

## ดัชนีคุณภาพน้ำสำหรับระบบจ่ายน้ำประปา Water Quality Index for Water Distribution System

บุศรินทร์ ไชยเสน<sup>1,\*</sup> นิสภัทร์ วงศ์พัฒน์<sup>2</sup> เหมภัทร ขาติวัฒนานนท์<sup>2</sup> อธิ อัมพรายนัน<sup>2</sup> ปาริฉัตร ปั่นทอง<sup>2</sup>  
กมล วิศาลสวัสดิ์<sup>2</sup> จิรเมธ ช้างคล่อม<sup>1</sup> อติชัย พรพรหมินทร์<sup>1</sup> และ สุรชัย ลิปิวัฒนาการ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

<sup>2</sup> การประปานครหลวง 400 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

\*Corresponding author; E-mail address: busarin.cha@ku.th

### บทคัดย่อ

ระบบจ่ายน้ำที่ดื่มมีหน้าที่จ่ายน้ำให้ผู้ใช้น้ำโดยให้ผู้ใช้น้ำได้รับน้ำที่แรงดันเพียงพอและคุณภาพเหมาะสม ในการควบคุมคุณภาพน้ำ สารที่นิยมใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำคือคลอรีน งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำจากค่าความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือในระบบจ่ายน้ำ คือ ดัชนีคุณภาพน้ำของแคนาดาแบบปรับปรุง (MCWQI) และดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัย (SWQI) ในพื้นที่เฝ้าระวังของการประปานครหลวง

ผลการศึกษพบว่า ค่าดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 69.30 แสดงว่าคุณภาพน้ำของพื้นที่เฝ้าระวังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย ส่วนค่าดัชนีคุณภาพน้ำของแคนาดาแบบปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 93.98 แสดงว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม อย่างไรก็ตามค่า MCWQI ไม่ได้ระบุสาเหตุการลดคุณภาพน้ำส่วนที่ไม่ผ่านเกณฑ์เกิดจากค่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือสูงหรือต่ำเกินไป และเมื่อวิเคราะห์ค่า MCWQI รายชั่วโมงพบว่าค่าผันแปรตามเวลาส่งผลให้ค่าเกณฑ์คุณภาพน้ำผันแปรตามเวลาตั้งแต่พอใช้ถึงดีเยี่ยม ดังนั้นการวิเคราะห์ค่า MCWQI รายชั่วโมงสามารถนำมาประกอบการบริหารจัดการคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น

คำสำคัญ: ดัชนีคุณภาพน้ำ, ระบบจ่ายน้ำประปา, พื้นที่เฝ้าระวัง

### Abstract

Good water distribution systems should provide good quality water with enough pressure for customers. For controlling water quality, chlorine is one of the most used chemicals. This research analyzed two water quality indices from free residual chlorine concentration in the system that are a modified Canadian water quality index (MCWQI) and a safety water quality index (SWQI) in a district metering area (DMA) of Metropolitan Waterworks Authority.

The results showed that the SWQI is 69.30 meaning the DMA can be considered as safe. The MCWQI is 93.98 which means the DMA water quality is excellent. However, the MCWQI value did not indicate whether the problem was from low or high free residual chlorine concentration in the network. When the MCWQI was hourly calculated, we found that the hourly MCWQI are varied resulting in water quality condition ranging from fair to excellent. Therefore, hourly MCWQI analysis can be used for a better water quality management.

Keywords: Water Quality Index, Water Distribution System, District Metering Area

### 1. คำนำ

ระบบจ่ายน้ำที่ดื่มมีหน้าที่จ่ายน้ำให้ผู้ใช้น้ำ โดยต้องคำนึงถึงประโยชน์ของผู้รับบริการ ระบบจ่ายน้ำที่ดีควรจ่ายน้ำที่มีแรงดันเพียงพอและน้ำไม่มีเชื้อโรคเจือปน การพิจารณาว่าระบบจ่ายน้ำว่าดีหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากความน่าเชื่อถือของระบบจ่ายน้ำ ซึ่งความน่าเชื่อถือนี้อาจแบ่งได้เป็นเชิงเครื่องกลและเชิงศาสตร์ [1] ในส่วนของคุณภาพน้ำจะตรวจวัดจากค่าสารกำจัดเชื้อโรคซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถของระบบจ่ายน้ำในการกำจัดเชื้อโรค โดยค่าความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือเป็นหนึ่งในสารกำจัดเชื้อโรคที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถคงอยู่ในระบบได้ [2]

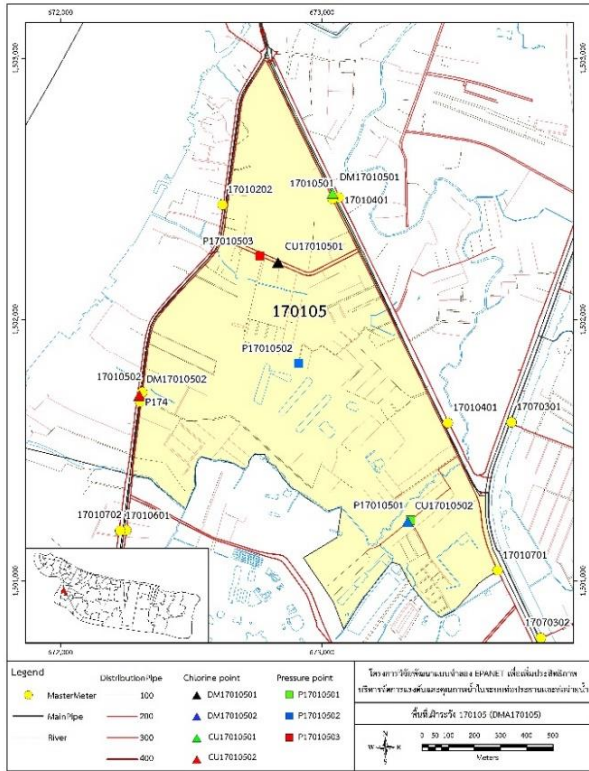
ค่าดัชนีที่สามารถบ่งบอกความน่าเชื่อถือทางศาสตร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ค่าดัชนีความยืดหยุ่น (Resilience Index) ที่ได้รับการพัฒนาโดย Todini, E. Prasad, T. D. และ Jayaram et al. [3-5] ซึ่งเป็นการพิจารณาพลังงานทางศาสตร์ส่วนเกินในรูปของสัดส่วนของพลังงานศาสตร์ที่มีอยู่ ในส่วนของคุณภาพน้ำ ค่าดัชนีคุณภาพน้ำของแคนาดา (Canadian Water Quality Index, CWQI) นิยมนำมาใช้ เพราะเป็นดัชนีที่สะท้อนจำนวน ความถี่ และขนาดความรุนแรงของคุณภาพน้ำ [6] อย่างไรก็ตามดัชนีคุณภาพน้ำของแคนาดานำมาใช้กับคุณภาพของแหล่งน้ำเป็นหลัก [6] สำหรับระบบจ่ายน้ำประปา Damo et al. [7] ได้นำดัชนีคุณภาพน้ำของแคนาดามาใช้โดยใช้ตัวแปรคุณภาพน้ำจำนวน 11 ตัวแปรและเก็บตัวอย่างน้ำ 6 ตำแหน่งในระบบจ่ายน้ำประปา โดยเก็บตัวอย่างเพียงเดือนละครั้ง ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมพื้นที่การจ่ายน้ำทั้งหมด Islam et al. [8] ได้ประยุกต์ใช้ค่า CWQI กับค่าความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือเพียงตัวเดียวเพื่อใช้ในการหาความเหมาะสมในการติดตั้ง Chlorine Booster

การประปานครหลวงใช้ระบบพื้นที่เฝ้าระวังในการควบคุมน้ำสูญเสียและบางส่วนใช้ควบคุมแรงดันในพื้นที่ให้บริการ และใช้ค่าความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือในการควบคุมด้านคุณภาพน้ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำของระบบจ่ายน้ำ จากดัชนีคุณภาพน้ำของแคนาดาแบบปรับปรุง และเสนอดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัยเพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการคุณภาพน้ำในพื้นที่เฝ้าระวังต่อไป

### 2. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้ คือ พื้นที่เฝ้าระวัง DMA170105 ของสำนักงานประปาสาขาสมุทรปราการ มีพื้นที่ให้บริการ 1.38 ตารางกิโลเมตร ผู้ใช้น้ำ 2,297 ราย น้ำจ่ายเข้าพื้นที่ภายในพื้นที่ 169,461

ลบ.ม./เดือน มีน้ำขาย 112,353 ลบ.ม./เดือน น้ำสูญเสียเท่ากับ 56,451 ลบ.ม./เดือน คิดเป็นร้อยละ 33.31 และมีความยาวท่อในระบบส่งน้ำและจ่ายน้ำ 25.1 กิโลเมตร



รูปที่ 1 พื้นที่เฝ้าระวัง DMA170105

พื้นที่เฝ้าระวัง DMA170105 มีการสำรวจค่าแรงดันภาคสนามจำนวน 3 จุด และสำรวจค่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือจำนวน 2 จุด แสดงดังรูปที่ 1 จุดตรวจวัดแรงดันในพื้นที่แสดงด้วยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยม ได้แก่ จุด P17010501 P17010502 และ P17010503 ส่วนจุดตรวจวัดค่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือแสดงด้วยสัญลักษณ์สามเหลี่ยม โดยมีการตรวจวัดที่จุดน้ำเข้าจำนวน 2 จุด ได้แก่ จุด DM17010501 และ DM17010502 และตรวจวัดภายในพื้นที่ 2 จุด ได้แก่ จุด CU17010501 และ CU17010502

### 3. วิธีการ

#### 3.1 การจำลองระบบโครงข่ายท่อประปา

การจำลองระบบโครงข่ายท่อประปาได้ใช้โปรแกรม EPANET Rossman, L. A. [9] ได้อธิบายแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET Version 2.0 ว่าเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่จำลองทั้งด้านไฮดรอลิกและคุณภาพน้ำภายในโครงข่ายท่อแรงดันสูง ซึ่งเครือข่ายประกอบด้วยท่อ, จุดหรือโหนด (รอยต่อท่อ) เครื่องสูบน้ำ วาล์วและถังเก็บหรืออ่างเก็บน้ำ EPANET สามารถคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำในแต่ละท่อ ความดันในแต่ละโหนด ความสูงของน้ำในแต่ละถัง และความเข้มข้นของสารเคมีชนิดต่าง ๆ ทั่วทั้งโครงข่ายท่อประปาในช่วงระยะเวลาที่ทำการจำลอง นอกจากชนิดของสารเคมีแล้วยังสามารถจำลองอายุของน้ำได้ด้วย

เมื่อสร้างแบบจำลองโครงข่ายท่อจากข้อมูลพื้นฐานของการประปานครหลวง (กปน.) แล้วจะต้องมีการเปรียบเทียบแบบจำลอง ซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การเปรียบเทียบแบบจำลองทางด้านชลศาสตร์ และ 2) การเปรียบเทียบแบบจำลองด้านคุณภาพน้ำ โดยการเปรียบเทียบแบบจำลองด้าน

ชลศาสตร์ คือการสอบเทียบอัตราการไหลและแรงดันน้ำ เพื่อให้สามารถจำลองสภาวะการไหลและแรงดันในระบบโครงข่ายท่อได้อย่างถูกต้อง โดยการปรับค่าตัวแปรที่สำคัญ 2 ตัวแปร ได้แก่ ค่า Emitter Coefficient และรูปแบบความต้องการใช้น้ำ (Demand Pattern)

เมื่อแบบจำลองโครงข่ายท่อประปาผ่านการสอบเทียบทางด้านชลศาสตร์ คือ สมดุลน้ำและแรงดันน้ำแล้ว จะสามารถเป็นตัวแทนสภาพการไหลของโครงข่ายจริง ซึ่งจะสะท้อนไปถึงอายุน้ำที่สอดคล้องกับสภาพจริงด้วย เนื่องจากค่าคุณภาพน้ำ ในที่นี้คือค่าความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือ จะมีการสลายตัวตามเวลา

ดังนั้น ในการสอบเทียบแบบจำลองด้านคุณภาพน้ำ จึงเป็นการสอบเทียบค่าความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือจากการสำรวจวัดค่าคลอรีนในสนามเทียบกับผลจากแบบจำลอง โดยการปรับค่าอัตราการสลายตัวของคลอรีนจากการทำปฏิกิริยากับ Biofilm ที่ผนังท่อ (Wall Decay Coefficient, kw) จนได้ค่าที่สอดคล้องกัน ซึ่งในพื้นที่เฝ้าระวัง DMA170105 นี้ได้ทำการสอบเทียบค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ 2 จุด ได้แก่ จุด CU17010501 และ จุด CU17010502 ซึ่งการตรวจวัดค่าคลอรีนอิสระคงเหลือนี้มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่ลงสนามตรวจวัด ทำให้สามารถตรวจวัดได้เพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ

ผลการสอบเทียบแสดงได้จากค่าทางสถิติ 2 ค่า ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient,  $r$ ) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error, MAE) ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \sqrt{n \left( \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} \quad (2)$$

เมื่อ  $x_i$  และ  $y_i$  คือ ค่าจากการตรวจวัด และค่าจากแบบจำลองตามลำดับ และ  $n$  คือจำนวนค่าที่ตรวจวัด

#### 3.2 ดัชนีคุณภาพน้ำ (Water Quality Index, WQI)

##### 3.2.1 ดัชนีคุณภาพน้ำของแคนาดาแบบปรับปรุง (Modified Canadian Water Quality Index, MCWQI)

การประเมินความน่าเชื่อถือด้านคุณภาพน้ำสามารถประเมินโดยวิเคราะห์จากค่า CWQI ซึ่งประเมินจาก 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อัตราส่วนจำนวนตัวแปรคุณภาพน้ำที่ไม่ผ่านเกณฑ์เมื่อเทียบกับตัวแปรที่ตรวจวัดทั้งหมด ( $F1$ ) อัตราส่วนเหตุการณ์ที่คุณภาพน้ำไม่ผ่านเกณฑ์เทียบกับจำนวนเหตุการณ์ที่วิเคราะห์ทั้งหมด ( $F2$ ) และขนาดของความรุนแรงของเหตุการณ์ที่คุณภาพน้ำไม่ผ่านเกณฑ์ ( $F3$ ) [3],[5] โดยแสดงดังสมการที่ (3)-(7)

$$F1 = \frac{\text{จำนวนตัวแปรที่ไม่ผ่านคุณภาพน้ำ}}{\text{จำนวนตัวแปรทั้งหมด}} \quad (3)$$

$$F2 = \frac{\text{จำนวนเหตุการณ์ที่คุณภาพน้ำไม่ผ่าน}}{\text{จำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด}} \quad (4)$$

$$F3 = \frac{nsfe}{0.005nsfe + 0.005} \quad (5)$$

$$nsfe = \frac{\sum_{i=1}^n FE}{\text{จำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด}} \quad (6)$$

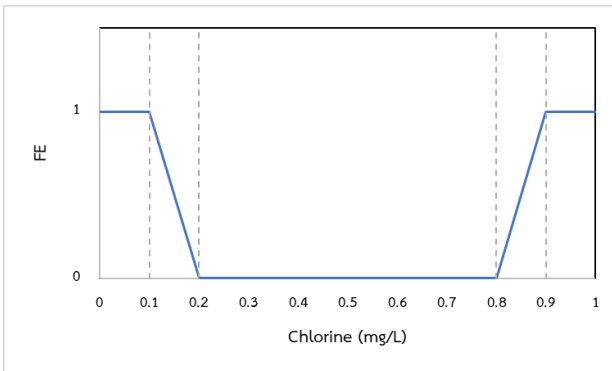
$$MCWQI = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \quad (7)$$

เมื่อ  $FE$  คือ Fuzzy Excursion ซึ่งค่าเป็น 0 เมื่อคุณภาพน้ำผ่านเกณฑ์ และมีค่าเป็น 1 เมื่อคุณภาพน้ำไม่ผ่านเกณฑ์อย่างสมบูรณ์ และมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 เมื่อคุณภาพน้ำอยู่ระหว่างผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยกรอบค่าความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือต่ำสุดคือ 0.2 มก./ล. ตามข้อแนะนำของ WHO [10] ส่วนค่าสูงสุดนั้นไม่ได้ระบุชัดเจน แต่ในข้อแนะนำมาตรฐานน้ำดื่มของออสเตรเลียระบุว่าหากค่าเกิน 0.6 มก./ล. จะเริ่มมีกลิ่นคลอรีน [11] อย่างไรก็ตาม Islam [8] เสนอว่าการควบคุมให้ค่าคลอรีนอิสระคงเหลือไม่เกิน 0.6 มก./ล. นั้นทำได้ยากในทางปฏิบัติ จึงเสนอให้ใช้ค่า 0.8 มก./ล. ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่า 0.8 มก./ล. ในการศึกษา เนื่องจากมีตัวแปรคุณภาพน้ำเพียงตัวเดียว จึงไม่จำเป็นต้องใช้ค่า  $F1$  ส่งผลให้สมการคำนวณ  $MCWQI$  เปลี่ยนเป็น ดังสมการที่ (8)

$$MCWQI = 100 - \frac{\sqrt{F2^2 + F3^2}}{1.4142} \quad (8)$$

โดยค่า 1.4142 เป็นตัวปรับแก้ให้ค่า  $MCWQI$  อยู่ระหว่าง 0-100

$MCWQI$  มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 โดยที่มีเกณฑ์กำหนดคุณภาพน้ำดังนี้ 0-20 อยู่ในเกณฑ์ต่ำ (Poor) 21-50 อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ (Marginal) 51-70 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ (Fair) 71-80 อยู่ในเกณฑ์ดี (Good) 81-90 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก (Very Good) และ 91-100 อยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม (Excellent) [5]



รูปที่ 2 การประเมินค่า Fuzzy excursion

### 3.2.2 ดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัย (Safety Water Quality Index, SWQI)

ในการคำนวณค่าดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัย ต้องประเมินค่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ผู้ใช้ได้รับ ( $M_C$ ) เมื่อ  $C$  แทนผู้ใช้ (Customer) เทียบกับค่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือต่ำสุด ( $M_{C,MIN}$ ) และปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือสูงสุด ( $M_{C,MAX}$ ) โดยสามารถประเมินได้จากสมการที่ (9) - (11)

$$M_C = \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{i_c=1}^{n_c} Q_{C,i,i_c} C_{C,i,i_c} \Delta t \quad (9)$$

เมื่อ  $Q_C$  คือ ปริมาณการใช้น้ำที่ส่งไปยังผู้ใช้  $C_C$  เป็นปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ส่งไปยังผู้ใช้ และ  $n_C$  และ  $n_i$  คือ จำนวนผู้ใช้ในพื้นที่และจำนวนชั่วโมงที่พิจารณา ซึ่งก็คือ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

ในการประเมินตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพนี้จะมีการเสนอตัวแปร 2 ตัว ได้แก่  $M_{C,MIN}$  คือ ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ส่งมอบให้กับผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาต ในขณะที่ตอบสนองทั้งความต้องการและเกณฑ์ความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ และ  $M_{C,MAX}$  คือ ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือสูงสุดที่ส่งมอบให้กับผู้ใช้ ดังนั้น

$$M_{C,MIN} = \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{i_c=1}^{n_c} Q_{C,i,i_c} C_{C,i,i_c}^{MIN} \Delta t \quad (10)$$

$$M_{C,MAX} = \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{i_c=1}^{n_c} Q_{C,i,i_c} C_{C,i,i_c}^{MAX} \Delta t \quad (11)$$

โดย  $C_{C,i,i_c}^{MIN}$  และ  $C_{C,i,i_c}^{MAX}$  เป็นปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือขั้นต่ำและสูงสุดตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

เพื่อประเมินความปลอดภัยของระบบโครงข่ายน้ำด้านคุณภาพน้ำ งานวิจัยนี้จึงเสนอดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัย (SWQI) แสดงดังสมการที่ (12) โดยเป็นอัตราส่วนของผลต่างระหว่างปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ผู้ใช้ได้รับ ( $M_C$ ) และปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือต่ำสุดที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย และผลต่างระหว่างปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือสูงสุดและต่ำสุด

$$SWQI = \frac{M_C - M_{C,MIN}}{M_{C,MAX} - M_{C,MIN}} \times 100 \quad (12)$$

โดยที่  $M_C$  คือ ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ส่งให้ผู้ใช้

$M_{C,MIN}$  คือ ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ผู้ใช้ได้รับภายใต้เกณฑ์ความเข้มข้นต่ำสุด

$M_{C,MAX}$  คือ ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ผู้ใช้ได้รับภายใต้เกณฑ์ความเข้มข้นสูงสุด

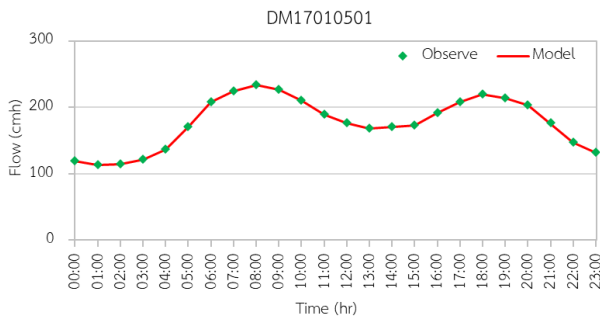
โดยกรอบค่าความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือต่ำสุดและสูงสุดคือ 0.2-0.8 มก./ล. เพื่อให้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่า  $MCWQI$  ค่า  $SWQI$  เป็นดัชนีแสดงค่าความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือเฉลี่ยที่ส่งให้ผู้ใช้ ว่าอยู่ในขอบเขตมาตรฐานความปลอดภัยสูงสุดและต่ำสุด โดย  $SWQI$  ควรอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 เมื่อค่า  $SWQI$  เข้าใกล้ 0 หมายถึง ความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือเฉลี่ยที่ผู้ใช้นั้นมีค่าใกล้เกณฑ์ขั้นต่ำ และค่า  $SWQI$  เข้าใกล้ 100 หมายถึง ความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือเฉลี่ยที่ผู้ใช้นั้นมีค่าใกล้เกณฑ์สูงสุด อย่างไรก็ตาม  $SWQI$  น้อยกว่า 0 หรือมากกว่า 100 แสดงว่าโดยเฉลี่ยความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือ ที่ผู้ใช้นั้นต่ำกว่าระดับความปลอดภัยขั้นต่ำหรือสูงสุดตามลำดับ

## 4. ผลการศึกษา

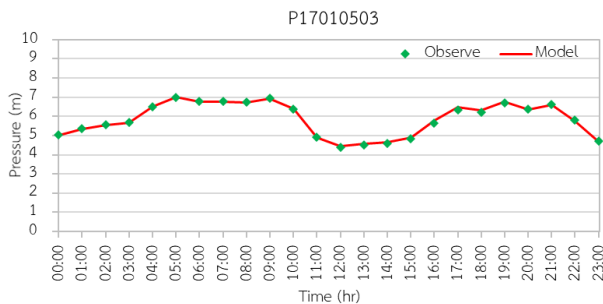
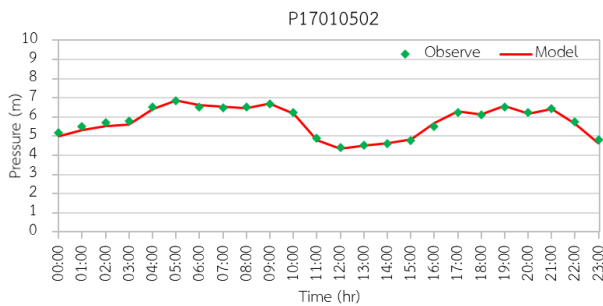
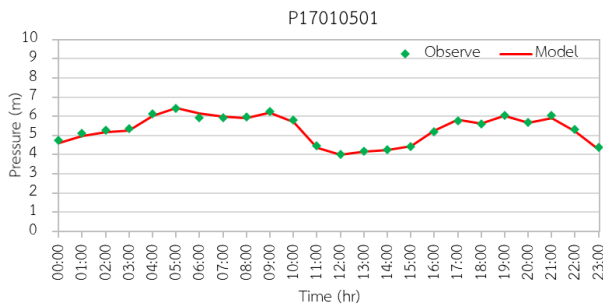
### 4.1 ผลการจำลองโครงข่ายท่อประปา

รูปที่ 3 แสดงผลการสอบเทียบโดยใช้ค่าอัตราการไหลในพื้นที่ฝักระวัง DMA170105 และรูปที่ 4 แสดงผลการสอบเทียบโดยใช้ค่าแรงดัน ณ จุดตรวจวัดทั้ง 3 จุดในพื้นที่ฝักระวัง DMA170105 พบว่า มีค่าอัตราการไหลและแรงดันใกล้เคียงกับค่าตรวจวัด และกราฟมีแนวโน้มขึ้นลงไปตามค่าตรวจวัดในทุกช่วงเวลา ซึ่งมีค่าทางสถิติจากการสอบเทียบค่าอัตราการไหลได้แก่  $r$  เท่ากับ 0.999 และค่า  $MAE$  เท่ากับ 0.652 (CMH) ส่วนค่าทางสถิติจากการสอบเทียบค่าแรงดัน แสดงดังตารางที่ 1 โดยพบว่าค่าอัตราการไหลและค่าแรงดันที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีค่าสอดคล้องกับค่าอัตราการไหล

และค่าแรงดันจากการตรวจวัดเป็นอย่างมาก มีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แสดงว่าแบบจำลองที่จัดทำขึ้นสามารถเป็นตัวแทนของสภาพโครงข่ายท่อประปาจริงในเชิงพลศาสตร์



รูปที่ 3 ผลการสอบเทียบอัตราการไหล



รูปที่ 4 ผลการสอบเทียบแรงดัน

ตารางที่ 1 ค่า r และ MAE ของค่าแรงดัน

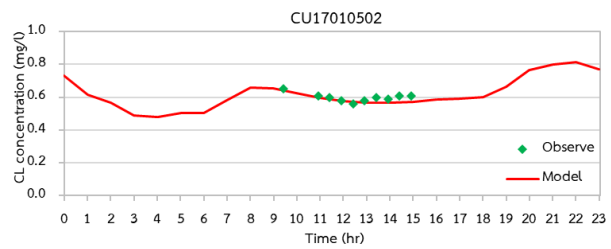
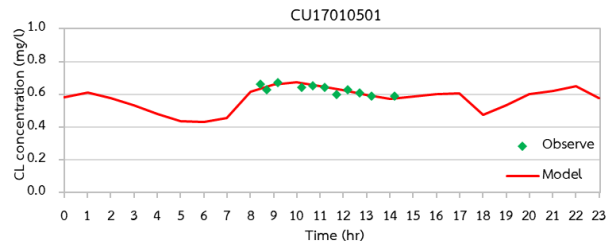
DMA	จุดที่	Correlation	MAE (m)
170105	P17010501	0.99	0.08
	P17010502	0.99	0.08
	P17010503	1.00	0.04

จากการสอบเทียบด้านคุณภาพน้ำในพื้นที่เฝ้าระวัง DMA170105 พบว่า ค่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือจากแบบจำลองให้ผลที่สอดคล้องและใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 5 และแสดงค่าทางสถิติที่ได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองสามารถ

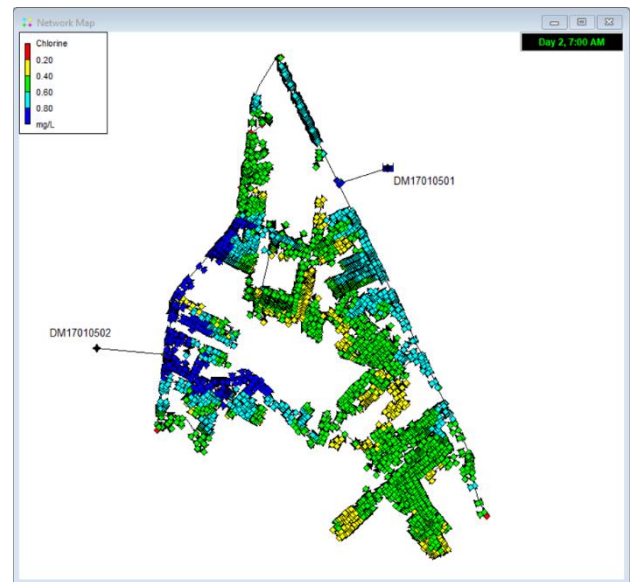
จำลองปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในระบบจ่ายน้ำได้อย่างสอดคล้องกับสภาพจริงและสามารถใช้ผลจากแบบจำลองไปวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำได้ต่อไป และรูปที่ 6 แสดงผลการจำลองคลอรีนที่เวลา 07.00 น. ในพื้นที่เฝ้าระวัง DMA170105

ตารางที่ 2 ค่า r และ MAE ของค่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ

DMA	จุดที่	Correlation	MAE (mg/L)
170105	CU17010501	0.77	0.02
	CU17010502	0.75	0.02



รูปที่ 5 ผลการสอบเทียบความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือ



รูปที่ 6 แสดงผลการจำลองคลอรีนอิสระคงเหลือที่เวลา 07.00 น.

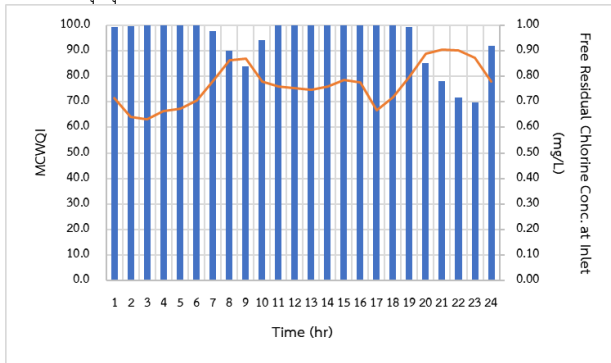
จากผลการจำลองปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือดังกล่าวพบว่าค่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำ (0.2 มก./ล.) สำหรับจุดผู้ใช้น้ำทุกจุด โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 0.6-0.8 มก./ล. ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นที่เฝ้าระวัง DMA170105 นี้มีค่าคุณภาพน้ำที่ดีมาก มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้น้ำ

#### 4.2 ดัชนีคุณภาพน้ำแคนาดาแบบปรับปรุง MCWQI



เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือที่จุดผู้ใช้น้ำทั้งหมด 2,297 ราย โดยพิจารณาการจำลอง 24 ชั่วโมง หรือ 55,128 เหตุการณ์พบว่า มีค่าคลอรีนอิสระคงเหลือที่ไม่ได้ตามเกณฑ์ (0.2-0.8 มก./ล.) จำนวนทั้งสิ้น 3,170 เหตุการณ์ และเมื่อวิเคราะห์ค่าผลรวม Fuzzy Excursion พบว่ามีค่าเท่ากับ 1784.13 ดังนั้นค่า  $F2 = 5.75 [(3170/55128) \times 100]$  และ nsfe มีค่าเท่ากับ 6.27  $[(1784.13/55,128) \times 100]$  และได้ค่า MCWQI = 93.98 แสดงว่าคุณภาพน้ำของพื้นที่เฝ้าระวังอยู่ในเกณฑ์ยอดเยี่ยม อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในรายละเอียดพบว่าเหตุการณ์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ทั้งหมดของพื้นที่เฝ้าระวังนี้ เป็นค่าที่มากกว่า 0.8 มก./ล. แสดงว่าปัญหาคอนคุณภาพน้ำที่อยู่เล็กน้อยในพื้นที่เฝ้าระวังจะส่งผลในเรื่องกลิ่นคลอรีนรบกวนผู้ใช้น้ำมากกว่าปัญหาในเรื่องการกำจัดเชื้อโรคที่ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.2 มก./ล. ดังนั้น การพิจารณาเพียงค่า MCWQI โดยไม่ลงรายละเอียดอาจไม่สามารถระบุปัญหาคุณภาพน้ำที่ชัดเจนได้ ในอนาคตควรมีการพิจารณาดัชนี MCWQI ทั้งในด้านที่ต่ำกว่าเกณฑ์และค่าที่สูงกว่าเกณฑ์แยกออกจากกัน

เมื่อนำค่า MCWQI มาพิจารณารายชั่วโมงในรอบ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าค่าดัชนีคุณภาพน้ำแปรผันตามเวลา อยู่ในเกณฑ์ตั้งแต่พอใช้ถึงดีเยี่ยม โดยช่วงเวลาที่คุณภาพน้ำมีค่าเกินเกณฑ์มากที่สุดจะอยู่ในช่วงเช้า (07.00-10.00 น.) และช่วงค่ำ (20.00-24.00 น.) ซึ่งเกิดจากการที่ความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือที่จุดจ่ายน้ำมีค่าสูงในช่วงเวลาดังกล่าว ส่งผลให้ค่าดัชนีคุณภาพน้ำลดลง ดังนั้นผลวิเคราะห์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประกอบการลดความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือได้ในช่วงเวลาดังกล่าว เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ

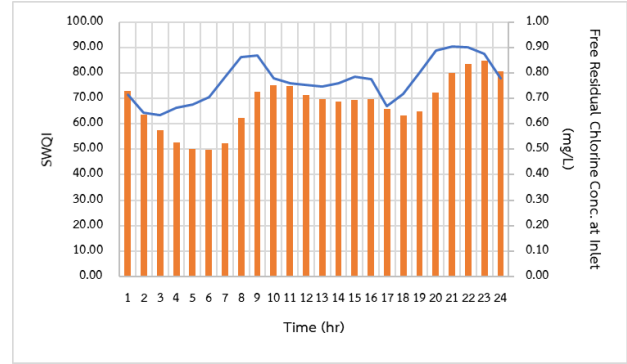


รูปที่ 7 ค่า MCWQI ตามเวลา

#### 4.3 ดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัย (Safety Water Quality Index, SWQI)

เมื่อพิจารณามวลคลอรีนอิสระคงเหลือที่จุดผู้ใช้น้ำทั้งหมด 2,297 ราย พบว่า ค่า  $M_c$  เท่ากับ 2890.3 กรัม/ชม. ค่า  $M_{c, MIN}$  เท่ากับ 938.7 กรัม/ชม. และค่า  $M_{c, MAX}$  เท่ากับ 3754.9 กรัม/ชม. จึงทำให้ได้ค่า SWQI เท่ากับ 69.3 ซึ่งหมายความว่า มวลคลอรีนอิสระคงเหลือเฉลี่ยที่จุดผู้ใช้น้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (0.2-0.8 มก./ล.) ค่อนข้างสูงถึงได้ว่าพื้นที่เฝ้าระวัง DMA170105 นี้มีค่าคุณภาพน้ำปลอดภัย

เมื่อนำค่า SWQI มาวิเคราะห์รายชั่วโมง โดยพล็อตร่วมกับค่าความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือที่จุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าค่าดัชนีคุณภาพน้ำ SWQI แปรผันตามเวลา โดยมีค่าความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลืออยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูงตลอดทุกช่วงเวลา มีค่าอยู่ระหว่าง 50-80 และจากค่าความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือที่จุดจ่ายน้ำที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 มก./ล. บ่งชี้ว่าสามารถลดค่าความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือที่จุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ได้ ทั้งนี้อาจจะต้องระมัดระวังในช่วงเวลาที่ดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัยมีค่าลดลง ซึ่งจะอยู่ในช่วงเช้าและช่วงเย็น เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการใช้น้ำมาก



รูปที่ 8 ค่า SWQI ตามเวลา

#### 5. บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ดัชนีคุณภาพน้ำต่อระบบจ่ายน้ำประปา โดยได้เสนอค่าดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัย (Safety Water Quality Index, SWQI) และประยุกต์ใช้ดัชนีคุณภาพน้ำของแคนาดาแบบปรับปรุง (Modified Canadian Water Quality Index, MCWQI) ต่อค่าความเข้มข้นคลอรีนอิสระคงเหลือที่เป็นตัวแปรคุณภาพน้ำในระบบจ่ายน้ำประปา ผลการศึกษาสรุปได้ว่า

ดัชนีคุณภาพน้ำของแคนาดาแบบปรับปรุงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือในระบบจ่ายน้ำประปาได้ โดยสามารถระบุเกณฑ์คุณภาพน้ำได้ พบว่าในพื้นที่ที่ศึกษามีค่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ยอดเยี่ยม อย่างไรก็ตามเกณฑ์คุณภาพน้ำได้รวมทั้งส่วนที่ค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานและน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งยังไม่สามารถแยกพิจารณาออกจากกันได้ และเมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำของแคนาดาแบบปรับปรุงรายชั่วโมงจะสามารถนำมาใช้ประกอบการบริหารจัดการคุณภาพน้ำประปาได้เป็นอย่างดี

ดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัยสามารถใช้เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำภายในพื้นที่ โดยมองเป็นค่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือเฉลี่ยของพื้นที่ พบว่าในพื้นที่ที่ศึกษามีค่าคุณภาพน้ำปลอดภัย ซึ่งค่าดัชนีนี้อาจมีข้อบกพร่องในส่วนที่ค่าเฉลี่ย อาจไม่สามารถบอกถึงการกระจายของค่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือสำหรับผู้ใช้น้ำในพื้นที่ทั้งหมดได้ ทั้งนี้ การพิจารณาค่าดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อความปลอดภัยรายชั่วโมงก็สามารถนำไปเป็นตัวแทนเพื่อพิจารณาค่าคุณภาพน้ำ ในช่วงเวลาที่ควรได้รับการปรับปรุงต่อไป

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยพัฒนาแบบจำลอง EPANET เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพบริหารจัดการแรงดันและคุณภาพน้ำในระบบท่อประปาและท่อจ่ายน้ำ ที่ได้รับการสนับสนุนจากการประปานครหลวง

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Atkinson, S., Farmani, R., Memon, F. A. and Butler, D., 2014, Reliability Indicators for Water Distribution System Design: Comparison, J. Water Resour. Plann. Manage., 140(2): 160-168
- [2] USEPA. (2004). The Effectiveness of Disinfectant Residuals in the Distribution System. Environmental Protection. Washington DC.
- [3] Todini, E., 2000. Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach. Urban water, 2(2), pp.115-122.

- [4] Prasad, T. D., and Park, N.-S. (2004). "Multiobjective genetic algorithms for design of water distribution networks." J. Water Resour. Plann. Manage.,130:1(73), 73–82.
- [5] Jayaram, N., and Srinivasan, K. (2008). "Performance-based optimal design and rehabilitation of water distribution networks using life cycle costing." Water Resour. Res., 44(1), W01417.
- [6] Davies, J., 2006, Application and Tests of the Canadian Water Quality Index for Assessing Changes in Water Quality in Lakes and Rivers of Central North America, Lake and Reservoir Management, 22:4, 308-320.
- [7] Damo, R., Icka, P., 2013, Evaluation of Water Quality Index for Drinking Water, Pol. J. Environ. Stud. Vol. 22, No. 4 (2013), 1045-1051
- [8] Islam, N., Sadiq, R. and Manuel J. Rodriguez (2013) Optimizing booster chlorination in water distribution networks: a water quality index approach, Environ Monit Assess, 185(10):8035-50.
- [9] Rossman, L. A. (2000). "EPANET 2: users manual."
- [10] Kunming, L.U., 2006. World Health Organization (WHO), Guidelines for Drinking Water Quality, (2004), Brief Introduction of "Water Safety Plan". Water Purification Technology, (6), p.7.
- [11] NHMRC, N., 2011. Australian drinking water guidelines paper 6 national water quality management strategy. National Health and Medical Research Council, National Resource Management Ministerial Council, Commonwealth of Australia, Canberra, pp.7-5.