

การเฝ้าระวังน้ำสูญเสียสำหรับโครงข่ายท่อประธานด้วยวิธีสมดุลน้ำ

Water Loss Monitoring System for Trunk Main System by Water Balance Method

แพรวา จาววงศ์สันต์¹ จิระเมธ ช้างคล่อม^{1*} อติชัย พรพรหมินทร์¹ ชัยพร ใจแก้ว² และสุรชัย ลิปิวัฒนาการ¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

² ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

Praewa Jowwongsan¹, Jiramate Changklom^{1*}, Adichai Pornprommin¹, Chaiporn Jaikaeo² and Surachai Lipiwattanakarn¹

¹ Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Thailand

² Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Thailand

*ผู้รับผิดชอบบทความ: jiramate.ch@ku.th เบอร์โทรศัพท์ 06-4814-0542

Received: 14 March 2022, Revised: 8 June 2022, Accepted: 8 July 2022

บทคัดย่อ

น้ำสูญเสียในระบบส่งน้ำเป็นปัญหาสำคัญของหน่วยงานประปาของประเทศไทย โดยระบบส่งน้ำสามารถแบ่งเป็นโครงข่ายท่อประธานและโครงข่ายท่อจ่ายน้ำ การประปานครหลวง (กปน.) คาดว่าโครงข่ายท่อประธานมีน้ำสูญเสีย 60-120 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบเฝ้าระวังน้ำสูญเสียท่อประธานด้วยวิธีสมดุลน้ำสำหรับ 4 เส้นทางของสาขาประชาชื่นของ กปน. ที่มีข้อมูลมาตรวัดค่อนข้างน่าเชื่อถือ การทำสมดุลน้ำที่ใช้มี 2 วิธี คือ 1) สมดุลน้ำระยะยาว โดยคำนวณน้ำสูญเสียต่อเนื่องจากข้อมูลมาตรถาวรในระบบตรวจวัดระยะไกล SCADA และ 2) สมดุลน้ำระยะสั้น ในกรณีมาตรถาวรบางตัวมีปัญหาจะปิดมาตรเพื่อไม่ให้น้ำไหลผ่านจุดนั้นในช่วงกลางคืนทำให้สามารถคำนวณน้ำรั่วได้ชั่วคราวประมาณ 2-3 ชั่วโมง ผลการทำสมดุลน้ำวิธีที่ 1 พบว่า สามารถคำนวณน้ำสูญเสียบนเส้นทางได้ดีหากมาตรทุกตัวทำงานปกติ และวิธีที่ 2 สามารถคำนวณน้ำสูญเสียชั่วคราวได้ดี โดยทั้งสองวิธีมีความคลาดเคลื่อนในหลักสิบ ลบ.ม./ชม แสดงว่าระบบเฝ้าระวังนี้มีประสิทธิภาพในการติดตามน้ำรั่วบนท่อประธานได้

คำสำคัญ ท่อประธาน น้ำประปา น้ำรั่ว น้ำสูญเสีย สมดุลน้ำ

Abstract

Water loss (WL) in water distribution systems (WDS) is a main problem of waterworks in Thailand. A WDS can be divided into a trunk main network (TMN) and a water distribution network. Metropolitan Waterworks Authority (MWA) estimates WL in its TMN about 60-120 million m³/year. Thus, this research presents a monitoring system using the water balance method for 4 routes of the MWA Prachachuen Branch TMN with fairly complete permanent measured flow data from the Remote Monitoring System. Water balance consists of 2 cases: 1) long-term water balance for continuous WL calculation by the data of permanent meters in SCADA systems, and 2) short-term water balance for the case that some flow meters malfunction. By closing water flowing through those meters temporarily at night, WL can be computed for a short period of 2-3 hours. The results show that 1st method can calculate WL if all flow meters work properly. 2nd method can temporarily estimate WL. And both methods estimate WL with a flow discrepancy of tens digit m³/hr. Thus, the system is effective in monitoring leakage on TMN.

Keywords: Trunk Mains, Potable Water, Leakage, Water Loss, Water Balance

1. บทนำ

น้ำสูญเสียในระบบสูบน้ำจ่ายน้ำของ กปน. แบ่งตามโครงข่ายท่อได้เป็น 2 ส่วน คือ น้ำสูญเสียบนท่อประธาน และบนท่อจ่ายน้ำท่อบริการ ในรายงานประจำปี กปน. ปี 2562 นั้น พบว่า กปน. มีปริมาณน้ำผลิต 2075.2 ล้าน ลบ.ม./ปี คิดเป็นน้ำสูญเสีย 607.8 ล้านลบ.ม./ปี (1) เป็นน้ำสูญเสียในระบบท่อประธานประมาณ 3-6% (2) คิดเป็นปริมาณน้ำสูญเสียบนท่อประธาน 60-120 ล้าน ลบ.ม./ปี เนื่องจากการติดตามน้ำสูญเสียในระบบท่อประธานนั้นทาง กปน. ยังไม่มีระบบหรือวิธีการที่ชัดเจน ต่างจากน้ำสูญเสียบนท่อจ่ายที่ใช้ระบบ SCADA (เทคโนโลยีระบบตรวจวัดข้อมูลและควบคุมระยะไกล - Supervisory Control Data and Acquisition) ซึ่งมีหลักการแบ่งพื้นที่ย่อยเป็นระบบพื้นที่เฝ้าระวัง (District Metering Area, DMA) ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการอยู่แล้ว อีกทั้งการใช้เครื่องมือในการตรวจหาที่รั่วรั้นจำเป็นต้องใช้งบประมาณและบุคลากรในการหาจุดรั่วไหลในแต่ละครั้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการทำสมดุลน้ำในการติดตามหาน้ำสูญเสียในระบบท่อประธาน โดยเลือกทดสอบ 4 เส้นทางท่อประธานในพื้นที่ประปาประชาชน

วัตถุประสงค์

1) วิเคราะห์การเฝ้าระวังน้ำรั่วบนท่อประธานด้วยวิธีการทำสมดุลน้ำของสำนักงานประปาสาขาประชาชน

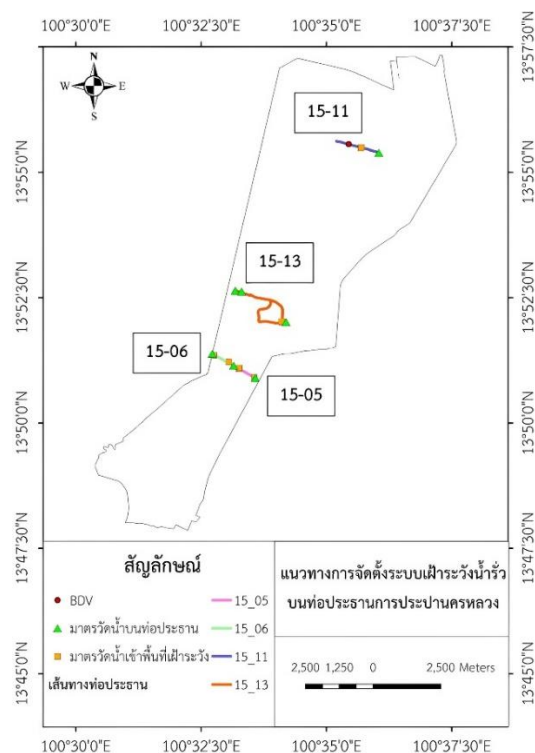
2) เปรียบเทียบการเฝ้าระวังน้ำรั่วบนท่อประธานระหว่างการทำสมดุลน้ำตอนปิดประตูน้ำในตอนกลางคืนกับไม่ปิดประตูน้ำ

พื้นที่ที่ศึกษา

ศึกษาในพื้นที่การประปาประชาชน ซึ่งเป็น 1 ใน พื้นที่ประปา 18 สาขา ตั้งอยู่ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ในพื้นที่ประปาประชาชนนั้นได้แบ่งเส้นทางท่อประธานออกเป็นเส้นทางย่อย ในงานวิจัยนี้เลือกที่จะศึกษาผลของเส้นทางที่ 15-05, 15-06, 15-11 และ 15-13 ทั้งหมด 4 เส้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 1 เนื่องจากทั้ง 4 เส้นทางนี้ถือเป็นเส้นทางที่มีจำนวนมาตรน้อยและมาตรหลักบนท่อประธานใช้งานได้ โดยทั้ง 4 เส้นทางมีมาตรวัดน้ำ 16 มาตร แบ่งเป็นมาตรวัดน้ำบนท่อประธาน (U/UZ) 7 มาตร และมาตรวัดน้ำบนท่อจ่าย (DM) 9 มาตร ทั้งนี้มาตรวัดน้ำบนท่อประธานมี 2 ประเภท U คือมาตรวัดน้ำที่วัดปริมาณน้ำผ่านเข้าออกพื้นที่ให้บริการของ

สำนักงานประปาสาขา UZ คือมาตรวัดน้ำที่วัดปริมาณน้ำผ่านพื้นที่แต่ละโซนในพื้นที่ให้บริการ นอกจากนี้สำนักงานประปาสาขาประชาชนยังรับน้ำโดยตรงจากสถานีสูบน้ำบางเขน โรงที่ 3 และ 4 (BK03, BK04) ทำให้มีมาตรวัดน้ำที่มีสัญลักษณ์ขึ้นต้นด้วย BK

มาตรวัดน้ำในงานวิจัยนี้เป็นมาตรหลักติดตั้งถาวร ซึ่ง กปน. มีการตรวจสอบและเปรียบเทียบค่าในระบบ โดยมาตรวัดน้ำบนท่อประธาน (U/UZ) เป็นมาตรประเภท Ultrasonic Flowmeter ที่มีความคลาดเคลื่อน 1-3% (3) ขึ้นอยู่กับรูปหน้าตัดและความถูกต้องของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ป้อนให้ และมาตรวัดน้ำบนท่อจ่าย (DM) เป็นมาตรประเภท Magnetic Flowmeter ที่มีความคลาดเคลื่อน 0.3 -0.35% (4) เมื่อพิจารณาอัตราการไหลของมาตร U/UZ พบว่ามีค่าประมาณระหว่าง 500-5,000 ม³/ชม ซึ่งความคลาดเคลื่อนอาจมีค่าระหว่าง 5-150 ม³/ชม ต่อมาตร ขณะที่อัตราการไหลของมาตร DM มีค่าประมาณหลักสิบและหลักร้อยจึงคาดว่ามีความคลาดเคลื่อนต่ำมาก เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนของมาตร U/UZ นั้นจึงเป็นไปได้ว่า การทำสมดุลน้ำอาจให้ค่าการรั่วผิดพลาดอยู่ในระดับหลักสิบถึงหลักร้อยขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและจำนวนมาตร U/UZ ที่ใช้บนเส้นทางที่พิจารณา



รูปที่ 1 เส้นทางท่อประธานทั้ง 4 เส้นทาง

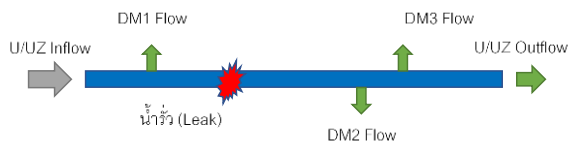
2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีสมดุลน้ำ (Water Balance)

สมดุลน้ำ (Water Balance) เป็นหลักการพื้นฐานของการไหล โดยอาศัยหลัก กฎการอนุรักษ์มวล (Conservative Of Mass) คือ มวลของสสารย่อมไม่สูญหายแต่อาจเปลี่ยนรูปได้ ดังนั้นในกรณีของน้ำไหลในเส้นท่อก็สามารถอนุมานได้ว่า อัตราการไหลรวมในเส้นท่อกับพิจารณาต้องมีค่าคงที่ ฉะนั้นหากวัดอัตราการไหลเข้าออกจากเส้นท่อกับทั้งหมด จะสามารถหาค่าการรั่วไหลที่เกิดขึ้นในเส้นท่อนั้น ๆ ได้จากผลต่างของอัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออก

การจัดทำสมดุลน้ำของท่อประปาในระดับเส้นท่อ โดยอาศัยข้อมูลจากมาตร U/UZ และมาตร DM จะทำให้สามารถแบ่งเส้นท่อประปาเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสมดุลน้ำว่ามีค่าผิดปกติได้สะดวก และทำให้สามารถระบุบริเวณที่รั่วบนท่อประปาได้ ลักษณะการทำสมดุลน้ำบนท่อประปาในระดับเส้นท่อแสดงดังรูปที่ 2 และสมการที่ 1



รูปที่ 2 การจัดทำสมดุลน้ำบนท่อประปาในระดับเส้นท่อ

$$\sum Q_{U,in} - \sum Q_{U,out} - \sum Q_{DM} = Q_{leak} \quad (1)$$

โดย $Q_{U,in}$ และ $Q_{U,out}$ คือ ปริมาณน้ำไหลเข้าและออกของมาตรวัดอัตราการไหลและแรงดันหลักที่อยู่บนท่อประปา (U) ตามลำดับ Q_{DM} คือปริมาณน้ำของมาตรวัดอัตราการไหลและแรงดันของท่อจ่าย (DM) และ Q_{leak} คือปริมาณของน้ำรั่วในระบบเส้นท่อกับท่อประปา

โดยวิธีสมดุลน้ำเป็นเงื่อนไขเบื้องต้นในการลดการสูญเสียในระบบประปา เพียงแต่การทำสมดุลน้ำส่วนมากนั้นมักถูกจำกัดด้วยปริมาณของข้อมูลและประสิทธิภาพของเครื่องมือ (5) ตัวอย่างเช่นการทำสมดุลน้ำเพื่อลดการสูญเสียของน้ำที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ในระบบประปาโดยใช้ระบบ DMA ที่เมือง Antalya ประเทศตุรกี และ เมือง Kos ประเทศกรีซที่

ไม่มีระบบ SCADA ทำให้ข้อมูลการไหลไม่ได้รับการตรวจสอบเท่าที่ควร (6)

2.2 วิธีการ

- 1) แบ่งท่อประปาพื้นที่กบ. ประชาชนเป็นเส้นทางย่อย
- 2) นำข้อมูลอัตราการไหลและแรงดันของแต่ละมาตรวัดจากทางกบ. ประชาชนมาทำสมดุลน้ำระยะยาวในแต่ละเส้นทางท่อประปา
- 3) เลือกเส้นทางท่อประปาที่มีจำนวนมาตรวัดไม่มาก เพื่อทำการปิดประตูน้ำมาตร DM ชั่วคราวในช่วงกลางคืน
- 4) นำข้อมูลในช่วงที่ปิดประตูน้ำมาตร DM มาทำสมดุลน้ำระยะสั้น
- 5) วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการทำสมดุลน้ำ โดยปิดและไม่ปิดประตูน้ำมาตร DM ทั้งนี้เนื่องจากการค่าอัตราการไหลในระบบนั้นมีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากมาตรวัด จึงมีโอกาสที่ผลลัพธ์สมดุลน้ำจะมีค่าติดลบได้

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ทำการศึกษาจากเส้นทางท่อประปาทั้ง 4 เส้นทาง ได้แก่เส้นทาง 15-05, 15-06, 15-11 และ 15-13 โดยรายละเอียดมาตรและทิศทางการไหลในแต่ละเส้นทางมีดังตารางที่ 1 และรูปที่ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 มาตรที่ใช้ทำสมดุลน้ำรายเส้นทางท่อประปา

Route	Inflow	Outflow	No. meters
15-05	UZ1501 U105	DM-15-04-04-02 DM-15-04-04-01 DM-15-04-03-01	5
15-06	U209	UZ1501 DM-15-05-02-01 DM-15-05-01-01	4
15-11	U139	DM-15-08-01-01 DM-15-07-05-01 BDV	4
15-13	BK03-Phayathai BK04-Phayathai	U231 DM-15-05-05-01 DM-15-05-04-01	5

โดย Route 15-05 ทำสมดุลน้ำรายชั่วโมง ช่วง 18-25 ธ.ค. 2563, Route 15-06 ทำช่วง ม.ค – เม.ย. 2564, Route

15-11 ได้ทำช่วง 13 – 16 ก.ค. 2563 และ Route 15-13 ทำตั้งแต่ช่วง ม.ค. – มิ.ย. 2564 ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มาตรมีค่าน้ำเชื่อถือ กล่าวคือมาตรทุกมาตรมีค่าไม่เป็นศูนย์ และไม่มีค่าค้าง และทำสมดุลน้ำระยะสั้นในแต่ละ Route อีกครั้งขณะที่ปิดประตูน้ำมาตร DM เป็นจำนวนเส้นทางละสองคืนดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งในการทำสมดุลน้ำระยะยาวนั้นได้มีการจัดรูปแบบกราฟเป็นกราฟน้ำรั่ว (Leak, $m^3/ชม.$) เนื่องจากกราฟสมดุลน้ำที่ได้ยังคงมีค่าแกว่งสูงเพราะอัตราการไหลในเส้นท่อที่วัดไม่คงที่จนทำให้อ่านรูปแบบที่เกิดขึ้นยาก จึงมีการปรับแก้กราฟด้วยการเฉลี่ยค่าในช่วง 24 ชั่วโมง เพื่อให้การแกว่งของกราฟมีความสม่ำเสมอขึ้น โดยมีผลลัพธ์ในแต่ละ route ดังนี้

ตารางที่ 2 ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละเส้นทาง

Route	สมดุลน้ำระยะยาว	สมดุลน้ำระยะสั้น
15-05	18 – 25 ธันวาคม 2063	คืนที่ 1 8 กรกฎาคม 2564 คืนที่ 2 12 กรกฎาคม 2564
15-06	มกราคม – เมษายน 2564	คืนที่ 1 17 พฤษภาคม 2564 คืนที่ 2 24 พฤษภาคม 2564
15-11	13 – 16 กรกฎาคม 2563	คืนที่ 1 13 พฤษภาคม 2564 คืนที่ 2 18 พฤษภาคม 2564
15-13	มกราคม - มิถุนายน 2564	คืนที่ 1 17 มิถุนายน 2564 คืนที่ 2 21 มิถุนายน 2564

3.1 Route 15-05

3.1.1 การทำสมดุลน้ำระยะยาวของ Route 15-05

ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4 ใน Route นี้ หากดูเฉพาะช่วงเวลา 18-25 ธันวาคม 2563 ซึ่งเป็นช่วงที่คาดว่าค่าทุกมาตรมีความน่าเชื่อถือ ส่วนกราฟบางส่วนที่มีค่าโดดอย่างเห็นได้ชัดนั้นเป็นเพราะช่วงที่มาตร Outflow ของเส้นทางลดต่ำพอดี โดยมีค่าการรั่วอยู่ระหว่าง $\pm 10 m^3/ชม$ จึงคาดว่าช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีน้ำรั่วในเส้นทางนี้

3.1.2 การทำสมดุลน้ำโดยปิดประตูน้ำมาตร DM ของ Route 15-05

มีการปิดประตูน้ำมาตร DM ของ Route 15-05 สองคืน ได้แก่ คืนวันที่ 8 ก.ค. 2564 (08/07/64 23:15 น. – 09/07/64 01:15 น.) และ 12 ก.ค. 2564 (12/07/64 23:45 น. – 13/07/64 01:45 น.) ตามลำดับ

โดยในคืนที่ 1 ปิด DM-15-04-04-01, DM-15-04-03-01 และ DM-15-04-04-02 คืนที่ 2 ปิด DM-15-04-04-01 และ DM-15-04-04-02

ผลจากการทำสมดุลน้ำราย 15 นาทีคืนที่ 1 และ 2 แสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ พบว่าค่าการรั่วในช่วงปิด DM ติดลบสูงมาก คาดว่ามาจากมาตร U105 เพราะเมื่อเทียบกับค่าการไหลมาตรอื่นในเส้นทางเดียวกันแล้ว พบว่าค่าของมาตร U105 สูงมากผิดปกติ รวมถึงทิศการไหลของน้ำมีการสลับไปมาอย่างมีแบบแผนในหนึ่งวัน โดยช่วงเวลาประมาณ 23:00 น. ถึง 05:00 น. เป็นทิศหนึ่ง และช่วง 04:00 น. - 22:00 น. เป็นอีกทิศหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 7 จึงสันนิษฐานว่ามาตร U105 เก็บค่าผิดพลาด ดังนั้นสรุปไม่ได้ว่า Route 15-05 นี้มีการรั่วไหลเกิดขึ้นหรือไม่

3.2 Route 15-06

3.2.1 การทำสมดุลน้ำระยะยาวของ Route 15-06

ผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 8 โดยมาตร DM-15-05-02-01 มีข้อมูลถึงแค่ 25 ธ.ค. 2563 เท่านั้น รวมถึง UZ1501 ยังมีค่าค้างดังแสดงในรูปที่ 7 ดังนั้นช่วงม.ค. – เม.ย. 2564 เป็นช่วงที่คาดว่าค่าทุกมาตรมีความน่าเชื่อถือ ส่วนท้ายกราฟที่มีค่าโดดอย่างเห็นได้ชัดนั้นเป็นเพราะมาตร DM-15-05-02-01 ให้ค่าลดลงใกล้เคียงศูนย์ (ค่าอยู่ในช่วง 0.xx ถึงหลักหน่วย) ซึ่งถือว่าเป็นช่วงที่ข้อมูลตรวจวัดมีความคลาดเคลื่อนตอนเก็บค่า ดังนั้นค่าการรั่วของเส้นทางนี้อยู่ระหว่าง $\pm 50 m^3/ชม$

3.2.2 การทำสมดุลน้ำโดยปิดประตูน้ำมาตร DM ของ Route 15-06

มีการปิดประตูน้ำมาตร DM ของ Route 15-06 สองคืน ได้แก่ คืนวันที่ 17 พ.ค. 2564 (18/05/64 00:00 น. - 01:30 น.) และ 24 พ.ค. 2564 (24/05/64 23:45 น. - 25/05/64 01:15 น.) ตามลำดับ

โดยคืนที่ 1 ปิด DM-15-05-02-01 และ DM-15-05-01-01 ในขณะที่คืนที่ 2 ปิดแค่ DM-15-05-02-01

ผลของสมดุลน้ำราย 15 นาทีคืนที่ 1 แสดงดังรูปที่ 9 พบว่าช่วงที่ปิด DM ค่าการรั่วอยู่ในช่วง -30 ถึง $60 m^3/ชม$

ผลของสมดุลน้ำราย 15 นาทีคืนที่ 2 แสดงดังรูปที่ 10 พบว่าช่วงที่ปิด DM ค่าการรั่วอยู่ในช่วง -20 ถึง $11 m^3/ชม$ ถือว่าเป็นค่าที่น้อยมาก อาจเป็นเพราะเกิดการผิดพลาดของมาตรวัด นอกจากนี้ เส้นทางนี้ตัวมาตร DM-15-05-02-01 เสีย

ไม่สามารถดึงค่ามาคิดได้ ทำให้ไม่สามารถทำสมดุลน้ำระยะยาวในช่วงเวลานี้ แต่ด้วยวิธีสมดุลน้ำระยะสั้นที่ทำการปิดมาตรที่เสีย ทำให้พบว่า Route 15-06 ไม่มีการรั่วไหล

3.3 Route 15-11

3.3.1 การทำสมดุลน้ำระยะยาวของ Route 15-11

รูปที่ 11 พบว่า กราฟน้ำรั่วช่วงก่อนวันที่ 14 ก.ค. 2563 มีค่าใกล้ศูนย์ (ไม่มีน้ำรั่ว) แต่หลังจากวันที่ 14 ก.ค. 2563 เป็นต้นไป พบว่า น้ำรั่วสูงขึ้นฉับพลันที่ระดับ 250 ม³/ชม ต่อเนื่องสาเหตุเกิดจาก กปน. ได้เปิดประตูน้ำกันระหว่างท่อประจักษ์กับขอบเขต DMA (Boundary Valve, BDV) เพื่อจ่ายน้ำออกจากท่อประจักษ์เข้า DMA เพิ่มอีกหนึ่งจุดที่ไม่ใช่จุด DM เพราะแรงดันใน DMA ไม่เพียงพอ แต่จุดจ่ายน้ำใหม่นี้ไม่มีการตรวจวัดน้ำจึงคาดว่าค่าการรั่วที่เพิ่มขึ้นน่าจะเป็นน้ำจ่ายออกผ่าน BDV ดังกล่าว จึงสรุปว่าเส้นทางดังกล่าวไม่มีการรั่วไหล

3.3.2 การทำสมดุลน้ำโดยปิดประตูน้ำมาตร DM ของ Route 15-11

มีการปิดประตูน้ำมาตร DM ของ Route 15-11 สองคืน ได้แก่ คืนวันที่ 13 พ.ค. 2564 (13/05/64 23:45 น. – 14/05/64 01:30 น.) และ 18 พ.ค. 2564 (18/05/64 23:45 น. – 19/05/64 04:15 น.) ตามลำดับ

โดยในคืนที่ 1 ปิด DM-15-08-01-01 ,DM-15- DM-15-07-05-01 และ BDV ในขณะที่คืนที่ 2 ปิดแค่ BDV

ผลลัพธ์จากการทำสมดุลน้ำราย 15 นาทีคืนที่ 1 ปรากฏดังรูปที่ 12 พบว่าช่วงที่ทำการปิด DM นั้น ค่าการรั่วลดจนใกล้เคียงศูนย์

ส่วนการทำสมดุลน้ำราย 15 นาทีคืนที่ 2 ปรากฏดังรูปที่ 13 พบว่าช่วงที่ทำการปิด BDV นั้น ค่าการรั่วลดจนใกล้เคียงศูนย์ดังนั้นก็สรุปว่า Route 15-11 ไม่มีการรั่ว

3.4 Route 15-13

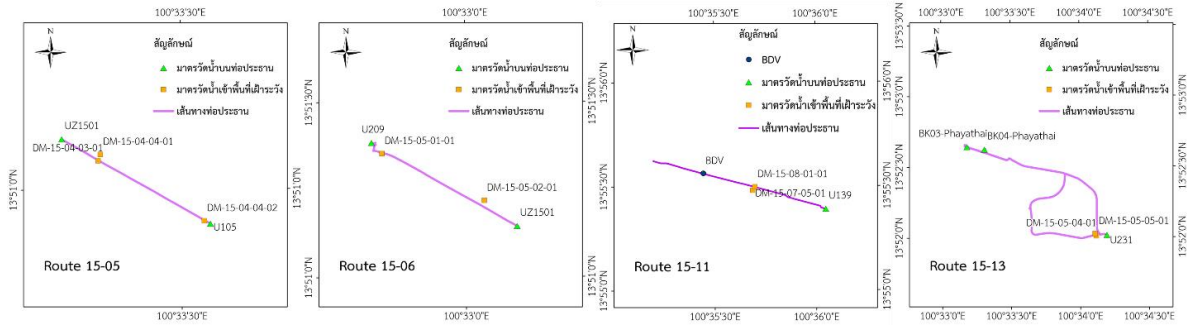
3.4.1 การทำสมดุลน้ำระยะยาวของ Route 15-13

จากกราฟรูปที่ 14 ค่าเกือบทั้งหมดติดลบ เป็นผลมาจาก Inflow BK03-Phayathai และ BK04-Phayathai จ่ายน้ำน้อยกว่า U231 ซึ่งเป็นไปไม่ได้เพราะ BK ทั้งคู่เป็นโรงสูบน้ำจ่ายน้ำต้นทาง จึงระบุไม่ได้ว่ามีการสูญเสียในเส้นทางหรือไม่ ส่วนช่วงที่กราฟติดลบผิดปกติอย่างเห็นได้ชัดเป็นช่วงที่มาตร BK ทั้งสองไม่มีค่าในระบบ คาดว่าเป็นความผิดพลาดของการเก็บค่าการตรวจวัด

3.4.2 การทำสมดุลน้ำโดยปิดประตูน้ำมาตร DM ของ Route 15-13

การปิดประตูน้ำมาตร DM ของ Route 15-13 สองคืน ได้แก่ คืนวันที่ 17 มิ.ย. 2564 (18/06/64 00:00 น. – 02:00 น.) และ 21 มิ.ย. 2564 (22/06/64 00:00 น. - 01:00 น.) ตามลำดับ โดยคืนที่ 1 ปิด DM-15-05-04-01 และ DM-15-05-05-01 คืนที่ 2 ปิดแค่ DM-15-05-05-01

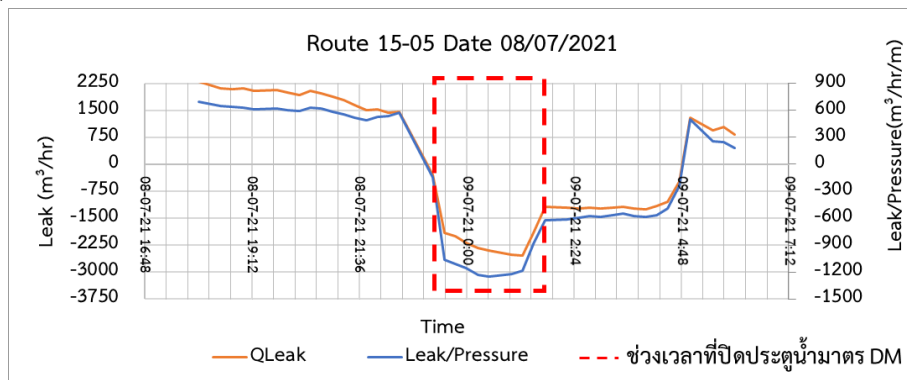
ผลลัพธ์ของสมดุลน้ำรายชั่วโมงคืนที่ 1 และ 2 เป็นดังรูปที่ 15 และรูปที่ 16 ตามลำดับ เหตุที่ Route นี้มีการทำสมดุลน้ำต่างไปเป็นเพราะข้อมูลอัตราการไหลของโรงสูบน้ำจ่ายเป็นรายชั่วโมง ซึ่งค่าอัตราการรั่วไหลนั้นติดลบสูงมาก เพราะ BK03-Phayathai และ BK04-Phayathai จ่ายน้ำน้อยกว่า U231 ที่เป็น outflow ซึ่งไม่ควรเป็นไปได้ คาดว่ามาตร U231 อาจเก็บข้อมูลผิดพลาด จึงทดสอบติดตั้งมาตรวัดค่าการไหลของมาตร U231 เทียบกับค่าในระบบ ผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 17 พบว่าค่าการไหลที่วัดจากการทำงานภาคสนามน้อยกว่าค่าในระบบราว 100-300 ม³/ชม ขณะที่ผลจากสมดุลน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 400 ถึง -600 ม³/ชม ดังนั้นนอกจากจะสรุปได้ว่ามาตร U231 วัดค่าไม่ตรงกับความเป็นจริงแล้ว ยังสรุปได้ว่า BK03-Phayathai และ BK04-Phayathai มีข้อผิดพลาดในการวัดอีกด้วย ทำให้สรุปไม่ได้ว่ามีการรั่วไหลเกิดขึ้นหรือไม่



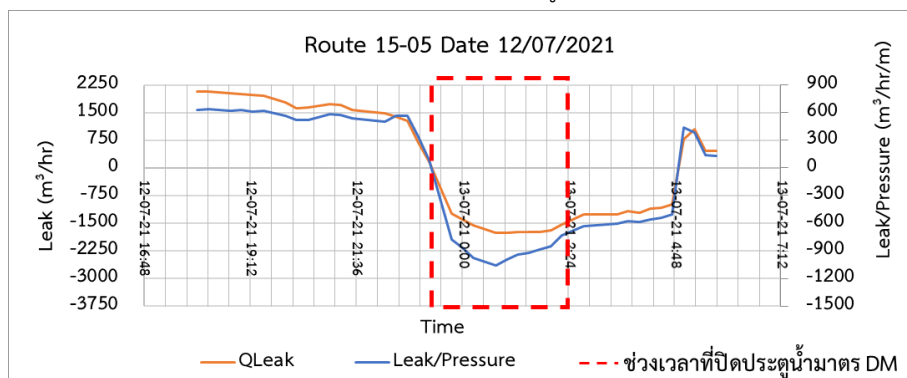
รูปที่ 3 ทิศทางการไหลในแต่ละเส้นทางท่อประปา



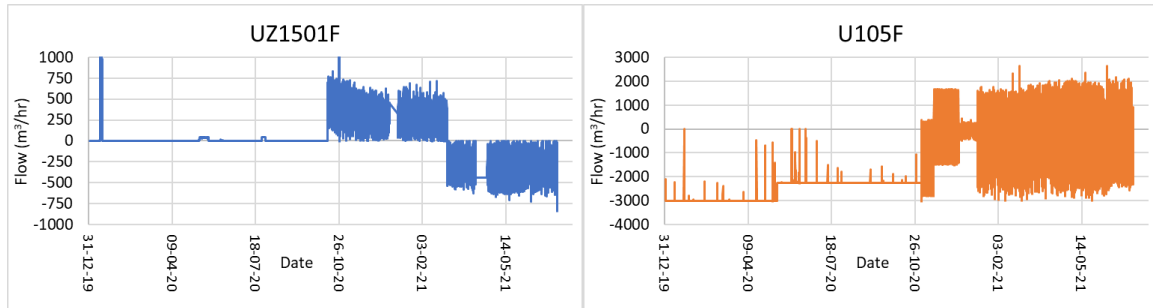
รูปที่ 4 สมดุลน้ำระยะยาว วันที่ 18-25 ธันวาคม 2563 ของเส้นทางท่อประปา 15-05 (บน น้ำรั่ว, ล่าง น้ำรั่วต่อแรงดัน)



รูปที่ 5 สมดุลน้ำของเส้นทางท่อประปา 15-05 ในช่วงที่มีการปิดประตูน้ำมาตร DM คืบที่ 1 (กรอบสี่เหลี่ยมเส้นประสีแดง)



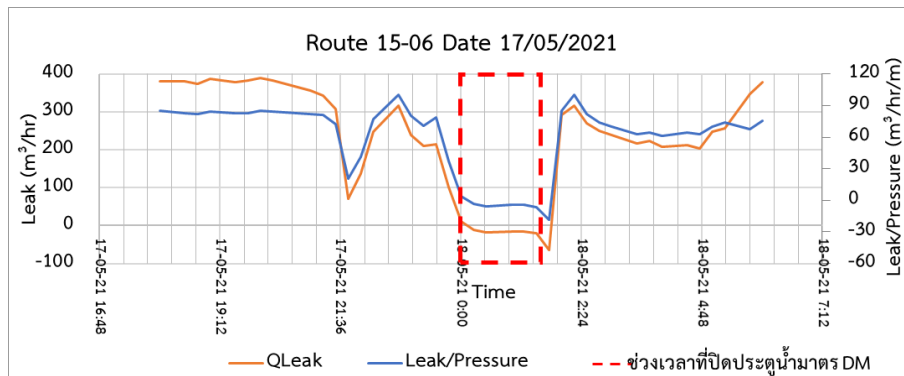
รูปที่ 6 สมดุลน้ำของเส้นทางท่อประปา 15-05 ในช่วงที่มีการปิดประตูน้ำมาตร DM คืบที่ 2 (กรอบสี่เหลี่ยมเส้นประสีแดง)



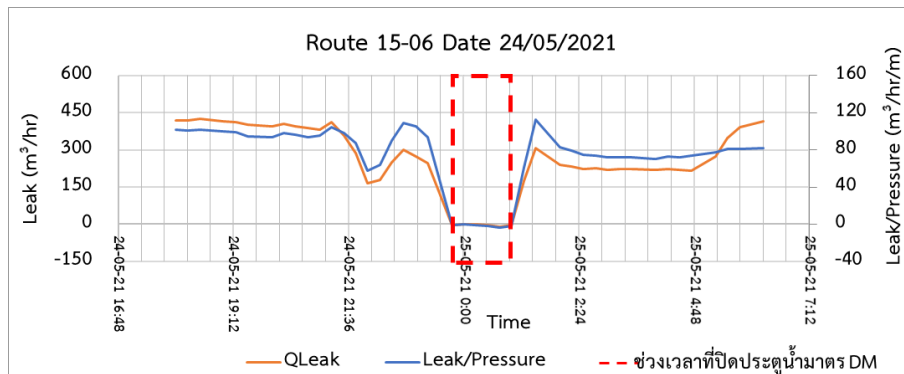
รูปที่ 7 อัตราการไหลของน้ำในมาตร UZ1501 และ U105 1 ม.ค. 2563 ถึง 14 ก.ค. 2564



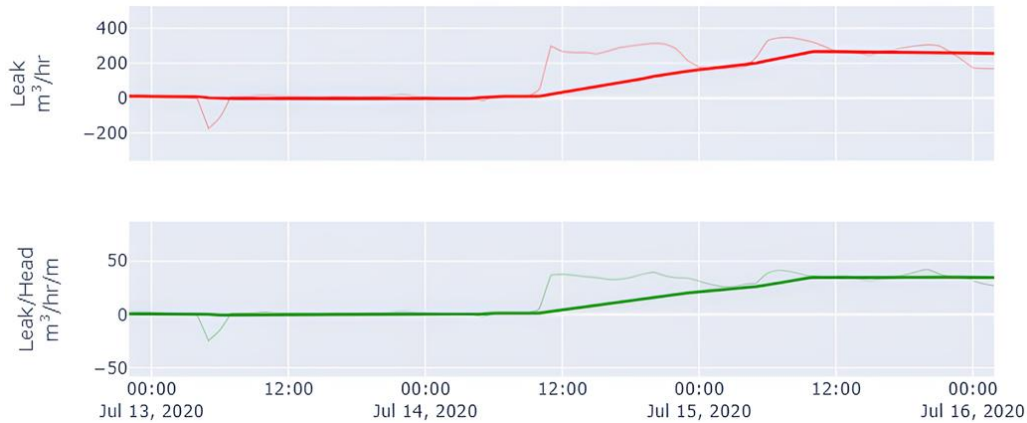
รูปที่ 8 สมดุลน้ำระยะยาว มกราคม ถึง เมษายน 2564 ของเส้นทางท่อประจักษ์ 15-06 (บน น้ำรั่ว, ล่าง น้ำรั่วต่อแรงดัน)



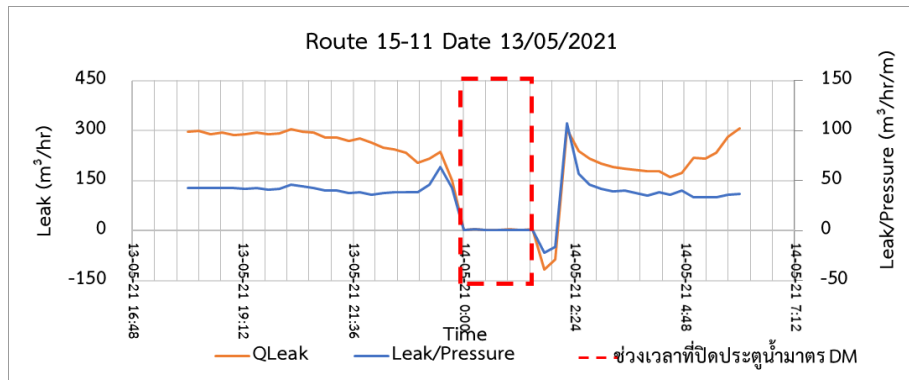
รูปที่ 9 สมดุลน้ำของเส้นทางท่อประจักษ์ 15-06 ในช่วงที่มีการปิดประตูน้ำมาตร DM คินท์ 1 (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง)



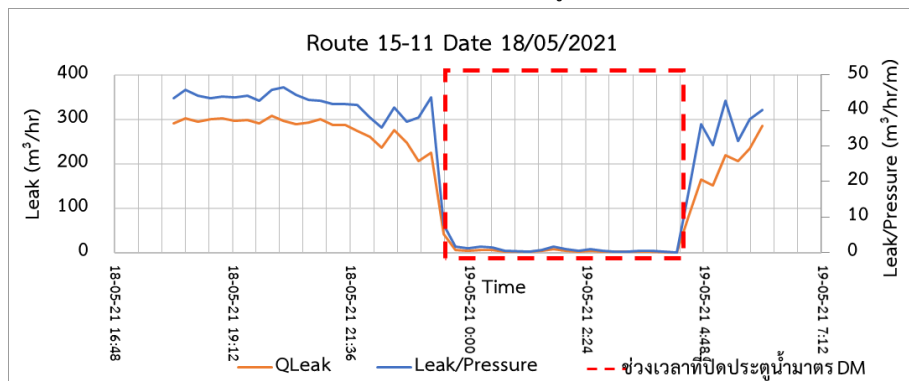
รูปที่ 10 สมดุลน้ำของเส้นทางท่อประจักษ์ 15-06 ในช่วงที่มีการปิดประตูน้ำมาตร DM คินท์ 2 (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง)



รูปที่ 11 สมดุลน้ำระยะยาว วันที่ 13 – 16 กรกฎาคม 2563 ของเส้นทางท่อประปา 15-11 (บน น้ำรั่ว, ล่าง น้ำรั่วต่อแรงดัน)



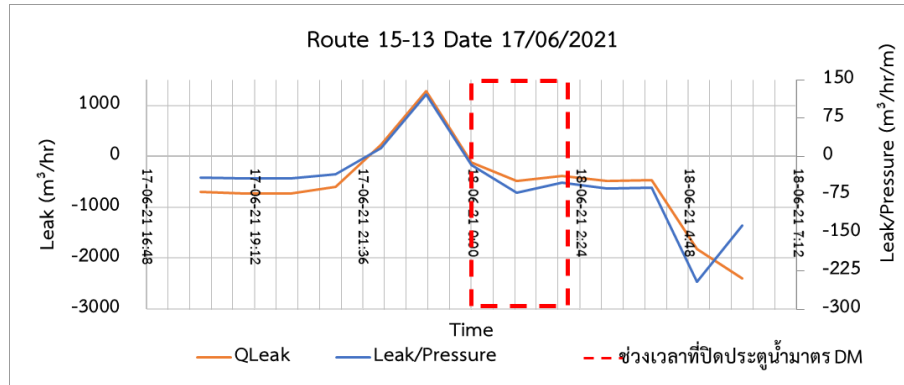
รูปที่ 12 สมดุลน้ำของเส้นทางท่อประปา 15-11 ในช่วงที่มีการปิดประตูน้ำมาตร DM คัดน้ำที่ 1 (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง)



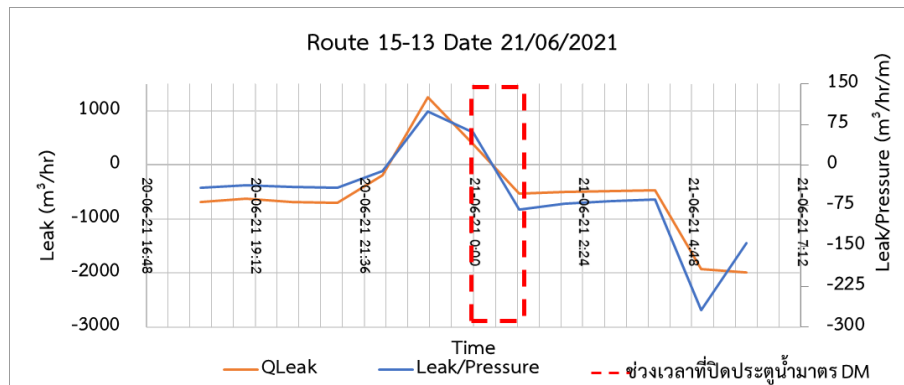
รูปที่ 13 สมดุลน้ำของเส้นทางท่อประปา 15-11 ในช่วงที่มีการปิดประตูน้ำมาตร DM คัดน้ำที่ 2 (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง)



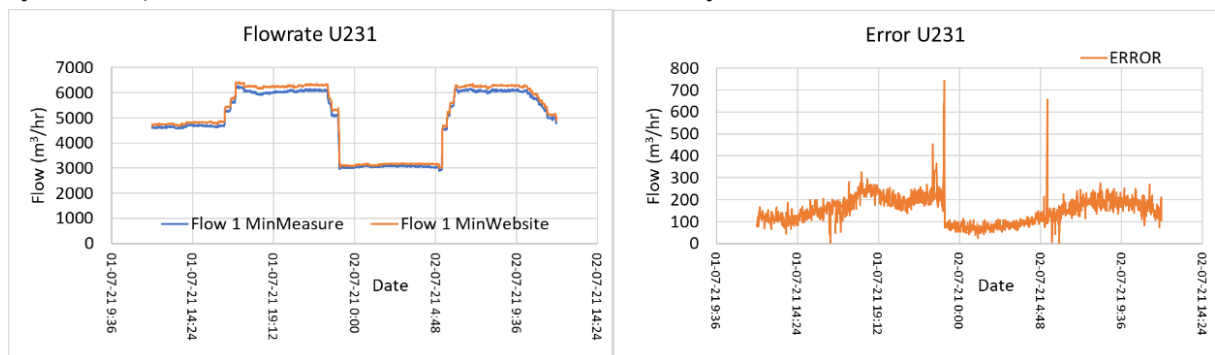
รูปที่ 14 สมดุลน้ำระยะยาว มกราคม ถึง มิถุนายน 2564 ของเส้นทางท่อประปา 15-13 (บน น้ำรั่ว, ล่าง น้ำรั่วต่อแรงดัน)



รูปที่ 15 สมดุลน้ำของเส้นทางท่อประจักษ์ 15-13 ในช่วงที่มีการปิดประตูน้ำมาตร DM คั่นที่ 1 (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง)



รูปที่ 16 สมดุลน้ำของเส้นทางท่อประจักษ์ 15-13 ในช่วงที่มีการปิดประตูน้ำมาตร DM คั่นที่ 2 (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง)



รูปที่ 17 เปรียบเทียบอัตราการไหลจากการวัดภาคสนามและค่าในระบบของมาตรวัด U231 (ซ้าย เปรียบเทียบค่า ขวา ค่าผิดพลาด)

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการทำสมดุลน้ำทั้งแบบระยะยาวและแบบระยะสั้นโดยปิดประตูน้ำมาตร DM ในตอนกลางคืนของทั้ง 4 Route ได้แก่ Route 15-05, 15-06, 15-11 และ 15-13 โดยสมดุลน้ำระยะยาวนั้นพบว่ามีการแกว่งของกราฟมากเกินไปเพราะจำนวนของข้อมูล ทำให้ดูแนวโน้มกราฟยาก รวมถึงบางช่วงยังมีความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดค่าดังที่แสดงในกราฟข้างต้น จึงปรับแก้ค่าเพิ่มด้วยวิธีเฉลี่ย 24 ชั่วโมงเพื่อทำให้กราฟเสถียรยิ่งขึ้น

ผลของสมดุลน้ำระยะยาวนั้น Route 15-05 และ 15-06 ไม่มีการรั่ว ส่วน Route 15-11 เห็นชัดว่ามีการรั่วไหลน้อยมากในช่วงก่อน 14 ก.ค. 2563 และกราฟมีแบบแผนหลังวันดังกล่าว คาดว่าเกิดจากการแบ่งจ่ายน้ำไปยัง BDV และ Route 15-13 ข้อมูลมาตรไม่สมบูรณ์จึงระบุไม่ได้ว่ามีการรั่วไหลหรือไม่

ผลการทำสมดุลน้ำระยะสั้นจากการปิดประตูน้ำมาตร DM Route ละ 2 คั่น พบว่า Route 15-05 และ 15-13 ข้อมูลมาตรไม่สมบูรณ์จึงสรุปไม่ได้ว่ามีการรั่วไหลหรือไม่

ส่วน Route 15-06 เมื่อปิดมาตร DM-15-05-02-01 ที่ไม่สามารถดึงค่ามาได้นั้นพบว่าไม่มีการรั่ว ส่วน Route 15-11 นั้นให้ค่าใกล้เคียงศูนย์เมื่อมีการปิด BDV

เมื่อนำผลลัพธ์จากสมมูลน้ำทั้งสองแบบในงานวิจัยชิ้นนี้มาเทียบกัน เห็นได้ว่าเป็นไปตามเงื่อนไข กล่าวคือการทำสมมูลน้ำระยะยาวจำเป็นต้องมีมาตรที่มีค่าสมบูรณ์ทุกมาตร จึงจะสามารถวิเคราะห์การรั่วไหลได้ เช่น Route 15-05, 15-06 และ 15-11 ที่เห็นผล ขณะที่สมมูลน้ำระยะสั้นสามารถใช้ได้แม้ว่ามาตรสมบูรณ์ไม่ครบทุกมาตร เนื่องจากสามารถปิดเฉพาะมาตรที่เสียได้ เช่น Route 15-06 แต่มีข้อเสียคือหากมาตรที่มีปัญหาเป็นมาตรหลักบนท่อประธาน (U) แล้วจะทำสมมูลน้ำระยะสั้นได้ยาก เพราะปิดมาตรไม่ได้ หากมาตร U เสียขึ้นต้องซ่อมเท่านั้นเพื่อให้ทำสมมูลน้ำในระบบได้ โดยจากการทำสมมูลน้ำในกรณีศึกษาทั้งแบบระยะยาวและระยะสั้นพบว่ามีความคลาดเคลื่อนได้ถึง หลักสิบ $\text{ม}^3/\text{ชม}$

สถาบันวิจัยอุตสาหกรรมน้ำของสหราชอาณาจักร (UK Water Industry Research) ได้ออกคู่มือ Best Practice การแบ่งพื้นที่สำหรับเผื่อรั่วของการรั่วไหลของท่อประธาน ซึ่งมีกรณีศึกษาที่พบค่าความคลาดเคลื่อนของมาตรเฉลี่ยที่ 3.46% และระบบสามารถตรวจพบน้ำรั่วบนเส้นทางหนึ่งมีค่า 320 $\text{ม}^3/\text{ชม}$ (7) ซึ่งงานวิจัยได้ดำเนินงานในลักษณะเดียวกันกับคู่มือดังกล่าวและได้ผลลัพธ์ด้านประสิทธิภาพในการตรวจพบน้ำรั่วใกล้เคียงกัน (ระดับหลักร้อย) แสดงให้เห็นว่า กปน. ควรนำแนวทางการทำสมมูลน้ำนี้ไปเป็นแนวทางพิจารณาเรื่อง Trunk main monitoring zone ในการติดตามน้ำสูญเสียในท่อประธานรวมถึงสามารถวิเคราะห์กรณีมาตรวัดให้ค่าผิดปกติบนเส้นทางอื่น ๆ ในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากการประปานครหลวง ทุนวิจัยเลขที่ กนว. 23/2563 และทุนวิจัยระดับปริญญาโท จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุนวิจัยเลขที่ 64/01/WE/M.Eng และขอขอบพระคุณ นายจารุเดช เก่งรักษัสต์ และนายกันต์ เชิดชู เจ้าหน้าที่การประปานครหลวง ที่ให้ความช่วยเหลืองานภาคสนามอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

1. MWA. Annual report 2019 Metropolitan Waterworks Authority. 2019. Thai
2. Lapprasert S, Pornprommin A, Lipiwattanakam S, Chittaladakorn S. Energy Balance of a Trunk Main Network in Bangkok, Thailand: J AWWA. - Am Water Works Assoc. 2018 Jul; 110(7):E18–27.
3. US300FM UltrasonicFlowmeter (DISCONTINUED) Available from: <https://www.yokogawa.com/th/solutions/products-and-services/measurement/field-instruments-products/flow-meters/magnetic-flowmeters/#Overview> [Accessed 1st October 2021].
4. Magnetic Flowmeters Available from: <https://www.yokogawa.com/th/solutions/products-and-services/measurement/field-instruments-products/flow-meters/magnetic-flowmeters/#Resources>. [Accessed 1st October 2021].
5. Klingel P, Knobloch A. A Review of Water Balance Application in Water Supply. J - Am Water Works Assoc. 2015 Jul;107(7):E339–50.
6. Kanakoudis V, Muhammetoglu H. Urban Water Pipe Networks Management Towards Non-Revenue Water Reduction: Two Case Studies from Greece and Turkey: Urban Water Pipe Networks Management Towards NRW Reduction. CLEAN - Soil Air Water. 2014 Jul;42(7):880–92.
7. Brammer M, Cartwright K, Collins D, Parker S. Best Practice for Upstream Flow Monitoring Zones. London: UK Water Industry Research; 2020.