การวิเคราะห์หาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วด้วยแบบจำลอง EPANET

นายอนุสรณ์ แก้วศรีนวม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2560

การวิเคราะห์หาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วด้วยแบบจำลอง EPANET

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(รศ. ดร.วชรภูมิ เบญจโอพาร)
ประธานกรรมการ

_____

(ผศ. ดร.ปรียาพร โกษา)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

_____

(ดร.อภิชาติ สุดดีพงษ์)
กรรมการ

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อนุสรณ์ แก้วศรีนวม : การวิเคราะห์หาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วด้วยแบบจำลอง EPANET (ANALYSIS OF PIPELINE LEAKAGE POSITION USING EPANET)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาพร โกษา

ปัญหาน้ำสูญเสียในระบบส่งจ่ายมีผลกระทบโดยตรงต่อกิจการของการประปาส่วนภูมิภาค การลดน้ำสุญเสียจึงเป็นนโยบายหลัก วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้คือหาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วด้วยแบบจำลอง EPANET โดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ทดสอบหาตำแหน่งที่น้ำรั่วในห้องปฏิบัติการ และ 2) การจำลองหาตำแหน่งที่น้ำรั่วด้วยแบบจำลอง EPANET โดยใช้ท่อ PBขนาด 50 มม.ในการทดสอบ ทำการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลและแรงดันที่จุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของช่วงท่อที่ทำการทดสอบ จากนั้นกำหนดตำแหน่งที่น้ำรั่วระหว่างช่วงท่อ โดยทำการจ่ายน้ำเข้าเส้นท่อด้วยอัตราการไหลและแรงดันที่แตกต่างกัน ทดสอบจำนวน 6 ครั้ง นำค่าอัตราการไหลและแรงดันที่ได้จากการทดสอบไปเป็นข้อมูลในการจำลอง EPANET ผลการทดสอบพบว่า เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบจากห้องปฏิบัติการทั้งหมด 6 ครั้งกับแบบจำลอง EPANET มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 21.54 (คิดเป็น -7.15) ดังนั้นสรุปผลการศึกษาหาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วด้วยแบบจำลอง EPANET พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากในทางปฏิบัติการเปิดพื้นที่เพื่อหาตำแหน่งรั่วต้องเปิดพื้นที่เป็นระยะทาง 6-8 ม.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ลายมือชื่อนักศึกษา_____
ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ANUSORN KAEWSRINUAM : ANALYSIS OF PIPELINE LEAKAGE POSITION USING EPANET. ADVISOR : ASST. PROF. PREEYAPHORN KOSA, Ph.D.

The loss of water in the transmission system has a direct impact on the operation of the Provincial Waterworks Authority. Reducing water consumption is the main policy. The purpose of this study was to determine the location of the water supply pipeline leakage with the EPANET model. The study was divided into 2 parts: 1) water leakage in the laboratory and 2) Leakage with EPANET model using a 50 mm PB pipe for testing. Install the flow and pressure gauge at the start. And the end of the test pipeline range. then determine where the water leaks between the pipeline. The flow rate and pressure were tested for EPANET simulation results. Compared with all 6 laboratory tests. Calculate the flow rate and pressure from the test to the EPANET simulation data. The result found that the average error rate was 21.54 (-7.15). Therefore, the results of study pipeline leakage position with EPANET model, The average error is acceptable. In practice, open space to locate the leak must open the space to a distance of 6-8 m.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Construction and Infrastructure Management Student's Signature _____

Academic Year 2017 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานนี้ สำเร็จได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาพร โกษา ผู้ให้แนวคิด ให้โอกาส ให้คำแนะนำ รวมทั้งช่วยแก้ปัญหา ตรวจทานเนื้อหาอย่างละเอียด รวดเร็วอันเป็นความกรุณาและคุณประโยชน์ต่อผู้จัดทำเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบโครงงาน รองศาสตราจารย์. ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร ประธานกรรมการ ดร.อภิชาติ สุดดีพงษ์ กรรมการ ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นและให้คำแนะนำ ทำให้โครงงานนี้ถูกต้อง ครอบคลุมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะทำงานกองมาตรวัดน้ำ การประปาส่วนภูมิภาค ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ ขอขอบคุณ ผู้ประสานงาน คุณยศภัทร อยู่สอน วิศวกรงานโครงการก่อสร้าง 2 กองแผนและวิชาการ การประปาส่วนภูมิภาคเขต 1 ที่คอยช่วยเหลือและท่านอื่นๆ ที่มีส่วนร่วมแต่มิได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่น้อง รุ่น 15 ที่ช่วยเหลือและร่วมฝ่าฟันมาจนถึงปลายทางด้วยกัน

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ให้กำเนิด ขอบคุณพี่น้องและครอบครัวที่ร่วมสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษาเล่าเรียน จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

อนุสรณ์ แก้วศรีนวม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง ซ

สารบัญรูปภาพ ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย 2

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 โปรแกรม EPANET 3

2.1.1 ความหมายของโปรแกรม EPANET 3

2.1.2 คุณสมบัติของแบบจำลองทางด้านชลศาสตร์ 4

2.1.3 องค์ประกอบทางกายภาพ 4

2.1.4 การสูญเสียพลังงานในระบบท่อ 5

2.2 คุณสมบัติของของไหลและลักษณะการไหลในท่อ 5

2.3 สมการชลศาสตร์พื้นฐาน 7

2.3.1 การสมดุลมวล 7

2.3.2 การสมดุลพลังงาน 8

2.3.3 การสมดุลโมเมนตัม 9

2.4 การคำนวณการสูญเสียในระบบท่อ 10

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3 วิธีการศึกษา 23
3.1 อุปกรณ์ 23
3.2 การทดสอบหาตำแหน่งที่น้ำรั่ว โดยใช้ท่อ PB 23
3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่หายไป 25
3.3 การทดลองหาตำแหน่งที่น้ำรั่ว โดยใช้แบบจำลอง EPANET 27
3.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง EPANET 28
3.3.2 การใช้แบบจำลอง 28
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 33
4.1 การสอบเทียบระหว่างสมการของ Hazen-Williams และสมการของ Darcy-Weisbach 33
4.1.1 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 1 33
4.1.2 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 2 34
4.1.3 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 3 35
4.1.4 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 4 36
4.1.5 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 5 37
4.1.6 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 6 38
4.2 ผลจากการจำลองหาตำแหน่งท่อน้ำประปารั่วด้วย EPANET 39
5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ 42
5.1 การทดสอบหาตำแหน่งท่อรั่วในภาคสนาม 42
5.2 การสอบเทียบสมการหาความดันลด 42
5.3 การจำลองหาตำแหน่งท่อน้ำประปารั่วด้วย EPANET 42
5.4 ข้อเสนอแนะ 43
เอกสารอ้างอิง 44
ภาคผนวก คู่มือการใช้งานโปรแกรม EPANET 45
ประวัติผู้เขียน 60

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ความหยาบของท่อสำหรับใช้ทำนายความดันตก 15

2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืด K ของอุปกรณ์ท่อ 17

2.3 ข้อมูลการใช้น้ำหลังการทดสอบโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิมก่อนการทดสอบ 21

3.1 การบันทึกข้อมูล และผลจากการทดสอบ 24

4.1 ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งน้ำรั่ว ด้วยแบบจำลอง EPANET 40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบทางกายภาพในระบบจ่ายน้ำ 5
2.2 การไหลแบบไม่มีความหนืด 6
2.3 การไหลแบบราบเรียบ 7
2.4 การไหลแบบปั่นป่วน 7
2.5 การไหลในท่อเปลี่ยนขนาด 8
2.6 โมเมนตัมในของไหล 10
2.7 การสูญเสียความดันในท่อโดยตรง 10
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสีย และอัตราการไหลในท่อ 11
2.9 ความดันสูญเสียและอัตราการไหลในท่อขนาดต่างๆ 12
2.10 กราฟของมูดดี้ 14
2.11 ตัวอย่างพื้นที่ย่อย – ขอบเขต 18
2.12 ตัวอย่างพื้นที่ย่อย (DMA) 19
2.13 แบบจำลองพื้นที่จ่ายน้ำ 21
2.14 อัตราการไหลของน้ำจากการทดสอบ 22
3.1 ขั้นตอนการศึกษาในการทดสอบหาตำแหน่งที่น้ำรั่ว โดยใช้ท่อ PB 24
3.2 ติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหล และเครื่องมือวัดแรงดัน 26
3.3 การวิเคราะห์อัตราการไหลที่สูญหายไป 26
3.4 การเกิดท่อรั่วบนเส้นท่อส่งจ่ายน้ำประปา 27
3.5 การเลือกใช้ Headloss Formula 27
3.6 การแปลงไฟล์แนวท่อนามสกุล dwg เป็น wmf 28
3.7 ขั้นตอนนำเข้าไฟส์ bacldrop มาใช้ในโปรแกรม EPANET 30
3.8 การตั้งค่า Defaults ในโปรแกรม EPANET 30
3.9 องค์ประกอบทางกายภาพของแบบจำลอง 31
3.10 การนำเข้าข้อมูลจากการทดสอบใส่ลงในแบบจำลอง EPANET 31
3.11 การรันจนได้ค่าแรงดันที่จุดสิ้นสุดเท่ากับผลการทดสอบ 32
4.1 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบ
ครั้งที่ 1 กับ การคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W)
และ Darcy-Weisbach(D-W) 34

4.2 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบ
ครั้งที่ 2 กับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W)
และ Darcy-Weisbach (D-W) 35
4.3 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบ
ครั้งที่ 3 กับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W)
และ Darcy-Weisbach (D-W) 36
4.4 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบ
ครั้งที่ 4 กับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W)
และ Darcy-Weisbach (D-W) 37
4.5 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบ
ครั้งที่ 5 กับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams (H-W)
และ Darcy-Weisbach (D-W) 38
4.6 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบ
ครั้งที่ 6 กับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W)
และ Darcy-Weisbach (D-W) 39
4.7 ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งน้ำรั่ว ด้วยแบบจำลอง EPANET ครั้งที่ 1
ถึงครั้งที่ 6 41

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การประปาส่วนภูมิภาค หรือ กปภ. (Provincial Waterworks Authority) เป็นรัฐวิสาหกิจหนึ่งในสังกัดกระทรวงมหาดไทย ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2522 มีเขตพื้นที่บริการแบ่งออกเป็น 10 เขต ดูแลรับผิดชอบ สำนักงานประปาในสังกัดทั่วประเทศ ยกเว้นในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ

ปัจจุบันการประปาส่วนภูมิภาคได้พัฒนาการปฏิบัติงาน เพื่อให้ครอบคลุมเกี่ยวกับการอุปโภคบริโภคของประชนที่เพิ่มขึ้น มีความต้องการใช้น้ำที่สะอาด และมีคุณภาพโดยแบ่งการปฏิบัติงานเป็น 3 ลักษณะงาน คือ 1.ระบบผลิตน้ำ 2.ระบบส่งจ่ายน้ำ 3.ระบบบริการ อำนวยความสะดวกแก่ประชาชน ซึ่งในแต่ละลักษณะงานก็จะมีความสำคัญต่างกันออกไป มีการควบคุมที่ต่างกัน ระบบผลิตน้ำ และระบบบริการนั้น สามารถที่จะควบคุมได้ง่ายกว่า เนื่องจากมีลักษณะงานที่ทำซ้ำ และคล้ายกันในแต่ละพื้นที่ มีการปรับเปลี่ยนเล็กน้อย ส่วนระบบส่งจ่ายน้ำ จะมีความซับซ้อน และยากต่อการควบคุม เพราะมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องคำนึง เช่น สภาพท่อ สภาพภูมิประเทศ ความยาวท่อ ชนิดของท่อ การวางท่อเพื่อขยายเขตจำหน่ายน้ำหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะมีการแตกรั่วของท่อประปา ทำให้เกิดน้ำสูญเสียในระหว่างทางลำเลียงน้ำไปยังปลายทาง โดยในระบบส่งจ่ายนั้น การประปาส่วนภูมิภาค ได้พัฒนาและมีการแก้ไขอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่กิจการประปา เช่น การปรับปรุงและเปลี่ยนท่อใหม่เพื่อลดปัญหาท่อเก่าหมดอายุการใช้งาน สร้างสถานีเพิ่มแรงดันเพื่อส่งน้ำไปยังที่ที่แรงดันไม่เพียงพอ การออกพื้นที่ตรวจสอบหาท่อแตกรั่ว เป็นวิธีการแก้ปัญหาเชิงรุก ลดปัญหาการส่งจ่ายน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการการใช้น้ำ

แผนและนโยบายหลักของการประปาส่วนภูมิภาคจะมุ่งเน้นไปยังการลดน้ำสูญเสีย ปัญหาการเกิดน้ำสูญเสียในกิจการประปามีผลโดยตรงต่อกิจการประปา ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากจะต้องผลิตน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่สูญหายไป เมื่อมีความผิดปกติบริเวณเขตจำหน่ายน้ำประปา ต้องทำการออกสำรวจหาท่อแตกรั่ว แม้จะทราบว่าเขตจำหน่ายน้ำประปาบริเวณใดเกิดการแตกรั่ว ก็ยังไม่สามารถระบุได้ว่าท่อส่งจ่ายน้ำประปานั้นแตกรั่วที่ตำแหน่งใดการเดินสำรวจเพื่อสังเกตการณ์ตามแนวท่อส่งจ่ายยังมีความจำเป็นต่อการลดน้ำสูญเสียซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายแต่ใช้เวลานานในการค้นหาตำแหน่งท่อแตกรั่ว

ปัจจุบันการประปาส่วนภูมิภาคเขต 1 มีการใช้โปรแกรม EPANET สำหรับออกแบบวางแนวท่อส่งจ่ายน้ำประปาโดยโปรแกรมEPANETเป็นแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์การไหลของน้ำทาง

ชลศาสตร์ภายใต้แรงดันของระบบท่อโครงข่าย เช่น โครงข่ายการจ่ายน้ำประปา และสามารถแสดงผลของข้อมูลในการวิเคราะห์ได้หลายรูปแบบ เช่น ตารางข้อมูล กราฟ ภาพ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการเข้าใจในข้อมูล โปรแกรมนี้ จึงถูกเลือกเพื่อนำมาวิเคราะห์ระบบสาธารณูปโภค

การนำโปรแกรม **EPANET**มาเป็นเครื่องมือช่วยค้นหาตำแหน่งท่อประปารั่วจะทำให้มีการลดและจัดการน้ำสูญเสียได้ง่ายขึ้น ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากการดำเนินการลดน้ำสูญเสียอาจส่งผลดีต่อกิจการของการประปาส่วนภูมิภาค เช่น การใช้ทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่า ลดปัญหาน้ำดิบไม่เพียงพอ ประหยัดค่าก่อสร้างหรือขยายกำลังระบบผลิต ประหยัดค่าสารเคมี ค่าไฟฟ้าในการสูบน้ำดิบและสูบจ่าย รวมถึงความสามารถในการยกระดับการให้การบริการแก่ประชาชนเป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วด้วยแบบจำลอง EPANET

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 แบบจำลองที่ใช้คือ EPANET

1.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของการใช้แบบจำลอง EPANET โดยใช้ท่อ PBขนาด 50 มม. จำลองระบบท่อส่งจ่ายน้ำของการประปาส่วนภูมิภาคเขต 1 ในส่วนแนวท่อตรงที่ไม่มีท่อแยกในการจำลองแบบ โดยถือว่าพื้นที่ศึกษามีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบจึงไม่พิจารณาความแตกต่างของระดับท่อ

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 ทราบตำแหน่งที่เกิดการแตก-รั่ว ทำให้การเข้าพื้นที่เพื่อดำเนินการซ่อมแซมทำได้อย่างรวดเร็ว ลดการสูญเสียน้ำ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โปรแกรม EPANET

2.1.1 ความหมายของโปรแกรม EPANET

Lewis A. Rossman (2000)EPANET คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจำลองพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์และคุณภาพน้ำ กับโครงข่ายเส้นท่อภายใต้แรงดัน ณ ช่วงเวลาที่ต่อขยายออกไป โครงข่ายประกอบด้วยท่อ, node(จุดบรรจบของเส้นท่อ) เครื่องสูบน้ำ วาล์ว และถังเก็บน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ EPANET สามารถหาอัตราการไหลในแต่ละเส้นท่อ แรงดันในแต่ละnode ความสูงของน้ำในแต่ละถัง และความเข้มข้นของแต่ละสารเคมีตลอดโครงข่ายในระหว่างช่วงเวลาการจำลองซึ่งประกอบด้วยหลายช่วงเวลา นอกจากสารเคมีแล้วยังสามารถจำลอง Water age และ Source tracing ได้

EPANETได้รับการออกแบบให้เป็นเครื่องมือวิจัยสำหรับการเพิ่มพูนความเข้าใจในการเคลื่อนที่และจุดสิ้นสุดของน้ำบริโภคในระบบจ่ายน้ำ สามารถประยุกต์ใช้ในหลายแบบในการวิเคราะห์ระบบจ่ายน้ำ ตัวอย่างเช่น ออกแบบโปรแกรมสุ่มตัวอย่าง, ปรับเทียบแบบจำลอง Hydraulic, วิเคราะห์ Residual Chlorine, และการประเมินผู้บริโภค EPANET สามารถช่วยประเมินทางเลือกของยุทธวิธีการบริหารสำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำตลอดทั้งระบบโดยรวมถึง:

- เปลี่ยนแปลงแหล่งน้ำ
- เปลี่ยนแปลง ตารางเวลาของ เครื่องสูบน้ำและการเติมน้ำเข้าถังเก็บน้ำ/กาปล่อยน้ำออกจากถังเก็บน้ำจนหมด
- ใช้ในระบบบำบัดอื่น เช่น การเติมคลอรีนเพิ่มที่ถังเก็บน้ำ
- กำหนดเส้นท่อที่จะทำความสะอาดและเปลี่ยนเส้นท่อ

การทำงานภายใต้ Windows, EPANET จัดเตรียมสภาวะแวดล้อมสำหรับแก้ไขข้อมูลด้านเข้าของโครงข่าย, การ Run แบบจำลองทางด้านชลศาสตร์และคุณภาพน้ำ, และการแสดงผลในหลายๆ รูปแบบ ซึ่งรวมถึงแผนที่โครงข่ายกำหนดรหัสตามสี, ตารางข้อมูล, กราฟอนุกรมของเวลา, และภาพระบุตามเส้นขั้นความสูง

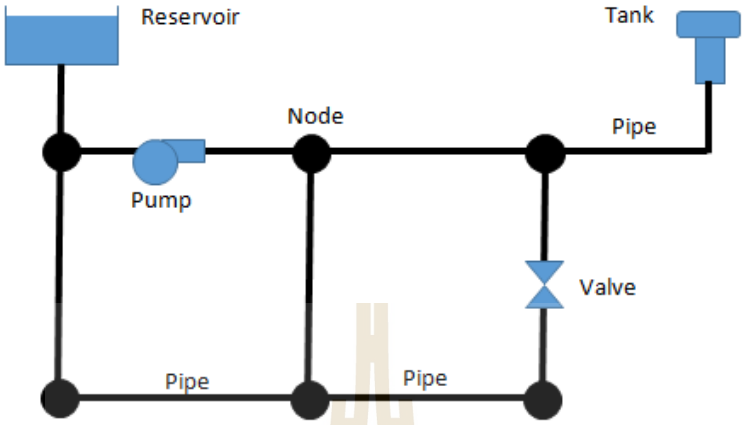
2.1.2 คุณสมบัติของแบบจำลองทางด้านชลศาสตร์

ลักษณะภูมิประเทศทั้งหมดและแบบจำลองทางด้านชลศาสตร์ ที่แน่นอนเป็นข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับแบบจำลองทางด้านคุณภาพน้ำที่มีประสิทธิภาพ โดย EPANET ประกอบด้วยคุณสมบัติทางด้านชลศาสตร์ ดังนี้

- ไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดของโครงข่ายที่จะวิเคราะห์
- คำนวณพลังงานการสูญเสียโดยใช้สมการ Hazen-Williams, Darcy-Weisbach หรือ Chezy-Manning
- พิจารณาการสูญเสียพลังงานรอง จาก ข้องอ,อุปกรณ์ข้อต่อ เป็นต้น
- พิจารณาเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วคงที่หรือปรับความเร็วได้
- คำนวณพลังงานและต้นทุนของการสูบน้ำ
- ใช้กับวาล์วได้หลายชนิด รวมถึง Shutoff, check, pressure regulating และ flow control valves
- สามารถใช้ถังเก็บน้ำได้หลายแบบ (เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางแปรผันกับความสูง)
- พิจารณาลักษณะความต้องการน้ำที่nodeได้หลายลักษณะ แต่ละลักษณะจะมีรูปแบบของตัวเองซึ่งแปรผันกับเวลา
- แบบจำลองแรงดันขึ้นกับอัตราการไหลซึ่งออกจากหัวจ่าย(sprinkler heads)
- สามารถปฏิบัติด้วยระบบพื้นฐานอย่างง่ายทั้งระดับถังเก็บน้ำและควบคุมด้วยเวลา หรือควบคุมด้วยกฎพื้นฐานที่ซับซ้อน

2.1.3 องค์ประกอบทางกายภาพ

EPANET จำลองระบบจ่ายน้ำเสมือนการเชื่อมระหว่าง nodes โดยการเชื่อมได้แทนด้วยเส้นท่อ, เครื่องสูบน้ำ, และcontrol valuesส่วนnode แทนด้วยจุดบรรจบ, ถังเก็บน้ำ, และอ่างเก็บน้ำ รูป 2.1 แสดงการเชื่มต่อกันของระบบโครงข่ายท่อที่แบบจำลองพิจารณา



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบทางกายภาพในระบบจ่ายน้ำ

ที่มา : Lewis A. Rossman (2000)

2.1.4 การสูญเสียพลังงานในระบบท่อ

การสูญเสียพลังงานในระบบท่อที่เกิดขึ้นซึ่งเกิดจากการไหลของน้ำในเส้นท่อกับผนังท่อสามารถคำนวณจากสมการดังนี้:

- สมการของHazen-Williamsใช้กันมากที่สุดสำหรับหาการสูญเสียพลังงานในสหรัฐอเมริกา แต่ไม่สามารถใช้กับของไหลชนิดอื่นนอกจากน้ำ และพัฒนาสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนเท่านั้น หรือ
- สมการของDarcy-Weisbachเป็นสมการที่ถูกต้องในทางทฤษฎีมากที่สุด และประยุกต์ใช้ได้กับลักษณะการไหลทุกประเภทและของไหลทุกชนิด หรือ
- สมการของChezy-Manningใช้กับการไหลแบบทางน้ำเปิด

2.2 คุณสมบัติของของไหลและลักษณะการไหลในท่อ

โชติไกร ไชยวิจารณ์**(2546)** และดุลยโชติ ชลศึกษ์**(2557)**ได้อธิบายคุณสมบัติเกี่ยวกับของไหลคือ ความหนาแน่น และความหนืดซึ่งเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ และมีผลโดยตรงต่อการไหลในท่อโดยปกติความหนืดของของไหจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในที่นี้ขอยกคุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิ 20องศาเซลเซียส มากล่าวถึงโดยสังเขปคือ

ความหนาแน่น (ρ) ของน้ำมีค่าเท่ากับ 998.2 kg/m^3

ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute or Dynamic viscosity, μ) ของน้ำมีคาเท่ากับ 1.002×10^{-3} N.s/m^2 (ประมาณ 1 centipoise – cP)

ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) ของน้ำ$\nu = \mu / \rho$ มีค่าเท่ากับ 1.004×10^{-6} m^2/s (ประมาณ 1 centistoke – cSt)

ปริมาณไร้หน่วยที่ใช้อธิบายลักษณะของการไหล คือตัวเลขเรโนลส์ (Reynolds number) โดยตัวเลขเรโนลส์ สำหรับการไหลในท่อสามารถหาได้จากสมการ (2.1) ดังนี้

$$Re = \frac{\rho vD}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \qquad \text{.....(2.1)}$$

โดยที่ ρ คือความหนาแน่นของของไหล

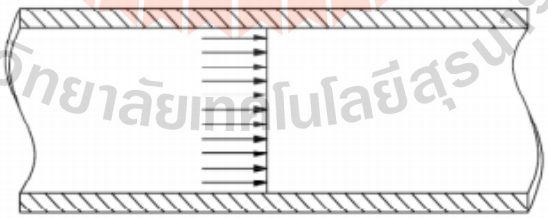
v คือความเร็ว

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ

μ คือความหนืดสัมบูรณ์

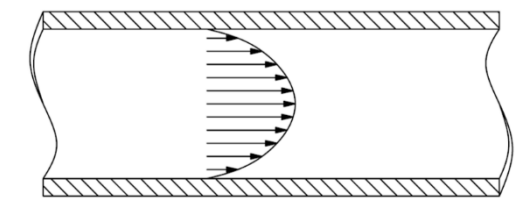
และ ν คือความหนืดเชิงจลน์ศาสตร์

ตัวเลขเรโนลส์บอกถึงสัดส่วนระหว่างอิทธิพลของโมเมนตัมของการไหลต่ออิทธิพลของความหนืด หากของไหลไม่มีความหนืด การไหลในท่อจะมีลักษณะโปรไฟล์ของความเร็วเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.2



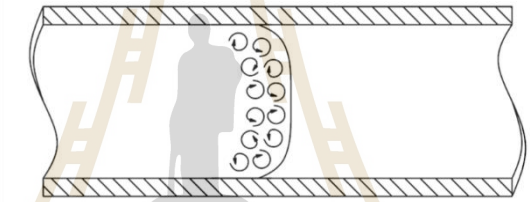
รูปที่ 2.2 การไหลแบบไม่มีความหนืด

ของไหลในความเป็นจริง ซึ่งมีความหนืด เมื่อค่าตัวเลขเรโนลส์ต่ำกว่า 2,300 การไหลจะเป็น การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ซึ่งมีอิทธิพลของความหนืดอยู่มาก แรงเสียดทานระหว่าง ของไหลและผิวท่อจะทำให้ความเร็วของของไหลบริเวณติดกับผิวท่อมีค่าเป็นศูนย์ และความเร็วสูงสุด เกิดขึ้นที่แนวศูนย์กลางของท่อโปรไฟล์ของความเร็วเป็นรูปพาราโบลา ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การไหลแบบราบเรียบ

เมื่อค่าเรโนลส์สูงเกิน 2,000อิทธิพลของโมเมนตัมจะเริ่มสูงขึ้นทำให้การไหลเริ่มมีความปั่นป่วนเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเมื่อค่าเรโนลส์สูงกว่า 4,000 การไหลจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) อย่างสมบูรณ์ซึ่งจะมีอิทธิพลของโมเมนตัมเป็นหลัก และจะมีการหมุนวนเล็กๆ (Eddy) อยู่ในการไหล โปรไฟล์ของความเร็วจะราบเรียบขึ้นดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การไหลแบบปั่นป่วน

2.3 สมการชลศาสตร์พื้นฐาน

ดุลยโชติ ชลศึกษ์**(2557)** การไหลในท่อเป็นไปตามกฎพื้นฐานสามคือการสมดุลของมวล การสมดุลของพลังงาน และ การสมดุลของโมเมนตัม โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การสมดุลมวล

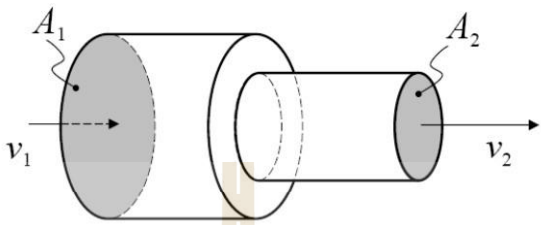
การไหลในท่อจากจุดที่ไปยังจุดที่2 จะต้องมีมวลคงที่

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 = \text{ค่าคงที่} \qquad \text{.....(2.2)}$$

เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3) และ Q คืออัตราการไหล (m^3/s) ในกรณีที่เป็นการไหลของของเหลวเช่นน้ำ ความหนาแน่นจะคงที่ อัตราไหลในท่อจึงคงที ณ จุดใดๆ ในท่อซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของทอในระหว่างการไหลดังรูปที่ 2.5จะได้ว่า

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q \qquad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ A คือพื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหลภายในท่อ (m^2) และ vคือความเร็วในการไหล (m/s)



รูปที่ 2.5 การไหลในท่อเปลี่ยนขนาด

2.3.2 การสมดุลพลังงาน

พลังงานในการไหลของของไหลในท่อสามารถแทนได้ในหน่วย J/kg หรือ Pa แต่เพื่อสะดวก ในการใช้งานจะทำการแทนพลังงานด้วยหน่วยของความยาว (m) โดยการหารด้วยค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (บางครั้งเรียกปริมาณนี้ว่า เฮด - Head) ของการไหล ซึ่งเฮดของของไหล ณ จุดใดๆ ประกอบด้วยส่วนประกอบสามส่วนคือ

เฮดจากพลังงานศักย์ในรูปของความสูง z

เฮดจากพลังงานศักย์ในรูปของความดันสถิตย์ $\frac{p}{\rho g}$

เฮดพลังงานจลน์ในรูปของความเร็ว $\frac{v^2}{2g}$

เฮดของพลังงานรวม (ถ้าใช้ระบุสมรรถนะของปั๊มจะนิยมเรียกว่า Total Dynamic Head - TDH) ณ จุดใดๆในการไหลสามารถเขียนได้เป็น

$$E = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$$

ซึ่งในการไหลจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงไปรูปแบบไปมาได้ เช่น ในการไหลจากที่สูงไปยังที่ต่ำความดันสถิตจะเพิ่มขึ้น หรือในการไหลจากท่อขนาดเล็กไปยังท่อขนาด ใหญ่ความเร็วจะลดลงทำให้ความดันเพิ่มขึ้นเป็นต้น โดยหากไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้น พลังงานรวมจะ คงที่ หรือ $E_1 = E_2$

อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงจะมีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างของเหลวและผิวท่อ และจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหล ดังนั้นสมการสมดุลพลังงานจึงสามารถเขียนได้ดังนี้

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \qquad \text{.....(2.5)}$$

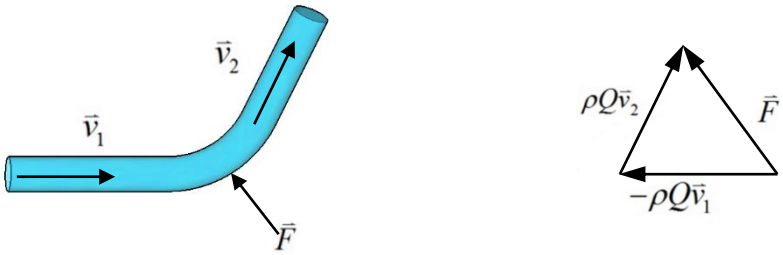
เมื่อ h_L คือ การสูญเสียซึ่งการสูญเสียนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการไหลเท่านั้น

2.3.3 การสมดุลโมเมนตัม

ตามกฎของนิวตัน แรงที่กระทำต่อมวลสารทำให้เกิดความเร่ง ซึ่งในกรณีของของไหลสามารถเขียนสมการของนิวตันในรูปแบบของการสมดุลโมเมนตัมดังสมการ (2.7)

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \rho Q \Delta \vec{v} = \rho Q\left(\vec{v}_2 - \vec{v}_1\right) \qquad \text{.....(2.6)}$$

สมการ (2.6) เป็นสมการเวคเตอร์ที่ต้องคิดทิศทางด้วย ตัวอย่างการใช้งานของสมการนี้แสดง ในรูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นการฉีดน้ำไปยังใบพัดที่ทำมุมเอียงทำให้ลำน้ำเปลี่ยนทิศทาง ทำให้เกิดแรงปฏิกริยาที่ใบพัด ในงานระบบท่อเมื่อของไหลวิ่งผ่านข้องอ หรือสิ่งกีดขวางต่างๆก็จะมีแรงกระทำต่อ ชิ้นส่วนเหล่านั้น จึงสามารถใช้สมการโมเมนตัมนี้ในการคำนวณแรงกระทำ เพื่อออกแบบจุดยึดท่อได้ ทั้งนี้ตามหลักพลศาสตร์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม (ขนาด และ/หรือ ทิศทาง) ของอนุภาค และ ของการไหล จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสมอ ซึ่งทำให้ของไหลสูญเสียพลังงานเมื่อไหลผ่าน ข้อต่อ ข้องอ หรือวาล์วต่างๆ



รูปที่ 2.6 โมเมนตัมในของไหล

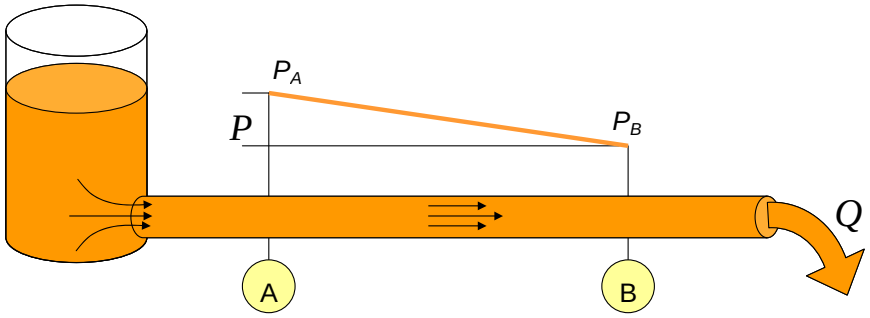
2.4 การคำนวณการสูญเสียในระบบท่อ

การสูญเสียพลังงานจากการไหลในท่อเกิดจากสองสาเหตุหลักคือ (1) การสูญเสียหลักซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างผิวท่อกับของไหล และ (2) การสูญเสียรองซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของการไหล (การเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทาง ของความเร็ว) ซึ่งการสูญเสียทั้งสองส่วนนี้ทำให้พลังงานในของไหลลดลง โดยจะไปหักล้างส่วนของ พลังงานศักย์ในรูปของความดันสถิตในของไหล ความดันสถิตที่ลดลง เขียนในรูปของเฮด (ในหน่วย ความสูงของของไหล) ได้เป็น

$$\frac{\Delta p}{\rho g} = h_L = h_f + h_m$$

เมื่อ h_f คือการสูญเสียหลักจากแรงเสียดทาน และ h_m คือการสูญเสียรองจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม รายละเอียดในการคำนวณการสูญเสียทั้งสองส่วนเป็นดังนี้

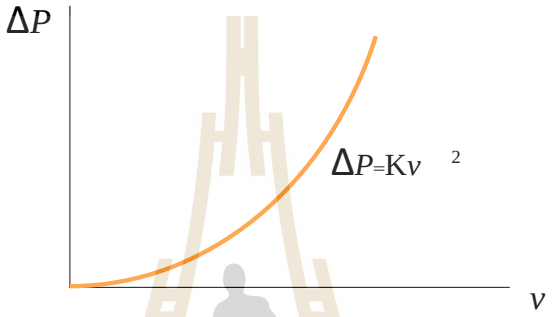
การสูญเสียหลัก (Major loss) เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผิวท่อกับของไหล ซึ่งแรงเสียดทานนี้สัมพันธ์กับความหนืดของของไหล ความเร็วในการไหล และ ความหยาบของผิวท่อ โดยความ สูญเสียจะมีอัตราคงที่ต่อความยาวท่อ ดังนั้นในการไหลในท่อตรงจากจุด A ไปยังอีกจุด B ความดัน สถิตในของไหลจะลดลงอย่างสม่ำเสมอดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การสูญเสียความดันในท่อโดยตรง ที่มา : ดุลยโชติ ชลศึกษ์(2557)

ของไหลชนิดใดๆที่ไหลในท่อขนาดคงที่ จะเกิดการสูญเสียหลักซึ่งทำให้ความดันสถิตลดลง โดยความดันลดจะแปรผันกับความเร็วในการไหลยกกำลังสองดังรูปที่ 2.8 และสมการ (2.8) โดย k เป็นค่าคงที่ ที่ขึ้นกับความหนืดของของไหล ความหนาแน่นของของไหล และความหยาบของผิวท่อ

$$\Delta p \propto v^2 \text{ หรือ } \Delta p = kv^2 \qquad \text{.....(2.7)}$$



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสีย และอัตราการไหลในท่อ

ที่มา : ดุลยโชติ ชลศึกษ์(2557)

จากกฎการสมดุลของมวลจะได้ว่าความเร็วแปรผันกับอัตราการไหลได้เป็น

$$v = \frac{Q}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}$$

ซึ่งเมื่อแทน v ลงในสมการ (2.8) จะได้ว่า

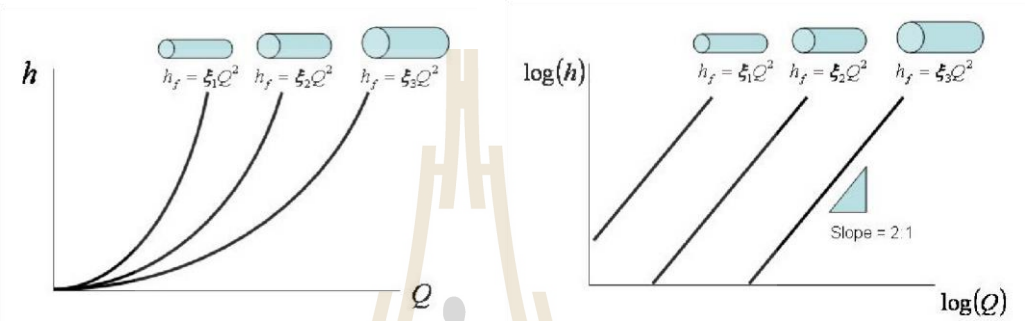
$$\Delta p \propto Q^2$$

หรือเขียนในรูปของเฮดเป็น

$$\frac{\Delta p}{\rho g} = h_f = \xi Q^2 \qquad \text{.....(2.8)}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โดยที่ ξ เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับ ความหนืดของของไหล ความหยาบของผิวท่อ และ ขนาดของท่อ ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันและอัตราการไหลสามารถเขียนได้เป็นดังรูปที่ 2.9 (ก) โดยหากใช้ท่อใหญ่ ขึ้นความชันของกราฟก็จะลดลง ทั้งนี้หากเขียนบนสเกล log-log จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเป็น 2 ดังรูปที่ 2.9 (ข)



(ก) สเกลปกติ (ข) สเกลแบบ log-log

รูปที่ 2.9 ความดันสูญเสียและอัตราการไหลในท่อขนาดต่างๆ

ที่มา : ดุลยโชติ ชลศึกษ์(2557)

สมการที่ใช้คำนวณการสูญเสียหลักได้แม่นยำที่สุดคือสมการของดาร์ซี่และไวซบัค(Darcy-Weisbach equation) ซึ่งเขียนในรูปของเฮดได้ดังนี้

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{v^2}{2g} \qquad \text{.....(2.9)}$$

เมื่อ h_f คือความดันสูญเสียวัดเป็นความสูงของของเหลวในหน่วยเมตร

L คือความยาวของท่อ (m)

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ(m)

v คือความเร็วในการไหล (m/s)

G คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)

และ f คือค่าตัวประกอบความเสียดทานของท่อ ซึ่งสามารถหาได้จากกราฟของมูดดี้(Moody chart) ในรูปที่ 2.10

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

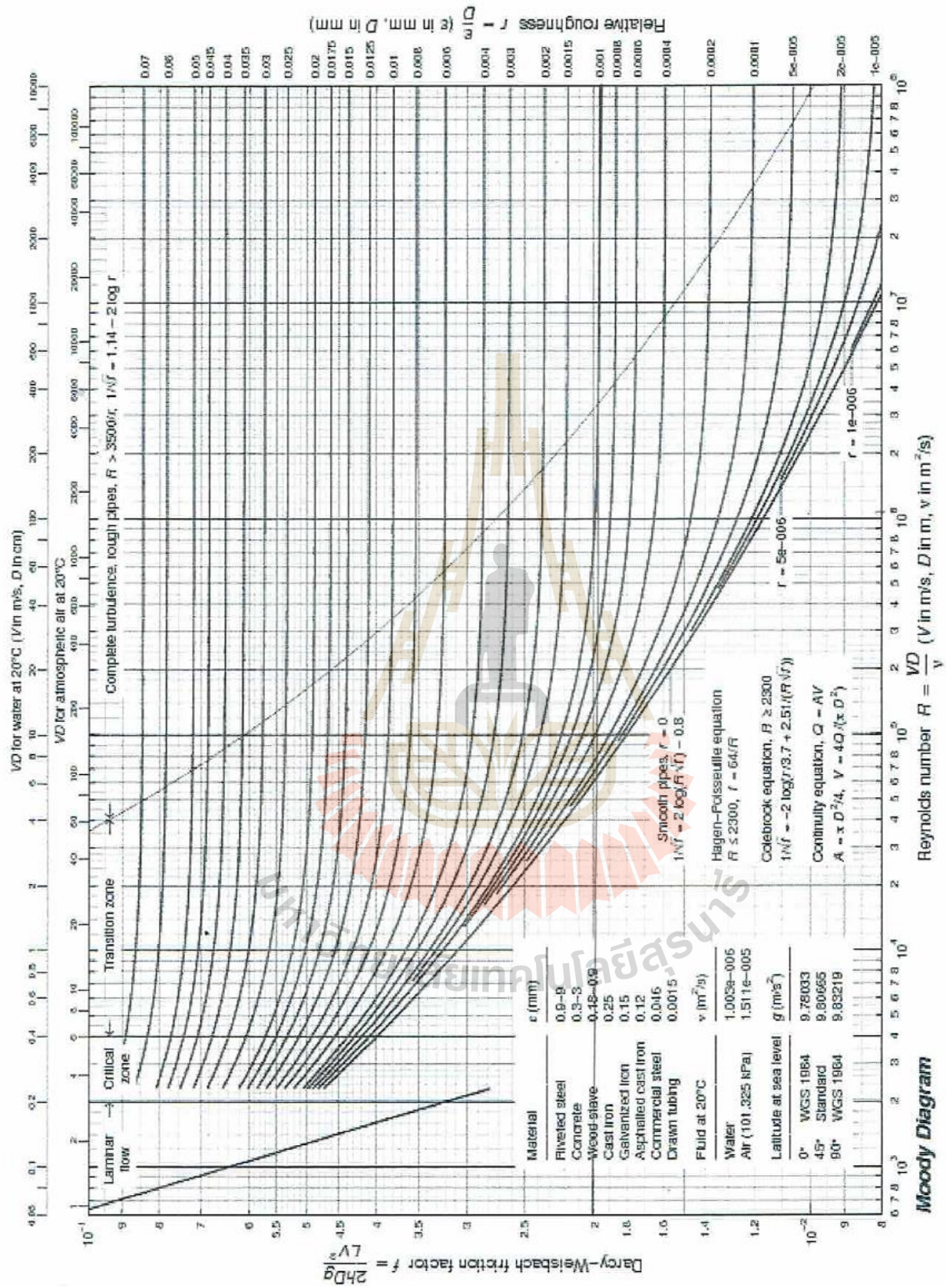
จากสมการ (2.9) เมื่อจัดรูปให้สอดคล้องกับสมการ 2.8 จะได้ว่าค่าคงที่ξเป็นดังสมการ (2.10)

$$h_f = \xi Q^2 \qquad \text{.....(2.10)}$$

เมื่อ

$$\xi = \left(\frac{8Lf}{\pi^2 D^5 g} \right)$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.10 กราฟของมูดี้

การใช้งานสมการ (2.10) จำเป็นต้องหาค่าตัวประกอบความเสียดทานของท่อซึ่งหากการไหลอยู่ในช่วงราบเรียบ สามารถหาค่า f ได้จากสมการ 2.11

$$f = \frac{64}{Re} \qquad f = \text{สำหรับ Re} < 2{,}300 \qquad \text{.....(2.11)}$$

แต่หากการไหลอยู่ในช่วงบนบวนจำเป็นต้องหาค่า f จากกราฟของมูดดี้ โดยต้องทราบค่าความหยาบของผิวท่อด้วย ซึ่งค่าความหยาบของผิวท่อบางชนิดเป็นดังตารางที่ 4.1 (คอลัมน์แรก) ทั้งนี้ความหยาบของท่อจะเพิ่มขึ้นตามอายการใช้งานด้วย การหาค่า f จากกราฟของมูดดี้อาจไม่สะดวกในการคำนวณ Swamee (1976) ได้เสนอสมการเพื่อประมาณค่าจากกราฟของมูดดี้ได้อย่างใกล้เคียงดังสมการ 2.12

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{\varepsilon / D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2} \qquad \text{.....(2.12)}$$

เมื่อ ε คือความหยาบของท่อ

และ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ

ตารางที่ 2.1 ความหยาบของท่อสำหรับใช้ทำนายความดันตก

ชนิดท่อ	ความหยาบ ε (mm)	สัมประสิทธิ์ความหยาบ C
ทองแดง ทองเหลือง และอลูมินัม	0.001 - 0.002	130 - 150
ท่อ พีวีซี และพลาสติก	0.0015 - 0.007	140 - 150
ท่อสแตนเลส	0.015	150
ท่อเหล็กทั่วไป	0.045 - 0.09	120
ท่อเหล็กหล่อ	0.25 - 0.8	100

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นอกจากสมการสมการของดาร์ซี่และไวซบัค ที่ใช้ทำนายความดันสูญเสียในท่อตรงแล้วยังมีสมการที่อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการคำนวณ คือสมการของฮาเซนและวิลเลียม(Hazen-William equation) รูปแบบของสมการคือ

$$h_f = \left(\frac{L}{1,000}\right)\left(\frac{151Q}{CD^{2.63}}\right)^{1.85} \quad .....(2.13)$$

เมื่อ h_f คือความดันสูญเสียในท่อ (m)

L คือความยาวท่อในหน่วย (m)

C คือค่าสัมประสิทธิของผิวท่อ

Q คืออัตราการไหล (m^3/s)

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ(m)

การสูญเสียรอง

การสูญเสียรอง(Minor loss) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของการไหลเมื่อของไหลไหลผ่านข้อต่อ ข้องอ และวาล์ว ถือว่าเป็นการสูญเสียส่วนน้อย เรียกว่าค่าศักย์เสียรองหรือเฮดสูญเสียรอง เมื่อเปรียบเทียบกับการสูญเสียพลังงานจากความฝืดในการไหลผ่านท่อซึ่งเป็นค่าเฮดสูญเสียหลักซึ่งสามารถเขียนได้ในรูปของสมการ (2.14)

$$h_m = K\frac{v^2}{2g} \quad .....(2.14)$$

เมื่อ h_m = เฮดสูญเสียรองเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์ในระบบท่อ (เมตร)

K = คือค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์ (ตารางที่ 2.2)

V = ความเร็วของการไหล (เมตร/วินาที)

และ g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที^{2})

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืด K ของอุปกรณ์ท่อ

อุปกรณ์ท่อ	ค่าสัมประสิทธิ์ (K)
ข้อต่อสามทาง (ไหลในแนวท่อหลัก)	0.60
ข้อต่อสามทาง (ไหลในแนวท่อเชื่อม)	1.80
ข้องอฉาก (รัศมีแคบ)	0.90
ข้องอฉาก (รัศมีปานกลาง)	0.75
ข้องอฉาก (รัศมีกว้าง)	0.60
ข้องอ 45 องศา	0.42
ประตูน้ำแบบเกตุวาล์ว (เปิด)	0.48
ประตูน้ำแบบวาล์วปีกผีเสื้อ (เปิด)	3.70
วาล์วกันกลับ (Swing Check Valve)	1.20

ที่มา : Hammer and Hammer, 2004.

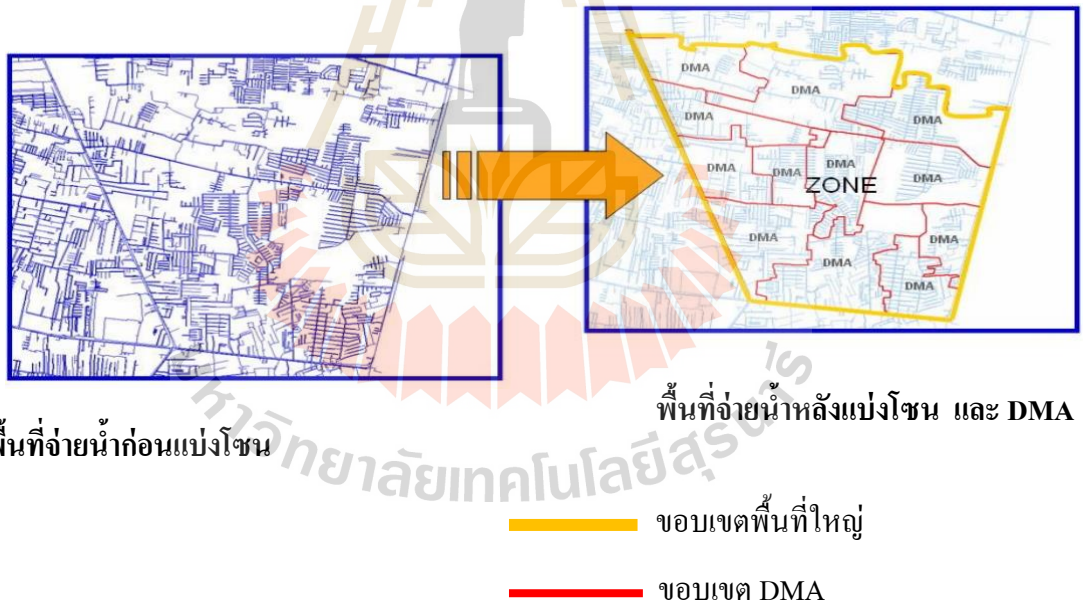
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปิยนาฏ จันทร์สิงห์และคณะ (2553) ได้ศึกษาการออกแบบโครงท่อประปาโดยใช้แบบจำลอง EPANET 2.0 สร้างแบบจำลองแนวท่อเพื่อดูทิศทางการไหลของน้ำเพื่อให้ทราบข้อมูลระบบประปาและได้ข้อสรุปในการเลือกขนาดท่อที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นทอจ่ายน้ำประปาให้กับชุมชนในเทศบาลตำบลหลวง โดยประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำประจากการออกแบบด้วยโปรแกรม EPANET 2.0 สามารถรองรับความต้องการใช้น้ำที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตอีก 20 %

ศุภรักษ์ แก้วแสง (2557) ได้นำโปรแกรม EPANET 2.0 มาจำลองคุณภาพน้ำของโครงข่ายระบบท่อประปาในพื้นที่เฝ้าระวัง และพบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0 สามารถใช้ในการจำลองคุณภาพน้ำของโครงข่ายระบบท่อประปาในพื้นที่เฝ้าระวังได้ดี และยังได้อธิบายถึงสมดุลน้ำในกิจการประปาซึ่งเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับใช้ประกอบการกำหนดกลยุทธ์ในการบริหารจัดการน้ำสูญเสียในพื้นที่เฝ้าระวัง โดยการวิเคราะห์สมดุลน้ำนั้นจะไม่พิจารณาถึงน้ำสูญเสียจาการบริหารจัดการ ดังสมการสมดุลน้ำในพื้นที่เฝ้าระวัง ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำสูญเสียในDMA} = \frac{(\text{ปริมาณน้ำเข้าในD MA} - \text{ปริมาณน้ำจำหน่ายใน DMA})}{\text{ปริมาณน้ำเข้าในD MA}}$$

กองระบบจำหน่าย (2556) ได้อธิบายถึงลักษณะทางกายภาพของพื้นที่จ่ายน้ำการประปาส่วนภูมิภาคมีพื้นที่จ่ายกว้างทำให้ยากแก่การกำกับดูแลงานทางด้านลด และควบคุมน้ำสูญเสียการออกสำรวจหำท่อแตก-รั่ว แต่ละครั้งอาจใช้เวลาหลายวันกว่าจะสำรวจพบท่อรั่ว ดังนั้นหากมีการแบ่งพื้นที่ระบบจ่ายน้ำออกเป็นพื้นที่ย่อยที่เรียกว่า DISDRICT METERING AREA (DMA) ตัวอย่างตามรูปที่ 2.13 และติดตั้งเครื่องมือวัดประกอบด้วย มาตรวัดน้ำ เกจวัดแรงดัน และอุปกรณ์บันทึกอัตราการจ่ายน้ำเข้าและแรงดันเข้า DMA หากมีความผิดปกติ เช่น อัตราการจ่ายน้ำสูงขึ้น แรงดันลดลง แสดงให้เห็นว่าเกิดผิดปกติ ของระบบจ่ายน้ำบริเวณที่ในขอบเขตของ DMA นั้นๆ ต้องทำกำรออกสำรวจหำสำเหตุ เช่น ออกสำรวจหำท่อรั่วได้รวดเร็วยิ่งขึ้นเนื่องจาก พื้นที่ที่ออกหำท่ออยู่ในวงจ้ำกัดตามขอบเขต DMA นอกจากนี้ยังทำให้มีข้อมูลโครงข่ายท่อ ระบบท่อว่าบริเวณใดแตกรั่ว เห็นควรปรับปรุง มีบริเวณใดควรวางท่อเสริม หรือย้ายแนวท่อ หรือยกเลิก/เพิ่มประตูน้ำ ตัวอย่างตามรูปที่ 2.2 จะน้ำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ ทำให้สามารถตั้งสมมติฐานว่ามีท่อรั่วในพื้นที่ย่อยที่แบ่งหรือไม่ ได้ง่ายยิ่งขึ้น

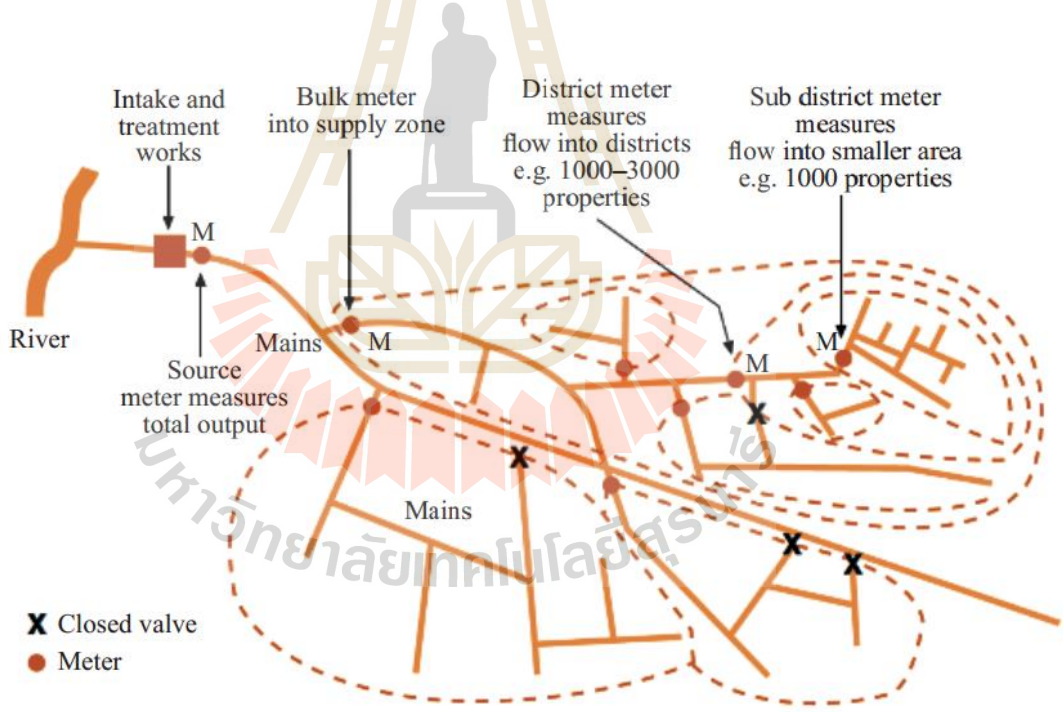


รูปที่ 2.11 ตัวอย่างพื้นที่ย่อย – ขอบเขต

มรุพัชร จำนงวงศ์ (2559) ได้ทำการศึกษาและสรุปกลยุทธ์การลดน้ำสูญเสียเรียบเรียงขึ้นมาจากการวิเคราะห์สาเหตุของน้ำสุญเสียแบ่งเป็น น้ำสูญเสียเชิงกายภาพ และการลดน้ำสูญเสียเชิงพาณิชย์โดยสรุปได้ดังนี้

1) การลดน้ำสูญเสียเชิงกายภาพ มีกลยุทธ์เชิงตั้งรับใช้เมื่อเกิดเหตุท่อแตก/รั่วแล้ว ประกอบด้วย 1) การค้นหาท่อแตก/รั่วให้เร็ว และ 2) ซ่อมท่อเร็วและได้มาตรฐาน พร้อมทั้งมีกลยุทธ์เชิงป้องกันประกอบด้วย การบริหารจัดการแรงดันน้ำภายในท่อ และบริหารท่อเดิมที่มีอยู่ เปลี่ยนท่อใหม่ เป็นการลดน้ำสูญเสียระยะยาว
2) การลดน้ำสูญเสียเชิงพาณิชย์สามารถทำได้ด้วยกลยุทธ์จัดการกับมาตรที่อ่านค่าได้ไม่ถูกต้อง และจัดการกับการลักลอบใช้น้ำ

ในทางปฏิบัติปัจจัยสำคัญที่มีส่วนช่วยทำให้การลดน้ำสูญเสียประสบความสำเร็จ ประกอบด้วย การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จาก DMA การใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์เพื่อช่วยวิเคราะห์ปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบท่อ ความร่วมมือของประชาชนในการช่วยแจ้งเหตุหากพบความผิดปกติกับระบบท่อและมาตรวัดน้ำ และเงินลงทุนบริหารจัดการน้ำสูญเสียที่สอดคล้องกับเป้าหมายในเชิงเศรษฐศาสตร์



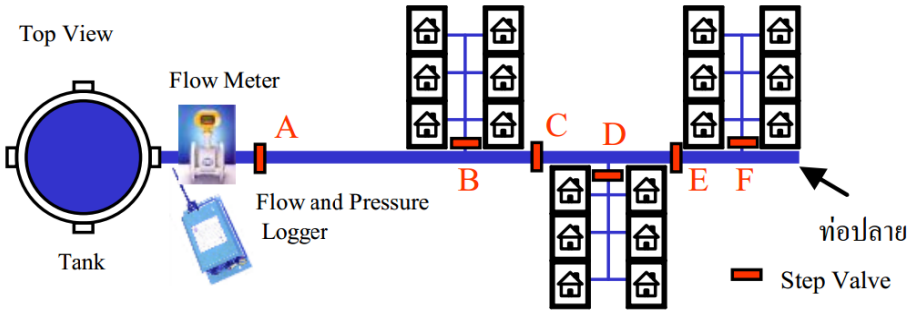
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างพื้นที่ย่อย (DMA)
ที่มา : M.Farley (2001)

ธีร์ จิตร์อ่อง (2559) ได้ทำการศึกษาการลดอัตราการสูญเสียน้ำในกิจการประปา โดยนำวิธี District Metering Area Management (DMA) มาเป็นเครื่องมือจัดการน้ำสูญเสย กรณีศึกษาการ

ประปาส่วนภูมิภาค สาขาลพบุรี พบว่าการจัดการหลังจากติดตั้งระบบ DMA มีการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่องดูปริมาณน้ำเข้ารายวัน ทำให้มีข้อมูลปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ใช้เฝ้าระวังในแต่ละวัน ซึ่งหากช่วงใดมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าปริมาณที่เฝ้าระวังอย่างคงที่ ก็สันนิษฐานได้ว่าอาจเกิดการแตก-รั่วของท่อในบริเวณนั้นๆ ซึ่งต้องมีการปฏิบัติการเพื่อหาจุดแตกรั่วได้รวดเร็วมากขึ้นเนื่องจากทราบพื้นที่อย่างคร่าวๆ การค้นหาก็จะแคบลง ทำให้ไม่ใช้เวลานาน

ศราวุฒิ ก๋องใจ และคณะ (2553)ได้ทำวิจัยและคิดค้นวิธีการหาจุดรั่วในระบบท่อจ่ายน้ำประปา และได้กล่าว่าการรั่วของท่อจ่ายน้ำนั้นนับเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งที่ทางการประปาจะต้องดำเนินการหาจุดรั่ว ที่เกิดขึ้นให้พบโดยเร็วที่สุด เพื่อลดปริมาณน้ำที่สูญเสียไป ในช่วงที่มีการแตกรั่วเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำที่สูญเสียไปนอกจากจะไม่ก่อให้เกิดรายได้ให้กับการประปาแล้ว ยังสร้างความเดือดร้อนให้กับผู้อยู่อาศัยที่อยู่ใกล้บริเวณที่มีการแตกรั่วอีกด้วย ยิ่งถ้าปล่อยให้ช้านานความเสียหายก็จะทวีความรุนแรงเป็นวงกว้างมากขึ้น การทดสอบหาจุดรั่วในระบบท่อจ่ายน้ำประปาโดยวิธีทดสอบเป็นขั้นตอนแบบวิธีปิด และเปิด (Step Testing Close and Open Method) เป็นวิธีหนึ่งที่จะสามารถค้นหาจุดรั่วที่เกิดขึ้นได้โดยใช้เวลาไม่นานอีกทั้งยังสามารถทำการทดสอบได้ทุกช่วงเวลาที่เกิดการแตกรั่วแบบกะทันหันเนื่องจากเป็นการทดสอบที่มีการใช้เวลาในการปิดน้ำน้อย จึงสามารถลดปัญหาการขาดน้ำใช้ของผู้ใช้น้ำได้ การทดสอบหาจุดรั่วโดยวิธี Step Testing แบบวิธีปิดเปิด (Close-and-Open Method) เป็นการทดสอบที่คิดค้นและวิจัยพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้สอดคล้องกับการดำเนินการลดน้ำสูญเสียของการประปาในประเทศไทย เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการดำเนินการลดน้ำสูญเสียที่ทางผู้ควบคุมงานหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการลดน้ำสูญเสียจะศึกษาและทำความเข้าใจเพื่อสามารถนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม โดยการนำข้อมูลจากเครื่องบันทึกข้อมูล ที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์หาแนวท่อที่มีปริมาณน้ำไหลออกไปจากแนวท่อมากที่สุด โดยนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณการใช้น้ำแต่ละพื้นที่ที่ทำการปิดประตูน้ำก่อนที่จะเกิดการแตกรั่ว หากมีตัวเลขปริมาณน้ำพื้นที่ใดที่ต่างไปจากข้อมูลเดิมของแต่ละขั้นตอนแสดงว่า พื้นที่นั้นเกิดการรั่วไหลขึ้นข้อดีของการทดสอบหาจุดรั่วโดยวิธีนี้คือช่วยลดระยะเวลาในการหาจุดรั่วที่เกิดขึ้นกะทันหัน

ผลการทดสอบของศราวุฒิ ก๋องใจ และคณะ(2553) ตารางที่ 2.3 เมื่อนำข้อมูลที่ทดสอบได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิม จะเห็นได้ว่า Step Valve ที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการไหล (Flow) มากที่สุดคือ Step Valve C ซึ่งเมื่อนำข้อมูลผลการทดสอบมาเขียนเป็นรูปกราฟ จะเห็นได้ว่า Step Valve C เป็นขั้นตอน (Step) ที่มี น้ำไหลออกมากที่สุดดังรูปที่ 2.15 จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ช่วงแนวท่อ C ถึง E เป็นช่วงที่มีจุดรั่วเกิดขึ้น



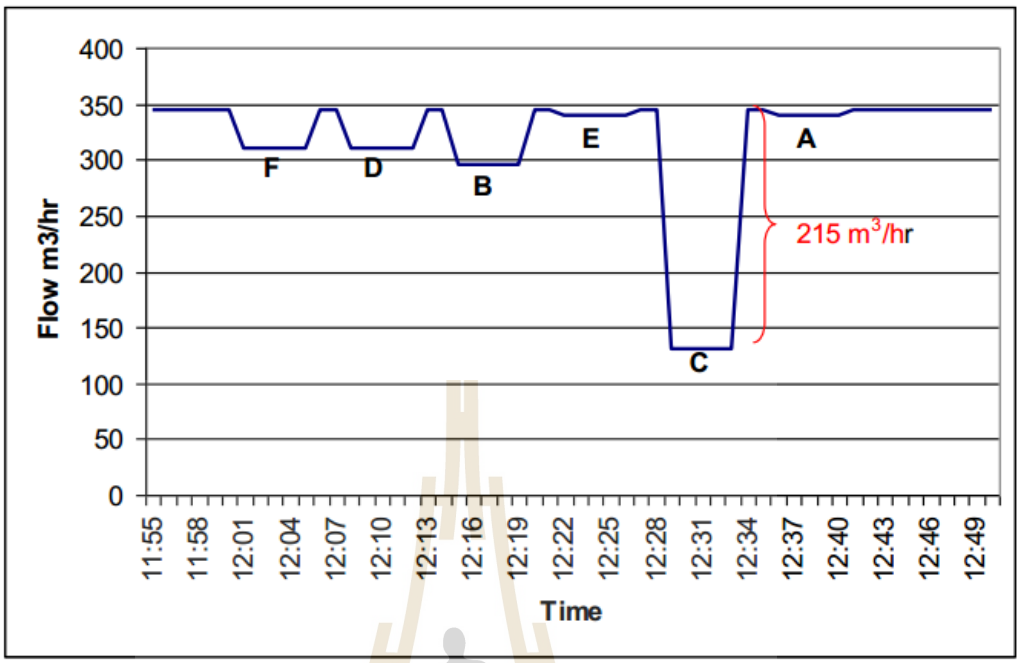
รูปที่ 2.13 แบบจำลองพื้นที่จ่ายน้ำ

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลการใช้น้ำหลังการทดสอบโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิมก่อนการทดสอบ

กลางวัน 05:00 น. - 17:00 น.	
Flow Average = 135 m^3/hr	
Step valve	Flow (m^3/hr)
A	5
B	50
C	5
D	35
E	5
F	35
	135
ข้อมูลเดิม ก่อนการทดสอบ	

กลางวัน 05:00 น. - 17:00 น.	
Flow Average = 345 m^3/hr	
Step valve	Flow (m^3/hr)
A	5
B	50
C	215
D	35
E	5
F	35
	345
ข้อมูลใหม่ หลังการทดสอบ	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.14 อัตราการไหลของน้ำจากการทดสอบ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการน้ำสูญเสีย พบว่าผลงานวิจัยของศราวุฒิ ก๋องใจ และคณะ (2553)ได้ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ กล่าวคือได้ทำ Step Valve จนรู้ว่าช่วงแนวเส้นท่อใดเกิดจุดรั่วของน้ำประปาแต่ยังไม่สามารถระบุตำแหน่งเพื่อให้เข้าพื้นที่ซ่อมได้รวดเร็ว ต้องทำเดินสังเกตการณ์ด้วยตาเปล่า หรืออุปกรณ์ช่วยฟังเสียงน้ำรั่วตามแนวเส้นท่อนั้นอีกครั้ง ถ้าหากช่วงแนวท่อที่มีจุดรั่วนั้นอยู่ในย่านชุมชนหนาแน่น และท่อส่งจ่ายอยู่ใต้ผิวจราจร การที่จะเดินสังเกตการณ์ หรือฟังเสียงน้ำประปารั่วนั้นเป็นไปได้อยากทำให้ใช้เวลานานในการเข้าถึงตำแหน่งรั่วที่แท้จริง ดังนั้นผู้ทำการศึกษาจึงมีความต้องการที่จะศึกษาการลดน้ำสูญเสียเพิ่มเติม โดยการวิเคราะห์หาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วด้วยแบบจำลอง EPANET

บทที่ 3
วิธีการศึกษา

ในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่น้ำรั่วออกจากแนวเส้นท่อ ได้ดำเนินการออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การทดสอบหาตำแหน่งที่น้ำรั่ว โดยใช้ท่อ PB ขนาด 50 มม. ความยาว 50.00 ม. และ 50.50 ม. วางในแนวระดับ

ส่วนที่ 2 การทดลองหาตำแหน่งที่น้ำรั่ว โดยใช้แบบจำลอง EPANET ดังรายละเอียดต่อไปนี้

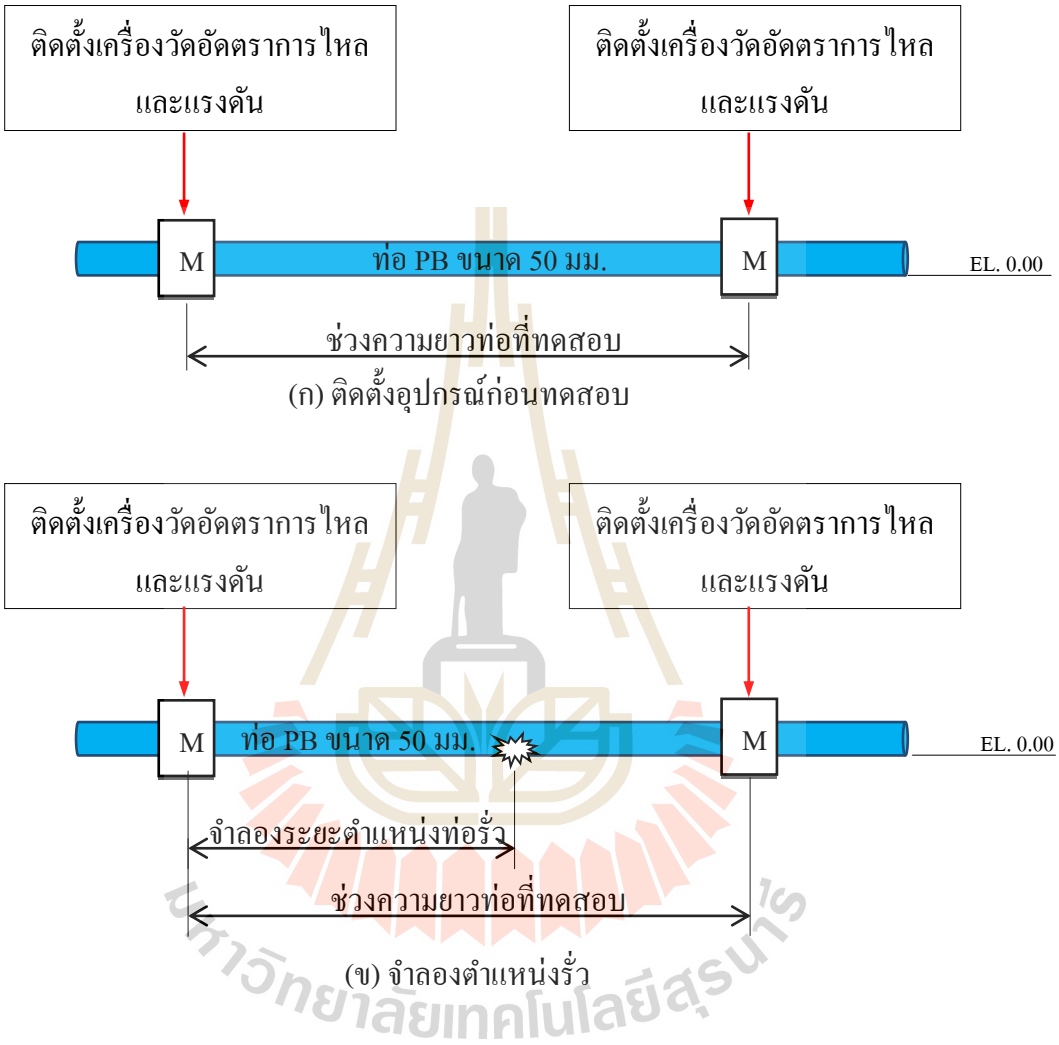
3.1 อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET 2.0
3. ท่อจ่ายน้ำชนิด PB ขนาด 50 มม. ความยาว 50.00 ม. และ 50.50 ม.
4. เครื่องมือวัดอัตราการไหล และแรงดัน
5. เทปวัดระยะ

3.2 การทดสอบหาตำแหน่งที่น้ำรั่ว โดยใช้ท่อ PB

1. เริ่มต้นการทดสอบโดยติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหล และแรงดัน ที่จุดจ่ายน้ำเข้า และออกบนท่อจ่ายน้ำชนิด PB ขนาด 50 มม. ความยาว 50.00 ม. ดังรูปที่ 3.1 (ก)
2. กำหนดตำแหน่งรูรั่วของท่อ หลังจากนั้นใช้เทปวัดระยะจากจุดเริ่มต้นทางน้ำเข้าถึงจุดที่จำลองตำแหน่งรั่วแล้วบันทึกค่า ดังรูปที่ 3.1 (ข)
3. จ่ายน้ำเข้าเส้นท่อด้วยแรงดัน 2.50, 2.10, 1.00 (กก./ตร.ซม.) บันทึกค่าเมื่อน้ำไหลผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล และแรงดัน ที่จุดจ่ายน้ำเข้า และออกโดยทำการทดสอบครั้งที่ 1-3 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.1
4. เริ่มต้นการทดสอบโดยติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหล และแรงดัน ที่จุดจ่ายน้ำเข้า และออกบนท่อจ่ายน้ำชนิด PB ขนาด 50 มม. ความยาว 50.50 ม. ดังรูปที่ 3.1(ก) และรูปที่ 3.2
5. กำหนดตำแหน่งรูรั่วของท่อ หลังจากนั้นใช้เทปวัดระยะจากจุดเริ่มต้นทางน้ำเข้าถึงจุดที่จำลองตำแหน่งรั่วแล้วบันทึกค่า ดังรูปที่ 3.1(ข)

6. จ่ายน้ำเข้าเส้นท่อด้วยแรงดัน 1.00, 2.10, 2.40 (กก./ตร.ซม.) บันทึกค่าเมื่อน้ำไหลผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล และแรงดัน ที่จุดจ่ายน้ำเข้า และออกโดยทำการทดสอบครั้งที่ 4-6 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาในการทดสอบหาตำแหน่งที่น้ำรั่ว โดยใช้ท่อ PB

ตารางที่ 3.1 การบันทึกข้อมูล และผลจากการทดสอบ

จุดเริ่มต้น	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
อัตราการไหล (ลิตร/นาที), Qin	287.00	232.00	165.00	164.00	232.00	249.00
แรงดัน (กก./ตร.ซม.)	2.50	2.10	1.00	1.00	2.10	2.40
จุดเริ่มต้น (ม.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ตำแหน่งท่อรั่ว	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
Q_{in}-Q_{out} (ลิตร/นาที), Q_{leak}	234.00	183.00	128.00	127.00	177.00	190.00
แรงดัน (กก./ตร.ซม.)	2.20	1.80	0.50	0.30	1.50	1.80
ระยะทางถึงตำแหน่งรั่ว(ม.)	30.00	30.00	30.00	40.50	40.50	40.50

จุดสิ้นสุด	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
อัตราการไหล (ลิตร/นาที), Q_{out}	53.00	49.00	37.00	37.00	55.00	59.00
แรงดัน (กก./ตร.ซม.)	2.1	1.80	0.85	0.75	1.65	1.90
ระยะทางถึงปลายท่อ (ม.)	50.50	50.50	50.50	50.00	50.00	50.00

3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่หายไป

จากตารางที่ 3.1 จะสังเกตได้ว่าอัตราการไหลของน้ำที่เข้า-ออก ไม่เท่ากันอันเนื่องมาจากมีน้ำรั่วออกจากท่อที่ตำแหน่งรูรั่วที่จำลองไว้ และทำให้เกิดน้ำที่สูญหายไปจากช่วงท่อที่ทำการทดสอบ ดังรูที่ 3.2

$$Qin - Qout = \text{อัตราการไหลที่สูญหายไป}(Qleak) \quad .....(3.1)$$

เมื่อ Q_{in} = อัตราการไหลเข้าสู่ท่อน้ำประปาหรือผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลที่ทางเข้า

Q_{out} = อัตราการไหลออกจากท่อหรือผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลออกที่ทางออก

Q_{leak} = อัตราการไหลที่สูญหายไปจากเส้นท่อ

M = เครื่องวัดอัตราการไหล และแรงดันที่ทางเข้า-ออก

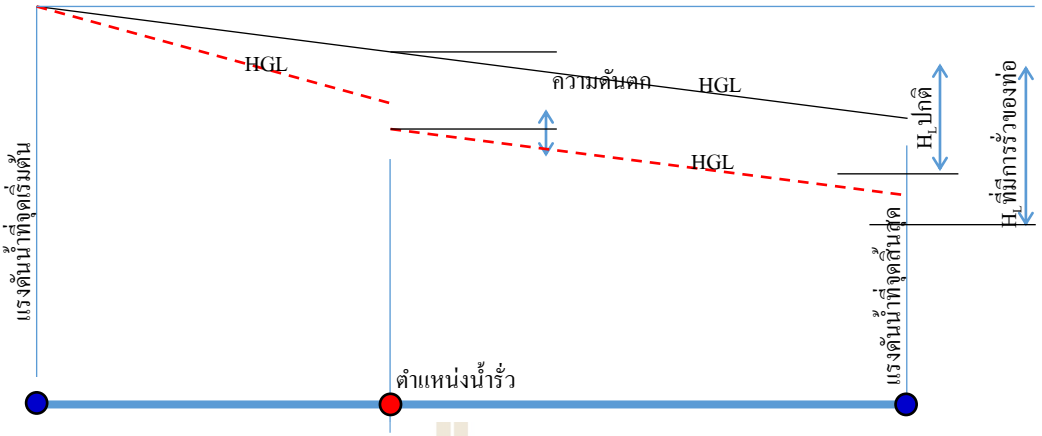
รูปที่ 3.2 ติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหล และเครื่องมือวัดแรงดัน

รูปที่ 3.3 การวิเคราะห์อัตราการไหลที่สูญหายไป

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ปริมาณน้ำสูญเสียในระบบส่งจ่ายของการประปาส่วนภูมิภาคเขต 1 คือการเฝ้าระวังอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นผิดปกติในโซนย่อย DMA หลังจากนั้นเจ้าหน้าที่น้ำสูญเสียจะทำการวางแผนทำ Step test โดยเปิด-ปิดวาล์วเป็นช่วงๆ เพื่อหาช่วงท่อที่มีอัตราการไหลผิดปกติ

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ได้วิเคราะห์ปริมาณน้ำสูญเสียจากอัตราการไหลเข้าที่ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล และแรงดัน กับอัตราการไหลออกที่ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล และแรงดันบนเส้นท่อที่มีจุดรั่วของน้ำประปาซึ่งในทฤษฎีของการไหลในท่อนั้น อัตราการไหลเข้าจะเท่ากับอัตราการไหลออก และการสูญเสียแรงดันก็จะเป็นไปตามกฎแห่งการอนุรักษ์พลังงาน

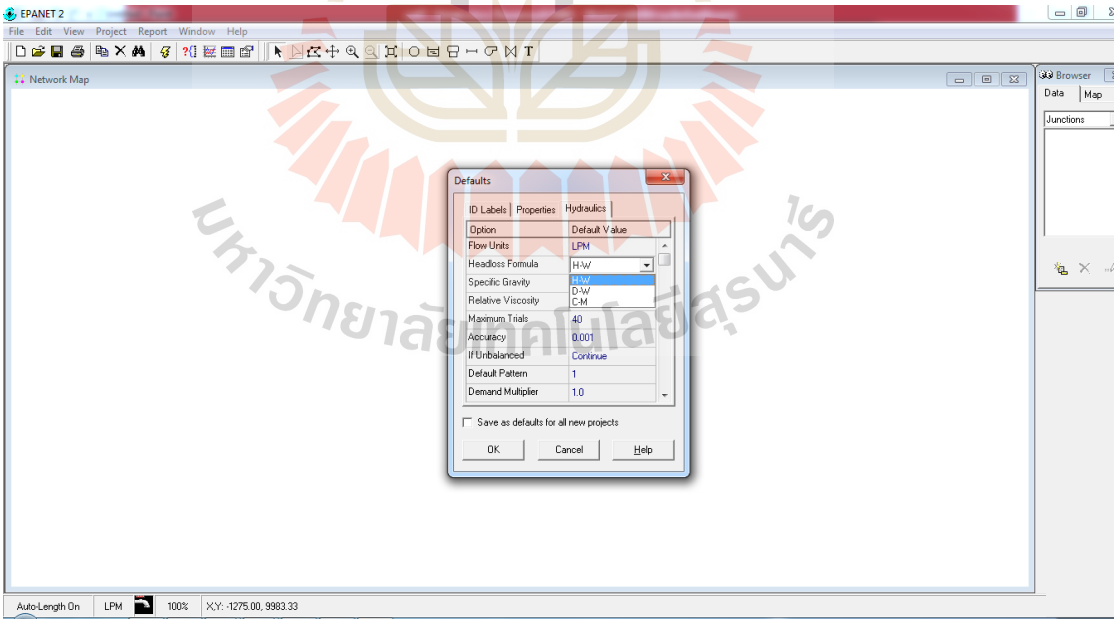
เมื่อมีการรั่วไหลระหว่างทาง อัตราการไหลที่ทางไหลออกจะลดลง และความดันที่ปลายท่อจะลดลงด้วยเนื่องจากเกิดการสูญเสียพลังงานไป ณ ตำแหน่งที่น้ำรั่ว แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การเกิดท่อรั่วบนเส้นท่อส่งจ่ายน้ำประปา

3.3 การทดลองหาตำแหน่งที่น้ำรั่ว โดยใช้แบบจำลอง EPANET

การทดลองใน EPANET จำเป็นต้องเลือกสมการคำนวณการสูญเสียพลังงาน โดยใช้สมการ Hazen-Williams (H-W) และสมการ Darcy-Weisbach(D-W) ซึ่งสมการดังกล่าวโปรแกรมได้ตั้งเป็นค่า Defaults สำหรับให้เลือกใช้ ดังรูปที่ 3.5



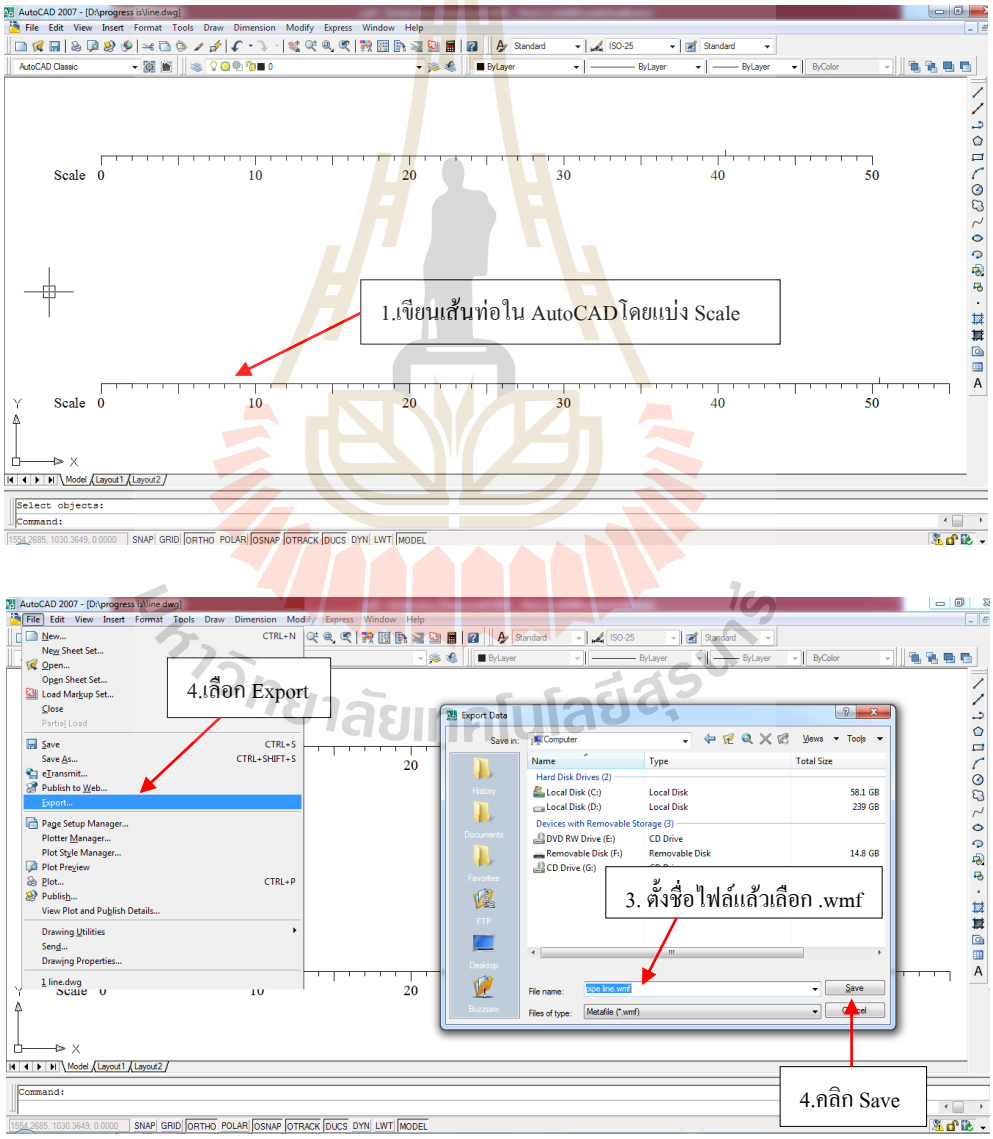
รูปที่ 3.5 การเลือกใช้ Headloss Formula

3.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง EPANET

1. Back dropเส้นท่อเป็นไฟล์ wmf
2. ข้อมูลของแนวเส้นท่อ เช่น ความยาว และค่าความหยาบ(Roughness)
3. แรงดันน้ำที่จุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด
4. อัตราการไหลที่จุดสิ้นสุด และอัตราการไหลของน้ำที่รั่วออกไป

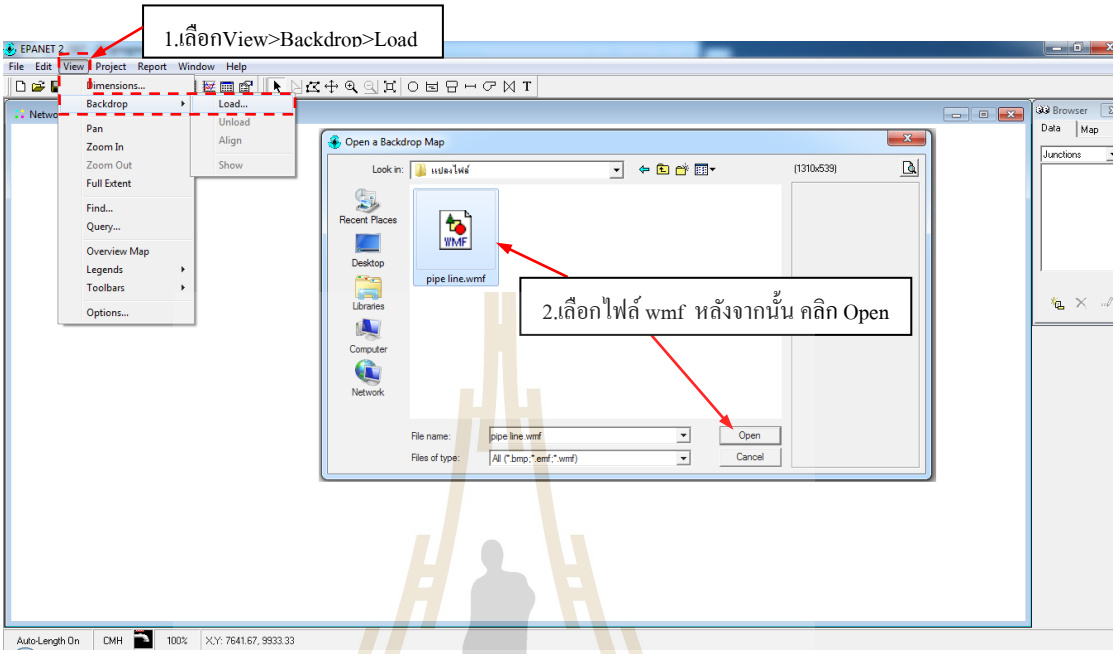
3.3.2 การใช้แบบจำลอง

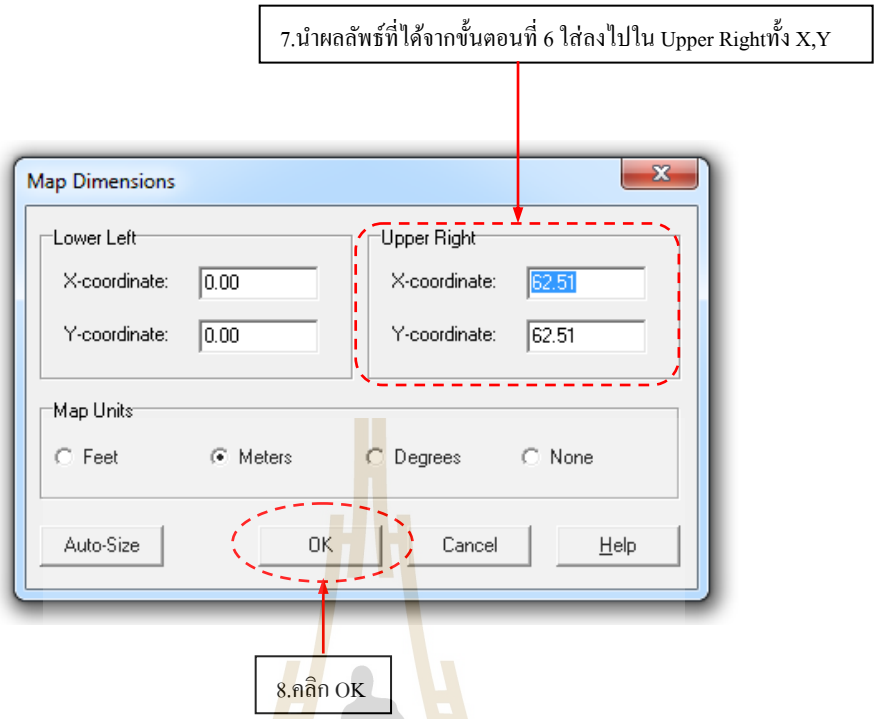
สร้าง backdrop จากโปรแกรม AutoCAD เพื่อทำการแปลงไฟล์ dwg เป็น wmf ซึ่งเขียนเป็น Scale ความยาวตรงกันกับท่อที่นำมาทดสอบ มีขั้นตอนแสดงดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 การแปลงไฟล์แนวท่อนามสกุล dwg เป็น wmf

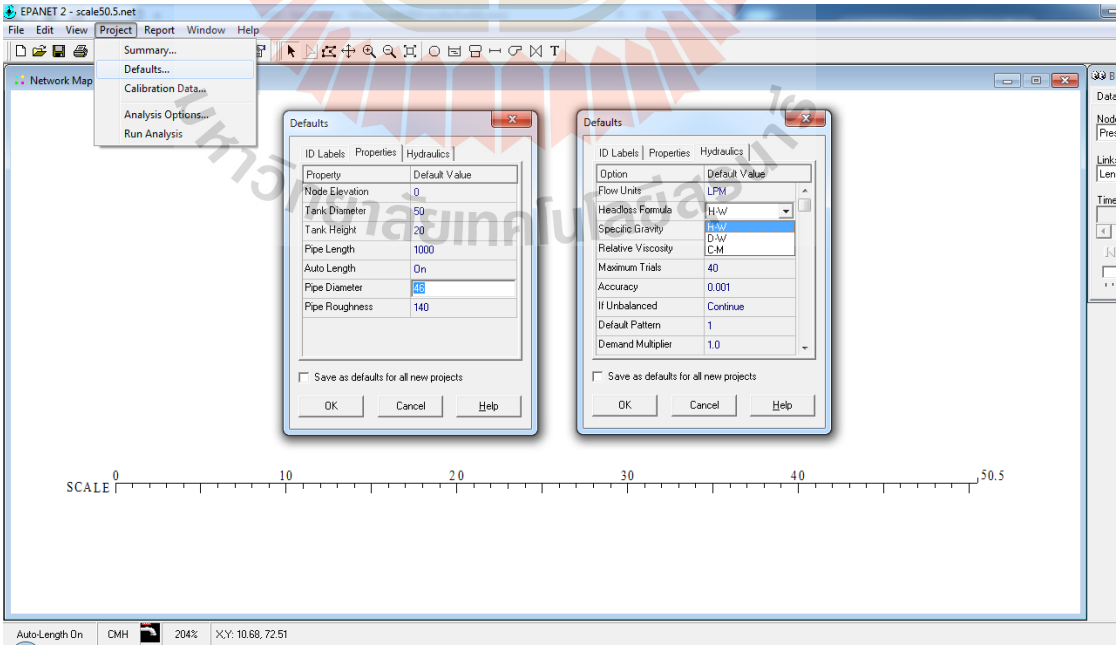
นำเข้าไฟล์ backdrop ที่ได้แปลงเป็นไฟล์นามสกุล .wmf มาเปิดด้วยโปรแกรม EPANET แสดงขั้นตอน ดังรูปที่ 3.7





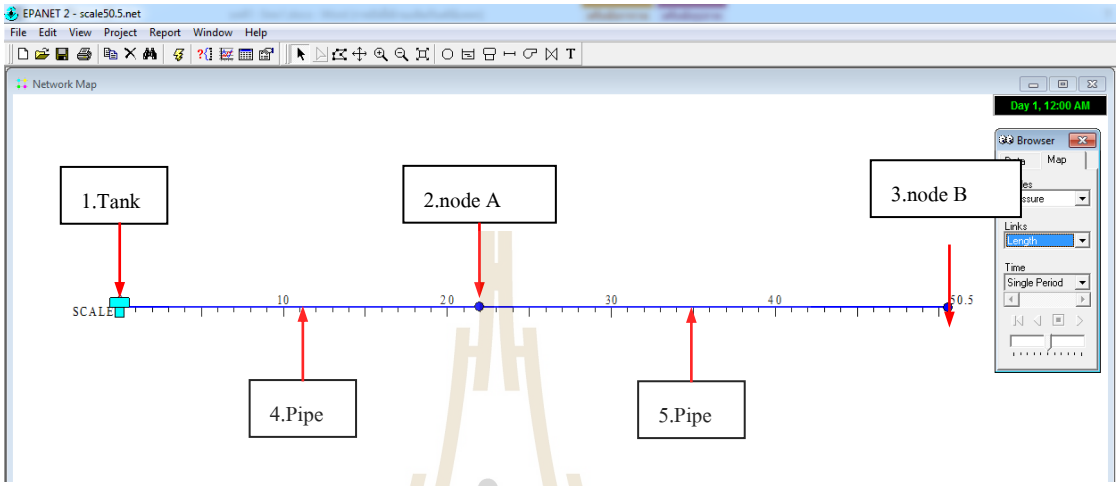
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนนำเข้าไฟล์ bacldrop มาใช้ในโปรแกรม EPANET

ตั้งค่า Defaults ได้แก่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (Pipe Diameter), ค่าความหยาบของท่อ (Pipe Roughness), หน่วยวัดอัตราการไหล (Flow Unit), สมการที่ใช้สำหรับหาความดันตก (Headloss Formula) ดังรูปที่ 3.8



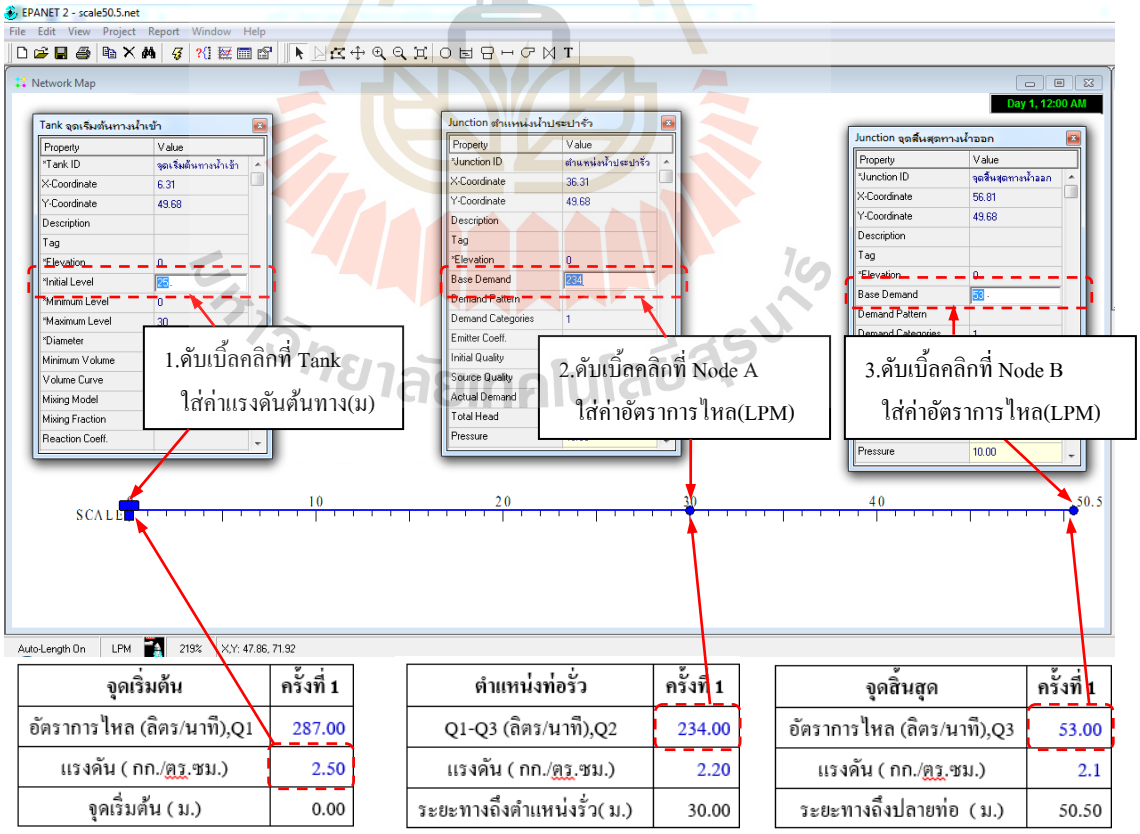
รูปที่ 3.8 การตั้งค่า Defaults ในโปรแกรม EPANET

ขึ้นแบบจำลองโดยให้ Tank คือจุดเริ่มต้นน้ำไหลเข้าเส้นท่อ Node A คือ จุดที่มีการรั่ว Node B คือจุดสุดท้ายหรือจุดที่น้ำไหลผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล และแรงดัน Pipe คือเส้นท่อที่ทำการทดสอบ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 องค์ประกอบทางกายภาพของแบบจำลอง

นำเข้าข้อมูลที่ได้จากการทดสอบใส่ลงในแบบจำลอง EPANET แสดงขั้นตอน ดังรูปที่ 3.10



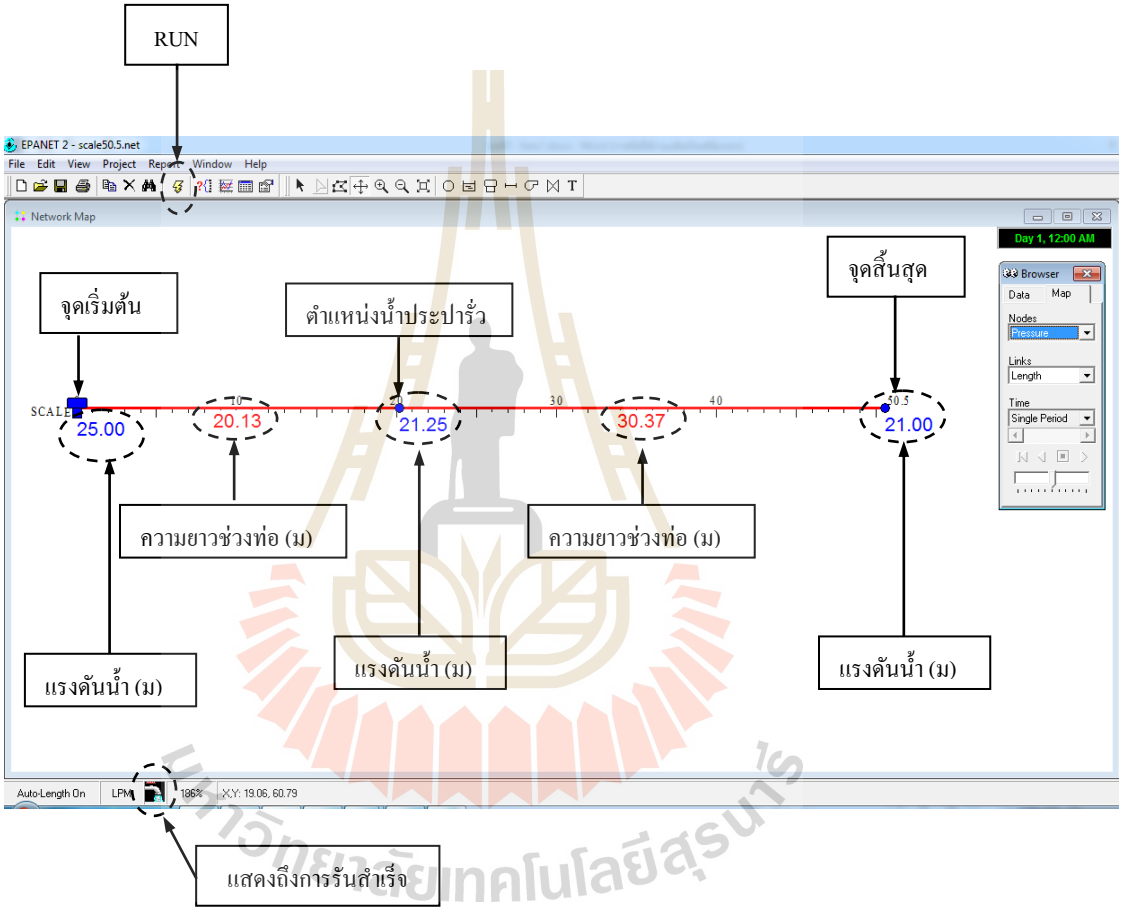
จุดเริ่มต้น	ครั้งที่ 1
อัตราการไหล (ลิตร/นาที),Q1	287.00
แรงดัน (กก./ตร.ซม.)	2.50
จุดเริ่มต้น (ม.)	0.00

ตำแหน่งท่อรั่ว	ครั้งที่ 1
Q1-Q3 (ลิตร/นาที),Q2	234.00
แรงดัน (กก./ตร.ซม.)	2.20
ระยะทางถึงตำแหน่งรั่ว(ม.)	30.00

จุดสิ้นสุด	ครั้งที่ 1
อัตราการไหล (ลิตร/นาที),Q3	53.00
แรงดัน (กก./ตร.ซม.)	2.1
ระยะทางถึงปลายท่อ (ม.)	50.50

รูปที่ 3.10 การนำเข้าข้อมูลจากการทดสอบใส่ลงในแบบจำลอง EPANET

หลังจากป้อนข้อมูลที่ได้บันทึกไว้ เข้าไปในแบบจำลอง EPANET แล้วลองคลิกที่ Run เพื่อทดลองรันดูว่าแรงดันที่สิ้นสุดได้ผลลัพธ์ตรงกับที่ทดสอบหรือไม่ ถ้าหากค่าแรงดันปลายที่ไม่ตรงกับที่บันทึกไว้ให้ทำการขยับ Node A ที่จำลองแทนตำแหน่งน้ำประปารั่วไป-มา แล้วคลิกที่ Run จนได้ค่าแรงดันที่จุดสิ้นสุดหรือปลายท่อตรงกับที่บันทึกไว้ หลังจากนั้นให้ลองสังเกตดูว่า Node A ที่จำลองแทนตำแหน่งน้ำประปารั่วนั้น มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้น เท่าไหร่(ม) ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การรันจนได้ค่าแรงดันที่จุดสิ้นสุดเท่ากับผลการทดสอบ

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การสอบเทียบระหว่างสมการของ Hazen-Williams และสมการของ Darcy-Weisbach

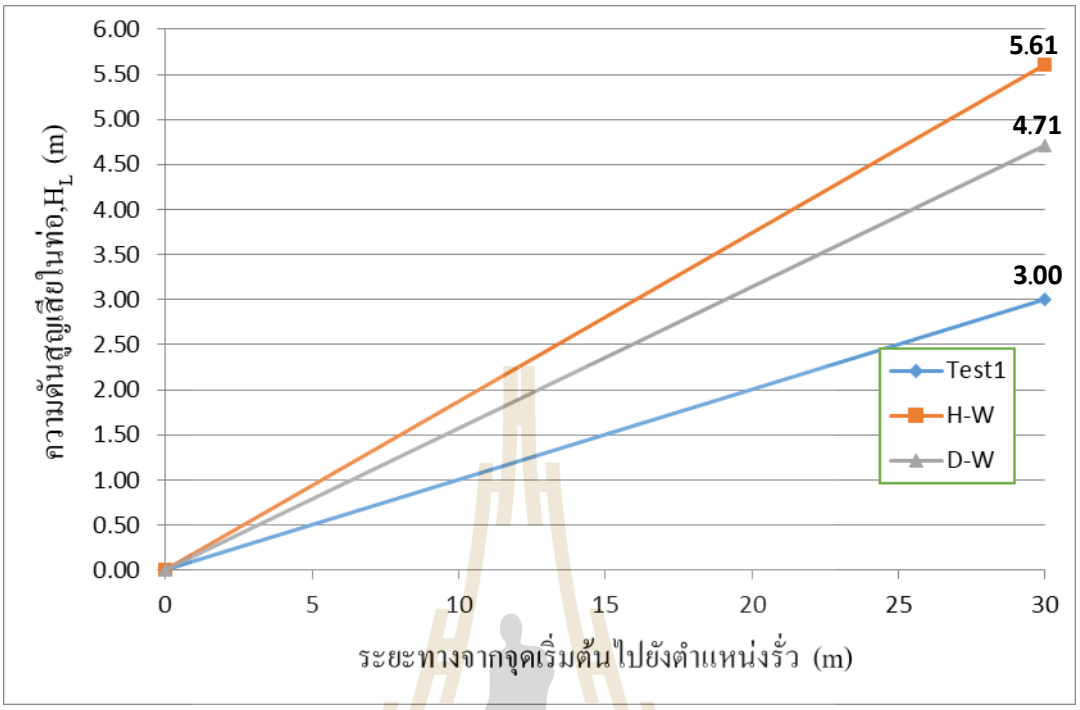
ในการจำลองหาตำแหน่งน้ำรั่วด้วย EPANET นั้น ได้เลือกใช้สมการหาความดันลดคือ Hazen-Williams และ Darcy-Weisbach ซึ่งสองสมการนี้จะต้องใช้ตัวแปรที่ได้จากการทดสอบคือ อัตราการไหล (Q), ความยาวช่วงท่อที่ทดสอบ(L), เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ(D), ความเร็ว(v), และความหยาบของท่อ(C, ε) ซึ่งตัวแปรที่ทำให้สองสมการนี้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันคือค่า C และε ที่มีค่าตามกัน(ดังตารางที่ 2.1) ในศึกษานี้จึงนำสองสมการนี้มาสอบเทียบหาค่าความแตกต่างระหว่างผลความดันลด ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบกับการคำนวณทั้งสองสมการ เพื่อที่จะหาสมการที่คำนวณแล้วได้ความดันลดใกล้เคียงกับผลทดสอบ และเหมาะที่จะนำไปใช้ในแบบจำลองหาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วต่อไป

ในการเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) กับตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบกับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W) และ Darcy-Weisbach(D-W) โดยสอบเทียบตามผลที่ได้จากการทดสอบมาแล้วจำนวณ 6 ครั้ง รายละเอียดดังนี้

4.1.1 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 1

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความดันสูญเสียจากการคำนวณ กับผลทดสอบครั้งที่ 1 พบว่า ผลการคำนวณจากสมการ Darcy-Weisbach มีค่าความดันสูญเสีย ณ ตำแหน่งรั่วใกล้เคียงกว่าสมการ Hazen-Williams ดังรูปที่ 4.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

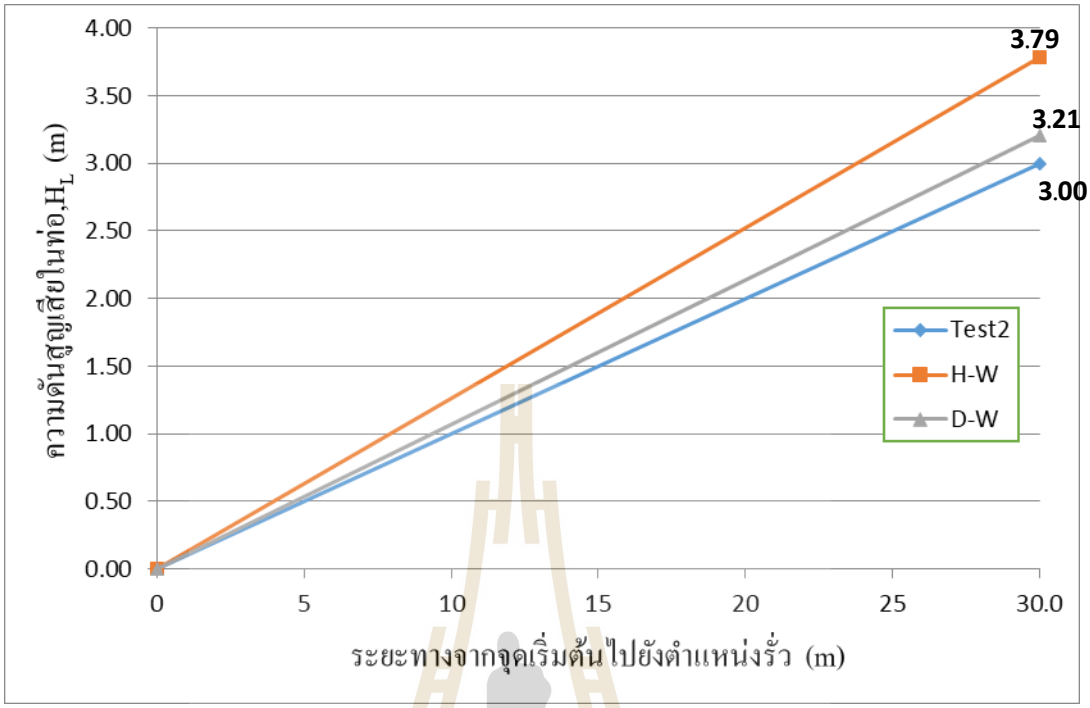


รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบ ครั้งที่ 1 กับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W) และ Darcy-Weisbach(D-W)

4.1.2 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 2

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความดันสูญเสียจากการคำนวณ กับผลทดสอบครั้งที่ 2 พบว่า ผลการคำนวณจากสมการ Darcy-Weisbach มีค่าความดันสูญเสีย ณ ตำแหน่งรั่วใกล้เคียงกว่าสมการ Hazen-Williams ดังรูปที่ 4.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

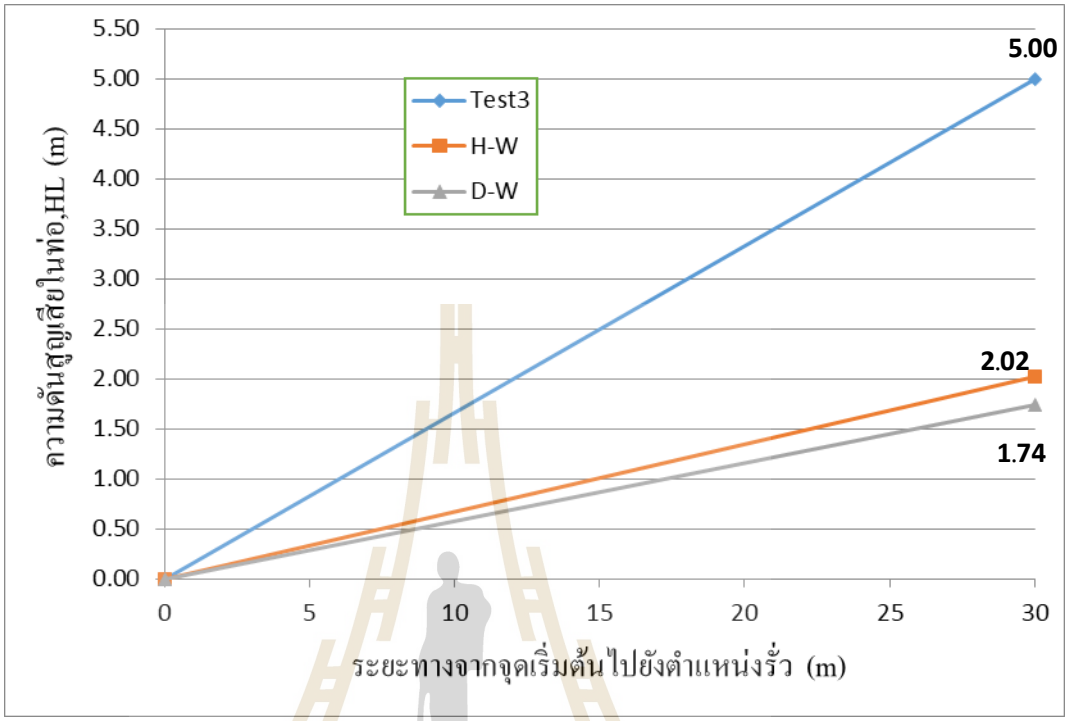


รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบ ครั้งที่ 2 กับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W) และ Darcy-Weisbach(D-W)

4.1.3 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 3

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความดันสูญเสียจากการคำนวณ กับผลทดสอบครั้งที่ 3 พบว่า ผลการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams มีค่าความดันสูญเสีย ณ ตำแหน่งรั่วใกล้เคียงกว่าสมการ Darcy-Weisbach ดังรูปที่ 4.3

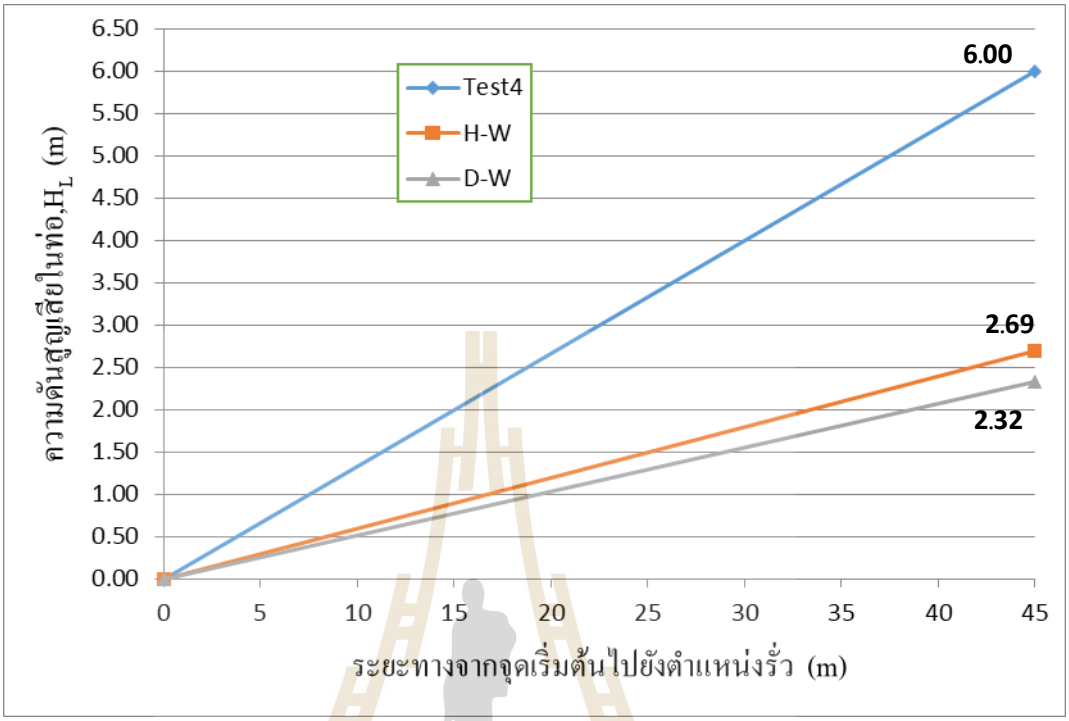
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบ ครั้งที่ 3 กับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W) และ Darcy-Weisbach(D-W)

4.1.4 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 4

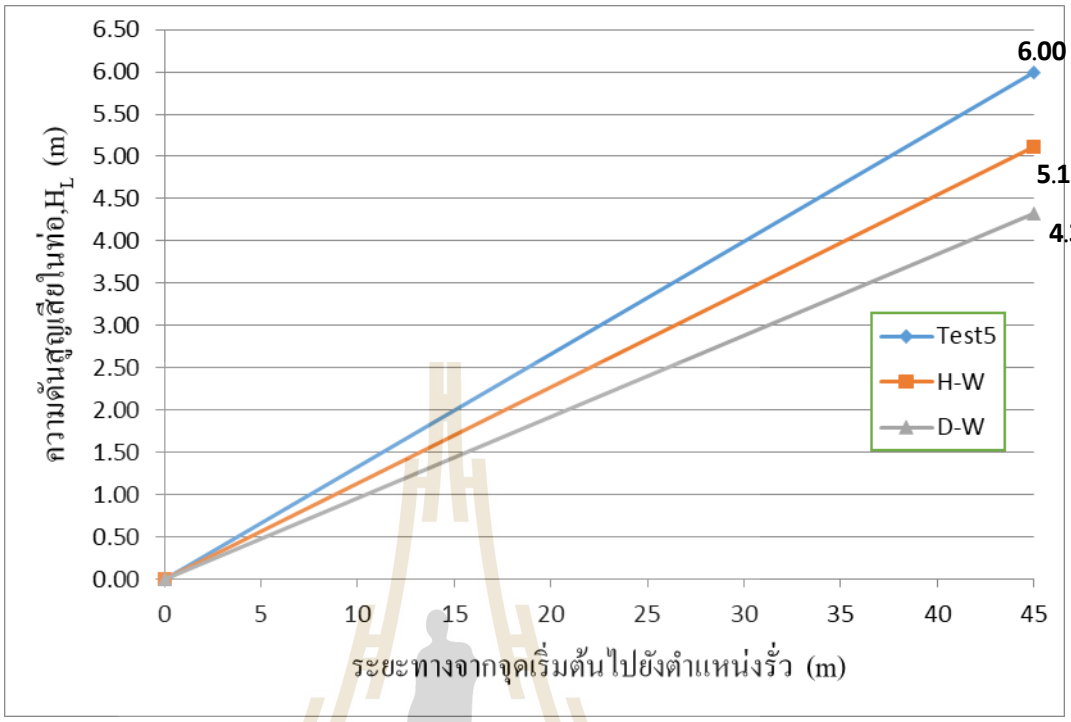
ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความดันสูญเสียจากการคำนวณ กับผลทดสอบครั้งที่ 4 พบว่า ผลการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams มีค่าความดันสูญเสีย ณ ตำแหน่งรั่วใกล้เคียงกว่าสมการ Darcy-Weisbach ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบ ครั้งที่ 4 กับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W) และ Darcy-Weisbach(D-W)

4.1.5 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 5

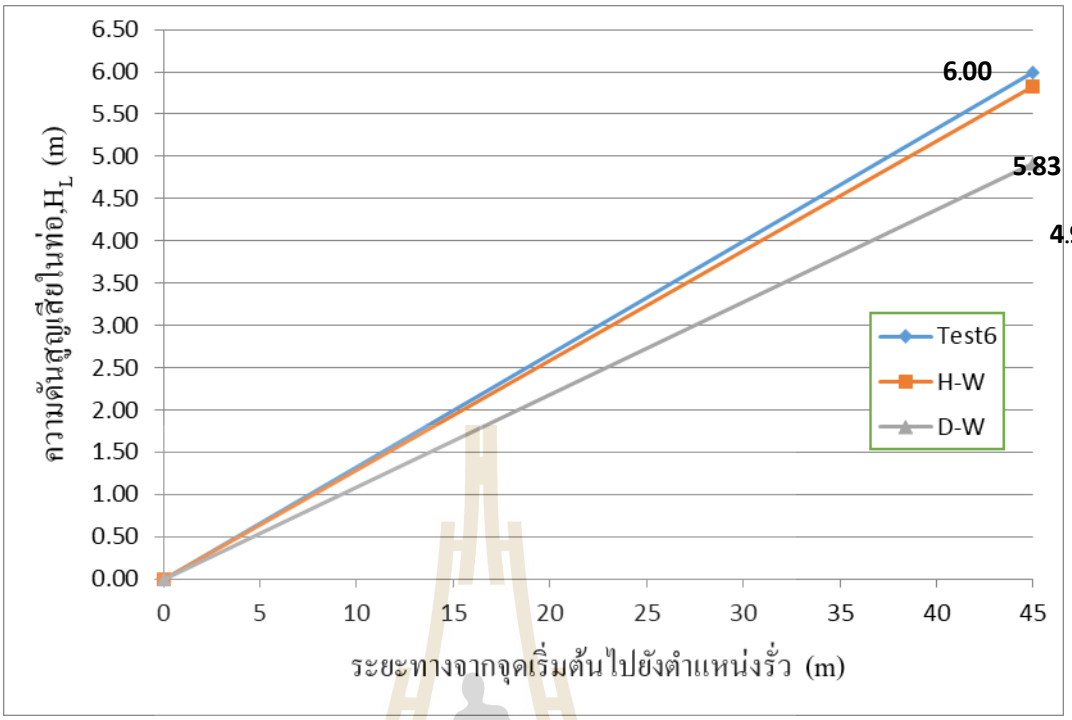
ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความดันสูญเสียจากการคำนวณ กับผลทดสอบครั้งที่ 5 พบว่า ผลการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams มีค่าความดันสูญเสีย ณ ตำแหน่งรั่วใกล้เคียงกว่าสมการ Darcy-Weisbach ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบครั้งที่ 5 กับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W) และ Darcy-Weisbach(D-W)

4.1.6 ผลการสอบเทียบครั้งที่ 6

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความดันสูญเสียจากการคำนวณ กับผลทดสอบครั้งที่ 6 พบว่า ผลการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams มีค่าความดันสูญเสีย ณ ตำแหน่งรั่วใกล้เคียงกว่าสมการ Darcy-Weisbach ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบความดันลดลง (H_L) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วที่ได้จากการทดสอบ ครั้งที่ 6 กับการคำนวณจากสมการ Hazen-Williams(H-W) และ Darcy-Weisbach(D-W)

ผลการสอบเทียบเพื่อคัดเลือกสมการที่จะนำไปใช้ในวิเคราะห์หาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วด้วยแบบจำลอง EPANET ได้ข้อสรุปว่าในจำนวน 6 ตัวอย่างนั้น สมการที่คำนวณได้ค่าความดันสูญเสีย (Head loss) ณ ตำแหน่งน้ำรั่วจากการสอบเทียบกับผลทดสอบในห้องปฏิการใกล้เคียงมากที่สุดคือสมการ Hazen-Williams ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกสมการนี้ไปใช้ในแบบจำลอง EPANET เพื่อทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วในหัวข้อถัดไป

4.2 ผลจากการจำลองหาตำแหน่งท่อน้ำประปารั่วด้วย EPANET

ในการศึกษาได้นำผลทดสอบจากห้องปฏิบัติการทั้ง 6 ครั้ง มาจำลองหาตำแหน่งท่อน้ำประปารั่วด้วยโปรแกรม EPANET โดยเลือกสมการ Hazen-Williams (H-W) ที่ได้จากการสอบเทียบในหัวข้อที่ 4.1 มาใช้ในการหาความดันลดลง (H_L) ซึ่งองค์ประกอบในสมการก็จะมีค่าต่างๆ ดังนี้

Q = อัตราการไหลในเส้นท่อ, ลิตร/นาที

L = ความยาวช่วงท่อที่ทำการทดสอบ, เมตร

D = เส้นผ่าศูนกลางภายในท่อ, เมตร

C = Hazen-William Coefficient ใช้ 140

ภายหลังจากใส่ค่าต่างๆ เหล่านี้เข้าไปในแบบจำลองแล้วทำกันรัน พร้อมทั้งขยับ Node ที่จำลองตำแหน่งรั่ว ไป – มา จนได้ค่าความดันลดที่จุดสิ้นสุดตรงกันกับที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการก็จะได้ผลลัพธ์ในส่วนของเส้นท่อที่จะแสดงให้เห็นถึงค่าระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงตำแหน่งที่น้ำรั่วด้วยเช่นกัน ดังรายละเอียดผลการจำลอง EPANET ที่ได้นำผลทดสอบจากห้องปฏิบัติการทั้ง 6 ครั้ง มาจำลองหาตำแหน่งท่อน้ำประปารั่ว ซึ่งร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 21.54 ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งน้ำรั่ว ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งน้ำรั่ว ด้วยแบบจำลอง EPANET

การทดลองที่	**ระยะทางจากจุดเริ่มต้นถึงตำแหน่งรั่ว (ม.)**	**ความคลาดเคลื่อน (ม.)**	**ร้อยละความคลาดเคลื่อน**
1	20.13	-9.87	32.90
2	22.27	-7.73	25.77
3	20.65	-9.35	31.17
4	36.96	-3.54	8.74
5	34.78	-5.72	14.12
6	33.81	-6.69	16.52

(ก) ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งน้ำรั่ว ด้วยแบบจำลอง EPANET ครั้งที่ 1

(ข) ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งน้ำรั่ว ด้วยแบบจำลอง EPANET ครั้งที่ 2

(ค) ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งน้ำรั่ว ด้วยแบบจำลอง EPANET ครั้งที่ 3

(ง) ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งน้ำรั่ว ด้วยแบบจำลอง EPANET ครั้งที่ 4

(จ) ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งน้ำรั่ว ด้วยแบบจำลอง EPANET ครั้งที่ 5

(ฉ) ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งน้ำรั่ว ด้วยแบบจำลอง EPANET ครั้งที่ 6

รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งน้ำรั่ว ด้วยแบบจำลอง EPANET ครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6

หมายเหตุ: ตัวเลขสีน้ำเงินด่านล่างคือค่าความดัน ตัวเลขสีแดงด้านบนคือความยาวท่อ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากการสร้างแบบจำลองหาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วโดยการใช้โปรแกรม EPANET สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 การทดสอบหาตำแหน่งท่อรั่วในภาคสนาม

จากการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบหาตำแหน่งที่น้ำรั่ว ณ กองมาตรวัดน้ำ จังหวัดนครนายก โดยใช้ท่อ PB ขนาด 50 มม. ความยาว 50.00 ม. และ 50.50 ม. วางในแนวระดับ หลังจากนั้นได้จ่ายน้ำเข้าไปในเส้นท่อด้วยแรงดันต้นทางแตกต่างกันไปเป็นจำนวน 6 ครั้ง การทดสอบนี้จะทำให้เห็นถึงค่าแรงดันที่จุดปลายท่อนั้น มีความสัมพันกันกับระยะทางจากจุดเริ่มต้นถึงตำแหน่งที่น้ำรั่ว เมื่อแรงดันน้ำที่ปลายท่อลดลง ตำแหน่งรั่วจะมีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นมากขึ้นตามไปด้วย

5.2 การสอบเทียบสมการหาความดันลด

การจำลอง EPANET จำเป็นต้องใช้สมการในการหาความดันลดเพื่อที่จะหาแรงดันที่จุดสิ้นสุดให้ได้ค่าแรงดันที่วัดได้ในภาคสนาม สมการที่โปรแกรม EPANET ตั้งเป็นค่า Defaul เอาไว้คือสมการ Hazen-Williams และสมการ Darcy-Weisbach ดังนั้น ก่อนจะนำมาใช้ในการศึกษานี้ได้มีการคำนวณหาค่าความดันลดที่จุดรั่วทั้งสองสมการ เทียบกับความดันลดที่ได้จากการทดสอบภาคสนาม ผลการสอบเทียบคือ สมการ Hazen-Williams (H-W) ให้ค่าความดันลดที่จุดรั่วใกล้เคียงกับผลทดสอบในภาคสนาม ตัวแปรที่ทำให้ได้ค่าแตกต่างระหว่างสองสมการนี้ก็คือค่าสัมประสิธิ์ความหยาบของท่อที่ใช้ในแต่ละสมการนั่นเอง

5.3 การจำลองหาตำแหน่งท่อน้ำประปารั่วด้วย EPANET

จากที่ได้ทำการทดสอบภาคสนามจำนวน 6 ครั้ง และนำผลที่ได้มาทดลองจำลองหาตำแหน่งรั่วด้วยโปรแกรม EPANET จากการทดลองโปรแกรมสามารถบอกระยะทางจากจุดเริ่มต้นไปจนถึงตำแหน่งที่น้ำประปารั่วได้ ถึงแม้ว่าระยะทางที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าระยะจริงที่วัดได้จากการทดสอบในภาคสนาม และคิดเป็นค่า Error ของระยะทางใกล้ที่สุดคือ -3.54 ม. และไกลที่สุดคือ -9.87 ม. ร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 21.54 (คิดเป็น -7.15 ม.) ซึ่งขอบเขตการศึกษาโดยถือว่าพื้นที่ศึกษามีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบจึงไม่พิจารณาความแตกต่างของระดับท่อ ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยดังกล่าวสามารถยอมรับได้ เนื่องจากในทางปฏิบัติการเปิดพื้นที่เพื่อหา

ตำแหน่งรั่วต้องเปิดพื้นที่เป็นระยะทาง 6-8 ม. ตามความยาวของท่อ และเมื่อวิเคราะห์ตามทฤษฎีการหาความดันลดซึ่งแบบจำลอง EPANET สามารถคำนวณผลลัพธ์ได้และใช้งานง่าย สำหรับการที่จะนำไปใช้จำลองหาตำแหน่งท่อน้ำประปารั่วจริงๆ ถือว่าอยู่ในขอบเขตที่ทำให้การค้นหาตำแหน่งน้ำรั่วได้รวดเร็วและได้พื้นที่การหาที่แคบลงมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการวิเคราะห์หาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วด้วยแบบจำลอง EPANET สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการค้นหาตำแหน่งท่อรั่วและลดการสูญเสียน้ำในกิจการประปา ของการประปาส่วนภูมิภาคเขต 1ได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์หาตำแหน่งท่อส่งจ่ายน้ำประปารั่วด้วยแบบจำลอง EPANET ในการศึกษาได้จำลองในส่วนแนวท่อตรงที่ไม่มีท่อแยก และจัดให้มีเครื่องวัดอัตราการไหล และแรงดัน บริเวณจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของช่วงท่อที่จะทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งน้ำรั่ว แต่เนื่องจากยังมีข้อเสนอแนะบางประการที่จะมีส่วนช่วยทำให้การวิเคราะห์แบบจำลอง EPANET มีความสมบูรณ์และแม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นผลโดยตรงต่อความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์หาตำแหน่งน้ำรั่วด้วยแบบจำลอง EPANET และจะเป็นประโยชน์กับผู้ศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไป คือ

1. การศึกษานี้ถือว่าพื้นที่ศึกษามีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบจึงไม่พิจารณาความแตกต่างของระดับท่อ โดยพิจารณาให้ระดับท่อเท่ากันหมดซึ่งถ้ามีการใช้ข้อมูลระดับพื้นที่อ้างอิง เพื่อกำหนดความสูงของท่อจะช่วยให้ผลการจำลองมีความสมบูรณ์ และถูกต้องมากขึ้น
2. การศึกษานี้ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบของท่อ (Hazen-William Coefficient = 140) สำหรับชนิดท่อพลาสติก หากต้องการใช้แบบจำลอง EPANET กับท่อส่งจ่ายน้ำประปาชนิดอื่น เพื่อให้แบบจำลองมีความละเอียดและถูกต้องมากขึ้นจึงควรปรับใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบของท่อแต่ละชนิด

เอกสารอ้างอิง

กองระบบจำหน่าย. (2556). **คู่มือบริหารจัดการควบคุมน้ำสูญเสียด้วยระบบ DMA.** การประปาส่วนภูมิภาคเขต 2.

ดุลยโชติ ชลศึกษ์. (**2557**). **การออกแบบระบบท่อทางวิศวกรรม.** ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ธีร์ จิตร์อ่อง. (2559). **การลดอัตราการสูญเสียน้ำในกิจการประปาโดยวิธี District Metering Area Management (DMA)**. โครงงานมหาบัณฑิต สาขาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ปิยนาฎ จันทร์สิงห์, พีราอร ดีทายาท และสุจิตรา บุตรแสงดี. (2553). **การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และโปรแกรมEPANET 2.0 ในการศึกษาและวิ เคราะห์ระบบประปาในเขตเทศบาลตำบลบางหลวงอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม.**โครงงานวิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

มรุพัชร จำนงวงศ์. (2559). การลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายประปา. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.** ปีที่ 26 (ฉบับที่ 3): หน้า 525-532.

ศราวุฒิ ก๋องใจ ถาวร ธีระเวชญาณ และ กองกูณฑ์ โตชัยวัฒน์. (2553). **การทดสอบหาจุดรั่วในระบบท่อจ่ายน้ำประปาโดยวิธีทดสอบเป็นขั้นตอนแบบวิธีปิด และเปิด.** วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. ปีที่ 2(ฉบับที่ 1): หน้า 1-6.

ศุภรักษ์ แก้วแสง. (2557). **การจำลองคุณภาพน้ำของระบบโครงข่ายท่อประปาด้วยแบบจำลอง EPANET.**วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Lewis A. Rossman. (2000) . Epanet 2 Users Manual, National Risk Management Research Laboratory Office Of Research and Development U. S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Oh 45268.

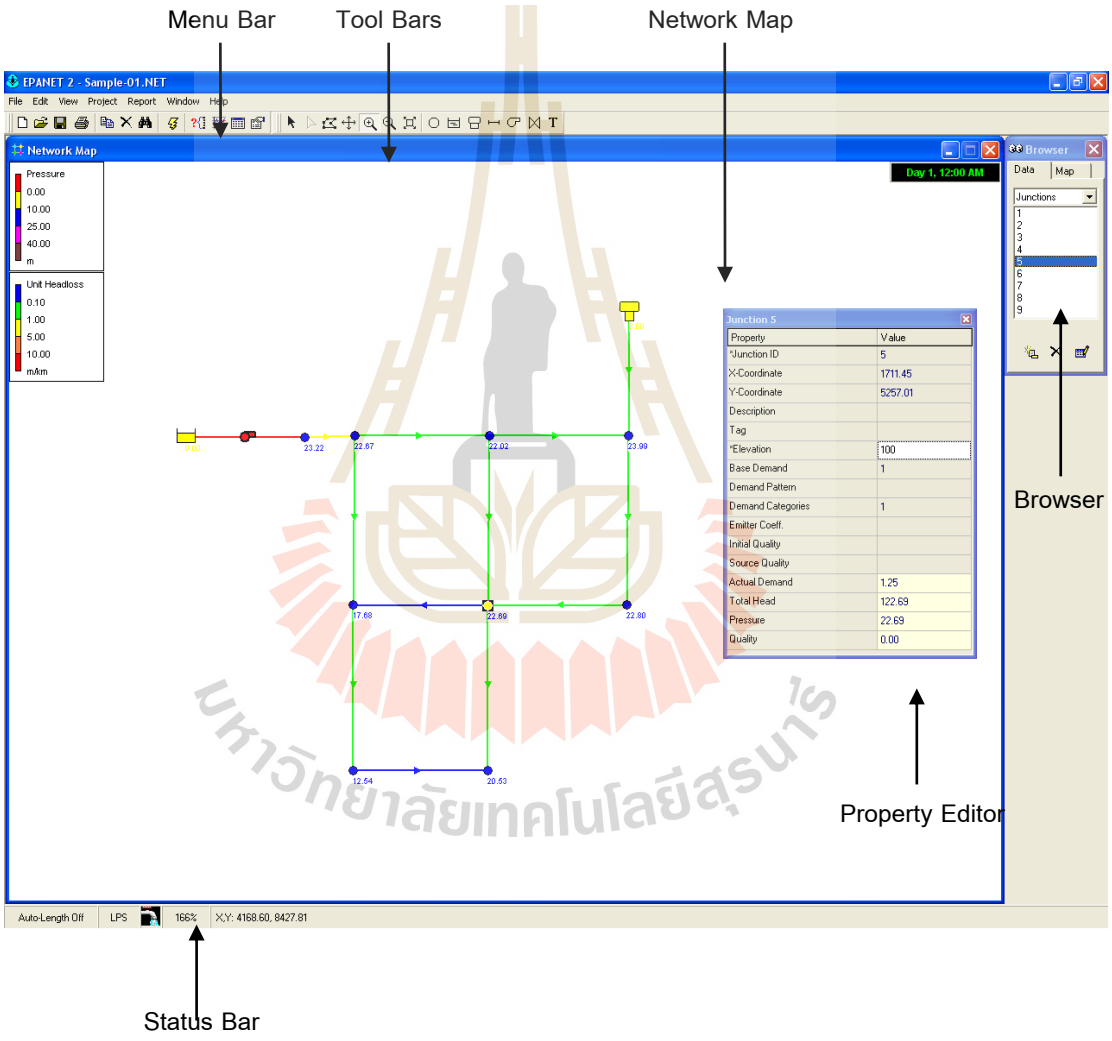
ภาคผนวก

คู่มือการใช้งานโปรแกรม EPANET

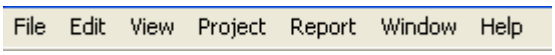
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<u>แนะนำโปรแกรม EPANET</u>

รูปแบบปกติของโปรแกรม EPANET เป็นไปตามที่แสดงตัวอย่างไว้ด้านล่าง โดยจะประกอบด้วยส่วนหลักๆ คือ ส่วนของ Menu Bar , Tool Bars , Status Bar , Network Map , Browser และ Property Editor



ส่วนประกอบของโปรแกรม EPANET

Menu Bar 

เป็น menu ที่ใช้สำหรับจัดการโปรแกรม ประกอบด้วย

- File menu
- Edit menu
- View menu
- Project menu
- Report menu
- Window menu
- Help menu

Toolbarsประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ

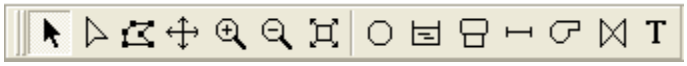
Standard Toolbar

ประกอบด้วยชุดปุ่มกด (Speed Button) ที่ใช้สำหรับสั่งให้โปรแกรมทำงาน :

- สร้าง New Project (File >> New)
- เปิด File งานเดิม (File >> Open)
- บันทึกข้อมูล (File >> Save)
- พิมพ์ข้อมูล (File >> Print)
- คัดลอกข้อมูล (Edit >> Copy to)
- ลบข้อมูล
- ค้นหาข้อมูลที่ต้องการ (View >> Find)
- ประมวลผลข้อมูล (Project >> Run Analysis)
- ค้นหาข้อมูลแบบกำหนดเงื่อนไข (View >> Query)
- แสดงผลการคำนวณแบบตาราง (Report >> Graph)
- แสดงผลการคำนวณแบบกราฟ (Report >> Table)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- ปรับแต่งรูปแบบการแสดงผล (View >> Option or Report >> Option)

Map Toolbar 

ประกอบด้วยชุดปุ่มกด (Speed Button) ที่ใช้สำหรับทำงานบน Network Map:

- เลือกวัตถุ (Edit >> Select Object)
- เลือก vertex points ของท่อ (Edit >> Select Vertex)
- เลือกขอบเขตของ Network (Edit >> Select Region)
- เลื่อนภาพของ Network (View >> Pan)
- ขยายภาพของ Network (View >> Zoom In)
- ย่อภาพของ Network (View >> Zoom Out)
- แสดงภาพทั้งหมดของ Network (View >> Full Extent)
- สร้าง Node ลงบน Network
- สร้าง Reservoir ลงบน Network
- สร้าง Tank ลงบน Network
- สร้าง Pipe ลงบน Network
- สร้าง Pump ลงบน Network
- สร้าง Valve ลงบน Network
- สร้าง Text ลงบน Network

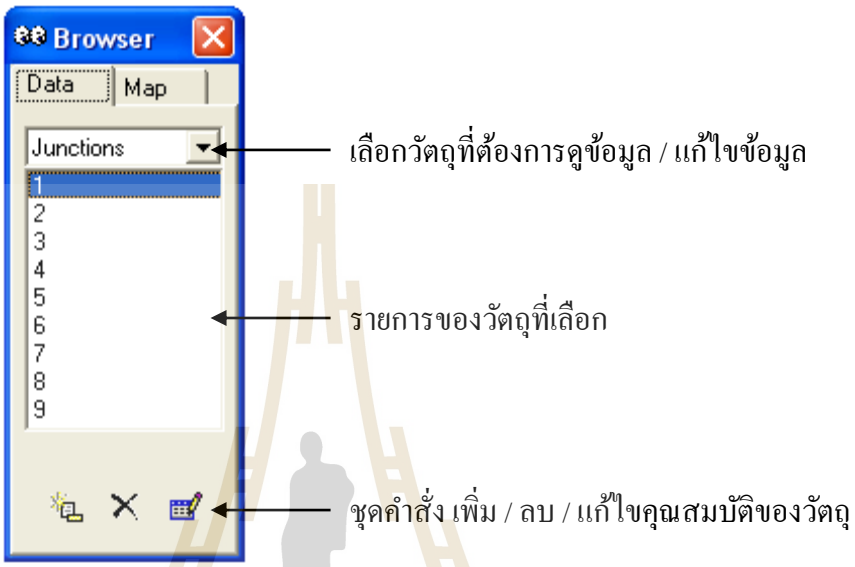
Status Bar

ประกอบด้วย 5 ส่วน เพื่อแสดงถึงข้อมูลต่างๆ ดังนี้

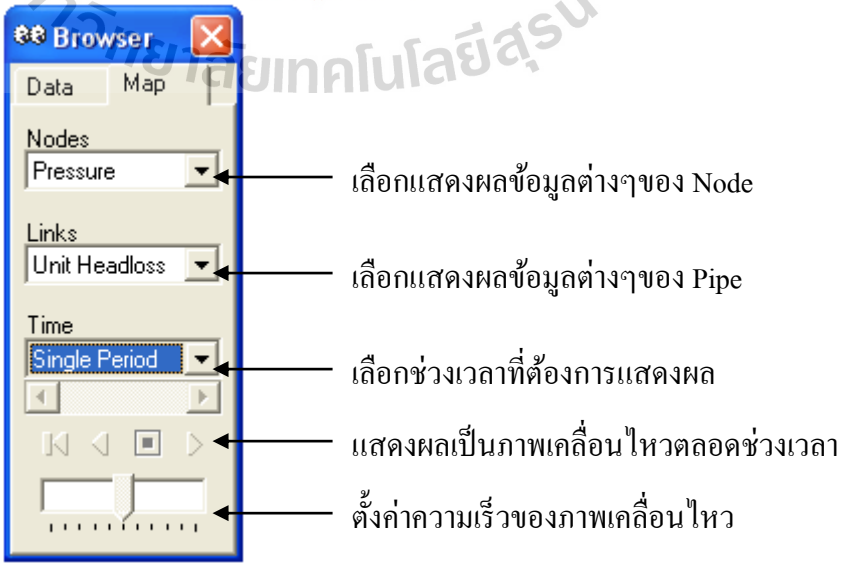
- Auto-Length: แสดงให้ทราบว่าการระบุความยาวท่อ เป็นแบบ Auto หรือ Manual
- Flow Unit : แสดงหน่วยของอัตราการไหล ที่ใช้ในการคำนวณ
- Run Status : แสดงสถานะของผลการคำนวณ
- Zoom Level : แสดงอัตราส่วน การย่อ-ขยายภาพของ Network
- Location : แสดงค่าพิกัดของ Mouse Pointer

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Data Browser เป็นส่วนหนึ่งของ Browser Window ใช้เพื่อแสดงข้อมูล และแก้ไขข้อมูลต่างๆของวัตถุ



Map Browser เป็นส่วนหนึ่งของ Browser Window ใช้เพื่อแสดงผลการคำนวณในรูปแบบของ Graphic Map



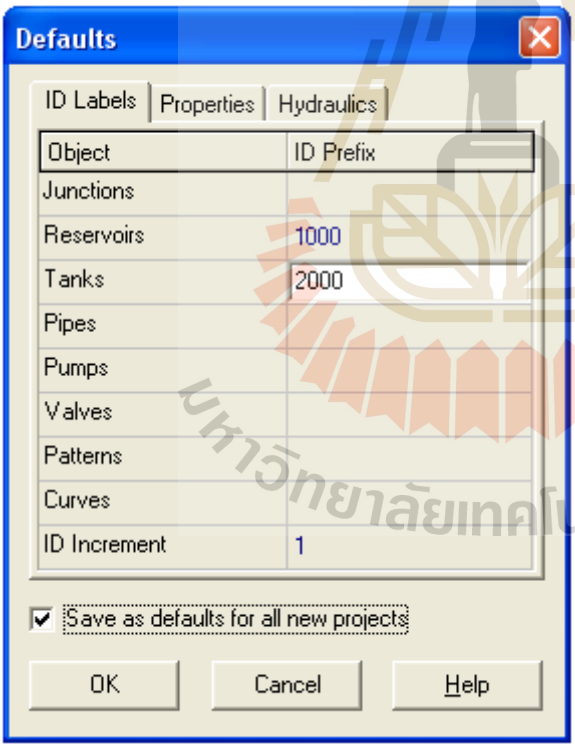
ขั้นตอนการใช้งาน Program EPANET เบื้องต้น

1. **สร้าง File งานใหม่**

   - เลือก File >> New จาก Menu Bar (หรืออาจคลิกที่รูป จาก Tool Bar ก็ได้)

2. **ตั้งค่าเริ่มต้น**

   - เลือก Project >> Defaults จาก Menu Bar เพื่อกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม ซึ่งจะปรากฏ Dialog ดังนี้



Node Elevation : กำหนดค่าเริ่มต้นของระดับความสูง Junction

Tank Diameter : กำหนดค่าเริ่มต้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังเก็บน้ำ

Tank Height : กำหนดค่าเริ่มต้นของขนาดความสูงถังเก็บน้ำ

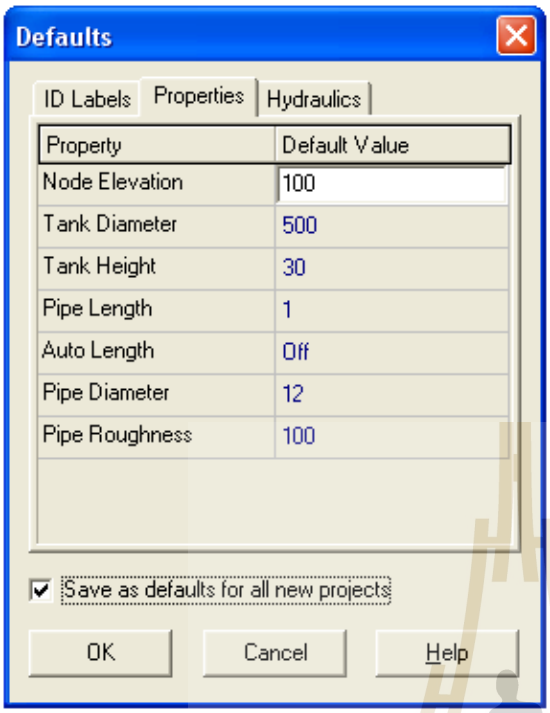
Pipe Length : กำหนดค่าเริ่มต้นของความยาวท่อ

Auto Length : กำหนดการระบุความยาวท่อเป็นแบบ Auto หรือ Manual

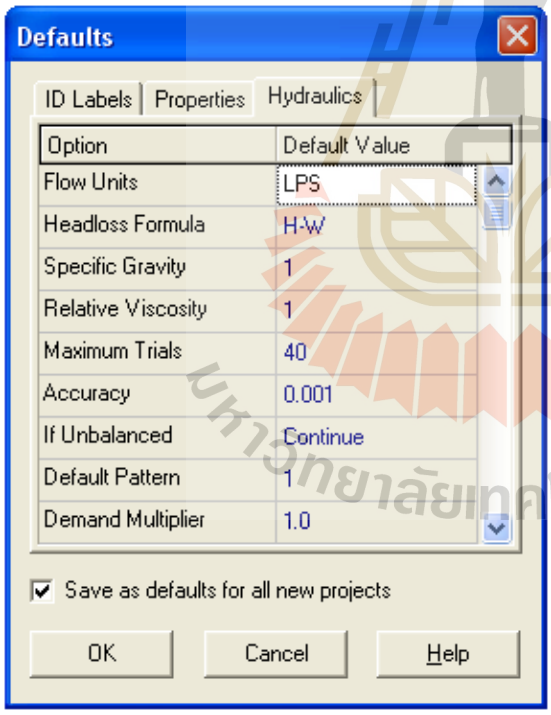
Pipe Diameter : กำหนดค่าเริ่มต้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

Pipe Roughness : กำหนดค่าเริ่มต้นของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (C)ของท่อ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ID Prefix : ใช้เพื่อกำหนดหมายเลขเริ่มต้นของ Junction , Reservoirs , Tank , Pipes และอื่นๆ โดยปกติจะตั้งค่า ID ของ Reservoir และ Tanks ให้เป็นตัวเลขสูงๆ เพื่อให้แตกต่างจากตัวเลขของ Junction (ค่าต่างๆอาจปรับเปลี่ยนได้ ขึ้นอยู่กับความถนัดของผู้ใช้โปรแกรม)



Flow Unit : กำหนดหน่วยของอัตราการไหล โดยปกติจะใช้ LPS (Litre Per Second)

Headloss Formula : กำหนดสูตรการคิด Headloss โดยปกติจะใช้ H-W (Hazen-Williams Formula)

ส่วนค่าอื่นๆนั้น โดยปกติจะใช้ตามค่าเริ่มต้นของโปรแกรม

3. สร้าง Network

ในหนึ่ง Network จะมีองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่

- แหล่งจ่าย (Source) สำหรับโปรแกรม Epanet ได้แก่ Reservoir และ Tank
- จุดประสาน (Junction) สำหรับโปรแกรม Epanet ได้แก่ Node
- ท่อจ่ายน้ำหรือท่อส่งน้ำ สำหรับโปรแกรม Epanet ได้แก่ Pipe

- อุปกรณ์ประกอบ สำหรับโปรแกรม Epanet ได้แก่ Pump , Valve

ในการสร้าง Network จึงต้องเริ่มจากการสร้างส่วนต่างๆดังกล่าว ซึ่งสามารถทำได้โดยการเลือกคลิกที่ Icon ที่อยู่บน Map Tool Barดังนี้

ใช้สำหรับสร้าง Node

ใช้สำหรับสร้าง Reservoir (ถังน้ำใส , อ่างเก็บน้ำ)

ใช้สำหรับสร้าง Tank (หอถังสูง)

 ใช้สำหรับสร้าง Pipe

ใช้สำหรับสร้าง Pump

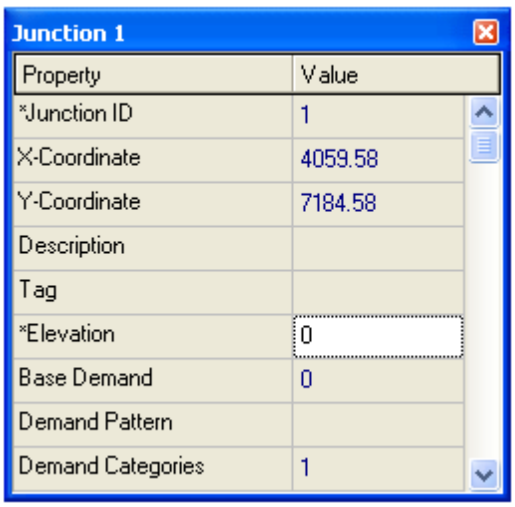
ใช้สำหรับสร้าง Valve

ใช้สำหรับสร้างตัวอักษร

3.1 สร้าง Node

ในการออกแบบ เราจะสร้าง Node ในตำแหน่งที่ท่อต่อประสานกัน โดยการคลิกที่ จากนั้นนำ mouse ไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ การใส่ข้อมูลของแต่ละ Node สามารถทำได้โดยวิธีการต่างๆ ดังนี้

- สร้าง Node และใส่ข้อมูลไปพร้อมกัน โดยคลิกที่ เพื่อสร้าง Node จากนั้นนำ mouse ไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ และคลิกที่ บน Browser Window เพื่อใส่ข้อมูลของแต่ละ Node
- สร้าง Node จนครบแล้วจึงใส่ข้อมูลของแต่ละ Node โดยคลิกที่ บน Tool Bar แล้ว double click ที่ Node ที่ต้องการใส่ข้อมูล
- คลิกขวาที่ Node ที่ต้องการแล้วเลือก “Properties” จาก Pop-up Menu ที่ปรากฏขึ้นมา



ค่าที่จำเป็นต้องใส่เพื่อใช้ในการคำนวณ คือ

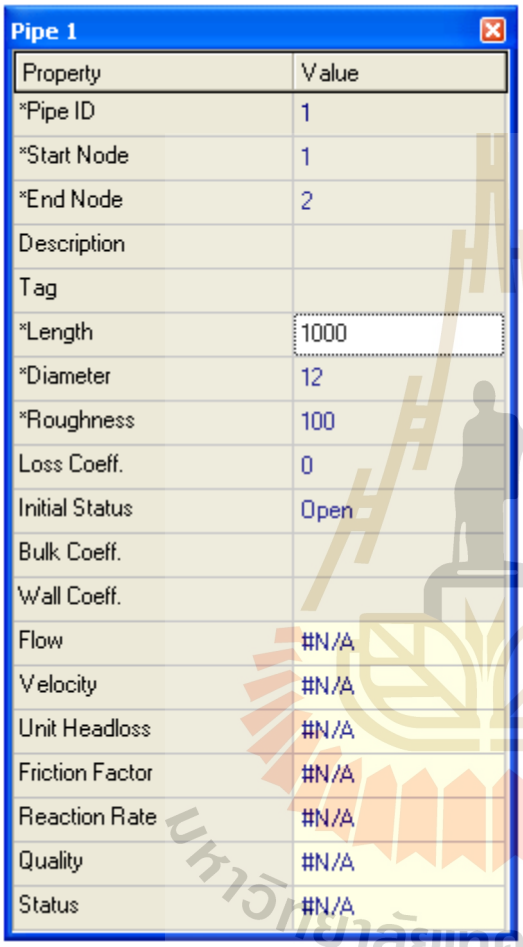
Elevation : ค่าระดับ ของ Node ที่เลือก

Base Demand : ปริมาณการใช้น้ำของ Node ที่เลือก

* หน่วยของข้อมูลที่ใส่ จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้นโปรแกรม

3.2 สร้าง Pipe

คลิก เพื่อสร้าง Pipe จากนั้นคลิกเลือกที่ Node เริ่มต้น (Upstream Node) และคลิกเลือกที่ Node ปลายทาง (Downstream Node) สามารถใส่ข้อมูลของแต่ละ Pipe ได้โดยวิธีการเช่นเดียวกับการใส่ข้อมูลของ Node



ค่าที่จำเป็นต้องใส่เพื่อใช้ในการคำนวณ คือ

Length : ความยาวท่อ (ในกรณีที่ตั้งค่าตอนเริ่มต้นโปรแกรมเป็น Auto Length >> On ค่าความยาวท่อนี้จะปรากฏขึ้นอัตโนมัติ แต่ต้องพิจารณาร่วมกับ Scale ของแบบด้วย)

Diameter : ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

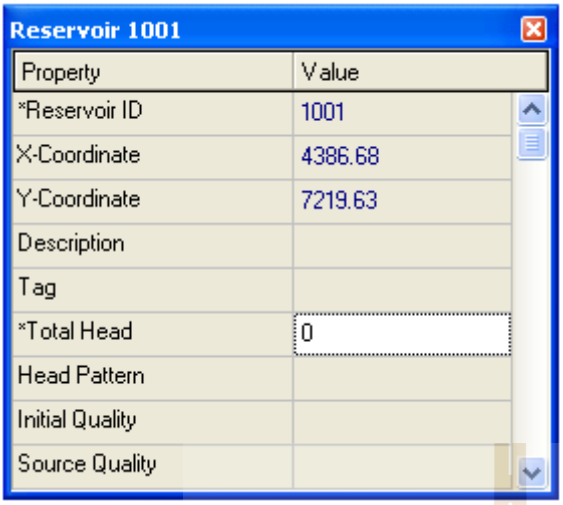
Roughness : ค่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (C) ขึ้นอยู่กับชนิดของท่อที่พิจารณา

Initial Status : สถานะเริ่มต้นของท่อ (โดยปกติจะใช้ Open)

* หน่วยของข้อมูลที่ใส่ จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้นโปรแกรม

3.3 สร้าง Reservoir

คลิก เพื่อสร้าง Reservoir (ถังน้ำใส , อ่างเก็บน้ำ)และคลิกเลือกตำแหน่งที่ต้องการ โดยสามารถใส่ข้อมูลของแต่ละ Reservoir ได้โดยวิธีการเช่นเดียวกับการใส่ข้อมูลของ Node



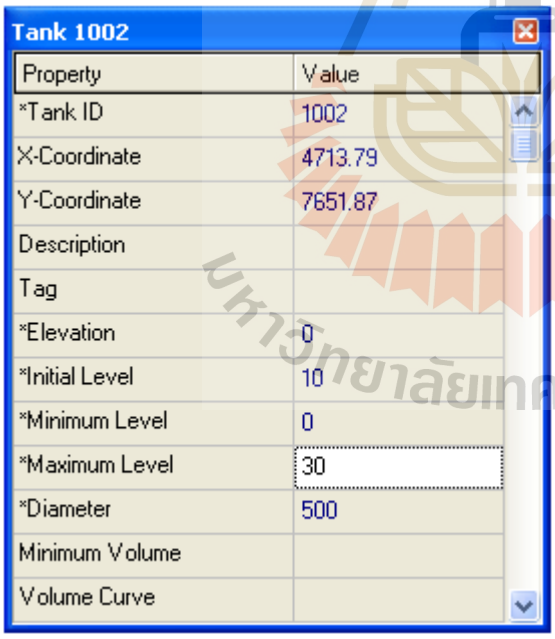
ค่าที่จำเป็นต้องใส่เพื่อใช้ในการคำนวณ คือ

Total Head : ค่า Hydraulic Head ของน้ำในอ่างเก็บน้ำหรือถังน้ำใส มีค่าเท่ากับ (Elevation + Pressure Head)

* หน่วยของข้อมูลที่ใส่ จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้นโปรแกรม

3.4 สร้าง Tank

คลิก เพื่อสร้าง Tank (หอถังสูง)และคลิกเลือกตำแหน่งที่ต้องการ โดยสามารถใส่ข้อมูลของแต่ละ Tank ได้โดยวิธีการเช่นเดียวกับการใส่ข้อมูลของ Node



ค่าที่จำเป็นต้องใส่เพื่อใช้ในการคำนวณ คือ

Elevation : ค่าระดับ ที่ระดับก้นถังของหอถังสูง

Initial Level : ค่าความสูงเริ่มต้นของน้ำในหอถังสูง (โดยวัดจากผิวน้ำ ถึง ก้นหอถังสูง)

Minimum Level : ค่าความสูงน้อยที่สุดของน้ำในหอถังสูง (โดยวัดจากผิวน้ำ ถึง ก้นหอถังสูง)

Maximum Level : ค่าความสูงมากที่สุดของน้ำในหอถังสูง (โดยวัดจากผิวน้ำ ถึง ก้นหอถังสูง)

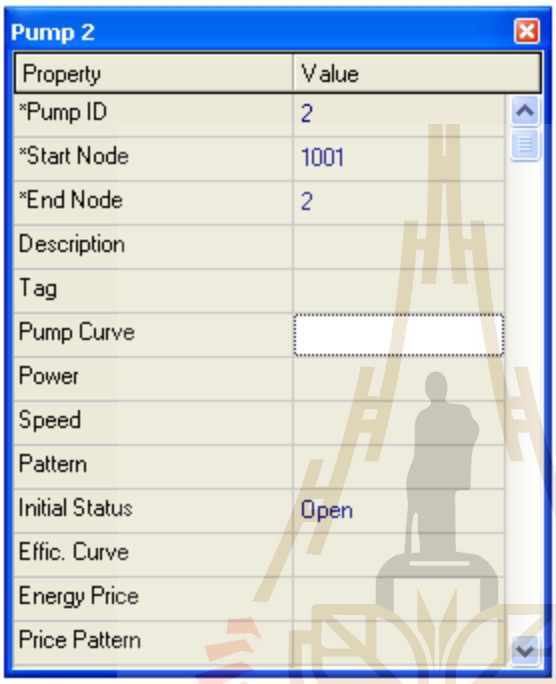
Diameter : ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหอถังสูง

* หน่วยของข้อมูลที่ใส่ จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้นโปรแกรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

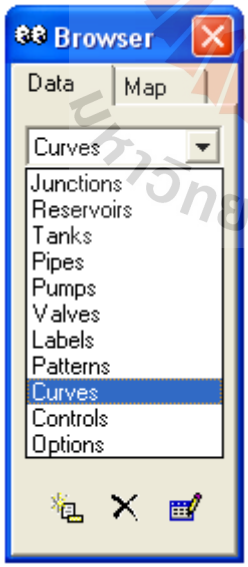
3.5 <u>สร้าง Pump</u>

คลิก เพื่อสร้าง Pump จากนั้นคลิกเลือกที่ Reservoir เพื่อกำหนดให้เป็น Upstream Node และคลิกเลือกที่ Node ปลายทาง โดยสามารถใส่ข้อมูลของแต่ละ Pump ได้โดยวิธีการเช่นเดียวกับการใส่ข้อมูลของ Node



ค่าที่จำเป็นต้องใส่เพื่อใช้ในการคำนวณ คือ

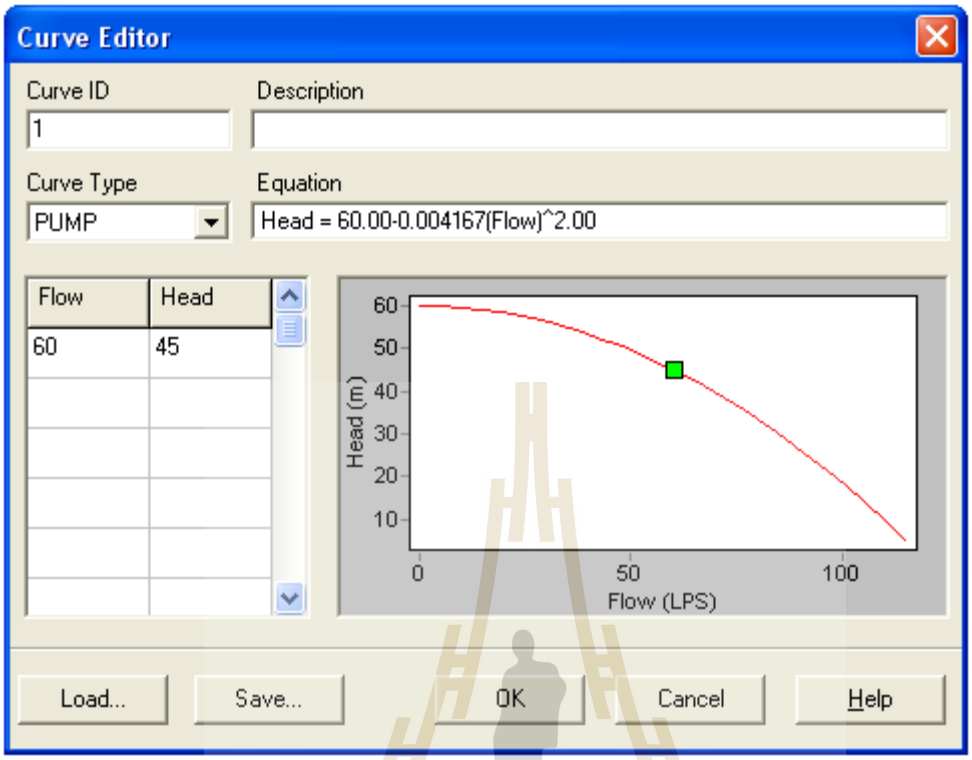
Pump Curve : หมายเลขของ Pump Curve ที่ใช้งาน



จากนั้นไปตั้งค่าของ Pump Curve โดยคลิกที่ Tab “Data” บน Browser Window

คลิกที่ Icon บน Data Browser เพื่อสร้าง Pump Curve ที่ Curve Editor : ให้ใส่ค่าของ Flow และ Head ที่ต้องการ

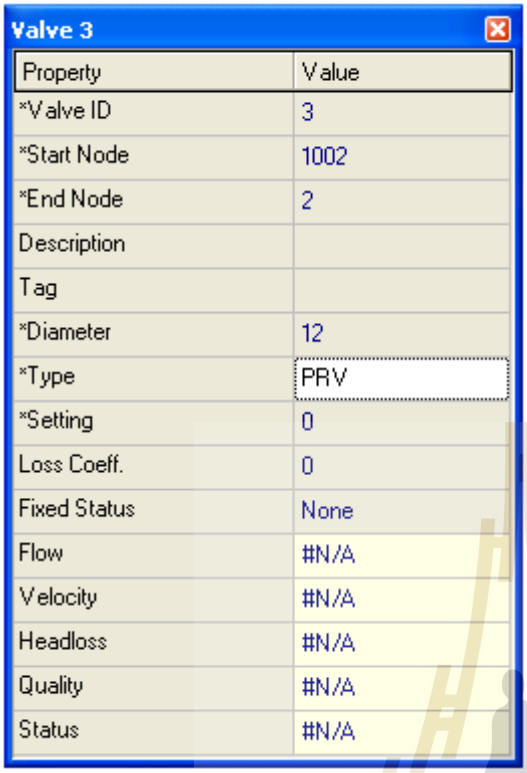
* หน่วยของข้อมูลที่ใส่ จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้นโปรแกรม



3.6 สร้าง Valve

คลิก เพื่อสร้าง Valve จากนั้นเลือกที่ Node เริ่มต้น (Upstream Node) และคลิกเลือกที่ Node ปลายทาง (Downstream Node) สามารถใส่ข้อมูลของ Valve ได้โดยวิธีการเช่นเดียวกับการใส่ข้อมูลของ Node

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ค่าที่จำเป็นต้องใส่เพื่อใช้ในการคำนวณ คือ

Diameter : ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวาล์ว

Type : ชนิดของวาล์ว เช่น PRV.(Pressure Reducing Valve), PSV.(Pressure Sustaining Valve) เป็นต้น

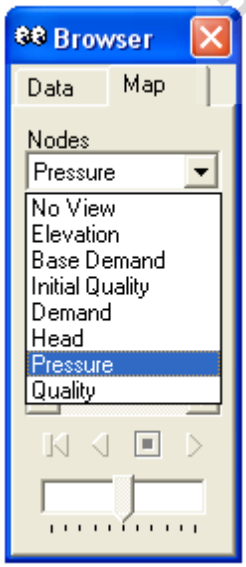
Setting : กำหนดค่าที่ต้องการให้วาล์วควบคุม

* หน่วยของข้อมูลที่ใส่ จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้นโปรแกรม

4. วิเคราะห์และแสดงผล

เมื่อได้ทำการสร้าง Network และใส่ข้อมูลต่างๆของระบบเสร็จแล้ว ให้ทำการ Analyze โดยคลิกที่ บน Tool Bar โปรแกรมจะทำการคำนวณ และสามารถเรียกดูผลการคำนวณได้หลายแบบ ดังนี้

- แสดงผลในรูปแบบของ Graphic Map



เมื่อต้องการให้แสดงผลที่ได้ทางหน้าจอ ให้คลิกที่ Tab “Map” จาก Browser Window จากนั้น เลือกรายการที่ต้องการให้แสดงผล (Node , Link)

- แสดงผลในรูปแบบของกราฟ หรือ ตารางข้อมูล

1. คลิกที่ บน Standard Toolbar หรือ คลิกที่ Report >> Graph บน Menu Bar เมื่อต้องการให้แสดงผลในรูปแบบของกราฟ
2. คลิกที่ บน Standard Toolbar หรือ คลิกที่ Report >> Table บน Menu Bar เมื่อต้องการให้แสดงผลในรูปแบบของตาราง

Network Table - Nodes

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
Junc 1	0.11	125.03	2.13	0.00
Junc 2	0.26	123.04	23.54	0.00
Junc 3	0.51	117.88	18.38	2.00
Junc 4	0.09	116.28	15.76	2.00
Junc 5	0.00	114.99	15.49	2.00
Junc 6	0.48	113.61	14.07	2.00
Junc 7	0.26	112.25	13.75	2.00
Junc 8	0.34	111.46	14.02	2.00
Junc 9	1.82	111.33	13.89	2.00
Junc 10	1.71	110.38	12.38	2.00
Junc 11	0.00	121.28	23.08	0.00
Junc 12	0.72	121.23	22.84	0.00
Junc 13	1.46	109.59	11.29	2.00
Junc 14	1.24	121.09	22.61	0.00
Junc 15	0.72	109.23	14.49	2.00
Junc 16	0.33	109.14	10.67	2.00
Junc 17	0.69	120.97	22.01	0.00
Junc 18	0.25	107.97	8.36	2.00

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Unit of Measurement

PARAMETER	US CUSTOMARY	SI METRIC
Concentration	mg/L or µg/L	mg/L or µg/L
Demand	(see Flow units)	(see Flow units)
Diameter (Pipes)	inches	millimeters
Diameter (Tanks)	feet	meters
Efficiency	percent	percent
Elevation	feet	meters
Emitter Coefficient	flow units / $(psi)^{1/2}$	flow units / $(meters)^{1/2}$
Energy	kilowatt - hours	kilowatt - hours
Flow	CFS (cubic feet / sec) GPM (gallons / min) MGD (million gal / day) IMGD (Imperial MGD) AFD (acre-feet / day)	LPS (liters / sec) LPM (liters / min) MLD (megaliters / day) CMH (cubic meters / hr) CMD (cubic meters / day)
Friction Factor	unitless	unitless
Hydraulic Head	feet	meters
Length	feet	meters
Minor Loss Coeff.	unitless	unitless
Power	horsepower	kilowatts
Pressure	pounds per square inch	meters
Reaction Coeff. (Bulk)	1/day (1st-order)	1/day (1st-order)
Reaction Coeff. (Wall)	mass / L / day (0-order) ft / day (1st-order)	mass / L / day (0-order) meters / day (1st-order)
Roughness Coefficient	10^{-3} feet (Darcy-Weisbach), unitless otherwise	millimeters (Darcy-Weisbach), unitless otherwise
Source Mass Injection	mass / minute	mass / minute
Velocity	feet / second	meters / second
Volume	cubic feet	cubic meters
Water Age	hours	hours

Note: US Customary units apply when CFS, GPM, AFD, or MGD is chosen as flow units. SI Metric units apply when flow units are expressed using either liters or cubic meters.

ประวัติผู้เขียน

นายอนุสรณ์ แก้วศรีนวม เกิดวันที่ 13 พฤศจิกายน 2524 สถานที่อยู่ 49/9 ถ น น ศ รี ป ทุ ม ตำบลมุกดาหาร อำเภอเมืองมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร 49000 ตำแหน่งงานปัจจุบัน วิศวกรสถานที่ทำงานปัจจุบัน การประปาส่วนภูมิภาคเขต 1 อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี 20000 ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2543 – 2545 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (สาขาช่างโยธา) วิทยาลัยการอาชีพนวมินทราชินีมุกดาหาร พ.ศ. 2553 – 2557 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลคร พ.ศ. 2559 – 2561 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี