

การตรวจสอบความใช้ได้ และการประมาณค่าความไม่แน่นอนของวิธีทดสอบปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และ ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในตัวอย่างน้ำตามมาตรฐาน ISO/IEC17025

กิตติพงษ์ อยู่ดี* และ ประดับดวง เกียรติศักดิ์ศิริ

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง 52190

*อีเมลผู้ประพันธ์บรรณกิจ: kittiphong.y@fph.tu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบและประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากอาคาร และน้ำประปา ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 โดยศึกษาสมรรถนะของวิธีทดสอบด้านความเที่ยง ความแม่นยำ ชีตจำกัดการตรวจพบ (LOD) และชีตจำกัดการหาปริมาณ (LOQ) สำหรับการทดสอบ TDS ใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 100, 2,500 และ 5,000 mg/L ส่วน TSS ใช้ Fortified Sample จาก Sigma Cell® Type 20 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 250 และ 500 mg/L โดยทำการวิเคราะห์ซ้ำ 10 ครั้งเพื่อประเมินความเที่ยงภายใต้สภาวะทำซ้ำ และประเมินความเที่ยงภายในห้องปฏิบัติการจากการวิเคราะห์ในหลายวัน นอกจากนี้ยังดำเนินการเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการ การทดสอบความชำนาญ (Proficiency Testing; PT) และการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($k = 2$) ตามแนวทาง ISO Guide 98-3 (GUM). ผลการศึกษาพบว่าวิธีทดสอบ TDS (100 - 5,000 mg/L) และ TSS (5 - 500 mg/L) มีความเที่ยงเป็นไปตามเกณฑ์ AOAC โดยค่า %RSD_r และ %RSD_R ต่ำกว่าค่าที่คาดการณ์จากสมการ Horwitz และค่า HORRAT อยู่ในเกณฑ์ยอมรับทุกระดับความเข้มข้น ค่า %Recovery ของ TDS อยู่ในช่วง 96.00 - 100.82 และ TSS อยู่ในช่วง 80.00 - 110.00 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด ค่า LOD และ LOQ ของ TDS เท่ากับ 5 และ 20 mg/L และของ TSS เท่ากับ 2 และ 5 mg/L ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบระหว่างห้องปฏิบัติการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และผลการทดสอบความชำนาญมีค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ ($|z| \leq 2$) ค่าความไม่แน่นอนขยายสูงสุดของ TDS และ TSS เท่ากับ ± 32.22 และ ± 14.46 mg/L ตามลำดับ สรุปได้ว่าวิธีทดสอบ TDS และ TSS มีความแม่นยำ ความเที่ยง และเชื่อถือได้ สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการพัฒนาระบบคุณภาพของห้องปฏิบัติการ และรองรับการขอรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025

คำสำคัญ: การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ, ความไม่แน่นอนของการวัด, ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด, มาตรฐาน ISO/IEC 17025

Method Validation and Measurement Uncertainty Estimation for Total Dissolved Solids (TDS) and Total Suspended Solids (TSS) in Water Samples According to ISO/IEC 17025

Kittiphong Youdee* and Pradabduang Kiattisaksiri

Faculty of Public Health, Thammasat University, Lampang Campus, Hang Chat, Lampang 52190, Thailand

*Corresponding author's e-mail: kittiphong.y@fph.tu.ac.th

Abstract

This study aimed to validate the test methods and estimate measurement uncertainty for the determination of Total Dissolved Solids (TDS) and Total Suspended Solids (TSS) in industrial wastewater, building wastewater and tap water in accordance with ISO/IEC 17025. Method performance was evaluated for precision, accuracy, limit of detection (LOD), and limit of quantification (LOQ). For TDS analysis, sodium chloride standard solutions at concentrations of 100, 2,500, and 5,000 mg/L were prepared. For TSS analysis, fortified samples prepared from Sigma Cell® Type 20 at concentrations of 5, 250, and 500 mg/L were analyzed. Each concentration level was analyzed ten times to evaluate repeatability, while intermediate precision was assessed from analyses performed on different days. Interlaboratory comparison, proficiency testing, and measurement uncertainty estimation at a 95% confidence level ($k = 2$) were also conducted based on ISO Guide 98-3 (GUM). The results showed that the TDS method over the range of 100 - 5,000 mg/L and the TSS method over the range of 5 - 500 mg/L met the AOAC precision criteria. The %RSD_r and %RSD_R values were lower than those predicted by the Horwitz equation, and all HORRAT values were within the acceptable limits. Recovery ranged from 96.00% to 100.82% for TDS and from 80.00% to 110.00% for TSS. LOD and LOQ were 5 and 20 mg/L for TDS, and 2 and 5 mg/L for TSS, respectively. Interlaboratory comparison results showed no statistically significant differences ($p > 0.05$), while proficiency testing results were acceptable, with Z-scores within ± 2 . Maximum expanded uncertainties were ± 32.22 mg/L for TDS and ± 14.46 mg/L for TSS. The findings provide supporting evidence for laboratory quality management and accreditation under ISO/IEC 17025.

Keywords: Method Validation, Measurement Uncertainty, Total Dissolved Solids (TDS), Total Suspended Solids (TSS), ISO/IEC 17025

บทนำ

ปัจจุบันการเฝ้าระวังและควบคุมคุณภาพน้ำทั้งน้ำดี และน้ำเสียมีความสำคัญต่อการคุ้มครองสุขภาพประชาชน การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินสถานการณ์มลพิษและการกำกับดูแลการปล่อยน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) โดยพารามิเตอร์ที่นิยมใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำ ได้แก่ ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS) และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids; TSS) ซึ่งสามารถสะท้อนระดับการปนเปื้อนและคุณภาพของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย TDS ใช้ประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งมีผลต่อความเค็มและคุณภาพน้ำ ขณะที่ TSS ใช้ประเมินปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มีผลต่อความขุ่นและประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย (APHA et al., 2017)

การรายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ จำเป็นต้องอาศัยวิธีทดสอบที่ผ่านการตรวจสอบความใช้ได้ (Method Validation) (AOAC, 2016) และมีการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement Uncertainty; MU) (International Organization for Standardization, 2008) ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/IEC 17025 (International Organization for Standardization, 2017) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลสำหรับการรับรองความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ ทั้งนี้ การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบช่วยยืนยันว่าวิธีมีความเหมาะสมต่อวัตถุประสงค์การใช้งาน ขณะที่ค่าความไม่แน่นอนของการวัดเป็นข้อมูลสำคัญที่แสดงระดับความเชื่อมั่นของผลการทดสอบ

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีการศึกษาการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ TDS และ TSS ตามแนวทาง ISO/IEC 17025 อย่างต่อเนื่อง โดย กัลยา กุลจิตติอารีย์ (2563) รายงานว่าการทดสอบ TDS และ TSS ตาม Standard Methods 2540C และ 2540D มีค่าการกลับคืนและค่าความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ พร้อมทั้งสามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดได้ตามแนวทาง ISO/IEC Guide 98-3 (GUM) ขณะที่ ศุภติ ถาวรวงศ์มันคง (2560) พบว่าวิธีทดสอบ TDS มีผลการทดสอบความชำนาญและค่าความไม่แน่นอนของการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการรับรองความสามารถของห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ชวิศา ชวิศบวรวงศ์ (2565) รายงานว่าวิธีทดสอบ TSS มีค่าความถูกต้องและความเที่ยงที่สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถนำไปใช้ในระบบคุณภาพตาม ISO/IEC 17025 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีรายงานการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ TDS และ TSS จากหลายห้องปฏิบัติการ แต่ผลการศึกษาที่ได้ย่อมได้รับอิทธิพลจากปัจจัยเฉพาะของแต่ละห้องปฏิบัติการ เช่น เครื่องมือวิเคราะห์ สภาพแวดล้อมการปฏิบัติงาน ผู้วิเคราะห์ และลักษณะของตัวอย่างที่ศึกษา ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของวิธีทดสอบและค่าความไม่แน่นอนของการวัดได้โดยตรง ดังนั้น ข้อมูลจากห้องปฏิบัติการอื่นจึงไม่สามารถใช้ยืนยันความเหมาะสมของวิธีทดสอบในทุกบริบทได้ นอกจากนี้ ยังไม่พบรายงานการศึกษาศึกษาการตรวจสอบความใช้ได้และการประมาณค่าความไม่แน่นอนของวิธีทดสอบ TDS และ TSS ภายใต้สภาวะการดำเนินงานจริงของห้องปฏิบัติการคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ให้บริการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำแก่หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และชุมชนในพื้นที่ โดยครอบคลุมการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากอาคาร และน้ำประปา เพื่อสนับสนุนการเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม การวิจัย และการบริการวิชาการ ทั้งนี้ ผลการตรวจวิเคราะห์ที่รายงานจำเป็นต้องมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และสามารถสอบกลับได้ตามหลักวิชาการ

ด้วยเหตุนี้ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง จึงมีความจำเป็นต้องยืนยันสมรรถนะของวิธีทดสอบ และจัดทำข้อมูลค่าความไม่แน่นอนของการวัดให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/IEC 17025 เพื่อยกระดับความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์และรองรับการพัฒนาคุณภาพห้องปฏิบัติการ ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบและประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในน้ำดีและน้ำเสีย โดยผลการศึกษาที่ได้จะเป็นข้อมูลสนับสนุนการพัฒนาคุณภาพห้องปฏิบัติการและการเตรียมความพร้อมสู่การรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ในอนาคต

วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/IEC 17025

- 2) เพื่อประเมินสมรรถนะของวิธีทดสอบด้านความเที่ยง ความแม่นยำ ชีตจำกัดการตรวจพบ (LOD) และชีตจำกัดการหาปริมาณ (LOQ)
- 3) เพื่อประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของวิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids: TSS) ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/IEC 17025 มีขั้นตอนดังนี้



กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาเป็นตัวอย่างน้ำจริงจำนวน 3 ประเภท ประเภทละ 1 แหล่ง ได้แก่ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในจังหวัดลำปาง น้ำทิ้งจากบ่อบำบัดน้ำเสียของห้องปฏิบัติการคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง และน้ำประปาจากอาคารบุญชูพาณิชย์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง โดยเลือกแบบเจาะจงให้ครอบคลุมประเภทตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการให้บริการจริง ได้แก่ น้ำทิ้งจากภาคอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากอาคาร และน้ำประปา ตัวอย่างแต่ละประเภทนำมาเตรียมเป็น Sample blank และเติมสารมาตรฐานระดับความเข้มข้น ต่ำ กลาง และสูง สำหรับการทดสอบ TDS ใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ระดับความเข้มข้น 100, 2,500 และ 5,000 mg/L ส่วนการทดสอบ TSS ใช้ Fortified Sample จาก Sigma Cell® Type 20 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 250 และ 500 mg/L

วิธีทดสอบ TDS ดำเนินการตามวิธี Standard Methods 2540C: Total Dissolved Solids Dried at 180 ± 2 องศาเซลเซียส และวิธีทดสอบ TSS ดำเนินการตามวิธี Standard Methods 2540D: Total Suspended Solids Dried at $103 - 105$ องศาเซลเซียส อ้างอิงจาก Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.) (APHA, 2017) เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วยเครื่องชั่งวิเคราะห์ที่มีความละเอียด 0.0001 กรัม ตู้อบลมร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 180 ± 2 องศาเซลเซียส สำหรับ

ทดสอบ TDS และ 103 - 105 องศาเซลเซียส สำหรับทดสอบ TSS ชุดกรองสุญญากาศพร้อมกระดาดกรองใยแก้วชนิด GF/C ขนาดรูพรุนประมาณ 1.2 ไมครอน ทั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผ่านการสอบเทียบตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/IEC 17025 (International Organization for Standardization, 2017) ก่อนนำมาใช้งาน

การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการโดยประเมินสมรรถนะของวิธีทดสอบตามแนวทาง AOAC International และข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ครอบคลุมด้านความเที่ยง (Precision) ความแม่นยำ (Accuracy) ขีดจำกัดการตรวจพบ (LOD) ขีดจำกัดการหาปริมาณ (LOQ) การเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการ (Inter-laboratory Comparison) การทดสอบความชำนาญ (Proficiency Testing; PT) และการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement Uncertainty) โดยการประเมินความเที่ยงดำเนินการวิเคราะห์ซ้ำ 10 ครั้ง ต่อประเภทตัวอย่างในแต่ละระดับความเข้มข้น ภายใต้ผู้วิเคราะห์ เครื่องมือ และวันทดสอบเดียวกัน เพื่อประเมินความเที่ยงภายใต้สภาวะทำซ้ำ (%RSD_r) และดำเนินการวิเคราะห์ใน 3 วันโดยแต่ละวันวิเคราะห์ซ้ำ 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะการทำงานจริง เพื่อประเมินความเที่ยงภายในห้องปฏิบัติการ (%RSD_R) จากนั้นเปรียบเทียบผลกับค่าที่คาดการณ์จากสมการ Horwitz และพิจารณาร่วมกับค่า HORRAT ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความแปรปรวนที่วัดได้กับค่าที่คาดการณ์จากสมการ Horwitz โดยกำหนดให้ค่า HORRAT(r) น้อยกว่า 1.3 และค่า HORRAT(R) น้อยกว่า 2.0 จึงถือว่าวิธีทดสอบมีความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับตามแนวทาง AOAC (2016) ส่วนความแม่นยำประเมินจากค่าร้อยละการกลับคืน (%Recovery) โดยกำหนดเกณฑ์การยอมรับสำหรับ TDS อยู่ในช่วง 90 - 110% และ TSS อยู่ในช่วง 80 - 110% ขณะที่ผลการเปรียบเทียบระหว่างห้องปฏิบัติการต้องไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และผลการทดสอบความชำนาญต้องมีค่า $|Z\text{-score}| \leq 2$ สำหรับการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัด ดำเนินการตามแนวทาง ISO Guide 98-3 (GUM) โดยพิจารณาแหล่งความไม่แน่นอนที่สำคัญ ได้แก่ ความเที่ยงของวิธีทดสอบ การชั่งน้ำหนัก และการวัดปริมาตร ก่อนคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม (Combined Standard Uncertainty) และรายงานผลเป็นค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty; U95%) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้ค่า coverage factor ($k = 2$)

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) สำหรับประเมินสมรรถนะของวิธีทดสอบ วิเคราะห์ความแตกต่างของผลการทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการด้วย Independent t-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($k = 2$)

ผลการวิจัย

การศึกษานี้ดำเนินการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ TDS และ TSS ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/IEC 17025 โดยประเมินสมรรถนะของวิธีทดสอบในด้านความเที่ยง ความแม่นยำ ขีดจำกัดการตรวจพบ ขีดจำกัดการหาปริมาณ การเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการ การทดสอบความชำนาญ และการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัด

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบความเที่ยงและความแม่นยำของวิธีทดสอบ TDS และ TSS

วิธีทดสอบ	ช่วงความเข้มข้น (mg/L)	%RSD _r	%RSD _R	HORRAT(r)	HORRAT(R)	%Recovery
TDS	100 - 5,000	0.52 - 3.02	0.64 - 3.40	0.05 - 0.16	0.08 - 0.39	96.00 - 100.82
TSS	5 - 500	0.68 - 6.85	0.75 - 8.12	0.08 - 0.89	0.10 - 1.02	80.00 - 110.00

จากตารางที่ 1 พบว่าวิธีทดสอบ TDS และ TSS มีค่าความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับ โดยค่า %RSD_r และ %RSD_R ต่ำกว่าค่าที่คาดการณ์จากสมการ Horwitz และค่า HORRAT(r) และ HORRAT(R) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ขณะที่ผลการประเมินความแม่นยำพบว่าค่า %Recovery อยู่ในช่วงเกณฑ์ที่กำหนดทุกระดับความเข้มข้น

ตารางที่ 2 ผลการประเมินค่า LOD และ LOQ

รายการ	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)
TDS	5	20
TSS	2	5

จากตารางที่ 2 พบว่าวิธีทดสอบ TDS มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 5 และ 20 mg/L ตามลำดับ ส่วนวิธีทดสอบ TSS มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 2 และ 5 mg/L ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการ (Inter-laboratory Comparison)

รายการ	ห้องปฏิบัติการคณะฯ (mg/L)	ห้องปฏิบัติการ ISO/IEC 17025 (mg/L)	t _{stat}	p-value
TDS	201.8	202.8	-1.41	0.230
TSS	52.0	53.4	-2.26	0.087

จากตารางที่ 3 พบว่าผลการทดสอบ TDS และ TSS ระหว่างห้องปฏิบัติการคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง และห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4 ผลการเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ (Proficiency Testing; PT)

รายการ	ตัวอย่าง	ความเข้มข้น	ค่า Z-score
TDS	A	264	1.07
	B	394	-0.10
TSS	A	162	-0.12
	B	443	0.05

จากตารางที่ 4 พบว่าผลการเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของทั้งรายการ TDS และ TSS มีค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ ($|Z\text{-score}| \leq 2$)

ตารางที่ 5 ผลการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัด

รายการ	ช่วงความเข้มข้น (mg/L)	Expanded Uncertainty ($\pm$ mg/L)*
TDS	100 - 2,500	4.86
	2,500 - 5,000	32.22
TSS	5 - 250	0.76
	250 - 500	14.46

*แหล่งความไม่แน่นอนหลัก ได้แก่ ความเที่ยงของวิธีทดสอบ การชั่งน้ำหนัก และอุปกรณ์วัดปริมาตร

จากตารางที่ 5 พบว่าค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty; U95%, $k = 2$) ของวิธีทดสอบ TDS อยู่ในช่วง ± 4.86 ถึง ± 32.22 mg/L และวิธีทดสอบ TSS อยู่ในช่วง ± 0.76 ถึง ± 14.46 mg/L

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS) และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids; TSS) รวมถึงการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัด ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ผลการศึกษาพบว่าวิธีทดสอบทั้งสองมีสมรรถนะเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด

ผลการตรวจสอบความเที่ยงของวิธีทดสอบทั้งในสภาวะทำซ้ำ (Repeatability) และสภาวะความเที่ยงภายในห้องปฏิบัติการ (Intermediate Precision) พบว่าค่า $\%RSD_r$ และ $\%RSD_R$ ของทุกระดับความเข้มข้นต่ำกว่าค่าที่คาดการณ์จากสมการ Horwitz และค่า HORRAT อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ แสดงให้เห็นว่าวิธีทดสอบมีความสม่ำเสมอและให้ผลการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้

ผลการตรวจสอบความแม่นยำพบว่าค่า $\%Recovery$ ของ TDS อยู่ในช่วง 96.00 - 100.82 และ TSS อยู่ในช่วง 80.00 - 110.00 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับของ AOAC แสดงให้เห็นว่าวิธีทดสอบสามารถวิเคราะห์หาปริมาณสารได้ใกล้เคียงกับค่าจริง นอกจากนี้วิธีทดสอบ TDS มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 5 และ 20 mg/L ตามลำดับ ส่วนวิธีทดสอบ TSS มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 2 และ 5 mg/L ตามลำดับ สะท้อนถึงความสามารถของวิธีในการตรวจวัดสารที่ระดับความเข้มข้นต่ำได้อย่างเหมาะสม

การเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการพบว่าผลการทดสอบ TDS และ TSS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการอ้างอิง ($p > 0.05$) ขณะที่ผลการเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ (Proficiency Testing; PT) มีค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ ($|Z\text{-score}| \leq 2$) แสดงถึงความสามารถของห้องปฏิบัติการในการดำเนินการทดสอบได้อย่างถูกต้องและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

สำหรับการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัด พบว่าค่าความไม่แน่นอนขยายสูงสุดของวิธีทดสอบ TDS เท่ากับ ± 32.22 mg/L และ TSS เท่ากับ ± 14.46 mg/L ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($k = 2$) โดยค่าความไม่แน่นอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามช่วงความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ ซึ่งเป็นลักษณะปกติของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ทั้งนี้ แหล่งความไม่แน่นอนหลักมาจากความเที่ยงของวิธีทดสอบ การชั่งน้ำหนัก และการวัดปริมาตร

โดยสรุป วิธีทดสอบปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่ศึกษามีความแม่นยำ ความเที่ยง และความน่าเชื่อถือเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/IEC 17025 สามารถนำไปใช้เป็นวิธีทดสอบประจำของห้องปฏิบัติการเพื่อรองรับงานบริการวิชาการ งานวิจัย และการพัฒนาระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการสู่การรับรองมาตรฐานสากลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาพบว่าวิธีทดสอบ TDS และ TSS มีสมรรถนะเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่มุ่งตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบและการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัด โดยผลการประเมินความเที่ยงทั้งในสภาวะทำซ้ำ (Repeatability) และความเที่ยงภายในห้องปฏิบัติการ (Intermediate Precision) พบว่าค่า $\%RSD_r$ และ $\%RSD_R$ ต่ำกว่าค่าที่คาดการณ์จากสมการ Horwitz และค่า HORRAT อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ แสดงให้เห็นว่าวิธีทดสอบมีความสม่ำเสมอและสามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการควบคุมสภาวะการทดสอบ การใช้เครื่องมือที่ผ่านการสอบเทียบ และการปฏิบัติงานตามวิธีมาตรฐานอย่างเคร่งครัด ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ กัลยา กุลจิตติอารีย์ (2563) ที่พบว่าการทดสอบ TDS และ TSS ตาม Standard Methods 2540C และ 2540D มีค่าความเที่ยงและค่าการกลับคืนอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ รวมทั้งสอดคล้องกับการศึกษาของ ขวึกา ขวึกบวรวงศ์ (2565) ที่รายงานว่าวิธีทดสอบ TSS ภายใต้ระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025 มีความเที่ยงและความถูกต้องเพียงพอสำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการ

ผลการประเมินความแม่นยำพบว่าค่า $\%Recovery$ ของ TDS และ TSS อยู่ในเกณฑ์ยอมรับตามแนวทาง AOAC แสดงให้เห็นว่าวิธีทดสอบสามารถวิเคราะห์หาปริมาณสารได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ จิตติรัตน์ ชูชาติ และคณะ (2564) ที่รายงานว่าการวิเคราะห์ TDS มีค่า $\%Recovery$ และค่า HORRAT อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิเคราะห์ประจำได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ค่า LOD และ LOQ ที่ได้ยังแสดงให้เห็นว่าวิธีทดสอบมีความสามารถในการตรวจวัดและหาปริมาณสารที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ได้อย่างเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในช่วงความเข้มข้นที่กำหนด

ผลการเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างห้องปฏิบัติการของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง และห้องปฏิบัติการอ้างอิง สะท้อนให้เห็นถึงความถูกต้อง

ของวิธีทดสอบและความสามารถของห้องปฏิบัติการในการสร้างผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกับห้องปฏิบัติการมาตรฐาน ขณะที่ผลการเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ (Proficiency Testing; PT) ซึ่งมีค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ ($|Z\text{-score}| \leq 2$) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ผุสดี ถาวรวงศ์มั่นคง (2560) ที่รายงานว่าผลการทดสอบความชำนาญและค่าความไม่แน่นอนของการวัดเป็นตัวบ่งชี้สำคัญของความสามารถห้องปฏิบัติการตามข้อกำหนด ISO/IEC 17025 และเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ช่วยยืนยันความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ การประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดพบว่าค่าความไม่แน่นอนขยายของทั้ง TDS และ TSS อยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานจริง ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการประเมินค่าความไม่แน่นอนตาม ISO/IEC Guide 98-3 (GUM) และผลการศึกษาของ กัลยา กุลจิตติอารีย์ (2563) ที่รายงานว่าวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำสามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดได้อย่างเหมาะสมเมื่อมีการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ

จากผลการศึกษาที่พบว่าวิธีทดสอบ TDS และ TSS มีความแม่นยำ ความเที่ยง และค่าความไม่แน่นอนของการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสามารถนำผลการศึกษาไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการขอรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบประกันคุณภาพของห้องปฏิบัติการคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง เพื่อยกระดับความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์และเพิ่มศักยภาพการให้บริการวิชาการด้านการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำแก่หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และชุมชนในพื้นที่

แม้ว่าผลการศึกษาจะยืนยันว่าวิธีทดสอบ TDS และ TSS มีสมรรถนะเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับของ AOAC และข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/IEC 17025 แต่การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ การใช้ตัวอย่างน้ำเพียง 3 ประเภท ได้แก่ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากอาคาร และน้ำประปา ซึ่งอาจยังไม่ครอบคลุมตัวอย่างน้ำที่มีเมทริกซ์แตกต่างกัน เช่น น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน หรือน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเฉพาะประเภท นอกจากนี้ การประเมินสมรรถนะของวิธีครอบคลุมเฉพาะช่วงความเข้มข้น 100 - 5,000 mg/L สำหรับ TDS และ 5 - 500 mg/L สำหรับ TSS จึงควรมีการยืนยันสมรรถนะเพิ่มเติมเมื่อประยุกต์ใช้กับตัวอย่างนอกช่วงดังกล่าว อีกทั้งการประเมินความแม่นยำดำเนินการโดยเติมสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) สำหรับ TDS และ Fortified Sample จาก Sigma Cell® Type 20 สำหรับ TSS ลงในตัวอย่างน้ำจริงเพื่อประเมินค่าร้อยละการกลับคืน (%Recovery) แม้ว่าวิธีดังกล่าวจะช่วยควบคุมระดับความเข้มข้นของสารที่เติมได้ดี แต่ยังไม่สามารถสะท้อนอิทธิพลของเมทริกซ์ที่ซับซ้อนของตัวอย่างน้ำจริงทุกประเภทได้ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการยืนยันสมรรถนะของวิธีภายใต้ขอบเขตการใช้งานที่ศึกษา เนื่องจากชนิดตัวอย่างและช่วงความเข้มข้นที่เลือกสอดคล้องกับงานตรวจวิเคราะห์ประจำของห้องปฏิบัติการ จึงสามารถใช้ผลการศึกษาเป็นข้อมูลสนับสนุนการดำเนินงานตามระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025 ได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ การศึกษาครั้งต่อไปควรขยายชนิดของตัวอย่าง ช่วงความเข้มข้น และประเมินด้วยตัวอย่างน้ำจริงที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมและความเชื่อมั่นในการประยุกต์ใช้วิธีทดสอบ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่ายจากรายได้ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง ที่สนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2553). *คู่มือวิธีปฏิบัติสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ*. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- กัลยา กุลจิตติอารีย์. (2563). *การพัฒนาห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อมเพื่อขอการรับรองงานทดสอบปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) ในตัวอย่างน้ำผิวดิน น้ำเสีย และน้ำประปา ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในตัวอย่างน้ำผิวดินและน้ำเสีย และโลหะหนักในตัวอย่างน้ำผิวดิน ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 (เอกสารผลงาน)*. ราชบุรี: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 (ราชบุรี).
- จิตติรัตน์ ชูชาติ, สงกรานต์ มะลิสอน, พงมาลย์ ภูสาร, ญาณธิชา จิตต์สะอาด, สุภา โพธิจันทร์, และ กันธนา คล้ายแก้ว. (2564). *การพัฒนาและตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดและหาค่าคงที่เพื่อประเมินความเค็มของน้ำทางการเกษตร (รายงานผลงานวิจัยประจำปี)*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

- ชวศา ชวศบวรวงค์. (2565). การพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพของผลการทดสอบด้วยการตรวจสอบวิธีวิเคราะห์หาปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในตัวอย่างน้ำผิวดินและน้ำเสีย ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017. (ผลงานเพื่อประเมินแต่งตั้งตำแหน่งนักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ). อุบลราชธานี: สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 12.
- สุสดี ถาวรวงศ์มันคง. (2560). การพัฒนาห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อมเพื่อขอการรับรองงานทดสอบปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำ (Total Dissolved Solids: TDS) ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2005 (ผลงานเพื่อประเมินตำแหน่งนักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ). สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11. นครราชสีมา: สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- AOAC. (2016). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists* (20th ed.). Washington DC: AOAC International.
- APHA. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). Washington DC: American Public Health Association.
- International Organization for Standardization. (2008). *ISO/IEC Guide 98-3:2008: Uncertainty of measurement—Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO/IEC 17025:2017: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. International Organization for Standardization.