

## การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการบันทึกและประมวลผลค่า Most Probable Number (MPN) ในงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

วรัญญา บินอานัด

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

อีเมลผู้ประพันธ์บรรณกิจ: waranya.bi@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียด้วยเทคนิค Most Probable Number (MPN) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง แต่ในทางปฏิบัติมักประสบปัญหาความล่าช้าและความคลาดเคลื่อนจากการบันทึกผลและอ่านตารางมาตรฐาน (Human Error) งานวิจัยเชิงพัฒนารอบงานประจำสำนักงานวิจัย (R2R) นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบันทึกและประมวลผลค่า MPN โดยพัฒนาระบบตามวงจรการพัฒนาเว็บ (SDLC) ใช้ Google Sheets เป็นฐานข้อมูล และใช้ Google Apps Script ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ร่วมกับประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์สนับสนุนการเขียนโค้ด (AI-assisted coding) จนแอปพลิเคชันพร้อมใช้งาน จากนั้นนำมาทวนสอบความถูกต้องของการประมวลผล พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน กลุ่มตัวอย่างคือเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจำนวน 5 ท่านที่ปฏิบัติงานวิเคราะห์น้ำเสีย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบทวนสอบความถูกต้องของการแปลผลแบบประเมินประสิทธิภาพและแบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และร้อยละการเปลี่ยนแปลง ผลการวิจัยพบว่า แอปพลิเคชันสามารถแปลผลได้ถูกต้องแม่นยำร้อยละ 100.00 (จาก 100 ชุดข้อมูล) ระยะเวลาเฉลี่ยในการบันทึกและประมวลผลลดลงร้อยละ 75.00 และเวลาที่ใช้ในการสืบค้นข้อมูลย้อนหลังลดลงร้อยละ 86.67 สำหรับความพึงพอใจในภาพรวมของผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X}$  = 4.70, S.D. = 0.50) โดยด้านประสิทธิภาพและการลดข้อผิดพลาดมีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด ( $\bar{X}$  = 4.73, S.D. = 0.48) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า แอปพลิเคชันสามารถลดเวลา ลดความสับสน และป้องกันข้อผิดพลาดในการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผู้วิจัยมีแผนพัฒนาต่อระบบให้มีฟังก์ชันที่ซับซ้อนและมีสมรรถนะสูงขึ้นในอนาคต

**คำสำคัญ:** เทคนิคเอ็มพีเอ็น, แอปพลิเคชันออนไลน์, ห้องปฏิบัติการดิจิทัล, การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย, เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

## Development of an MPN Recording and Determination Application for Wastewater Quality Analysis

Waranya Binarnat

*Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand*

Corresponding author's e-mail: [waranya.bi@kmitl.ac.th](mailto:waranya.bi@kmitl.ac.th)

### Abstract

Wastewater quality analysis using the Most Probable Number (MPN) technique is a critical laboratory procedure. However, practical operations often suffer from operational delays and human errors during manual data recording and standard table lookups. This Routine-to-Research (R2R) developmental study aims to develop a web application for the recording and determination of MPN values. Following the Systems Development Life Cycle (SDLC) framework, the system utilizes Google Sheets as a database and Google Apps Script for application development, integrated with AI-assisted coding to construct a production-ready application. Subsequently, the application underwent formula validation to verify processing accuracy, followed by efficiency and user satisfaction evaluations. The sample group comprised five laboratory personnel responsible for wastewater analysis. Research instruments included a data determination validation form, a time-efficiency evaluation sheet, and a satisfaction questionnaire. Data were analyzed using mean ( $\bar{x}$ ), standard deviation (S.D.), and percentage change. The findings revealed that the application achieved 100.00% accuracy in data determination, validated across 100 test datasets. Additionally, the average time required for data recording and processing was reduced by 75.00%, while historical data retrieval time decreased by 86.67%. Overall user satisfaction was at the highest level ( $\bar{x}$  = 4.70, S.D. = 0.50), with the highest mean score attributed to the efficiency and error reduction dimension ( $\bar{x}$  = 4.73, S.D. = 0.48). These results demonstrate that the application effectively minimizes operational time, ambiguity, and human errors in laboratory practices. Future work will focus on expanding the system to incorporate more advanced functionalities and enhanced performance.

**Keywords:** MPN Technique, Online Application, Digital Laboratory, Wastewater Quality Analysis, AI-assisted coding

## บทนำ

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเสีย เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม เพื่อให้มั่นใจว่าคุณภาพน้ำที่ปล่อยคืนสู่แหล่งน้ำสาธารณะนั้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform bacteria) และฟิคอลโคลิฟอร์ม (Fecal coliform) ถือเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพและพารามิเตอร์บังคับที่สำคัญในการประเมินความปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคในน้ำ โดยการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องอ้างอิงตามระเบียบและคู่มือปฏิบัติการมาตรฐานสากลด้านจุลชีววิทยาทางน้ำ (American Public Health Association et al., 2023)

เทคนิคดั้งเดิมที่นิยมใช้สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย คือ Most Probable Number (MPN) หรือเทคนิค Multiple-tube fermentation ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติที่อาศัยการจัดกลุ่มหลอดทดสอบในแต่ละระดับความเจือจาง (Dilutions) โดยทั่วไปจะใช้รูปแบบ 3 หลอด หรือ 5 หลอด ต่อหนึ่งระดับความเจือจาง ซึ่งเทคนิคนี้มีขั้นตอนที่ซับซ้อนและใช้ระยะเวลาในการบ่มเชื้อยาวนาน (24 - 48 ชั่วโมง) โดยแยกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการตรวจหาเชื้อขั้นต้น (Presumptive test) ขั้นตอนการตรวจยืนยันผล (Confirmed test) และขั้นตอนการตรวจความสมบูรณ์ (Completed test) ซึ่งในแต่ละขั้นตอน ผู้ปฏิบัติงานต้องทำการสังเกตการเกิดกรดและแก๊สในหลอดดักแก๊ส (Durham tube) รวมถึงการเปลี่ยนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อ เช่น Lauryl Tryptose Broth, Brilliant Green Lactose Bile Broth และ Escherichia coli Broth (Gronewold & Wolpert, 2008)

ความซับซ้อนในแต่ละกระบวนการนี้มักก่อให้เกิดข้อผิดพลาดจากบุคคล (Human Error) ได้สูง เนื่องจากเมื่อมีปริมาณหลอดทดลองจำนวนมากต่อตัวอย่างน้ำ (45 หลอดต่อตัวอย่าง) ผู้ปฏิบัติงานต้องอ่านและจดบันทึกจำนวนหลอดที่ให้ผลบวก (Positive tubes) จากหลอดทดสอบ (อย่างน้อยที่สุด 225 หลอดต่อครั้งต่อเดือน) ลงบนสมุดเอกสารกระดาษ (Manual recording) ซึ่งเสี่ยงต่อการบันทึกสลับแถวหรือสลับหลอดความเจือจาง และการแปลผลสุดท้ายจำเป็นต้องนำรหัสผลบวกที่ได้ไปกวาดสายตาเทียบกับตารางมาตรฐาน MPN (Standard MPN Table) ซึ่งเป็นตารางที่มีตัวเลขความหนาแน่นสูง หากผู้ปฏิบัติงานมีความเหนื่อยล้าจากการทำงาน (Fatigue) ก็มีโอกาสมากที่จะมองบรรทัดคลาดเคลื่อน ส่งผลต่อความแม่นยำในการรายงานค่าทางสถิติของห้องปฏิบัติการอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งการทำงานร่วมกันของบุคลากรหลายคนในขั้นตอนการอ่านและบันทึกผล ยังทำให้ต้องเสียเวลาตรวจสอบความถูกต้องร่วมกัน (Cross-check) ซ้ำหลายครั้ง ส่งผลให้กระบวนการรายงานผลเกิดความล่าช้า

ปัจจุบันหลายองค์กรกำลังขับเคลื่อนการเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล (Digital Transformation) โดยนำระบบจัดการข้อมูลบนคลาวด์ (Cloud-based Data Management) มาใช้เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการบันทึกข้อมูล สนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลแบบเรียลไทม์ และเพิ่มความปลอดภัยในการจัดเก็บข้อมูลย้อนหลัง (Kammerlohr et al., 2023) เช่นเดียวกับห้องปฏิบัติการที่เริ่มจัดการข้อมูลสารสนเทศผ่านเครื่องมือที่เข้าถึงง่ายอย่าง Google Sheets และ Google Apps Script เพื่อสร้างระบบจัดการข้อมูลขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้ชุดคำสั่งอัตโนมัติกับสูตรที่ซับซ้อน เพื่อลดขั้นตอนซ้ำซ้อนในงาน (Kammerlohr et al., 2023) ซึ่งสอดคล้องกับเทคโนโลยี Low-Code และ No-Code (LCNC) ที่ลดการเขียนรหัสคำสั่งแบบดั้งเดิม (Hand-coding) โดยเปลี่ยนมาใช้เครื่องมือที่เป็นภาพ (Visual interfaces) หรือสคริปต์อย่างง่าย (Weber, 2025) เพื่อตอบโจทย์แนวความคิดการพัฒนาซอฟต์แวร์โดยผู้ใช้งานปลายทาง (End-User Development: EUD) ในการแก้ปัญหาหน้างานโดยตรง

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ Google Sheets ในฐานะ No-Code Database ที่มีความยืดหยุ่นสูง โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมฐานข้อมูลที่ซับซ้อน ควบคู่กับ Google Apps Script ซึ่งเป็นแพลตฟอร์ม Low-Code บนระบบคลาวด์เพื่อเชื่อมโยงและประมวลผลข้อมูลอัตโนมัติ การผสานเครื่องมือกลุ่มนี้ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อแก้ปัญหาความล่าช้าในห้องปฏิบัติการได้อย่างรวดเร็ว (Rapid Application Development) และประหยัดงบประมาณ

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดด้านทักษะคอมพิวเตอร์ของบุคลากรสายวิทยาศาสตร์ ทำให้ที่ผ่านมาต้องพึ่งพาฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ (IT) ซึ่งอาจไม่เข้าใจบริบทเฉพาะทางของห้องปฏิบัติการ ในยุคดิจิทัลจึงมีการนำแนวคิด AI-Assisted Software Engineering โดยใช้แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Models: LLMs) เข้ามาสนับสนุนการเขียนโค้ด (AI-assisted coding) เครื่องมือนี้ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยในการแนะนำรหัสคำสั่ง (Code suggestion) ตรวจสอบข้อผิดพลาด (Debugging) และอธิบายโค้ดที่ซับซ้อน (Xu et al., 2022) การประยุกต์ใช้ AI-assisted coding จึงช่วยก้าวข้ามข้อจำกัดด้านการเขียนโปรแกรมเชิงลึก ทำให้ผู้วิจัยสามารถพัฒนาคำสั่งภาษา JavaScript บน Google Apps Script เพื่อประมวลผลค่า MPN จากตารางมาตรฐานที่ซับซ้อนได้อย่างถูกต้องแม่นยำ 100% ทั้งยังช่วยลดเวลาการพัฒนาและส่งเสริมการดำเนินงานวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental Research) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้นำแนวความคิดการพัฒนางานประจำสู่งานวิจัย (Routine to Research: R2R) มาประยุกต์ใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบันทึกผลและประมวลผลค่า MPN แบบอัตโนมัติผ่านระบบ Google Apps Script ร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ (AI) และเพื่อศึกษาความพึงพอใจตลอดจนประสิทธิภาพในการใช้งานของเจ้าหน้าที่ในห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ

นี้จะเข้ามาช่วยทดแทนการจดบันทึกและเปิดตารางแบบเดิม เพื่อลดขั้นตอนการทำงาน ป้องกันความผิดพลาดจากการทำงานร่วมกันของบุคลากรหลายคน และเพิ่มประสิทธิภาพในการรายงานผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียให้มีความถูกต้อง รวดเร็ว และเป็นมาตรฐานเดียวกัน

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการบันทึกผลและประมวลผลค่า MPN ในงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชัน ได้แก่ การทดสอบความถูกต้องของการประมวลผลค่า MPN การประเมินประสิทธิภาพเชิงเวลา และความพึงพอใจของการใช้งานแอปพลิเคชันจากผู้ปฏิบัติงานจริงในห้องปฏิบัติการ

### ระเบียบวิธีวิจัย

ในการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการบันทึกผลและประมวลผลค่า MPN ในงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ดำเนินการตามระเบียบวิธีวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental Research) โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อสำคัญดังนี้

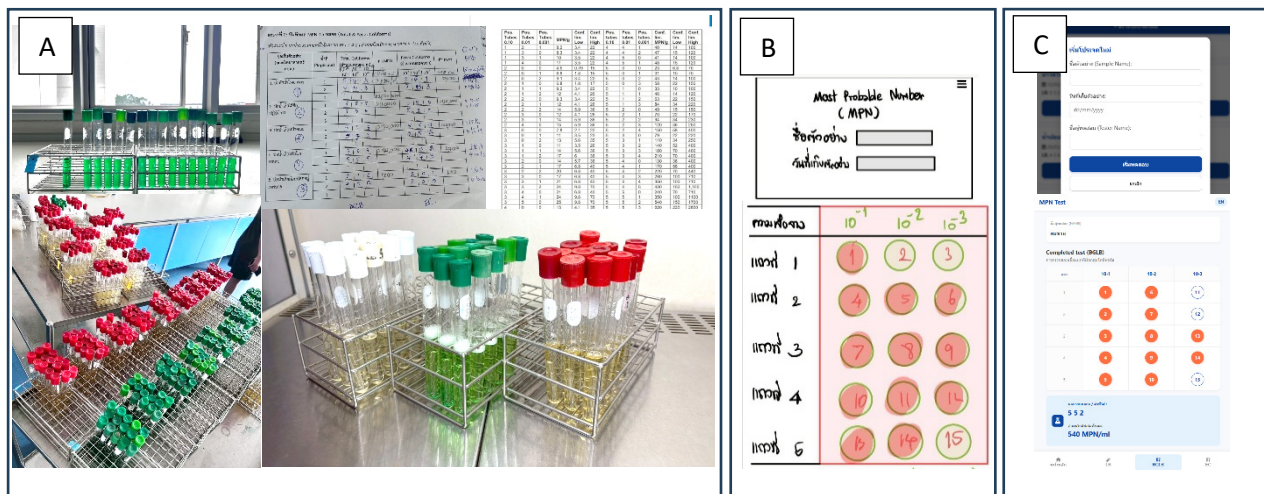
#### การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการบันทึกผลและประมวลผลค่า MPN ในงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

เป็นการดำเนินการเพื่อออกแบบและสร้างเว็บแอปพลิเคชันตามแนวทางวงจรกระบวนการพัฒนาระบบ (SDLC: System Development Life Cycle) มีรายละเอียดดังนี้

- ขอบเขตและแหล่งข้อมูล: ข้อมูลตารางมาตรฐาน (Standard MPN Table จากเอกสาร BAM Appendix 2: Most Probable Number from Serial Dilutions โดยองค์การอาหารและยา (US FDA)) และรายละเอียดบันทึกผลการทดสอบจุลชีววิทยาเดิมของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำเสีย
- เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ: ใช้ Google Sheets สำหรับจัดเก็บข้อมูลผลทดสอบ และ Google Apps Script สำหรับเขียนชุดคำสั่งและประมวลผลค่า MPN อัตโนมัติ โดยมีปัญญาประดิษฐ์ (Generative AI) เป็นผู้ช่วยสนับสนุนการเขียนรหัสคำสั่ง (AI-assisted coding)

#### ขั้นตอนการดำเนินงาน (System Development): ดำเนินการตามขั้นตอน 4 ระยะ ดังนี้

1. การวิเคราะห์ความต้องการ (Requirement Analysis)  
ศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการทำงานแบบเดิมในห้องปฏิบัติการ เพื่อกำหนดตัวแปรและชุดข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการประมวลผลค่า MPN (เช่น รหัสตัวอย่าง, วันที่ทดสอบ, จำนวนหลอดทดสอบที่ให้ผลบวกในแต่ละระดับความเจือจาง) เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input) ในระบบแอปพลิเคชัน
2. การออกแบบระบบ (System Design)  
ออกแบบหน้าต่างผู้ใช้งาน (User Interface: UI) หรือหน้าจอเว็บแอปพลิเคชันให้มีลักษณะที่ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน โดยกำหนดให้เลือกจำนวนหลอดผลบวกผ่านเมนูตัวเลือก (Dropdown) เพื่อลดความผิดพลาดในการพิมพ์ และทำการออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูล (Database) โดยใช้ Google Sheets เป็นแหล่งจัดเก็บข้อมูลการทดสอบอย่างเป็นระบบ
3. การพัฒนาและทดสอบระบบ (Development and Testing)  
ดำเนินการเขียนชุดคำสั่ง (Coding) พัฒนาหน้าเว็บแอปพลิเคชันผ่าน Google Apps Script โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AI (Gemini) เป็นผู้ช่วยในการเขียนและตรวจสอบโค้ด จากนั้นผู้วิจัยทำการทดสอบระบบเบื้องต้นเพื่อหาข้อบกพร่อง (Bug) และดำเนินการปรับปรุงแก้ไขรหัสคำสั่งซ้ำหลายรอบ จนกระทั่งระบบสามารถประมวลผลและแสดงผลค่า MPN ได้อย่างถูกต้องแม่นยำตรงตามมาตรฐาน เมื่อเปรียบเทียบกับตารางมาตรฐาน
4. การนำไปใช้งานและประเมินผล (Implementation and Evaluation):  
นำแอปพลิเคชันที่พัฒนาเสร็จสมบูรณ์ในเวอร์ชัน 1.0 ไปติดตั้งและให้กลุ่มตัวอย่าง (เพื่อนร่วมงานในห้องปฏิบัติการ) นำไปทดลองใช้งานจริงในงานประจำ เพื่อเตรียมประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 1 หน้าต่างส่วนหน้า (Interface) ของแอปพลิเคชันสำหรับบันทึกและประมวลผลค่า MPN (A) ภาพตัวอย่างการปฏิบัติงานจริงตามกระบวนการแบบเดิมในห้องปฏิบัติการ ทำให้ทราบปัญหาและความต้องการ (B) ภาพตัวอย่างการออกแบบหน้าต่างผู้ใช้งาน (User Interface: UI) ก่อนนำไปพัฒนาเป็นหน้าเว็บแอปพลิเคชัน และ (C) ภาพตัวอย่างหน้าเว็บแอปพลิเคชัน Google Apps Script หลังจากออกแบบและดำเนินการสร้างเสร็จสิ้น

### การประเมินประสิทธิภาพและการประเมินความพึงพอใจของระบบ

เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังเปิดใช้งานระบบจริงเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

#### 1. การทวนสอบความถูกต้องของการแสดงผลค่า MPN ของแอปพลิเคชันในงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

- ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง: เจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ที่มีหน้าที่ตรวจวิเคราะห์และรายงานผลคุณภาพน้ำเสียด้วยเทคนิค MPN ของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สจล. จำนวน 5 ท่าน โดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากผู้ใช้งานระบบจริง

- ขอบเขตและแหล่งข้อมูล: ชุดข้อมูลรหัสผลบวก (Positive tubes) ในแต่ละระดับความเจือจาง ตารางคู่มือมาตรฐานสากล (Standard MPN Table จากเอกสาร BAM Appendix 2: Most Probable Number from Serial Dilutions โดยองค์การอาหารและยา (US FDA)) ร่วมกับชุดข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

- เครื่องมือที่ใช้: ตารางบันทึกผลการทวนสอบความถูกต้องของการประมวลผล (Formula Validation Sheet) เพื่อใช้เปรียบเทียบค่า MPN ที่แอปพลิเคชันประมวลผลค่าได้อัตโนมัติ กับค่าจริงจากตารางคู่มือมาตรฐานสากล (Standard MPN Table จากเอกสาร BAM Appendix 2: Most Probable Number from Serial Dilutions โดยองค์การอาหารและยา (US FDA))

- วิธีการดำเนินงาน: ป้อนชุดข้อมูลรหัสผลบวกมาตรฐานและชุดข้อมูลย้อนหลังเข้าสู่ระบบเว็บแอปพลิเคชัน จากนั้นนำค่า MPN ที่ระบบประมวลผลได้มาตรวจสอบเปรียบเทียบความถูกต้องกับตารางคู่มือมาตรฐานสากลแบบรายกรณี (Case-by-case) โดยมีผู้ป้อนข้อมูลและผู้ทวนสอบ (2 ท่านต่อ 1 ตัวอย่าง) แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณเพื่อรายงานร้อยละความถูกต้องแม่นยำของการแสดงผล (โดยระบบต้องมีความถูกต้องแม่นยำ 100%) ก่อนนำไปเปิดใช้งานจริงในงาน

#### 2. การประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันประมวลผลค่า MPN ในงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

- ขอบเขตและแหล่งข้อมูล: ข้อมูลการปฏิบัติงานวิเคราะห์ค่า MPN แบบเดิม (จดมือและเปิดตาราง) เปรียบเทียบกับระบบแอปพลิเคชันแบบใหม่

- เครื่องมือที่ใช้: แบบสังเกตการจับเวลา ขั้นตอนการทำงาน และปริมาณทรัพยากร (เช่น สมุดจด/กระดาษ) รวมถึงตารางบันทึกความถูกต้องแม่นยำในการประมวลผลค่า

- วิธีการดำเนินงาน: ทำการสังเกตและจับเวลาขั้นตอนการทำงาน ข้อจำกัด และข้อผิดพลาดในกระบวนการทำงานระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่โดยผู้ปฏิบัติงาน จากนั้นนำข้อมูลมาเปรียบเทียบและรายงานผลเป็นเชิงปริมาณด้วยร้อยละของการลดลงและเพิ่มขึ้น และเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ

### 3. การประเมินความพึงพอใจหลังใช้งานระบบ

- ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง: เจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ที่มีหน้าที่ตรวจวิเคราะห์และรายงานผลคุณภาพน้ำเสียด้วยเทคนิค MPN ของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สจล. จำนวน 5 ท่าน โดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากผู้ใช้งานระบบจริง

- เครื่องมือที่ใช้ในการประเมิน: แบบประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน เป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Likert Scale) 5 ระดับ จำนวน 9 ข้อ แบ่งโครงสร้างคำถามออกเป็น 3 ด้านหลัก ได้แก่ ด้านที่ 1 ด้านความสะดวกในการใช้งาน (UI & Usability), ด้านที่ 2 ด้านประสิทธิภาพและการลดข้อผิดพลาด (Performance & Error Reduction) และด้านที่ 3 ด้านความพึงพอใจในภาพรวม (Overall Satisfaction)

- การวิเคราะห์ข้อมูล: นำข้อมูลคะแนนที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อนำไปแปลผลระดับความพึงพอใจตามเกณฑ์มาตรฐานในลำดับต่อไป

### ผลการวิจัย

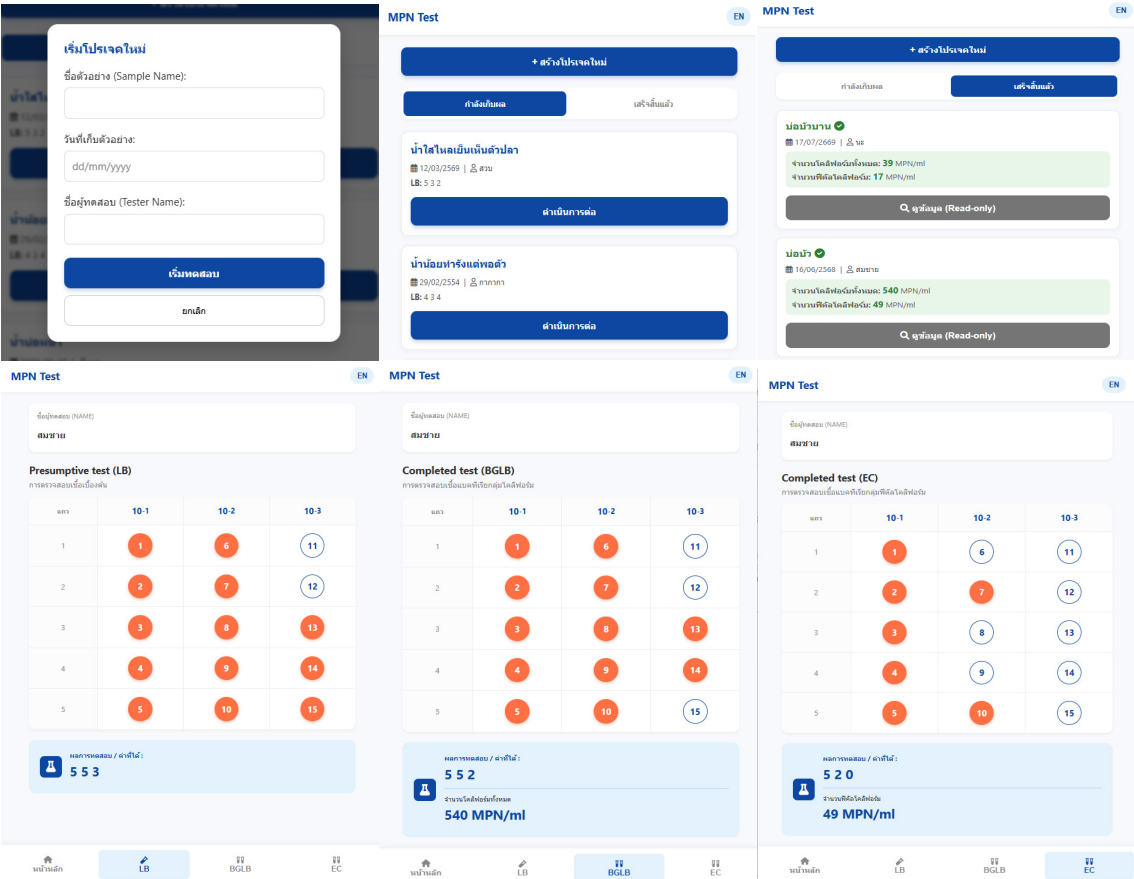
การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับบันทึกผลและประมวลผลค่า MPN ในงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย มีผลการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

#### ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับบันทึกและประมวลผลค่า MPN

จากการศึกษาและพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับบันทึกผลและประมวลผลค่า MPN ในห้องปฏิบัติการของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สจล. ผู้จัดทำได้ดำเนินการออกแบบระบบโดยประยุกต์ใช้กลุ่มโปรแกรมของ Google Workspace ทำงานร่วมกับเว็บแอปพลิเคชันที่ประมวลผลผ่าน Google Apps Script เพื่อสร้างระบบบันทึกและประมวลผลค่าอัตโนมัติ (Automation) ระบบดังกล่าวมีโครงสร้างการทำงานที่เริ่มต้นจากการเข้าใช้งานหน้าจอเว็บแอปพลิเคชันหลัก ซึ่งผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวกและรวดเร็วผ่านการสแกนคิวอาร์โค้ด (QR Code) ที่ติดตั้งไว้บริเวณจุดอ่านผลภายในห้องปฏิบัติการและทาง URL link ภายในแอปพลิเคชันจะประกอบด้วยฟังก์ชันการทำงานที่ครอบคลุม ทั้งหน้าตาสำหรับการกรอกข้อมูลหลักของตัวอย่างน้ำเสีย (เช่น รหัสตัวอย่าง วันที่ทดสอบ และชื่อผู้บันทึก) และส่วนอินเตอร์เฟซสำหรับกรอกผลการทดสอบ โดยเมื่อผู้ปฏิบัติงานทำการบันทึกจำนวนหลอดที่ให้ผลบวก (Positive tubes) ในแต่ละระดับความเจือจางผ่านระบบเมนูตัวเลือก (Dropdown) ข้อมูลดิบทั้งหมดจะถูกส่งไปจัดเก็บอย่างเป็นระบบในฐานข้อมูลคลาวด์บน Google Sheets ทันที

ในขั้นตอนของการประมวลผลและการแสดงผลลัพธ์ ระบบได้นำ Google Apps Script มาใช้เป็นเครื่องมือหลักในการเขียนชุดคำสั่งและฟังก์ชันเชิงตรรกะ เพื่อทำหน้าที่ดึงข้อมูลจำนวนหลอดผลบวกชุดใหม่ที่ถูกบันทึกเข้ามา ไปทำการเปรียบเทียบตารางดัชนีมาตรฐาน MPN (Standard MPN Table) และประมวลสัดส่วนความเจือจางกลับให้ออกมาเป็นค่า MPN/mL แบบอัตโนมัติ ซึ่งผลลัพธ์การประมวลผลดังกล่าวจะถูกส่งกลับมาแสดงผลบนหน้าจอเว็บแอปพลิเคชันให้ผู้ปฏิบัติงานทราบทันทีหลังกดส่งข้อมูล ในส่วนของการบริหารจัดการข้อมูลโดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ระบบยังสามารถให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถเข้าไปตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้โดยตรง

การพัฒนาระบบด้วยรูปแบบการไหลของข้อมูลดังกล่าว จึงช่วยแก้ปัญหาความสับสนและคลาดเคลื่อนจากการจดบันทึกด้วยมือร่วมกันของบุคลากรหลายคน ลดขั้นตอนและเวลาที่สูญเสียไปกับการเปิดตารางมาตรฐานแบบเดิม และเพิ่มประสิทธิภาพรวมถึงความเป็นมาตรฐานสากลในการรายงานผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียได้อย่างเป็นรูปธรรม ดังแสดงรายละเอียดหน้าต่างระบบและการแสดงผลข้อมูลในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หน้าต่างส่วนหน้า (Interface) ของแอปพลิเคชันสำหรับบันทึกและประมวลผลค่า MPN

ผลการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของการใช้งานแอปพลิเคชันจากผู้ปฏิบัติงานจริงในห้องปฏิบัติการ

1. การทวนสอบความถูกต้องของการแสดงผลค่า MPN ของแอปพลิเคชันจากผู้ปฏิบัติงานจริงในห้องปฏิบัติการ

การทวนสอบความถูกต้องแม่นยำในการประมวลผลและแสดงค่า MPN ของแอปพลิเคชัน จากการทดสอบร่วมกับชุดข้อมูลตัวอย่างจำนวน 100 ตัวอย่าง ซึ่งผ่านกระบวนการตรวจทานโดยผู้ปฏิบัติงานจำนวน 2 คนต่อตัวอย่าง และทำการตรวจสอบซ้ำ (Re-check) เป็นจำนวน 2 รอบ เทียบเคียงกับตารางคู่มือมาตรฐานฉบับพิมพ์ที่มีการลงบันทึกยืนยันความถูกต้องหน้างาน (ดังแสดงในภาพที่ 3)

ผลการดำเนินงานพบว่า ระบบแอปพลิเคชันสามารถประมวลผลค่า MPN ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และ ฟิคอลโคลิฟอร์ม ได้ถูกต้องตรงตามตารางมาตรฐานสากลครบถ้วนทั้ง 100 กรณี คิดเป็นร้อยละ 100 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือ สามารถนำไปใช้งานทดแทนระบบเปิดตารางด้วยมือได้

ตารางที่ 1 สรุปผลการทวนสอบความถูกต้องของการแสดงผลค่า MPN ของแอปพลิเคชัน

| เชื้อที่ตรวจสอบ                     | จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ | ผลการทวนสอบรอบที่ 1 (ถูกต้อง/ตัวอย่าง) | ผลการทวนสอบรอบที่ 2 (ถูกต้อง/ตัวอย่าง) | อัตราความถูกต้อง (ร้อยละ) |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| 1. จำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด (BGLB_MPN) | 100                   | 100                                    | 100                                    | 100.00                    |
| 2. ฟิคอลโคลิฟอร์ม (EC_MPN)          | 100                   | 100                                    | 100                                    | 100.00                    |
| รวมเฉลี่ยทั้งระบบ                   | 100                   | 100                                    | 100                                    | 100.00                    |

A

Table 2: For 5 tubes each at 0.1, 0.01, and 0.001 g inocula, the MPNs and 95 percent confidence intervals.

| Pos. Tubes 0.10 | Pos. Tubes 0.01 | Pos. Tubes 0.001 | MPN/g | Conf. lim. Low | Conf. lim. High | Pos. tubes 0.10 | Pos. tubes 0.01 | Pos. tubes 0.001 | Conf. lim. MPN/g | Conf. lim. Low | Conf. lim. High |
|-----------------|-----------------|------------------|-------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|
| 0               | 0               | 0                | <>    | —              | —               | 6.8             | 4               | 0                | 2                | 21             | 6.8             |
| 0               | 0               | 1                | 1.8   | 0.09           | 6.8             | 4               | 0               | 3                | 25               | 9.8            | 40              |
| 0               | 1               | 0                | 1.8   | 0.09           | 6.9             | 4               | 1               | 0                | 17               | 6              | 70              |
| 0               | 1               | 1                | 3.6   | 0.7            | 10              | 4               | 1               | 1                | 21               | 6.8            | 42              |
| 0               | 2               | 0                | 3.7   | 0.7            | 10              | 4               | 1               | 2                | 26               | 9.8            | 70              |
| 0               | 2               | 1                | 5.5   | 1.8            | 15              | 4               | 1               | 3                | 31               | 10             | 70              |
| 0               | 3               | 0                | 5.6   | 1.8            | 15              | 4               | 2               | 0                | 22               | 6.8            | 50              |
| 1               | 0               | 0                | 2     | 0.1            | 10              | 4               | 2               | 1                | 26               | 9.8            | 70              |
| 1               | 0               | 1                | 4     | 0.7            | 10              | 4               | 2               | 2                | 32               | 10             | 70              |
| 1               | 0               | 2                | 6     | 1.8            | 15              | 4               | 2               | 3                | 38               | 14             | 100             |
| 1               | 1               | 0                | 4     | 0.7            | 12              | 4               | 3               | 0                | 27               | 9.9            | 70              |
| 1               | 1               | 1                | 6.1   | 1.8            | 15              | 4               | 3               | 1                | 33               | 10             | 70              |
| 1               | 1               | 2                | 8.1   | 3.4            | 22              | 4               | 3               | 2                | 39               | 14             | 100             |
| 1               | 2               | 0                | 6.1   | 1.8            | 15              | 4               | 4               | 0                | 34               | 14             | 100             |
| 1               | 2               | 1                | 8.2   | 3.4            | 22              | 4               | 4               | 1                | 40               | 14             | 100             |
| 1               | 3               | 0                | 8.3   | 3.4            | 22              | 4               | 4               | 2                | 47               | 15             | 120             |
| 1               | 3               | 1                | 10    | 3.5            | 22              | 4               | 5               | 0                | 41               | 14             | 100             |
| 1               | 4               | 0                | 11    | 3.5            | 22              | 4               | 5               | 1                | 48               | 15             | 120             |
| 2               | 0               | 0                | 4.5   | 0.79           | 15              | 5               | 0               | 0                | 23               | 6.8            | 70              |
| 2               | 0               | 1                | 6.8   | 1.8            | 15              | 5               | 0               | 1                | 31               | 10             | 70              |
| 2               | 0               | 2                | 9.1   | 3.4            | 22              | 5               | 0               | 2                | 43               | 14             | 100             |
| 2               | 1               | 0                | 6.8   | 1.8            | 17              | 5               | 0               | 3                | 58               | 22             | 150             |
| 2               | 1               | 1                | 9.2   | 3.4            | 22              | 5               | 1               | 0                | 33               | 10             | 100             |
| 2               | 1               | 2                | 12    | 4.1            | 26              | 5               | 1               | 1                | 46               | 14             | 120             |
| 2               | 2               | 0                | 9.3   | 3.4            | 22              | 5               | 1               | 2                | 63               | 22             | 150             |
| 2               | 2               | 1                | 12    | 4.1            | 26              | 5               | 1               | 3                | 84               | 34             | 220             |
| 2               | 2               | 2                | 14    | 5.9            | 36              | 5               | 2               | 0                | 49               | 15             | 150             |
| 2               | 3               | 0                | 12    | 4.1            | 26              | 5               | 2               | 1                | 70               | 22             | 170             |
| 2               | 3               | 1                | 14    | 5.9            | 36              | 5               | 2               | 2                | 94               | 34             | 230             |
| 2               | 4               | 0                | 15    | 5.9            | 36              | 5               | 2               | 3                | 120              | 36             | 250             |
| 3               | 0               | 0                | 7.8   | 2.1            | 22              | 5               | 2               | 4                | 150              | 58             | 400             |
| 3               | 0               | 1                | 11    | 3.5            | 23              | 5               | 3               | 0                | 79               | 22             | 220             |
| 3               | 0               | 2                | 13    | 5.6            | 36              | 5               | 3               | 1                | 110              | 34             | 250             |
| 3               | 1               | 0                | 11    | 3.5            | 26              | 5               | 3               | 2                | 140              | 52             | 400             |
| 3               | 1               | 1                | 14    | 5.6            | 36              | 5               | 3               | 3                | 180              | 70             | 400             |
| 3               | 1               | 2                | 17    | 6              | 36              | 5               | 3               | 4                | 210              | 70             | 400             |
| 3               | 2               | 0                | 14    | 5.7            | 36              | 5               | 4               | 0                | 130              | 36             | 400             |
| 3               | 2               | 1                | 17    | 6.8            | 40              | 5               | 4               | 1                | 170              | 58             | 400             |
| 3               | 2               | 2                | 20    | 6.8            | 40              | 5               | 4               | 2                | 220              | 70             | 440             |
| 3               | 3               | 0                | 17    | 6.8            | 40              | 5               | 4               | 3                | 280              | 100            | 710             |
| 3               | 3               | 1                | 21    | 6.8            | 40              | 5               | 4               | 4                | 350              | 100            | 710             |
| 3               | 3               | 2                | 24    | 9.8            | 70              | 5               | 4               | 5                | 430              | 150            | 1,100           |
| 3               | 4               | 0                | 21    | 6.8            | 40              | 5               | 5               | 0                | 240              | 70             | 710             |
| 3               | 4               | 1                | 24    | 9.8            | 70              | 5               | 5               | 1                | 350              | 100            | 1,100           |
| 3               | 5               | 0                | 25    | 9.8            | 70              | 5               | 5               | 2                | 540              | 150            | 1,700           |
| 4               | 0               | 0                | 13    | 4.1            | 35              | 5               | 5               | 3                | 920              | 220            | 2,600           |
| 4               | 0               | 1                | 17    | 5.9            | 36              | 5               | 5               | 4                | 1,600            | 400            | 4,600           |
| 4               | 0               | 1                | 17    | 5.9            | 36              | 5               | 5               | 5                | >1600            | 700            | —               |

B

ตารางทวนสอบความถูกต้องในการแสดงผลค่าแอฟลิเคชัน MPN test

| Sample_Name | Sample_Date | LB_Result | BGLB_Result | BGLB_MPN  | EC_Result | EC_MPN | Re-check Status (1) | Re-check Status (2) |
|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|--------|---------------------|---------------------|
| Sample_01   | 19/5/2026   | 1 3 1     | 1 1 0       | 4 0 1 0   | 4 0 1 0   | 1.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_02   | 19/5/2026   | 1 2 1     | 1 0 1       | 4 1 0 1   | 4 1 0 1   | 4      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_03   | 20/5/2026   | 4 3 2     | 4 3 0       | 27 0 3 0  | 27 0 3 0  | 5.6    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_04   | 20/5/2026   | 3 3 2     | 1 2 1       | 8 2 1 2 1 | 8 2 1 2 1 | 8.2    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_05   | 21/5/2026   | 4 0 1     | 4 0 0       | 13 4 0 0  | 13 4 0 0  | 13     | ✓                   | ✓                   |
| Sample_06   | 21/5/2026   | 1 4 0     | 0 3 0       | 5 6 0 1 0 | 5 6 0 1 0 | 1.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_07   | 22/5/2026   | 5 0 1     | 5 0 0       | 23 2 0 0  | 23 2 0 0  | 4.5    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_08   | 22/5/2026   | 0 3 0     | 0 2 0       | 3 7 0 0 0 | 3 7 0 0 0 | <1.8   | ✓                   | ✓                   |
| Sample_09   | 23/5/2026   | 1 1 0     | 1 0 0       | 2 1 0 0 0 | 2 1 0 0 0 | 2      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_10   | 23/5/2026   | 3 0 2     | 2 0 0       | 4 5 1 0 0 | 4 5 1 0 0 | 2      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_11   | 23/5/2026   | 4 2 1     | 3 1 0       | 11 0 0 0  | 11 0 0 0  | <1.8   | ✓                   | ✓                   |
| Sample_12   | 24/5/2026   | 5 2 1     | 4 1 1       | 21 1 0 0  | 21 1 0 0  | 2      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_13   | 24/5/2026   | 5 4 5     | 5 2 4       | 150 2 1 1 | 150 2 1 1 | 9.2    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_14   | 25/5/2026   | 3 2 2     | 3 0 1       | 11 0 0 0  | 11 0 0 0  | <1.8   | ✓                   | ✓                   |
| Sample_15   | 26/5/2026   | 4 1 2     | 2 1 1       | 9 2 0 1 0 | 9 2 0 1 0 | 1.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_16   | 26/5/2026   | 3 4 0     | 3 0 0       | 7 8 1 0 0 | 7 8 1 0 0 | 2      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_17   | 26/5/2026   | 5 5 2     | 0 1 1       | 3 6 0 1 0 | 3 6 0 1 0 | 1.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_18   | 26/5/2026   | 2 2 1     | 0 1 0       | 1 6 0 0 0 | 1 6 0 0 0 | <1.8   | ✓                   | ✓                   |
| Sample_19   | 27/5/2026   | 4 0 3     | 1 0 2       | 6 1 0 0 0 | 6 1 0 0 0 | 2      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_20   | 27/5/2026   | 5 5 5     | 4 2 3       | 38 4 1 1  | 38 4 1 1  | 21     | ✓                   | ✓                   |
| Sample_21   | 27/5/2026   | 3 3 2     | 2 0 1       | 6 8 0 0 1 | 6 8 0 0 1 | 1.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_22   | 28/5/2026   | 1 0 1     | 1 0 1       | 4 1 0 0 0 | 4 1 0 0 0 | 2      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_23   | 28/5/2026   | 1 0 2     | 1 0 2       | 6 0 0 1 0 | 6 0 0 1 0 | 1.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_24   | 29/5/2026   | 5 5 4     | 0 2 0       | 3 7 0 0 0 | 3 7 0 0 0 | <1.8   | ✓                   | ✓                   |
| Sample_25   | 29/5/2026   | 5 4 5     | 5 4 5       | 480 3 1 0 | 480 3 1 0 | 11     | ✓                   | ✓                   |
| Sample_26   | 30/5/2026   | 3 3 2     | 1 0 0       | 2 1 0 0 0 | 2 1 0 0 0 | 2      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_27   | 30/5/2026   | 5 2 3     | 4 1 3       | 312 1 2   | 312 1 2   | 12     | ✓                   | ✓                   |
| Sample_28   | 31/5/2026   | 3 2 0     | 2 2 0       | 9 3 0 2 0 | 9 3 0 2 0 | 3.7    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_29   | 1/6/2026    | 2 1 1     | 0 1 0       | 1 8 0 0 0 | 1 8 0 0 0 | <1.8   | ✓                   | ✓                   |
| Sample_30   | 1/6/2026    | 4 3 1     | 0 1 1       | 3 6 0 0 1 | 3 6 0 0 1 | 1.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_31   | 1/6/2026    | 1 4 0     | 0 2 0       | 3 7 0 1 0 | 3 7 0 1 0 | 1.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_32   | 1/6/2026    | 4 2 2     | 1 2 1       | 8 2 1 2 0 | 8 2 1 2 0 | 6.1    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_33   | 2/6/2026    | 5 1 1     | 2 1 1       | 9 2 1 1 0 | 9 2 1 1 0 | 4      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_34   | 2/6/2026    | 1 0 0     | 1 0 0       | 2 1 0 0 0 | 2 1 0 0 0 | 2      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_35   | 3/6/2026    | 3 1 1     | 1 1 0       | 4 1 1 0 0 | 4 1 1 0 0 | 4      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_36   | 3/6/2026    | 1 2 0     | 0 0 0       | <1.8      | 0 0 0     | <1.8   | ✓                   | ✓                   |
| Sample_37   | 3/6/2026    | 5 2 0     | 2 1 0       | 6 8 0 1 0 | 6 8 0 1 0 | 1.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_38   | 3/6/2026    | 5 3 0     | 4 1 0       | 17 1 1 0  | 17 1 1 0  | 4      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_39   | 3/6/2026    | 5 2 1     | 4 0 1       | 17 1 0 1  | 17 1 0 1  | 4      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_40   | 4/6/2026    | 2 2 2     | 2 2 2       | 14 2 2 0  | 14 2 2 0  | 9.3    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_41   | 4/6/2026    | 4 0 0     | 4 0 0       | 13 1 0 0  | 13 1 0 0  | 2      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_42   | 4/6/2026    | 3 0 2     | 2 0 2       | 9 1 0 0 1 | 9 1 0 0 1 | 1.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_43   | 5/6/2026    | 3 1 1     | 3 1 0       | 11 3 0 0  | 11 3 0 0  | 7.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_44   | 5/6/2026    | 4 2 0     | 2 1 0       | 6 8 1 0 0 | 6 8 1 0 0 | 2      | ✓                   | ✓                   |
| Sample_45   | 5/6/2026    | 5 2 0     | 0 1 0       | 1 8 0 0 0 | 1 8 0 0 0 | <1.8   | ✓                   | ✓                   |
| Sample_46   | 6/6/2026    | 2 0 1     | 0 0 0       | <1.8      | 0 0 0     | <1.8   | ✓                   | ✓                   |
| Sample_47   | 6/6/2026    | 0 2 0     | 0 2 0       | 3 7 0 1 0 | 3 7 0 1 0 | 1.8    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_48   | 6/6/2026    | 1 3 0     | 0 3 0       | 5 6 0 3 0 | 5 6 0 3 0 | 5.6    | ✓                   | ✓                   |
| Sample_49   | 6/6/2026    | 1 0 1     | 1 0 0       | 2 0 0 0 0 | 2 0 0 0 0 | <1.8   | ✓                   | ✓                   |
| Sample_50   | 6/6/2026    | 3 0 2     | 2 0 0       | 4 5 0 0 0 | 4 5 0 0 0 | <1.8   | ✓                   | ✓                   |

### ภาพที่ 3 ภาพประกอบการทวนสอบความถูกต้องของการแสดงผลค่า MPN ของแอปพลิเคชัน

A : Standard MPN Table จากเอกสาร BAM Appendix 2: Most Probable Number from Serial Dilutions

B : ตารางทวนสอบความถูกต้องของแอปพลิเคชัน โดยผู้ปฏิบัติงานจำนวน 2 ครั้งต่อตัวอย่าง

#### 2. การประเมินประสิทธิภาพของการใช้งานแอปพลิเคชันจากผู้ปฏิบัติงานจริงในห้องปฏิบัติการ

ผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงปริมาณของแอปพลิเคชันสำหรับบันทึกและประมวลผลค่า MPN (ตารางที่ 2) พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานในหลายด้าน โดยสามารถลดเวลาในการบันทึกและประมวลผลค่า MPN ได้ร้อยละ 75 และลดระยะเวลาในการสืบค้นข้อมูลย้อนหลังได้ร้อยละ 86.67 นอกจากนี้ ยังสามารถลดข้อผิดพลาดจากการจดบันทึกและการอ่านค่า รวมถึงลดการใช้กระดาษลงได้ร้อยละ 100 ขณะที่ในด้านความสามารถการเข้าถึงและการจัดการข้อมูล พบว่าระบบช่วยขยายเวลาในการเข้าถึงข้อมูลการเก็บรักษาข้อมูลเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า (จากเดิม 8 ชั่วโมงเป็น 24 ชั่วโมงต่อวัน) จำนวนช่องทางการเข้าถึงระบบเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า และเพิ่มศักยภาพในการรองรับการใช้งานพร้อมกันของเจ้าหน้าที่เพื่อดูผลลัพธ์แบบเรียลไทม์ได้เพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่า จากเดิม ส่งผลให้การจัดเก็บ การสืบค้น และการบริหารจัดการข้อมูลมีประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น

ผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงคุณภาพ (ตารางที่ 3) แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาแอปพลิเคชันส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะการปฏิบัติงานและการบริหารจัดการข้อมูลอย่างเป็นระบบ โดยรูปแบบการดำเนินงานเปลี่ยนจากการบันทึกและอ่านค่า MPN ด้วยตนเอง เป็นการใช้ระบบสารสนเทศสนับสนุนการบันทึกและประมวลผลข้อมูลอัตโนมัติ ขณะเดียวกันระบบช่วยลดโอกาสการเกิดข้อผิดพลาดจากการแปลผลด้วยตนเอง รวมทั้งเพิ่มความสม่ำเสมอในการรายงานผล นอกจากนี้ ข้อมูลถูกจัดเก็บในรูปแบบฐานข้อมูลดิจิทัลที่สามารถสืบค้นและเรียกใช้ย้อนหลังได้อย่างสะดวก สนับสนุนการจัดการข้อมูลและการใช้ประโยชน์จากข้อมูลอย่างเป็นระบบ อีกทั้งยังช่วยลดภาระงานที่เกี่ยวข้องกับการบันทึกและประมวลผลข้อมูล รวมถึงส่งเสริมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการพัฒนางานประจำตามแนวคิด R2R ภายในหน่วยงานได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงปริมาณก่อนและหลังการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับบันทึกและประมวลผลค่า MPN

| ประเด็นการประเมินเชิงปริมาณ                                    | ก่อนพัฒนา | หลังพัฒนา | ร้อยละการเปลี่ยนแปลง |
|----------------------------------------------------------------|-----------|-----------|----------------------|
| <b>ด้านขั้นตอนการทำงานและความรวดเร็ว</b>                       |           |           |                      |
| -ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการบันทึกและประมวลผล MPN (นาที/รอบ)     | 20        | 5         | ลดลง 75%             |
| -ระยะเวลาในการค้นหาข้อมูลผลการทดสอบย้อนหลัง (นาที/ครั้ง)       | 15        | 2         | ลดลง 86.67%          |
| <b>ด้านความถูกต้องและการลดต้นทุน</b>                           |           |           |                      |
| - ข้อผิดพลาดจากการจดบันทึกและการอ่านค่า (ครั้ง/เดือน)          | 3         | 0         | ลดลง 100%            |
| - ปริมาณกระดาษสมุดจดที่ใช้ (เล่ม/ปี)                           | 2         | 0         | ลดลง 100%            |
| <b>ด้านการเข้าถึงและการจัดการข้อมูล</b>                        |           |           |                      |
| - จำนวนชั่วโมงการเข้าถึงข้อมูลการเก็บรักษาข้อมูล (ชั่วโมง/วัน) | 8         | 24        | เพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า |
| - จำนวนช่องทางการเข้าถึงระบบ                                   | 1         | 3         | เพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า |
| - จำนวนเจ้าหน้าที่ที่สามารถดูผลลัพธ์พร้อมกันแบบเรียลไทม์ (คน)  | 1         | 5         | เพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่า |
| - จำนวนข้อมูลที่สามารถจัดเก็บและสืบค้นย้อนหลังได้              | จำกัด     | ไม่จำกัด  | จัดเก็บได้ไม่จำกัด   |

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงคุณภาพก่อนและหลังการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับบันทึกและประมวลผลค่า MPN

| ประเด็นการพัฒนา         | ก่อนการพัฒนา                                    | หลังการพัฒนา                               | ผลที่เกิดขึ้นจากการพัฒนา               |
|-------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| รูปแบบการปฏิบัติงาน     | บันทึกผลและอ่านค่า MPN ด้วยตนเอง                | บันทึกและประมวลผลผ่านแอปพลิเคชัน           | ลดขั้นตอนและเพิ่มความสะดวกในการทำงาน   |
| ความถูกต้องของข้อมูล    | เสี่ยงต่อข้อผิดพลาดจากการอ่านค่าและบันทึกข้อมูล | ประมวลผลอัตโนมัติตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด      | ลดความผิดพลาดและเพิ่มความน่าเชื่อถือ   |
| การจัดการข้อมูลย้อนหลัง | จัดเก็บข้อมูลในเอกสาร ทำให้ค้นหาย้อนหลังได้ยาก  | จัดเก็บในฐานข้อมูลและสืบค้นได้ทันที        | เข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็วและเป็นระบบ     |
| การใช้เวลาและทรัพยากร   | ใช้เวลาในการบันทึกและตรวจสอบหลายขั้นตอน         | บันทึก ประมวลผล และเรียกดูข้อมูลได้รวดเร็ว | ลดเวลาและภาระงานของผู้ปฏิบัติงาน       |
| การพัฒนาองค์กรดิจิทัล   | ดำเนินงานด้วยเอกสารเป็นหลัก                     | ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลสนับสนุนงาน             | ส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านสู่องค์กรดิจิทัล |

#### ผลการประเมินความพึงพอใจของการใช้งานแอปพลิเคชันจากผู้ปฏิบัติงานจริงในห้องปฏิบัติการ

ผู้วิจัยจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลผ่านแบบประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำเสียจำนวน 5 ท่าน หลังจากการนำระบบไปทดลองใช้ปฏิบัติงานจริง โดยผลการประเมินความพึงพอใจและประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันในภาพรวมและรายด้าน ปรากฏดังแสดงในตารางที่ 4

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจและประสิทธิภาพหลังการใช้งานแอปพลิเคชันบันทึกและประมวลผลค่า MPN ออนไลน์ของผู้ปฏิบัติงานในภาพรวมทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 เมื่อพิจารณาผลการประเมินจำแนกเป็นรายด้าน สามารถเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้

ด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ ด้านประสิทธิภาพและการลดข้อผิดพลาด (Performance & Error Reduction) มีผลการประเมินในภาพรวมรายด้านอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.73$ , S.D. = 0.48) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อคำถามพบว่า ประเด็นแอปพลิเคชันช่วยลดภาระงานในการบันทึกข้อมูล และประเด็นผู้ใช้งานมีความเชื่อมั่นต่อผลลัพธ์ที่ได้จากแอปพลิเคชัน มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุดเท่ากัน ( $\bar{X} = 4.80$ , S.D. = 0.45) รองลงมาคือ ประเด็นแอปพลิเคชันช่วยสนับสนุนการปฏิบัติงานได้อย่างเหมาะสม ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุดเช่นเดียวกัน ( $\bar{X} = 4.60$ , S.D. = 0.55)

ด้านที่มีค่าเฉลี่ยรองลงมาคือ ด้านความพึงพอใจในภาพรวม (Overall Satisfaction) มีผลการประเมินในภาพรวมรายด้านอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.70$ , S.D. = 0.50) โดยเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อคำถามพบว่า ข้อคำถามเกี่ยวกับความประสงค์ที่จะใช้งานแอปพลิเคชันนี้ต่อไปในอนาคต มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.80$ , S.D. = 0.45) และประเด็นแอปพลิเคชันมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในงานประจำ มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.60$ , S.D. = 0.55)

ด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ ด้านความสะดวกในการใช้งาน (Usability & UI) แต่ยังคงมีผลการประเมินในภาพรวมรายด้านอยู่ในระดับมากที่สุดเช่นเดียวกัน ( $\bar{X} = 4.67$ , S.D. = 0.52) โดยข้อคำถามที่มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดในด้านนี้คือ ความสะดวกในการกรอกข้อมูลผ่านแอปพลิเคชัน ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.80$ , S.D. = 0.45) ส่วนประเด็นรูปแบบหน้าจอมีความชัดเจน และผลลัพธ์ที่แสดงเข้าใจได้ง่าย มีผลคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุดเท่ากัน ( $\bar{X} = 4.60$ , S.D. = 0.55)

**ตารางที่ 4** ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของระดับความพึงพอใจและประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน

| ประเด็นการประเมินความพึงพอใจและประสิทธิภาพ                                                | ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) | ระดับความพึงพอใจ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1. รูปแบบหน้าจอ (UI) ของแอปพลิเคชันมีความชัดเจน                                           | 4.60                    | 0.55                        | มากที่สุด        |
| 2. การกรอกข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันทำได้สะดวก                                                 | 4.80                    | 0.45                        | มากที่สุด        |
| 3. ผลลัพธ์ที่แสดงจากแอปพลิเคชันเข้าใจได้ง่าย                                              | 4.60                    | 0.55                        | มากที่สุด        |
| <b>ผลรวมด้านที่ 1 : ความสะดวกในการใช้งาน (Usability &amp; UI)</b>                         | <b>4.67</b>             | <b>0.52</b>                 | <b>มากที่สุด</b> |
| 4. แอปพลิเคชันช่วยสนับสนุนการปฏิบัติงานได้อย่างเหมาะสม                                    | 4.60                    | 0.55                        | มากที่สุด        |
| 5. แอปพลิเคชันช่วยลดภาระงานในการบันทึกข้อมูล                                              | 4.80                    | 0.45                        | มากที่สุด        |
| 6. ท่านมีความเชื่อมั่นต่อผลลัพธ์ที่ได้จากแอปพลิเคชัน                                      | 4.80                    | 0.45                        | มากที่สุด        |
| <b>ผลรวมด้านที่ 2 : ประสิทธิภาพและการลดข้อผิดพลาด (Performance &amp; Error Reduction)</b> | <b>4.73</b>             | <b>0.48</b>                 | <b>มากที่สุด</b> |
| 7. แอปพลิเคชันเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการปฏิบัติงาน                                         | 4.60                    | 0.55                        | มากที่สุด        |
| 8. ท่านมีความประสงค์ที่จะใช้งานแอปพลิเคชันนี้ต่อไป                                        | 4.80                    | 0.45                        | มากที่สุด        |
| 9. ท่านมีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันนี้                                                     | 4.70                    | 0.50                        | มากที่สุด        |
| <b>ผลรวมด้านที่ 3 : ความพึงพอใจในภาพรวม (Overall Satisfaction)</b>                        | <b>4.70</b>             | <b>0.50</b>                 | <b>มากที่สุด</b> |
| <b>สรุปผลความพึงพอใจภาพรวม</b>                                                            | <b>4.70</b>             | <b>0.50</b>                 | <b>มากที่สุด</b> |

นอกเหนือจากข้อมูลเชิงปริมาณทางสถิติ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพจากข้อเสนอแนะปลายเปิดของผู้ปฏิบัติงาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้ ข้อคิดเห็นเชิงบวก ผู้ประเมินระบุว่าระบบทำงานได้รวดเร็ว ช่วยขจัดปัญหาความเหนื่อยล้าในการกวาดสายตาไล่ดูตารางสถิติมหาพจน์แบบดั้งเดิม ส่งผลให้การรายงานผลมีความต่อเนื่องและลดความขัดแย้งในขั้นตอนการ Cross-check ข้อมูลระหว่างเจ้าหน้าที่ สำหรับข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาเพิ่มเติม ผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีความเห็นสอดคล้องกันว่า ในการพัฒนาระบบเวอร์ชันถัดไป อยากรให้มีการเพิ่มฟังก์ชันความสามารถสำหรับการตรวจผลแบบ 5X5 แถว และความเงื่อนงำที่มากขึ้น รวมถึงการเพิ่มโมดูลสำหรับส่งออกรายงานสรุปผลวิเคราะห์ออกมาเป็นไฟล์เอกสาร PDF เพื่อความสะดวกในการนำข้อมูลออกมาใช้ต่อไป

## สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันบันทึกและประมวลผลค่า MPN ออนไลน์ สำหรับงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ สามารถสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

ผลการพัฒนาระบบ: ผู้วิจัยสามารถพัฒนาแอปพลิเคชันออนไลน์ได้สำเร็จ โดยประยุกต์ใช้กลุ่มโปรแกรม Google Sheets และ Google Apps Script มาทำงานร่วมกัน ส่งผลให้เกิดระบบบันทึก ประมวลผล และแปลผลค่า MPN ได้โดยอัตโนมัติในทันที ซึ่งผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าใช้งานระบบเพื่อบันทึกข้อมูลและตรวจสอบผลลัพธ์ผ่านสมาร์ทโฟนหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกทั้งงาน โดยสามารถสืบค้นย้อนหลังได้แม้แต่การระบุตำแหน่งหลอดที่เกิดผลบวก

ผลการทดสอบความถูกต้องของระบบ : จากการนำชุดข้อมูลตัวอย่างจริงจำนวน 100 ตัวอย่างมาทำการทดสอบความถูกต้องแม่นยำในการแปลผลค่า MPN ของแอปพลิเคชัน โดยมีผู้ปฏิบัติงานร่วมทดสอบและตรวจสอบไขว้ (Cross-check) จำนวน 2 คนต่อตัวอย่าง และทำการตรวจสอบซ้ำ (Re-check) จำนวน 2 รอบ เปรียบเทียบกับตารางคู่มือมาตรฐานสากล (US-FDA) พบว่าระบบแอปพลิเคชันมีอัตราความถูกต้องแม่นยำในการประมวลผลและแสดงค่า MPN คิดเป็นร้อยละ 100.00 โดยไม่พบความคลาดเคลื่อนในการแปลผล แสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือในการนำไปใช้งานทดแทนตารางกระดาษแบบเดิม

ผลการประเมินประสิทธิภาพ: ระบบใหม่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการปฏิบัติงานที่บันทึกข้อมูลด้วยมือและเปิดตารางมาตรฐานแบบเดิม โดยแอปพลิเคชันสามารถลดระยะเวลาเฉลี่ยในการบันทึกและประมวลผลค่า MPN ลงได้ถึงร้อยละ 75.00 ลดระยะเวลาในการค้นหาข้อมูลผลการทดสอบย้อนหลังลงได้ถึงร้อยละ 86.67 ตลอดจนสามารถลดข้อผิดพลาดจากการจดบันทึกและการอ่านค่า รวมถึงลดปริมาณการใช้กระดาษสมุดจดบันทึกหน้างานลงได้ถึงร้อยละ 100.00 นอกจากนี้ความสามารถการเข้าถึงระบบและการจัดการข้อมูล พบว่าระบบช่วยขยายเวลาและช่องทางการเข้าถึงข้อมูลได้เพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า และเพิ่มศักยภาพในการรองรับเจ้าหน้าที่เพื่อเข้าตรวจสอบผลลัพธ์พร้อมกันแบบเรียลไทม์ได้เพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่าจากเดิม

ผลการประเมินความพึงพอใจ: จากกลุ่มตัวอย่างผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ พบว่าในภาพรวมผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.70 (S.D. = 0.50) ซึ่งด้านที่ได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงสุดคือ ด้านประสิทธิภาพและการลดข้อผิดพลาด ( $\bar{X}$  = 4.73, S.D. = 0.48) โดยเฉพาะในประเด็นที่แอปพลิเคชันช่วยลดภาระงานในการบันทึกข้อมูล ผู้ใช้งานมีความเชื่อมั่นต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ และมีความประสงค์ที่จะใช้งานแอปพลิเคชันนี้ในการปฏิบัติต่อไป สะท้อนให้เห็นว่าแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบโจทย์การแก้ปัญหาในห้องปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยที่พบว่า ระบบแอปพลิเคชันบันทึกและประมวลผลค่า MPN มีประสิทธิภาพและการจัดการข้อมูลในห้องปฏิบัติการที่สูงขึ้น และผู้ปฏิบัติงานจริงมีความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบในภาพรวมสามารถนำมาอภิปรายผลเชิงวิชาการตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระบบนี้มีประสิทธิภาพสูง เกิดจากการเปลี่ยนผ่านกระบวนการทำงานแบบดั้งเดิม (Manual Process) ที่ต้องบันทึกผลลงบนสมุดกระดาษและตรวจสอบค่าสถิติด้วยสายตา ไปสู่ระบบประมวลผลอัตโนมัติ (Automation) บนคลาวด์ โดยการเขียนชุดคำสั่ง Google Apps Script เข้ามาควบคุมการทำงานร่วมกับ Google Sheets เพื่อทำหน้าที่ประมวลผลและดึงค่าดัชนี MPN ทันทีแบบเรียลไทม์หลังการกรอกข้อมูลหลอดผลบวก ซึ่งส่งผลให้เวลาในขั้นตอนการเปรียบเทียบตารางลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ จรรยา ชื่นอารมณ์ (2562) และระบบอัตโนมัติในห้องปฏิบัติการทั่วไป ที่ระบุว่า การประยุกต์ใช้แพลตฟอร์มสารสนเทศช่วยลดความซับซ้อนของขั้นตอนการทำงาน ลดความขัดแย้งในการ Cross-check ข้อมูลระหว่างเจ้าหน้าที่ และสร้างความพึงพอใจให้แก่ผู้ปฏิบัติงานหน้างานได้อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ การออกแบบอินเทอร์เฟซให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงระบบได้ง่ายผ่านสมาร์ทโฟนและอุปกรณ์พกพาได้ตลอด 24 ชั่วโมง ยังช่วยแก้ปัญหาการจำกัดพื้นที่ปฏิบัติงานและลดเวลาในการสืบค้นข้อมูลสืบย้อนหลังลดลง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Kammerlohr et al. (2023) และ Fragão-Marques & Ozben (2023) ที่ระบุว่าการเปลี่ยนผ่านห้องปฏิบัติการสู่ระบบดิจิทัลและการจัดการข้อมูลผ่านระบบออนไลน์ ช่วยคลายข้อจำกัดด้านพื้นที่และเวลา ทำให้สามารถเข้าถึงและใช้ประโยชน์จากทรัพยากรข้อมูลได้อย่างสูงสุดจากทุกที่ทุกเวลา อีกทั้งการเลือกประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่เดิมในองค์กรอย่างกลุ่ม Google Application มารวบรวมพัฒนาในรูปแบบงบประมาณต่ำ (Low-code/No-code application) สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนางานประจำสู่งานวิจัย (R2R) ตามแนวทางของ ไพรัตน์ ปัญญานิรันดร์ (2565) ที่พิสูจน์แล้วว่าช่วยให้อุปกรณ์พัฒนาระบบทำได้รวดเร็ว ประหยัดงบประมาณ และตอบสนองต่อนโยบายการก้าวสู่ห้องปฏิบัติการดิจิทัล (Digital Laboratory) ได้อย่างเป็นรูปธรรม

อย่างไรก็ตามแอปพลิเคชันนี้เป็นเพียงอุปกรณ์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการบันทึกและอ่านค่าเพียงเท่านั้น ไม่สามารถช่วยลดความผิดพลาดในด้านอื่น ๆ ได้ เช่น ขั้นตอนและเทคนิคในการทดลองที่ผิดพลาดไม่เป็นไปตามทฤษฎี ในกรณีดังกล่าวผลการทดลองจะผิดพลาดตั้งแต่ต้น แอปพลิเคชันจะไม่สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ ควรทำการทดลองใหม่เพื่อความน่าเชื่อถือ และเวอร์ชัน 1.0 นี้เป็นเพียงโมเดลนำร่องที่ยังทดลองใช้ในเจ้าหน้าที่กลุ่มเดียวเท่านั้น ผู้วิจัยวางแผนจะมีการอัปเดตฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ การส่งออกข้อมูลในรูปแบบไฟล์ เพื่อแก้ปัญหาการสำรองข้อมูล การเพิ่มรูปแบบการใช้งานโดยสามารถเลือกตารางมาตรฐานอ้างอิงจากองค์กรอื่นได้ และเพิ่มความสามารถระดับความเงาที่กว้างขึ้น เพื่อรองรับผู้ใช้ที่หลากหลายมากขึ้นในอนาคต

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยการสนับสนุนจากผู้ปฏิบัติงานทุกท่านที่ช่วยประเมินและทวนสอบแอปพลิเคชันนี้ให้ตอบโจทย์กับการใช้งาน และขอขอบพระคุณ ดร.จรงค์ศักดิ์ พุ่มนวน ที่ช่วยให้คำแนะนำปรับแก้ในการเขียนบทความวิจัยเรื่องนี้

### เอกสารอ้างอิง

- จรรยา ชื่นอารมณ. (2562). การพัฒนาระบบจองเวลาใช้เครื่องมือห้องปฏิบัติการทันตวัสดุ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. *Mahidol R2R e-Journal*, 6(2), 70-79. <https://doi.org/10.14456/jmu.2019.15>
- ไพรัตน์ ปัญญานิรันดร์. (2565). การพัฒนาระบบจองอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. *วารสารวิชาการ ปชมท.*, 12(3), 172-181.
- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (24<sup>th</sup> ed.). Washington, DC: APHA Press.
- Fragão-Marques, M., & Ozben, T. (2023). Digital transformation and sustainability in healthcare and clinical laboratories. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 61(4), 627-633. <https://doi.org/10.1515/cclm-2022-1092>
- Gronewold, A. D., & Wolpert, R. L. (2008). Modeling the relationship between most probable number (MPN) and colony-forming unit (CFU) estimates of fecal coliform concentration. *Water Research*, 42(13), 3327-3334. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.04.011>
- Kammerlohr, V., Paradise, D., & Uckelmann, D. (2023). A maturity model for the effective digital transformation of laboratories. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 34(4), 621-643. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2022-0050>
- Weber, I. (2025). *Feasibility of AI-assisted programming for end-user development*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2512.05666>
- Xu, F. F., Alon, U., Neubig, G., & Hellendoorn, V. J. (2022). A systematic evaluation of large language models of code (pp. 1-10). In *Proceedings of the 6th ACM SIGPLAN International Symposium on Machine Programming*. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3520312.3534862>