การจำลองระบบล้างเส้นท่อผ่านหัวดับเพลิง ในพื้นที่เฝ้าระวัง สำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ การประปานครหลวง

Blow off Modeling in District Metering Area THUNGMAHAMEK Brunch Office

สกุณี พัฒนโภครัตนา[1,*] สุรชัย ลิปิวัฒนาการ[2] และ อดิชัย พรพรหมินทร์[3]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
E-mail: [1]sakunee.pa@ku.th , [2]fengsuli@ku.ac.th, [3] fengacp@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การประปานครหลวงได้กำหนดมาตรการในการล้างเส้นท่อในพื้นที่เฝ้าระวังอย่างน้อย 1 ครั้งต่อปี เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำประปาขุ่นและค่าคลอรีนอิสระคงเหลือไม่ได้มาตรฐาน อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาถึงขอบเขตเส้นท่อที่ถูกล้างและระยะเวลาในการเปิดหัวดับเพลิงที่เหมาะสม ดังนั้นการจำลองระบบการล้างเส้นท่อผ่านหัวดับเพลิง สามารถใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ของกระบวนการดังกล่าว

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองระบบการล้างเส้นท่อผ่านหัวดับเพลิงในพื้นที่เฝ้าระวัง 05-05-05 ของสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET โดยได้ทำการวัดแรงดันน้ำในพื้นที่เฝ้าระวังทั้งหมด 3 จุดเป็นระยะเวลา 5 วัน และเปิดน้ำล้างเส้นท่อผ่านหัวดับเพลิงเพื่อจำลองกระบวนการล้างเส้นท่อ ผลการจำลองระบบการล้างเส้นท่อผ่านหัวดับเพลิงสามารถแสดงขอบเขตอิทธิพลของการระบายน้ำล้างเส้นท่อที่มีผลกระทบต่อค่าแรงดันน้ำที่ลดลง และทำให้ทราบว่าระยะเวลาในการระบายน้ำล้างเส้นท่อไม่มีผลต่อค่าคลอรีนอิสระคงเหลือแต่เป็นการดึงน้ำใหม่เข้ามาในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ปัจจัยที่สำคัญในการล้างเส้นท่อให้มีประสิทธิภาพ คือ ความเร็วการไหลในเส้นท่อต้องไม่น้อยกว่า 0.91 เมตร/วินาที ตามมาตรฐาน AWWA standard ANSI/AWWA C651-14 [1] ซึ่งผลการจำลองสามารถแสดงค่าความเร็วการไหลในระบบโครงข่ายท่อ ทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของการล้างเส้นท่อได้ และสามารถนำแบบจำลองที่ได้ไปกำหนดแผนการระบายน้ำล้างเส้นท่อที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การล้างเส้นท่อ, โครงข่ายท่อ, น้ำประปา

Abstract

Metropolitan Waterworks Authority has a regulation to flush a district metering area at least once a year for solving turbidity and substandard chlorine concentration problems. However, there has been no study of the extent of the clean area and appropriate duration for flushing. Therefore, the modelling of flushing through a fire hydrant will enable us to understand the hydraulic nature of such process.

This research modelled a flushing process in a district metering area 05-05-05 in Thungmahamek branch office by using EPANET model. We measured pressure at three fire hydrants for 5 days and opened a fire hydrant to simulate a flushing process. The model results showed low pressure affected area from flushing and indicated that flushing duration did not affect chlorine concentration in a long run but rather temporarily induced a new water into the area. The essential factor in effective flushing is fluid velocity that must be higher than 0.91 meter/second according to AWWA standard ANSI/AWWA C651-14 [1] The modelling results showed velocities distribution in the pipe network which can help in assessment of flushing effectiveness. The model can be used for an efficient and appropriate flushing plan.

Keywords: flushing, pipe network, potable water

1. บทนำ

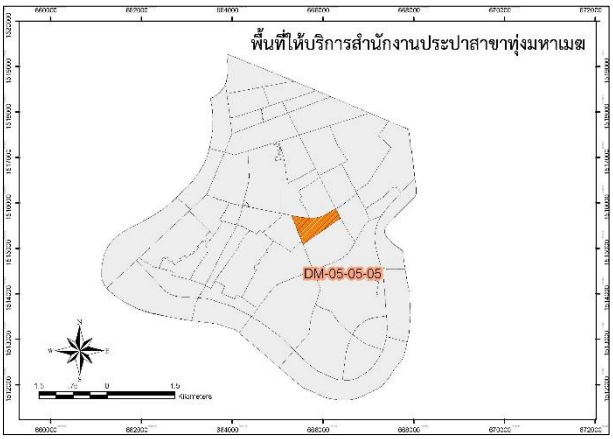
การประปานครหลวงเป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจในสังกัดกระทรวงมหาดไทย จัดตั้งเมื่อวันที่ 16 สิงหาคม พ.ศ. 2510 มีความรับผิดชอบในการจัดหาน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค ในเขตกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และนนทบุรี มีพื้นที่ความรับผิดชอบ 3,080 ตร.กม. ประกอบด้วยสำนักงานประปาสาขาทั้งหมด 18 แห่ง ได้แก่ สำนักงานประปาสาขามหาสวัสดิ์ สาขาสุวรรณภูมิ สาขาสุขสวัสดิ์ สาขาตากสิน สาขาทุ่งมหาเมฆ สาขาสุขุมวิท สาขานนทบุรี สาขาบางกอกน้อย สาขาบางเขน สาขาบางบัวทอง สาขาประชาชื่น สาขาพญาไท สาขาพระโขนง สาขาภาษีเจริญ สาขามีนบุรี สาขาแม้นศรี และสาขาลาดพร้าว

ในปัจจุบันมีความต้องการใช้น้ำของประชากรในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ระบบท่อประปาของการประปานครหลวงมีระบบที่ซับซ้อนมากขึ้น มีการวางท่อประปาและการตัดบรรจบท่อเดิมเกิดขึ้น ทำให้เกิดปัญหาข้อร้องเรียนจากประชาชนเรื่องน้ำประปาขุ่น การประปานครหลวงจึงได้กำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงานสำหรับงานระบายน้ำล้างเส้นท่อประปาขึ้น โดยทุกสาขาต้องมีการระบายน้ำล้างเส้นท่อผ่านหัวดับเพลิง อย่างน้อยพื้นที่เฝ้าระวังละ 1 ครั้ง/ปี ไม่รวมงานระบายน้ำจากกิจกรรมต่างๆ เช่น งานตัดบรรจบ เป็นต้น การระบายน้ำล้างเส้นท่อทำขึ้นเพื่อให้ระบบท่อประปาของการประปานครหลวงสามารถจ่ายน้ำประปาได้อย่างสะอาด และปลอดภัย ตามแผนงานน้ำประปาปลอดภัยของการประปานครหลวง (Water safety plan) นอกจากนี้แล้วยังเป็นการเพิ่มระดับคลอรีนอิสระคงเหลือในเส้นท่ออีกด้วย

อย่างไรก็ตามปัจจุบัน การประปานครหลวงยังไม่มีการศึกษาและจำลองพฤติกรรมการไหลและแรงดัน ที่เกิดจากกระบวนการล้างเส้นท่อ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาพฤติกรรมการไหล แรงดัน และปริมาณสารคลอรีนอิสระคงเหลือในระบบท่อประปาให้ใกล้เคียงกับสภาพจริง โดยได้เลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET Version 2.0 เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ เนื่องจากแบบจำลองมีความสามารถในการจำลองสภาพการไหลในระบบท่อ และสภาพการเคลื่อนที่ของสารคลอรีนอิสระคงเหลือในระบบท่อประปา ซึ่งอยู่ในสภาวะการไหลแบบเต็มท่อและแรงดัน โดยใช้โปรแกรม Arcview GIS Version 10.3 ในการนำข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาใช้งานร่วมกับ EPANET Version 2.0 ทำให้สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์และแสดงผล ได้หลากหลายมากขึ้น โดยการจำลองระบบล้างเส้นท่อนั้นทำให้เราทราบถึงขอบเขตและอิทธิพลของกระบวนการล้างเส้นท่อว่าส่งผลต่อพื้นที่บริเวณใดอย่างไรบ้าง และยังสามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปใช้ประกอบในการวางแผนการระบายน้ำล้างเส้นท่ออีกด้วย

2. พื้นที่ศึกษา

สำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ มีพื้นที่รับผิดชอบทั้งสิ้น 32.8 ตารางกิโลเมตร ปัจจุบันมีจำนวนผู้ใช้น้ำรวมทั้งสิ้น 71,499 ราย โดยแยกเป็นผู้ใช้น้ำรายเล็ก 69,471 ราย ผู้ใช้น้ำรายใหญ่ 1,584 ราย และผู้ใช้น้ำราชการ 444 ราย ระบบท่อในพื้นที่สาขาทุ่งมหาเมฆประกอบด้วย ท่อประธาน 51 กม. ท่อจ่ายน้ำ 550 กม. ท่อบริการ 283 กม. พื้นที่การให้บริการของสาขาทิศเหนือจรดคลองผดุงกรุงเกษมถนนพระราม 4 ทิศใต้จรดแม่น้ำเจ้าพระยา ทิศตะวันออกจรดแม่น้ำเจ้าพระยา ทางรถไฟสายช่องนนทรี ทิศตะวันตกจรดแม่น้ำเจ้าพระยา

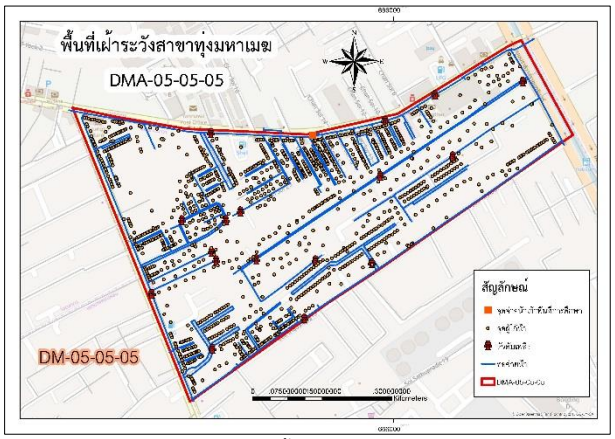


รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองระบบโครงข่ายท่อประปาในพื้นที่เฝ้าระวังสำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ ซึ่งได้แก่พื้นที่เฝ้าระวัง 05-05-05 แสดงดังรูปที่ 2 ในปัจจุบันมีจำนวนผู้ใช้น้ำทั้งสิ้น 1,076 ราย ระบบท่อจ่ายน้ำในพื้นที่เฝ้าระวังดังกล่าวมีความยาว 11,280 เมตร รายละเอียดวัสดุ อายุท่อเฉลี่ย และความยาวรวมของท่อในพื้นที่เฝ้าระวัง แสดงไว้ในตารางที่ 1 มีหัวดับเพลิงจำนวน 17 ตัว จุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ 1 จุด จากข้อมูลเดือนเมษายน 2563 พบว่ามีปริมาณน้ำเข้าในพื้นที่ 51,980.65 ลบ.ม. ปริมาณน้ำจำหน่าย 48,805 ลบ.ม. และน้ำสูญเสียร้อยละ 6.11

ตารางที่ 1 วัสดุ อายุท่อเฉลี่ย และความยาวรวมของท่อในพื้นที่เฝ้าระวัง 05-05-05

วัสดุ	อายุท่อเฉลี่ย (ปี)	ความยาวรวม (กิโลเมตร)
Asphalt Cement (AC)	33	0.56
Cast Iron (CI)	18	0.06
Polybutylene (PB)	21	0.2
Poly Vinyl Chlorine (PVC)	18	10.98
STSteel (ST)	27.5	0.05



รูปที่ 2 ขอบเขตพื้นที่เฝ้าระวัง 05-05-05

3. การทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การประปานครหลวงได้นำมาตรฐาน AWWA C651 มาใช้เป็นมาตรฐานในการล้างทำความสะอาดฆ่าเชื้อโรคในระบบท่อประปา ซึ่งมาตรฐานฉบับนี้ได้อธิบายวิธีการในการฆ่าเชื้อโรคในท่อประปาที่ก่อสร้างวางท่อใหม่ ท่อประปาซึ่งอยู่ในแผนการซ่อมหรือแผนการบำรุงรักษาที่เกิดการปนเปื้อนขณะเคลื่อนย้าย ท่อประปาที่จำเป็นต้องซ่อมฉุกเฉิน และท่อประปาในสภาพปกติที่พบการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย โดยในการล้างระบายเบื้องต้นตามมาตรฐาน ANSI/AWWA C651-14 [1] ฉบับล่าสุด ในการชะล้างเศษวัสดุต่างๆ ที่ติดอยู่ในเส้นท่อ ต้องมีความเร็วการไหลในเส้นท่อไม่น้อยกว่า 3 ฟุต/วินาที หรือ 0.91 เมตร/วินาที จากงานวิจัยศึกษาแบบจำลองความเสี่ยงของจุลินทรีย์ต่างๆ เพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบของการชะล้างและฆ่าเชื้อโรคเพื่อลดความเสี่ยงในการปนเปื้อน [2] พบว่าต้องใช้ความเร็วในการล้างเส้นท่ออย่างน้อย 3 ฟุต/วินาที และฆ่าเชื้อโรคด้วยผลคูณของความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือกับระยะเวลาสัมผัส (CT) อย่างน้อย 100 มิลลิกรัมนาที/ลิตร ในการศึกษานี้จึงได้ทำการจำลองระบบระบายล้างเส้นท่อในพื้นที่เฝ้าระวัง (District Metering Area, DMA) ซึ่ง DMA เป็นการแบ่งระบบจ่ายน้ำออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ แยกจากกันตามหลักชลศาสตร์และติดตั้งมาตรวัดปริมาณน้ำและแรงดันบริเวณจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่เฝ้าระวัง เพื่อติดตามตรวจวัดอัตราการไหลและแรงดันบริเวณจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่เฝ้าระวังอย่างต่อเนื่องทำให้ทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลและแรงดัน และง่ายต่อการวิเคราะห์ในการจำลองระบบการระบายน้ำด้วยแบบจำลอง EPANET สามารถใช้ Emitter function จำลองได้ เนื่องจากมีสมการสอดคล้องกับสมการการไหลรั่ว โดยที่ Emitter คือ ฟังก์ชันที่สามารถใช้เพื่อจำลองการไหลผ่านระบบชลประทานหยดน้ำ ระบบสปริงเกอร์ระบบที่มีน้ำรั่ว และระบบอื่นๆที่อัตราการไหลแปรผันกับแรงดัน ซึ่งอัตราการไหลผ่านรูรั่วแปรผันกับแรงดันที่ตำแหน่งของรูนั้นๆ แสดงได้ดังสมการ (1)

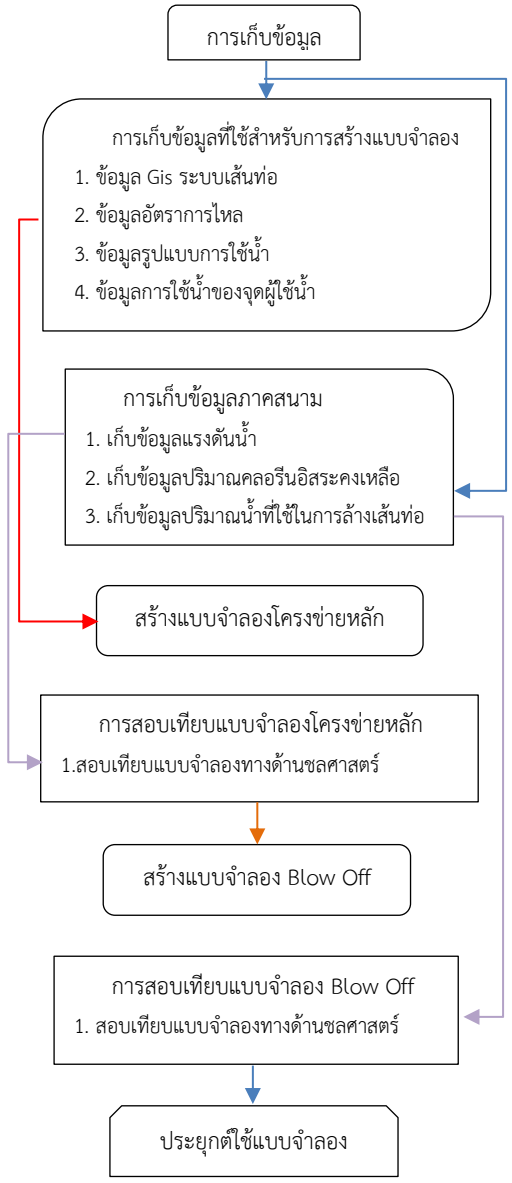
$$Q_l = CH^{N1} \quad (1)$$

โดยที่ Q_l คือ อัตราการไหลรั่ว (ม.^{3}/วินาที), H คือ แรงดันน้ำ (ม.), C คือ สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของ Emitter (Emitter Coefficient) และ N_1 คือ ค่ายกกำลังแรงดันของ Emitter (Emitter Exponent)

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่า Emitter Exponent เท่ากับ 0.5

4. ขั้นตอนและวิธีการ

ขั้นตอนและวิธีการจำลองระบบการล้างเส้นท่อ ผ่านหัวดับเพลิงในพื้นที่เฝ้าระวังสำนักงานประปาทุ่งมหาเมฆของการประปานครหลวง สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

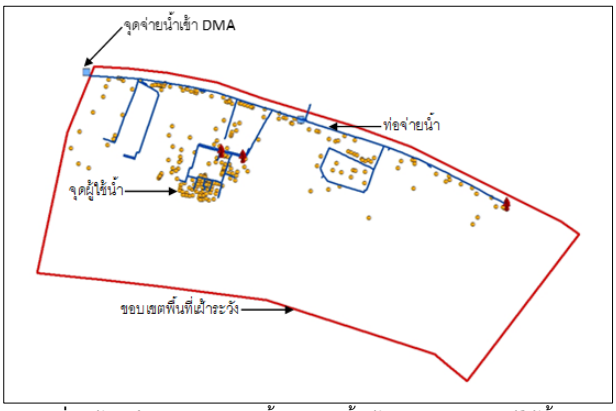


รูปที่ 3 ขั้นตอนการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

รวบรวมข้อมูลประกอบด้วย

4.1.1 ข้อมูล GIS ประกอบด้วย โครงข่ายท่อจ่ายน้ำ จุดจ่ายน้ำเข้าหัวดับเพลิง จุดผู้ใช้น้ำและขอบเขตของ DMA แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ข้อมูลโครงข่ายท่อจ่ายน้ำ จุดจ่ายน้ำเข้า หัวดับเพลิง จุดผู้ใช้น้ำและขอบเขต DMA

4.1.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำรายเดือนของผู้ใช้น้ำในพื้นที่เฝ้าระวังจากระบบ CIS ของการประปานครหลวง

4.1.3 ข้อมูลอัตราการไหล (Q) และค่าแรงดัน (H) บริเวณจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่เฝ้าระวัง (District Meter, DM) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องตรวจวัดอัตราการไหลและแรงดัน ที่จุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่เฝ้าระวัง ผ่านตู้รับส่งสัญญาณระยะไกล ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่บันทึกทุกชั่วโมง โดยมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและเมตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

4.1.4 ข้อมูลอัตราการไหล (Q) ที่ใช้ในการระบายน้ำล้างเส้นท่อ ผ่านหัวดับเพลิง โดยทำการเก็บปริมาณน้ำที่ใช้ในการ Blow Off พร้อมจับเวลา

ตารางที่ 2 ข้อมูลอัตราการไหลและค่าแรงดันน้ำที่จุดน้ำจ่ายน้ำเข้าพื้นที่เฝ้าระวัง

วันที่ 12-16 กันยายน 2562					
เวลา	อัตราการไหลเฉลี่ย (ลบ.ม./ชม.)	แรงดันเฉลี่ย (เมตร)	เวลา	อัตราการไหลเฉลี่ย (ลบ.ม./ชม.)	แรงดันเฉลี่ย (เมตร)
0.00	64.50	1.96	12.00	123.36	3.83
1.00	62.55	2.10	13.00	116.35	3.91
2.00	64.31	2.20	14.00	115.61	3.99
3.00	64.08	2.31	15.00	118.97	3.96
4.00	89.68	3.05	16.00	125.24	4.01
5.00	139.51	4.87	17.00	150.56	4.69
6.00	165.74	4.81	18.00	151.05	4.76
7.00	164.54	4.69	19.00	149.23	4.66
8.00	162.98	4.80	20.00	150.39	4.64
9.00	159.85	4.87	21.00	150.09	4.83
10.00	137.95	3.89	22.00	123.93	4.10
11.00	126.25	3.71	23.00	98.36	3.25

ที่มา : การประปานครหลวง 2562

4.1.5 ข้อมูลแรงดันภายในพื้นที่เฝ้าระวัง 05-05-05 ได้ใช้ข้อมูลการตรวจวัดแรงดันภาคสนามบนหัวดับเพลิงที่กระจายอยู่ในพื้นที่เฝ้าระวังจำนวน 3 จุด โดยทำการติดเครื่องวัดแรงดัน (Pressure Logger) ไว้ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 5 วัน โดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที

4.1.6 ข้อมูลปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ เป็นการเก็บข้อมูลภาคสนามปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือตัวแทนในพื้นที่เฝ้าระวัง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดที่ต่อโดยตรงจากท่อประปาและยังไม่เข้าถังพักน้ำของผู้ใช้น้ำจำนวน 1 จุด บริเวณหัวดับเพลิงที่ทำการล้างเส้นท่อ 1 จุด และจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ศึกษาจำนวน 1 จุด โดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที ตั้งแต่เวลา 08.00 น. – 17.00 น. และในช่วงเวลาการระบายน้ำล้างเส้นท่อจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 12.45 น. – 14.10 น.

4.2 กระบวนการล้างเส้นท่อ (Blow Off)

4.2.1 เลือกหัวดับเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการล้างเส้นท่อ โดยเลือกจากหัวดับเพลิงที่อยู่บริเวณปลาย (Dead End)

4.2.2 ทำการต่อสายยางจากหัวดับเพลิงเพื่อระบายน้ำทิ้ง หลังจากนั้นทำการเปิดหัวดับเพลิง โดยระยะเวลาในการล้างเส้นท่อขึ้นอยู่กับค่าความขุ่นและปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ โดยค่าความขุ่นต้องไม่เกิน 1 เอ็นทียู และปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือไม่ต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร

4.2.3 เก็บปริมาณน้ำที่ได้จากการระบายล้าง พร้อมทั้งจับเวลาในการระบายน้ำ เพื่อนำข้อมูลส่วนนี้ไปใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง

4.3 การสร้างแบบจำลอง

การขึ้นแบบจำลองโครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำประปาในการศึกษานี้มีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

4.3.1 ใช้โปรแกรม shp2epa เพื่อทำการแปลงไฟล์ GIS ของโครงข่ายท่อจ่ายน้ำและจุดผู้ใช้น้ำเป็นไฟล์นามสกุล .inp

4.3.2 นำเข้าไฟล์นามสกุล .inp จากข้อ 4.3.1 ในโปรแกรม Microsoft office excel ที่มีการพัฒนา Macro เพื่อทำการขึ้นโครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำประปา

4.3.3 นำไฟล์โครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำจากข้อ 4.3.2 มาเปิดด้วยโปรแกรม EPANET และทำการทดลองรันโปรแกรมเพื่อแก้ไขโครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำประปาบางส่วนที่มีปัญหาเรื่องการเชื่อมต่อ จนสามารถรันโปรแกรมได้

4.4 การสอบเทียบแบบจำลองชลศาสตร์ของโครงข่ายหลัก

เมื่อขึ้นแบบจำลองเรียบร้อยแล้วจึงทำการสอบเทียบแบบจำลองทางด้านชลศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำขายและข้อมูลแรงดันของเดือนกันยายน 2562 โดยมีขั้นตอนการสอบเทียบดังนี้

4.4.1 ป้อนค่าปริมาณการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำเข้าไปในแบบจำลอง ส่วนปริมาณน้ำสูญเสีย ถูกนำเข้าโดยใช้ Emitter function ดังแสดงในสมการ(1) โดยใช้ค่า Emitter exponent (N_1) เท่ากับ 0.5 และทำการปรับแก้ค่า Emitter coefficient (C) เพื่อทำให้ปริมาณน้ำเข้ารวมเท่ากับ

ค่าที่วัดได้ที่จุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ โดยสมมุติให้ค่า C ในแบบจำลองเท่ากันทุก node ของแบบจำลอง

4.4.2 สอบเทียบแรงดันน้ำในพื้นที่ศึกษา

โดยทำการปรับแก้สัมประสิทธิ์ความขรุขระท่อ (C_{HW}) เพื่อให้แรงดันในแบบจำลองสอดคล้องกับแรงดันที่วัดได้จริงในสนามที่กระจายอยู่ในพื้นที่จำนวน 3 จุด

4.5 การสอบเทียบแบบจำลองการล้างเส้นท่อ

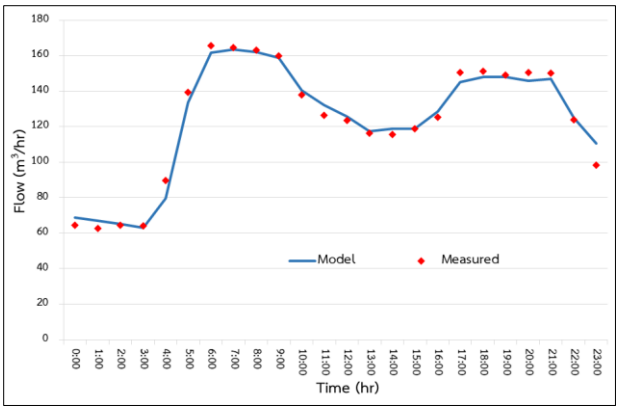
เมื่อทำการสอบเทียบแบบจำลองหลักเป็นที่เรียบร้อยแล้ว นำแบบจำลองในข้อ 4.4 มาสร้างแบบจำลองการล้างเส้นท่อและทำการสอบเทียบแบบจำลองโดยใช้ปริมาณน้ำ (Q) ที่เก็บได้ตอนระบายล้างเส้นท่อ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

4.5.1 นำแบบจำลองโครงข่ายหลักในข้อ 4.4 ที่ผ่านการสอบเทียบเรียบร้อยแล้ว มาทำการจำลองระบบการระบายน้ำล้างเส้นท่อ โดยใช้วาล์วแทนจุด Blow และคำสั่ง simple control ในการควบคุมการเปิด - ปิด และทำการปรับแก้ค่า Emitter coefficient (C) ที่จุด Blow ให้ได้ปริมาณน้ำรั่วมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำที่เก็บได้จากการระบายล้างเส้นท่อ

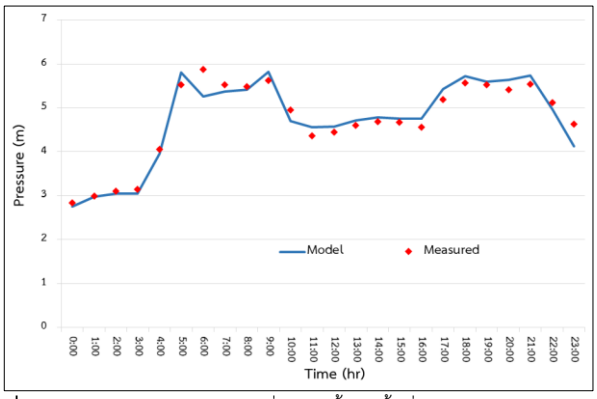
5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการสอบเทียบแบบจำลองชลศาสตร์

ผลจากการสอบเทียบแบบจำลองได้ค่า C เท่ากับ 0.006719 ม.^{2}/ชม. ที่ทำให้ค่าปริมาณน้ำที่เข้าพื้นที่ศึกษาในแบบจำลองใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุดดังรูปที่ 5 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของอัตราการไหลที่จุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ศึกษาระหว่างแบบจำลองกับจุดตรวจวัดเท่ากับ 0.9921 ส่วนการสอบเทียบแรงดันน้ำในพื้นที่ศึกษาได้ค่า r เฉลี่ย 3 จุด เท่ากับ 0.9723 แสดงตัวอย่างที่จุดวัดแรงดันที่ 1 ดังรูปที่ 5 และได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระท่อเฉลี่ยเท่ากับ 117.66 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ปรับแก้มีความสอดคล้องกับพื้นที่จริง



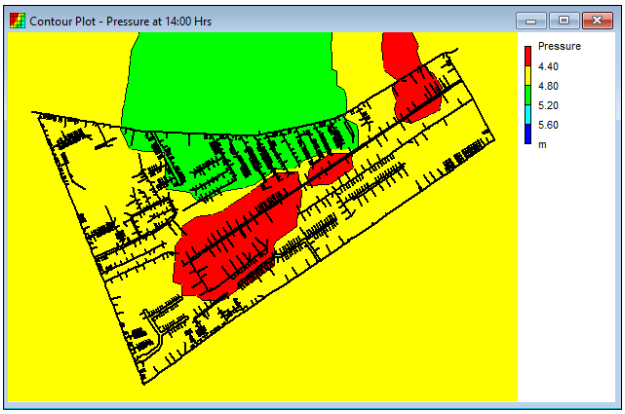
รูปที่ 5 กราฟการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่จุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ ระหว่างแบบจำลองกับจุดตรวจวัด



รูปที่ 6 กราฟการเปรียบเทียบแรงดันที่จุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ ระหว่างแบบจำลองกับจุดตรวจวัด

5.2 ผลกระทบทางด้านแรงดันน้ำ

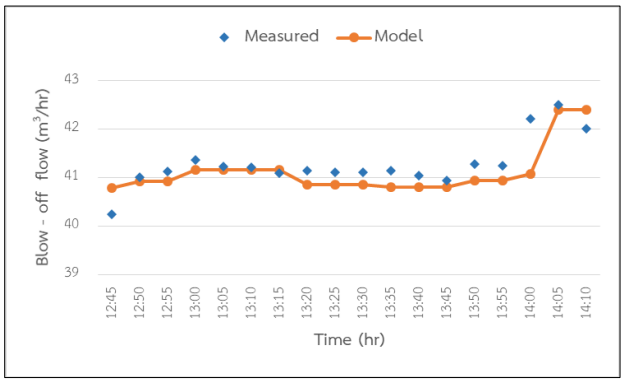
ผลกระทบทางด้านแรงดันน้ำของกระบวนการล้างเส้นท่อต่อพื้นที่ข้างเคียงในพื้นที่เฝ้าระวัง ที่ศึกษาแสดงดังรูปที่ 7 พบว่ากระบวนการดังกล่าวส่งผลกระทบต่อค่าแรงดันในพื้นที่เฝ้าระวังที่ทำการศึกษา ในบางพื้นที่มีค่าแรงดันน้ำลดลงจาก 6 เมตร เป็น 5 เมตรและ 4 เมตร



รูปที่ 7 แรงดันน้ำในพื้นที่เฝ้าระวัง 05-05-05 ช่วงเวลา 14.00 น. ขณะมีกระบวนการล้างเส้นท่อ

5.3 ผลการสอบเทียบแบบจำลองการล้างเส้นท่อ

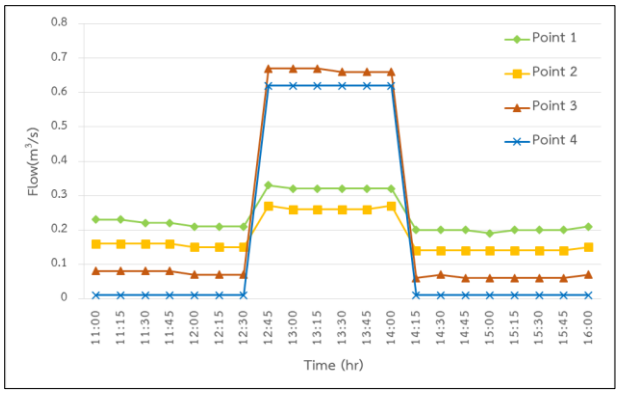
ผลการสอบเทียบแบบจำลองการระบายน้ำล้างเส้นท่อได้ค่า Emitter coefficient (C) ที่จุดระบาย เท่ากับ 53 ทำให้ปริมาณน้ำจากการระบายน้ำล้างเส้นท่อในแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงดังรูปที่ 8 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของน้ำที่ระบายออกผ่านหัวดับเพลิงที่ศึกษาระหว่างแบบจำลองกับจุดตรวจวัดเท่ากับ 0.6965 และมีค่า Root Mean Square Error เท่ากับ 0.3747 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่มีการปรับแก้มีความสอดคล้องกับพื้นที่จริง



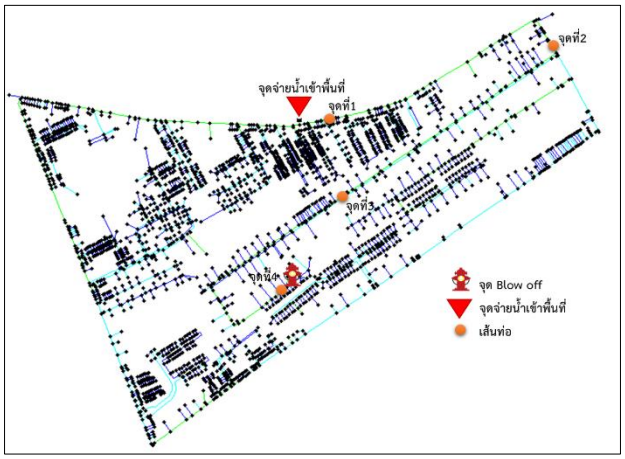
รูปที่ 8 กราฟการเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการล้างเส้นท่อ ระหว่างแบบจำลองกับจุดตรวจวัด

5.4 ความเร็วการไหลและทิศทางการไหล

จากรูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลในเส้นท่อในพื้นที่เฝ้าระวังในขณะที่เกิดกระบวนการล้างเส้นท่อในช่วงเวลา 12.45 น. ถึง 14.10 น. จำนวน 4 จุด แสดงในรูปที่ 10 โดยจุดที่ 1 คือบริเวณใกล้กับจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ และจุดที่ 4 คือบริเวณใกล้กับจุดที่มีการระบายน้ำล้างเส้นท่อ ความเร็วการไหลสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 0.28 – 0.68 เมตร/วินาที



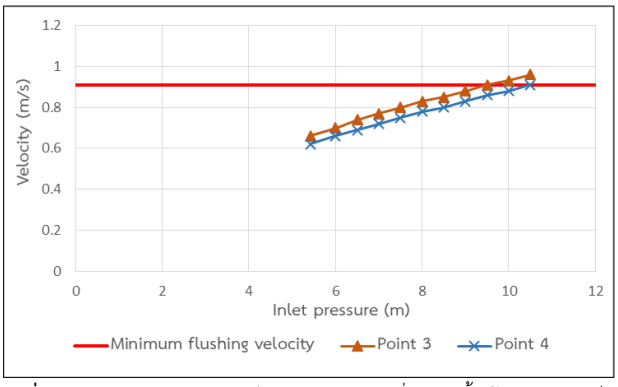
รูปที่ 9 ความเร็วการไหลในเส้นท่อขณะเกิดกระบวนการล้างเส้นท่อ 4 เส้นท่อ



รูปที่ 10 ตำแหน่งตรวจวัดภายในพื้นที่

5.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

นำแบบจำลองในข้อ 5.3 มาวิเคราะห์ต่อโดยการเพิ่มแรงดันทางด้านจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่เพื่อหาค่าความดันน้อยสุดที่ทำให้เกิดความเร็วการไหลในเส้นท่อมีค่าไม่น้อยกว่า 0.91 เมตร/วินาที ดังรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าแรงดันน้ำน้อยสุดที่จุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 10.5 เมตร



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่จุดจ่ายน้ำเข้า และความเร็วการไหลในเส้นท่อที่จุดตรวจวัด 3 และ 4

6. สรุป

จากการวิเคราะห์แบบจำลองระบบท่อจ่ายน้ำประปาโดยใช้โปรแกรม EPANET ผลการวิเคราะห์พบว่าในการจำลองทางด้านชลศาสตร์ ผลการสอบเทียบสมดุลน้ำได้ค่าสัมประสิทธิ์ Emitter coefficient (C) เท่ากับ 0.006719 ม.^{2}/ชม. ซึ่งเป็นตัวแทนการจำลองน้ำสูญเสีย และการสอบเทียบแรงดันได้สัมประสิทธิ์ความขรุขระท่อฮาเซน-วิลเลียม (C_{HW}) เฉลี่ยเท่ากับ 117.66 จากการวิเคราะห์แบบจำลองการล้างเส้นท่อนั้นทำให้ทราบถึงทิศทางการดึงน้ำและผลกระทบต่อแรงดัน ซึ่งผลปรากฏว่ากระบวนการล้างเส้นท่อส่งผลกระทบต่อแรงดันในพื้นที่เฝ้าระวังที่ทำการศึกษาเพียง 1-2 เมตรเท่านั้น แต่ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแรงดันโดยตรงคือ แรงดัน ณ จุดจ่ายน้ำเข้า และการวิเคราะห์ความเร็วการไหลในเส้นท่อขณะเกิดกระบวนการล้างเส้นท่อพบว่า มีค่าอยู่ที่ 0.28 – 0.68 เมตร/วินาที จากมาตรฐานของ ANSI/AWWA C651-14 [1] และงานวิจัยของ Yang 2015 [2] พบว่าความเร็วการไหลที่เพียงพอต่อการชะล้างสิ่งสกปรกและเชื้อโรคต่างๆ ที่ติดอยู่ที่ผิวท่อนั้นต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 3 ฟุต/วินาที หรือ 0.91 เมตร/วินาที จะเห็นได้ว่าในการระบายน้ำล้างเส้นท่อในครั้งนี้ ไม่สามารถทำความสะอาดผิวท่อได้จริงเป็นเพียงการระบายน้ำเก่าที่มีอายุน้ำมาก และดึงน้ำใหม่เข้าสู่ระบบเท่านั้น แต่หากต้องการให้การล้างเส้นท่อในครั้งนี้มีประสิทธิผลและสูญเสียน้ำขายโดยสูญเปล่าต้องเลือกช่วงเวลาหรือเพิ่มแรงดันที่จุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่อย่างน้อย 10.5 เมตร เพื่อทำให้เกิดความเร็วการไหลเพียงพอต่อการระบายน้ำล้างเส้นท่อ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.สุรชัย ลิปิวัฒนาการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้การสนับสนุน และให้คำปรึกษาตลอดการศึกษาวิจัย ขอขอบพระคุณการประปานครหลวงในความอนุเคราะห์ให้ข้อมูลต่างๆ ในงานวิจัย และขอขอบพระคุณส่วนปฏิบัติการลดน้ำสูญเสีย (สปน.) สำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ การประปานครหลวง ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลและลงพื้นที่ภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

[1] American Water Works Association. (2014). Disinfection Water Mains

[2] Jian Yang., Orren D ., Patrick K. and Mark W. (2015). Microbial Risk Modeling For Main Breaks. American Water Works Association 2015

[3] การประปานครหลวง. (2562ก). ข้อมูลอัตราการไหลและค่าแรงดันน้ำ. (Microsoft office excel). สำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆ การประปานครหลวง. กรุงเทพฯ

[4] การประปานครหลวง. (2562ข). คู่มือปฏิบัติงาน การ Flushing เพื่อให้เกิดสุขอนามัย. คณะทำงานแผนน้ำประปาปลอดภัย ด้านบริการผู้ใช้น้ำ การประปานครหลวง. กรุงเทพฯ

[5] ศุภรักษ์ แก้วแสง. (2557). การจำลองคุณภาพน้ำของระบบโครงข่ายท่อประปาด้วยแบบจำลอง EPANET, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์