การวิเคราะห์ปัญหาแรงดันน้ำในท่อส่งน้ำประปา
ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET 2.0

สิระ อวยพร

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2561

Analysis of Water Pressure Problems in Waterworks Pipeline using EPANET 2.0 Mathematical Model

Sira Uaybhorn

A Thematic Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Collage if Innovative Technology and Engineering

Dhurakij Pundit University

2018

ใบรับรองสารนิพนธ์

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อสารนิพนธ์ การวิเคราะห์ปัญหาแรงดันน้ำในท่อส่งน้ำประปาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET 2.0

เสนอโดย สิระ อวยพร

สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ อาจารย์ ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์แล้ว

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

(อาจารย์ ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ ..17..... เดือน .....กรกฎาคม... พ.ศ. ...2567..

หัวข้อสารนิพนธ์ การวิเคราะห์ปัญหาแรงดันน้ำในท่อส่งน้ำประปาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET 2.0
ชื่อผู้เขียน สิระ อวยพร
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์
สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัญหาแรงดันน้ำในท่อส่งน้ำประปาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์EPANET2.0 โดยการทำการสร้างแบบจำลองระบบท่อส่งน้ำประปาด้วยโปรแกรม EPANET 2.0 โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานของการประปานครหลวง และทำการการสอบเทียบแรงดันระหว่างแบบจำลองกับจุดส่งน้ำภาคสนาม ทั้งหมด จำนวน 44 จุด ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งเมื่อสอบเทียบรวมทั้งปรับแก้แบบจำลองแล้ว สามารถนำแบบจำลองมาใช้ในการจำลองการปรับปรุงท่อประปาในกรณีศึกษาต่างๆโดยมิต้องดำเนินการจริง เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มแรงดันในพื้นที่ศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่าผลการจำลองระบบท่อประปาในพื้นที่ศึกษา บนโปรแกรม EPANET 2.0 สามารถจำลองระบบท่อส่งน้ำประปาได้จริง จากการสอบเทียบแรงดันเฉลี่ยระหว่างจุดวัดภาคสนามกับค่าแรงดันเฉลี่ยที่โปรแกรมประมวลผล EPANET 2.0 มีค่าความแตกต่างของแรงดันเฉลี่ย 0.35 เมตร คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 3.01 และจากผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติเชื่อมั่นว่าแบบจำลองสามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลจริงได้ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หลังจากนั้นนำแบบจำลองระบบท่อประปานำไปประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษาทั้ง 4 กรณี คือ (1) ปรับปรุงเส้นท่อประธานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 800 มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนรัชดาภิเษก ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง ถนนกำแพงเพชร 2 ความยาวประมาณ 1,350 ม. ค่าเฉลี่ยของแรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 12.33 เมตร ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง 29,520 บาทต่อเมตร (2) ปรับปรุงเส้นท่อประธานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม. เป็น 1200 มม. บริเวณถนนแจ้งวัฒนะตั้งแต่คลองประปาถึงซอยแจ้งวัฒนะ 14 ความยาวประมาณ 730 ม. ค่าเฉลี่ยของ

แรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 12.07 เมตร ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง 31,860 บาทต่อเมตร (3) การปรับปรุงเส้นท่อประธานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนประชาชื่นตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง แยกประชาชื่นตัดถนนประชาราษฎร์สาย 2 ความยาวประมาณ 2,800 ม. ค่าเฉลี่ยของแรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 13.37 เมตร ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง 21,450 บาทต่อเมตร (4) การปรับปรุงทั้งหมด 3 กรณีตามข้างต้น ค่าเฉลี่ยของแรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 13.68 เมตร ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง 24,580 บาทต่อเมตร ทางเลือกที่ดีที่สุดในการนำเอาแบบจำลองมาประยุกต์ใช้ คือกรณีที่ (3) เนื่องจากค่าเฉลี่ยแรงดันในภาพรวมเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 11.98 รวมถึงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง 21,450 บาทต่อเมตร ซึ่งต่ำที่สุดจากทุกกรณี จึงเห็นควรปรับปรุงกรณีที่ (3) เพื่อเพิ่มแรงดันในพื้นที่เป็นลำดับแรก

Thematic Paper Title	Analysis of Water Pressure Problems in Waterworks Pipeline using EPANET 2.0 Mathematical Model
Author	SiraUaybhorn
Thematic Paper Advisor	Dr. NatapatAreerakulkan
Department	Engineering Management
Academic Year	2017

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze water pressure problems in waterworks pipeline using EPANET2.0 mathematic model. By using database from Metropolitan Waterworks Authority (Thailand), calibrating water pressure between simulation and actual 44 spots in the field, and adjusting the simulation model after calibration, the simulation could be used to represent the case study without performing the real experiment in the field.

The result from the study showed that the pipeline simulation model from EPANET 2.0 program gives quite satisfied result. The average water pressure comparison between actual field and result from the program has difference at 0.35 meter or 3.01 percent deviation. The pipeline simulation was applied with 4 case studies which are (1) Improving main pipeline from diameter 800 mm. to 1000 mm. on Ratchadapisek Road from Prachanukul junction to Kampangpetch 2 road, which has the length about 1,350 m. The overall average water pressure changed from 11.94 meter to 12.33 meter. The construction expense is 29,520 baht/meter. (2) Improving main pipeline from diameter 1000 mm. to 1200 mm. on Chaengwattana Road from water supply cannel to Soi Chaengwattana 14, which has the length about 730 m. The overall average water pressure changed from 11.94 meter to 12.07 meter The construction expense is 31,860 baht/meter. (3) Improving main pipeline from diameter 600 mm. to 1000 mm. on Prachachuen Road from Prachanukul junction to the junction between Prachachuen Road and Pracharat 2 Road, which has the length about 2,800 m. The overall average water pressure

changed from 11.94 meter to 13.37 meter The construction expense is 21,450 baht/meter. (4) From the previous mentioned 3 case studies the overall average water pressure of the whole area changed from 11.94 meter to 13.68 meter The construction expense is 24,580 baht/meter. The best result from applying the simulation model is case study no. 3. The overall average water pressure in this case could increase 11.98 percent with lowest construction expense, i.e. 21,450 baht/meter. So the first case study which should be selected to implement is case study no. 3.

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์เรื่อง “การวิเคราะห์ปัญหาแรงดันน้ำในท่อส่งน้ำประปา ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET 2.0” ได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์ ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาของการวิจัย อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานสารนิพนธ์

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์จากสำนักงานประปาสาขาประชาชื่น การประปานครหลวง ที่ได้ช่วยในการรวบรวมข้อมูลอีกทั้งได้ให้คำแนะนำเพื่อเพิ่มพูนความรู้ จึงทำให้สารนิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ประโยชน์อันใดที่เกิดจากสารนิพนธ์ เป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่าน

สิระ อวยพร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ฆ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 5

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 34

3. ระเบียบวิธีวิจัย..... 38

3.1 ประชากร..... 38

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล..... 38

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	39
	3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	45
4.	ผลการวิจัย	49
	4.1 การสร้างแบบจำลองระบบโครงข่ายท่อประปาด้วยแบบจำลอง EPANET 2.0	49
	4.2 การสอบเทียบแบบจำลองระบบท่อประปา	49
	4.3 การประยุกต์แบบจำลองด้วยกรณีศึกษา	55
5.	สรุปและข้อเสนอแนะ	69
	5.1 สรุปผลการศึกษา	69
	5.2 ข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม		72
ภาคผนวก		75
ประวัติผู้เขียน		80

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในคุณภาพการบริการ..... 2

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ C ของสูตร Hazen – Williams สำหรับท่อชนิดต่างๆ..... 16

2.2 ค่าความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่..... 14

2.3 แสดงสูตรHeadlossของท่อสำหรับการไหลเต็มรูปแบบ..... 27

2.4 แสดงสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อใหม่..... 28

2.5 แสดงสัมประสิทธิ์Minor Loss สำหรับ Fitting ต่างๆ..... 25

2.6 แสดงตัวอย่างการทำงานของ Time Pattern..... 34

2.7 แสดงการจำลองความต้องการที่เกิดขึ้นจริงที่จุด(Nodes)..... 30

3.1 แสดงค่าแรงดันที่สถานีสูบจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ศึกษา……..... 41

3.2 แสดงค่าอัตราการใช้น้ำรายชั่วโมงเฉลี่ยของแต่จุดภายในพื้นที่ศึกษา..... 43

4.1 ค่าทดสอบทางสถิติ..... 52

4.2 แสดงค่าสอบเทียบแรงดันน้ำที่จุดทางเข้าDMAภายในพื้นที่การศึกษากับแบบจำลองระบบท่อประปา..... 53

4.3 แสดงค่าความแตกต่างของแรงดันน้ำจากแบบจำลองเริ่มต้นกับแบบจำลองกรณีที่ 1..... 56

4.4 แสดงค่าความแตกต่างของแรงดันน้ำจากแบบจำลองเริ่มต้นกับแบบจำลองกรณีที่ 2..... 53

4.5 แสดงค่าความแตกต่างของแรงดันน้ำจากแบบจำลองเริ่มต้นกับแบบจำลองกรณีที่ 3..... 63

4.6 แสดงค่าความแตกต่างของแรงดันน้ำจากแบบจำลองเริ่มต้นกับแบบจำลองกรณีที่ 4..... 66

4.7 แสดงค่าความแตกต่างของแรงดันน้ำในแต่ละกรณี..... 68

4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างปรับปรุงท่อในแต่ละกรณี..... 68

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แผนภูมิเปรียบเทียบคะแนนความพึงพอใจในคุณภาพการบริการ	3
2.1	การไหลเกิดขึ้นเนื่องจากความต่างศักย์	6
2.2	การเพิ่มแรงดันให้ไหลโดยอาศัยเครื่องสูบน้ำ	6
2.3	ปรากฏการณ์และพลังงานเมื่อเกิดการไหลในท่อ	8
2.4	แผนผังสำหรับคำนวณสูตร Hazen – Williams	10
2.5	การกระจายเวกเตอร์ความเร็วของการไหลและความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการไหลในท่อ	13
2.6	การเปลี่ยนแปลงของชั้นของเหลว (Boundary Layer)	14
2.7	แสดง Moody Diagram สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(f)	16
2.8	แสดงกรรมวิธีการผลิตน้ำประปา	17
2.9	ระบบพื้นที่ย่อยเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย (DMA : District Metering Area)	20
2.10	แสดงส่วนประกอบทางกายภาพในระบบจ่ายน้ำ	23
2.11	ตัวอย่าง Pump Curve	31
2.12	ตัวอย่าง Pump Efficiency Curve	32
2.13	ตัวอย่าง Tank Volume Curve	33
3.1	แสดงพื้นที่ภายในสำนักงานประปาสาขาประชาชื่น	40
3.2	แสดงการนำเข้าข้อมูลอัตราส่วนแรงดันน้ำเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมง	45
3.3	แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์	48
4.1	แสดงแบบจำลองระบบโครงข่ายท่อประปาในพื้นที่ศึกษา	44
4.2	แสดงค่าแรงดันระหว่างแบบจำลองระบบท่อประปากับภาคสนาม	51
4.3.	แสดงตำแหน่งการปรับปรุงแบบจำลองกรณีที่ 1	55
4.4	แสดงตำแหน่งการปรับปรุงแบบจำลองกรณีที่ 2	58
4.5	แสดงตำแหน่งการปรับปรุงแบบจำลองกรณีที่ 3	59
4.5	แสดงตำแหน่งการปรับปรุงแบบจำลองกรณีที่ 4	62

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การขนส่งคือการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือบริการจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง หรืออาจมองได้ว่าจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภค การขนส่งวิธีหนึ่งที่สำคัญคือการขนส่งทางท่อ เป็นการขนส่งสินค้าในประเภทของเหลวและก๊าซผ่านเส้นท่อ เช่น น้ำประปา น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งการขนส่งทางท่อจะมีความแตกต่างกับการขนส่งประเภทอื่น คือ อุปกรณ์ในการขนส่งไม่ต้องเคลื่อนย้าย โดยเส้นทางขนส่งทางท่ออาจอยู่บนดิน ใต้ดิน หรือใต้น้ำ ขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิศาสตร์ รวมไปถึงสภาพทางภูมิอากาศ ปัจจุบันประเทศไทยใช้ระบบการขนส่งทางท่อสำหรับสินค้าประเภท น้ำประปา น้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติ โดยสินค้าจะถูกส่งไปยังปลายทางได้ตลอดเวลา รวมถึงมีความปลอดภัยในการขนส่ง สามารถส่งถึงผู้บริโภคได้อย่างรวดเร็ว

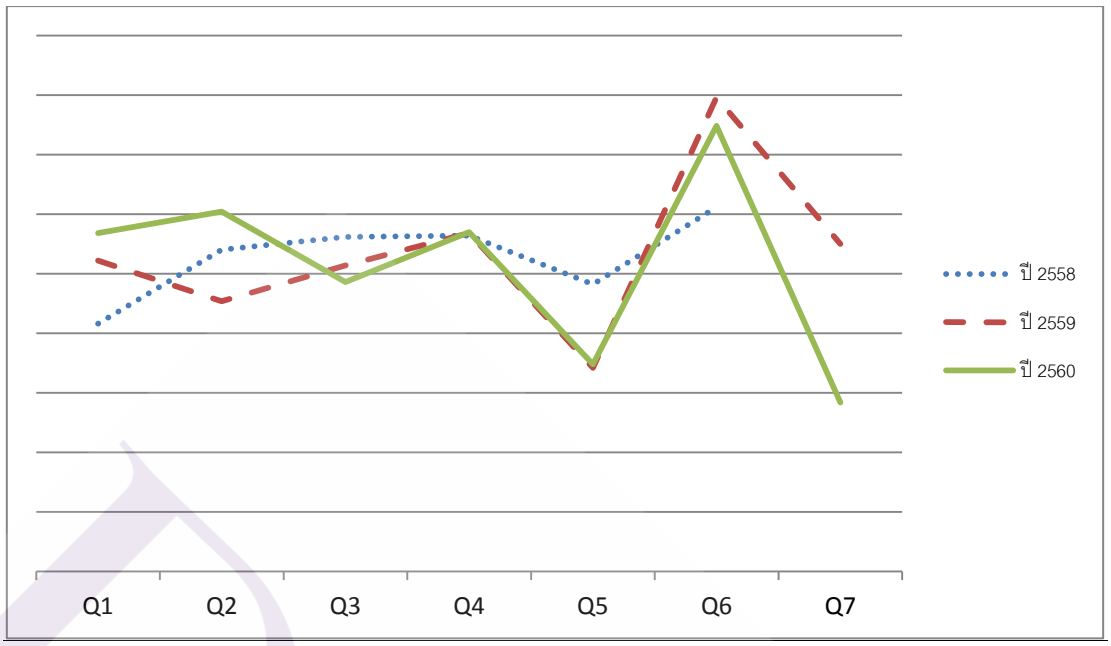
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการขนส่งน้ำประปาเป็นหลัก อย่างที่ประจักษ์อยู่แล้วว่าน้ำมีความสำคัญต่อโลกอย่างมาก เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสิ่งมีชีวิตมาตั้งแต่ยุคโบราณกาล นอกจากจะใช้เพื่ออุปโภคบริโภคในภาคครัวเรือนและในการเกษตรกรรมแล้ว ยังใช้ในภาคอุตสาหกรรมเพื่อผลิตสินค้าออกมาตอบสนองความต้องการของมนุษย์โดยในปัจจุบันความต้องการใช้น้ำมีเพิ่มขึ้นอย่างมากตามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ สำหรับประเทศไทย หน่วยงานที่ดูแลเรื่องน้ำประปาให้แก่ประชาชนคือ การประปานครหลวง เป็นองค์กรรัฐวิสาหกิจในสังกัดกระทรวงมหาดไทย มีหน้าที่ จัดหา ผลิต จัดส่ง รวมไปถึงให้บริการเกี่ยวกับน้ำประปาในเขตพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี และจังหวัดสมุทรปราการ อย่างมีคุณภาพตามมาตรฐานสากลขององค์การอนามัยโลก โดยมีพื้นที่ให้บริการ 3,195 ตร.กม. ซึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็น 18 สาขา คือ 1) สุขุมวิท 2) พระโขนง 3) สมุทรปราการ 4) พญาไท 5) ทุ่งมหาเมฆ 6) แม้นศรี 7) ลาดพร้าว 8) ประชาชื่น 9) บางเขน 10) มีนบุรี 11) สุวรรณภูมิ 12) บางกอกน้อย 13) ตากสิน 14) ภาษีเจริญ 15) สุขสวัสดิ์ 16) นนทบุรี17) บางบัวทอง 18) มหาสวัสดิ์ ตามนโยบายและแผนงานในอนาคตของการประปานครหลวง คือการให้บริการงานประปาที่มีมาตรฐานคุณภาพอย่างมั่นคงทั่วถึงเพียงพอด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย และบุคลากรมืออาชีพ

งานวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาพื้นที่ให้บริการเขตสาขาประชาชื่น โดยในเขตนี้มีจำนวนประชากรอาศัยอยู่จำนวน 97,957 ราย รวมทั้งภายในบริเวณนั้นประกอบด้วยกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม กลุ่มธุรกิจ จำนวน 14,231 ราย ซึ่งใช้น้ำประปาเป็นองค์ประกอบในการผลิตสินค้า

อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มว่าจะมีจำนวนประชากรและปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต ส่งผลให้ในปัจจุบันการให้บริการน้ำประปาในพื้นที่ดังกล่าวประสบปัญหาน้ำไหลอ่อน แรงดันน้ำลดลงต่ำกว่าในอดีต อันเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของประชาชน ก่อให้เกิดภาพลักษณ์ที่ไม่ดีต่อการประปานครหลวง และทำให้ประสิทธิภาพการปฏิบัติงานไม่เป็นไปตามแผนงานและนโยบายในอนาคตที่มุ่งเน้นที่จะให้บริการงานประปาที่ทั่วถึงมีมาตรฐานและคุณภาพดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยรายละเอียดของปัญหาดังกล่าวได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 1.1 และภาพที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในคุณภาพการบริการ

คุณภาพการบริการ	*ปี 2558*	*ปี 2559*	*ปี 2560*	*เปรียบเทียบ ปี2559 - 2560*
กลิ่นของน้ำประปา (Q1)	*4.208*	*4.261*		*0.026*
ความใสสะอาดของน้ำประปา (Q2)	*4.270*	*4.227*	*4.302*	*0.075*
น้ำประปาไหลแรงเพียงพอต่อการใช้งาน (Q3)	*4.281*	*4.257*	*4.243*	*-0.014*
การไหลสม่ำเสมอของน้ำประปา (Q4)	*4.282*	*4.284*	*4.285*	*0.001*
การแจ้งให้ทราบก่อนที่จะหยุดจ่ายน้ำ (Q5)	*4.241*	*4.171*	*4.174*	*0.003*
ความถูกต้องของใบแจ้งหนี้ค่าน้ำประปา (Q6)	*4.306*	*4.398*	*4.374*	*-0.024*
การสื่อสารให้ความรู้ สร้างความเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูลที่สำคัญ (Q7)		*4.275*	*4.142*	*-0.133*
รวมเฉลี่ย	*4.264*	*4.268*	*4.258*	*-0.010*



ภาพที่ 1.1 แผนภูมิเปรียบเทียบคะแนนความพึงพอใจในคุณภาพการบริการ

จากตารางที่ 1.1 และภาพที่ 1.1 แสดงค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในคุณภาพการบริการ จากผลการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้บริการของการประปานครหลวง ปีงบประมาณ 2560 พบว่าคะแนนน้ำประปาไหลแรงเพียงพอต่อการใช้งาน (Q3) ลดต่ำลงจากปี 2558 จนถึง 2560 เท่ากับ 4.281, 4.257 และ4.243 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาภาพที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้ม Q3 ลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ความพึงพอใจในการบริการรวมถึงภาพลักษณ์ของการประปานครหลวงลดลง อันเนื่องมาจากปัญหาความมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบโครงข่ายท่อประปา

อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อจำกัดการทำวิจัยในสถานที่จริง จึงจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม EPANET 2.0 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านชลศาสตร์และคุณภาพน้ำ และยังเป็นแบบจำลองที่สามารถจำลองสถานการณ์หรือพยากรณ์ผลได้ล่วงหน้า และ เป็นที่ยอมรับในหลายประเทศทางด้านการจำลองออกแบบท่อ ดังจะเป็นได้ในการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยหลายๆงาน ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยมีความประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิผลของการวางท่อ ปรับปรุงรายละเอียดเส้นท่อ เพื่อเพิ่มเสถียรภาพในการจ่ายน้ำ ควรมีการศึกษาข้อมูลความเป็นไปได้ที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบการวางท่อ การก่อสร้าง ข้อจำกัดของพื้นที่ เป็นต้น และนำข้อมูลมากำหนด ในการออกแบบจำลองตำแหน่งการวางท่อประปา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการแก้ไขปัญหาแรงดันน้ำประปาไม่เพียงพอต่อความต้องการ ยกระดับชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชน และเพื่อตอบสนองความต้องการได้อย่างทั่วถึง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างแบบจำลองระบบท่อประปาด้วยโปรแกรม EPANET 2.0

2.เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองที่ได้และหาแนวทางในการออกแบบระบบท่อประปาเพื่อปรับปรุงแรงดัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.ศึกษาแรงดันและอัตราการไหลของท่อจ่ายน้ำในพื้นที่ศึกษา ระหว่างวันที่1 ตุลาคม พ.ศ. 2560จนถึง วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ.2560 โดยใช้ฐานข้อมูลจากการประปานครหลวง

2.ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์(EPANET 2.0) ในการสร้างแบบจำลองเส้นท่อในพื้นทีศึกษา โดยใช้ข้อมูลแรงดันน้ำ และอัตราการไหล

3.ศึกษาผลกระทบจากการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์(EPANET 2.0) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์(EPANET 2.0) มาใช้ในการจำลองวางท่อประปา เพื่อเพิ่มเสถียรภาพด้านระบบน้ำประปาในพื้นที่ศึกษา

4.ข้อมูลปริมาณน้ำและแรงดันน้ำ ใช้ข้อมูลจากศูนย์ควบคุมการผลิตและสูบจ่ายน้ำการประปานครหลวง

5.ข้อมูลระบบท่อประปาที่นำมาวิเคราะห์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง มากกว่า 300 มม. ไม่นับรวมอุโมงค์ส่งน้ำ

6.ข้อมูลปริมาณความต้องการใช้น้ำ และแรงดันใช้ข้อมูลจากระบบพื้นที่เฝ้าระวังตรวจสอบน้ำสูญเสีย (District Metering Area : DMA)

7.พื้นที่ทำการศึกษาใช้พื้นที่ของสำนักงานประปาสาขาประชาชื่น Zone DMA 15-01 ถึง 15-08

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อวิเคราะห์แรงดันและอัตราการไหลของท่อประปา ในพื้นที่ศึกษา
2. เพื่อได้แบบจำลองตำแหน่งการวางท่อ ชนิดและขนาดท่อประปาที่เหมาะสม จากการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์(EPANET 2.0) มาใช้ในพื้นที่ศึกษา
3. เพื่อให้เกิดความคุ้มค่า ในการปรับปรุงระบบท่อประปาอย่างมีประสิทธิภาพ
4. เพื่อสามารถพยากรณ์แรงดันและอัตราการไหลของน้ำประปา ให้ตอบสนองต่อความต้องการใช้น้ำประปาของประชาชน
5. เพื่อเพิ่มเสถียรภาพด้านระบบน้ำประปา ให้เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละวันของประชาชน ในพื้นที่ศึกษา

6. เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการประปานครหลวงในการปรับปรุงระบบโครงข่ายท่อประปาให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น
7. เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการประปานครหลวงในการพัฒนาปรับปรุงระบบการทำงาน และสร้างภาพลักษณ์ที่ดีในการให้บริการด้านน้ำประปาแก่ประชาชน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

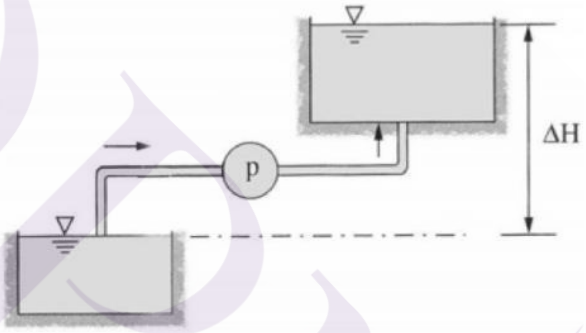
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย		ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย																			
		ก.ย.-60		ต.ค.-60		พ.ย.-60		ธ.ค.-60		ม.ค.-61		ก.พ.-61		มี.ค.-61		เม.ย.-61		พ.ค.-61		มิ.ย.-61	
		สัปดาห์		สัปดาห์		สัปดาห์		สัปดาห์		สัปดาห์		สัปดาห์		สัปดาห์		สัปดาห์		สัปดาห์		สัปดาห์	
		1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
1.	ค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับโครงงานวิจัย																				
2.	ศึกษาวิธีการทำโครงงาน																				
3.	จัดทำโครงงานวิจัย																				
4.	รวบรวมข้อมูล																				
5.	สร้างแบบจำลอง																				
6.	วิเคราะห์ผล และประมาณราคาค่าก่อสร้าง																				
7.	สรุปผล																				
8.	จัดทำรายงาน และนำเสนอ																				

บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

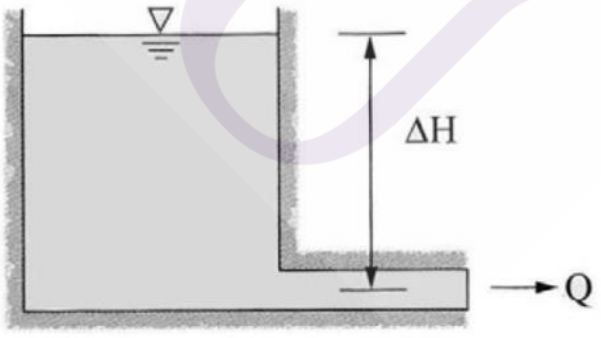
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 นิยามการไหล

การไหลในท่อภายใต้แรงดัน หมายถึงการไหลที่หน้าตัดของของเหลวไหลเต็มพื้นที่หน้าตัดของท่อจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีค่าความต่างศักย์ของแรงดันที่เกิดจากน้ำหนักของเหลวในรูปความสูง(ΔH) ดังภาพที่ 2.1 หรืออาจมีการเพิ่มพลังงาน หรือเพิ่มแรงดันของการไหลโดยอาศัยเครื่องมือกล ได้แก่ เครื่องสูบน้ำซึ่งทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานกลให้เป็นพลังงานชลศาสตร์ (Hydraulic Energy) แก่น้ำดังภาพที่ 2.2 ทำให้สามารถยกระดับการไหลตามต้องการ



ภาพที่ 2.1 การไหลเกิดขึ้นเนื่องจากความต่างศักย์



ภาพที่ 2.2การเพิ่มแรงดันให้ไหลโดยอาศัยเครื่องสูบน้ำ

ที่มา: โชติไกร(2546)

2.1.2 ประเภทการไหลในท่อภายใต้ความดัน

ประเภทการไหลในท่อภายใต้ความดัน แบ่งได้เป็นการไหลคงที่ และการไหลไม่คงที่ จากการศึกษาของนักชลศาสตร์ที่ผ่านมาพบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการไหล และพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการไหล ได้แก่ ความเร็วของการไหล(v), ความหนืดของการไหล(μ) และขนาดของท่อ (D) ซึ่งอยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์ที่เรียกว่า Reynolds number(R_e)ดังนี้

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{vD}{V}$$

เมื่อ R_e = ค่า Reynolds Number

ρ = ความหนาแน่นของของไหล (Kg/m^3,slug/ft^3)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m,ft)

v = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ (m/s,ft/s)

μ = ความหนืดจลน์ (Dynamic viscosity) ของของไหล (N.s/m^2,lb.s/ft^2)

V = ความหนืดเปรียบเทียบ (Kinematic viscosity)ของของเหลว

โดยทั่วไปจะจำแนกชนิดของการไหลตามค่า R_eดังนี้คือ

R_e < 2000 การไหลในท่อจะเป็นแบบราบเรียบ (Laminar) เส้นแนวการไหลจะราบเรียบ

$2000 < R_e < 4000$ การไหลจะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลง (Transition) จากการไหลแบบราบเรียบ เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent) เส้นแนวการไหลจะพลิ้วไหว

R_e > 4000 เส้นแนวการไหลในท่อจะเป็นแบบปั่นป่วนสมบูรณ์

2.1.3 สมการที่ใช้วิเคราะห์การไหลในท่อภายใต้ความดัน

การวิเคราะห์การไหลที่เป็นการไหลคงที่จะอาศัยสมการพื้นฐาน 3 สมการ คือ

2.1.3.1 สมการการไหลต่อเนื่อง (Continuity Equation) รูปสมการทั่วไป คือ

$$Q_{in} = Q_{out}$$

เมื่อ Q_{in} = อัตราการไหลเข้าที่หน้าตัดควบคุมทางเข้า (m^3/s,ft^3/s)

Q_{out} = อัตราการไหลออกที่หน้าตัดควบคุมทางออก (m^3/s,ft^3/s)

2.1.3.2 สมการพลังงาน (Energy or Bernoulli's equation)

$$E_{in} = E_{out}$$

เมื่อ E_{in} = พลังงานรวมทั้งหมดที่ทางเข้า = $Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}$

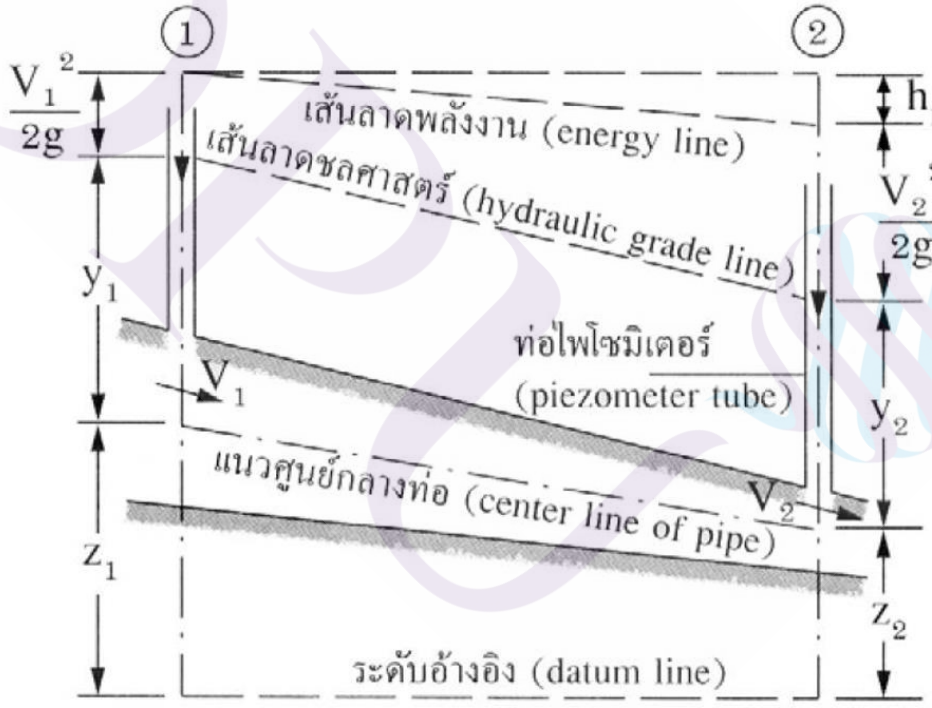
E_{out} = พลังงานรวมทั้งหมดที่ขาออก = $Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$

2.1.3.3 สมการโมเมนตัม (Momentum equation)

$$\sum F = \rho Q(V_{out} - V_{in})$$

เมื่อ V_{out} = ความเร็วของการไหลที่หน้าตัดทางออก (m/s, ft/s)

V_{in} = ความเร็วของการไหลที่หน้าตัดทางเข้า (m/s, ft/s)



ภาพที่ 2.3 ปรากฏการณ์และพลังงานเมื่อเกิดการไหลในท่อ

ที่มา: VenTe Chow(1986

2.1.3.4.HGL และ EGL

HGL (Hydraulic Grade Line)หรือเส้นลาดชลศาสตร์ คือเส้นที่แสดงระดับพลังงานหัวหรือความดัน $\frac{P}{\gamma}$เหนือแนวศูนย์กลางของเส้นท่อ ตามภาพที่ 2.3

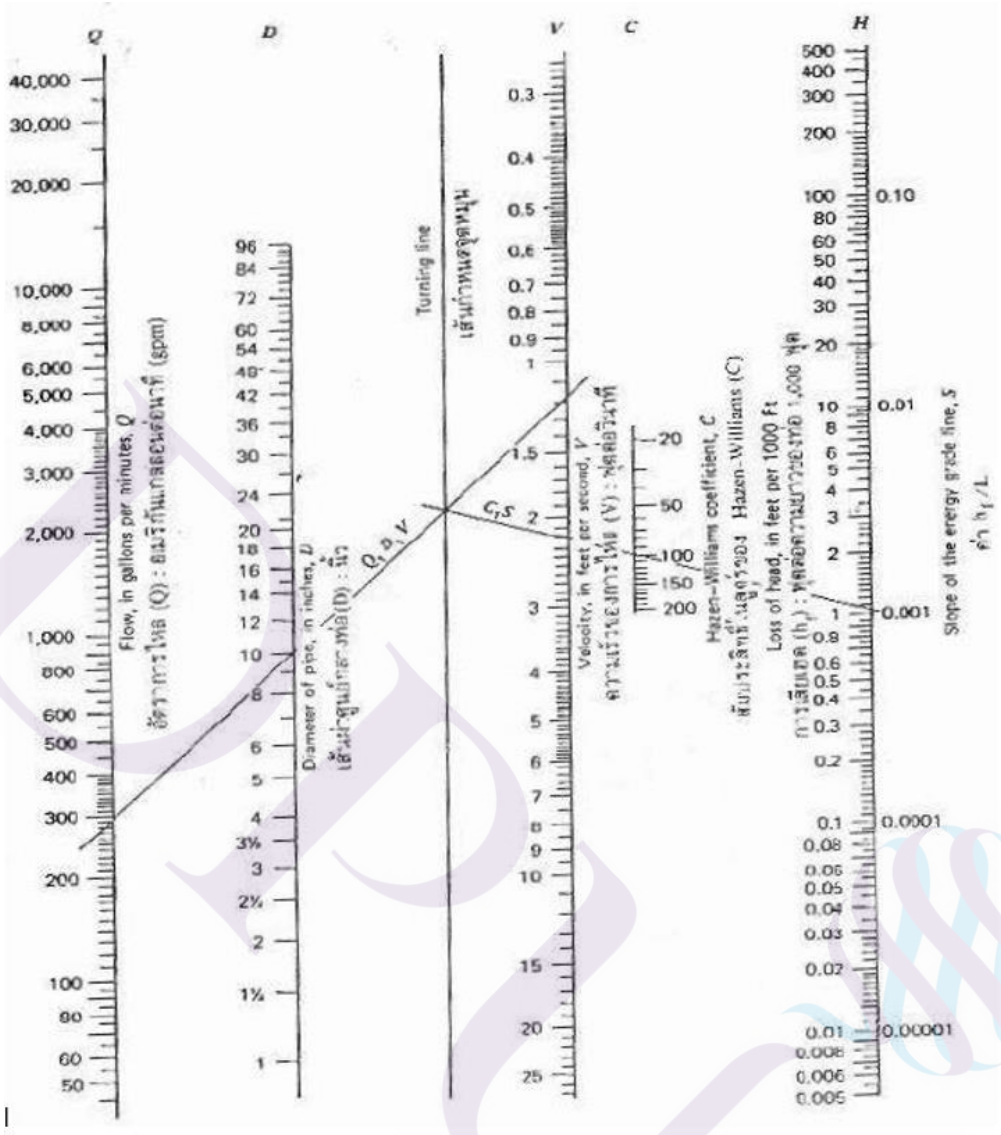
EGL (Energy Grade Line) หรือเส้นลาดพลังงาน คือระยะของหัวพลังงานในช่วงของ $\frac{V^2}{2g}$ที่เพิ่มขึ้นเหนือเส้น HGL ตามภาพที่ 2.3

2.1.4 การสูญเสียหัวแรงดัน หรือพลังงานในท่อ

การสูญเสียหัวแรงดันในเส้นท่อ จำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ 1) การสูญเสียหลัก (Major Losses) ที่เกิดจากแรงเสียดทานของการไหลตามแนวยาวของเส้นท่อ 2) การสูญเสียรอง (Minor Losses) ที่เกิดจากอุปกรณ์ประกอบ เช่น ปากทางเข้าข้อลดข้องอ เป็นต้น

2.1.4.1 การสูญเสียหลัก (Major Losses, H_f) มีสมการที่ใช้คำนวณหลายสมการ เช่น

2.1.4.1.1 สูตรของ Hazen – Williams นิยมใช้กับงานระบบท่อประปาเนื่องจากมีแผนผังอัตราการไหลในเส้นท่อ และความเร็ว ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์ ตามภาพที่2.4



ภาพที่ 2.4 แผนผังสำหรับคำนวณสูตร Hazen – Williams

ที่มา: David(1969)

ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการคำนวณได้สะดวกไม่ยุ่งยาก โดยแบ่งเป็น

ระบบ SI V = $0.85CR^{0.63}S^{0.54}$

ระบบอังกฤษ V = $1.318CR^{0.63}S^{0.54}$

เมื่อ V = ความเร็วของการไหลในท่อ (m/s, ft/s)

C = สัมประสิทธิ์ชนิดของท่อ (ตารางที่ 2.1)

R = รัศมีชลศาสตร์ = A/P = D/4 เมื่อน้ำไหลเต็มท่อ (m, ft)

S = ค่าการสูญเสียหัวแรงดันเนื่องจากความฝืดต่อหนึ่งหน่วยความยาวท่อ

โดยที่ $S = \frac{h_f}{L}$ หรือ $H_f = SL$

แทนค่า S ลงในสมการ V แล้วจัดรูปใหม่จะได้

ระบบ SI $$H_f = \left[\frac{V^{1.85}}{(0.85C)^{1.85}R^{1.17}}\right]L$$

ระบบอังกฤษ $$H_f = \left[\frac{V^{1.85}}{(1.318C)^{1.85}R^{1.17}}\right]L$$

โดยที่ L คือ ความยาวของเส้นท่อที่พิจารณา

เมื่อท่อมีอายุการใช้งานมากขึ้นค่า C จะลดลง ในการออกแบบทั่วไป นิยมใช้ C = 100 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เป็นท่อเหล็กหล่อ แต่หากเป็นท่อซีเมนต์ใยหิน (Asbestos Cement) ค่า C จะไม่ลดลงเหมือนท่อเหล็กหล่อ

เมื่ออัตราการไหลผ่านท่อ (Q) มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที (liter/s) และขนาดท่อ (D) เป็นมิลลิเมตร (mm) สูตรของ Hazen – Williams จะอยู่ในรูป

$$Q = 3.587X10^{-6}CD^{2.63}S^{0.54}$$

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ C ของสูตร Hazen – Williams สำหรับท่อชนิดต่างๆ

ชนิดของท่อ	***ค่า C***
ท่อซีเมนต์ใยหิน, PVC	***140***
ท่อทองเหลือง	***130-140***
ท่ออิฐก่อ	***100***
ท่อเหล็กหล่อ	
ใหม่ และไม่ดาด	***130***
เก่า และไม่ดาด	***40-120***
ดาดด้วยซีเมนต์	***130-150***
ดาดด้วยสีน้ำมันดิน	***140-150***
ทาด้วยสีน้ามันดิน	***115-135***
ท่อคอนกรีต หรือดาดด้วยคอนกรีต	
หล่อด้วยแบบเหล็ก	***140***
หล่อด้วยแบบไม้	***120***
หล่อด้วยการหมุนด้วยแรงเหวี่ย	***140***
ท่อทองเหลือง	***130-140***
สายดับเพลิง (ดาดด้วยยาง)	***135***
ท่อเหล็กชุบสังกะสี	***120***
ท่อแก้ว	***140***
ท่อตะกั่ว	***130-140***
ท่อพลาสติก	***140-150***
ท่อเหล็กเหนียว	
ดาดด้วยสีน้ำมันดิน	***145-150***
ใหม่ไม่ดาด	***140-150***
ม้วนต่อด้วยหมุดย้ำ	***110***
ท่อดีบุก	***130***
ท่อดินเหนียว	***100-140***

ที่มา:วิบูลย์(2529)

2.1.4.1.2สูตรของ Darcy – Weisbach เป็นสมการที่เกี่ยวกับการสูญเสียหัวความดันที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของของเหลวในท่อทำให้เกิดแรงเสียดทาน

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

โดยที่ h_f = การสูญเสียหลักเนื่องจากความฝืด (m, ft)

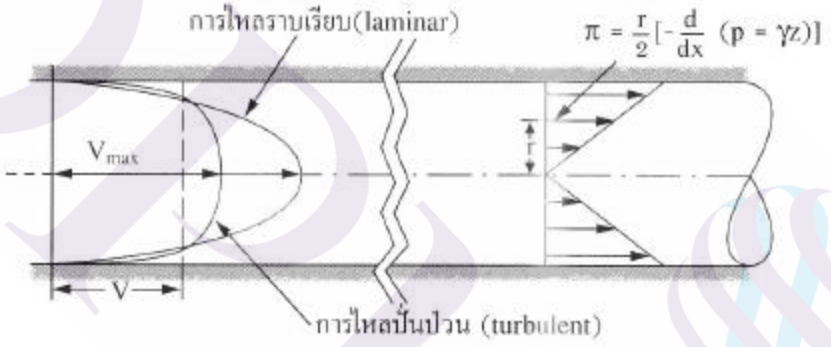
F = สัมประสิทธิ์ความฝืด

L = ความยาวท่อ (m, ft)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (m)

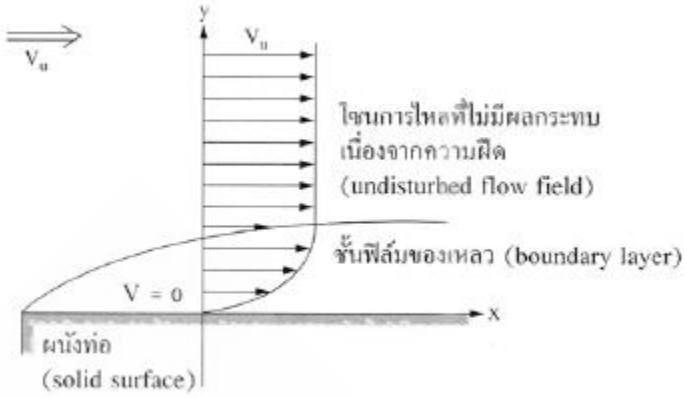
V = ความเร็วของการไหลในท่อ (m/s, ft/s)

g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง ($m/s^2, ft/s^2$)



ภาพที่ 2.5 การกระจายเวกเตอร์ความเร็วของการไหลและความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการไหลในท่อ

ที่มา: Larry(2001)



ภาพที่ 2.6การเปลี่ยนแปลงของชั้นของเหลว (Boundary Layer)

ที่มา: Andrew(1986)

ในกรณีที่การไหลเป็นแบบราบเรียบ ค่า $R_e < 2000$ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) หาได้จากสมการ

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

จากสมการจะพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f)ขึ้นกับค่า R_e โดยไม่ขึ้นอยู่กับความขรุขระ (Roughness,$\in$) ของผนังท่อ

เมื่อการไหลเป็นแบบปั่นป่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f)จะขึ้นอยู่กับค่า R_eและอัตราส่วนความขรุขระสัมพัทธ์ (Relative Roughness, $\in$/D)

จากการทดลองโดยให้น้ำไหลผ่านท่อพบว่าแม้การไหลจะเป็นแบบปั่นป่วนก็ตามแต่จะมีชั้นบางๆติดกับผนังท่อและมีการไหลแบบราบเรียบตามภาพที่ 2.6ความหนาของชั้นนี้จะลดลงเมื่อ R_eเพิ่มขึ้นหรือเมื่อการไหลมีความปั่นป่วนมากขึ้นถ้าความขรุขระผนังท่อน้อยกว่าชั้นความหนาการไหลเป็นแบบราบเรียบอัตราส่วน, $\in$/Dจะไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน(f)และถือว่าท่อนั้นเป็นท่อเรียบทางชลศาสตร์ (Hydraulically Smooth Pipe)

ในทางตรงกันข้ามหากความขรุขระที่ผนังท่อ ($\in$) สูงกว่าชั้นที่การไหลเป็นแบบราบเรียบส่วนที่สูงกว่าก็จะก่อให้เกิดความปั่นป่วนในการไหลมากขึ้นมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน(f)เพิ่มขึ้นโดยตรงถ้าผนังท่อขรุขระมากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน(f)จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วน$\in$/D เพียงอย่างเดียวไม่ขึ้นอยู่กับR_e

ค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน (f) คำนวณได้จาก

เมื่อผนังก่อเรียบ (Hydraulically Smooth Pipe) หรือϵ<ชั้นฟิล์มของเหลวใกล้ผนังท่อ

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log\left(\frac{R_e\sqrt{f}}{2.51}\right)$$

เมื่อผนังท่อขรุขระมากจนทำให้การไหลเป็นแบบปั่นป่วนอย่างแท้จริงหรือϵ>ชั้นฟิล์มของเหลวใกล้ผนังท่อ

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log\left(3.7\frac{D}{\epsilon}\right)$$

ในทางปฏิบัติการคำนวณสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) นิยมอ่านค่าจาก Moody Diagram ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 2.7

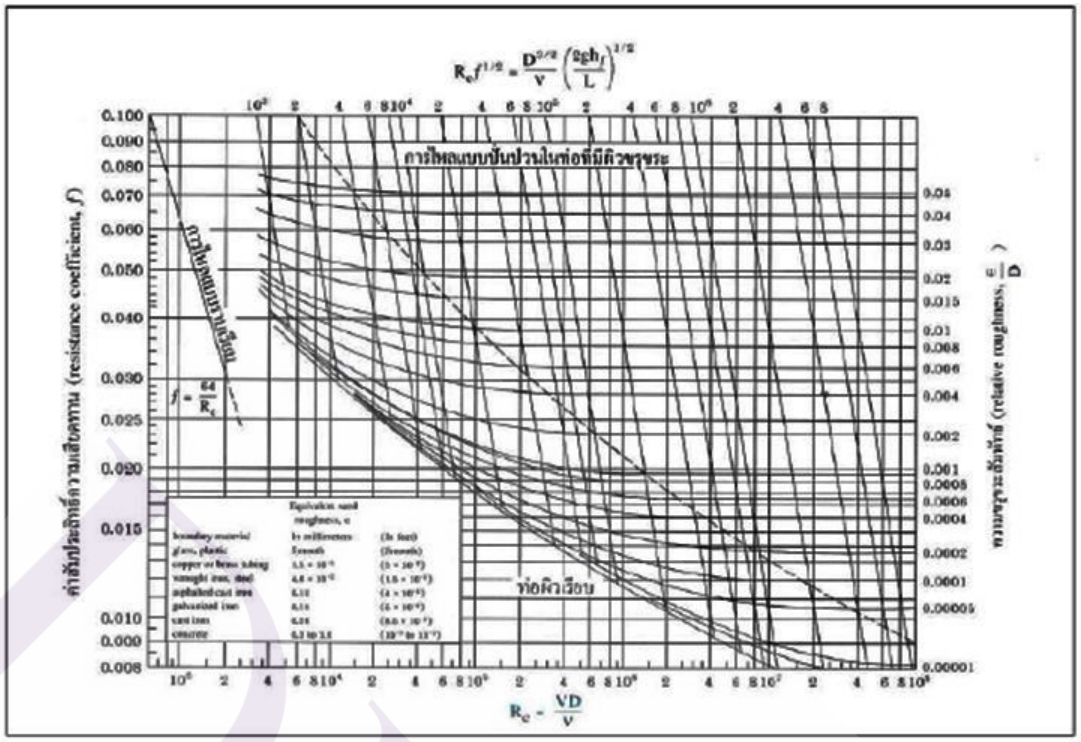
ค่าความขรุขระของผนังท่อใหม่ซึ่งจำเป็นต้องใช้ร่วมกับ Moody diagram ให้ไว้ในตารางที่ 2.2เมื่อท่อมีอายุการใช้งานมากขึ้นผนังท่ออาจจะผุกร่อนหรือมีสนิมทำให้ความขรุขระสูงขึ้นสำหรับท่อน้ำที่ทำด้วยเหล็กความขรุขระเมื่อมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นประมาณได้จากสมการ

$$\epsilon = \epsilon_0 + \alpha_t$$

เมื่อ ϵ = เป็นความขรุขระเมื่อท่อมีอายุการใช้งาน 1 ปี

ϵ_0 = เป็นความขรุขระเมื่อเริ่มใช้งาน

α = สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0002 – 0.007



ภาพที่ 2.7แสดง Moody Diagram สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(f)

ที่มา: Larry(2001)

ตารางที่ 2.2 ค่าความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่

ชนิดของท่อ	ϵ*(ft)*	ϵ *(mm)*
·ท่อแก้ว ท่อรีดจากทองเหลือง ทองแดงและตะกั่ว	*เรียบ*	*เรียบ*
ท่อเหล็กเหนียว	$1.5x10^{-4}$	*0.045*
ท่อเหล็กหล่ออาบยางมะตอย	$4.0x10^{-4}$	*0.12*
ท่อเหล็กชุบสังกะสี	$5.0x10^{-4}$	*0.15*
ท่อเหล็กหล่อธรรมดา	$8.5x10^{-4}$	*0.26*
ท่อไม้	$2.0x10^{-3}$	*0.61*
ท่อคอนกรีต	$4.0x10^{-3}$	*1.22*

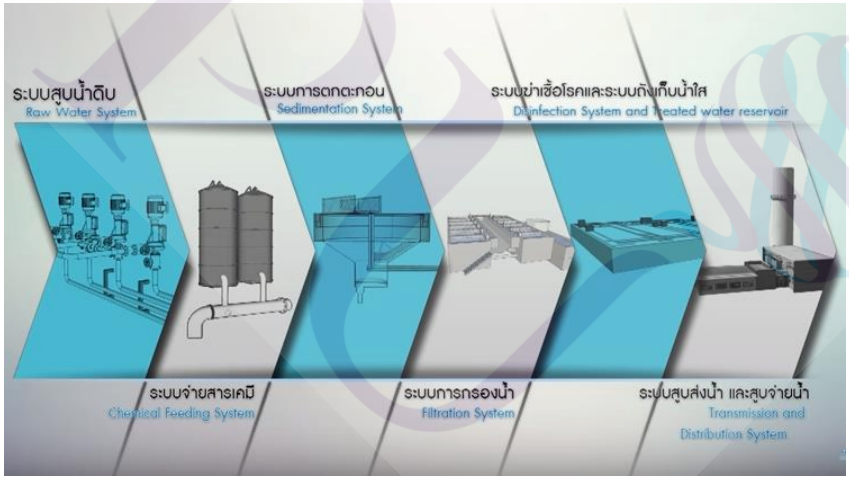
ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ชนิดของท่อ	ϵ*(ft)*	ϵ *(mm)*
ท่อเหล็กม้วนต่อด้วยหมุดย้ำ	$6.0x10^{-3}$	*1.83*
ท่อโลหะลูกฟูก	*0.10-0.20*	*30.00-60.00*
อุโมงค์ขนาดใหญ่ ดาดด้วยคอนกรีต หรือเหล็ก	*0.002-0.004*	*0.60-1.20*
อุโมงค์ที่เจาะด้วยการระเบิดหิน	*1.0-2.0*	*300-600*
ท่อ PVC	$5.0x10^{-5}$	*0.0015*

ที่มา: David(1969)

2.1.5 แนวคิดด้านการผลิตและโครงข่ายท่อประปา การประปานครหลวง

2.1.5.1 กรรมวิธีผลิตน้ำประปา



ภาพที่ 2.8 แสดงกรรมวิธีการผลิตน้ำประปา

ที่มา:การประปานครหลวง(2557)

- ระบบสูบน้ำดิบ

น้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยา จะถูกลำเลียงเข้าคลองประปา ปรับปรุงคุณภาพตามธรรมชาติ เมื่อเข้าสู่โรงงานผลิตจะผ่านตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด เพื่อป้องกันเศษพืช

- ระบบจ่ายสารเคมี

เมื่อน้ำดิบถูกสูบส่งไปตามท่อน้ำดิบ จะถูกจ่ายสารเคมี ปูนขาว คลอรีน เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ

- ระบบการตกตะกอน

น้ำดิบจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน และเติมสารช่วยตกตะกอน Polyelectrolyte เพื่อลดความขุ่นของของสารแขวนลอยขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนขึ้นไป

- ระบบกรองน้ำ

ใช้ระบบการกรองน้ำแบบการกรองเร็ว มีอัตราการกรองน้ำ 75,000-100,000 ลบ.ม. โดยผ่านสารกรองน้ำคือ ชั้นถ่านแอนทราไซต์ 80 ซม. สู่ชั้นทราย 40 ซม.

- ระบบฆ่าเชื้อโรคและถังเก็บน้ำใส

น้ำจากการกรองจะไหลเข้าสู่ระบบการฆ่าเชื้อโรคภายในถังเก็บน้ำใส โดยเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคตามมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (WHO) และเติมปูนขาวเล็กน้อยเพื่อป้องกันการกัดกร่อนในระบบเส้นท่อ

- ระบบสูบส่งน้ำและสูบจ่ายน้ำ

สถานีสูบส่งน้ำสูบน้ำจากถังเก็บน้ำใสผ่านอุโมงค์ส่งน้ำขนาดใหญ่ ไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำปลายทางที่กระจายอยู่ในพื้นที่ให้บริการต่าง โดยในระบบสูบจ่ายน้ำต้องมีคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาไม่ต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และต้องไม่พบแบคทีเรียเชื้อโรคระบาดต่างๆที่สามารถแพร่ได้ทางน้ำ

- ระบบจ่ายน้ำผ่านอุโมงค์ส่งน้ำ

อุโมงค์ส่งน้ำขนาด 1800 มม. ขึ้นไป ไหลเข้าสู่ท่อประธานขนาด 400 – 1800 มม. ต่อด้วยท่อจ่ายน้ำขนาด 100 – 300 มม. สุดท้ายจึงผ่านท่อบริการขนาด 1/2– 3นิ้วจำหน่ายแก่ผู้ใช้น้ำต่อไป

2.1.5.2 หลักการจัดสรรน้ำของการประปานครหลวง

ปัจจุบันกองควบคุมระบบส่งและสูบจ่าย คือหน่วยงานที่รับผิดชอบวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของประชาชนที่ได้รับจากสำนักงานประปาสาขา วางแผนการสูบจ่ายน้ำเพื่อกำหนดปริมาณน้ำและแรงดันของการประปานครหลวง เพื่อประสานงานการปฏิบัติงานกับ

โรงงานผลิตน้ำ สถานีสูบจ่ายน้ำ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลที่ต้องทราบเบื้องต้นเพื่อวางแผนมีดังนี้

1) ความสามารถในการส่งน้ำจากโรงงานผลิตน้ำเข้าสถานีสูบจ่ายน้ำ มีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่นขนาดท่อส่ง, แรงดันของสถานีสูบส่งน้ำ, สถานที่ตั้งของสถานีสูบจ่ายน้ำใกล้หรือไกลจากสถานีสูบส่งน้ำ

2)ความสามารถในการจ่ายน้ำของสถานีสูบจ่ายน้ำ โดยสถานีแต่ละแห่งนั้นมีความสามารถขึ้นอยู่กับจำนวน และขนาดของเครื่องสูบน้ำรวมถึงขนาดของถังเก็บน้ำใส

3)ขนาดของพื้นที่รับผิดชอบในการสูบจ่ายน้ำ โดยปกติสถานีสูบจ่ายน้ำที่อยู่รอบนอกเมืองมักจะรับพื้นที่ในการสูบจ่ายน้ำค่อนข้างกว้างกว่าสถานีสูบจ่ายน้ำที่อยู่ภายในเมือง เนื่องจากพื้นที่รอบนอกมีความหนาแน่นของผู้ใช้น้ำน้อยกว่าภายในเมือง

4)ระบบท่อ การสูบจ่ายน้ำเพื่อเข้าสู่ระบบท่อต้องคำนึงถึงขนาดของท่อ, โครงข่ายท่อและอุปกรณ์ประกอบของระบบท่อ ซึ่งระบบท่อที่นำน้ำไปสู่ผู้ใช้น้ำต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับปริมาณความต้องการใช้น้ำในพื้นที่

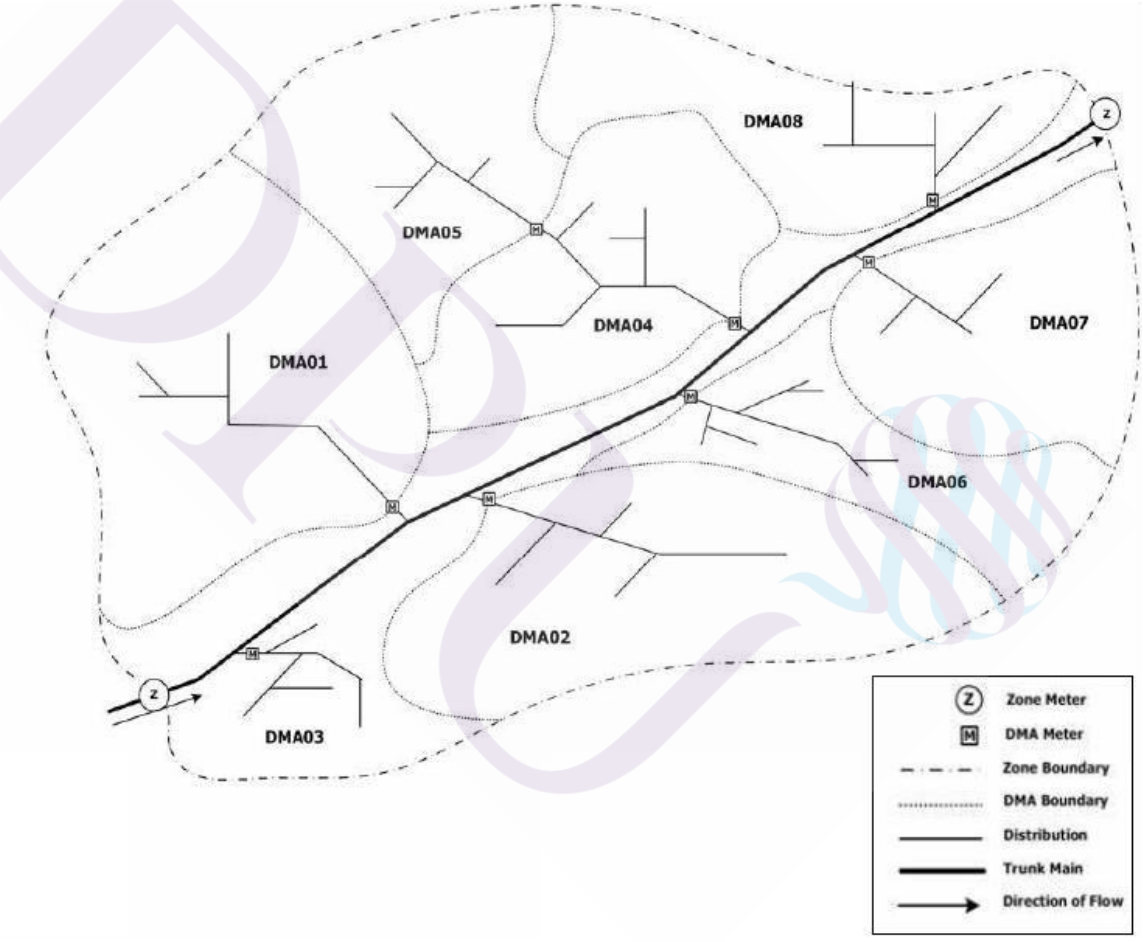
5)ความต้องการใช้น้ำ ลักษณะการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำแต่ละประเภทจะไม่เหมือนกัน เช่น ผู้ใช้น้ำที่เป็นบ้านอยู่อาศัยจะนิยมใช้น้ำช่วงเช้าก่อนไปทำงาน และในช่วงเย็นหลังกลับมาถึงบ้าน ส่วนผู้ใช้น้ำที่เป็นธุรกิจจะใช้น้ำตามการผลิต หรือโรงงานที่ใช้น้ำในการผลิตน้อยจะใช้น้ำมากตอนเวลาพัก และสำนักงานจะใช้น้ำช่วงเวลาทำงานปกติ

2.1.5.3 การดำเนินงานลดน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง

ในปีงบประมาณ 2539 การประปานครหลวงได้เริ่มโครงการปรับปรุงท่อที่ชำรุดหมดสภาพการใช้งาน โดยปรับปรุงท่อจ่ายน้ำขนาด 100 - 300 มม. ในอัตราปีละ 4% ของความยาวท่อจ่ายน้ำทั้งหมด มีการสำรวจหาท่อรั่วใต้ดินปีละ 2 รอบ ของพื้นที่ให้บริการเร่งรัดงานซ่อมท่อแตกรั่วให้แล้วเสร็จภายใน 24 ชั่วโมง หลังจากได้รับแจ้งจุดแตกรั่วในปีงบประมาณ 2544 ได้ว่าจ้างบริษัทเอกชนลดน้ำสูญเสียแบบเบ็ดเสร็จ ซึ่งได้นำระบบพื้นที่เฝ้าระวังตรวจสอบน้ำสูญเสีย (District Metering Area : DMA) มาใช้งาน

ปัจจุบัน การประปานครหลวง อยู่ระหว่างการจัดทำโครงการปรับปรุงเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยปรับปรุงงานลดน้ำสูญเสียให้เป็นระบบมากขึ้น โดยมีการพัฒนาระบบ SCADA และ DMA เพื่อเชื่อมโยงระบบงานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องเข้าด้วยกัน รวมถึงมีการก่อสร้างวางท่อประธานเพื่อเสริมการจ่ายน้ำในบางพื้นที่ด้วย โดยที่การกระปานครหลวงจะพิจารณาดำเนินการในช่วงเวลาที่เหมาะสมในการก่อสร้าง เพื่อลดความเดือนร้อนของประชาชน ระบบพื้นที่ย่อยเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย (DMA) เป็น

ระบบที่ใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการน้ำสูญเสียเชิงรุก (Active Leakage Control) โดยการแบ่งพื้นที่สำนักงานประปาสาขาออกเป็นพื้นที่ย่อย พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดน้ำเข้า น้ำออก รวมทั้งแรงดัน เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำใช้เพื่อหาอัตราน้ำสูญเสียในแต่ละพื้นที่ย่อย ระบบพื้นที่ย่อยเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย (DMA) จะใช้เทคโนโลยีการควบคุม และเฝ้าระวังระยะไกล (SCADA) ส่งสัญญาณอัตราการไหล และแรงดันน้ำผ่านเครื่องส่งสัญญาณระยะไกลไปยังศูนย์ควบคุม (Control Center) เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผล และวิเคราะห์ดังนั้นจึงสามารถทราบอัตราการสูญเสียของน้ำประปาในแต่ละพื้นที่ย่อยได้อย่างรวดเร็ว ช่วยให้ระบบการประปามีประสิทธิภาพมากขึ้น



ภาพที่ 2.9 ระบบพื้นที่ย่อยเฝ้าระวังน้ำสูญเสีย (DMA : District Metering Area)

ที่มา:การประปานครหลวง(2552)

2.1.6 แบบจำลองโครงข่ายระบบท่อ EPANET

Lewis (2000) แบบจำลอง EPANET คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่จำลองพฤติกรรมทางด้าน Hydraulic และ Water Quality กับโครงข่ายเส้นท่อภายใต้แรงดัน โครงข่ายประกอบด้วยท่อ, Node, เครื่องสูบน้ำ, วาล์ว และถังเก็บน้ำหรืออ่างเก็บน้ำEPANET สามารถหาอัตราการไหลในแต่ละเส้นท่อ, แรงดันในแต่ละจุด (Node), ความสูงของน้ำในแต่ละถัง และความเข้มข้นของสารเคมี ตลอดโครงข่ายในระหว่างช่วงเวลาการจำลองซึ่งประกอบด้วยหลายช่วงเวลา

EPANET ได้รับการออกแบบให้เป็นเครื่องมือวิจัยสำหรับการเพิ่มพูนความเข้าใจในการเคลื่อนที่ และจุดสิ้นสุดของน้ำบริโภคในระบบจ่ายน้ำ สามารถประยุกต์ใช้ได้หลายแบบในการวิเคราะห์ระบบจ่าย น้ำ ตัวอย่างเช่น ออกแบบโปรแกรมสุ่มตัวอย่าง, ปรับเทียบแบบจำลอง Hydraulic, วิเคราะห์ Residual Chorine และการประเมินผู้บริโภค

EPANET เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows สำหรับแก้ไขข้อมูลโครงข่ายในส่วนของ Input, ประมวลแบบจำลอง Hydraulic และ Water Quality และการแสดงผลในหลายๆ รูปแบบ ซึ่งรวมถึงการกำหนดรหัสสีในแผนที่โครงข่าย, ตารางข้อมูล, กราฟอนุกรมเวลา และเส้นโครงร่าง

2.1.6.1 Hydraulic Model

Hydraulic Modelระดับน้ำจุดบรรจบและเชื่อมโยงการไหล เพื่อตั้งระดับอ่างเก็บน้ำ, ระดับถังเก็บน้ำ และปริมาณความต้องการน้ำแบบคงที่ จากขั้นตอนหนึ่งไปยังระดับอ่างเก็บน้ำและความต้องการของจุดบรรจบจะถูกปรับปรุงตามรูปแบบเวลาที่กำหนดในขณะที่ระดับถังเก็บน้ำจะถูกปรับปรุงตามการแก้ปัญหาของการไหลการแก้ปัญหาระดับน้ำและการไหลที่จุดใดจุดหนึ่งจะเกี่ยวข้องกับการแก้สมการอนุรักษ์การไหลสำหรับแต่จุดบรรจบ และความสัมพันธ์ Headlossผ่านเชื่อมโยงในโครงข่าย กระบวนการนี้เรียกว่า “Hydraulically Balancing”โครงข่ายต้องใช้เทคนิคซ้ำเพื่อแก้สมการที่ไม่ใช่เส้นตรงEPANET จึงใช้ GradientAlgorithmและความสามารถของ Hydraulic Model มีดังนี้

1) ไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดของโครงข่ายที่จะทำการวิเคราะห์

2) สามารถคำนวณการสูญเสียแรงดันเนื่องจากแรงเสียดทาน (Friction Headloss) โดยใช้สมการHezen-Williams, Dazy-WeisbachหรือChezy-Manning

3) สามารถรวม Minor headlossจากอุปกรณ์ข้อต่อได้

4) สามารถใช้กับเครื่องสูบน้ำซึ่งความเร็วคงที่หรือปรับความเร็วได้

5) คำนวณพลังงานของการสูบน้ำและต้นทุน

6) ใช้กับวาล์วได้หลายชนิดรวมถึง Shutoff, Check, Pressure regulation และ Flow Control วาล์ว

7) สามารถใช้กับถังเก็บน้ำได้หลายแบบ (เช่นเส้นผ่านศูนย์กลางแปรผันกับความสูง)

8) พิจารณาความต้องการในแต่ละจุด(Nodes) ที่ผันแปรตามเวลา

9) แบบจำลองแรงดัน ขึ้นอยู่กับการไหลออกจาก Emitters (หัวกระจายน้ำดับเพลิง)

2.1.6.2 Water Quality Model

Water Quality Model จำลองโดยใช้วิธีLagrangian time-based เพื่อติดตามการเคลื่อนไหวการแยกจากกันของน้ำในขณะที่ไหลไปตามท่อและรวมเข้าด้วยกันที่จุดบรรจบระหว่างช่วงเวลาที่มีความยาวคงที่ ช่วงเวลาน้ำที่มีโดยทั่วไปจะสั้นกว่าขั้นตอนการทำงานของไฮดรอลิค (เช่นนาทีมากกว่าชั่วโมง)เพื่อรองรับการไหลช่วงสั้น ๆ ที่อาจเกิดขึ้นภายในท่อความสามารถของ Water Quality Model มีดังนี้

1) สร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ไม่เกิดปฏิกิริยาผ่านทางโครงข่าย

2) รูปแบบการเคลื่อนไหวของวัตถุที่เกิดปฏิกิริยา ขณะที่มันเติบโตขึ้น (เช่น ผลพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรค) หรือการเน่าเสีย (เช่น คลอรีนตกค้าง)

3) แบบจำลองอายุของน้ำตลอดทั้งโครงข่าย

4) ติดตามเปอร์เซ็นต์ของการไหลจากจุด (Node) ที่ระบุไปถึงจุดอื่น ๆ ทั้งหมด

5) จำลองปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ของของไหล (Bulk flow)และที่ผนังท่อ

6) ใช้จลนพลศาสตร์เพื่อสร้างแบบจำลองปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ของของไหล (Bulk flow)

7) ใช้จลนศาสตร์แบบ Zero หรือ First Order เพื่อทำปฏิกิริยาแบบจำลองที่ผนังท่อ

8) มีข้อจำกัดในการถ่ายเทมวล เมื่อจำลองปฏิกิริยาที่ผนังท่อ

9) ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการเจริญเติบโตหรือการสลายตัวตามข้อจำกัดที่กำหนด

10) ใช้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการตอบสนองทั่วโลกที่สามารถแก้ไขได้

11) ช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเกิดปฏิกิริยาของผนังสัมพันธ์กับความหยาบของท่อ

12) ช่วยให้ความเข้มข้นหรือปัจจัยการผลิตเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาได้ในเครือข่าย

13) จำลองถังจัดเก็บข้อมูลเป็นทั้ง Mix และ Plug Flow

14) ศึกษาปรากฏการณ์คุณภาพน้ำ โดยผสมน้ำจากแหล่งต่างๆ, การสูญเสียคลอรีน, การเพิ่มของสารฆ่าเชื้อโรค และติดตามการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน

ขั้นตอนการจำลองระบบ EPANET 2.0 มี 5 ขั้นตอนดังนี้

1) การเก็บรวบรวมข้อมูล

2) การเตรียมข้อมูลInput สำหรับแบบจำลอง

3) การจำลองระบบสูบจ่ายน้ำด้วยHydraulic Model

4) การสอบเทียบแบบจำลอง

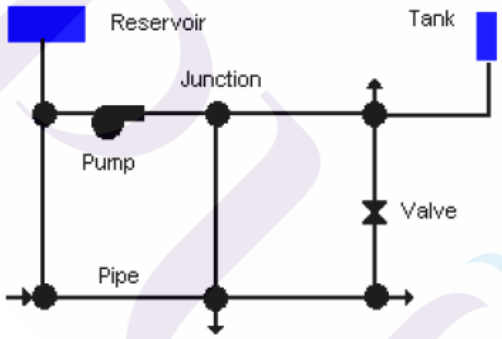
5) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

2.1.6.3 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET

ข้อมูลนำเข้าเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET ประกอบด้วย

1) ข้อมูลทางด้านกายภาพ

แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET จำลองระบบจ่ายน้ำ โดยเชื่อมระหว่างจุด (Node) ซึ่งการเชื่อมต่อใช้แทนเส้นท่อเครื่องสูบน้ำและวาล์วควบคุมส่วนจุด(Node) แทนจุดบรรจบ ถังเก็บน้ำและอ่างเก็บน้ำ



ภาพที่2.10 แสดงส่วนประกอบทางกายภาพในระบบจ่ายน้ำ

ที่มา: EPANET 2 USERS MANUAL(2000, p. 27)

จุดบรรจบ(Junctions) คือ จุดที่อยู่ในโครงข่ายมีการเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน จุดที่น้ำเข้ามาหรือออกจากโครงข่าย ซึ่งจุดบรรจบมีความต้องการแตกต่างกันตามเวลา มีความต้องการเชิงลบซึ่งบ่งชี้ว่ามีน้ำไหลเข้าโครงข่าย รวมถึงหัวกระจายน้ำ(หรือหัวกระจายน้ำดับเพลิง) ซึ่งทำให้อัตราการไหลออกของน้ำอยู่กับแรงดัน ข้อมูลนำเข้าพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับจุดบรรจบ คือ

- ระดับความสูงเหนือจุดอ้างอิง (โดยปกติหมายถึงระดับน้ำทะเล)

- ความต้องการใช้น้ำ (อัตราการใช้น้ำจากโครงข่าย)
- คุณภาพน้ำเริ่มต้น

ผลการคำนวณสำหรับจุดบรรจบในช่วงเวลาทั้งหมดของการจำลอง คือ

- Hydraulic Head (พลังงานภายในต่อหน่วยน้ำหนักของไหล)
- แรงดัน
- คุณภาพน้ำ

อ่างเก็บน้ำ(Reservoirs) คือ จุดแหล่งน้ำภายนอกโครงข่าย เช่นทะเลสาบ, แม่น้ำ, ชั้นหินอุ้มน้ำใต้ดินผูกไว้กับระบบอื่น ๆ อ่างเก็บน้ำยังสามารถใช้เป็นจุดแหล่งน้ำที่มีคุณภาพ

คุณสมบัติการป้อนข้อมูลหลักสำหรับอ่างเก็บน้ำ คือ Hydraulic Head(เท่ากับระดับพื้นผิวน้ำหากอ่างเก็บน้ำไม่อยู่ภายใต้แรงดัน) และการวิเคราะห์คุณภาพเริ่มต้นของน้ำ

เนื่องจากอ่างเก็บน้ำเป็นจุดเชื่อมต่อกับโครงข่าย ระดับสูงสุดของน้ำและคุณภาพน้ำไม่สามารถรับผลกระทบจากสิ่งที่เกิดขึ้นภายในโครงข่าย ดังนั้นจึงไม่มีผลการคำนวณออกมา อย่างไรก็ตามระดับสูงสุดของน้ำสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามเวลาที่กำหนด

ถังเก็บน้ำ(Tanks) คือ จุดที่มีความสามารถในการจัดเก็บน้ำ ซึ่งปริมาตรของน้ำที่เก็บไว้อาจแตกต่างกันไป คุณสมบัติการป้อนข้อมูลหลักสำหรับถังเก็บน้ำคือ

- ระดับก้นถังเก็บน้ำ (ระดับน้ำเป็นศูนย์)
- เส้นผ่าศูนย์กลาง (หรือรูปทรง หากไม่ใช่ทรงกระบอก)
- ระดับน้ำเริ่มต้นต่ำสุดและสูงสุด
- คุณภาพน้ำเริ่มต้น

ผลการคำนวณที่ได้คือ

- Hydraulic Head (ความสูงของระดับน้ำ)
- คุณภาพน้ำ

ถังเก็บน้ำต้องทำงานในระดับต่ำสุดและสูงสุด EPANETหยุดการไหลออกหากถังเก็บน้ำอยู่ในระดับต่ำสุด และหยุดการไหลเข้าหากอยู่ในระดับสูงสุด ถังเก็บน้ำสามารถใช้เป็นจุดแหล่งน้ำที่มีคุณภาพ

หัวกระจายน้ำ(Emitters) คือ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับจุดบรรจบที่จำลองการไหลผ่านหัวฉีดหรือช่องระบายอากาศที่ปล่อยลงสู่ชั้นบรรยากาศ อัตราการไหลผ่าน Emitter แตกต่างกันไปตามแรงดันในแต่ละจุด (Node)

$$q = Cp^{\gamma}$$

เมื่อ q = อัตราการไหล

P = แรงดัน

C = สัมประสิทธิ์ของการไหล

Γ = Pressure Exponent

สำหรับหัวฉีดและหัวฉีดกระจายน้ำγเท่ากับ 0.5 และผู้ผลิตมักจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การของการไหลเป็นหน่วยของ $gpm/psi^{0.5}$ (ไหลผ่านอุปกรณ์ที่ความดัน 1 psi)

หัวกระจายน้ำใช้สำหรับการไหลแบบผ่านระบบสปริงเกอร์และโครงข่ายชลประทาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อจำลองการรั่วไหลในท่อที่เชื่อมต่อกับจุดบรรจบ (ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การไหลและ Pressure Exponent สำหรับรอยรั่วหรือข้อต่อมีการประมาณค่า)

ท่อ(Pipes)คือ การเชื่อมโยงที่นำพาน้ำจากจุดหนึ่งไปยังโครงข่ายอื่น โดยมีสมมติฐานว่าท่อทั้งหมดเต็มตลอดเวลา ทิศทางการไหลมาจากที่สูงกว่าไปยังที่ต่ำกว่าไปที่ส่วนล่างการป้อนข้อมูลไฮดรอลิกหลักสำหรับท่อ ได้แก่

- จุดเริ่มต้น และจุด(Nodes)
- เส้นผ่านศูนย์กลาง
- ความยาว
- สัมประสิทธิ์ความขรุขระ(สำหรับหา Headloss)
- สถานะ(เปิด, ปิด หรือตรวจสอบวาล์ว)

ข้อมูลน้ำเข้าคุณภาพน้ำประกอบด้วย

- Bulk Reaction Coefficient
- Wall Reaction Coefficient

ผลการคำนวณข้อมูลส่งออกของท่อประกอบด้วย

- อัตราการไหล
- ความเร็ว
- ความดันที่สูญเสีย
- ตัวประกอบแรงเสียดทาน Darcy – Weisbach
- อัตราปฏิกิริยาเฉลี่ย (ตลอดความยาวท่อ)

ความสูญเสียความดัน Hydraulic Headlossจากน้ำที่ไหลผ่านท่อเนื่องจากความเสียทานกับผนังท่อสามารถคำนวณโดยใช้สามสูตร ดังนี้

- สูตร Hazen – Williams
- สูตร Darcy – Weisbach
- สูตรChezy – Manning

สูตร Hazen-Williams นิยมใช้มากที่สุดสำหรับหาHeadlossในสหรัฐอเมริกาแต่ไม่สามารถใช้กับของไหลชนิดอื่นนอกจากน้ำโดยใช้สำหรับการไหลแบบ Turbulent เท่านั้นสูตร Darcy –Weisbachเป็นสูตรที่ถูกต้องที่สุดประยุกต์ใช้ได้กับลักษณะการไหลและของเหลวทุกประเภทสูตรChezy-Manning เริ่มนิยมใช้มากขึ้นกับการไหลแบบทางน้ำเปิด

แต่ละสูตรใช้สมการต่อไปนี้เพื่อคำนวณ Headlossระหว่างจุดเริ่มต้นและจุด(Nodes)

$$h_L = Aq^B$$

เมื่อ h_L = Headloss(ความยาว)

Q = อัตราการไหล (ปริมาตร/เวลา)

A = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

B = เลขยกกำลังของอัตราการไหล

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าเลขยกกำลังของอัตราการไหลสำหรับแต่ละสูตรซึ่งใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อที่แตกต่างกัน

สูตร Darcy - Weisbach EPANET ใช้วิธีการที่แตกต่างกันในการคำนวณแรงเสียดทาน Factorซึ่งขึ้นอยู่กับการไหล

- สูตร Hagen-Poiseuilleใช้สำหรับการไหลลื่น (Re <2,000)
- สมการ Swameeและ Jain เพื่อประมาณการไปยังสูตรColebrook-Whiteใช้สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนอย่างเต็มที่ (Re> 4,000)
- ใช้ Cubic Interpolation จากแผนภาพMoody Diagramสำหรับการไหลแบบผสม (Transitional Flow) (2,000 <Re <4,000)

ตารางที่ 2.3 แสดงสูตรHeadlossของท่อสำหรับการไหลเต็มรูปแบบ (สำหรับHeadlossหน่วย feet และอัตราการไหลหน่วยcfs)

Formular	*Resistance Cefficient (A)*	*Flow Exponent (B)*
Hazen-Williams	$4.727C^{-1.852}d^{-4.871}L$	*1.852*
Darcy-Weisbach	$0.0252f(\varepsilon,d,q)d^{-5}L$	*2*
Chezy-Manning	$4.66n^2d^{-5.33}L$	*2*

ตารางที่ 2.4แสดงสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อใหม่

Material	*Hazen-Williams C (unitless)*	*Darcy-Weisbach* ε *(feet x* 10^{-3}*)*	*Manning's n (unitless)*
Cast Iron	*130-140*	*0.85*	*0.012-0.015*
Concrete or Concrete Lined	*120-140*	*1.0-10*	*0.012-0.017*
Galvanized Iron	*120*	*0.5*	*0.015-0.017*
Plastic	*140-150*	*0.005*	*0.011-0.015*
Steel	*140-150*	*0.15*	*0.015-0.017*
Vitrified Clay	*110*		*0.013-0.015*

จากตารางที่ 2.4 แสดง Range ทั่วไปของค่าสัมประสิทธิ์สำหรับท่อใหม่ประเภทต่างๆ วัสดุ โดยสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามอายุท่อสามารถตั้งค่าเปิดหรือปิดได้ตามเวลาที่ตั้งไว้หรือเมื่อมีเงื่อนไขเฉพาะ เช่นเมื่อระดับถังเก็บน้ำลดลงต่ำกว่าหรือสูงกว่าจุดที่ตั้งไว้

Minor Lossesมีสาเหตุมาจากความปั่นป่วนที่เพิ่มขึ้นเกิดขึ้นที่ส่วนโค้งและข้อต่อ ความสำคัญของการสูญเสียดังกล่าวขึ้นอยู่กับเค้าโครงของโครงข่ายและระดับความละเอียด สามารถคำนวณโดยการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์MinorHeadlossเป็นผลคูณของสัมประสิทธิ์นี้และความเร็วของท่อ

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

เมื่อ K = สัมประสิทธิ์ Minor Loss

V = ความเร็วของการไหล (ความยาว/เวลา)

g = อัตราเร่งโน้มถ่วง (ความยาว/เวลา^2)

ตารางที่ 2.5 แสดงสัมประสิทธิ์Minor Loss สำหรับ Fitting ต่างๆ

FITTING	*LOSS COEFFICIENT*
Globe valve, fully open	*10.0*
Angle valve, fully open	*5.0*
Swing check valve, fully open	*2.5*
Gate valve, fully open	*0.2*
Short-radius elbow	*0.9*
Medium-radius elbow	*0.8*
Long-radius elbow	*0.6*
45 degree elbow	*0.4*
Closed return bend	*2.2*
Standard tee - flow through run	*0.6*
Standard tee - flow through branch	*1.8*
Square entrance	*0.5*
Exit	*1.0*

เครื่องสูบน้ำ(Pumps) คือ อุปกรณ์ที่เพิ่มพลังงานให้กับของไหลโดยเพิ่ม hydraulic head พารามิเตอร์การป้อนข้อมูลหลักสำหรับเครื่องสูบน้ำ คือจุดเริ่มต้น, จุดสิ้นสุดและเส้นโค้งของเครื่องสูบน้ำ (Pump Curve) เครื่องสูบน้ำเป็นตัวแทนอุปกรณ์ปริมาณคงที่ของพลังงาน (แรงม้าหรือกิโลวัตต์)

ตัวแปรความเร็วเครื่องสูบน้ำยังสามารถพิจารณาโดยระบุการตั้งค่าความเร็วตามคำจำกัดความ Pump Curve เริ่มต้นจะกำหนดตั้งความเร็วสัมพันธ์เท่ากับ 1 ถ้าความเร็วเครื่องสูบน้ำเพิ่มขึ้น

2 เท่า ค่าสัมพันธ์ที่ตั้งคือ 2ถ้าทำงานแค่ความเร็วครึ่งเดียวค่าสัมพันธ์ที่ตั้งคือ 0.5 การเปลี่ยนความเร็ว ของเครื่องสูบน้ำจะเลื่อนตำแหน่งและรูปร่างของ Pump curve

เครื่องสูบน้ำสามารถเปิดหรือปิดเวลาที่ตั้งไว้ เช่นเดียวกับท่อ(Pipes)หรือมีเงื่อนไขที่กำหนดเกิดขึ้นในโครงข่ายการทำงานของเครื่องสูบน้ำสามารถกำหนดเป็นรูปแบบเวลาของการตั้งความเร็วรอบสัมพัทธ์แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANETสามารถคำนวณการใช้พลังงานและต้นทุนของเครื่องสูบน้ำ

การไหลผ่านเครื่องสูบน้ำเป็นแบบทิศทางเดียวหากเงื่อนไขระบบต้องการ Head มากกว่าที่เครื่องสูบน้ำทำงานได้ EPANET จะทำการปิดเครื่องสูบน้ำถ้าต้องการอัตราการไหลมากสุด EPANET จะเทียบกับPump Curve ที่อัตราการไหลที่ต้องการแม้ว่าจะทำให้ค่า Head เป็นลบ

วาล์ว(Valve) คือ อุปกรณ์จำกัดแรงดันหรือการไหลที่จุดใดจุดหนึ่งในโครงข่าย พารามิเตอร์การป้อนข้อมูลหลัก ได้แก่

- จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด
- เส้นผ่าศูนย์กลาง
- การตั้งค่า
- สถานะ

ผลการคำนวณสำหรับวาล์วคืออัตราการไหลและ Headlossและวาล์วประเภทต่าง ๆ ที่รวมอยู่ใน EPANET ได้แก่

- Pressure Reducing Valve (PRV)คือ วาล์วจำกัดแรงดันที่จุดในโครงข่ายท่อ EPANET สามารถคำนวณใน 3 สถานะที่แตกต่างกัน คือ (1) เปิดบางส่วนเพื่อให้เกิดการตั้งค่าแรงดันที่ตั้งไว้ด้านปลายน้ำขณะที่แรงดันด้านต้นน้ำสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ (2) เปิดทั้งหมด เมื่อแรงดันต้นน้ำต่ำกว่าที่ตั้งไว้ (3) ปิดถ้าแรงดันปลายน้ำสูงเกินด้านต้นน้ำ (เช่น เพื่อไม่ให้เกิดการไหลย้อนกลับ)
- Pressure Sustaining Valve (PSV)คือ วาล์วที่รักษาแรงดัน ณ จุดที่กำหนดในโครงข่ายเส้นท่อEPANET สามารถคำนวณใน 3 สถานะที่แตกต่างกัน คือ(1) เปิดบางส่วนเพื่อรักษาแรงดันที่ตั้งไว้ต้นน้ำ เมื่อแรงปลายน้ำต่ำกว่าค่านี้ (2)เปิดทั้งหมด เมื่อแรงดันปลายน้ำสูงกว่าที่ตั้งไว้ (3) ปิด ถ้าแรงดันปลายน้ำสูงเกินต้นน้ำ (เช่น เพื่อไม่ให้เกิดการไหลย้อนกลับ)
- Pressure Breaker Valve (PBV) คือ วาล์วที่บังคับให้แรงดันที่กำหนดสูญเสียไปขณะผ่านวาล์วการไหลผ่านวาล์วเป็นได้ทั้ง 2 ทาง PBV ไม่ใช่อุปกรณ์ที่ใช้งานจริงแต่สามารถใช้ในการจำลองสถานการณ์ที่ทราบว่าเกิดแรงดันตก

- Flow Control Valve (FCV) คือ วาล์วที่จำกัดการไหลตามจำนวนที่กำหนด โปรแกรมจะส่งข้อความเตือนหากไม่สามารถรักษาการไหลไว้ได้โดยปราศจากการเพิ่ม Head ที่วาล์ว (เช่น ไม่สามารถรักษาการไหลไว้ได้แม้จะเปิดวาล์ว)
- Throttle Control Valve (TCV) คือ วาล์วที่จำลองการปิดวาล์วบางส่วนโดยปรับสัมประสิทธิ์ของ Minor Headlossของวาล์วความสัมพันธ์ระหว่างขององศาการปิดวาล์วกับผลของสัมประสิทธิ์Headlossจะกำหนดโดยโรงงานผู้ผลิตวาล์ว
- General Purpose Valve (GPV) คือ วาล์วที่ใช้แทนการเชื่อมโยงในกับการไหลแบบพิเศษกับ Head loss แทนที่จะเป็นไปตามสูตรมาตรฐาน Hydraulic สามารถใช้จำลอง Turbines, Well draw-down หรือ Reduced-flow ป้องกันการไหลย้อนกลับ

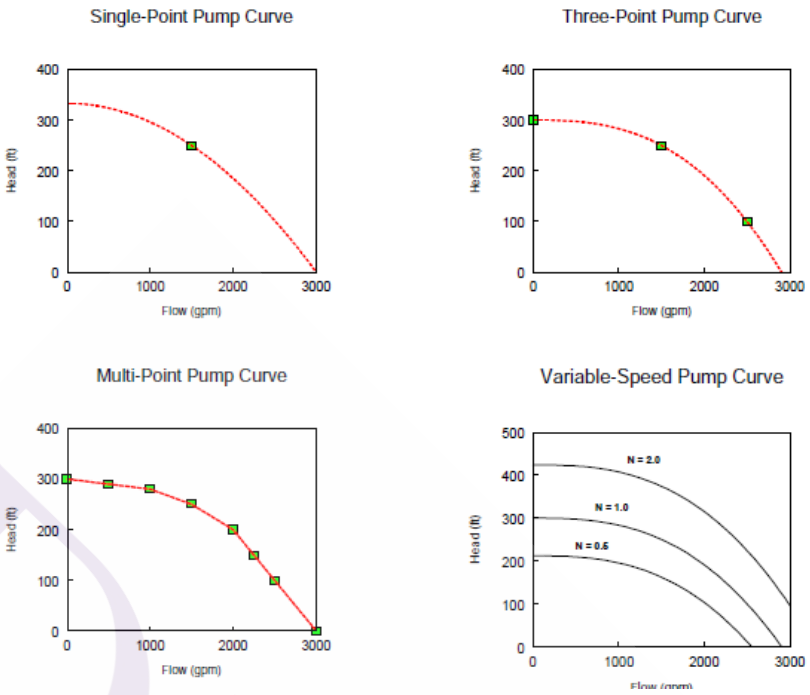
วาล์วแต่ละประเภทมีพารามิเตอร์การตั้งค่าที่แตกต่างกันซึ่งอธิบายถึงจุดดำเนินการ (แรงดันสำหรับ PRVs, PSVs และ PBVs การไหลของ FCV ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับ TCVs และเส้นโค้งHeadlossสำหรับ GPVsวาล์วสามารถควบคุมสถานะด้วยการระบุว่า เปิดสมบูรณ์หรือปิดสมบูรณ์ สถานะของวาล์วสามารถตั้งค่าเปลี่ยนได้ระหว่างการจำลองโดยใช้คำสั่งควบคุม

2) ข้อมูลที่ไม่ใช่ทางด้านกายภาพ

เมื่อรวมองค์ประกอบด้านกายภาพแล้ว แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET มีข้อมูล3 แบบ คือ Curves, Pattern และ Controls ซึ่งบรรยายถึงพฤติกรรม และเกณฑ์การปฏิบัติของระบบจ่ายน้ำ

เส้นโค้ง(Curves) ประกอบด้วยข้อมูลเป็นคู่ แทนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ 2 ประเภท 2 Object หรือ มากกว่าสามารถใช้ร่วมกันใน Curve เดียวกัน แบบจำลอง EPANET สามารถสร้างCurve ได้ในแบบดังต่อไปนี้

- Pump Curve แทนความสัมพันธ์ระหว่าง Head กับอัตราการไหล ซึ่งเครื่องสูบน้ำสามารถส่งด้วยความเร็วปกติที่ตั้งไว้ Head คือ ระดับความสูงของน้ำที่ส่งโดยเครื่องสูบน้ำ เป็นแกน Yในหน่วยฟุต หรือเมตร อัตราการไหลเป็นแกน X ในหน่วย Unit ซึ่ง Pump Curve ที่ถูกต้องจะมีระดับความสูงของน้ำลดลง เมื่อการไหลเพิ่มขึ้น EPANET ใช้ Pump Curve ในรูปร่างที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนจุด



ภาพที่ 2.11 ตัวอย่าง Pump Curve

ที่มา: EPANET 2 USERS MANUAL(2000, p. 35)

Single-Point Curve ถูกกำหนดโดยการรวมการไหล แสดงถึงจุดปฏิบัติการที่ต้องการของเครื่องสูบน้ำEPANET เพิ่มสองจุดมากขึ้นกับเส้นโค้งโดยสมมติว่าปิดที่การไหลเป็นศูนย์เท่ากับ 133% ของระดับความสูงของน้ำที่ออกแบบ และการไหลสูงสุดที่จุดศูนย์มีค่าเท่ากับสองเท่า ซึ่งแก้ไขได้ใน Three-Point Curve

Three-Point Curve ถูกกำหนดจุดปฏิบัติการ 3 จุด จุดการไหลต่ำ (การไหลและHeadต่ำหรือเป็นศูนย์) ออกแบบจุดการไหล(การไหลและHeadที่จุดปฏิบัติการที่ต้องการ), และจุดการไหลสูงสุด (การไหลและHead ที่สูงสุด) EPANET ปฏิบัติการสอดคล้องกับรูปแบบ

$$h_G = A - Bq^C$$

เมื่อ h_G = ระดับความสูงของน้ำที่ได้รับ

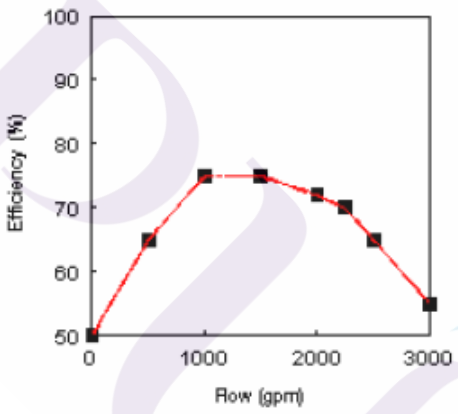
q = อัตราการไหล

A,BและC = ค่าคงที่

Multi-Point Curve กำหนดจุดระดับความสูงของน้ำและจุดการไหลทั้งคู่หรือสี่จุดขึ้นไป EPANET สร้างเส้นโค้งที่สมบูรณ์โดยการเชื่อมต่อจุดที่มีเส้นตรงสำหรับตัวแปรความเร็วของเครื่องสูบน้ำที่Pump Curve จะเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงความเร็วความสัมพันธ์ระหว่างการไหล (Q) และHead (H) ที่ความเร็ว N1 และ N2 คือ

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

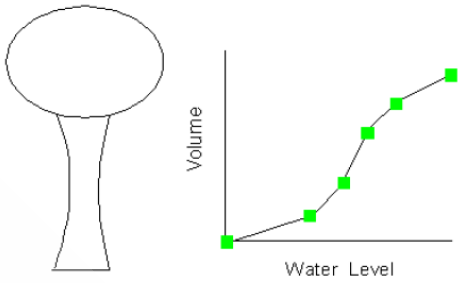
- Efficiency Curveกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (Y ในหน่วยเปอร์เซ็นต์) เป็นฟังก์ชันของอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ (X ในหน่วยการไหล) ตัวอย่าง Efficiency Curveที่แสดงในรูป2.11 ประสิทธิภาพควรแสดงประสิทธิภาพของสายน้ำที่คำนึงถึงการสูญเสียทางกลในเครื่องสูบน้ำเช่นเดียวกับการสูญเสียทางไฟฟ้าในมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำ เส้นโค้งจะใช้สำหรับการคำนวณพลังงานเท่านั้น



ภาพที่ 2.12 ตัวอย่าง PumpEfficiency Curve

ที่มา: EPANET 2 USERS MANUAL(2000, p. 37)

- Volume Curveกำหนดปริมาตรถังเก็บน้ำ (Y ในลูกบาศก์ฟุตหรือลูกบาศก์เมตร) ขึ้นอยู่กับระดับน้ำ (X ในฟุตหรือเมตร) ใช้เมื่อเป็นจำเป็นต้องใช้แทนถังเก็บน้ำที่มีพื้นที่ตัดขวางแตกต่างกันไปตามความสูงระดับน้ำที่ต่ำกว่าและสูงกว่าจะมีเส้นโค้งที่บรรจุข้อมูลระหว่างการทำงานของถังเก็บน้ำที่ระดับต่ำกว่าและสูงกว่า



ภาพที่2.13 ตัวอย่าง Tank Volume Curve

ที่มา: EPANET 2 USERS MANUAL(2000, p. 37)

- Headloss Curveใช้ในการอธิบาย Headloss (Y ในฟุตหรือเมตร) ผ่านGeneral Purpose Valve (GPV) เป็นฟังก์ชั่นของอัตราการไหล (X ในหน่วยการไหล) จะให้ความสามารถในการจำลองอุปกรณ์และสถานการณ์ที่มีความสัมพันธ์การไหลของ Headlossที่แตกต่าง เช่น การไหลลดลงวาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับกังหันและพฤติกรรมwell draw-down

Time Patterns คือชุดตัวคูณที่สามารถนำไปใช้กับปริมาณที่ต้องการ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ความต้องการของหัวเทียน, ระดับอ่างเก็บน้ำ, ตารางเครื่องสูบน้ำ และแหล่งน้ำที่มีคุณภาพ ทั้งหมดสามารถมีรูปแบบเวลาที่เกี่ยวข้องได้ ช่วงเวลาที่ใช้ในรูปแบบทั้งหมดเป็นค่าคงที่กำหนดด้วยProject's Time Optionsแม้ว่ารูปแบบเวลาทั้งหมดจะต้องใช้ช่วงเวลาเดียวกันแต่ละช่วงเวลามีจำนวนงวดที่แตกต่างกัน เมื่อนาฬิกาจำลองเกินกว่าระยะเวลาในรูปแบบรูปแบบจะกลับไปที่ระยะแรกอีกครั้ง ตัวอย่างของการทำงาน Time Patterns พิจารณาจุดบรรจบกับความต้องการเฉลี่ย 10 GPM สมมติว่าTime Pattern ได้รับการตั้งไว้ที่ 4 ชั่วโมงและมีการระบุรูปแบบที่มีตัวคูณต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการทำงานของ Time Pattern

Period	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Multiplier	*0.5*	*0.8*	*1.0*	*1.2*	*0.9*	*0.7*

ตารางที่ 2.7แสดงการจำลองความต้องการที่เกิดขึ้นจริงที่จุด(Nodes)

Hours	*0-4*	*4-8*	*8-12*	*12-16*	*16-20*	*20-24*	*24-28*
Demand	*5*	*8*	*10*	*12*	*9*	*7*	*5*

Controlsกำหนดการทำงานโครงข่ายเมื่อเวลาผ่านไป พวกเขา มีการระบุสถานะของลิงค์ที่เลือกเป็นฟังก์ชั่นของเวลา, ระดับน้ำในถังเก็บน้ำ และแรงดันที่จุดที่เลือกภายในโครงข่าย ซึ่งมีการควบคุมมี 2 ประเภท

- Simple Controls เปลี่ยนสถานะหรือการตั้งค่าของลิงก์ขึ้นอยู่กับระดับน้ำในถังเก็บน้ำ,แรงดันที่จุดบรรจบ,เวลาในการจำลอง และเวลาของวัน
- Rule-Based Controlsช่วยเชื่อมโยงสถานะและการตั้งค่า ขึ้นอยู่กับการรวมกันของเงื่อนไขที่อาจมีอยู่ในโครงข่ายหลังจากจุดแรกเริ่มของระบบไฮดรอลิคถูกคำนวณ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A. E. Adeniran and M. A. Oyelowo(2013) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “An EPANET Analysis of Water Distribution Networkof the University of Lagos, Nigeria” โดยการนำ EPANET มาวิเคราะห์โครงข่ายการจัดจำหน่ายน้ำของมหาวิทยาลัยลากอส ประเทศไนจีเรียซึ่งเป็นหนึ่งในมหาวิทยาลัยที่สำคัญที่สุดในแอฟริกา ปัจจุบันประชากรของมหาวิทยาลัยมีประมาณ 85,000 คน ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นจาก 2.48 ล้านลิตรต่อวัน เป็น 10.75 ล้านลิตรต่อวัน ขณะที่ปริมาณน้ำประปาลดลงเป็น 3.70 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งส่งผลให้ขาดประสิทธิภาพการกระจายน้ำ เกิดช่องว่างระหว่างน้ำประปาและอุปสงค์ในมหาวิทยาลัยประมาณ 7.05 มิลลิลิตรต่อวัน ในงานวิจัยครั้งนี้วิเคราะห์ระบบทางชลศาสตร์ในมหาวิทยาลัยลากอสผ่านการใช้ EPANET ผลการวิจัยสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของระบบเดิมเครือข่ายการจำหน่ายภายใต้ความต้องการน้ำในปัจจุบันไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ โดยที่แรงดันในโหนดต่ำและมีปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อบางส่วนไม่เพียงพอถังน้ำขนาดใหญ่ไม่ได้ถูกนำไปใช้อย่างเหมาะสม หากมีการปรับปรุงระบบโครงข่ายท่อประปาตามผลการวิเคราะห์ด้วย EPANET จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและแรงดันน้ำประปาได้ดียิ่งขึ้น

ArjunKumar. Et al (2015)ศึกษาเกี่ยวกับ “Design of Water Distribution System Using Epanet” พบว่า การตอบสนองความต้องการน้ำของประชากรที่กำลังเติบโตอย่างต่อเนื่องจำเป็นต้องจัดหาปริมาณน้ำที่เพียงพอและสม่ำเสมอผ่านโครงข่ายท่อที่ออกแบบมา รัฐบาลของ

ประเทศอินเดีย ระบุว่าในรัฐหิมาจัลมีการบริโภคน้ำต่อหัวต่อคนเป็น 70 ลิตรต่อวัน จึงได้มีการออกแบบระบบโครงข่ายท่อประปาโดยใช้ข้อมูลแหล่งน้ำหลัก การจัดส่งและถังเก็บน้ำ ในการออกแบบโครงการจัดหาน้ำในพื้นที่โดยใช้ซอฟต์แวร์ EPANET ซึ่ง เพื่อการจัดหาน้ำที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อตอบสนองความต้องการในชีวิตประจำวันของประชาชนในรัฐหิมาจัลประเทศอินเดีย

RASOOLI Ahmadullahand KANG Dongshik(2016) ได้ศึกษาเรื่อง “Designing of Hydraulically Balanced WaterDistribution Network Based on GIS and EPANET” วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการออกแบบและสร้างความเสถียรภาพของโครงข่ายทางชลศาสตร์โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และ EPANET วิเคราะห์การไหลของน้ำในแต่ละท่อ พื้นที่เป้าหมายในเมืองคาบูล ประเทศอัฟกานิสถาน ผลการศึกษาพบกว่าโครงข่ายทางชลศาสตร์มีเสถียรภาพมากขึ้น สามารถหาค่าแรงดันน้ำและอัตราการไหลของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Shivalingaswami.S.Etal(2016) ศึกษาเรื่อง “Hydraulic modeling of water supply network using EPANET” งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการใช้ EPANET ในการออกแบบโครงข่ายทางชลศาสตร์ เป็นเครื่องมือวิจัยสำหรับปรับปรุงการไหลและองค์ประกอบของน้ำภายในโครงข่าย ผลการศึกษาในเมือง Bagalkot ประเทศอินเดีย พบว่าแรงดันในโหนดทั้งหมดและอัตราการไหลของน้ำ มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อความต้องการในพื้นที่

ธนพัฒน์ วัฒนธรรม (2558) ทำการศึกษาเรื่อง “การศึกษาและวิเคราะห์การวางท่อส่งน้ำประปาลอดใต้แม่น้ำลัดเกร็ด ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0” เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการวางท่อจ่ายน้ำและปรับปรุงท่อในบริเวณพื้นที่เกาะเกร็ด โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการประมวลผลแบบจำลอง เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการวางท่อลอดใต้แม่น้ำลัดเกร็ด ส่วนที่ 2 นำกรณีศึกษาที่เหมาะสมที่สุดจากส่วนแรกมาปรับปรุงโครงข่ายของระบบท่อ เพื่อให้พื้นที่ศึกษาได้แรงดันมากที่สุด อันนำไปสู่ข้อสรุปตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการวางท่อเพื่อจ่ายน้ำให้พื้นที่เกาะเกร็ด จากการวิเคราะห์ด้วย EPANET 2.0 พบว่าในปัจจุบันมีการวางท่อ HDPE ขนาด 160 มม. จ่ายน้ำไปยังเกาะเกร็ด มีอัตราการไหลน้ำ 64.37 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีค่าแรงดันน้ำเฉลี่ย 11.58 เมตร แต่ความต้องการใช้น้ำของประชาชนคือ 439.07 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการ แต่หากวางท่อ HDPE ขนาด 315 มม. ลอดใต้แม่น้ำลัดเกร็ด จากบริเวณวัดกลางเกร็ด ถึงบริเวณท่าเรือวัดฉิมพลี ความยาวประมาณ 160 เมตร และปรับปรุงเปลี่ยนขนาดท่อจากท่อ PVC ขนาด 150 มม. ยาวประมาณ 50 เมตร เป็นท่อ PVC ขนาด 300 มม. และเปลี่ยนท่อ AC ขนาด 150 มม. ยาวประมาณ 13 เมตร เป็นท่อเหล็กเหนียวขนาด 300 มม. ทำการเชื่อมเส้นท่อฝั่งซ้ายกับฝั่งขวา บริเวณท้ายซอยภูมิเวทด้วยท่อเหล็กเหนียวขนาด 300

มม. ยาวประมาณ 3 เมตร พบว่ามีค่าอัตราการไหลน้ำไปยังเกาะเกร็ดคือ 444.97 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และค่าแรงดันน้ำเฉลี่ย 12.05 เมตร เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.47 เมตร ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำของประชาชน โดยมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างทั้งหมดประมาณ 5,660,725 บาท

ธีรเดช กัจฉปคีรินทร์ (2552) การบริหารจัดการพื้นที่เฝ้าระวังน้ำสูญเสีย ในพื้นที่สำนักงานประปาสาขาประชาชื่น ของการประปานครหลวง โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0 การจำลองโครงข่ายระบบท่อประปาในระบบพื้นที่เฝ้าระวังน้ำสูญเสีย พบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0 สามารถใช้ในการจำลองโครงข่ายระบบท่อประปาในระบบพื้นที่เฝ้าระวังน้ำสูญเสียได้ดี จากการสอบเทียบแรงดันน้ำที่วัดจากภาคสนาม จำนวน 30 จุด กับค่าแรงดันน้ำที่ประมวลได้จากแบบจำลองโครงข่ายระบบท่อประปา มีค่าความแตกต่างของแรงดันเฉลี่ย 0.33 เมตร คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อน 2.75 เปอร์เซ็นต์ และการนำแบบจำลองที่สอบเทียบแล้วไปประยุกต์ใช้ กับกรณีศึกษาต่าง ๆ คือ การบริหารจัดการพื้นที่ DMA 15-03-02 ในกรณีที่ต้องแก้ไขปัญหาน้ำไม่ไหลเนื่องจากการปิดน้ำซ่อมท่อขนาด 600 มม. บริเวณสี่แยกประชานุกูล ถนนรัชดาภิเษก การแก้ไข ปัญหาน้ำไม่ไหลในพื้นที่สามารถทำได้โดยการเปิดประตูน้ำกั้นขอบเขต ที่ถนนประชาชื่น ส่วนการบริหารจัดการพื้นที่ DMA 15-05-07 ในกรณีที่มีปริมาณความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 50 % พบว่าการออกแบบพื้นที่ DMA ใหม่โดยการเพิ่มจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่อีก 1 จุดบริเวณริมถนนแจ้งวัฒนะ ทำให้มีปริมาณน้ำเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นได้ และการบริหารจัดการแรงดันน้ำในพื้นที่ DMA 15-05-03 ในกรณีที่ต้องการหาค่าแรงดันน้ำขาออกจากวาล์วลดแรงดันที่เหมาะสม เพื่อให้แรงดันน้ำที่จุดต่ำสุดในพื้นที่มีค่าตามมาตรฐานของการประปานครหลวง โดยค่าแรงดันน้ำขาออกจากวาล์วลดแรงดันที่หาได้ มีค่าความแตกต่างของแรงดันเฉลี่ย 0.44 เมตร คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อน 5.07 เปอร์เซ็นต์

สุทธิศักดิ์ ลาภประเสริฐ (2547) การจำลองระบบสูบจ่ายน้ำในพื้นที่สำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆของการประปานครหลวง โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0 การจำลองสภาพการจ่ายน้ำของโครงข่ายด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0 ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ จากการสอบเทียบแรงดันที่วัดจากสนาม จำนวน 30 จุด ค่าแรงดันที่ประมวลได้จากแบบจำลองและค่าแรงดันที่วัดจากสนามมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความแตกต่างของแรงดันเฉลี่ย 0.84 เมตร คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อน 17.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าว เมื่อพิจารณาจากความซับซ้อนของระบบและโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่แล้วถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และจากการนำแบบจำลองที่สอบเทียบแล้วไปประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาต่างๆ คือ กรณีปิดซ่อมท่อขนาด 1000 มม. บริเวณถนนมหาพฤฒาราม พบว่ามีผลทำให้บริเวณตอนใต้ของพื้นที่ศึกษามีน้ำไหลอ่อน โดยมีแรงดันน้ำเฉลี่ยประมาณ 2.5 ถึง 4.0 เมตร ส่วนกรณีโรงสูบจ่ายน้ำคลองเตยไม่สามารถจ่ายน้ำเข้า

พื้นที่ได้ พบว่ามีผลกระทบกับระบบน้อยมาก สำหรับการทดสอบด้วยกรณีสูบจ่ายน้ำปกติแต่คิดปริมาณน้ำสูญเสีย 35 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีผลให้ทั้งพื้นที่มีแรงดันน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.0 ถึง 2.0 เมตร ส่วนปัญหาน้ำซึ่งมักไหลอ่อนทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา สามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มปริมาณน้ำจากโรงสูบจ่ายน้ำคลองเตยเข้ามาในระบบโดยการปรับประตูน้ำเข้าอย่างเหมาะสม ซึ่งจะช่วยบรรเทาปัญหาน้ำไหลอ่อนได้

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

สำหรับการศึกษานี้ เรื่องวิเคราะห์ปัญหาแรงดันน้ำ ในท่อส่งน้ำประปา ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0 มีวิธีการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

3.1 ประชากร

ประชากรที่ทำการศึกษาครั้งนี้ เป็นข้อมูลของผู้ใช้น้ำทั้งหมดในพื้นที่สำนักงานประปาสาขาประชาชื่น การประปานครหลวง ช่วงวันที่ 1-31 ตุลาคม 2560 ประกอบด้วย

3.1.1 ปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ และแรงดันน้ำจากการสูบ – จ่าย

3.1.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ และแรงดันน้ำของระบบจัดการน้ำสูญเสีย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

3.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.2.2 โปรแกรมประยุกต์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

3.2.2.1) Microsoft Excel

3.2.2.2) EPANET 2.0

3.2.2.3) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการสืบค้น และปรับปรุงข้อมูล (GIS Web Application) ของการประปานครหลวง

3.2.2.4) ระบบจัดการน้ำสูญเสีย (WLMA) ของการประปานครหลวง

3.2.3 ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์

3.2.3.1) ข้อมูลแผนที่โครงข่ายท่อประปา

3.2.3.2) ราคากลางค่าแรง และอุปกรณ์ของงานก่อสร้างวางท่อ

3.2.3.3) ข้อมูลปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ และแรงดันน้ำจากการสูบ – จ่าย

3.2.3.4) ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ และแรงดันน้ำของระบบจัดการน้ำสูญเสีย

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงวันที่ 1-31 ตุลาคม 2560 ประกอบด้วย

3.3.1 ข้อมูลแผนที่โครงข่ายท่อประปา รวบรวมได้จากระบบ GIS Web Application ของการประปานครหลวง

ข้อมูลแผนที่ท่อประปาในพื้นที่ศึกษาเป็นข้อมูลที่ประกอบด้วย

- ข้อมูลชนิดของท่อประปา
- ข้อมูลขนาดของท่อประปา
- ข้อมูลความยาวของท่อประปา
- ตำแหน่งพิกัดของท่อประปา
- การเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายของท่อประปา

ข้อมูลแผนที่ท่อประปาพื้นที่ศึกษาในที่นี้คือพื้นที่ภายในสำนักงานประปาสาขาประชาชื่น Zone DMA 15-01 ถึง 15-08 สามารถรวบรวมได้จากระบบ GIS Web Application ของการประปานครหลวง

3.3.2 ราคากลางค่าแรง และอุปกรณ์ของงานก่อสร้างวางท่อประปา รวบรวมได้จากฐานข้อมูลของกองประมาณราคา การประปานครหลวง

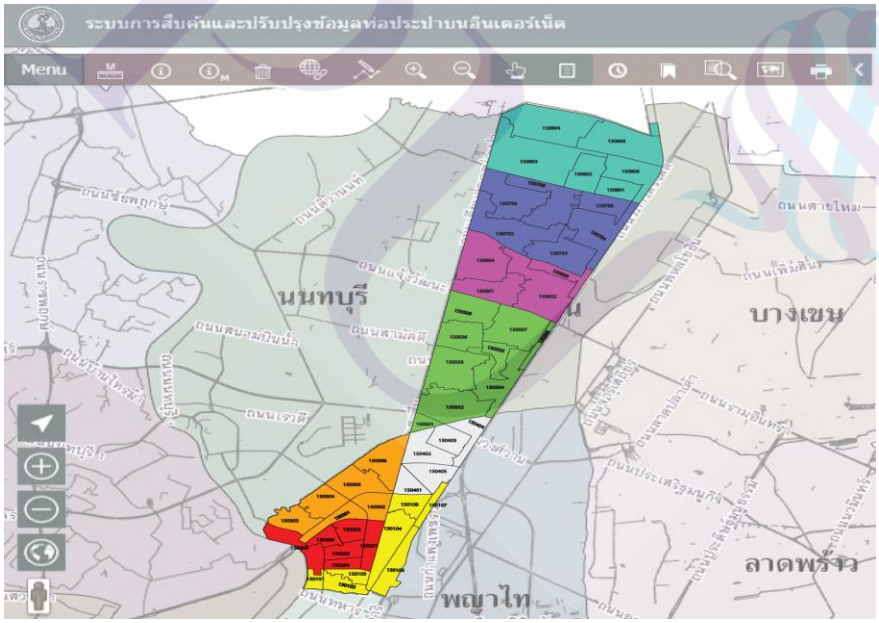
3.3.3 ข้อมูลปริมาณน้ำเข้าพื้นที่ และแรงดันของระบบพื้นที่รวบรวมได้จากฐานข้อมูลของระบบงานบริหารจัดการน้ำสูญเสีย (WLMA) ของการประปานครหลวง

3.3.4 ข้อมูลปริมาณน้ำเข้าและออกพื้นที่ รวมถึงแรงดันจากฐานข้อมูลของหน่วยงานศูนย์ควบคุมผลิตและสูบจ่ายน้ำ การประปานครหลวง

ข้อมูลอัตราการไหลในทิศทางเข้าและออกจากพื้นที่ของแต่ละเขตพื้นที่สาขารวบรวมได้จากศูนย์ควบคุมระบบส่งและสูบจ่ายน้ำ สายงานผลิตและส่งน้ำ การประปานครหลวง การเตรียมข้อมูลต้องทราบเกี่ยวกับข้อมูลได้แก่

- ตำแหน่งของจุดที่น้ำเข้าและออกจากพื้นที่ศึกษา
- ทิศทางของน้ำ
- ขนาดของท่อ
- ปริมาณน้ำที่จุดออกจากพื้นที่
- แรงดันน้ำที่จุดเข้าพื้นที่

จากนั้นจัดรูปแบบของค่าแรงดัน และอัตราการไหล เป็นรายชั่วโมง โดยใช้ข้อมูลจากตารางนำมาเฉลี่ยเป็นข้อมูลแรงดันน้ำ และอัตราการไหลรายชั่วโมงเฉลี่ยของเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 จากนั้นนำข้อมูลมาหาค่าอัตราส่วนในรูปแบบตัวคูณ (Time Pattern)ของแรงดัน และอัตราการไหลเป็นรายชั่วโมง



ภาพที่ 3.1 แสดงพื้นที่ภายในสำนักงานประปาสาขาประชาชื่น Zone DMA 15-01 ถึง 15-08 จากระบบ GIS Web Application

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าแรงดันที่สถานีสูบจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ศึกษา

วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	เฉลี่ย
1	20.8	21.5	19.3	18.5	18.5	17.7	21.9	22.0	23.7	23.8	24.1	23.4	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.7	23.7	23.3	23.2	23.7	24.1	23.2	**22.4**
2	18.1	18.3	18.4	19.1	19.2	18.4	21.7	23.7	23.3	24.1	24.2	24.2	24.2	24.1	23.0	23.3	23.2	23.3	23.3	23.1	22.4	22.5	22.4	21.1	**22.0**
3	18.2	17.5	17.5	18.5	18.3	18.0	19.9	20.4	21.8	21.5	21.4	21.4	21.3	21.3	21.4	21.3	22.0	22.3	22.2	22.1	22.1	22.5	22.5	22.1	**20.7**
4	17.8	17.8	18.3	18.4	18.7	19.3	21.0	20.0	20.1	20.3	20.3	20.6	21.3	21.3	21.3	21.3	20.8	20.8	21.4	21.3	21.3	21.3	21.3	20.9	**20.3**
5	10.2	17.8	17.9	17.8	17.5	10.8	20.2	23.5	22.2	22.0	23.0	22.9	22.2	22.3	22.2	20.9	20.4	20.5	20.3	20.4	20.5	21.5	21.6	20.9	**20.0**
6	17.6	17.3	17.6	17.4	17.5	18.7	21.1	21.7	21.9	22.3	22.3	22.4	22.3	21.4	20.7	21.3	21.3	21.4	21.3	21.7	22.4	23.3	22.4	19.0	**20.7**
7	16.7	16.5	16.7	17.0	17.6	17.6	21.4	21.3	21.2	21.3	21.3	21.4	21.3	21.3	21.4	21.3	21.3	21.5	22.1	22.5	22.5	23.3	20.7	21.5	**20.4**
8	16.8	15.8	16.5	16.6	16.6	16.8	20.3	21.1	20.6	20.8	21.5	21.5	21.4	21.3	21.4	21.3	21.7	22.3	22.6	22.6	22.3	22.3	22.3	21.8	**20.3**
9	17.4	17.5	17.9	17.6	17.5	19.4	21.7	21.8	22.0	22.1	22.1	21.6	21.0	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.4	21.3	21.3	21.2	**20.2**
10	17.6	17.1	17.5	17.0	17.1	17.1	21.2	20.0	20.4	20.3	20.9	21.3	21.4	21.3	21.3	21.4	21.4	22.2	22.2	22.1	21.6	22.2	20.7	19.5	**20.2**
11	17.8	17.8	18.3	18.4	18.7	19.3	21.0	20.0	20.1	20.3	20.3	20.6	21.3	21.3	21.3	21.3	20.8	20.8	21.4	21.3	21.3	21.3	21.3	20.9	**20.3**
12	17.9	16.4	16.5	16.9	17.1	19.5	21.9	20.1	20.1	20.3	20.0	20.3	20.4	21.1	21.3	22.1	22.2	22.3	23.1	22.7	20.4	19.9	19.9	18.3	**20.0**
13	16.3	16.3	16.3	16.5	16.6	19.7	21.6	22.1	22.6	22.9	23.5	23.2	21.7	21.3	18.9	19.2	19.4	19.5	19.5	19.9	20.5	20.5	20.3	20.1	**19.9**
14	18.1	18.3	18.5	18.5	18.5	18.6	21.1	20.3	19.0	18.9	18.8	18.5	18.5	18.9	19.3	19.5	20.1	20.3	20.3	20.5	19.9	20.3	19.9	20.1	**19.4**
15	18.5	18.4	18.6	18.7	18.6	19.1	20.1	21.4	21.6	21.1	20.8	20.8	20.8	20.6	20.1	20.3	21.9	22.2	21.8	21.7	21.7	21.8	21.8	21.3	**20.6**
16	17.6	17.6	17.7	18.4	18.3	17.4	21.2	21.8	21.5	21.2	21.4	21.5	21.6	21.5	21.5	21.5	21.6	21.6	21.7	22.3	22.2	21.8	21.5	20.4	**20.6**
17	16.2	16.4	17.1	17.0	17.3	17.2	20.2	20.5	20.5	20.7	20.7	20.4	19.8	19.8	20.1	20.2	20.6	20.7	20.7	21.3	21.4	21.7	21.7	21.2	**19.7**
18	16.4	15.9	16.2	16.9	16.7	20.1	21.5	21.8	21.7	20.9	20.7	20.6	20.5	20.5	20.5	20.5	20.6	20.7	20.7	20.7	20.6	21.0	19.8	19.3	**19.8**
19	16.9	16.5	16.8	16.8	16.9	16.4	20.4	21.5	21.1	20.9	20.8	21.2	21.6	21.6	21.6	22.3	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.8	22.7	22.2	**20.6**
20	17.7	16.8	16.8	16.8	17.1	18.2	22.0	21.2	20.8	20.7	20.7	20.6	20.7	20.7	20.7	20.7	21.2	21.7	21.9	22.5	21.9	22.3	21.4	20.4	**20.2**
21	16.7	16.8	17.2	17.0	17.8	18.8	21.3	22.8	22.1	21.8	22.0	21.6	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.9	22.7	23.1	23.1	23.5	22.2	20.6	**20.9**
22	17.6	17.0	17.8	17.8	18.5	18.1	18.5	16.7	20.4	21.6	21.4	20.6	20.7	20.7	20.8	21.0	21.5	21.8	22.8	23.5	23.7	24.5	23.6	22.6	**20.6**
23	18.8	17.9	18.5	18.6	18.7	18.8	22.2	22.7	22.6	22.2	21.7	20.9	20.6	20.7	20.5	20.5	20.5	20.8	20.8	20.7	20.8	20.8	21.5	21.3	**20.5**
24	17.3	17.7	18.2	18.5	18.7	19.7	21.7	20.7	20.8	20.7	20.9	21.7	21.5	21.5	21.5	21.6	21.9	21.6	21.5	21.6	21.7	21.7	21.7	21.3	**20.7**
25	16.8	17.2	17.6	16.9	17.8	17.0	20.5	21.8	21.7	21.6	21.8	21.7	21.5	21.2	20.9	21.5	21.5	21.5	20.7	21.6	21.7	21.7	20.9	16.7	**20.2**
26	16.4	16.4	16.6	16.7	17.3	17.4	17.0	15.8	15.8	15.6	15.5	14.8	14.8	14.8	15.0	16.9	18.8	19.6	19.7	19.7	20.1	19.7	19.7	19.6	**17.2**
27	15.0	13.8	14.3	14.3	14.3	14.1	20.4	20.7	20.3	20.1	20.5	20.6	20.1	19.9	20.5	20.5	21.3	21.5	21.5	21.7	21.6	21.7	22.1	21.4	**19.3**

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	**เฉลี่ย**
28	16.3	15.9	16.5	16.6	16.6	18.3	19.0	18.8	18.8	18.6	18.6	18.2	18.7	18.1	18.2	18.7	18.6	18.8	18.8	19.0	19.8	19.8	19.2	18.5	**18.3**
29	14.0	14.1	14.5	14.5	14.5	17.5	20.0	18.9	18.7	18.4	18.6	17.9	18.2	18.8	18.8	18.8	19.5	19.8	19.9	20.5	19.9	20.0	20.5	19.6	**18.2**
30	17.9	18.2	18.5	18.6	19.0	21.8	21.8	21.8	21.5	21.0	21.2	20.7	20.7	20.6	20.6	20.6	21.0	21.5	21.5	21.5	21.7	22.5	22.5	22.2	**20.8**
31	18.0	16.4	17.0	17.1	17.1	20.1	21.6	21.2	21.1	21.7	21.7	21.6	21.6	21.6	21.5	21.5	21.5	21.7	21.7	22.6	23.4	24.5	24.5	23.9	**21.0**
เฉลี่ยรายชั่วโมง	17.1	17.1	17.3	17.4	17.6	18.1	20.8	20.9	21.0	21.0	21.1	20.9	20.9	20.8	20.7	20.9	21.1	21.3	21.4	21.6	21.6	21.9	21.5	20.7	**20.2**
Time Pattern	**0.85**	**0.85**	**0.86**	**0.86**	**0.87**	**0.90**	**1.03**	**1.04**	**1.04**	**1.04**	**1.04**	**1.04**	**1.03**	**1.03**	**1.02**	**1.03**	**1.05**	**1.06**	**1.06**	**1.07**	**1.07**	**1.08**	**1.07**	**1.03**	

ที่มา:ศูนย์ควบคุมระบบส่งและสูบจ่ายน้ำ การประปานครหลวง

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าอัตราการใช้น้ำรายชั่วโมงเฉลี่ยของแต่จุดภายในพื้นที่ศึกษา

สถานที่/เวลา	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	เฉลี่ย
DMA 150102	155.2	158.2	169.5	195.5	239.5	312.3	340.3	338.4	319.4	290.4	275.1	266.2	248.5	243.2	244.1	253.9	277.8	300.5	300.4	310.0	300.8	281.7	232.8	191.8	**260.2**
DMA 150103	63.9	48.8	47.1	47.3	55.3	81.3	127.6	148.6	131.6	114.6	104.9	103.3	92.0	87.2	84.9	92.5	89.1	91.1	98.1	118.1	122.8	101.2	94.4	86.1	**93.0**
DMA 150104	59.6	58.0	52.4	66.3	66.5	129.4	208.7	219.2	214.6	230.2	165.8	149.6	139.2	125.8	118.4	120.0	141.3	159.4	160.5	158.8	166.6	154.2	122.1	89.4	**136.5**
DMA 150105	110.4	105.7	101.6	102.9	107.8	126.1	151.7	160.0	166.7	165.3	158.3	156.3	154.3	151.5	146.6	145.4	143.6	143.1	140.8	141.0	142.4	134.1	122.6	115.4	**137.2**
DMA 150106	68.2	65.2	62.7	63.9	75.5	111.4	154.9	164.2	157.3	150.9	139.0	126.4	117.6	116.1	116.2	113.2	117.5	128.4	132.5	134.7	140.8	130.2	111.6	92.4	**116.3**
DMA 150107	54.1	53.3	53.8	57.1	68.4	89.0	104.1	106.6	104.7	102.6	94.0	89.9	87.2	86.3	83.9	85.0	89.6	95.3	98.7	98.2	96.8	89.5	78.4	66.2	**84.7**
DMA 150201	86.7	81.4	79.6	76.6	82.7	105.0	149.3	149.3	142.5	138.6	134.4	129.4	122.3	120.1	119.8	113.4	119.6	131.0	134.7	142.9	143.0	138.8	128.6	106.5	**119.8**
DMA 150202	66.1	62.4	60.7	64.1	77.8	105.6	152.1	161.7	156.1	153.3	141.7	124.1	114.5	112.1	112.7	110.1	122.2	138.8	143.4	139.2	139.0	129.6	110.0	89.2	**116.1**
DMA 150203	71.2	66.8	64.7	67.8	90.8	138.6	210.4	230.2	202.5	183.1	175.2	145.6	136.7	128.7	124.4	126.4	138.4	158.0	161.1	153.7	158.2	145.5	121.2	97.3	**137.3**
DMA 150204	128.0	119.1	116.6	114.6	125.9	151.3	206.0	230.4	225.0	214.6	198.8	183.1	176.0	170.3	170.6	170.9	176.4	188.0	199.5	202.9	210.9	195.8	173.5	154.3	**175.1**
DMA 150205	69.8	66.5	65.0	60.9	90.5	161.9	201.9	215.7	197.7	189.0	165.3	147.2	138.1	123.0	120.7	125.9	142.4	153.2	153.2	151.2	149.6	146.2	134.4	112.3	**136.7**
DMA 150206	100.9	84.1	80.5	86.6	119.7	155.8	203.5	196.2	191.2	167.6	153.8	148.2	149.8	136.7	128.4	132.3	135.4	157.9	173.4	189.0	198.5	179.6	156.5	125.6	**148.0**
DMA 150301	96.7	88.5	86.8	87.0	107.5	155.8	208.7	210.9	203.3	195.4	186.7	163.1	162.7	164.2	151.9	150.5	163.2	176.9	179.7	194.4	195.1	180.7	144.4	123.8	**157.4**
DMA 150302	104.5	96.0	89.0	90.1	97.3	125.6	162.1	181.6	185.1	177.3	166.9	154.6	152.3	152.7	148.7	145.4	151.9	162.9	166.0	166.0	164.9	161.8	146.3	127.4	**144.9**
DMA 150303	118.2	116.8	113.0	104.9	127.2	158.8	192.6	208.8	220.3	213.9	198.7	183.6	184.1	183.0	171.6	169.8	188.7	201.6	206.3	213.7	209.8	201.8	172.3	150.4	**175.4**
DMA 150304	126.2	124.1	122.6	123.4	146.9	203.4	263.9	272.3	263.9	243.9	218.1	199.8	190.0	182.9	176.0	183.4	186.8	206.6	220.8	224.2	232.7	226.4	191.3	157.2	**195.3**
DMA 150305	71.2	66.8	64.7	67.8	90.8	138.6	210.4	213.9	202.5	183.1	160.5	145.6	136.7	128.7	124.4	126.4	138.4	158.0	161.1	153.7	158.2	145.5	121.2	97.3	**136.1**
DMA 150306	69.8	66.5	65.0	60.9	90.5	161.9	201.9	209.6	197.7	189.0	165.3	147.2	138.1	123.0	120.7	125.9	142.4	153.2	153.2	151.2	149.6	146.2	134.4	112.3	**136.5**
DMA 150401	48.2	46.7	47.1	49.5	63.9	95.5	122.3	123.4	122.5	114.7	105.1	95.1	87.6	83.9	82.0	84.8	95.7	102.0	99.5	101.1	103.5	97.5	80.0	62.6	**88.1**
DMA 15040201	43.4	53.6	76.9	68.0	61.4	61.4	63.2	69.6	98.2	101.2	93.7	74.0	84.3	82.2	86.1	91.5	74.8	55.3	56.0	59.5	69.9	82.1	72.4	59.5	**72.4**
DMA 15040202	79.4	77.2	78.0	77.6	85.7	123.9	155.0	166.9	170.3	164.0	147.7	135.1	129.7	128.7	127.7	132.2	133.2	136.7	135.5	134.0	138.2	136.4	122.1	104.5	**125.8**
DMA 15040401	42.2	42.8	35.0	32.2	41.2	62.1	83.4	96.1	109.2	111.2	74.5	77.2	80.2	89.5	71.6	74.3	82.3	67.0	65.0	63.2	59.0	63.4	65.1	51.4	**68.3**
DMA 15040402	30.2	31.1	26.8	26.1	31.8	46.5	62.7	63.2	61.3	58.3	53.6	48.9	49.5	49.7	50.1	50.5	53.2	56.3	56.3	55.0	54.8	50.9	46.8	37.5	**48.0**
DMA 150405	43.3	43.2	44.4	49.3	67.4	93.0	99.6	102.6	101.4	99.6	88.5	84.9	84.0	81.1	81.0	86.4	92.5	94.0	88.6	86.0	79.1	71.0	60.0	50.0	**77.9**

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

สถานที่/เวลา	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	เฉลี่ย
DMA 150501	66.1	61.4	62.3	61.9	73.7	105.3	134.9	143.0	142.7	134.3	118.8	106.6	100.1	97.9	94.1	96.6	101.4	110.4	117.4	114.7	116.3	114.2	106.1	91.9	**103.0**
DMA 150502	160.9	150.8	153.5	152.6	186.6	278.1	376.9	407.7	396.2	374.0	338.8	300.7	281.9	274.8	275.3	269.0	286.0	310.3	318.0	315.5	323.5	306.9	274.5	228.5	**280.9**
DMA 150503	141.6	132.2	124.6	128.6	161.4	278.3	357.2	385.6	398.4	388.9	354.8	312.8	301.7	300.9	289.3	283.5	289.1	301.4	306.3	306.3	309.8	301.3	267.0	221.6	**276.8**
DMA 150504	61.7	55.5	54.4	56.6	78.1	133.8	194.2	208.7	200.4	184.3	165.3	150.4	145.5	134.0	129.5	131.7	142.7	163.2	168.7	171.8	167.1	154.6	136.4	97.3	**136.9**
DMA 150505	31.6	34.0	31.2	20.1	19.5	25.1	26.5	29.4	28.8	28.4	28.9	25.9	25.9	24.8	24.4	23.2	22.6	25.9	25.4	24.7	27.8	22.1	23.3	22.5	**25.9**
DMA 150507	141.1	120.8	116.6	114.5	123.0	239.0	364.8	379.7	341.9	313.6	293.3	258.2	308.2	285.9	255.6	268.2	271.0	256.4	275.8	263.8	254.6	248.9	237.8	221.2	**248.1**
DMA 150601	135.6	133.3	130.5	131.4	156.4	236.0	296.7	315.1	317.9	302.1	271.7	264.5	254.7	248.1	255.8	247.1	252.5	266.1	274.9	278.1	279.7	269.7	233.4	184.5	**239.0**
DMA 150602	194.8	194.8	191.3	174.1	233.9	364.0	446.5	493.0	506.6	481.1	418.1	368.8	363.9	355.9	349.1	354.3	389.0	402.3	402.6	413.0	420.7	394.6	340.7	268.7	**355.1**
DMA 150603	158.5	152.0	150.3	167.5	257.8	354.2	433.4	434.2	424.9	388.7	356.7	332.9	313.8	296.2	293.4	303.5	340.9	361.8	359.7	370.0	353.4	313.2	233.0	181.6	**305.5**
DMA 150604	59.6	58.0	52.4	50.1	66.5	129.4	208.7	219.2	214.6	199.5	165.8	149.6	139.2	125.8	118.4	120.0	141.3	159.4	160.5	158.8	166.6	154.2	122.1	89.4	**134.5**
DMA 150702	141.5	134.7	131.9	133.5	183.9	288.4	368.9	385.7	385.6	360.1	316.7	285.8	271.5	259.1	252.0	251.3	265.0	290.6	300.0	310.2	315.9	292.5	251.8	202.2	**265.8**
DMA 150703	89.5	81.9	83.9	86.8	118.6	245.4	323.4	315.2	273.9	238.9	209.8	192.2	188.7	170.0	171.6	174.3	188.3	214.0	223.3	252.8	246.1	213.7	164.6	115.3	**190.9**
DMA 150705	124.4	117.0	114.9	117.9	136.8	176.5	224.6	240.4	238.4	228.7	218.2	205.2	193.7	190.2	187.5	190.1	204.8	218.1	215.9	213.1	216.3	197.7	174.6	146.1	**187.1**
DMA 150706	119.4	107.4	97.1	102.6	139.7	209.2	269.0	297.0	299.3	278.8	251.3	232.7	216.2	204.6	194.2	194.0	212.6	232.3	245.5	248.1	257.4	241.8	203.4	159.3	**208.9**
DMA 150801	99.7	92.6	88.5	93.7	128.6	192.9	270.6	291.6	289.7	270.5	241.5	223.5	209.7	197.1	191.1	196.1	215.8	233.5	241.0	236.2	237.1	214.0	171.8	132.8	**198.3**
DMA 150803	72.2	65.0	59.9	56.7	83.8	153.9	234.8	235.6	224.5	203.2	184.3	170.4	157.8	151.8	145.6	146.5	162.8	185.3	189.8	189.6	187.6	168.9	137.4	97.9	**152.7**
DMA 150804	31.2	28.1	25.8	32.0	69.0	136.8	186.4	183.7	175.6	156.6	132.5	120.5	111.7	104.6	101.3	107.5	127.9	152.1	144.7	139.8	133.1	112.7	76.3	50.2	**110.0**
DMA 150805	45.9	43.2	41.6	56.3	99.3	150.6	182.6	175.8	168.2	149.8	134.6	120.7	108.6	103.0	107.5	119.5	140.5	146.1	143.7	148.3	140.4	109.5	74.3	53.7	**115.2**
DMA 15080601	69.5	67.8	67.5	69.3	91.4	129.7	139.5	141.6	138.8	140.2	120.1	117.7	115.4	122.2	125.3	128.1	136.8	142.5	140.1	137.2	131.4	121.1	95.4	77.9	**115.3**
DMA 15080602	38.3	35.5	36.3	35.1	42.9	61.7	70.7	75.8	76.3	68.7	60.9	57.1	57.1	56.3	54.8	54.8	56.3	60.3	61.5	64.4	61.2	61.7	53.5	45.8	**56.1**

ที่มา:ศูนย์ควบคุมระบบส่งและสูบจ่ายน้ำ การประปานครหลวง

3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 ศึกษารวบรวมข้อมูล

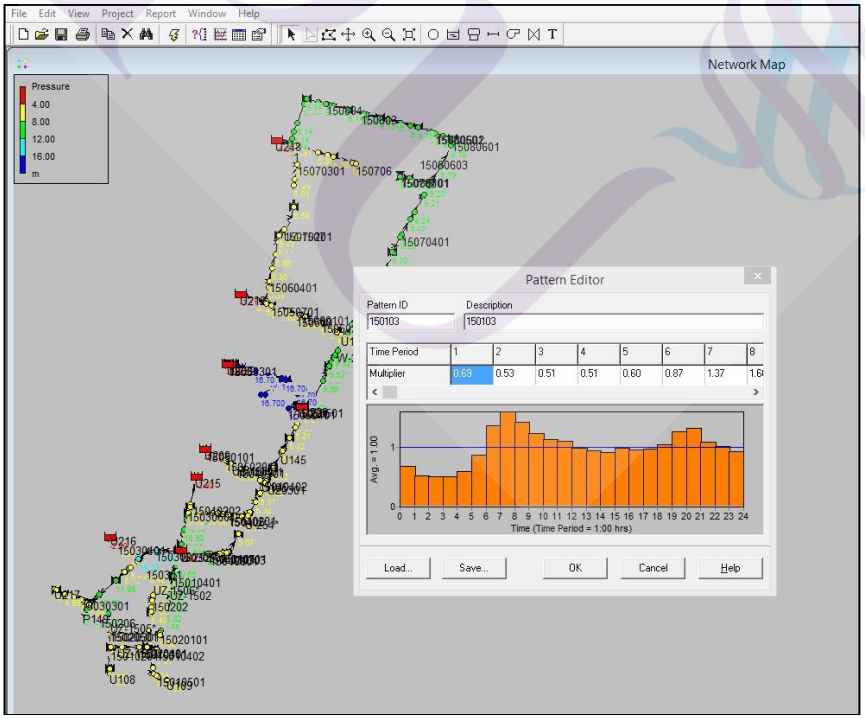
ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วยข้อมูลชนิดของท่อ, ขนาดท่อ, ลักษณะความเป็นโครงข่ายของท่อประปา, ปริมาณการสูบจ่ายน้ำเข้าพื้นที่, แรงดันน้ำและปริมาณการใช้น้ำของพื้นที่แต่ละพื้นที่ความรับผิดชอบของสำนักงานประปาสาขาประชาชื่น

3.4.2 การสอบเทียบแบบจำลองระบบท่อประปา และปรับแก้ให้ได้ค่าหลังการจำลองเทียบเคียงกับข้อมูลจริง

การเตรียมข้อมูลระบบท่อประปาในพื้นที่ศึกษาเพื่อจำลองกับแบบจำลอง EPANET 2.0 มีข้อมูลสรุปได้ดังนี้ จำนวนจุด (Node) 625 จุด Reservoir 11 จุด มีจุดที่ใช้เป็นตำแหน่งสอบเทียบข้อมูลจากสนามจำนวน 44 จุดและมีจำนวนท่อ 555 เส้น ดังนี้

3.4.2.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลอง

ข้อมูลที่นำเข้าไปเพื่อนำไปสร้างแบบจำลอง ได้แก่ ข้อมูลตำแหน่งระบบท่อและจุดต่างๆ ข้อมูลแรงดันน้ำที่จุดจ่ายน้ำเข้าในพื้นที่ศึกษา ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในแต่ละพื้นที่ในพื้นที่ศึกษา โดยใช้ชุดข้อมูลรูปแบบแรงดันและปริมาณการใช้น้ำ จากการเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมง โดยเฉลี่ยจากข้อมูลเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2560



ภาพที่ 3.2 แสดงการนำเข้าข้อมูลอัตราส่วนแรงดันน้ำเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมง

3.4.2.2 การเตรียมข้อมูลเพื่อสร้างระบบท่อประปาในโปรแกรม EPANET2.0

ข้อมูลระบบท่อประปา ถูกรวบรวมจาก กองสารสนเทศภูมิศาสตร์ การประปานครหลวง ข้อมูลที่นำเข้าจะเป็นระบบท่อประปาที่ต้องการศึกษา คือ ระบบท่อประธาน โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปของไฟล์นามสกุล *.inp

ข้อมูลระบบท่อประธานที่ได้จากกองสารสนเทศภูมิศาสตร์ การประปานครหลวง เป็นข้อมูลที่ยังไม่สมบูรณ์ มีเพียงข้อมูลเชิงตำแหน่งเท่านั้น และโครงข่ายของระบบท่อยังไม่เชื่อมต่อกัน จึงต้องทำการปรับปรุงเพิ่มเติมรายละเอียดเพื่อให้ระบบท่อประธานสามารถใช้งานได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำไฟล์นามสกุล *.inp ไปเปิดในโปรแกรม EPANET2.0 ข้อมูลระบบท่อประธานพบปัญหาของจุดเชื่อมต่อของท่อ
- ทำการปรับปรุงปัญหาจุดที่ไม่เชื่อมต่อกัน
- ทำการนำเข้าข้อมูลประกอบการจำลอง ประกอบด้วย ชนิดของท่อ ความยาวท่อ เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ รวมถึงสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ
- ทดสอบประมวลผลในแบบจำลอง หากสมบูรณ์จะปรากฏหน้าต่างขึ้นว่าสำเร็จ แต่หากโปรแกรมยังตรวจพบข้อผิดพลาด จะปรากฏหน้าต่างบอกรายละเอียดของข้อผิดพลาด หลังจากนั้นทำการแก้ไขจนสมบูรณ์ จึงจะสามารถทำในขั้นต่อไปได้

3.4.2.3 การเตรียมข้อมูลแรงดันน้ำและอัตราการใช้น้ำของแต่ละพื้นที่

การเตรียมข้อมูลแรงดันน้ำและอัตราการใช้น้ำมีความสำคัญมากในการจำลองระบบท่อประธาน หากกำหนดปริมาณการใช้น้ำไม่ถูกต้อง ทำให้การสอบเทียบเป็นไปได้ยาก จึงมีขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังนี้

- ระบุตำแหน่งจุดที่มีอัตราการใช้น้ำ โดยแบ่งได้ 44 จุด (DMA)
- นำข้อมูลอัตราการใช้น้ำมาหาค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง
- นำเข้าข้อมูลอัตราการใช้น้ำรายชั่วโมงลงตามจุด(Node) จนครบ 44 จุด (DMA)รวมถึงจุดเชื่อมท่อประธานในทิศทางน้ำออกจากพื้นที่ศึกษา
- นำข้อมูลแรงดันน้ำลงในจุดทิศทางน้ำเข้าพื้นที่ศึกษา ในที่นี้กำหนดให้เป็น Reservoir แทนแหล่งผลิตน้ำ ซึ่งในโปรแกรม EPANET2.0 Reservoir ถูกกำหนดให้เป็นแหล่งผลิตน้ำที่ไม่จำกัดซึ่งสอดคล้องกับน้ำในระบบท่อประธานซึ่งรับน้ำจากสถานีสูบจ่ายน้ำบางเขนและสถานีสูบจ่ายน้ำประชานุกูล ซึ่งมีน้ำส่งให้พื้นที่ศึกษาตลอดเวลา และไม่จำกัด ทำให้เหลือเพียงข้อมูลแรงดันเฉลี่ยรายชั่วโมงที่จำเป็นต้องใช้ในการสร้างแบบจำลองเท่านั้น

จากนั้นเมื่อเตรียมข้อมูลครบ จึงจำลองระบบท่อประปาในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลอง EPANET 2.0 การสอบเทียบข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าแรงดันน้ำจากจุดวัดภาคสนามทั้งหมด 44 จุด เป็นตัวสอบเทียบข้อมูล จากนั้นจึงปรับแก้ในแบบจำลองตามข้อมูลทิศทางการไหลของน้ำและสถานะเปิด-ปิดประตูน้ำในแบบจำลองให้น้ำเป็นไปในทิศทางเดียวกับความเป็นจริง จึงนำค่ามาเปรียบเทียบ

3.4.3 การประยุกต์แบบจำลองด้วยกรณีศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ได้นำแบบจำลองไปประยุกต์กับกรณีศึกษาโดยแบ่งเป็น 4 กรณี ดังนี้

3.4.3.1 กรณีปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 800 มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนรัชดาภิเษก ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง ถนนกำแพงเพชร 2 ความยาวประมาณ 1,350 ม.

3.4.3.2 กรณีปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม. เป็น 1200มม. บริเวณถนนแจ้งวัฒนะตั้งแต่คลองประปาถึงซอยแจ้งวัฒนะ 14 ความยาวประมาณ 730 ม.

3.4.3.3 กรณีปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนประชาชื่น ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง แยกประชาชื่นตัดถนนประชาราษฎร์สาย 2 ความยาวประมาณ 2,800 ม.

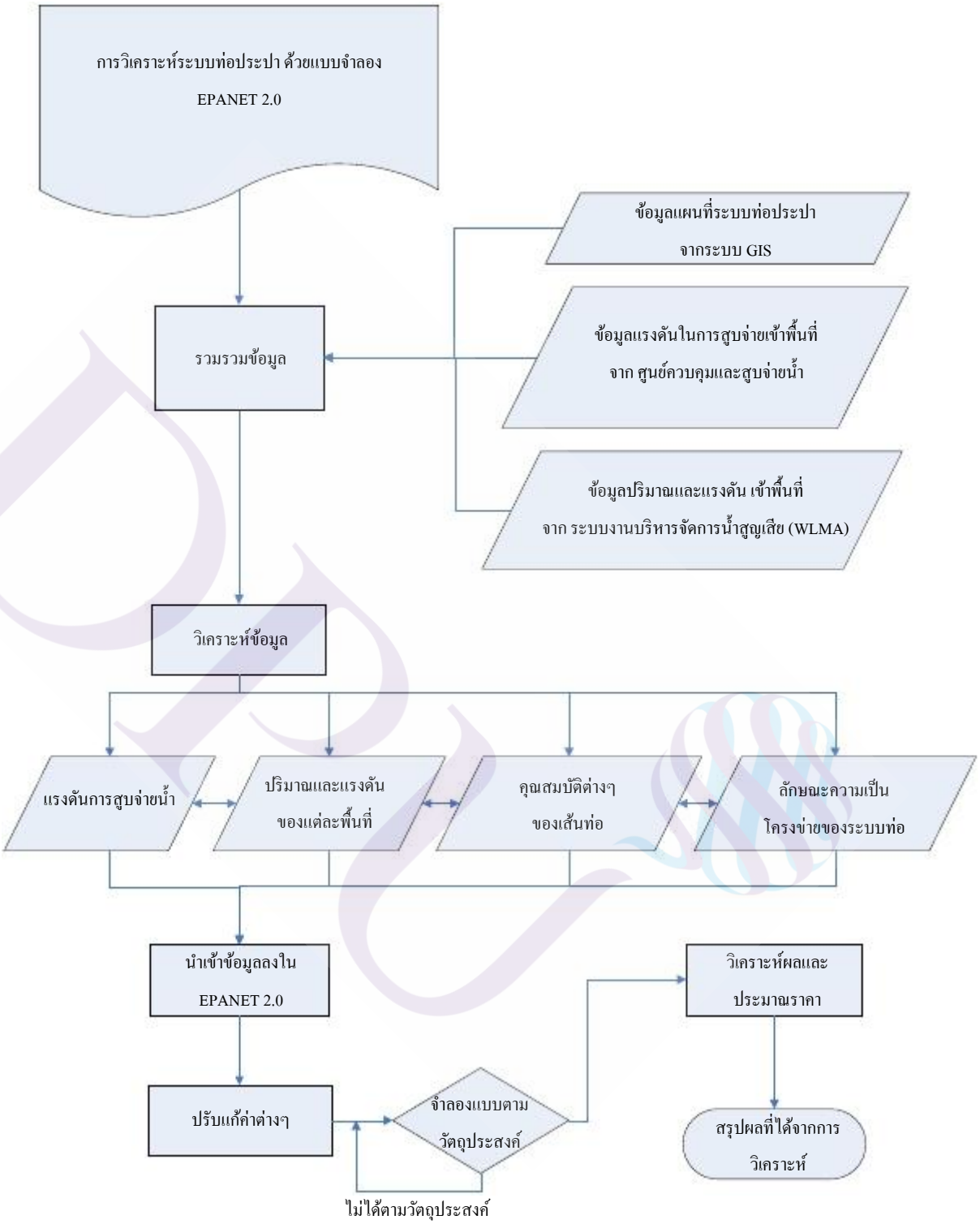
3.4.3.4 กรณีปรับปรุงท่อ และวางท่อทุกกรณีที่ทดลอง

โดยการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ มีขั้นตอนดังนี้

1) ศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับขนาดท่อ, ลักษณะความเป็นโครงข่ายของท่อประปา, ปริมาณการสูบจ่ายน้ำเข้าพื้นที่และแรงดันน้ำ

2) นำเข้าข้อมูลไปยังโปรแกรม EPANET 2.0

3) วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณตาม Hydraulic Model โดยโปรแกรม EPANET 2.0 เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

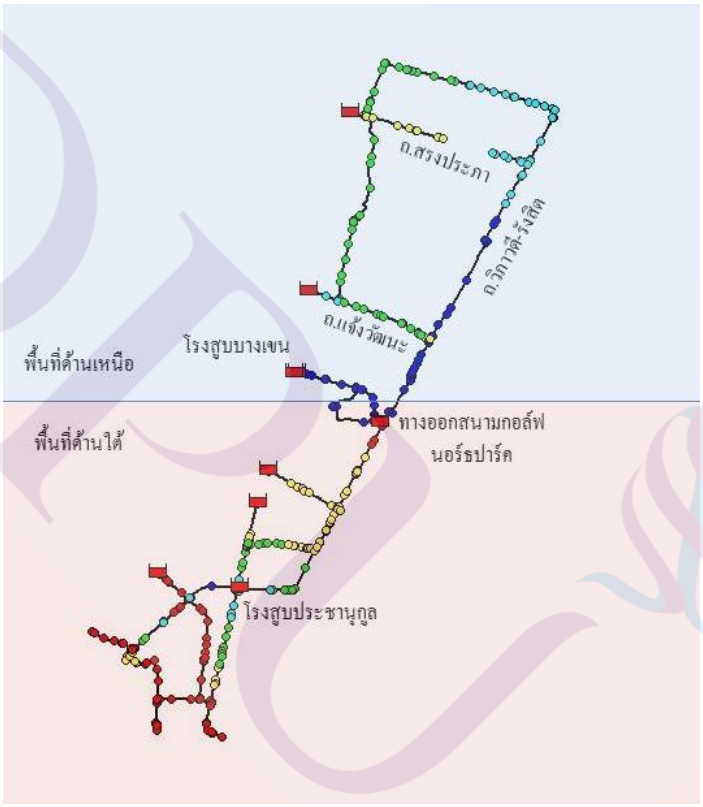


ภาพที่ 3.3แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบท่อประปา ด้วยแบบจำลอง EPANET 2.0

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 การสร้างแบบจำลองระบบโครงข่ายท่อประปา ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET2.0

แบบจำลองระบบโครงข่ายท่อประปาในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย จำนวนจุด (Node) 625 จุด Reservoir 11 จุด และมีจำนวนท่อ 555 เส้น



ภาพที่ 4.1 แสดงแบบจำลองระบบโครงข่ายท่อประปาในพื้นที่ศึกษา

4.2 การสอบเทียบแบบจำลองระบบท่อประปา

ในการศึกษาครั้งที่ใช้การสอบเทียบข้อมูลแรงดันน้ำบริเวณจุดทางเข้าพื้นที่ DMA ภาคสนามจำนวน 44 จุดวัด จากนั้นใช้ข้อมูลการปรับทิศทางการไหลของน้ำในลักษณะของการปิด-

เปิดประตูน้ำของสำนักงานประปาสาขาประชาชื่น เพื่อให้ได้ค่าสอบเทียบระหว่างค่าจากแบบจำลองระบบท่อประปา กับค่าที่วัดได้จากภาคสนาม โดยมีผลการสอบเทียบแรงดันที่แสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2

จากภาพที่ 4.2 จะสังเกตได้ว่าเส้นและจุดในแผนภูมิมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ จากตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันเฉลี่ยจากภาคสนาม 11.59 เมตร ค่าแรงดันเฉลี่ยจากการจำลองระบบท่อประปา 11.94 เมตร และค่าความแตกต่างของแรงดันเฉลี่ยระหว่างค่าจากภาคสนามกับค่าจากการจำลอง 0.35 เมตร คิดเป็นความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 3.01 จึงทำการทดสอบสมมุติฐานของค่าแรงดันเฉลี่ยระหว่างภาคสนามกับแบบจำลอง โดยกำหนดการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ ดังนี้

$$H_0 \ ; \ \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 \ ; \ \mu_1 \neq \mu_2$$

$\mu_1 =$ ค่าแรงดันเฉลี่ยจากภาคสนาม

$\mu_2 =$ ค่าแรงดันเฉลี่ยจากแบบจำลอง

ทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$

ผลจากการทดสอบสมมุติฐานข้างต้นพบว่าค่า P-value (t-Test two-tailed) เท่ากับ 0.7001 จึงยอมรับ

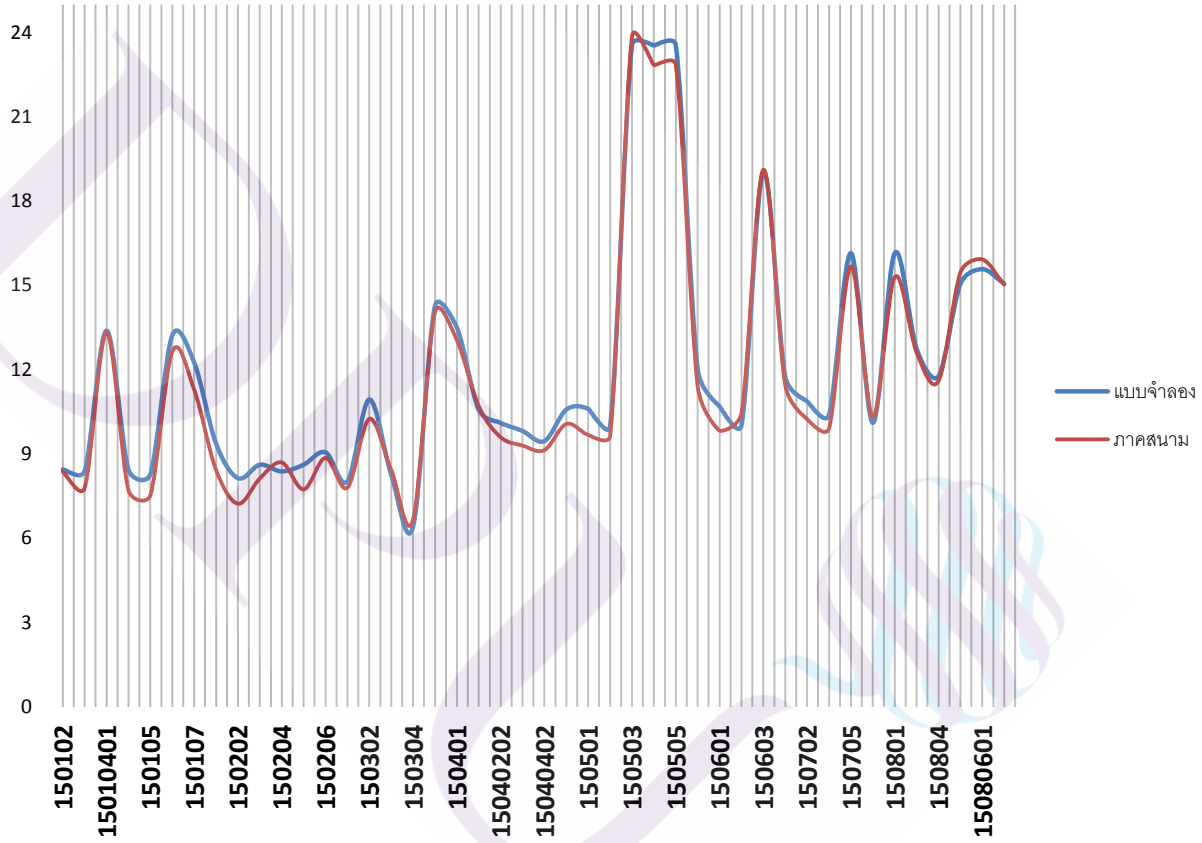
สมมุติฐาน H_0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยแรงดันจากข้อมูลภาคสนามกับค่าเฉลี่ยแรงดันจากแบบจำลอง EPANET2.0 ที่สร้างขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นจึงสามารถพิสูจน์ทางสถิติได้ว่าแบบจำลอง EPANET2.0 ที่สร้างขึ้นสามารถใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลจริงได้ ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

1.ในการศึกษาครั้งนี้ มิได้นำค่าความสูงต่ำจากระดับแนวท่อแต่ละเส้นท่อมาคิด ซึ่งระบุในจุด (Node) มีค่าระดับความสูงต่ำจากระดับแนวท่อแต่ละเส้นเท่ากับศูนย์ทุกๆจุด(Node) แต่ในความเป็นจริงค่าระดับเส้นท่อในพื้นที่ศึกษาในแต่ละบริเวณมีการทรุดตัวของผิวดินไม่เท่ากัน จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าแรงดันมีค่าที่แตกต่างกัน

2.ข้อมูลการปิด-เปิด ประตูน้ำ สถานะอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้บางส่วน เพราะอยู่ในความดูแลรับผิดชอบหลายภาคส่วน หากทิศทางของน้ำเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนอัตราส่วนในการปิด-เปิดประตูน้ำ จะทำให้ค่าแรงดันมีค่าที่แตกต่างกัน

3.ในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดให้ไม่มีการสูญเสียของน้ำในเส้นท่อที่ทดสอบ เนื่องจากไม่สามารถตรวจสอบค่าที่แท้จริงได้ ซึ่งในความเป็นจริงอาจมีการสูญเสียของน้ำในเส้นท่อได้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าแรงดันมีค่าที่แตกต่างกัน

4.การวัดแรงดันภาคสนาม โดยใช้เครื่องวัดที่ติดตั้งมาไม่น้อยกว่า 5 ปี อาจเกิดค่าความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์ในการวัด จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าแรงดันมีค่าที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันระหว่างแบบจำลองระบบท่อประปากับภาคสนาม

ตารางที่ 4.1 ค่าทดสอบทางสถิติ

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	Variable 1	*Variable 2*
Mean	11.5925	11.93772727
Variance	17.7839727	17.33557146
Observations	44	44
Pooled Variance	17.5597721	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	86	
t Stat	0.38641769	
P(T<=t) one-tail	0.35007088	
t Critical one-tail	1.66276545	
P(T<=t) two-tail	0.70014176	
t Critical two-tail	1.98793421	

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสอบเทียบแรงดันน้ำ ที่จุดทางเข้า DMA ภายในพื้นที่การศึกษา กับแบบจำลองระบบท่อประปา

DMA	สถานที่	แรงดัน (เมตรน้ำ)		
		ภาค สนาม	แบบจำลอง	ความแตกต่าง
150102	ตรงข้ามร้านวิเศษไก่ย่าง ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.37	8.45	0.08
150103	ปากซอยสะพานขวา ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	7.80	8.40	0.60
15010401	ปากซอยเสริมสุข ถนนเลียบคลองประปาฝั่งขวา	13.33	13.39	0.06
15010402	หน้าห้างโลตัสประชาชื่น ถนนเลียบคลองประปาฝั่งขวา	7.71	8.44	0.73
150105	สามแยกวัดสะพานสูง ถนนเตชะวานิช	7.53	8.28	0.75
150106	ตรงข้ามอาคารปานศรี ถนนรัชดาภิเษก	12.64	13.22	0.58
150107	ใต้สะพานรัชวิภา	11.29	12.26	0.97
150201	ปากซอยประชาชื่น 5 ถนนประชาชื่น	8.43	9.37	0.94
150202	หน้าอาคารนำสินประกันภัย ถนนกรุงเทพ-นนทบุรี	7.23	8.14	0.91
150203	ปากซอยไสวสุวรรณ ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.13	8.62	0.49
150204	ตรงข้ามซอยสะพานขวา ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	8.70	8.38	(0.32)
150205	ตรงข้ามซอยไสวสุวรรณ ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	7.74	8.62	0.88
150206	ตรงข้ามวัดสร้อยทอง ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	8.86	9.06	0.20
150301	ปากซอยกรุงเทพ-นนทบุรี 39	7.80	8.02	0.22
150302	ตรงข้ามซอยรัชดาภิเษก 72	10.25	10.94	0.69
150303	หน้ามหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	8.44	8.27	(0.17)
150304	ปากซอยกรุงเทพ-นนทบุรี 43	6.67	6.42	(0.25)
150305	แยกประชานุกูล	14.05	14.27	0.22
150401	อาคารปานศรี ถนนรัชดาภิเษก	13.05	13.50	0.45
15040201	ตรงข้ามตลาดบองมาร์เช่ ถนนเทศบาลสงเคราะห์	10.70	10.58	(0.12)
15040202	ซอยเทศบาลรังสรรเหนือ ถนนเทศบาลนิมิตเหนือ	9.60	10.11	0.51
15040401	ตรงข้ามเรือนจำกรุงเทพฯ ถนนงามวงศ์วาน	9.30	9.82	0.52

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

DMA	สถานที่	แรงดัน (เมตรน้ำ)		
		ภาคสนาม	แบบจำลอง	ความแตกต่าง
15040402	ชุมชนประชาร่วมใจ ถนนงามวงศ์วาน	9.14	9.46	0.32
150405	ตลาดบองมาร์เช่ ถนนเทศบาลสงเคราะห์	10.07	10.58	0.51
150501	ตลาดพงษ์เพชร ถนนงามวงศ์วาน	9.68	10.61	0.93
150502	ตรงข้ามซอยงามวงศ์วาน 38 ถนนงามวงศ์วาน	9.65	9.99	0.34
150503	การประปานครหลวง (สำนักงานใหญ่)	23.86	23.56	(0.30)
150504	สนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค ฝั่งใต้	22.84	23.54	0.70
150505	สนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค ฝั่งเหนือ	22.85	23.55	0.70
150507	ตรงข้ามซอยแจ้งวัฒนะ 12 ถนนแจ้งวัฒนะ	11.41	12.01	0.60
150601	หน้าบ้านเมตตา ถนนแจ้งวัฒนะ	9.83	10.69	0.86
150602	ซอยแจ้งวัฒนะ 10 ถนนแจ้งวัฒนะ	10.46	10.03	(0.43)
150603	หน้าเคหะทุ่งสองห้อง ถนนกำแพงเพชร 6	19.12	19.04	(0.08)
150604	หน้าหมู่บ้านเมืองทอง	11.45	11.75	0.30
150702	สะพานข้ามคลองตาอูฐ ถนนพิงนคร	10.24	10.87	0.63
150703	ซอยเวฬุวนาราม 12 ถนนเวฬุวนาราม	9.92	10.40	0.48
150705	โรงเรียนสีกัน วัฒนานันท์อุปถัมภ์ ถนนสรงประภา	15.68	16.15	0.47
150706	ซอยสรงประภา 9/1 ถนนสรงประภา	10.32	10.11	(0.21)
150801	ตรงข้ามโรงเรียนสีกัน วัฒนานันท์อุปถัมภ์ ถนนสรงประภา	15.30	16.15	0.85
150803	ตรงข้ามสนามบินเล็ก ถนนเดชะตุงคะ	12.61	12.74	0.13
150804	สนามบินเล็ก ถนนเดชะตุงคะ	11.60	11.77	0.17
150805	ตรงข้ามอาคารพักอาศัยกองทัพอากาศ ถนนเดชะตุงคะ	15.46	15.06	(0.40)
15080601	สน.ดอนเมือง ถนนเดชะตุงคะ	15.93	15.58	(0.35)
15080602	อาคารพักอาศัยกองทัพอากาศ ถนนเดชะตุงคะ	15.03	15.06	0.03
	เฉลี่ย	11.59	11.94	0.35

4.3 การประยุกต์แบบจำลองด้วยกรณีศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ได้นำแบบจำลองไปประยุกต์กับกรณีศึกษาโดยแบ่งเป็น 4 กรณี ดังนี้

4.3.1 แบบจำลองกรณีที่ 1

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 800 มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนรัชดาภิเษก ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง ถนนกำแพงเพชร 2 ความยาวประมาณ 1,350 ม.

จากการทดลองวางท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม.ทดแทนท่อเดิมที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 800 มม. บนแบบจำลองระบบท่อประปาในพื้นที่ศึกษาบริเวณด้านใต้ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากโรงสูบ-จ่ายน้ำบางเขนและโรงสูบ-จ่ายน้ำประชานุกูล พบว่ามีค่าแรงดันที่ปรับตัวเพิ่มขึ้นในทุกพื้นที่ด้านใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองระบบท่อประปาเริ่มต้น รวมถึงค่าเฉลี่ยของแรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 12.33 เมตร

ภาพที่ 4.3 แสดงตำแหน่งการปรับปรุงแบบจำลองกรณีที่ 1

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความแตกต่างของแรงดันน้ำจากแบบจำลองเริ่มต้นกับแบบจำลองกรณีที่ 1

DMA	สถานที่	แรงดัน (เมตรน้ำ)		
		แบบจำลองเริ่มต้น	แบบจำลองกรณีที่ 1	ความแตกต่าง
150102	ตรงข้ามร้านวิเศษไก่ย่าง ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.45	8.74	0.29
150103	ปากซอยสะพานขวา ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	8.40	8.70	0.30
15010401	ปากซอยเสริมสุข ถนนเลียบคลองประปาฝั่งขวา	13.39	14.14	0.75
15010402	หน้าห้างโลตัสประชาชื่น ถนนเลียบคลองประปาฝั่งขวา	8.44	8.75	0.31
150105	สามแยกวัดสะพานสูง ถนนเตชะวานิช	8.28	8.59	0.31
150106	ตรงข้ามอาคารปานศรี ถนนรัชดาภิเษก	13.22	15.48	2.26
150107	ใต้สะพานรัชวิภา	12.26	14.92	2.66
150201	ปากซอยประชาชื่น 5 ถนนประชาชื่น	9.37	9.77	0.40
150202	หน้าอาคารนำสินประกันภัย ถนนกรุงเทพ-นนทบุรี	8.14	8.42	0.28
150203	ปากซอยไสวสุวรรณ ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.62	8.9	0.28
150204	ตรงข้ามซอยสะพานขวา ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	8.38	8.68	0.30
150205	ตรงข้ามซอยไสวสุวรรณ ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.62	8.9	0.28
150206	ตรงข้ามวัดสร้อยทอง ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	9.06	9.32	0.26
150301	ปากซอยกรุงเทพ-นนทบุรี 39	8.02	8.29	0.27
150302	ตรงข้ามซอยรัชดาภิเษก 72	10.94	11.52	0.58
150303	หน้ามหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	8.27	8.51	0.24
150304	ปากซอยกรุงเทพ-นนทบุรี 43	6.42	6.49	0.07
150305	แยกประชานุกูล	14.27	15.19	0.92
150401	อาคารปานศรี ถนนรัชดาภิเษก	13.50	15.65	2.15
15040201	ตรงข้ามตลาดบองมาร์เช่ ถนนเทศบาลสงเคราะห์	10.58	11.94	1.36
15040202	ซอยเทศบาลรังสรรเหนือ ถนนเทศบาลนิมิตเหนือ	10.11	11.12	1.01
15040401	ตรงข้ามเรือนจำกรุงเทพฯ ถนนงามวงศ์วาน	9.82	10.01	0.19

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

DMA	สถานที่	แรงดัน (เมตรน้ำ)		
		แบบจำลองเริ่มต้น	แบบจำลองกรณีที่1	ความแตกต่าง
15040402	ชุมชนประชาร่วมใจ ถนนงามวงศ์วาน	9.46	9.76	0.30
150405	ตลาดบองมาร์เช่ ถนนเทศบาลสงเคราะห์	10.58	11.94	1.36
150501	ตลาดพงษ์เพชร ถนนงามวงศ์วาน	10.61	10.63	0.02
150502	ตรงข้ามซอยงามวงศ์วาน 38 ถนนงามวงศ์วาน	9.99	10.13	0.14
150503	การประปานครหลวง (สำนักงานใหญ่)	23.56	23.56	0.00
150504	สนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค ฝั่งใต้	23.54	23.54	0.00
150505	สนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค ฝั่งเหนือ	23.55	23.55	0.00
150507	ตรงข้ามซอยแจ้งวัฒนะ 12 ถนนแจ้งวัฒนะ	12.01	12.01	0.00
150601	หน้าบ้านเมตตา ถนนแจ้งวัฒนะ	10.69	10.69	0.00
150602	ซอยแจ้งวัฒนะ 10 ถนนแจ้งวัฒนะ	10.03	10.03	0.00
150603	หน้าเคหะทุ่งสองห้อง ถนนกำแพงเพชร 6	19.04	19.04	0.00
150604	หน้าหมู่บ้านเมืองทอง	11.75	11.75	0.00
150702	สะพานข้ามคลองตาอูฐ ถนนพิงนคร	10.87	10.87	0.00
150703	ซอยเวฬุวนาราม 12 ถนนเวฬุวนาราม	10.40	10.4	0.00
150705	โรงเรียนสีกัน วัฒนานันท์อุปถัมภ์ ถนนสรงประภา	16.15	16.15	0.00
150706	ซอยสรงประภา 9/1 ถนนสรงประภา	10.11	10.11	0.00
150801	ตรงข้ามโรงเรียนสีกัน วัฒนานันท์อุปถัมภ์ ถนนสรงประภา	16.15	16.15	0.00
150803	ตรงข้ามสนามบินเล็ก ถนนเดชะตุงคะ	12.74	12.74	0.00
150804	สนามบินเล็ก ถนนเดชะตุงคะ	11.77	11.77	0.00
150805	ตรงข้ามอาคารพักอาศัยกองทัพอากาศ ถนนเดชะตุงคะ	15.06	15.06	0.00
15080601	สน.ดอนเมือง ถนนเดชะตุงคะ	15.58	15.58	0.00
15080602	อาคารพักอาศัยกองทัพอากาศ ถนนเดชะตุงคะ	15.06	15.06	0.00
	เฉลี่ย	11.94	12.33	0.39

4.3.2 แบบจำลองกรณีที่ 2

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม. เป็น 1200 มม. บริเวณถนนแจ้งวัฒนะ ตั้งแต่คลองประปาถึงซอยแจ้งวัฒนะ 14 ความยาวประมาณ 730 ม.

จากการทดลองวางท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1200 มม.ทดแทนท่อเดิมที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม. บนแบบจำลองระบบท่อประปาในพื้นที่ศึกษาบริเวณด้านเหนือซึ่งได้รับอิทธิพลจากโรงสูบ-จ่ายน้ำบางเขนพบว่ามีค่าแรงดันที่ปรับตัวเพิ่มขึ้นในทุกพื้นที่ด้านเหนือเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองระบบท่อประปาเริ่มต้น รวมถึงค่าเฉลี่ยของแรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 12.07 เมตร

ภาพที่ 4.4 แสดงตำแหน่งการปรับปรุงแบบจำลองกรณีที่ 2

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความแตกต่างของแรงดันน้ำจากแบบจำลองเริ่มต้นกับแบบจำลองกรณีที่ 2

DMA	สถานที่	แรงดัน (เมตรน้ำ)		
		แบบจำลองเริ่มต้น	แบบจำลองกรณีที่ 2	ความแตกต่าง
150102	ตรงข้ามร้านวิเศษไก่ย่าง ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.45	8.45	0.00
150103	ปากซอยสะพานขวา ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	8.40	8.40	0.00
15010401	ปากซอยเสริมสุข ถนนเลียบคลองประปาฝั่งขวา	13.39	13.39	0.00
15010402	หน้าห้างโลตัสประชาชื่น ถนนเลียบคลองประปาฝั่งขวา	8.44	8.44	0.00
150105	สามแยกวัดสะพานสูง ถนนเตชะวานิช	8.28	8.28	0.00
150106	ตรงข้ามอาคารปานศรี ถนนรัชดาภิเษก	13.22	13.22	0.00
150107	ใต้สะพานรัชวิภา	12.26	12.26	0.00
150201	ปากซอยประชาชื่น 5 ถนนประชาชื่น	9.37	9.37	0.00
150202	หน้าอาคารนำสินประกันภัย ถนนกรุงเทพ-นนทบุรี	8.14	8.14	0.00
150203	ปากซอยไสวสุวรรณ ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.62	8.62	0.00
150204	ตรงข้ามซอยสะพานขวา ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	8.38	8.38	0.00
150205	ตรงข้ามซอยไสวสุวรรณ ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.62	8.62	0.00
150206	ตรงข้ามวัดสร้อยทอง ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	9.06	9.06	0.00
150301	ปากซอยกรุงเทพ-นนทบุรี 39	8.02	8.02	0.00
150302	ตรงข้ามซอยรัชดาภิเษก 72	10.94	10.94	0.00
150303	หน้ามหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	8.27	8.27	0.00
150304	ปากซอยกรุงเทพ-นนทบุรี 43	6.42	6.42	0.00
150305	แยกประชานุกูล	14.27	14.27	0.00
150401	อาคารปานศรี ถนนรัชดาภิเษก	13.50	13.50	0.00
15040201	ตรงข้ามตลาดบองมาร์เช่ ถนนเทศบาลสงเคราะห์	10.58	10.58	0.00
15040202	ซอยเทศบาลรังสรรเหนือ ถนนเทศบาลนิมิตเหนือ	10.11	10.11	0.00
15040401	ตรงข้ามเรือนจำกรุงเทพฯ ถนนงามวงศ์วาน	9.82	9.82	0.00

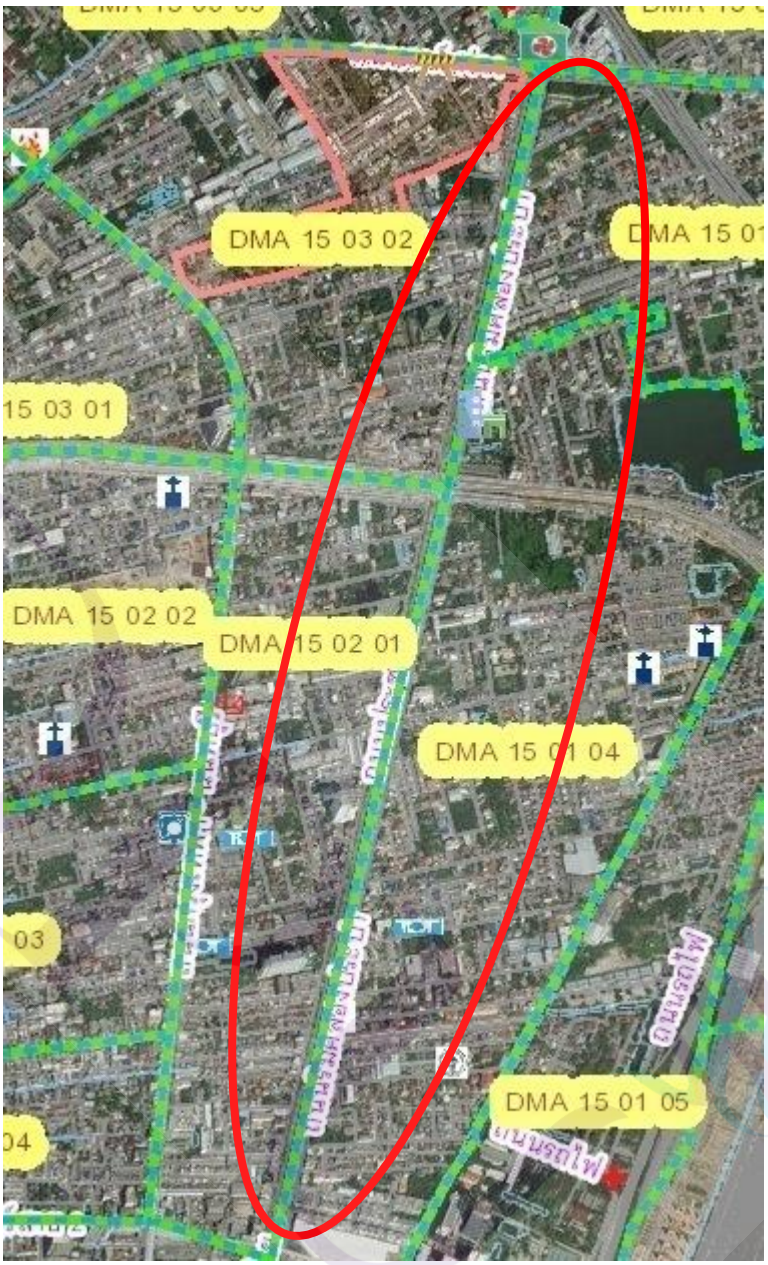
ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

DMA	สถานที่	แรงดัน (เมตรน้ำ)		
		แบบจำลองเริ่มต้น	แบบจำลองกรณีที่2	ความแตกต่าง
15040402	ชุมชนประชาร่วมใจ ถนนงามวงศ์วาน	9.46	9.46	0.00
150405	ตลาดบองมาร์เช่ ถนนเทศบาลสงเคราะห์	10.58	10.58	0.00
150501	ตลาดพงษ์เพชร ถนนงามวงศ์วาน	10.61	10.61	0.00
150502	ตรงข้ามซอยงามวงศ์วาน 38 ถนนงามวงศ์วาน	9.99	9.99	0.00
150503	การประปานครหลวง (สำนักงานใหญ่)	23.56	23.56	0.00
150504	สนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค ฝั่งใต้	23.54	23.54	0.00
150505	สนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค ฝั่งเหนือ	23.55	23.55	0.00
150507	ตรงข้ามซอยแจ้งวัฒนะ 12 ถนนแจ้งวัฒนะ	12.01	13.12	1.11
150601	หน้าบ้านเมตตา ถนนแจ้งวัฒนะ	10.69	11.80	1.11
150602	ซอยแจ้งวัฒนะ 10 ถนนแจ้งวัฒนะ	10.03	11.15	1.12
150603	หน้าเคหะทุ่งสองห้อง ถนนกำแพงเพชร 6	19.04	19.07	0.03
150604	หน้าหมู่บ้านเมืองทอง	11.75	12.69	0.94
150702	สะพานข้ามคลองตาอูฐ ถนนพิงนคร	10.87	11.45	0.58
150703	ซอยเวฬุวนาราม 12 ถนนเวฬุวนาราม	10.40	10.65	0.25
150705	โรงเรียนสีกัน วัฒนานันท์อุปถัมภ์ ถนนสรงประภา	16.15	16.21	0.06
150706	ซอยสรงประภา 9/1 ถนนสรงประภา	10.11	10.30	0.19
150801	ตรงข้ามโรงเรียนสีกัน วัฒนานันท์อุปถัมภ์ ถนนสรงประภา	16.15	16.21	0.06
150803	ตรงข้ามสนามบินเล็ก ถนนเดชะตุงคะ	12.74	12.87	0.13
150804	สนามบินเล็ก ถนนเดชะตุงคะ	11.77	11.92	0.15
150805	ตรงข้ามอาคารพักอาศัยกองทัพอากาศ ถนนเดชะตุงคะ	15.06	15.14	0.08
15080601	สน.ดอนเมือง ถนนเดชะตุงคะ	15.58	15.66	0.08
15080602	อาคารพักอาศัยกองทัพอากาศ ถนนเดชะตุงคะ	15.06	15.15	0.09
	เฉลี่ย	11.94	12.07	0.13

4.3.3 แบบจำลองกรณีที่ 3

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนประชาชื่น ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง แยกประชาชื่นตัดถนนประชาราษฎร์สาย 2 ความยาวประมาณ 2,800 ม.

จากการทดลองวางท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม.ทดแทนท่อเดิมที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600มม. บนแบบจำลองระบบท่อประปาในพื้นที่ศึกษาบริเวณด้านใต้ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากโรงสูบ-จ่ายน้ำบางเขนและโรงสูบ-จ่ายน้ำประชานุกูล พบว่ามีค่าแรงดันที่ปรับตัวเพิ่มขึ้นในทุกพื้นที่ด้านใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองระบบท่อประปาเริ่มต้น รวมถึงค่าเฉลี่ยของแรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 13.37 เมตร



ภาพที่ 4.5 แสดงตำแหน่งการปรับปรุงแบบจำลองกรณีที่ 3

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความแตกต่างของแรงดันน้ำจากแบบจำลองเริ่มต้นกับแบบจำลองกรณีที่ 3

DMA	สถานที่	แรงดัน (เมตรน้ำ)		
		แบบจำลองเริ่มต้น	แบบจำลองกรณีที่ 3	ความแตกต่าง
150102	ตรงข้ามร้านวิเศษไก่ย่าง ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.45	13.23	4.78
150103	ปากซอยสะพานขวา ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	8.40	13.34	4.94
15010401	ปากซอยเสริมสุข ถนนเลียบคลองประปาฝั่งขวา	13.39	15.95	2.56
15010402	หน้าห้างโลตัสประชาชื่น ถนนเลียบคลองประปาฝั่งขวา	8.44	13.90	5.46
150105	สามแยกวัดสะพานสูง ถนนเตชะวานิช	8.28	13.74	5.46
150106	ตรงข้ามอาคารปานศรี ถนนรัชดาภิเษก	13.22	13.84	0.62
150107	ใต้สะพานรัชวิภา	12.26	12.81	0.55
150201	ปากซอยประชาชื่น 5 ถนนประชาชื่น	9.37	14.33	4.96
150202	หน้าอาคารนำสินประกันภัย ถนนกรุงเทพ-นนทบุรี	8.14	11.53	3.39
150203	ปากซอยไสวสุวรรณ ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.62	13.29	4.67
150204	ตรงข้ามซอยสะพานขวา ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	8.38	13.33	4.95
150205	ตรงข้ามซอยไสวสุวรรณ ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.62	13.28	4.66
150206	ตรงข้ามวัดสร้อยทอง ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	9.06	13.41	4.35
150301	ปากซอยกรุงเทพ-นนทบุรี 39	8.02	10.45	2.43
150302	ตรงข้ามซอยรัชดาภิเษก 72	10.94	12.66	1.72
150303	หน้ามหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	8.27	12.36	4.09
150304	ปากซอยกรุงเทพ-นนทบุรี 43	6.42	7.02	0.60
150305	แยกประชานุกูล	14.27	15.48	1.21
150401	อาคารปานศรี ถนนรัชดาภิเษก	13.50	14.15	0.65
15040201	ตรงข้ามตลาดบองมาร์เช่ ถนนเทศบาลสงเคราะห์	10.58	10.93	0.35
15040202	ซอยเทศบาลรังสรรเหนือ ถนนเทศบาลนิมิตเหนือ	10.11	10.37	0.26
15040401	ตรงข้ามเรือนจำกรุงเทพฯ ถนนงามวงศ์วาน	9.82	9.87	0.05

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

DMA	สถานที่	แรงดัน (เมตรน้ำ)		
		แบบจำลองเริ่มต้น	แบบจำลองกรณีที่3	ความแตกต่าง
15040402	ชุมชนประชาร่วมใจ ถนนงามวงศ์วาน	9.46	9.54	0.08
150405	ตลาดบองมาร์เช่ ถนนเทศบาลสงเคราะห์	10.58	10.93	0.35
150501	ตลาดพงษ์เพชร ถนนงามวงศ์วาน	10.61	10.62	0.01
150502	ตรงข้ามซอยงามวงศ์วาน 38 ถนนงามวงศ์วาน	9.99	10.03	0.04
150503	การประปานครหลวง (สำนักงานใหญ่)	23.56	23.56	0.00
150504	สนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค ฝั่งใต้	23.54	23.54	0.00
150505	สนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค ฝั่งเหนือ	23.55	23.55	0.00
150507	ตรงข้ามซอยแจ้งวัฒนะ 12 ถนนแจ้งวัฒนะ	12.01	12.01	0.00
150601	หน้าบ้านเมตตา ถนนแจ้งวัฒนะ	10.69	10.69	0.00
150602	ซอยแจ้งวัฒนะ 10 ถนนแจ้งวัฒนะ	10.03	10.03	0.00
150603	หน้าเคหะทุ่งสองห้อง ถนนกำแพงเพชร 6	19.04	19.04	0.00
150604	หน้าหมู่บ้านเมืองทอง	11.75	11.75	0.00
150702	สะพานข้ามคลองตาอูฐ ถนนพิงนคร	10.87	10.87	0.00
150703	ซอยเวฬุวนาราม 12 ถนนเวฬุวนาราม	10.40	10.4	0.00
150705	โรงเรียนสีกัน วัฒนานันท์อุปถัมภ์ ถนนสรงประภา	16.15	16.15	0.00
150706	ซอยสรงประภา 9/1 ถนนสรงประภา	10.11	10.11	0.00
150801	ตรงข้ามโรงเรียนสีกัน วัฒนานันท์อุปถัมภ์ ถนนสรงประภา	16.15	16.15	0.00
150803	ตรงข้ามสนามบินเล็ก ถนนเดชะตุงคะ	12.74	12.74	0.00
150804	สนามบินเล็ก ถนนเดชะตุงคะ	11.77	11.77	0.00
150805	ตรงข้ามอาคารพักอาศัยกองทัพอากาศ ถนนเดชะตุงคะ	15.06	15.06	0.00
15080601	สน.ดอนเมือง ถนนเดชะตุงคะ	15.58	15.58	0.00
15080602	อาคารพักอาศัยกองทัพอากาศ ถนนเดชะตุงคะ	15.06	15.06	0.00
	เฉลี่ย	11.94	13.37	1.43

4.3.4 แบบจำลองกรณีที่ 4

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 800 มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนรัชดาภิเษก ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง ถนนกำแพงเพชร 2 ความยาวประมาณ 1,350 ม.

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม. เป็น 1200มม. บริเวณถนนแจ้งวัฒนะ ตั้งแต่คลองประปาถึงซอยแจ้งวัฒนะ 14 ความยาวประมาณ 730 ม.

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนประชาชื่น ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง แยกประชาชื่นตัดถนนประชาราษฎร์สาย 2 ความยาวประมาณ 2,800 ม.

จากการทดลองวางท่อดังกล่าวทดแทนท่อเดิม บนแบบจำลองระบบท่อประปาในพื้นที่ศึกษาบริเวณด้านเหนือและใต้ ที่ได้รับอิทธิพลจากโรงสูบ-จ่ายน้ำบางเขนและโรงสูบ-จ่ายน้ำประชานุกูล พบว่ามีค่าแรงดันที่ปรับตัวเพิ่มขึ้นในทุกพื้นที่เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองระบบท่อประปาเริ่มต้น รวมถึงค่าเฉลี่ยของแรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 13.68 เมตร

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความแตกต่างของแรงดันน้ำจากแบบจำลองเริ่มต้นกับแบบจำลองกรณีที่ 4

DMA	สถานที่	แรงดัน (เมตรน้ำ)		
		แบบจำลองเริ่มต้น	แบบจำลองกรณีที่ 4	ความแตกต่าง
150102	ตรงข้ามร้านวิเศษไก่ย่าง ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.45	13.19	4.74
150103	ปากซอยสะพานขวา ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	8.40	13.30	4.90
15010401	ปากซอยเสริมสุข ถนนเลียบคลองประปาฝั่งขวา	13.39	15.87	2.48
15010402	หน้าห้างโลตัสประชาชื่น ถนนเลียบคลองประปาฝั่งขวา	8.44	13.85	5.41
150105	สามแยกวัดสะพานสูง ถนนเตชะวานิช	8.28	13.69	5.41
150106	ตรงข้ามอาคารปานศรี ถนนรัชดาภิเษก	13.22	15.34	2.12
150107	ใต้สะพานรัชวิภา	12.26	14.79	2.53
150201	ปากซอยประชาชื่น 5 ถนนประชาชื่น	9.37	14.27	4.90
150202	หน้าอาคารนำสินประกันภัย ถนนกรุงเทพ-นนทบุรี	8.14	11.50	3.36
150203	ปากซอยไสวสุวรรณ ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.62	13.24	4.62
150204	ตรงข้ามซอยสะพานขวา ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	8.38	13.28	4.90
150205	ตรงข้ามซอยไสวสุวรรณ ถนนประชาราษฎร์ สาย 1	8.62	13.24	4.62
150206	ตรงข้ามวัดสร้อยทอง ถนนประชาราษฎร์ สาย 2	9.06	13.37	4.31
150301	ปากซอยกรุงเทพ-นนทบุรี 39	8.02	10.44	2.42
150302	ตรงข้ามซอยรัชดาภิเษก 72	10.94	12.67	1.73
150303	หน้ามหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	8.27	12.33	4.06
150304	ปากซอยกรุงเทพ-นนทบุรี 43	6.42	7.02	0.60
150305	แยกประชานุกูล	14.27	15.53	1.26
150401	อาคารปานศรี ถนนรัชดาภิเษก	13.50	15.50	2.00
15040201	ตรงข้ามตลาดบองมาร์เช่ ถนนเทศบาลสงเคราะห์	10.58	11.94	1.36
15040202	ซอยเทศบาลรังสรรเหนือ ถนนเทศบาลนิมิตเหนือ	10.11	11.12	1.01
15040401	ตรงข้ามเรือนจำกรุงเทพฯ ถนนงามวงศ์วาน	9.82	10.01	0.19

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

DMA	สถานที่	แรงดัน (เมตรน้ำ)		
		แบบจำลองเริ่มต้น	แบบจำลองกรณีที่4	ความแตกต่าง
15040402	ชุมชนประชาร่วมใจ ถนนงามวงศ์วาน	9.46	9.77	0.31
150405	ตลาดบองมาร์เช่ ถนนเทศบาลสงเคราะห์	10.58	11.94	1.36
150501	ตลาดพงษ์เพชร ถนนงามวงศ์วาน	10.61	10.63	0.02
150502	ตรงข้ามซอยงามวงศ์วาน 38 ถนนงามวงศ์วาน	9.99	10.13	0.14
150503	การประปานครหลวง (สำนักงานใหญ่)	23.56	23.56	0.00
150504	สนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค ฝั่งใต้	23.54	23.54	0.00
150505	สนามกอล์ฟนอร์ธปาร์ค ฝั่งเหนือ	23.55	23.55	0.00
150507	ตรงข้ามซอยแจ้งวัฒนะ 12 ถนนแจ้งวัฒนะ	12.01	13.12	1.11
150601	หน้าบ้านเมตตา ถนนแจ้งวัฒนะ	10.69	11.80	1.11
150602	ซอยแจ้งวัฒนะ 10 ถนนแจ้งวัฒนะ	10.03	11.15	1.12
150603	หน้าเคหะทุ่งสองห้อง ถนนกำแพงเพชร 6	19.04	19.07	0.03
150604	หน้าหมู่บ้านเมืองทอง	11.75	12.69	0.94
150702	สะพานข้ามคลองตาอูฐ ถนนพิงนคร	10.87	11.45	0.58
150703	ซอยเวฬุวนาราม 12 ถนนเวฬุวนาราม	10.40	10.65	0.25
150705	โรงเรียนสีกัน วัฒนานันท์อุปถัมภ์ ถนนสรงประภา	16.15	16.21	0.06
150706	ซอยสรงประภา 9/1 ถนนสรงประภา	10.11	10.30	0.19
150801	ตรงข้ามโรงเรียนสีกัน วัฒนานันท์อุปถัมภ์ ถนนสรงประภา	16.15	16.21	0.06
150803	ตรงข้ามสนามบินเล็ก ถนนเดชะตุงคะ	12.74	12.87	0.13
150804	สนามบินเล็ก ถนนเดชะตุงคะ	11.77	11.92	0.15
150805	ตรงข้ามอาคารพักอาศัยกองทัพอากาศ ถนนเดชะตุงคะ	15.06	15.14	0.08
15080601	สน.ดอนเมือง ถนนเดชะตุงคะ	15.58	15.66	0.08
15080602	อาคารพักอาศัยกองทัพอากาศ ถนนเดชะตุงคะ	15.06	15.15	0.09
	เฉลี่ย	11.94	13.68	1.74

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความแตกต่างของแรงดันน้ำในแต่ละกรณี

กรณี	แรงดันเฉลี่ย (เมตรน้ำ)			ร้อยละที่เพิ่มขึ้น /(ลดลง)
	แบบจำลอง เริ่มต้น	แบบจำลอง	ความแตกต่าง	
แบบจำลองระบบท่อประปากรณีที่ 1	11.94	12.33	0.39	3.27
แบบจำลองระบบท่อประปากรณีที่ 2	11.94	12.07	0.13	1.09
แบบจำลองระบบท่อประปากรณีที่ 3	11.94	13.37	1.43	11.98
แบบจำลองระบบท่อประปากรณีที่ 4	11.94	13.68	1.74	14.57

จากการศึกษาแบบจำลองระบบท่อประทั้ง 4 กรณี บนโปรแกรม EPANET 2.0 เมื่อเปรียบเทียบแรงดันเฉลี่ยภายหลังจากการจำลองปรับปรุงท่อประปา พบว่าแบบจำลองกรณีที่ 4 ปรับปรุงท่อบริเวณถนนรัชดาภิเษกตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง ถนนกำแพงเพชร 2, บริเวณถนนแจ้งวัฒนะตั้งแต่คลองประปาถึงซอยแจ้งวัฒนะ 14 และบริเวณถนนประชาชื่น ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึงแยกประชาชื่นตัดถนนประชาราษฎร์สาย 2 ซึ่งเป็นการปรับปรุงท่อจากทุกกรณีที่ทำการศึกษามีค่าแรงดันเฉลี่ย (เมตรน้ำ) เพิ่มขึ้นมากที่สุดเท่ากับ 13.68 เมตร คิดเป็นร้อยละ 14.57 แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลที่เพิ่มมากขึ้นในทุกพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างปรับปรุงท่อในแต่ละกรณี

กรณี	ความยาว (เมตร)	ราคาค่าก่อสร้างต่อเมตร	ราคารวม (บาท)
แบบจำลองระบบท่อประปากรณีที่ 1	1,350	29,520	39,852,000
แบบจำลองระบบท่อประปากรณีที่ 2	730	31,860	23,257,800
แบบจำลองระบบท่อประปากรณีที่ 3	2,800	21,450	60,060,000
แบบจำลองระบบท่อประปากรณีที่ 4	4,880	24,580	119,950,400

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการจำลองระบบการจ่ายน้ำของพื้นที่ศึกษา สำนักงานประปาสาขาประชาชื่น การประปานครหลวงด้วยแบบโปรแกรมจำลอง EPANET 2.0 มีขั้นตอนคือศึกษารวบรวมข้อมูล สอบเทียบแบบจำลองระบบท่อประปา และปรับแก้ให้ได้ค่าหลังการจำลองเทียบเคียงกับข้อมูลจริง การประยุกต์แบบจำลองด้วยกรณีศึกษาผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า

จากการสอบเทียบแบบจำลองระบบท่อประปา กับข้อมูลแรงดันน้ำบริเวณจุดทางเข้าพื้นที่ภาคสนามจำนวน 44 จุดมีความคล้ายคลึงกัน โดยค่าแรงดันเฉลี่ยจากแบบจำลองเท่ากับ 11.94 เมตร ค่าแรงดันเฉลี่ยจากภาคสนามเท่ากับ 11.59 เมตร และค่าความแตกต่างของแรงดันเฉลี่ยระหว่างค่าจากแบบจำลองกับค่าจากภาคสนามเท่ากับ 0.35 เมตร คิดเป็นร้อยละ 3.01 เมื่อพิจารณาจากขนาดของแบบจำลองและข้อจำกัดของค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เป็นผลให้แบบจำลองที่ได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษา ดังผลการประยุกต์ใช้ทั้ง 4 กรณีศึกษา ดังนี้

5.1.1 แบบจำลองกรณีที่ 1

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 800 มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนรัชดาภิเษก ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง ถนนกำแพงเพชร 2 ความยาวประมาณ 1,350 ม.

จากการทดลองวางท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม.ทดแทนท่อเดิมที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 800 มม. บนแบบจำลองระบบท่อประปาในพื้นที่ศึกษาบริเวณด้านใต้ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากโรงสูบ-จ่ายน้ำบางเขนและโรงสูบ-จ่ายน้ำประชานุกูลพบว่ามีค่าแรงดันที่ปรับตัวเพิ่มขึ้นในทุกพื้นที่ด้านใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองระบบท่อประปาเริ่มต้น รวมถึงค่าเฉลี่ยของแรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 12.33 เมตร

5.1.2 แบบจำลองกรณีที่ 2

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม. เป็น 1200มม. บริเวณถนนแจ้งวัฒนะ ตั้งแต่คลองประปาถึงซอยแจ้งวัฒนะ 14 ความยาวประมาณ 730 ม.

จากการทดลองวางท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1200 มม.ทดแทนท่อเดิมที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000มม. บนแบบจำลองระบบท่อประปาในพื้นที่ศึกษาบริเวณด้านเหนือซึ่งได้รับอิทธิพลจากโรงสูบ-จ่ายน้ำบางเขนพบว่ามีค่าแรงดันที่ปรับตัวเพิ่มขึ้นในทุกพื้นที่ด้านเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับ

แบบจำลองระบบท่อประปาเริ่มต้น รวมถึงค่าเฉลี่ยของแรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 12.07 เมตร

5.1.3 แบบจำลองกรณีที่ 3

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนประชาชื่น ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง แยกประชาชื่นตัดถนนประชาราษฎร์สาย 2 ความยาวประมาณ 2,800 ม.

จากการทดลองวางท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม.ทดแทนท่อเดิมที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600มม. บนแบบจำลองระบบท่อประปาในพื้นที่ศึกษาบริเวณด้านใต้ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากโรงสูบ-จ่ายน้ำบางเขนและโรงสูบ-จ่ายน้ำประชานุกูล พบว่ามีค่าแรงดันที่ปรับตัวเพิ่มขึ้นในทุกพื้นที่ด้านใต้ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองระบบท่อประปาเริ่มต้น รวมถึงค่าเฉลี่ยของแรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 13.37 เมตร

5.1.4 แบบจำลองกรณีที่ 4

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 800 มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนรัชดาภิเษก ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง ถนนกำแพงเพชร 2 ความยาวประมาณ 1,350 ม.

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม. เป็น 1200มม. บริเวณถนนแจ้งวัฒนะ ตั้งแต่คลองประปาถึงซอยแจ้งวัฒนะ 14 ความยาวประมาณ 730 ม.

ปรับปรุงท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มม. เป็น 1000 มม. บริเวณถนนประชาชื่น ตั้งแต่แยกประชานุกูล ถึง แยกประชาชื่นตัดถนนประชาราษฎร์สาย 2 ความยาวประมาณ 2,800 ม.

จากการทดลองวางท่อดังกล่าวทดแทนท่อเดิม บนแบบจำลองระบบท่อประปาในพื้นที่ศึกษาบริเวณด้านเหนือและใต้ ที่ได้รับอิทธิพลจากโรงสูบ-จ่ายน้ำบางเขนและโรงสูบ-จ่ายน้ำประชานุกูล พบว่ามีค่าแรงดันที่ปรับตัวเพิ่มขึ้นในทุกพื้นที่เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองระบบท่อประปาเริ่มต้น รวมถึงค่าเฉลี่ยของแรงดันในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาเปลี่ยนจาก 11.94 เมตร เป็น 13.68 เมตร

จากการจำลองระบบท่อประปาภายใต้แรงดันบนโปรแกรม EPANET 2.0 พบว่าได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ แบบจำลองระบบท่อประปาสามารถจำลองได้คล้ายคลึงสถานการณ์จริง จึงสามารถนำไปใช้ทดสอบปรับเปลี่ยนตามกรณีที่ต้องการแล้วนำมาสรุปผล เมื่อพิจารณาในเรื่องค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างปรับปรุงด้วยวิธีขุดวางและงานดันท่อลอดซึ่งมีค่าก่อสร้างแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างทั้งหมดพบว่าการก่อสร้างในกรณีที่ 3 มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดเนื่องจากสามารถทำได้ด้วยวิธีขุดวางซึ่งผลกระทบของแรงดันเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น ถึงร้อยละ 11.98 การปรับปรุงในกรณีดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะสามารถแก้ไขปัญหาเรื่องแรงดันในลำดับแรก

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการจำลองระบบท่อประปา เพื่อแก้ปัญหาแรงดันน้ำอ่อนในพื้นที่ศึกษา บริเวณสำนักงานประปาสาขาประชาชื่น การประปานครหลวง เมื่อพิจารณาจากแรงดันที่แบบจำลองประมวลผลได้กับแรงดันที่ได้จากภาคสนามได้ผลเป็นที่พอใจแต่หากจะเพิ่มประสิทธิภาพในการจำลองระบบท่อประปาให้ดียิ่งขึ้น ข้อเสนอดังต่อไปนี้จะมีส่วนช่วยให้การจำลองสมบูรณ์ขึ้น และจะเป็นประโยชน์กับผู้ศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

5.2.1 การศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาจุดทุกจุด มีระดับความสูงเท่ากันทั้งหมด หากมีข้อมูลที่แน่ชัดถึงระดับของเส้นท่อจะทำให้ผลการจำลองระบบท่อประปามีค่าที่ใกล้เคียงเพิ่มมากยิ่งขึ้น

5.2.2หากมีการปรับปรุงในภาคสนาม ควรจะต้องนำมาปรับปรุงในฐานข้อมูลเพื่อข้อมูลมีความเป็นปัจจุบันมากที่สุด จะส่งผลถึงการจำลอง จะมีค่าที่ใกล้เคียงเพิ่มมากขึ้น

5.3.3 ควรมีการตรวจสอบค่าของเครื่องวัดภาคสนาม เนื่องจากจุดวัดภาคสนามติดตั้งมาไม่น้อยกว่า 5 ปี จะทำให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองใกล้เคียงเพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

การประปานครหลวง. (2560). รายงานประจำปี 2560, 48

ธนพัฒน์ วัฒนธรรม (2558). *การศึกษาและวิเคราะห์การวางท่อส่งน้ำประปาลอดใต้แม่น้ำลัดเกร็ดด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธีรเดช กัจฉปคีรินทร์ (2552). การบริหารจัดการพื้นที่เฝ้าระวังน้ำสูญเสีย ในพื้นที่สำนักงานประปาสาขา ประชาชื่น ของการประปานครหลวง โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0 (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต) . กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2560). *บทสรุปสำหรับผู้บริหารการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้บริการของการประปานครหลวง ปีงบประมาณ* 2560, 8

สุทธิศักดิ์ ลาภประเสริฐ (2547). *การจำลองระบบสูบจ่ายน้ำในพื้นที่สำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆของการ*
ประปานครหลวง โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0 (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต) . กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาษาต่างประเทศ

A. E. Adeniran and M. A. Oyelowo. (2013). An EPANET Analysis of Water Distribution Network of the University of Lagos, Nigeria. University of Lagos, Nigeria: Nigeria

Arjun Kumar. Et al. (2015). Design of Water Distribution System Using Epanet. Arni University: India

Lewis A. Rossman. (2000). EPANET 2 USERS MANUAL. United State: Author.

RASOOLI Ahmadullah and KANG Dongshik. (2016). Designing of Hydraulically Balanced Water Distribution Network Based on GIS and EPANET. University of The Ryukyus: Japan

Shivalingaswami. S. Et al (2016) ศึกษาเรื่อง “Hydraulic modeling of water supply network using EPANET.

Belagavi: India

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงข้อมูลจุดในแบบจำลองความต้องการน้ำ

Node ID	X-Coord	Y-Coord	Base Demand (CMH)
150102	100.52	13.81	260.23
15010301	100.53	13.81	93.07
15010401	100.54	13.82	136.61
15010402	100.53	13.81	136.61
150105	100.53	13.80	137.25
150106	100.55	13.83	116.28
150107	100.55	13.83	84.73
150201	100.53	13.81	119.84
150202	100.53	13.82	116.15
150203	100.52	13.81	137.41
150204	100.53	13.81	175.25
150205	100.52	13.81	136.79
150206	100.52	13.81	147.97
150301	100.53	13.83	157.41
150302	100.53	13.83	144.79
150303	100.51	13.82	175.63
150304	100.52	13.83	195.36
150305	100.54	13.83	136.06
150401	100.55	13.83	88.02
15040201	100.55	13.84	72.39
15040202	100.54	13.84	125.72
15040401	100.55	13.85	68.30
15040402	100.56	13.85	47.95
150405	100.55	13.84	77.98

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

Node ID	X-Coord	Y-Coord	Base Demand (CMH)
150501	100.55	13.86	102.96
150502	100.55	13.85	280.64
150503	100.55	13.88	276.65
150504	100.57	13.87	136.97
150505	100.57	13.87	25.91
150507	100.56	13.89	247.87
150601	100.57	13.89	239.10
150602	100.57	13.89	355.22
150603	100.59	13.90	305.48
150604	100.56	13.90	134.38
150702	100.57	13.91	265.77
150703	100.57	13.93	190.84
150705	100.59	13.92	187.12
150706	100.58	13.93	208.70
150801	100.59	13.92	198.40
150803	100.59	13.94	152.71
150804	100.58	13.94	109.92
150805	100.60	13.94	115.26
15080601	100.61	13.93	115.38
15080601	100.60	13.94	56.12
U101	100.58	13.89	2287.00
U108	100.52	13.80	261.40
U109	100.54	13.80	243.08
U217	100.51	13.82	762.93

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

Node ID	X-Coord	Y-Coord	Base Demand (CMH)
UZ0301	100.56	13.85	1198.00
UZ0303	100.55	13.83	1396.00

ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงข้อมูลจุดในแบบจำลองการจ่ายน้ำ(Reservoir)

Node ID	X-Coord	Y-Coord	Pressure (Meter)
U209	100.55	13.86	10.69
U212	100.55	13.90	14.24
U215	100.54	13.85	8.86
U216	100.52	13.83	5.89
U230	100.57	13.87	21.75
U231	100.57	13.87	9.14
U232	100.55	13.88	23.56
U233	100.55	13.88	14.92
U248	100.56	13.93	9.55

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสิระ อวยพร
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2552 ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิศวกร โยธา ระดับ 4 สำนักงานประปาสาขาประชาชื่น การประปานครหลวง

DPU