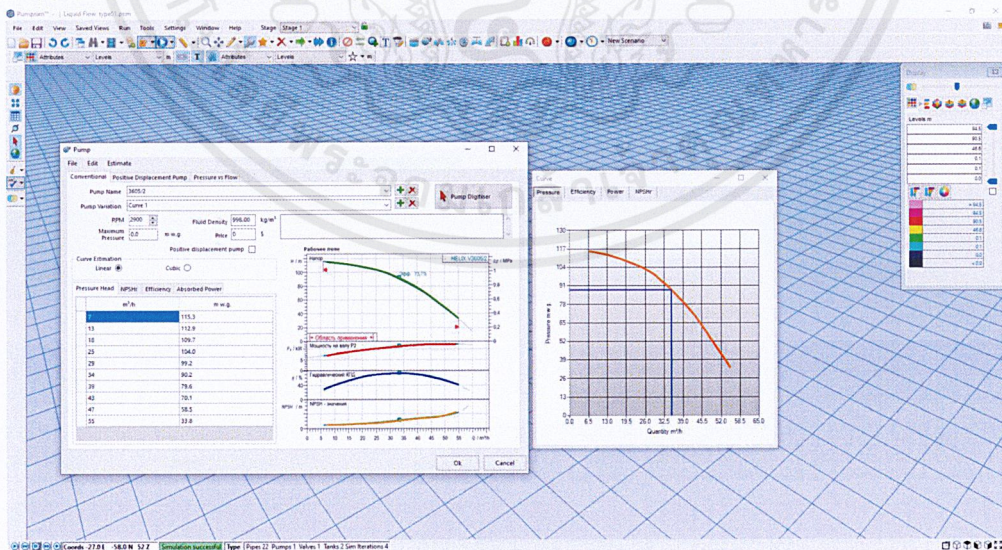
เขียน simulation ในโปรแกรม Pumpsim 3.0 เพื่อดูการใช้งานและพลังงานของปั๊มโดยมีขั้นตอนการเขียน Simulation ดังนี้

- 1.กำหนดอัตราการใช้น้ำโดยปริมาณการใช้น้ำอยู่ประมาณ 200 ลิตรต่อคนต่อวัน มีห้องพักจำนวน 184 ห้อง ห้องพักละ 2 คน ดังนั้นมีอัตราการใช้น้ำทั้งหมดเท่ากับ 76800 ลิตรต่อวัน



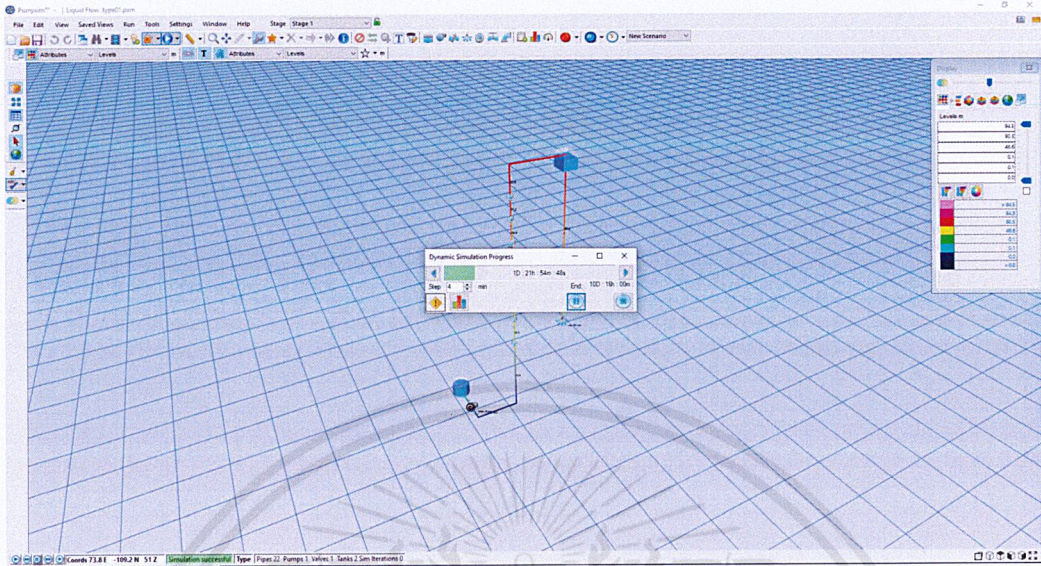
รูปที่ 3.7 กำหนดอัตราการใช้น้ำของอาคาร

- 2.กำหนดขนาดของปั๊มและPump Performance Curve ของปั๊ม Helix V 3605/2



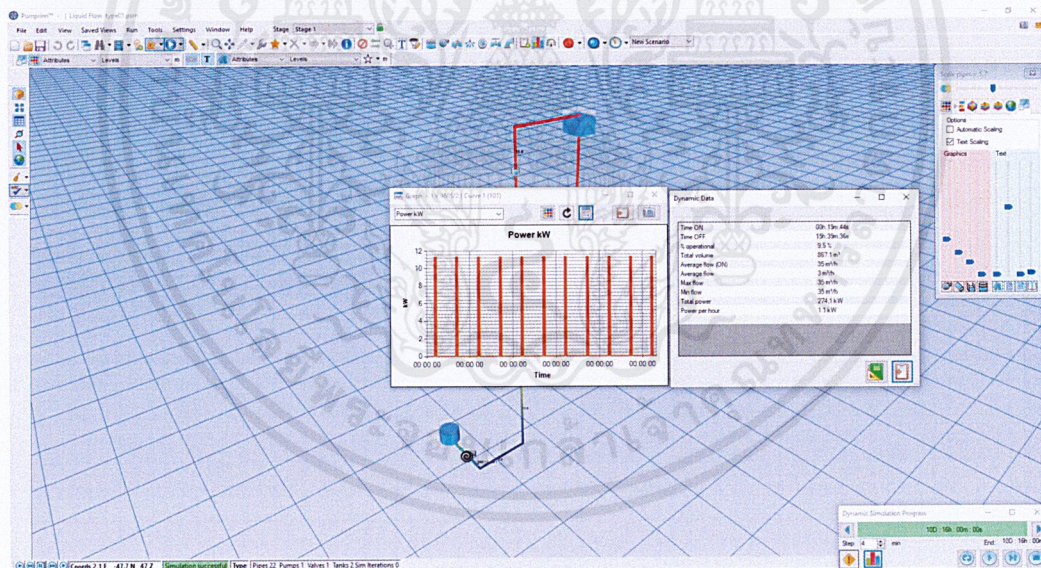
รูปที่ 3.8 กำหนดขนาดของปั๊มและPump Performance Curve

### 3. Run Simulationเพื่อดูการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.9 Run Simulation

### 4. ดูผลการทำงานของปั๊ม พลังงานรวมทั้งหมดและCycleการทำงานของปั๊ม



รูปที่ 3.10 ผลการทำงานของปั๊ม

### 3.2 ออกแบบระบบประปาในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ชั้น

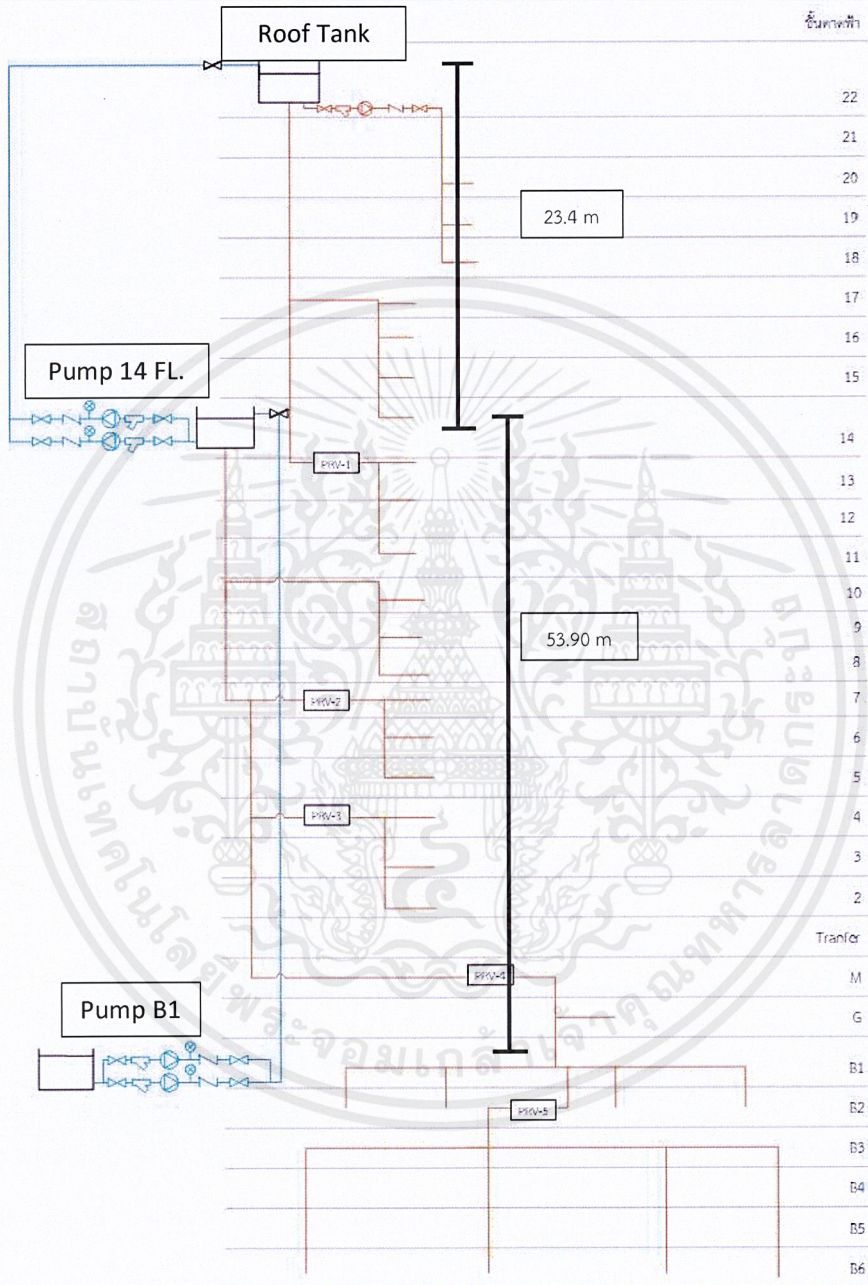
ทำการหาชั้นที่จะวางตำแหน่งของปั๊มและแท่งค้ำน้ำโดยใช้วิธี trial & error หาชั้นที่มีการใช้พลังงานในการสูบน้ำของปั๊มทั้ง 2 รวมกันน้อยที่สุดจากสมการ  $Power = P \text{ (bar)} \times Q \text{ (L/m)}$  โดย  $P \text{ (bar)}$  คือความดันที่ใช้ในการสูบน้ำขึ้นอยู่กับความสูงของชั้นที่ติดตั้งปั๊มและแท่งค้ำไว้ ส่วน  $Q \text{ (L/m)}$  คืออัตราความต้องการน้ำสูงสุดมาจากจำนวนสุขภัณฑ์ของแต่ละชั้น ยังมีจำนวนสุขภัณฑ์มากยังมีอัตราความต้องการน้ำมาก จากนั้นนำพลังงานของปั๊มทั้ง 2 มารวมกันเพื่อหาตำแหน่งของปั๊มที่ใช้พลังงานต่ำที่สุดจากตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตารางรวมการใช้พลังงานของปั๊มทั้ง 2 ตัวในชั้นต่างๆ  
Pump B1 Pump ...

	H(m)	Q(m <sup>3</sup> /h)	P(bar)	Q(L/m)	KW	H(m)	FU	Q(GPM)	Water factor	P(bar)	Q(L/m)	KW	Total KW
M	9.15	47.58	0.90	793.12	1.19	80.20	2257.00	348.76	0.60	7.87	792.11	10.39	11.57
transfer	12.35	47.58	1.21	793.12	1.60	76.70	2255.00	348.54	0.60	7.52	791.62	9.93	11.53
2	15.85	47.58	1.55	793.12	2.06	73.50	2253.00	348.11	0.60	7.21	790.64	9.50	11.56
3	19.35	47.58	1.90	793.12	2.51	70.00	2251.00	343.46	0.60	6.87	780.09	8.93	11.44
4	22.85	47.58	2.24	793.12	2.96	66.50	2208.00	339.79	0.60	6.52	771.75	8.39	11.35
5	26.35	47.58	2.58	793.12	3.42	63.00	2174.00	339.79	0.60	6.18	771.75	7.95	11.37
6	29.85	47.58	2.93	793.12	3.87	59.50	2056.50	339.79	0.60	5.84	771.75	7.51	11.38
7	33.35	47.58	3.27	793.12	4.32	56.00	1939.00	327.10	0.60	5.49	742.93	6.80	11.13
8	36.85	47.58	3.61	793.12	4.78	52.50	1811.00	314.41	0.60	5.15	714.11	6.13	10.91
9	40.35	47.58	3.96	793.12	5.23	49.00	1683.00	300.59	0.61	4.81	694.09	5.56	10.79
10	43.85	47.58	4.30	793.12	5.69	45.50	1555.00	286.76	0.61	4.46	662.17	4.93	10.61
11	47.35	47.58	4.65	793.12	6.14	42.00	1427.00	272.94	0.61	4.12	630.25	4.33	10.47
12	50.85	47.58	4.99	793.12	6.59	38.50	1299.00	259.12	0.61	3.78	598.33	3.77	10.36
13	54.35	47.58	5.33	793.12	7.05	35.00	1171.00	245.29	0.63	3.43	584.97	3.35	10.40
14	57.85	47.58	5.68	793.12	7.50	31.50	1043.00	229.89	0.63	3.09	548.24	2.82	10.33
15	61.35	47.58	6.02	793.12	7.96	28.00	915.00	213.50	0.64	2.75	517.25	2.37	10.32
16	64.85	47.58	6.36	793.12	8.41	24.50	787.00	195.08	0.64	2.40	472.61	1.89	10.30
17	68.35	47.58	6.71	793.12	8.86	21.00	659.00	175.62	0.64	2.06	425.48	1.46	10.32
18	73.05	47.58	7.17	793.12	9.47	17.50	531.00	130.58	0.75	1.72	370.72	1.06	10.53
19	76.55	47.58	7.51	793.12	9.93	12.80	403.00	105.60	0.87	1.26	347.77	0.73	10.65

จากตารางที่ 3.6 พบว่าตำแหน่งของปั๊มและแท่งค้ำที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดจะอยู่ระหว่างชั้นที่ 14-17 ในที่นี้เราจะเลือกให้ติดตั้งที่ชั้น 14 เนื่องจากเราต้องการให้มีการจ่ายน้ำตั้งแต่ชั้นที่ 10 ลงไปเพื่อลดต้นทุนในการติดตั้งและจำนวนในการใช้ PRV (Pressure Reducing Valve) ที่ติดตั้งไว้ในชั้นที่ 10 ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง

ทำการศึกษาและออกแบบระบบน้ำดีโดยออกแบบให้มีการแบ่งจ่ายน้ำครั้งหนึ่งโดยติดตั้งแท่งค้ำเพิ่มไว้ระหว่างชั้นเพื่อให้สามารถใช้ปริมาณน้ำเล็กน้อยตั้งแต่แบ่งออกเป็น 2 ช่วงโดยแท่งค้ำชั้นดาดฟ้าจะจ่ายให้ชั้น 11-20 และแท่งค้ำที่ชั้น 14 จะจ่ายน้ำให้ตั้งแต่ชั้นที่ 10 ลงมา



รูปที่ 3.11 ออกแบบระบบประปาในอาคารแบบสูบน้ำขึ้น 2 ช่วง

### 3.2.1 หาขนาดของปั๊มชั้น B1

อัตราการความต้องการน้ำสูงสุดของปั๊มชั้น B1 มีค่าเท่ากับ 47.58 m<sup>3</sup>/h จากการรวม FU ของ สุขภัณฑ์ทั้งหมดจากตารางที่ 3.3 และขนาดท่อมีขนาด 4 นิ้ว เท่ากันเนื่องจากมีอัตราการไหลในท่อ เท่ากัน ขั้นตอนถัดมาคือการหาแรงดันสุทธิ(Total Dynamic Head) จากสมการ

$$TDH = H_{major} + H_{minor} + H_{ST}$$

$$H_{ST} = 53.9 \text{ m} \text{ จากรูปที่ 3.11}$$

หา  $H_{major}$  แรงดันสูญเสียหลักที่เกิดขึ้นในท่อตรงเนื่องจากแรงเสียดทาน

$$H_{major} = \frac{1.1342 \times 10^9 \times L \times Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.8655}} \quad (\text{metric})$$

$$H_{major} = \frac{1.1342 \times 10^9 \times 90 \times 47.58^{1.85}}{120^{1.85} 100^{4.8655}} \quad (\text{metric})$$

$$H_{major} = 3.336 \text{ m}$$

หา  $H_{minor}$  แรงดันสูญเสียรองที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ข้อต่อ, ข้องอ, วาล์วและอุปกรณ์อื่นๆ

$$H_{minor} = \sum K \frac{v^2}{2g} \quad \text{ของไหลมีความเร็วเท่ากับ 5.5 ft/sec}$$

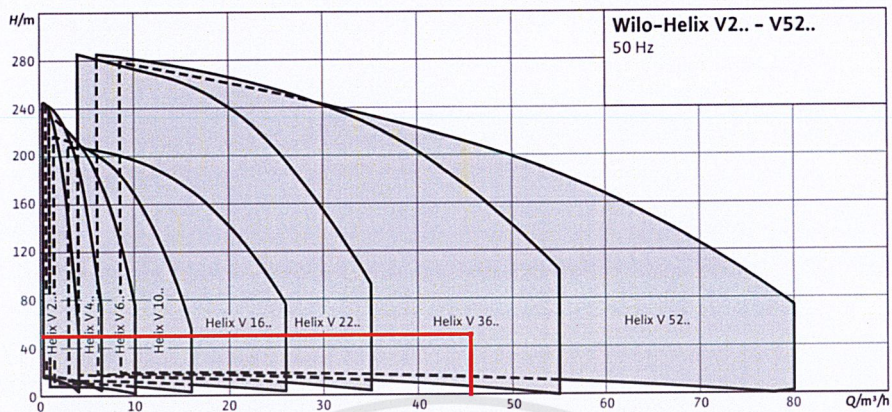
Fitting	No.
Elbow 45, flanged	3
Elbow 90, flanged	8
Tee Line flow, flanged	0
Tee branch flow, flanged	4
Union	0
Globe valve, fully open	0
Gate valve, fully open	2
Swing check valve	1
Ball valve	0
Butterfly valve	1
Minor loss	0.01399

ตารางที่ 3.7 แรงดันสูญเสียรอง(Minor loss)

$$TDH = H_{major} + H_{minor} + H_{ST}$$

$$\therefore TDH = 3.336 + 0.01399 + 53.90 = 57.25 \text{ m}$$

หลังจากทราบอัตราการไหลและแรงดันสุทธิ(Total Dynamic Head)สามารถหารุ่นของปั๊มที่ใช้ได้



รูปที่ 3.12 Duty chart ของปั๊มรุ่น Wilo Helix V

ปั๊มรุ่นที่ใช้เป็นปั๊มรุ่น Helix V 36 เป็นปั๊มประเภท Vertical Multistage Centrifugal Pump เนื่องจาก  
 เหมาะกับการปัมน้ำขึ้นตึกสูงมากกว่าเพราะสามารถสร้างแรงดันได้มากกว่าปั๊มแรงเหวี่ยงปกติ  
 เขียน system curve เพื่อนำไปหาขนาดปั๊มที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดจากสมการ

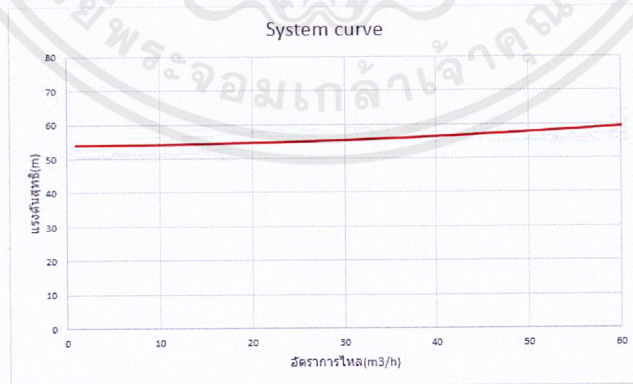
$$H = aQ^2 + H_{ST}$$

หาค่า a

$$57.25 = a(47.58)^2 + 53.90$$

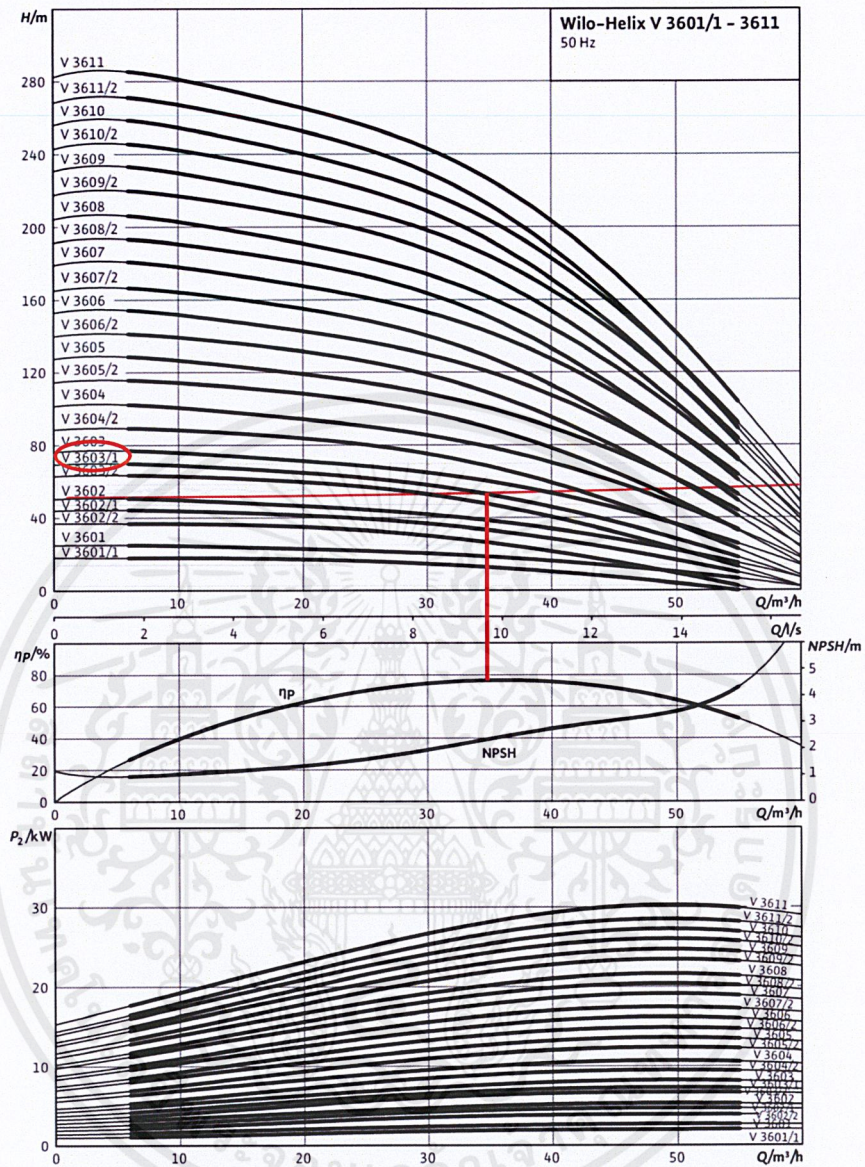
$$a = 0.001480$$

ได้สมการ System Curve คือ  $H = 0.001480Q^2 + 53.90$



รูปที่ 3.13 System Curve คือ  $H = 0.001480Q^2 + 53.90$

นำsystem curve มาเทียบหาขนาดปั๊มชั้นB1ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดจากรูป 3.14



รูปที่ 3.14 Pump Performance Curve ของ Helix V 3601-3611

ขนาดของปั๊มที่เหมาะสมคือ Helix V 3603/1 มีจุด Operating point ที่แรงดัน 55.8 m อัตราการไหลที่ 31 m<sup>3</sup>/h ประสิทธิภาพของปั๊ม 72.0 % กำลังขับของมอเตอร์ 6.5 kw

### 3.2.2 หาขนาดของปั๊มชั้น 14

หาอัตราความต้องการน้ำสูงสุดของปั๊มจากตารางที่ 3.3 โดยรวม หน่วยสุขภัณฑ์ (Fixture Unit) ตั้งแต่ชั้นที่ 11-22

ทำการรวม FU ของสุขภัณฑ์ตั้งแต่ชั้นที่ 11-22 จากตารางที่ 3.3

$$\text{Total Fixture Unit} = 1043$$

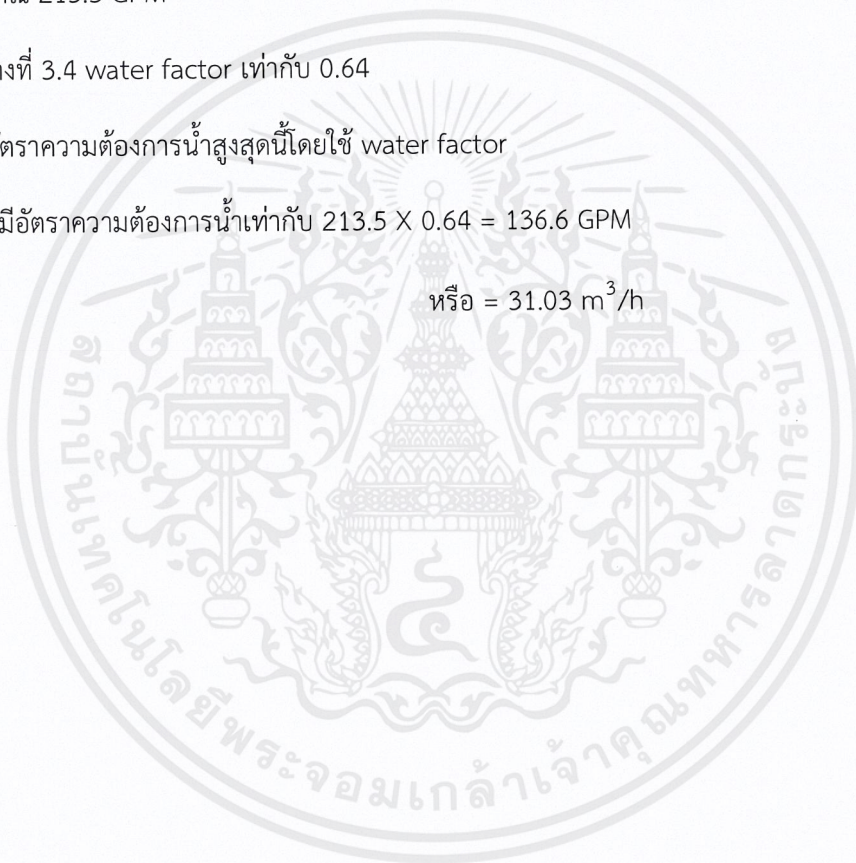
ให้อ่านค่าอัตราความต้องการน้ำสูงสุดจาก Hunter's Curve ตารางที่ 2.2 จะได้ว่า 1043 FU มีค่าประมาณ 213.5 GPM

จากตารางที่ 3.4 water factor เท่ากับ 0.64

ปรับค่าอัตราความต้องการน้ำสูงสุดนี้โดยใช้ water factor

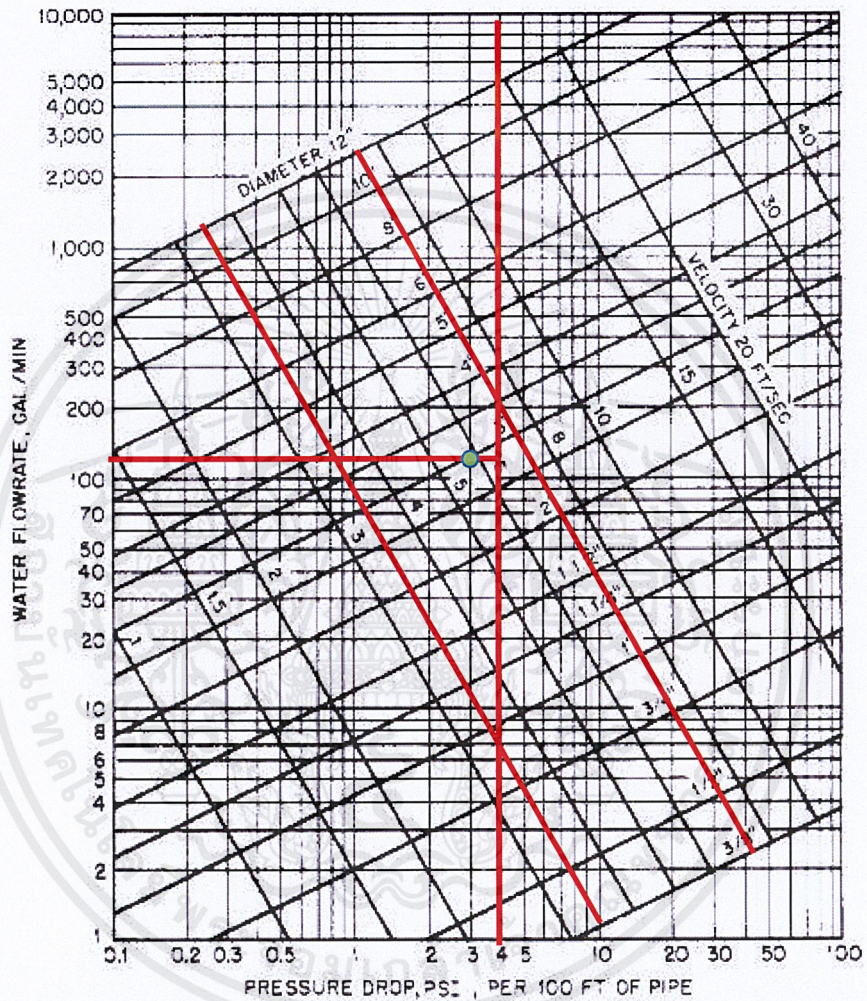
ดังนั้นจะมีอัตราความต้องการน้ำเท่ากับ  $213.5 \times 0.64 = 136.6$  GPM

$$\text{หรือ} = 31.03 \text{ m}^3/\text{h}$$



## หาขนาดท่อประปา

ขั้นตอนการหาขนาดท่อประปาซึ่งท่อที่ใช้เป็นท่อ Steel Galvanized หลังจากรวมจำนวนหน่วยสุขภัณฑ์และหาอัตราความต้องการน้ำสูงสุดแล้ว หาขนาดของท่อได้จากรูปที่ 3.15 โดยให้ความเร็วของน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 3.6 – 7.2 ft/sec และความดันตกไม่ควรเกิน 4 psi ต่อ 100 ft



รูปที่ 3.15 ความดันตกของท่อ Steel Galvanized

ดังนั้นขนาดท่อที่เหมาะสมคือท่อขนาด 3 นิ้วโดยมีความเร็วของน้ำในท่อประมาณ 6.0 ft/sec และมีความดันตกของท่อ 3 psi ต่อ 100 ft

ขั้นตอนถัดมาคือการหาแรงดันสุทธิ(Total Dynamic Head) จากสมการ

$$TDH = H_{major} + H_{minor} + H_{ST}$$

$H_{ST} = 23.4 \text{ m}$  จากรูปที่ 3.11

หา  $H_{major}$  แรงดันสูญเสียหลักที่เกิดขึ้นในท่อตรงเนื่องจากแรงเสียดทาน

$$H_{major} = \frac{1.1342 \times 10^9 \times L \times Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.8655}} \quad (\text{metric})$$

$$H_{major} = \frac{1.1342 \times 10^9 \times 40 \times 31.03^{1.85}}{120^{1.85} 76.2^{4.8655}} \quad (\text{metric})$$

$$H_{major} = 5.692 \text{ m}$$

หา  $H_{minor}$  แรงดันสูญเสียรองที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ข้อต่อ, ข้องอ, วาล์วและอุปกรณ์อื่นๆ

$$H_{minor} = \sum K \frac{v^2}{2g} \quad \text{ของไหลมีความเร็วเท่ากับ } 6.0 \text{ ft/sec}$$

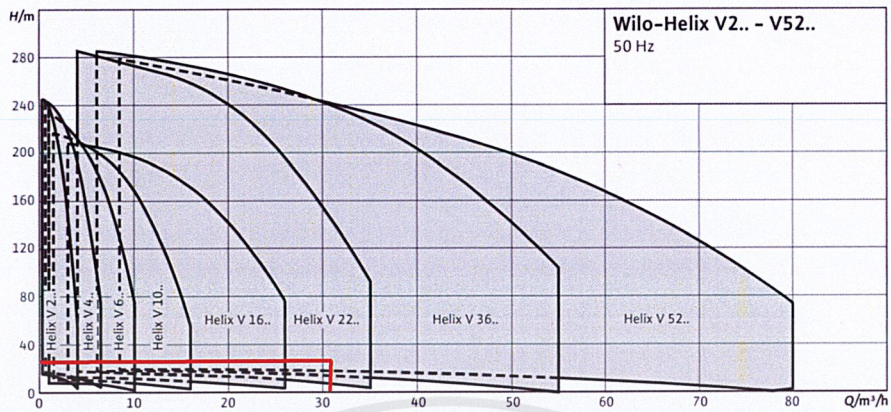
Fitting	No.
Elbow 45, flanged	3
Elbow 90, flanged	8
Tee Line flow, flanged	0
Tee branch flow, flanged	4
Union	0
Globe valve, fully open	0
Gate valve, fully open	2
Swing check valve	1
Ball valve	0
Butterfly valve	1
Minor loss	0.00595

ตารางที่ 3.8 แรงดันสูญเสียรอง(Minor loss)

$$TDH = H_{major} + H_{minor} + H_{ST}$$

$$\therefore TDH = 5.692 + 0.00595 + 23.4 = 29.10 \text{ m}$$

หลังจากทราบแรงอัตราการไหลและแรงดันสุทธิ(Total Dynamic Head)สามารถหารุ่นของปั๊มที่ใช้ได้



รูปที่ 3.16 Duty chart ของปั๊มรุ่น Wilo Helix V

ปั๊มรุ่นที่ใช้เป็นปั๊มรุ่น Helix V 22 เป็นปั๊มประเภท Vertical Multistage Centrifugal Pump เนื่องจากเหมาะกับการปั๊มน้ำขึ้นตึกสูงมากกว่าเพราะสามารถสร้างแรงดันได้มากกว่าปั๊มแรงเหวี่ยงปกติ เขียน system curve เพื่อนำไปหาขนาดปั๊มที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดจากสมการ

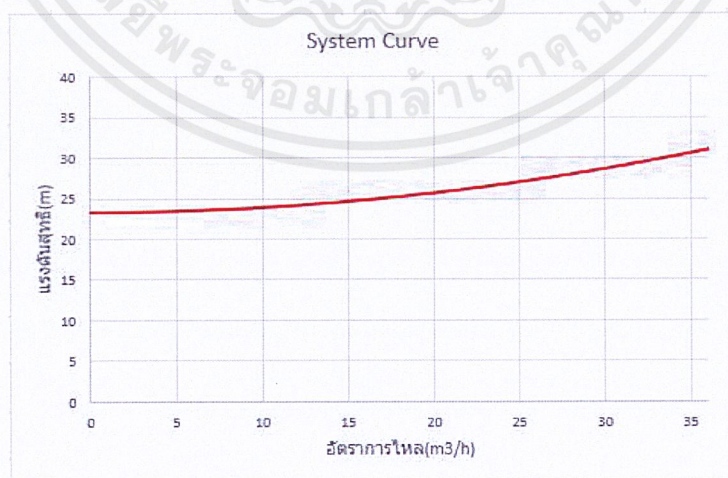
$$H = aQ^2 + H_{ST}$$

หาค่า a

$$29.10 = a(31.03)^2 + 23.40$$

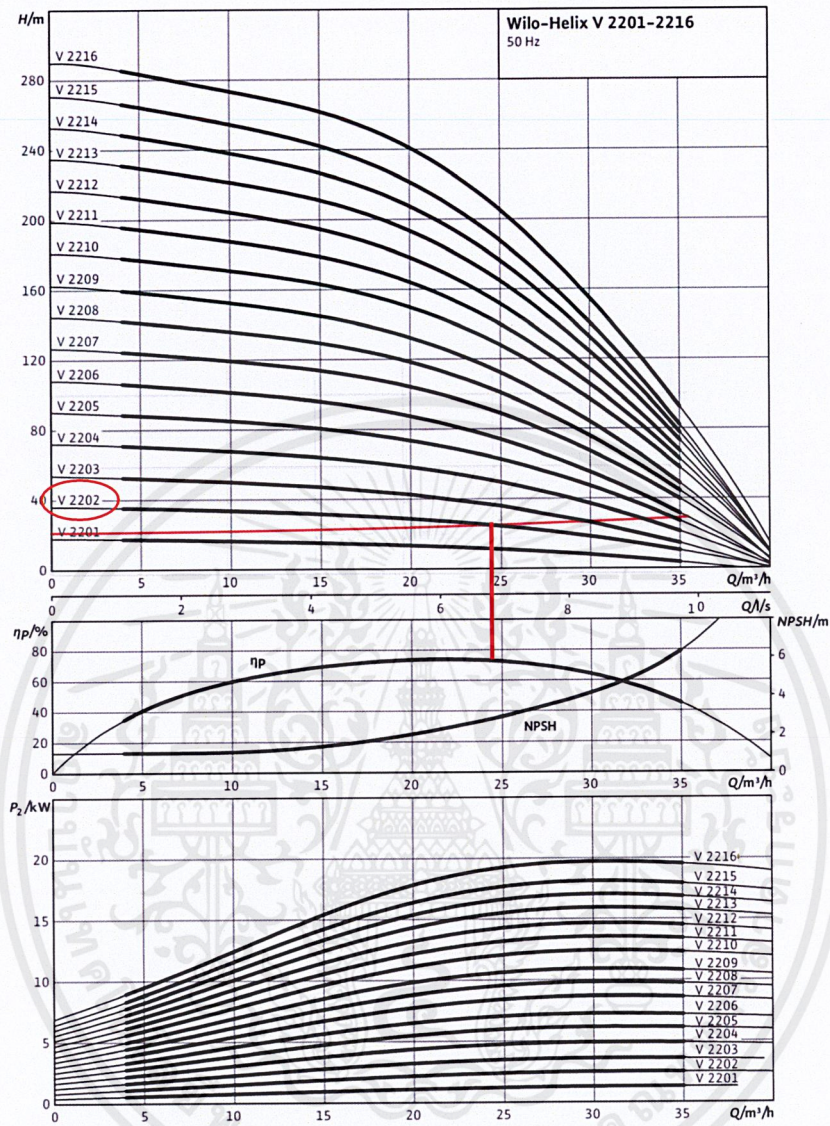
$$a = 0.005920$$

ได้สมการ System Curve คือ  $H = 0.005920Q^2 + 23.4$



รูปที่ 3.17 System Curve ของสมการ  $H = 0.005920Q^2 + 23.4$

นำSystem curve มาเทียบหาขนาดปั๊มชั้น 14 ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดจากรูป 3.18



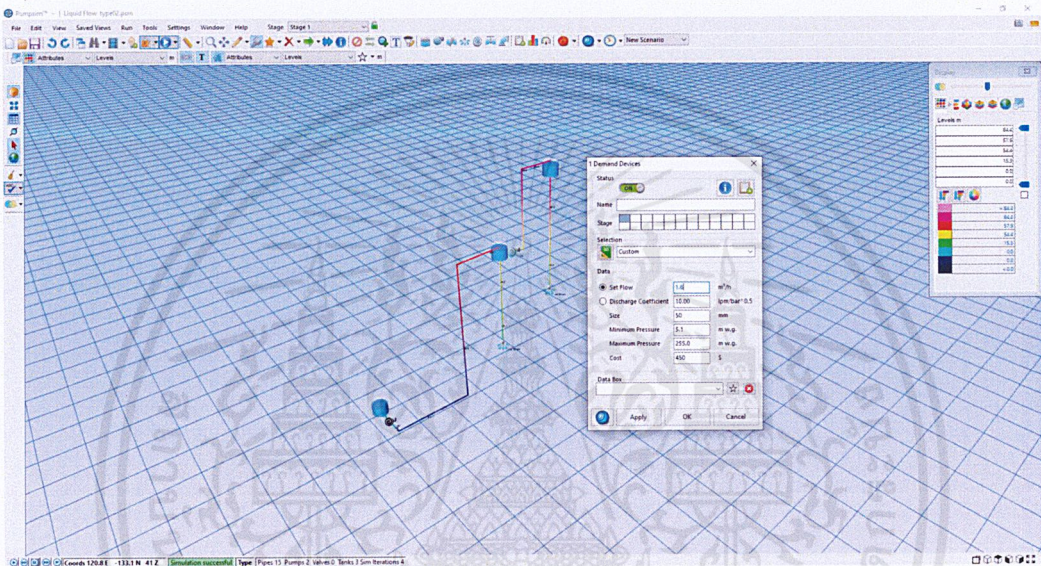
รูปที่ 3.18 Pump Performance Curve ของ Helix V 2201-2216

ขนาดของปั๊มที่เหมาะสมคือ Helix V 2202 มีจุด Operating point ที่แรงดัน 26.4 m อัตราการไหลที่ 23 m<sup>3</sup>/h ประสิทธิภาพของปั๊ม 69.2 % กำลังขับของมอเตอร์ 2.1 kw

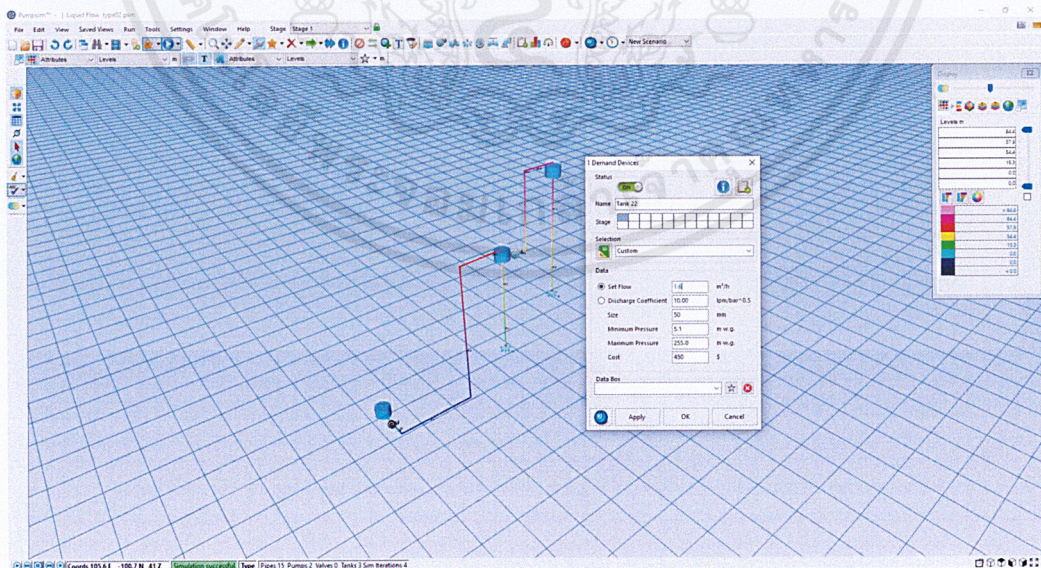
### 3.2.3 เขียนแบบจำลอง Simulation การทำงานของระบบในโปรแกรม Pumpsim

เขียน simulation ในโปรแกรม Pumpsim 3.0 เพื่อดูการใช้งานและพลังงานของปั๊มโดยมีขั้นตอนการเขียน Simulation ดังนี้

1.กำหนดอัตราการใช้น้ำโดยปริมาณการใช้น้ำอยู่ประมาณ 200 ลิตรต่อคนต่อวัน มีห้องพักจำนวน 184 ห้อง ห้องพักละ 2 คน ดังนั้นมีอัตราการใช้น้ำทั้งหมดเท่ากับ 76800 ลิตรต่อวัน โดยแบ่งจ่ายน้ำเครื่องหนึ่ง ดังนั้นแทงค์ชั้น14 และแทงค์ชั้น 22 จะมีอัตราการใช้น้ำ 38400 ลิตรต่อวัน

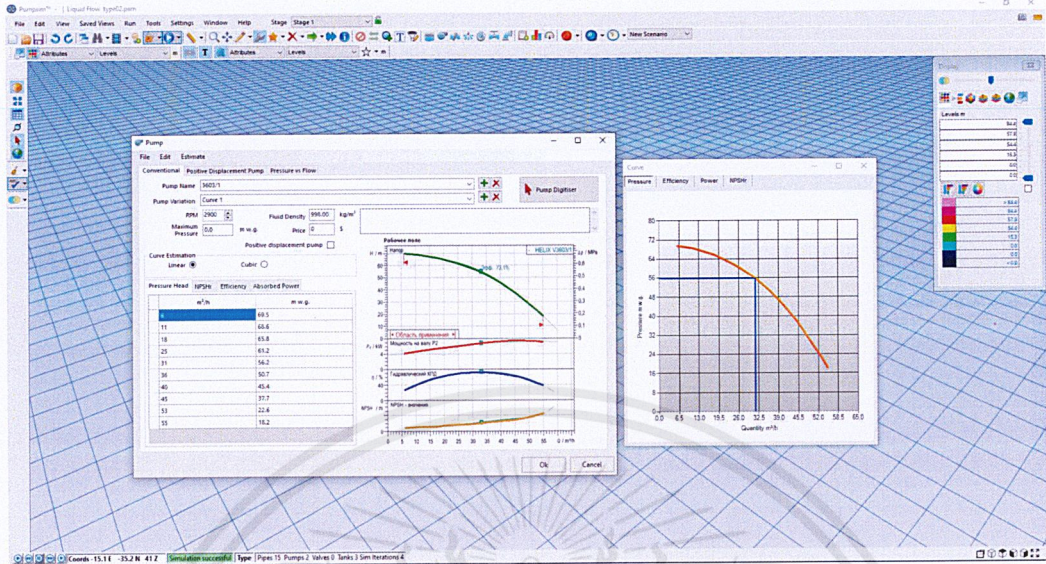


รูปที่ 3.19 กำหนดอัตราการใช้น้ำของแทงค์ชั้น 14

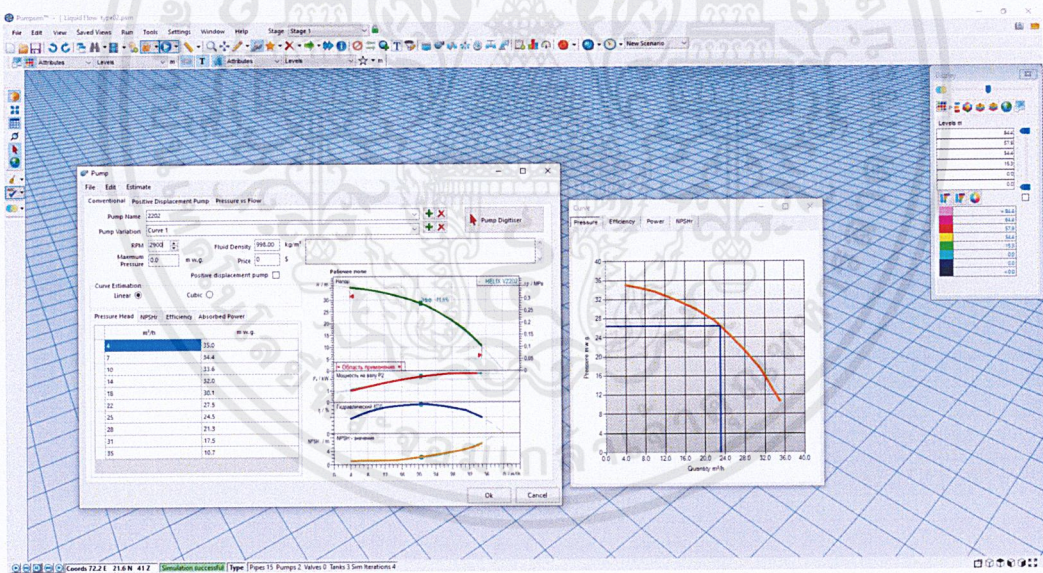


รูปที่ 3.20 กำหนดอัตราการใช้น้ำของแทงค์ชั้น 22

## 2. กำหนดขนาดของปั๊มและ Pump Performance Curve ของปั๊มชั้น B1 และชั้น 14

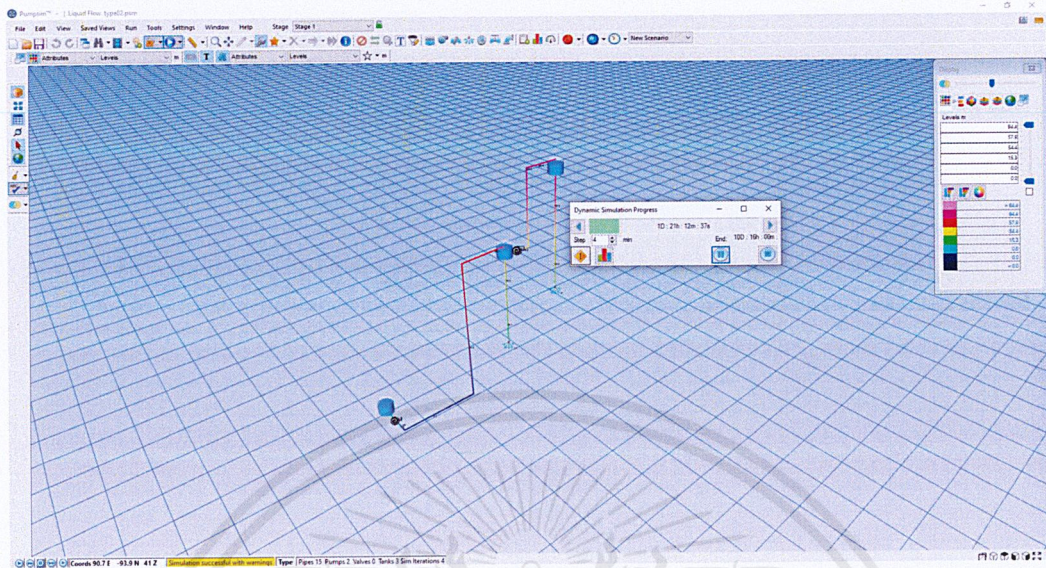


รูปที่ 3.21 กำหนด Pump Performance Curve ของปั๊มชั้น B1



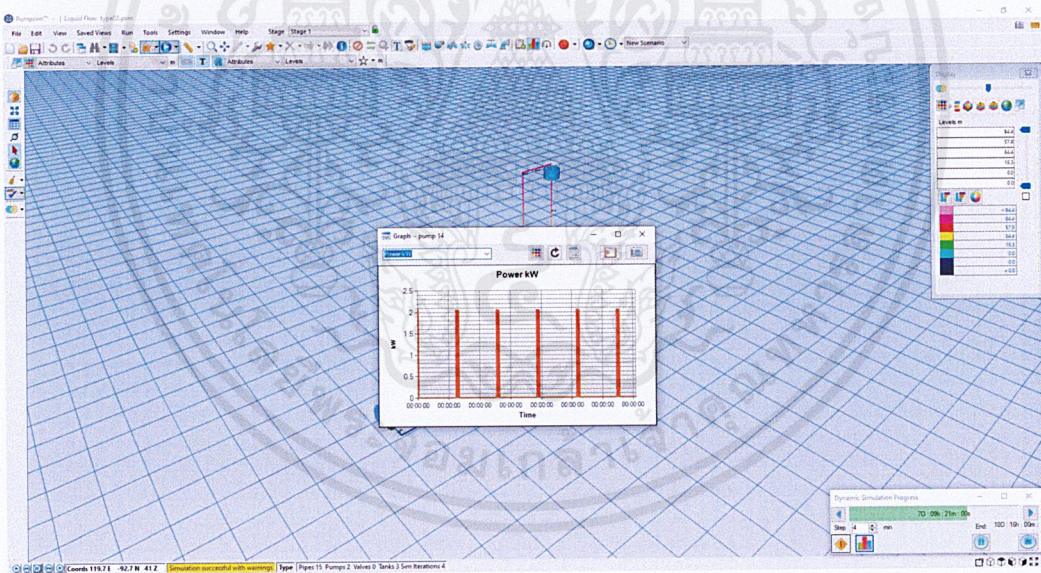
รูปที่ 3.22 กำหนด Pump Performance Curve ของปั๊มชั้น 14

### 3. Run Simulationเพื่อดูการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.23 Run Simulation

### 4.ดูผลการทำงานของปั๊ม พลังงานรวมทั้งหมดและCycleการทำงานของปั๊มทั้ง 2 ตัว



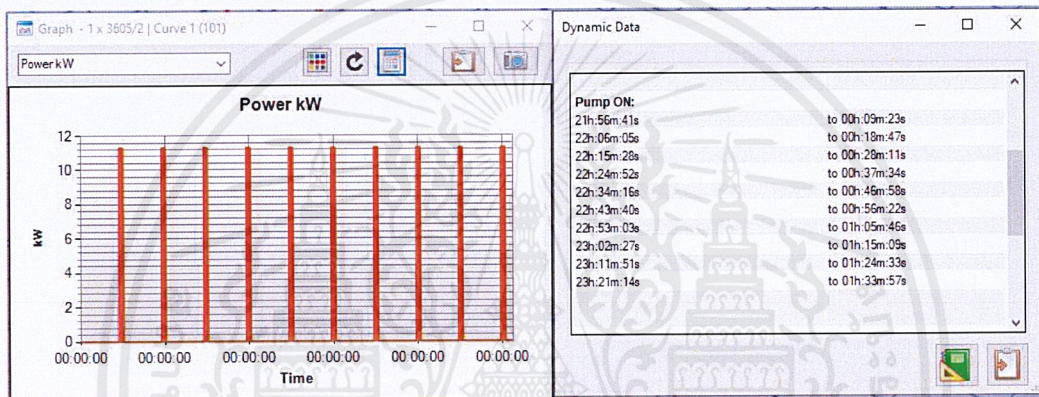
รูปที่ 3.24 ผลการทำงานของปั๊ม

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

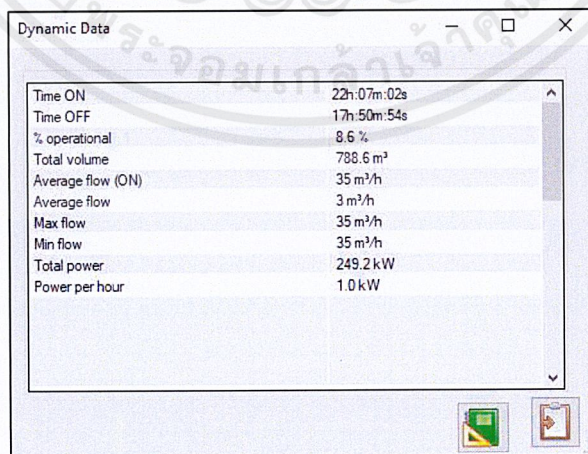
งานวิจัยนี้จะศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานโดยรวมของปั๊มในการสูบน้ำ และวัฏจักรการทำงานของปั๊มโดยใช้โปรแกรม Pumpsim เพื่อเขียน Simulation ของระบบในอาคารออกมาโดยผลที่ได้จะแบ่งออกมาเป็น 2 ส่วน คือ ผลการทำงานของปั๊มในอาคารแบบใช้ปั๊มนขนาดใหญ่สูบขึ้นครั้งเดียว กับผลการทำงานของปั๊มในอาคารแบบใช้ปั๊มนขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วง โดยจะนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ เปรียบเทียบการใช้พลังงานของทั้ง 2 แบบ

#### 4.1 ผลการทำงานของปั๊มในอาคารแบบใช้ปั๊มนขนาดใหญ่สูบขึ้นครั้งเดียว



รูปที่ 4.1 วัฏจักรการทำงานของปั๊มในระยะเวลา 10 วัน

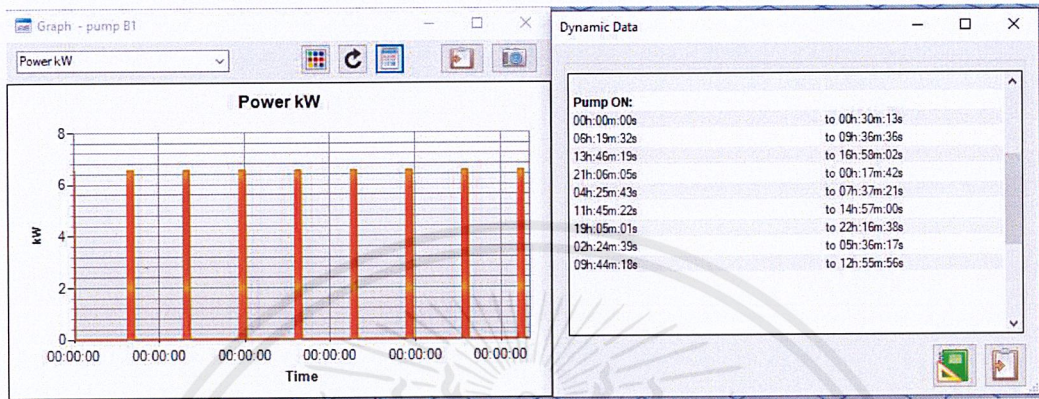
จากการ Simulation ในโปรแกรม Pumpsim พบว่าในช่วงระยะเวลา 10 วัน ปั๊มมีการทำงาน 10 ครั้ง ที่ความดัน 88.2 m อัตราการไหล 35 m<sup>3</sup>/h ใช้กำลังของมอเตอร์ 11.3 KW โดยปั๊มจะใช้เวลา 2 ชั่วโมง 12 นาที ในการสูบน้ำจนเต็มถึงแต่ละครั้ง ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.2 Dynamic Data ของปั๊ม B1

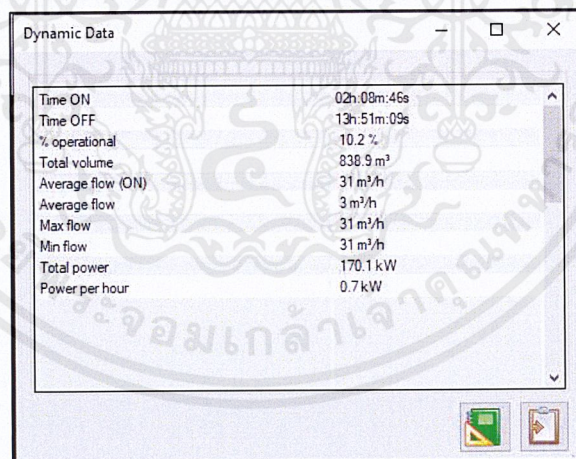
จากรูปที่ 4.2 ผลการทำงานของปั๊มในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดใหญ่สูบขึ้นครั้งเดียว ปั๊มจะมีการใช้พลังงานทั้งหมด 249.2 kwh ในระยะเวลา 10 วัน หรือคิดเฉลี่ยเป็น 1 kw ต่อชั่วโมง ปริมาณน้ำที่สูบขึ้นไปทั้งหมดเท่ากับ 788.6 ลูกบาศก์เมตร

#### 4.2 ผลการทำงานของปั๊มในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วง



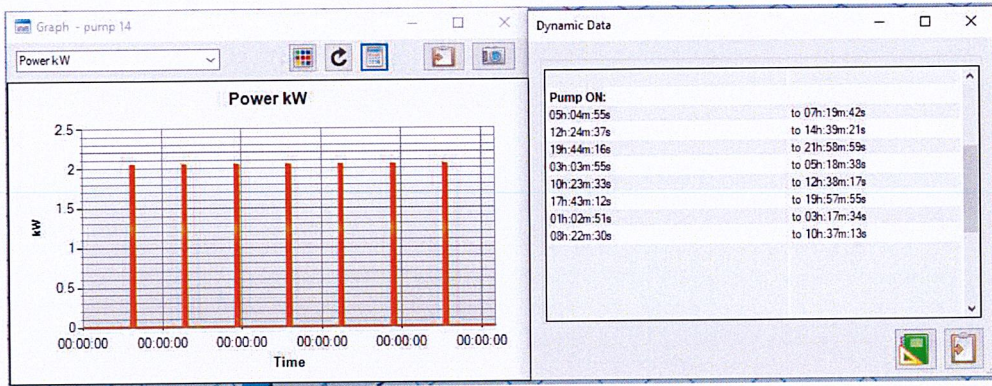
รูปที่ 4.3 วัฏจักรการทำงานของปั๊มชั้น B1 ในช่วงเวลา 10 วัน

จากการ Simulation ในโปรแกรม Pumpsim พบว่าในช่วงระยะเวลา 10 วัน ปั๊ม B1 มีการทำงาน 8 ครั้ง ที่ความดัน 55.8 m อัตราการไหล 31 m<sup>3</sup>/h ใช้กำลังของมอเตอร์ 6.5 KW โดยปั๊มจะใช้เวลา 3 ชั่วโมง 17 นาที ในการสูบน้ำจนเต็มถึงแต่ละครั้ง ดังรูปที่ 4.3



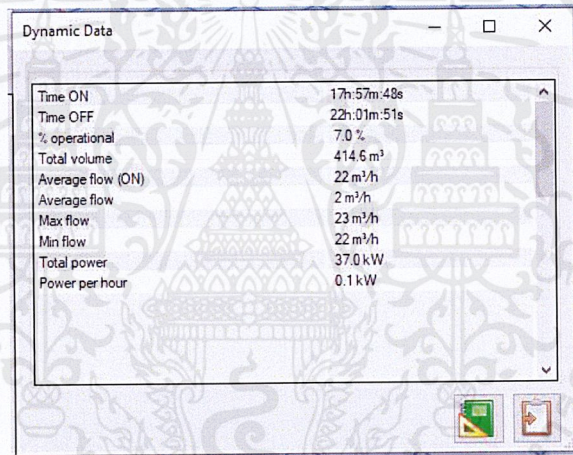
รูปที่ 4.4 Dynamic Data ของปั๊มชั้น B1

จากรูปที่ 4.4 ผลการทำงานของปั๊มในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วง ปั๊มจะมีการใช้พลังงานทั้งหมด 170.1 kwh ในระยะเวลา 10 วัน หรือคิดเฉลี่ยเป็น 0.7 kw ต่อชั่วโมง ปริมาณน้ำที่สูบขึ้นไปทั้งหมดเท่ากับ 838.9 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.5 วัฏจักรการทำงานของปั๊มชั้น 14 ในระยะเวลา 10 วัน

จากการ Simulation ในโปรแกรม Pumpsim พบว่าในช่วงระยะเวลา 10 วัน ปั๊มชั้น 14 มีการทำงาน 7 ครั้ง ที่ความดัน 26.4 m อัตราการไหล 23 m<sup>3</sup>/h ใช้กำลังของมอเตอร์ 2.1 KW โดยปั๊มจะใช้เวลา 2 ชั่วโมง 14 นาที ในการสูบน้ำจนเต็มถึงแต่ละครั้ง ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.6 Dynamic Data ของปั๊มชั้น 14

จากรูปที่ 4.6 ผลการทำงานของปั๊มในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ชั้น ปั๊มจะมีการใช้พลังงานทั้งหมด 37.0 kwh ในระยะเวลา 10 วัน หรือคิดเฉลี่ยเป็น 0.1 kw ต่อชั่วโมง ปริมาณน้ำที่สูบน้ำขึ้นไปทั้งหมดเท่ากับ 414.6 ลูกบาศก์เมตร

จากการ Simulation ในโปรแกรม Pumpsim พบว่าในช่วงระยะเวลา 10 วันพบว่าการใช้พลังงานทั้งหมดของการทำงานของปั๊มในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดใหญ่สูบขึ้นครั้งเดียว ปั๊มจะมีการใช้พลังงานรวมทั้งหมด 249.2 kwh เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการทำงานของปั๊มในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วงพบว่าปั๊มชั้น B1 จะมีการใช้พลังงาน 170.1 kwh และปั๊มของชั้น 14 จะมีการใช้พลังงาน 37.0 kwh หรือมีการใช้พลังงานทั้งหมดในแบบที่ใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วงเท่ากับ 207.1 kwh พบว่ามีการใช้พลังงานในการสูบน้ำลดลง 42.1 kwh หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 16.9 เปอร์เซ็นต์ หรือลดค่าใช้จ่ายไปได้ปีละ 6,668 บาท และจากการประมาณค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วงจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมประมาณ 96,675.00 บาท จะมีระยะเวลาในการคืนทุนอยู่ที่ 15 ปี



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาระบบแบบถังน้ำสูงความแรงของน้ำขึ้นกับความสูงของถังบน ยิ่งสูงยิ่งแรงเป็นการจ่ายน้ำแบบอาศัยแรงโน้มถ่วง เรียกว่า gravity flow ทำให้ชั้นที่อยู่ส่วนล่างของ อาคารที่มีความสูงมาก มีความดันใช้งานและใช้กำลังมากเกินความจำเป็น ด้วยเหตุนี้จึงได้ ทำการศึกษาและออกแบบระบบน้ำดีโดยออกแบบให้มีการติดตั้งแท่งค้ำเพิ่มไว้ระหว่างชั้นเพื่อให้ สามารถใช้ปั๊มขนาดเล็กลงแต่แบ่งออกเป็น 2 ช่วงโดยจะปั้มน้ำขึ้นไปไว้แท่งค้ำชั้น 14 แล้วจึงค่อยปั้มขึ้นไปเก็บไว้ชั้นควดฟ้าเพื่อแบ่งกันจ่ายน้ำโดยแท่งค้ำชั้น 14 จะจ่ายน้ำให้ตั้งแต่ชั้น B6 – 10 และแท่งค้ำชั้น ควดฟ้าจะจ่ายน้ำให้ชั้น 11 – 22 เพื่อลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นในการสูบน้ำ

การดำเนินงานวิจัยจะเริ่มจากการออกแบบการใช้ปั๊มขนาดใหญ่สูบน้ำขึ้นครั้งเดียวโดยเริ่มจาก หาอัตราความต้องการน้ำของอาคารทั้งหมดโดยการหาจากค่าหน่วยสุขภัณฑ์(Fixture Unit)และหา แรงดันสุทธิที่ต้องใช้เพื่อนำไปหาขนาดของปั๊มที่เหมาะสมนำมาเขียนSimulationแล้วจึงทำการ ออกแบบระบบแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วง จากนั้นจึงนำผลที่ได้ของทั้ง 2 แบบมาเปรียบเทียบ การใช้พลังงานของปั๊ม

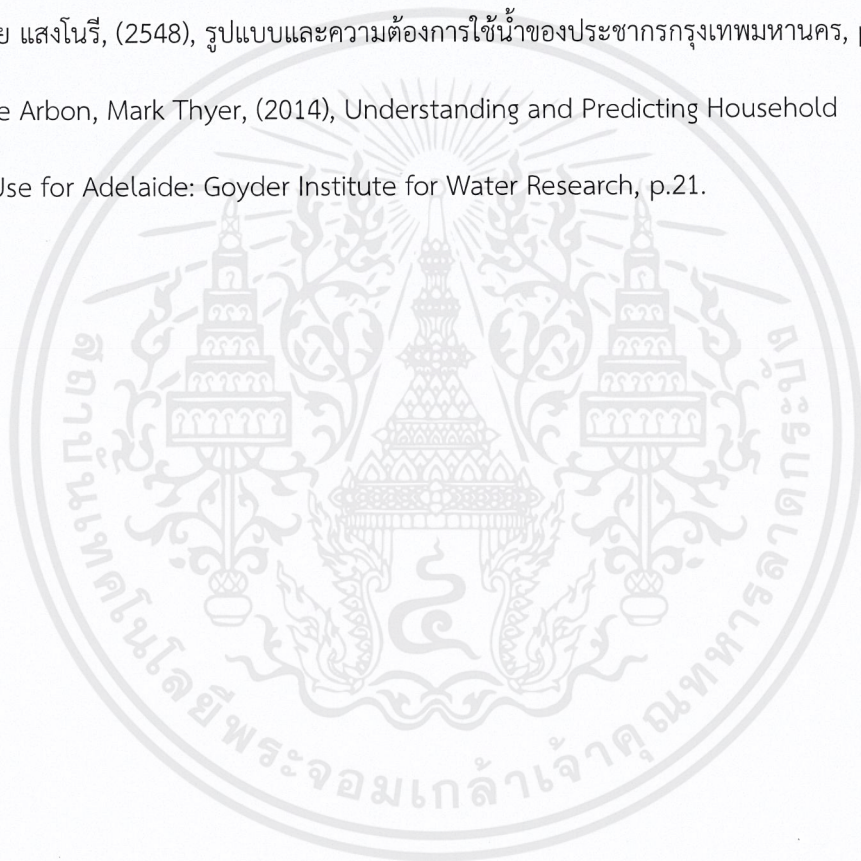
ผลของการวิจัยจากการ Simulation ในโปรแกรม Pumpsim พบว่ามีการใช้พลังงานในอาคารแบบ ใช้ปั๊มขนาดใหญ่สูบน้ำขึ้นครั้งเดียวเท่ากับ 249.2 kwh และมีการใช้พลังงานในอาคารแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วงเท่ากับ 207.1 kwh พบว่ามีการใช้พลังงานในการสูบน้ำลดลง 42.1 kwh หรือคิด เป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 16.9 เปอร์เซ็นต์ หรือลดค่าใช้จ่ายไปได้ปีละ 6,663 บาท และจะมีระยะเวลาในการคืนทุนอยู่ที่ 15 ปี

#### ข้อเสนอแนะ

การติดตั้งหรือเปลี่ยนแปลงระบบภายในอาคารควรต้องมีการหารือหรือหาข้อตกลงกับวิศวกร โยธา หรือสถาปนิกเพื่อดูว่าสามารถติดตั้งเพิ่มเติมได้หรือไม่ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาขึ้นภายหลัง ดูว่าพื้นที่ ใช้สอยที่เสียไปจะคุ้มค่ากับการเปลี่ยนเป็นแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ช่วงมากน้อยเท่าไร

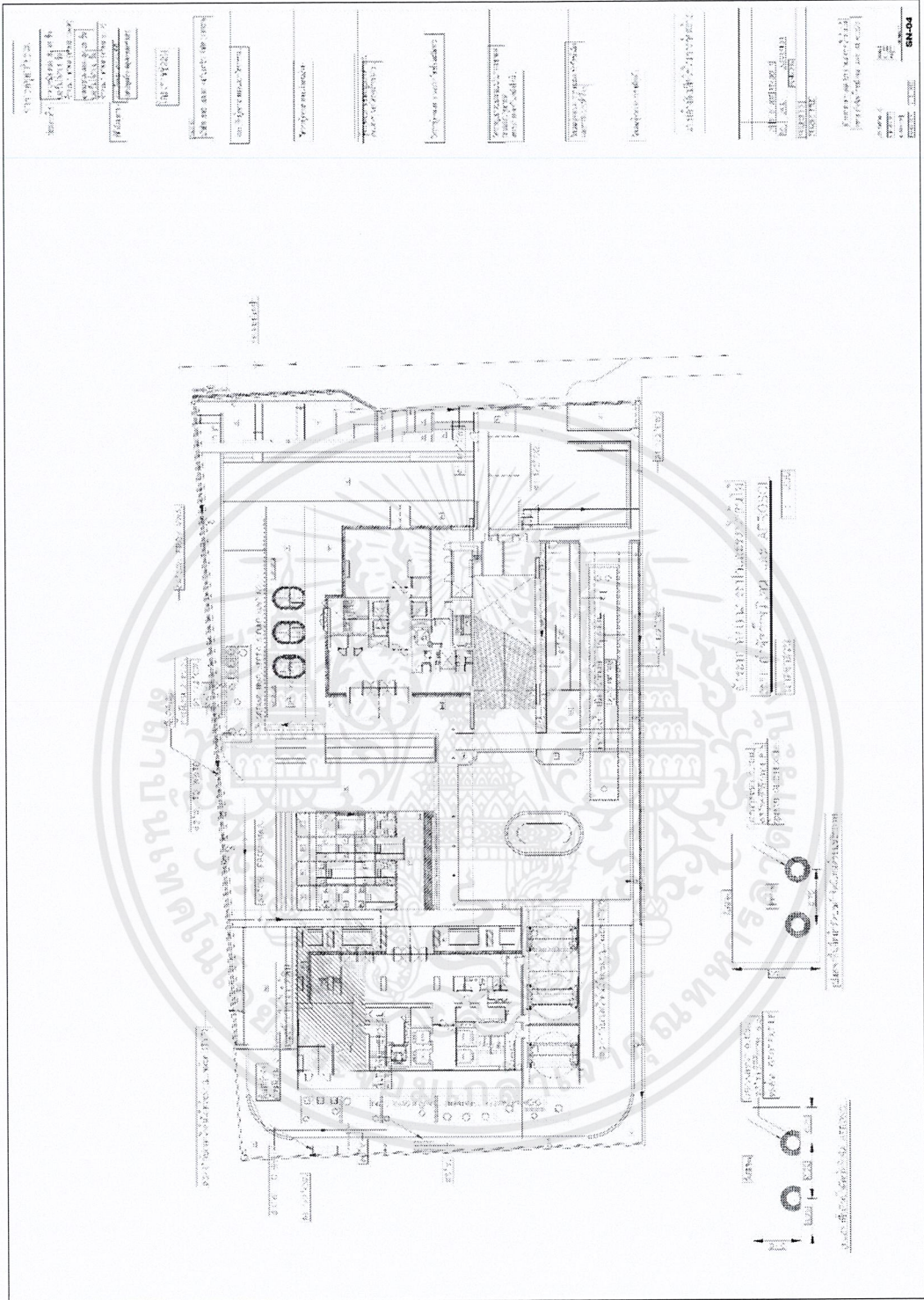
## เอกสารอ้างอิง

- 1.ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, (2558), การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, p. 1-59.
2. J. P. Messina, P.E., (2006), Improving Pumping System Performance: Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, p. 11-51.
- 3.ศุภชัย ชลศึกษ์, (2560), การออกแบบระบบท่อทางวิศวกรรม: ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, p. 113-141.
4. อำนาจ แสงโนรี, (2548), รูปแบบและความต้องการใช้น้ำของประชากรกรุงเทพมหานคร, p.102.
5. Nicole Arbon, Mark Thyer, (2014), Understanding and Predicting Household Water Use for Adelaide: Goyder Institute for Water Research, p.21.

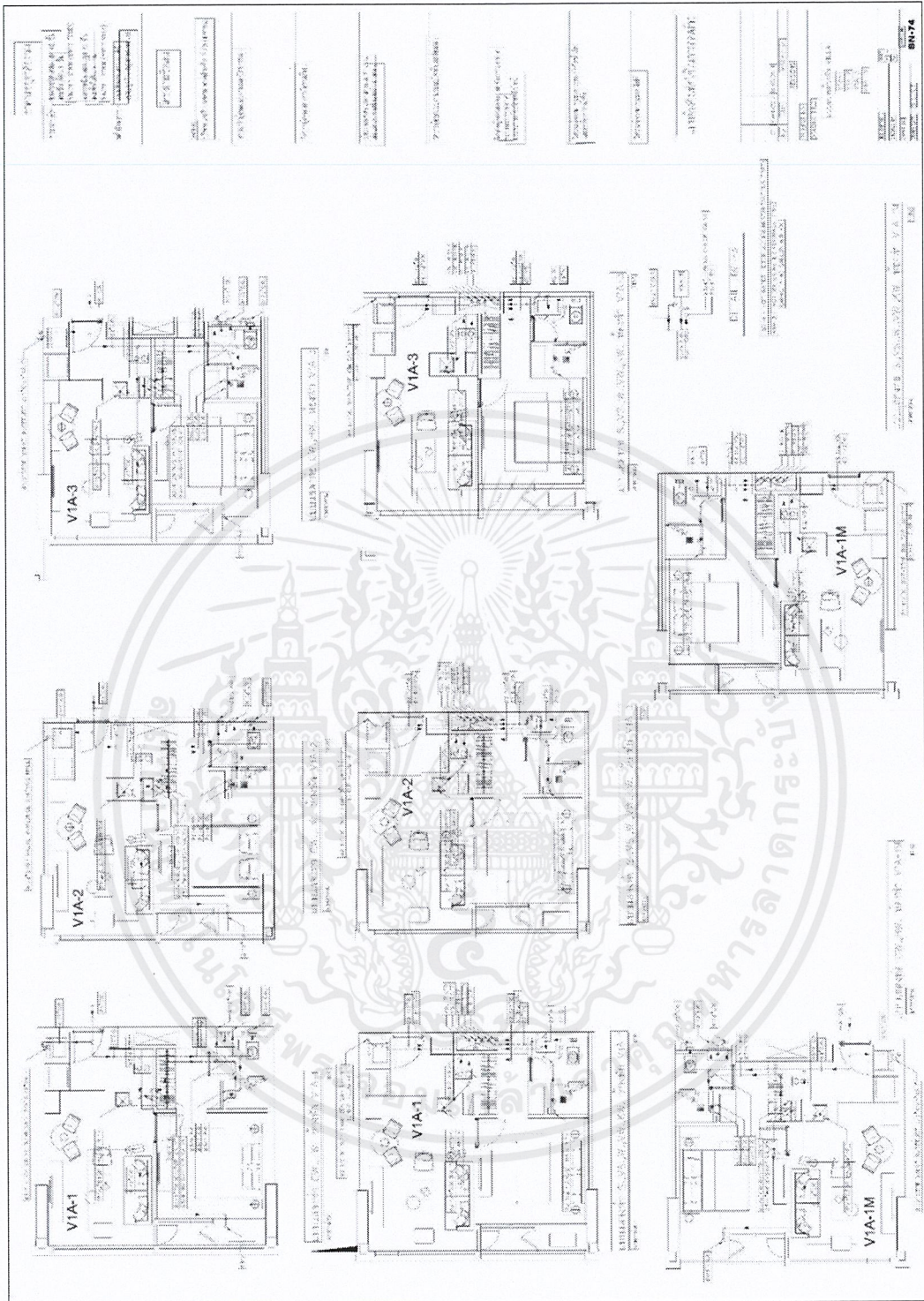




ภาคผนวก



รูปที่ ก.1 แบบอาคารโครงการ 28 chidlom



รูปที่ ก.2 แบบห้องพัก type V1A-1,V1A-1M,V1A-2,V1A-3













รูปที่ ก.8 แบบห้องพัก type V2E,V2G-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







## ใบประมาณราคากลาง

ค่าวัสดุและค่าติดตั้งเพิ่มเติมของระบบแบบใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำขึ้น 2 ชั้น

ลำดับ	รายการ	จำนวน		ราคา หน่วยละ	จำนวนเงิน ค่าของ	จำนวน ค่าแรง	จำนวนเงิน
		จำนวน หน่วย	หน่วย				
1	<b>งานที่ติดตั้งเพิ่มเติม</b>						
	-Pump Helix V 2202	2	ชุด	81,522.00	163,044.00	-	163,044.00
	-Pump Helix V 3603/1	2	ชุด	161,298.00	322,596.00	-	322,596.00
	-Gate Valve 3''	4	ชุด	27,330.00	109,320.00	32,796.00	142,116.00
	-Check Valve 3''	2	ชุด	3,000.00	6,000.00	1,800.00	7,800.00
	-Strainer 3''	2	ชุด	5,700.00	11,400.00	3,420.00	14,820.00
	-Butterfly Valve 3''	1	ชุด	2,500.00	2,500.00	750.00	3,250.00
	แท่งค้ำน้ำคอนกรีต	1	บ่อ	80,000.00	80,000.00	24,000.00	104,000.00
	<b>รวมราคางานที่ติดตั้งเพิ่มเติม</b>						757,626.00
2	<b>วัสดุที่ถูกเปลี่ยนทดแทน</b>						
	-Pump Helix V 3605/2	2	ชุด	235,678.00	501,571.00	-	501,571.00
	-PRV	2	ชุด	61,300.00	122,600.00	36,780.00	159,380.00
	<b>รวมราคางานสุทธิ</b>						96,675.00

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ นายณัฐพงศ์ วนากิตติเสถียร  
วันเดือนปีเกิด 29 กันยายน 2540  
สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

### ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2559 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนอัสสัมชัญระยอง  
พ.ศ. 2562 ศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### สถานที่อยู่ปัจจุบัน

หอ scm place ซอยเก็กงาม1 ห้อง404 441 ซอยฉลองกรุง 1(ซอยคุณหญิงเลียบ)  
ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520