

## การพัฒนากระบวนการวิเคราะห์คลอรีนเพื่อใช้ในการบริการชุมชน Modification of Chlorine Measurement for Community Service Use

ธฤต ม่วงพลับ<sup>1\*</sup>, ปิยชัย ชัยลัทธิรัตน์<sup>1</sup>, ภาณุวัฒน์ แตรระกุล<sup>1</sup>

<sup>1</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

\*ติดต่อ: thridm@sau.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 028074500-27 ต่อ 305, เบอร์โทรสาร 028074528-30

### บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนากระบวนการตรวจวัดคลอรีนให้มีความสะดวกในการใช้งานในชุมชน ผู้ใช้งานที่ไม่มีความรู้พื้นฐานในการทดลองทางเคมีสามารถนำกระบวนการนี้ไปใช้ในการตรวจวัดคลอรีนอิสระซึ่งมีประโยชน์ในการที่จะเตรียมตัวรับสถานการณ์การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ซึ่งผลกระทบของการใช้น้ำที่มีคลอรีนในระดับต่ำก็อาจทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรค ในทางตรงกันข้ามการมีอยู่ของคลอรีนและสารอินทรีย์บางชนิดก็เป็นสาเหตุทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง ผลปรากฏว่ากระบวนการการตรวจวัดที่สามารถวัดคลอรีนอิสระที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตรได้อย่างเหมาะสม ใช้ตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดขนาด 180 มิลลิลิตร และใช้โซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มัลไตเตรทโดยใช้หลอดหยดขนาด 3 มิลลิลิตร ซึ่งในขั้นต่อไปจะนำไปทดลองใช้โดยประชาชนในชุมชนเพื่อนำข้อเสนอแนะไปปรับปรุงแก้ไขต่อไป

### 1. บทนำ

การบริการน้ำประปาเป็นความจำเป็นในงานสุขภาพเพื่อให้ประชาชนในได้สามารถใช้น้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภคอย่างพอเพียง ในเมืองหรือชุมชนที่มีประชากรหนาแน่น มีการระบายน้ำเสียจากการอุปโภคบริโภคสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ทำให้มีคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะมีโอกาสเกิดการปนเปื้อนสารอินทรีย์และอนินทรีย์ อันจะทำให้เกิดโรคหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการบริการน้ำประปาเพื่อให้ประชาชนในชุมชนได้รับโอกาสในการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคอย่างทั่วถึง ซึ่งการผลิตน้ำประปาจะประกอบไปด้วยกระบวนการทางกายภาพ และทางเคมี เช่น การสูบน้ำแรงดันต่ำ การปรับคุณภาพน้ำทางเคมี เช่น สารส้ม ปูนขาว การตกตะกอน การกรอง การฆ่าเชื้อโรค การตรวจสอบคุณภาพน้ำ และสู่ระบบการกระจายน้ำ อย่างไรก็ตามขอบเขตของงานการกระจายน้ำและคุณภาพของแหล่งน้ำดิบเป็นสิ่งที่บางครั้งยากที่จะควบคุมให้เกิดความพึงพอใจกับผู้ใช้บริการ ปัญหาที่พบและจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องคือการฆ่าเชื้อโรค เพราะหากการฆ่าเชื้อโรคไม่เกิดผลสำเร็จ หรือไม่เพียงพอ ก็อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้บริการ โดยทำให้เกิดโรคระบาด ที่ติดต่อกจากการอุปโภคบริโภคน้ำที่มักปรากฏในฤดูร้อน

ในกระบวนการผลิตน้ำประปาสามารถฆ่าเชื้อโรคได้หลายวิธี เช่น การเติมคลอรีน การเติมโอโซน การฉายรังสี ยูวี เป็นต้น ซึ่งการเติมคลอรีนเป็นวิธีที่เป็นที่นิยมแพร่หลาย เนื่องจากสามารถฆ่าเชื้อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยในคลอรีนเมื่อรวมกับน้ำจะแปรสภาพเป็น กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) ซึ่งสามารถได้แต่การเติมคลอรีนก็จะมีสารบางชนิดที่ทำให้คลอรีนเสื่อมประสิทธิภาพได้แก่ แอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับ กรดไฮโปคลอรัสเกิดเป็นสารประกอบ คลอ

รามีน ( $\text{NH}_2\text{Cl}$   $\text{NHCl}_2$  หรือ  $\text{NCl}_3$ ) รวมทั้งสารอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ประจุของสารอนินทรีย์ประเภท เหล็ก ( $\text{Fe}^{+2}$ ) แมงกานีส ( $\text{Mn}^{+2}$ ) เป็นต้น ก็จะมีส่วนทำให้ประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อโรคโดยการเติมคลอรีนลดลง



และการเติมคลอรีนในน้ำที่มีการปนเปื้อนสารอนินทรีย์บางชนิดก็อาจทำให้เกิดการสารประกอบที่เรียกว่า คลอโรฟีนอล และ ไตรฮาโลมีเทน โดย คลอโรฟีนอลเพียง หนึ่งในพันล้านส่วน ก็ทำให้เกิดรสและกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำได้ ส่วนไตรฮาโลมีเทน ซึ่งประกอบไปด้วย คลอโรฟอร์ม ( $\text{CHCl}_3$ ) โบรโมไดคลอโรมีเทน ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ) และไดโบรโมคลอโรมีเทน ( $\text{CHClBr}_2$ ) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (4) และผู้ใช้น้ำอาจจะรับได้ทั้งจากการดื่มหรือจากการสัมผัสไอรเหย ในน้ำดื่มองค์การอนามัยโลกได้กำหนดให้ มีคลอโรฟอร์ม ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร โบรโมไดคลอโรมีเทน 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ไดโบรโมคลอโรมีเทน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับการเติมคลอรีนที่โรงกรองน้ำจะมีขั้นตอนในการประเมินคุณภาพซึ่งจะนำไปสู่การประเมินปริมาณคลอรีนที่เหมาะสมซึ่งผลลัพธ์ควรจะให้มีปริมาณคลอรีนอิสระเหลือที่จุดที่ไกลที่สุดไม่น้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (4) ปริมาณคลอรีนที่เติมนี้จะแปรผันไปตามฤดูกาล อุณหภูมิ เนื่องจากคลอรีนสามารถระเหยได้ และอาจมีความแปรผันของปริมาณแอมโมเนีย และสารอื่นๆ ที่ทำให้กรดไฮโปคลอรัสมีประสิทธิผลลดลงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และการเติมคลอรีนในปริมาณมากเกินไป ก็อาจส่งผลให้เกิดผลกระทบในแง่ของความเสี่ยงของการเกิดไตรฮาโลมีเทนได้ ซึ่งประเด็นความสำคัญนี้ควรให้ประชาชนในชุมชนได้มีโอกาสได้รับรู้และรับมือเพื่อลดผลกระทบของผู้ใช้น้ำประปา โดยชุมชนสามารถปรับเปลี่ยนวิธีปฏิบัติในการใช้น้ำ หรือแจ้งให้หน่วยงานที่รับผิดชอบทราบหากปริมาณคลอรีนที่ปลายอยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสม แต่ปัญหาหลักของการตรวจสอบคือ ความยุ่งยากในการทดสอบและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของชุมชน

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการวิเคราะห์คลอรีนให้มีความเหมาะสม ง่ายต่อการใช้งานในชุมชน ตลอดจนเปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานที่ไม่มีความรู้พื้นฐานทางเคมี แต่มีความสนใจและเป็นกังวลในปริมาณสารคลอรีนอิสระ ได้สามารถดำเนินการวิเคราะห์คลอรีนได้ในที่พักอาศัย โดยความช่วยเหลือของผู้วิจัยในเบื้องต้น

## 2. วิธีการวิจัย

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนโดยการทดลองส่วนที่หนึ่ง มีวัตถุประสงค์ที่จะหาความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต และปริมาณตัวอย่าง ที่เหมาะสมกับค่าคลอรีนคงเหลือที่มีค่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการปรับปรุง วิธีการมาตรฐานไอโอดิเมตริก (6) เริ่มจากเตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0.1 นอร์มัล จากนั้นทำการเจือจางให้มีความเข้มข้น 0.1 และ 0.025 นอร์มัลเพื่อใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง เตรียมสารละลายตัวอย่างโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ( $\text{NaOCl}$ ) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นทำการเตรียมสารละลายเจือจางโซเดียมไฮโปคลอไรด์เป็นสามความเข้มข้น คือ 1 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองใช้ตัวอย่างทั้งหมดที่มีปริมาตรที่แตกต่างกัน 4 แบบคือ 500 250 100 และ 50 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่มีปริมาตรที่แตกต่างกัน 4 แบบใส่ในเออเลนเมเยอร์ฟลาสก์ แล้วทำการปรับค่าพีเอช (pH) ให้อยู่ในช่วง 3-4 ด้วยกรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) จากนั้นเติมโพแทสเซียมไอโอไดน์ (KI) 1 กรัม เพื่อทำปฏิกิริยากับคลอรีนคงเหลือในตัวอย่าง แยกตัวเป็นไอโอดีนอิสระซึ่งทำให้ตัวอย่างมีสีเหลือง จากนั้นทำการไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.01 และ 0.025 นอร์มัล เมื่อตัวอย่างเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีเหลืองจาง ทำการเติมน้ำแบ่งเพื่อให้

ตัวอย่างเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงิน แล้วทำการไตเตรตต่อจนตัวอย่างใสไม่มีสี นำปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรตมาคำนวณเพื่อหาปริมาณคลอรีนตกค้างจากสูตรการคำนวณ

$$\text{ปริมาณคลอรีนอิสระ (มก./ล.)} = \frac{(A+B) \times N \times 35,450}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)}} \quad (2)$$

A = ปริมาตรของโซเดียมไอโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของโซเดียมไอโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรตสารละลายไร้สิ่งตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = นอร์มัลลิตีของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรต

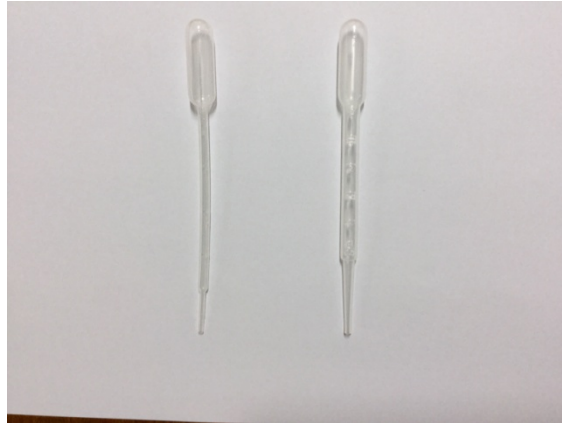
การทดลองส่วนที่สอง มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบ วัสดุที่ใช้ในทดสอบที่สามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำ ขวดใส่ตัวอย่างสองขนาดคือ 120 และ 180 มิลลิลิตร ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และหลอดหยด 2 ขนาดคือ 1 และ 3 มิลลิลิตร ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 ถูกนำมาใช้ในการทดสอบเพื่อเลือกวัสดุ การทดสอบเริ่มโดยการเติมน้ำกลั่นใส่ขวดใส่ตัวอย่างจนถึงแถบวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วนำวัดปริมาตรโดยการชั่งน้ำหนัก ในส่วนของหลอดหยด ทำการทดสอบโดยนับจำนวนหยดจนสามารถวัดปริมาตรได้ 1 มิลลิลิตร



รูปที่ 1 ขวดขนาด 120 มิลลิลิตร



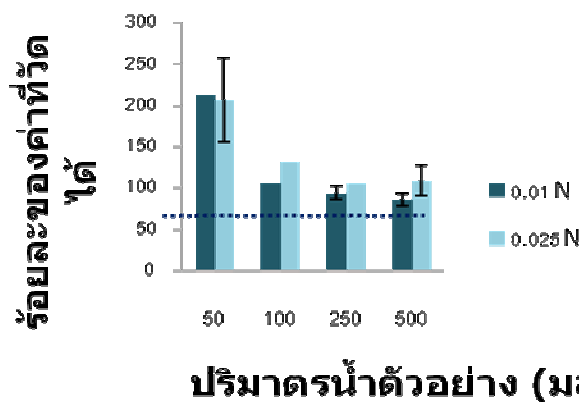
รูปที่ 2 ขวดขนาด 180 มิลลิลิตร



รูปที่ 3 หลอดหยดขนาด 1 และ 3 มิลลิลิตร

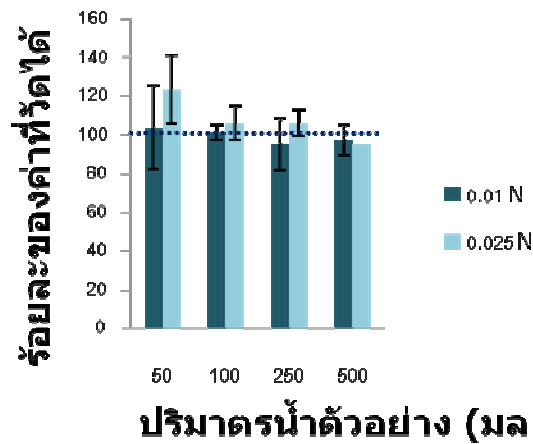
### 3. ผลการทดลอง

ประสิทธิภาพในการตรวจวัดคลอรีนอิสระความเข้มข้น 1, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาตรตัวอย่างที่แตกต่างกัน ด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.01 และ 0.025 นอร์มัล ได้ผลการทดลองดังที่แสดงไว้ในรูปภาพที่ 4 ถึง 6 โดยความแม่นยำในการวัดแสดงในรูปแบบร้อยละของการวัดที่ได้

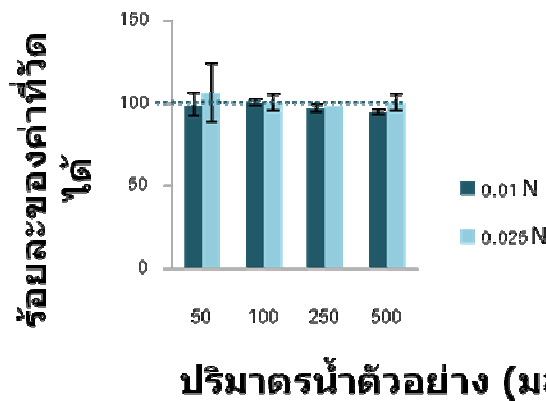


รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละที่วัดได้จากการเทียบกับความเข้มข้นของคลอรีนตั้งต้นที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการทดลองในรูปที่ 4 ชี้ให้เห็นว่า เมื่อวัดคลอรีนอิสระที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการใช้โซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล และ 0.025 นอร์มัล ให้ผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกัน โดยการใช้ตัวอย่างที่ 50 มิลลิลิตร ให้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดถึงร้อยละ 213 และ 207 ด้วยความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.01 และ 0.025 นอร์มัล ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการใช้ปริมาตรตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ความแม่นยำเฉลี่ยวัดได้ที่ ร้อยละ 106 และ 133 ด้วยความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.01 และ 0.025 นอร์มัล ตามลำดับ และเมื่อปริมาณตัวอย่างสูงขึ้นที่ 250 และ 500 มิลลิลิตร ความแม่นยำเฉลี่ยจะอยู่ที่ร้อยละ 94 และ 86 ตามลำดับ จากการใช้ด้วยความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.01 นอร์มัล และค่าเฉลี่ยร้อยละ 106 และ 109 ตามลำดับโดยใช้โซเดียมไทโอซัลเฟตที่ 0.025 นอร์มัล



รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละที่วัดได้จากการเทียบกับความเข้มข้นของคลอรีนตั้งต้นที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละที่วัดได้จากการเทียบกับความเข้มข้นของคลอรีนตั้งต้นที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 5 สำหรับการทดสอบโดยใช้ความเข้มข้นคลอรีนอิสระที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยด้วยความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.01 นอร์มัล ได้ผลความแม่นยำเฉลี่ยระหว่างร้อยละ 95 – 103 และที่ 0.025 นอร์มัล ได้ผลลัพธ์เฉลี่ยระหว่างร้อยละ 96 – 124

จากรูปที่ 6 การทดสอบคลอรีนอิสระที่ 10 มิลลิกรัม ผลลัพธ์ ชี้ให้เห็นถึงความแม่นยำในการตรวจวัดที่ดีขึ้นของการโซเดียมไทโอซัลเฟตทั้งสองความเข้มข้นโดยผลลัพธ์ของความแม่นยำอยู่ระหว่างร้อยละ 95 – 100 ที่ 0.01 นอร์มัล และระหว่างร้อยละ 99 -106 ที่ 0.025 นอร์มัล

การทดลองในส่วนที่สอง ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความแม่นยำของขวดใส่ตัวอย่าง และหลอดหยด ผลจากการทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของมวลของน้ำที่ 100 มิลลิลิตรที่เติมและประเมินปริมาณด้วยสายตาบรรจุในขวดขนาด 120 มิลลิลิตร และ 180 มิลลิลิตร

	120 มิลลิลิตร	180 มิลลิลิตร
$\bar{X}$ (กรัม)	98.975	100.053
S.D.(กรัม)	1.027	0.959

จากตารางที่ 1 เมื่อเติมน้ำและกำหนดด้วยสายตาพบว่าสามารถบรรจุน้ำได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 98.975 มิลลิลิตรด้วยขวดขนาด 120 มิลลิลิตร และเมื่อบรรจุน้ำโดยใช้ขวดขนาด 180 มิลลิลิตร ปรากฏว่าได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าโดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100.053 มิลลิลิตร

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนหยดน้ำที่ใส่ลงบนภาชนะเพื่อให้ได้น้ำหนัก 1 กรัมโดยใช้หลอดหยดขนาด 1 มิลลิลิตร และ 3 มิลลิลิตร

	1 มิลลิลิตร	3 มิลลิลิตร
$\bar{X}$ (หยด)	31.333	30.133
S.D. (หยด)	0.994	1.041
ปริมาตรเฉลี่ยต่อหยด (มล.)	0.03	0.03

จากตารางที่ 2 เมื่อใช้หลอดหยดขนาด 1 และ 3 มิลลิลิตร ดำเนินการกำหนดมวลน้ำ 1 กรัม ปรากฏว่าหลอดหยดขนาด 1 มิลลิลิตร ใช้จำนวนหยดเฉลี่ย 31.333 หยด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.03 หยด และหลอดขนาด 3 มิลลิลิตร ใช้จำนวนหยดเฉลี่ยเท่ากับ 30.133 หยด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.03 หยด จึงสรุปได้ว่า ความสามารถในการกำหนดมวลโดยหลอดหยดทั้งสอง ไม่มีความแตกต่างกันโดยสถิติ

#### 4. สรุปและข้อเสนอแนะ

การทดลองในส่วนที่ 1 มีวัตถุประสงค์ที่จะค้นหากระบวนการการวัดที่ใช้ ปริมาตรตัวอย่างน้อยที่สุด และปริมาณสารเคมีที่น้อย เพื่อความสะดวกในการตรวจวัด จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การทดลองหาค่าคลอรีน โดยใช้โซเดียมไทโอซัลเฟต 0.01 และ 0.025 นอร์มัล และใช้ปริมาณตัวอย่างที่ 50 100 250 และ 500 มิลลิลิตร ผลปรากฏว่า ที่การวัดปริมาณคลอรีน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณคลอรีนที่คาดการณ์ว่าจะสามารถวัดได้ในชุมชน โดยใช้ปริมาณตัวอย่าง 100 250 และ 500 มิลลิลิตรให้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงในระดับ 86 – 133 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในระดับที่น่าพอใจ ส่วนแบบการทดลองที่ในปริมาณตัวอย่าง 50 มิลลิลิตรให้ผลลัพธ์ที่มีความคาดเคลื่อนมากถึง 200 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม การใช้ปริมาณตัวอย่างที่ 100 มิลลิลิตร โดยใช้โซเดียมไทโอซัลเฟต 0.01 นอร์มัลให้ค่าที่ 103 เปอร์เซ็นต์ มีความแม่นยำดีกว่าการใช้ โซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัลซึ่งวัดค่าได้ 133 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการปรับปรุงวิธีการวัดจึงเลือกที่จะลด

ปริมาณตัวอย่างให้เหลือเพียง 100 มิลลิลิตร เพื่อให้มีความสะดวกในการใช้ภาชนะที่เล็ก และการใช้สารโซเดียมไทโอซัลเฟตในปริมาณที่ไม่มาก โดยเลือกใช้ที่มีความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล เนื่องจากสามารถวัดค่าความเข้มข้นคลอรีนได้ดีกว่า

ในส่วนที่ 2 การเลือกใช้ภาชนะ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้ขวดขนาด 180 มิลลิลิตรให้ผลลัพธ์เท่ากับ 100.053 มิลลิลิตรซึ่งมีความเที่ยงตรงกว่าขวดขนาด 120 มิลลิลิตร ที่ให้ผลลัพธ์เท่ากับ 98.975 มิลลิลิตร จึงสรุปได้ว่าควรใช้ขวดขนาด 180 มิลลิลิตรในการตวงน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตรเพื่อใช้ในการ เก็บน้ำตัวอย่าง ผสมสารเคมี ในการวัดคลอรีนอิสระในชุมชน ส่วนการประเมินหลอดหยดนั้นให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน คือหลอดหยดทั้งสองชนิดมีค่าเฉลี่ยจำนวนหยดเพื่อการตวงปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใกล้เคียงกันคือ 31.333 และ 30.133 หยด ในหลอดหยดแบบ 1 และ 3 มิลลิลิตรตามลำดับ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.03 หยดเท่ากัน จึงสรุปได้ว่าหลอดหยดทั้งสองแบบสามารถใช้งานได้ไม่แตกต่างกัน แต่จากการสอบถามผู้ดำเนินการวิจัยถึงลักษณะการใช้งานหลอดหยดได้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า หลอดหยดขนาด 3 มิลลิลิตร มีความอ่อนนุ่มและสามารถควบคุมการหยดได้ดีกว่า จึงเลือกใช้หลอดหยดขนาด 3 มิลลิลิตรสำหรับการใช้งานในชุมชน

## 5. แนวทางในการดำเนินการวิจัยในอนาคต

ในการดำเนินงานขั้นต่อไป การทดลองส่วนที่สามจะทำการเตรียมชุดทดสอบโดยใช้ขวดขนาด 180 มิลลิลิตร เพื่อเก็บตัวอย่างในปริมาณ 100 มิลลิลิตร และทำการไตเตรทด้วยโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล โดยใช้หลอดหยดขนาด 3 มิลลิลิตร และนำไปทดสอบในภาคสนาม แล้วนำไปทดสอบในพื้นที่บริเวณชุมชนวัดสรรเพชญ์ จังหวัดนครปฐม โดยทำการทดสอบโดยให้ประชาชนในพื้นที่ได้ทดลองใช้ชุดทดสอบอย่างน้อย 10 ราย เพื่อดูความแม่นยำของชุดทดสอบและดำเนินการประเมินปริมาณคลอรีนอิสระที่เตรียมไว้ และปริมาณคลอรีนในน้ำประปาในพื้นที่ และทำการสำรวจความคิดเห็นจากประชาชนในพื้นที่โดยการใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์ เพื่อใช้ในการประเมินชุดทดสอบ เพื่อการปรับปรุงแก้ไขต่อไป