Engng.J.CMU.(2019) 26 (1), 93-106

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

แบบจำลอง EPANET ระบบโครงข่ายท่อประปา การประปาส่วนภูมิภาคสาขาพิจิตร

Water Distribution Network Model of EPANET, Provincial Waterworks Authority, Phichit Branch Office

สิปปนนท์ กิ่งก้ำ*,1 อดิชัย พรพรหมินทร์[2] และ สุรชัย ลิปิวัฒนาการ[3]

Sippanon Kingkum*, [1], Adichai Pornprommin[2] and Surachai Lipiwattanakarn[3]

[1] สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม กรมชลประทาน

811 ถนนสามเสน แขวงถนนนครไชยศรี เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

[2, 3] ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

*Royal Irrigation Department (Engineering and Architectural Design)
811 Samsen road Nakhon chaisi, Dusit, Bangkok 10300
*E-mail Naysib@hotmail.com

บทคัดย่อ

การประปาส่วนภูมิภาคสาขาพิจิตร (แม่ข่าย) เป็นอีกสาขาหนึ่งที่ประสบกับปัญหาแรงดันน้ำที่ให้บริการต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด กล่าวคือมีแรงดันน้ำต่ำในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำสูงสุด (On Peak : 07.00 น.) ต่ำกว่า 7 เมตร แต่กลับมีแรงดันน้ำสูงเกินในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำต่ำสุด (Off Peak : 03.00 น.) จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดน้ำสูญเสียสูงตามมา เนื่องจากแรงดันน้ำจ่ายจากต้นทางในปัจจุบันไม่สอดคล้องกับรูปแบบความต้องการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำ และขนาดของเส้นท่อในบางพื้นที่มีขนาดเล็กไม่เหมาะสม ดังนั้นการบริหารจัดการแรงดันน้ำในพื้นที่จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว การศึกษานี้ได้เลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET 2.0 เพื่อจำลองโครงข่ายระบบท่อประปา เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีจำนวนผู้ใช้น้ำมากและมีโครงข่ายท่อประปาขนาดใหญ่ ทำให้การวิเคราะห์ด้วยประสบการณ์อาจไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ทั้งหมด มีขั้นตอนการศึกษาโดยทำการรวมรวมข้อมูลแรงดันน้ำจากภาคสนามทั้งหมด 11 จุด และปริมาณน้ำจ่ายทั้งหมด 12 จุด ซึ่งผลการสอบเทียบที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลจากภาคสนามนั้นมีค่าความแตกต่างของแรงดันน้ำเฉลี่ย 0.16 เมตร คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อน 1.19 เปอร์เซ็นต์ การศึกษามีวัตถุประสงค์ให้ทั้งพื้นที่ศึกษาได้รับแรงดันน้ำไม่น้อยกว่า 7 เมตร ทุกช่วงเวลา และในขณะเดียวกันก็สามารถลดแรงดันส่วนเกินในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำต่ำ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถลดแรงดันน้ำเฉลี่ยต้นทางจากเดิม 16.80 เมตร เหลือ 13.79 เมตร และส่งผลให้ปริมาณน้ำจ่ายเฉลี่ยต้นทางจากเดิม 552.88 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เหลือ 505.71 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ลดลง 47.17 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น 5.59 % โดยที่แรงดันน้ำทั้งพื้นที่ศึกษายังคงไม่น้อยกว่า 7 เมตร ทุกช่วงเวลา และจากการศึกษาความเชื่อถือได้ทางชลศาสตร์ (Reliability) ของระบบโครงข่ายท่อพบว่าเมื่อนำเอาทฤษฎีค่าดัชนีความยืดหยุ่น (Resilience Index, I_r) มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบระบบโครงข่ายท่อนั้น ค่า I_r ซึ่งควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 แต่ในการศึกษานี้กลับได้ค่าติดลบในบางช่วงเวลา เนื่องจากปัจจุบันในพื้นที่เฝ้าระวัง

Received 6 June 2017
Revised 11 October 2017
Accepted 17 October 2017

(DMA) บางพื้นที่ผู้ใช้น้ำได้รับแรงดันน้ำต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้จำนวนมาก ยิ่งไปกว่านั้นใน DMAs 04 และ 06 ที่อยู่ไกลที่สุด พบว่า ค่า I_r ในบางช่วงเวลามีค่ามากกว่า 1 ซึ่งแสดงว่ากำลังน้ำทั้งหมดที่จุดน้ำเข้า DMA นั้นไม่เพียงพออย่างรุนแรง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงทำการเลือกใช้วิธีค่าการปฏิบัติตามมาตรฐานของแรงดันขั้นต่ำ (I_5) ซึ่งได้ผลจากการวิจัยพบว่าค่า I_5 ต่ำสุดที่ผู้ใช้น้ำได้รับในกรณีหลังทำการศึกษามีค่าสูงกว่าในกรณีก่อนทำการศึกษา โดยที่ในกรณีก่อนทำการศึกษามีค่า I_5 ต่ำกว่า 1 และในกรณีหลังทำการศึกษานั้นให้ค่าสูงกว่า 1 ทุก DMA ตลอดทุกช่วงเวลา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากำลังที่ผู้ใช้น้ำได้รับนั้นมีค่าสูงกว่ากำลังที่ผู้ใช้น้ำควรจะได้รับ ($P_{ext}>P_{min, ext}$) ซึ่งสื่อถึงปริมาณและแรงดันน้ำที่ผู้ใช้น้ำได้รับจากระบบโครงข่ายท่อนั้นมีความเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำ

ABSTRACT

Provincial Waterworks Authority, Phichit Branch Office (PWAP), is undergoing supplied water pressure problem, where water pressure is lower than the specified criteria. Water pressure is lower than 7 m when water demand is highest (at 07.00 am). However, when water demand is lowest (at 03.00 am), water pressure is too high, and that causes high water losses. The reasons are that water pressure at the source does not relate to water demand, and pipe sizes used in some locations are too small. Therefore, a new water pressure management is proposed to solve the problem. This study uses the mathematical model, called EPANET 2.0, to simulate the PWAP network. We collects water pressure data from 11 locations and supplied water quantities from 12 locations. Assessed data from the model are compared with the field data. It is found that there is 0.16 m difference in average water pressure all the time (1.19% variation). The objective of this study is to maintain at least 7-meter water pressure all the time in the studied area while excess water pressure can be reduced when water demand is low. The result shows that water pressure can be reduced from 16.80 m to 13.79 m. Therefore, the average supplied water is reduced from 552.88 cu.m/hr to 505.71 cu.m/hr, in which water losses reduce 47.17 cu.m/hr or 5.59% reduction. At the same time, water pressure in the study area can maintain at 7 meter for all time. To study the hydraulic reliability of pipe networks, first we applied the Resilience Index I_r, of which the value should range between 0 and 1, but it turns out to have negative values at some time intervals in this study because at present many customers in some district metered areas (DMAs) receive water pressure lower than the minimum required level. Moreover, in DMAs 04 and 06 locate farthest, the value of I_r is higher than 1, meaning that the total water power at inlets of DMAs is severely insufficient. Thus, in this study, the Standards Compliance (I_5) is selected. The results of this research show that the lowest value of I_5 for water users increases when our new water pressure management is applied. The values of I_5 for the present management are lower than 1 in some DMAs, but they are higher than 1 for all DMAs after applying the new management. In conclusion, by using our new management, water powers received by water users are higher than the threshold ($P_{ext} > P_{min,ext}$). This implies that water users receive both sufficient flow and pressure that meet their demand.

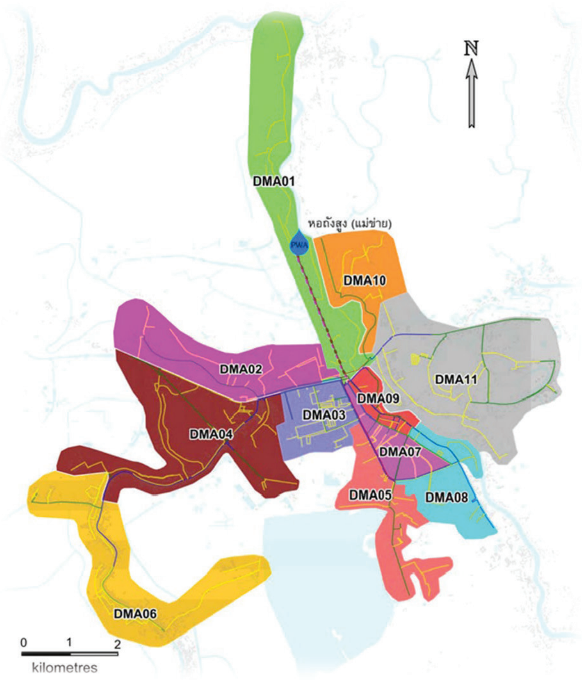
1. บทนำ

ปัจจุบัน การประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) ได้นำเอาระบบพื้นที่เฝ้าระวัง (District Metering Area, DMA) มาใช้กันอย่างแพร่หลายรวมทั้ง กปภ. สาขาพิจิตร ในพื้นที่ให้บริการแม่ข่าย ซึ่งถือเป็นสาขาลำดับต้นๆ ที่ได้เลือกเอาระบบ DMA มาออกแบบและติดตั้ง เนื่องจากเป็นสาขาที่มีจำนวนผู้ใช้น้ำมากและมีโครงข่ายท่อประปาขนาดใหญ่ จึงมีการสูบจ่ายน้ำในปริมาณสูงตามมา ดังนั้นการนำเอาระบบ DMA มาใช้ย่อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำในพื้นที่ไปจากเดิม โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำสูง เนื่องจากการออกแบบระบบ DMA ของ กปภ. สาขาพิจิตรนั้น ทุก DMA ให้มีน้ำเข้าโซน (Inlet) ได้เพียงทางเดียว หากเส้นท่อที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งน้ำเข้าโซนนั้นมีขนาดท่อหรือตำแหน่งติดตั้งที่ไม่เหมาะสม หรือมีแรงดันน้ำที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำย่อมส่งผลต่อแรงดันน้ำในพื้นที่ ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำประปาในพื้นที่ให้มีประสิทธิรูป เหมาะสม และสอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำ ตลอดจนเป็นการควบคุม

น้ำสูญเสียอีกทางหนึ่ง การวิเคราะห์ระบบท่อเพื่อปรับปรุงการจ่ายน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET 2.0 [1] จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการดังกล่าว [2-3]

2. พื้นที่ศึกษา

กปภ. สาขาพิจิตร มีพื้นที่ให้บริการทั้งสิ้น 39.07 ตารางกิโลเมตร แบ่งพื้นที่จ่ายน้ำออกเป็น 1 แม่ข่าย และอีก 6 หน่วยบริการ ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังแสดงพื้นที่จ่ายน้ำทั้งหมด 11 DMA (แม่ข่าย)

โดยการศึกษานี้ได้เลือกเฉพาะพื้นที่แม่ข่ายเท่านั้น ซึ่งมีพื้นที่รับผิดชอบทั้งหมด 12.02 ตารางกิโลเมตร ภูมิประเทศมีลักษณะเป็นที่ราบ จำนวนผู้ใช้น้ำรวมทั้งสิ้น 12,913 ราย โดยแยกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ จำนวน 10,079 ราย 2) ประเภทราชการและธุรกิจขนาดเล็ก จำนวน 2,278 ราย และ 3) ประเภทรัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรมและธุรกิจขนาดใหญ่ จำนวน 556 ราย ท่อประปามีตั้งแต่ 100-500 มิลลิเมตร ประกอบด้วย 1) ท่อประธานยาว 3 กิโลเมตร 2) ท่อจ่ายน้ำยาว 180 กิโลเมตร และ 3) ท่อบริการยาว 26 กิโลเมตร มีปริมาณการสูบจ่าย 13,269 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือเฉลี่ย 552.88 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยใช้แหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำประปาจากแม่น้ำน่าน จ่ายโดยใช้ระบบแรงโน้มถ่วง (Gravity) มีถังสูงขนาดความจุ 500 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 1 ลูก และแบ่งพื้นที่ออกเป็นโซนจ่ายน้ำทั้งหมดจำนวน 11 DMA

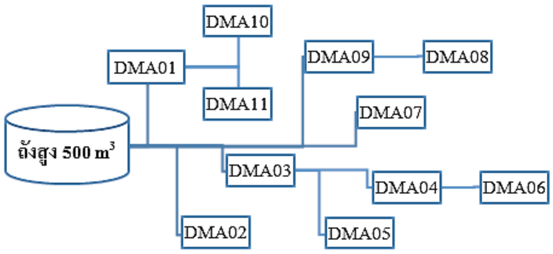
3. ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

3.1 วิเคราะห์สมดุลน้ำ (Water Balance)

โดยทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและออกจากพื้นที่แต่ละโซนเพื่อทำการวิเคราะห์หาสมดุลน้ำตามตารางที่ 1 ซึ่งพื้นที่แต่ละ DMA นั้นมีความสัมพันธ์กัน ตามรูปที่ 2

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ใช้น้ำและปริมาณน้ำเข้าเฉลี่ย (Inlet) ข้อมูลเดือนกันยายน 2558

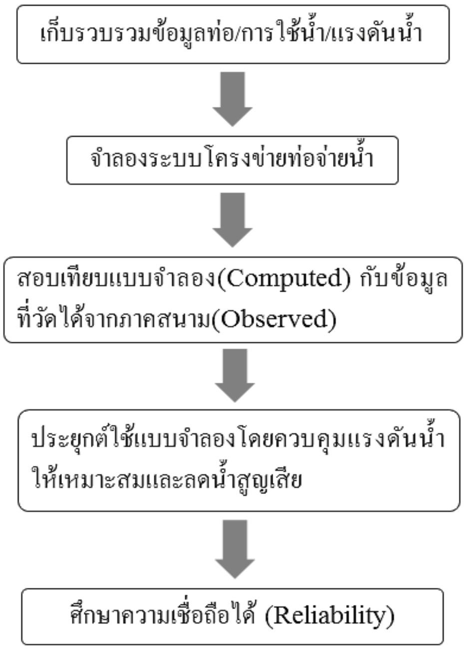
DMA	ผู้ใช้น้ำ (ราย)	ปริมาณน้ำเข้าเฉลี่ย (Inlet) (ลบ.ม./ชม.)
DMA01	920	36.45
DMA02	906	42.62
DMA03	1,734	76.29
DMA04	1,056	30.04
DMA05	1,254	45.98
DMA06	499	11.08
DMA07	2,659	111.53
DMA08	1,092	57.69
DMA09	1,282	61.49
DMA10	327	11.13
DMA11	1,184	63.68
ท่อประธาน	-	4.89
รวม	12,913	552.87



รูปที่ 2 ไดอะแกรมระบบสูบจ่ายน้ำเข้าแต่ละ DMA

3.2 จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ EPANET 2.0

ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการสร้างแบบจำลอง

3.3 ความเชื่อถือได้ทางชลศาสตร์ (Reliability)

ความเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบสูบจ่ายน้ำในระบบโครงข่ายท่อเป็นหนึ่งในเป้าหมายสำคัญที่สุดของระบบประปา Walski (2000a) ได้กล่าวว่า วิธีการเพิ่มความเชื่อถือได้ในการดำเนินการของระบบวิธีหนึ่ง คือ การเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักสำรองสำหรับกรณีฉุกเฉิน เช่น เหตุการณ์ท่อหลักแตกรั่ว ไฟไหม้ เป็นต้น ซึ่งมีความสำคัญเช่นเดียวกับการดำเนินการเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการดำเนินการเพื่อกระจายน้ำให้ได้คุณภาพน้ำที่ดี การตรวจสอบความเชื่อถือได้ของโครงข่ายท่อนั้นมีวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมคือ การใช้ค่าดัชนีความยืดหยุ่น Resilience index, I_r เสนอโดย Todini (2000) เป็นตัวแทนในการตรวจสอบ โดยโครงข่ายท่อนั้นมักออกแบบเป็นระบบลูป (Loop) เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ทางชลศาสตร์และมีน้ำพร้อมตลอดเวลา แม้ในช่วงเกิดเหตุการณ์ท่อแตก โครงข่ายท่อถูกออกแบบให้ส่งน้ำไปยังผู้ใช้น้ำ ตามความต้องการใช้น้ำและได้รับแรงดันที่ไม่น้อยกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ออกแบบไว้ กรณีมีการเปลี่ยนความต้องการใช้น้ำเนื่องจากท่อแตกรั่ว อัตราการไหลจะเปลี่ยนไปจากเดิมและการสูญเสียพลังงานภายในโครงข่ายจะเพิ่มขึ้น สิ่งนี้อาจทำให้ไม่สามารถส่งน้ำที่อัตราการไหลที่ต้องการภายใต้เงื่อนไขแรงดันขั้นต่ำสุดได้ การเพิ่มพลังงานให้แต่ละ node หรือบัพ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหา โดยพลังงานที่เพิ่มขึ้นจะค่อยๆ สลายภายในโครงข่ายท่อ เมื่อเกิดท่อแตกรั่ว ซึ่งแนวคิดดังกล่าวนี้ Todini (2000) ได้นำเสนอเพื่อแสดงความยืดหยุ่น (I_r) ของโครงข่ายท่อแบบลูป แม้ว่าแนวคิดดังกล่าวไม่ได้พิจารณาค่าทางสถิติของการแตกรั่ว แต่ค่าดัชนีที่สูงขึ้นจะแสดงถึงความเชื่อถือได้ของโครงข่ายที่มากขึ้น เมื่อกำหนดให้ กำลังที่เข้าระบบทั้งหมด (P_{tot}) ณ จุดจ่ายน้ำเข้าระบบ โดยให้ Q_k และ H_k คือ อัตราการไหลและ Head พลังงานตามลำดับ ณ จุดจ่ายน้ำที่ k โดย n_k คือ จำนวนจุดจ่ายน้ำ [4-5] โดยสามารถเขียนได้ดังสมการ (1)

$$P_{tot} = \gamma \sum_{k=1}^{n_k} Q_k H_k \qquad (1)$$

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ

กำลังในระบบทั้งหมดมาจากกำลัง 2 ส่วน ตามสมการ (2)

$$P_{tot} = P_{int} + P_{ext} \qquad (2)$$

P_{int} คือ กำลังที่สลายภายในระบบท่อ

P_{ext} คือ กำลังที่ส่งไปถึงผู้ใช้น้ำซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการไหล q_i และเฮดพลังงาน h_i ณ จุดผู้ใช้น้ำที่ i โดยสามารถ P_{ext} ตามสมการ (3)

$$P_{ext} = \gamma \sum_{i=1}^{n_i} q_i h_i \quad (3)$$

โดยทั่วไปเฮดพลังงานที่ผู้ใช้น้ำได้รับ h_i มักจะสูงกว่าเฮดขั้นต่ำสุดตามมาตรฐาน $h_{min,i}$ โดยสมมติให้อัตราการไหลยังคงได้ตามเดิม q_i ดังนั้นเราจะสามารถหากำลังสูงสุดที่สามารถสลายภายในระบบท่อได้โดยผู้ใช้น้ำยังคงได้รับเฮดขั้นต่ำ $P_{max,int}$ ดังนี้ ตามสมการ (4)

$$P_{\max,\text{int}} = P_{tot} - \gamma \sum_{i=1}^{n_i} q_i h_{\min,i} \quad (4)$$

ดัชนีความยืดหยุ่น I_r เป็นการทำให้เป็นบรรทัดฐานของกำลังที่สลายภายในระบบท่อ สามารถเขียนสมการตาม (5)

$$I_r = 1 - \left(\frac{P_{\text{int}}}{P_{\max,\text{int}}} \right) \quad (5)$$

จากสมการ (5) แสดงให้เห็นว่า เมื่อค่า I_r สูงจะหมายถึงกำลังที่สลายภายในระบบท่อสัมพัทธ์น้อยและสื่อว่ามีความเชื่อถือได้ทางชลศาสตร์สูง

4. ผลการศึกษา

4.1 การสร้างแบบจำลองโครงข่ายระบบท่อประปา

แบบจำลองโครงข่าย ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้ คือ 1) บัพ (Node) มีจำนวนทั้งหมด 25,782 บัพ 2) เส้นท่อ (Pipe) มีจำนวนทั้งหมด 12,963 เส้นท่อ และ 3) แหล่งน้ำ (Reservoir) มีจำนวนทั้งหมด 1 แห่ง

โดยมีเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง ณ จุดน้ำเข้าระบบได้ใช้แรงดันน้ำจากค่าตรวจวัด และใช้ค่าอัตราการไหลที่ตรวจวัดได้เป็นค่าใช้สอบเทียบ ขณะที่จุดอื่นๆ รวมทั้งจุดผู้ใช้น้ำได้กำหนดด้วยความต้องการใช้น้ำ เนื่องจากแบบจำลองระบบท่อนั้นเป็นแบบ steady extended period simulation เงื่อนไขตั้งต้นจึงไม่จำเป็นเพราะผลลัพธ์ที่ได้แต่ละช่วงเวลาเป็นค่าที่ลู่เข้าสู่ quasi-steady state

4.2 การสอบเทียบแบบจำลองโครงข่ายระบบท่อ

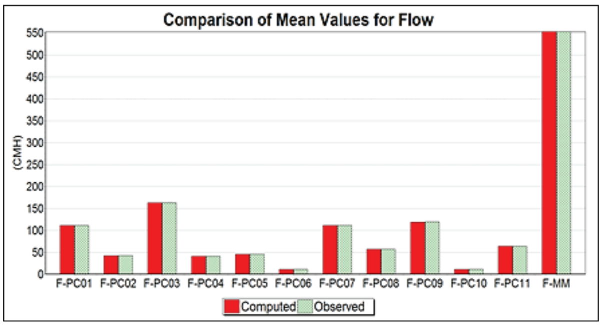
การศึกษานี้ได้สอบเทียบแบบจำลองเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก ทำการสอบเทียบอัตราการไหลเพื่อให้ปริมาณน้ำจ่ายในแบบจำลอง (Computed) กับข้อมูลจากภาคสนาม (Observed) มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำจำหน่ายรวมกับปริมาณน้ำสูญเสียของแต่ละโซน DMA ได้ผลตามรูปที่ 4 โดยน้ำสูญเสียในแบบจำลองนี้ประยุกต์ ดังสมการที่ (6)

$$Q_{leak} = CP^N \quad (6)$$

กำหนดให้ Q_{leak} หมายถึง อัตราน้ำรั่ว, C หมายถึง Emitter Coefficient, P หมายถึง Pressure ที่ Junction นั้นๆ, และ N หมายถึง Emitter Exponent

การศึกษานี้ สมมติให้น้ำสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นน้ำสูญเสียจริง (Real losses) เนื่องจากท่อรั่วและแปรผันกับแรงดันตามสมการ (1) โดยใช้ค่ายกกำลัง $N = 1$

ส่วนที่สอง ทำการสอบเทียบแรงดันน้ำ โดยการปรับแก้รูปแบบการใช้น้ำ (Demand Pattern) เพื่อให้แรงดันน้ำในแบบจำลอง (Computed) มีความสอดคล้องหรือใกล้เคียงกับข้อมูลแรงดันน้ำจากภาคสนาม (Observed) ตามรูปที่ 5 ผลที่ได้ คือ ค่าแรงดันน้ำเฉลี่ยรายชั่วโมงทั้งหมด 11 จุด จากแบบจำลองเท่ากับ 13.26 เมตร และแรงดันเฉลี่ยรายชั่วโมงจากภาคสนามเท่ากับ 13.42 เมตร ดังนั้นค่าความแตกต่างของแรงดันเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 เมตร คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อน 1.19 %

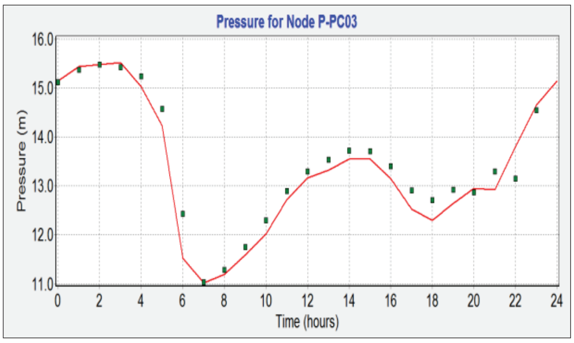


Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
P-PC01	24	17.65	16.59	1.053	1.074
P-PC02	24	13.60	13.14	0.470	0.525
P-PC03	24	13.46	13.31	0.233	0.309
P-PC04	24	10.79	10.80	0.316	0.413
P-PC05	24	11.75	10.94	0.815	0.895
P-PC06	24	10.04	9.64	0.451	0.601
P-PC07	24	14.09	13.29	0.804	0.863
P-PC08	24	10.13	11.52	1.391	1.421
P-PC09	24	14.79	13.28	1.512	1.561
P-PC10	24	14.72	15.14	0.471	0.588
P-PC11	24	13.25	14.65	1.401	1.620
P-MM	24	16.80	16.77	0.027	0.028
Network	288	13.42	13.26	0.745	0.959

Correlation Between Means: 0.930

รูปที่ 4 สอบเทียบปริมาณน้ำจ่ายแบบจำลอง (Computed) กับข้อมูลจากภาคสนาม (Observed)

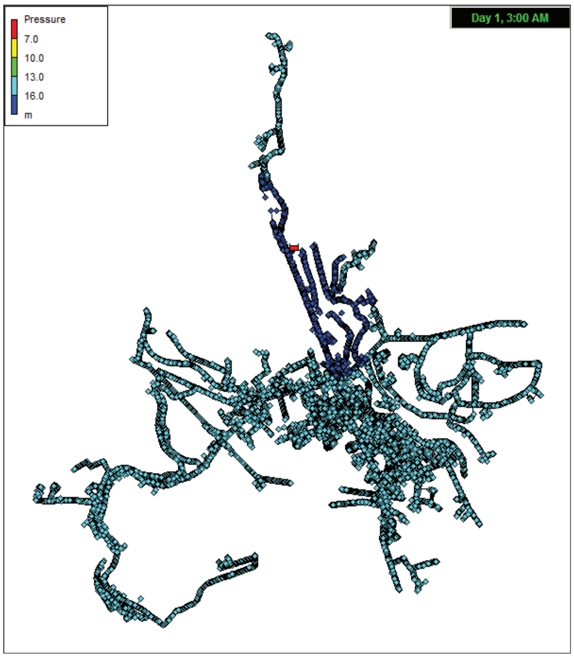


รูปที่ 5 สอบเทียบแรงดันน้ำสถานี P-PC03 ของ DMA03ในแบบจำลองกับข้อมูลจากภาคสนาม

4.3 ปัญหาและสรุปปัญหากับการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการบริหารจัดการ

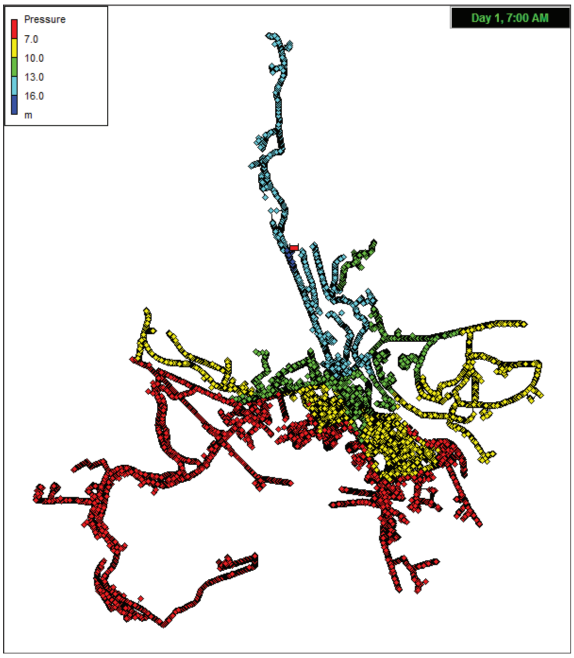
4.3.1 ปัญหาและสรุปปัญหา

กปภ. สาขาพิจิตร ประสบกับปัญหาแรงดันน้ำต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำสูงสุด (On Peak) มีแรงดันน้ำต่ำกว่า 7 เมตร สาเหตุจากท่อที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีขนาดเล็กเกินไป และตำแหน่งน้ำเข้าโซน (Inlet) อยู่ในตำแหน่งที่มีแรงดันน้ำต่ำ ประกอบกับแรงดันน้ำไม่สอดคล้องกับรูปแบบความต้องการใช้น้ำ โดยที่ต้นทางจ่ายน้ำด้วยแรงดันเฉลี่ยคงที่เท่ากับ 16.80 เมตร โดยไม่มีการควบคุมแรงดันน้ำเป็นช่วงเวลา ทำให้ในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำต่ำสุด (Off Peak) ที่เวลา 03.00 น. แรงดันน้ำในพื้นที่ มีค่าสูงเกินซึ่งมีแรงดันน้ำเฉลี่ยทั้งพื้นที่ศึกษาเท่ากับ 14.72 เมตร ตามรูปที่ 6 จึงส่งผลให้มีปริมาณน้ำจ่ายสูงและเกิดน้ำสูญเสียสูงตามมา



รูปที่ 6 แรงดันน้ำในพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลา Off Peak (03.00 น.)

การสูญเสียแรงดัน (head loss) เป็นอีกปัญหาที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ซึ่งอยู่ห่างไกลจากแหล่งจ่ายน้ำต้นทาง ประกอบกับท่อเดิมมีขนาดเล็กไม่เหมาะสม ส่งผลให้แรงดันน้ำในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำสูงสุด (On Peak) ที่เวลา 07.00 น. มีค่าแรงน้ำเฉลี่ยทั้งพื้นที่ศึกษาเท่ากับ 8.54 เมตร แต่หากพิจารณาในส่วนของพื้นที่ 5 DMA ที่รับผลกระทบประกอบไปด้วย DMA03, DMA04, DMA05, DMA06 และ DMA08 นั้นในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำสูงสุดมีค่าแรงดันเฉลี่ยเพียง 5.62 เมตร ซึ่งต่ำกว่าแรงดันน้ำที่กำหนดไว้ที่ 7 เมตร ตามรูปที่ 7 (สมมติให้เป็นแรงดันขั้นต่ำที่เหมาะสำหรับบ้านพักอาศัย 2 ชั้น)



รูปที่ 7 แรงดันน้ำในพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลา On Peak (07.00 น.)

4.3.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในกรณีศึกษา

- เปลี่ยนขนาดท่อเดิม PVC 200 มิลลิเมตร เป็นท่อใหม่ PVC 250 มิลลิเมตร ระยะความยาวรวม 1,200 เมตร ทำให้แรงดันน้ำในพื้นที่ DMA06 แรงดันน้ำเฉลี่ยสูงขึ้น จากเดิม 9.64 เมตร เพิ่มเป็น 11.03 เมตร ตำแหน่ง (1) ตามรูปที่ 8

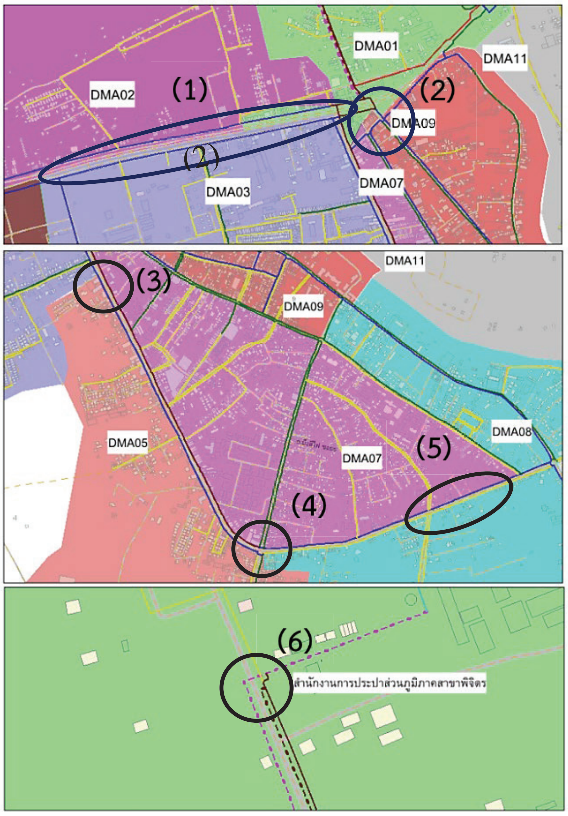
- เปลี่ยนขนาดท่อเดิม PVC 200 มิลลิเมตร เป็นท่อใหม่ PVC 300 มิลลิเมตร ระยะความยาวรวม 100 เมตร เพื่อลดการสูญเสียแรงดัน Unit Head loss ในช่วงเวลา On Peak จากเดิม 8.75 เมตรต่อกิโลเมตร ลดลงเหลือ 1.05 เมตรต่อกิโลเมตร เนื่องจากเส้นท่อดังกล่าวนี้มีลักษณะเป็นคอขวดและยังใช้เป็นท่อส่งน้ำเข้า (Inlet) ให้กับพื้นที่ทั้งสอง คือ DMA08 และ DMA09 ตำแหน่ง (2) ตามรูปที่ 8

- ย้ายตำแหน่งทางน้ำเข้า (Inlet) ของพื้นที่ DMA05 จากตำแหน่งเดิม (3) ไปยังตำแหน่งใหม่ (4) ตามรูปที่ 8 โดยการวางท่อใหม่ PVC 300 มิลลิเมตร ประสานออกจากท่อเดิม PVC 300 มิลลิเมตร ของพื้นที่ DMA07 เนื่องจากเส้นท่อดังกล่าวนี้มีแรงดันน้ำสูง (12.55 เมตร) กว่าตำแหน่งทางน้ำเข้า (Inlet) เดิม (11.05 เมตร)

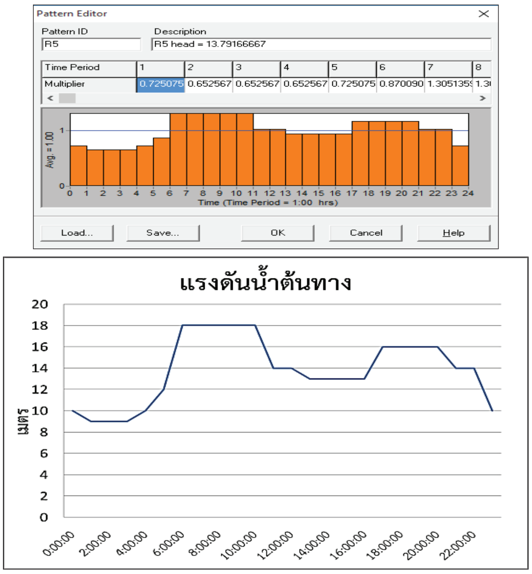
- เปลี่ยนท่อขนาดเดิม PVC 100 มิลลิเมตร เป็นท่อใหม่ PVC 200 มิลลิเมตร ระยะความยาวรวม 600 เมตร ทำให้แรงดันน้ำของผู้ใช้น้ำจากเส้นท่อดังกล่าวนี้ของพื้นที่ DMA08 มีแรงเพิ่มขึ้นจาก 6.94 เมตร เพิ่มเป็น 7.41 เมตร ในช่วงเวลา On Peak ตำแหน่ง (5) ตามรูปที่ 8

- ติดตั้งอุปกรณ์วาล์วควบคุมแรงดันน้ำ (Pressure Reducing Valve, PRV) เพื่อควบคุมแรงดันน้ำในพื้นที่ทั้ง 3 DMA ประกอบด้วย DMA01, DMA10 และ DMA11 ไม่ให้สูงจนเกินไปในช่วงเวลา Off Peak ตามตำแหน่ง (6) รูปที่ 8

- ควบคุมแรงดันน้ำต้นทางตามช่วงเวลา ตามรูปที่ 9 โดยควบคุมแรงดันให้สอดคล้องตามความต้องการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำ ส่งผลให้แรงดันน้ำต้นทางลดลงจากเดิมจ่ายด้วยแรงดันเฉลี่ยเท่ากับ 16.80 เมตร ลดลงเหลือ 13.79 เมตร



รูปที่ 8 ตำแหน่งเปลี่ยนท่อ ณ จุดต่างๆ และติดตั้งอุปกรณ์ Pressure Reducing Valve (PRV)



รูปที่ 9 ควบคุมแรงดันต้นทางตามช่วงเวลา

4.3.3 ความเชื่อถือได้ทางชลศาสตร์ (Reliability)

ความเชื่อถือได้ทางชลศาสตร์ (Reliability) หมายถึง ความสามารถของโครงข่ายท่อในการส่งน้ำไปถึงยังผู้ใช้น้ำโดยมีปริมาณที่พอเพียงภายใต้สภาวะปกติและไม่ปกติ การศึกษานี้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความเชื่อถือได้ทางทั้งก่อนและหลังการศึกษา เพื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง EPANET 2.0 กับพื้นที่ศึกษาโดยทฤษฎีที่นิยมนำมาใช้วิธีหนึ่งในการตรวจสอบความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่าย คือ การใช้ค่าดัชนีความยืดหยุ่น (Resilience Index, I_r) นำเสนอโดย Todoni (2000) เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ ซึ่งค่าดัชนี I_r ที่เหมาะสม เพื่อให้แรงดันน้ำมีแรงดันน้ำในพื้นที่ศึกษาไม่น้อยกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ควรมีค่าดัชนีอยู่ในช่วง 0-1 เมื่อ I_r คือความสัมพันธ์ตามสมการ(5) กำหนดให้แรงดันน้ำขั้นต่ำเท่ากับ 7 เมตร ($h_{min,ext}$ = 7 เมตร)

การศึกษานี้ทำการหาค่าดัชนี I_r โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) แม่ข่าย (Master Meter, MM) และ(2) พื้นที่จ่ายน้ำย่อยในระดับ DMA โดยจะพิจารณาเป็นรายชั่วโมง สามารถแบ่งการศึกษาออกได้เป็น 2 กรณี คือ 1) กรณีก่อนทำการศึกษา (ก่อนการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับระบบโครงข่าย) และ 2) กรณีหลังจากทำการศึกษา (หลังจากประยุกต์ใช้แบบจำลองกับระบบโครงข่ายท่อ)

1) กรณีก่อนทำการศึกษา

ในกรณีก่อนทำการศึกษาหรือสภาพปัจจุบันของโครงข่ายท่อ กปภ. สาขาพิจิตร พบว่ามีค่า I_r ตามตารางที่ 2

โดยดัชนี I_r ที่มีค่าน้อยกว่า 0.00 ($I_r < 0$) เกิดในพื้นที่ DMA04, DMA05, DMA06 และ DMA08 มีค่าเท่ากับ -0.85, -1.79, -2.48, และ -2.14 ตามลำดับ สาเหตุที่ I_r มีค่าติดลบ เนื่องจากกำลังที่ผู้ใช้น้ำได้รับ (P_{ext}) มีค่าน้อยกว่ากำลังขั้นต่ำที่ผู้ใช้น้ำควรจะได้รับ ($P_{min, ext}$) ทำให้กำลังมากสุดที่สลายภายในระบบท่อ ($P_{max,int}$) มีค่าต่ำกว่ากำลังที่สลายภายในระบบท่อ (P_{int}) จึงทำให้ค่าของ $P_{int} / P_{max,int} > 1$ ส่งผลให้ค่า $I_r < 0$ (ติดลบ)

ตารางที่ 2 แสดงค่าดัชนีความยืดหยุ่น (I_r) ในกรณีก่อนทำการศึกษา

ดัชนีค่าความยืดหยุ่น (I_r)			
พื้นที่	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
DMA01	0.14	0.28	0.20
DMA02	0.16	0.34	0.28
DMA03	0.00	0.22	0.15
DMA04	-0.85	3.53	0.80
DMA05	-1.79	0.43	0.09
DMA06	-2.48	2.26	0.26
DMA07	0.16	0.41	0.32
DMA08	-2.14	0.45	0.18
DMA09	0.08	0.20	0.15
DMA10	0.39	0.98	0.63
DMA11	0.10	0.31	0.20
MM	0.10	0.25	0.19

ค่าดัชนี I_r ที่มีค่ามากกว่า 1 (I_r>1) เกิดในพื้นที่ DMA04 และ DMA06 มีค่าเท่ากับ 3.53 และ 2.26 ตามลำดับ สาเหตุที่ I_r มีค่ามากกว่า 1 นั้นเนื่องจากกำลังรวมที่เข้าระบบทั้งหมด (P_{tot}) ของ DMA04 และ DMA06 ณ เวลานั้น มีค่าน้อยกว่า $P_{min, ext}$ ในช่วงเวลา

เดียวกัน ทำให้ค่า $P_{max,int}$ มีค่าติดลบ จึงส่งผลให้สัดส่วนของ P_{int} /$P_{max,int}$ ติดลบตามมา ดังนั้น เมื่อค่า I_r อยู่ในช่วงระหว่าง 0-1 พบว่าแรงดันน้ำที่ผู้ใช้น้ำได้รับ (P_{ext}) นั้นมีค่าไม่น้อยกว่าแรงดันขั้นต่ำที่กำหนด ($h_{min,ext}$ = 7 เมตร) และหากพื้นที่ใดมีค่า I_r สูงกว่าย่อมหมายถึงกำลังที่สลายภายในระบบท่อ (P_{int}) น้อยกว่าและสื่อว่ามีความเชื่อถือทางชลศาสตร์สูงกว่า แต่หากค่า I_r อยู่นอกช่วง 0 - 1 จะพบว่าแรงดันน้ำที่ผู้ใช้น้ำได้รับมีค่าต่ำกว่าแรงดันขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ซึ่งสื่อถึงกำลังที่สลายไปกับระบบท่อนั้นมากเกินไปหรือกำลังที่ให้กับระบบมีค่าต่ำไปไม่เพียงพอ

2) กรณีหลังทำการศึกษา

เมื่อทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับโครงข่ายท่อเพื่อบริหารจัดการแรงดันในพื้นที่พบว่า ค่าดัชนี I_r มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 ทุกพื้นที่ DMA จึงแสดงให้เห็นว่าหลังจากการปรับปรุงระบบโครงข่ายท่อและควบคุมแรงดันน้ำต้นทางโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง EPANET 2.0 ในการแก้ไขปัญหา เพื่อให้แรงดันน้ำในพื้นที่ศึกษาสอดคล้องกับความต้องการการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำแล้วนั้น จึงส่งผลทำให้แรงดันน้ำในพื้นที่ทั้งหมดมีแรงดันน้ำไม่ต่ำกว่า 7 เมตร ทุกช่วงเวลา

ตารางที่ 3 แสดงค่าดัชนีความยืดหยุ่น (I_r) ในกรณีหลังทำการศึกษา

ดัชนีค่าความยืดหยุ่น (I_r)			
พื้นที่	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
DMA01	0.11	0.32	0.25
DMA02	0.07	0.40	0.27
DMA03	0.07	0.33	0.23
DMA04	0.26	0.56	0.43
DMA05	0.12	0.50	0.33
DMA06	0.13	0.54	0.37
DMA07	0.07	0.30	0.20
DMA08	0.06	0.34	0.22
DMA09	0.05	0.27	0.19
DMA10	0.29	0.63	0.53

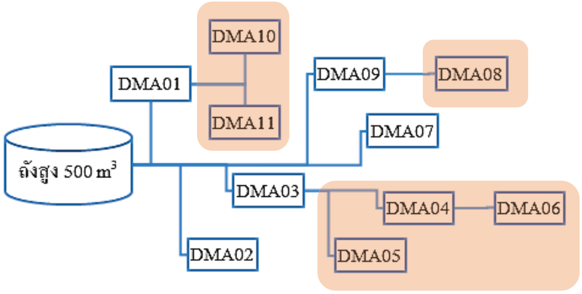
ตารางที่ 3 (ต่อ) แสดงค่าดัชนีความยืดหยุ่น (I_r) ในกรณีหลังทำการศึกษา

ดัชนีค่าความยืดหยุ่น (I_r)			
พื้นที่	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
DMA11	0.03	0.16	0.12
MM	0.07	0.21	0.15

การศึกษานี้ผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญไปยังการบริหารจัดการแรงดันน้ำในพื้นที่ศึกษา โดยการควบคุมแรงดันน้ำให้สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำตามช่วงเวลา (Demand Pattern) ดังนั้นเมื่อนำเอาทฤษฎีดัชนีความยืดหยุ่น (Resilience Index, I_r) มาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายท่อพบว่าผลที่ได้ออกมานั้นจะสื่อถึงความเชื่อถือได้ของโครงข่ายท่อ โดยมุ่งศึกษาไปยังประสิทธิรูปของท่อเพื่อรองรับกับอุบัติเหตุ หรือภัยพิบัติต่างๆที่อาจเกิดขึ้นกับท่อในโครงข่าย เช่น ปั๊มหยุดทำงานกะทันหัน ท่อแตก หรือท่อระเบิด เป็นต้น การพิจารณา I_r ตามทฤษฎีของ Todoni ค่าที่ได้ควรอยู่ในช่วง 0-1 แต่จากการศึกษาตามที่ได้กล่าวแล้วนั้น ในหัวข้อก่อนหน้าพบว่า ค่าดัชนี Ir ที่ได้มีค่าอยู่นอกช่วงดังกล่าว โดยเกิดขึ้นได้ใน 2 กรณี คือ กรณีแรกค่าดัชนีน้อยกว่า 1 (ติดลบ) และกรณีที่สอง ค่าดัชนีมากกว่า 1 โดยในกรณีแรกนั้นเกิดขึ้นเมื่อกำลังที่ผู้ใช้น้ำได้รับ (P_{ext}) มีค่าน้อยกว่ากำลังขั้นต่ำที่ผู้ใช้น้ำควรจะได้รับ ($P_{min,\ ext}$) และกรณีที่สองเกิดขึ้นเมื่อ กำลังรวมที่เข้าระบบทั้งหมด (P_{tot}) มีค่าน้อยกว่า $P_{min,\ ext}$ หรือกล่าวได้จะเกิดกับระบบโครงข่ายท่อที่มีการขาดน้ำเกิดขึ้น (Demand > Supply) จากทั้งสองกรณีที่กล่าวมาแล้วนั้นพบว่า การวิเคราะห์โดยวิธี I_r ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับระบบโครงข่ายท่อที่มีปัญหาแรงดันน้ำในพื้นที่ที่แรงดันน้ำบางช่วงเวลามีค่าต่ำกว่าแรงดันน้ำขั้นต่ำที่ผู้ใช้น้ำควรจะได้รับ

วิธีวิเคราะห์แบบ I_r นี้เหมาะกับการนำไปใช้กับโครงข่ายท่อที่ไม่มีการแบ่งพื้นที่จ่ายน้ำแบบ DMA หรือหากแบ่งพื้นที่จ่ายน้ำเป็น DMA แต่ละโซนต้องเป็นอิสระออกจากกัน แต่หากนำมาใช้กับโครงข่ายท่อที่ DMA ไม่แยกอิสระต่อกันแล้วจะเกิดความคลาดเคลื่อนในการ

วิเคราะห์ค่าดัชนี เช่น หากท่อแตกหรือท่อระเบิดเกิดขึ้นในพื้นที่ DMA10 หรือ DAM11 ซึ่งอยู่ท้าย ย่อมทำให้ปริมาณน้ำจ่ายและแรงดันน้ำของพื้นที่ DMA01 ที่อยู่ต้นทางมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จึงส่งผลให้ดัชนี I_r ของพื้นที่ DMA01 มีการเปลี่ยนแปลงไปตาม DMA10 ดังนั้นการใช้ดัชนี I_r ของแต่ละ DMA นั้นจึงเหมาะกับพื้นที่ที่มี DMA แยกอิสระออกจากกัน ซึ่งโครงข่ายท่อของ กปภ. สาขาพิจิตร มีบาง DMA ที่มีลักษณะเป็น DMA ที่รับน้ำต่อจาก DMA ต้นทาง หรือเรียกว่า Cascading DMA เช่น DMA10 และ DMA11 โดยรับน้ำมาจากพื้นที่ DMA01 ซึ่งเป็น DMA ต้นทาง และ DMA08 รับน้ำจาก DMA09 เป็นต้น ตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงโครงข่ายท่อที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง DMA แบบ Cascading DMA

หากพิจารณาในแง่ของแรงดันน้ำที่ผู้ใช้น้ำควรได้รับนั้น การมองไปยังกำลังที่ผู้ใช้น้ำควรได้รับ ($P_{min,ext}$) จากโครงข่ายท่อว่าได้รับเพียงพอหรือไม่นั้น จะสื่อความหมายออกมาได้ดีกว่าการใช้วิธีดัชนี I_r เนื่องจากเป็นการนำกำลังที่จุดผู้ใช้น้ำ (P_{ext}) มาพิจารณาโดยตรงซึ่งสะดวกต่อการวิเคราะห์ตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้งานต่อดังนั้นเพื่อให้ค่าที่ได้สื่อไปในด้านของแรงดันน้ำที่ผู้ใช้น้ำควรได้รับและสะดวกต่อการนำไปวิเคราะห์หรือไปใช้งาน ดังนั้นในการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่า Standards Compliance (I_5) เป็น 1 ใน 5 ค่าที่ใช้แสดงถึงประสิทธิภาพด้านพลังงานของระบบโครงข่ายท่อ ซึ่งนำเสนอโดย Enrique Cabrera (2010) หรือเรียกว่าการปฏิบัติตามมาตรฐานของแรงดันขั้นต่ำ [6] โดยเป็นค่าสัดส่วนระหว่าง$P_{ext}/P_{min,\,ext}$ กล่าวคือความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ผู้ใช้น้ำได้รับ (P_{ext}) ต่อกำลังต่ำสุดที่ผู้ใช้น้ำควรได้รับ ($P_{min,\,ext}$) เมื่อกำหนดให้เฮดขั้นต่ำเท่ากับ $h_{min,ext} = 7$ เมตร

1) กรณีก่อนทำการศึกษา

พบว่าค่าการปฏิบัติตามมาตรฐานของแรงดันขั้นต่ำ (I_5) ในกรณีก่อนทำการศึกษาหรือก่อนการประยุกต์ใช้แบบจำลองนั้นมีในบาง DMA ที่ค่าต่ำสุดยังคงมีค่าต่ำกว่า 1 ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าการปฏิบัติตามมาตรฐานของแรงดันขั้นต่ำ (I_5) ในกรณีก่อนทำการศึกษา

การปฏิบัติตามมาตรฐานของแรงดันขั้นต่ำ (I_5)			
พื้นที่	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
DMA01	2.11	2.36	2.24
DMA02	1.43	2.15	1.80
DMA03	0.99	2.05	1.54
DMA04	0.74	2.05	1.43
DMA05	0.69	1.99	1.38
DMA06	0.61	2.03	1.37
DMA07	1.38	2.16	1.78
DMA08	0.94	2.00	1.48
DMA09	1.41	2.15	1.78
DMA10	1.81	2.29	2.10
DMA11	1.49	2.02	1.78
MM	1.21	2.10	1.67

ค่า I_5 ในมีบางพื้นที่ยังคงมีค่าต่ำสุดน้อยกว่า 1 ได้แก่พื้นที่ DMA03, DMA04, DMA05, DMA06 และ DMA08 มีค่า 0.99, 0.74, 0.69, 0.61 และ 0.94 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้สามารถสื่อถึงกำลังที่ผู้ใช้น้ำได้รับ (P_{ext}) มีค่าต่ำกว่ากำลังที่ผู้ใช้น้ำควรจะได้รับ ($P_{min,\,ext}$) และค่า I_5 ต่ำสุดจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีความ

ต้องการใช้น้ำสูงซึ่งหมายถึงในช่วงเวลาดังกล่าวนี้ กำลังรวมที่ให้กับระบบ (P_{tot}) นั้นมีค่าน้อยเกินไป จึงจำเป็นต้องเพิ่มกำลังในช่วงเวลาดังกล่าวเพื่อทำให้กำลังรวมมีค่าสูงขึ้น(P_{tot}) จึงจะส่งผลให้ I_5 มีค่าต่ำสุดมีค่ามากกว่า 1

2) กรณีหลังทำการศึกษา

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองแก้ไขโครงข่ายท่อและบริหารจัดการแรงดันน้ำ พบว่าได้ค่า I_5 มีค่า ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าการปฏิบัติตามมาตรฐานของแรงดันขั้นต่ำ (I_5) ในกรณีหลังทำการศึกษา

การปฏิบัติตามมาตรฐานของแรงดันขั้นต่ำ (I_5)			
พื้นที่	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
DMA01	1.24	1.77	1.63
DMA02	1.13	1.73	1.43
DMA03	1.12	1.64	1.37
DMA04	1.12	1.54	1.3
DMA05	1.07	1.41	1.21
DMA06	1.09	1.43	1.24
DMA07	1.11	1.51	1.29
DMA08	1.07	1.43	1.22
DMA09	1.14	1.75	1.44
DMA10	1.2	1.67	1.51
DMA11	1.09	1.46	1.28
MM	1.12	1.54	1.33

หลังจากทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง พบว่าทุก DMA มีค่า I_5 ต่ำสุดมากกว่า 1 สื่อถึงผู้ใช้น้ำได้รับกำลังที่เพียงพอต่อความต้องการ

โดยที่หากพิจารณา I_5 ที่ค่าสูงสุดหรือค่าเฉลี่ย พบว่าค่าที่ได้ในกรณีก่อนทำการศึกษามีค่าสูงกว่ากรณีหลังทำการศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากกรณีหลังทำการศึกษาได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วาล์วควบคุมแรงดันน้ำ (PRV) และทำการปรับลดแรงดันน้ำต้นทางให้สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำ (Demand Pattern) จึงทำให้ค่า I_5 ในช่วงดังกล่าวมีค่าลดลง (ค่า I_5 ยังคงมีค่ามากกว่า 1 ทุกช่วงเวลา)

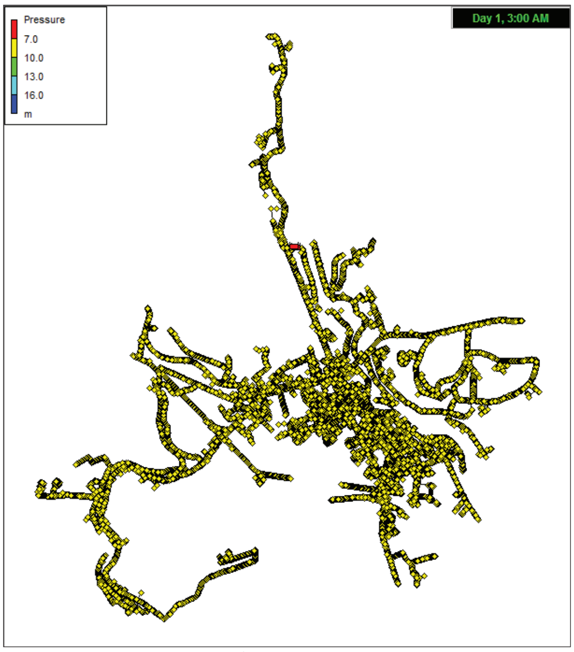
ทั้งนี้หากในอนาคตโครงข่ายท่อประสบอุบัติเหตุหรือภัยพิบัติ เช่น ท่อแตก ท่อระเบิด เพลิงไหม้ ฯ อันจะส่งผลทำให้แรงดันน้ำในพื้นที่จ่ายน้ำลดต่ำลง ก็สามารถทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ โดยการปรับเพิ่มแรงดันน้ำต้นทางให้สูงขึ้น หรือถอดอุปกรณ์ PRV เพื่อเป็นการเพิ่มแรงดันน้ำในพื้นที่และเป็นการเพิ่มค่า I_5 ให้ดีขึ้นได้ดังเดิม

5. สรุปผลการศึกษา

ผลจากการศึกษาวิจัย สามารถสรุป 2 หัวข้อ คือ

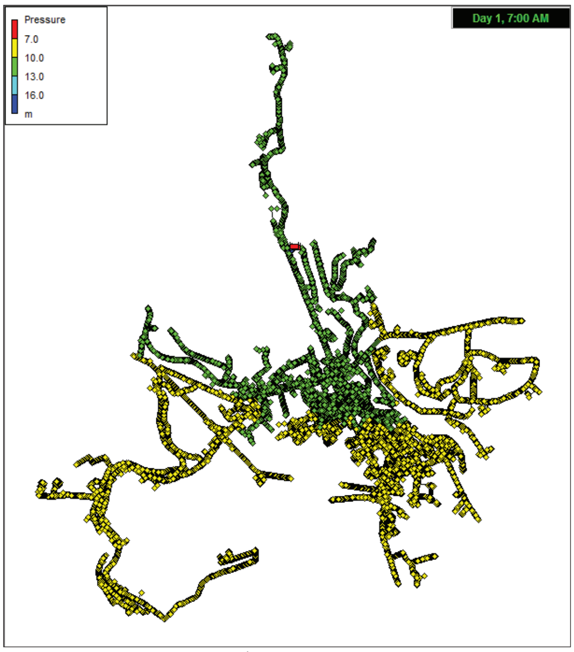
5.1 การปรับปรุงระบบจ่ายเพื่อให้แรงดันน้ำสอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำ

จากการเปลี่ยนขนาดท่อเดิมและติดตั้งวาล์วควบคุมแรงดัน (PRV) ตลอดจนการควบคุมแรงดันน้ำต้นทางตามหัวข้อ 4.3.2 แล้วนั้น ทำให้แรงดันน้ำทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำต่ำสุด (Off Peak) ที่เวลา 03.00 น. มีค่าแรงดันน้ำเฉลี่ยลดลงจาก 14.72 เมตร เหลือ 7.90 เมตร ตามรูปที่ 11



รูปที่ 11 แรงดันน้ำในพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลา Off Peak (03.00 น.)

แรงดันน้ำในช่วงที่มีความใช้น้ำสูงสุด (On Peak) ที่เวลา 07.00 น. มีค่าแรงดันน้ำเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 8.54 เมตร เป็น 9.64 เมตร ตามรูปที่ 12 แรงดันน้ำต้นทางก่อนที่ไม่มีการควบคุมแรงดันจ่ายด้วยแรงดันคงที่ 16.80 เมตร แต่ภายหลังจากมีการควบคุมแรงดันโดยจ่ายน้ำเป็นช่วงเวลาตามรูปที่ 9 ทำให้แรงดันน้ำเฉลี่ยลดลงเหลือ 13.79 เมตร ส่งผลให้ปริมาณน้ำจ่ายต้นทางลดลงจากเดิมจ่ายอยู่ที่เท่ากับ 552.88 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ลดต่ำลงเหลือ 505.71 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามรูปที่ 13 หรือสามารถลดน้ำสูญเสียลงได้ 5.59 %

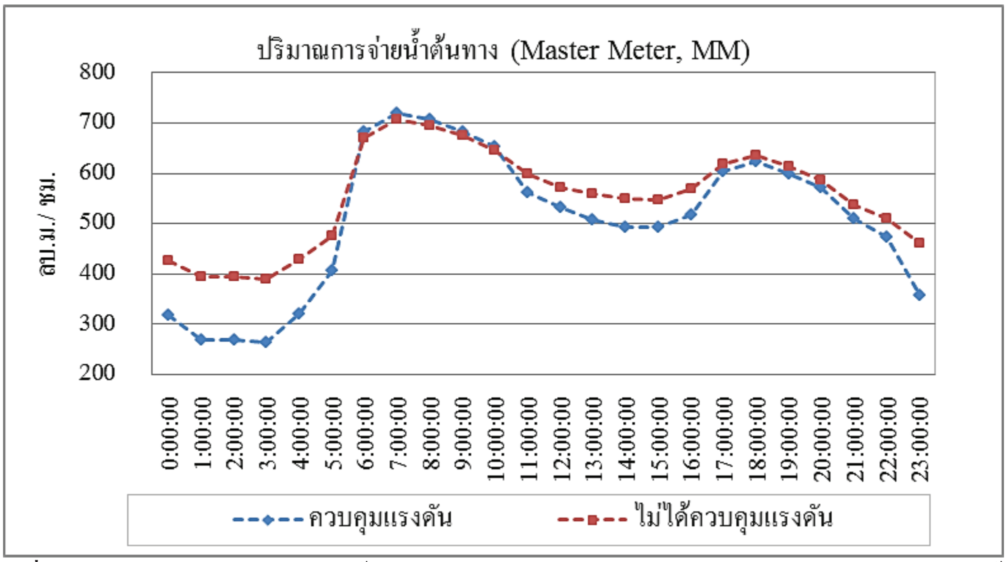


รูปที่ 12 แรงดันน้ำในพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลา On Peak (07.00 น.)

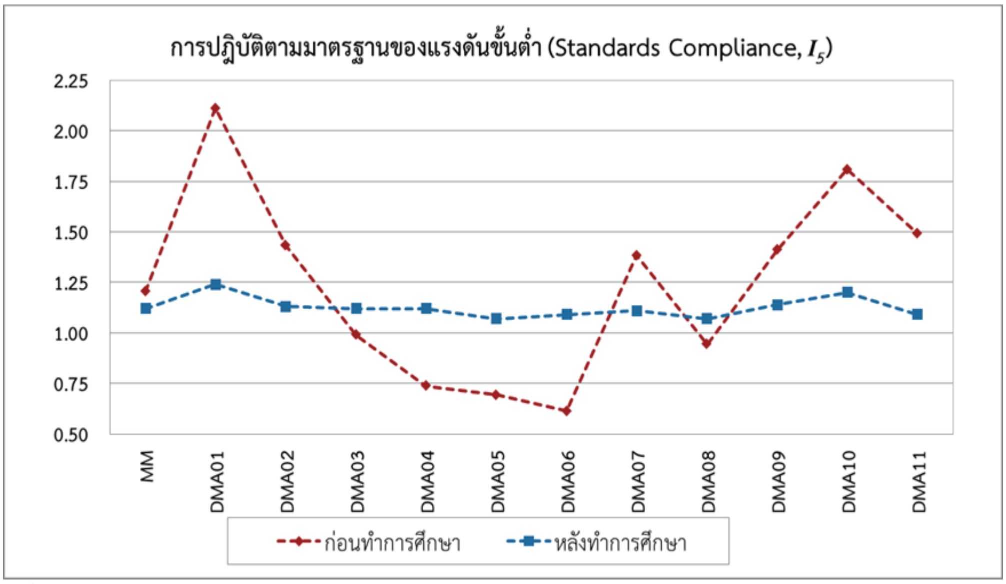
5.2 ความเชื่อถือได้ทางชลศาสตร์ (Reliability) ของระบบโครงข่ายท่อ

จากผลการศึกษาได้ค่าการปฏิบัติตามมาตรฐานของแรงดันขั้นต่ำ (I_5) เพื่อเป็นตัวแทนของกำลังที่ผู้ใช้น้ำได้รับโดยเทียบกับกำลังขั้นต่ำที่ผู้ใช้น้ำควรได้รับ (P_{ext} /$P_{min, ext}$) โดยผลที่ได้ทั้งก่อนและหลังทำการศึกษาพบว่า การประยุกต์ใช้แบบจำลอง EPANET เพื่อการบริหารจัดการแรงดันน้ำนั้น สามารถเพิ่มค่า I_5 ในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำสูงได้ ตามรูปที่ 14 โดยพิจารณาที่ค่า I_5 ต่ำสุดที่ผู้ใช้น้ำได้รับจะพบว่า กรณีหลังทำการศึกษาแล้วนั้นมีค่า I_5 ของระบบจ่ายน้ำเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีก่อนทำการศึกษา และให้ค่า I_5 สูงกว่า 1 ทุกพื้นที่ DMA

ดังนั้น ในกรณีหลังทำการศึกษาแล้วนั้น จึงสรุปได้ว่ากำลังที่ผู้ใช้น้ำได้รับนั้นมีค่ามากกว่ากำลังที่ผู้ใช้น้ำควรจะได้รับ ($P_{ext} > P_{min, ext}$) ซึ่งสามารถสื่อถึงปริมาณและแรงดันน้ำที่ผู้ใช้น้ำได้รับจากระบบโครงข่ายท่อมีค่าเพียงพอต่อความต้องการของการใช้น้ำตลอดทุกช่วงเวลา



รูปที่ 13 เปรียบเทียบปริมาณการจ่ายน้ำต้นทาง (Master Meter, MM) ก่อนและหลังควบคุมแรงดันน้ำ



รูปที่ 14 เปรียบเทียบค่าการปฏิบัติตามมาตรฐานของแรงดันขั้นต่ำ (I_5) ในกรณีก่อนและหลังทำการศึกษา

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำหรับข้อมูลต่างๆ จากกองระบบจำหน่าย การประปาส่วนภูมิภาคเขต 10 และผู้จัดการรวมถึงพนักงานทุกท่านของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาพิจิตร

เอกสารอ้างอิง

[1] Rossman, L.A. EPANET 2 Users manual. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory, 2000.

[2] สายัณห์ น้ำเงิน. การศึกษาโครงข่ายส่งน้ำประปาของการประปานครหลวงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.

[3] สุทธิศักดิ์ ลาภประเสริฐ. การจำลองระบบสูบจ่ายน้ำในพื้นที่สำนักงานประปาสาขาทุ่งมหาเมฆของการประปานครหลวงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET 2.0. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.

[4] Todini, E. Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach. *Urban Water*, 2000; 2(3): 115–122.

[5] Walski, T.M. A Water Quality Aspects of Construction and Operation. Water Distribution Systems Handbook, McGraw-Hill, New York, 2000; 8.1–8.11.

[6] Cabrera, E., Pard, M.A., Cobach, R. and Cabrera Jr, E. Energy Audit of Water Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2010, 136(6): 669-677.