

การพัฒนาระบบการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการ ภาควิชา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปณิชา ชุตติชัยจรัส

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

อีเมลผู้ประสานงาน: wanna.tra@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การจัดการของเสียอันตรายจากสารเคมีในห้องปฏิบัติการเป็นองค์ประกอบสำคัญของการบริหารจัดการความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมในสถาบันการศึกษา เนื่องจากของเสียที่เกิดจากการเรียนการสอนและงานวิจัยอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม หากไม่มีระบบการจัดการที่เหมาะสม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายจากสารเคมีของห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ให้สอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย (ESPreL) พร้อมทั้งลดปริมาณของเสียอันตราย ค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดและความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม การวิจัยดำเนินการโดยศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการจัดการของเสียอันตรายจากสารเคมีในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 - 2568 ครอบคลุมกระบวนการคัดแยก การบันทึกข้อมูล การจัดเก็บ การบำบัด และการส่งกำจัดของเสีย โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลผ่าน Google Forms เพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินความรู้ด้านการจัดการของเสียและการประเมินความเสี่ยงในห้องปฏิบัติการ รวมถึงใช้ระบบ Pre-Post Waste Analysis เพื่อควบคุมการเกิดของเสียตั้งแต่ต้นทาง ข้อมูลถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และสถิติเชิงอนุมาน ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณของเสียอันตรายจากสารเคมีมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณสูงสุดเท่ากับ 1,313 ลิตร ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 และลดลงสู่ระดับที่สามารถควบคุมได้ในปัจจุบัน นอกจากนี้ ของเสียประเภทกรดและเบส (L01 และ L02) ลดลงอย่างชัดเจนจากการนำระบบบำบัดเบื้องต้นภายในภาควิชามาใช้ ผลการประเมินมาตรฐานความปลอดภัยตามเกณฑ์ ESPReL แสดงให้เห็นว่าห้องปฏิบัติการสามารถผ่านการประเมินทุกองค์ประกอบในระดับมากกว่าร้อยละ 90 และผ่านเกณฑ์เต็มร้อยละ 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ระบบการจัดการสารเคมี, ระบบการจัดการของเสีย, ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือ และการให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดของเสียอันตรายภายนอกลดลงจากปีงบประมาณ 2561 จากยอดรวมค่าใช้จ่ายประมาณ 44,000 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับปีงบประมาณปี 2568 เหลือ 8,000 บาท คิดเป็นการลดลงร้อยละ 81.81 และการประเมินความรู้ของผู้ใช้งานห้องปฏิบัติการถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงอนุมาน พบว่า มีค่า p -value อยู่ที่ 0.033 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการพัฒนาระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายร่วมกับการสร้างความตระหนักรู้ด้านความปลอดภัยและการควบคุมการเกิดของเสียตั้งแต่ต้นทาง สามารถลดปริมาณของเสียอันตราย ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัด และยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

คำสำคัญ: ของเสียอันตราย, มาตรฐาน ESPReL, การลดของเสีย ณ แหล่งกำเนิด, เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อความปลอดภัย

Development of A Laboratory Waste Management System: A Case Study of the Department of Chemical Engineering Laboratories, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand

Panicha Chutichaicharat

Department of Chemical Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thung Khru, Bangkok 10140, Thailand

Corresponding author's e-mail: wanna.tra@kmutt.ac.th

Abstract

The management of hazardous chemical waste in laboratories constitutes a critical component of safety and environmental governance within educational institutions. Waste generated from instructional and research activities can adversely affect the health of laboratory personnel and the surrounding environment in the absence of an appropriate management system. This study aims to develop a comprehensive hazardous chemical waste management system for the laboratories of the Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, in alignment with the ESPReL laboratory safety standards in Thailand. The system was designed to reduce waste generation, minimize external disposal costs, and mitigate risks to human health and the environment. The research was conducted by examining and analyzing hazardous chemical waste management data from fiscal years 2018 to 2025. The analysis included waste segregation, data recording, storage, on-site treatment, and external disposal processes. Digital tools, including Google Forms, were employed to assess personnel knowledge of waste management practices and to conduct laboratory risk evaluations. In addition, a Pre-Post Waste Analysis system was implemented to control waste generation at the source. Descriptive statistics, including mean, maximum, and minimum values, were used for data analysis. The results demonstrated a consistent reduction in hazardous chemical waste volume. The highest volume was 1,313 liters in fiscal year 2018, which subsequently decreased to a manageable level. In addition, acid and base wastes (L01 and L02) exhibited a significant reduction following the introduction of an in-house preliminary treatment system. The ESPReL safety standard assessment revealed that the laboratories achieved compliance scores exceeding 90% across all evaluated components, with full compliance (100%) attained in four key areas such as chemical management system, waste management system, physical characteristics of the laboratory, equipment, and tools, and basic laboratory safety knowledge. Furthermore, external disposal costs declined substantially from approximately 44,000 THB in fiscal year 2018 to 8,000 THB in fiscal year 2025, representing an 81.81% reduction, and, the inferential statistical analysis of the laboratory users' knowledge assessment revealed a p -value of 0.033, which is lower than the predetermined significance level. These findings indicate that the integration of a hazardous waste management system, enhanced safety awareness, and source-based waste control can effectively and sustainably reduce hazardous waste volumes, lower disposal expenditures, and elevate laboratory safety standards.

Keywords: Hazardous Wastes, ESPReL Standard, Source Reduction, Digital Technology for Safety

บทนำ

ห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมเคมีเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำคัญที่สนับสนุนการจัดการเรียนการสอน การวิจัย และการให้บริการวิชาการแก่ภาคอุตสาหกรรม โดยกิจกรรมภายในห้องปฏิบัติการมีการใช้สารเคมี สารชีวภาพ และเครื่องมือวิเคราะห์ที่หลากหลาย ตั้งแต่การทดลองในรายวิชาพื้นฐานจนถึงการดำเนินงานวิจัยขั้นสูง ส่งผลให้เกิดของเสียอันตราย (Hazardous Waste) อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์ ของเสียประเภทกรด เบส สารละลายโลหะหนัก และวัสดุที่ปนเปื้อนสารอันตราย ซึ่งหากไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยของนักศึกษา บุคลากร และผู้ปฏิบัติงาน ตลอดจนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนโดยรอบ นอกจากนี้ การจัดการของเสียที่ไม่มีประสิทธิภาพยังส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์และความน่าเชื่อถือขององค์กรในด้านความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ในปัจจุบัน สถาบันการศึกษายังคงเผชิญความท้าทายในการบริหารจัดการของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการ ทั้งในด้านการจำแนกประเภทของเสีย การจัดเก็บ การติดตามปริมาณของเสีย และการกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการและข้อกำหนดทางกฎหมาย ความหลากหลายของสารเคมีที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการก่อให้เกิดความเสี่ยงจากการจัดเก็บสารที่ไม่เข้ากัน (Incompatible materials) ซึ่งอาจนำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เป็นอันตรายได้ นอกจากนี้ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนงานวิจัยและกิจกรรมการเรียนการสอนยังส่งผลให้ต้นทุนการจัดการและการกำจัดของเสียเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะเดียวกัน ที่ผ่านมาของหน่วยงานยังขาดระบบฐานข้อมูลที่สามารถติดตามและตรวจสอบข้อมูลของเสียได้อย่างเป็นระบบ ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์แนวโน้มของปริมาณของเสียหรือวางแผนลดของเสียจากแหล่งกำเนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แนวคิดการจัดการของเสียตามลำดับชั้นการจัดการของเสีย (Waste Management Hierarchy) มีความสำคัญกับการป้องกันการเกิดของเสียและการลดของเสียจากแหล่งกำเนิด (Waste Source Reduction) เป็นลำดับแรก ก่อนการนำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) การรีไซเคิล (Recycle) การนำกลับมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน และการกำจัดในขั้นตอนสุดท้าย แนวทางดังกล่าวได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นกลไกสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ภายใต้บริบทของห้องปฏิบัติการ การจัดการของเสียอย่างมีประสิทธิภาพจึงไม่ได้มุ่งเน้นเพียงการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการสร้างความรู้ การส่งเสริมพฤติกรรมการใช้งานสารเคมีอย่างเหมาะสม และการพัฒนาระบบติดตามข้อมูลที่สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ (Traceability) ตลอดจนวงจรการจัดการของเสีย

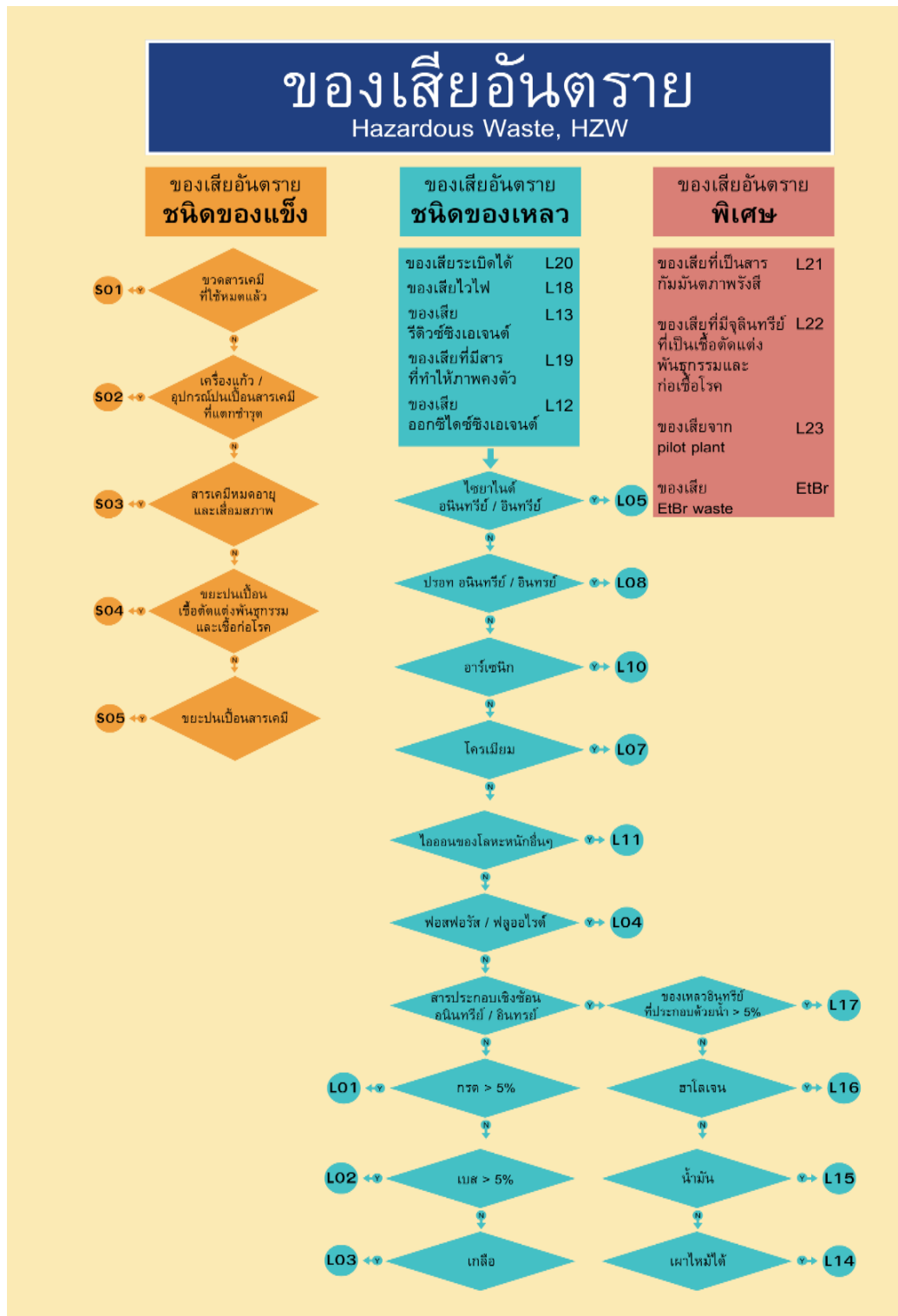
ในประเทศไทย สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ได้ส่งเสริมการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยผ่านแนวทาง Enhancing Safety Practice of Research Laboratory (ESPreL) (โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย, 2555) ทางด้านความปลอดภัยผู้วิจัยเป็นคณะทำงานโครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ (ESPreL) ในที่นี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาหลักสูตร ABET ของภาควิชาฯ ให้ได้รับการรับรองหลักสูตรด้วยดี เพื่อพัฒนาและปรับปรุงห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเคมีให้ได้รับการรับรองมาตรฐานความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการฯ จึงต้องการพัฒนาห้องปฏิบัติการในด้านต่างๆ ตามมาตรฐาน วช.ในรูปแบบ Peer Evaluation ตรวจสอบประเมินให้ผ่าน ESPReL Checklist ให้ได้รับการรับรองห้องปฏิบัติการต้นแบบความปลอดภัย ฉะนั้นการบริหารจัดการความปลอดภัย (ESPreL) ประกอบด้วย 7 องค์ประกอบหลักที่เชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ ได้แก่ 1) การบริหารระบบการจัดการความปลอดภัย 2) ระบบการจัดการสารเคมี 3) ระบบการจัดการของเสีย 4) ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือ 5) ระบบการป้องกันและแก้ไขภัยอันตราย 6) การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ และ 7) การจัดการข้อมูลและเอกสาร ซึ่งเป็นเครื่องมือในการสำรวจและยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการวิจัยต่อไป ซึ่งกำหนดให้การจัดการของเสียอันตรายเป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญของระบบความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ โดยเน้นการจัดเก็บ การจำแนกประเภท การบันทึกข้อมูล และการกำจัดของเสียอย่างเป็นระบบ สามารถตรวจสอบได้ และสอดคล้องกับหลักความปลอดภัยและการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม แนวทางดังกล่าวยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียว (Green Laboratory) และการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน ดังนั้น การพัฒนาระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยและการดำเนินงานของห้องปฏิบัติการในสถาบันอุดมศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย”การยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตามมาตรฐาน ESPReL ได้กล่าวว่า หลังการดำเนินการประเมินตามมาตรฐาน ESPReL ยังสามารถวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ได้ดังนี้ 1) จุดแข็ง พบว่า การพัฒนาและปรับปรุงตามมาตรฐาน ESPReL เป็นการประเมินที่มีเป้าหมายในการเสริมสร้างประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ โดยให้ความสำคัญครอบคลุมทั้ง 7 องค์ประกอบหลัก ตามมาตรฐาน ESPReL ซึ่งการดำเนินการจะรวมถึงความรู้และความเข้าใจของคณะทำงานที่มีคุณภาพสูง และการปฏิบัติตามมาตรฐานความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด คณะทำงานมีความรู้และทักษะที่เพียงพอในการดำเนินงาน และมีแนวทางการดำเนินงานที่ถูกต้องและปฏิบัติตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ จึงทำให้การทำงานมีระบบ

และมีประสิทธิภาพ ในทุกขั้นตอน 2) จุดอ่อน พบว่า การดำเนินการในห้องปฏิบัติการเป็นกระบวนการที่ต้องทำอย่างรอบคอบและระมัดระวัง เนื่องจากมีจุดอ่อนที่สำคัญที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความสมบูรณ์ของการทำงานในระบบนั้น ๆ จึงต้องมีการทวนสอบอยู่เป็นประจำ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าห้องปฏิบัติการมีความปลอดภัยต่อผู้เข้าใช้บริการ (กาญจนา ชันทะพันธ์, 2568) และยังสอดคล้องกับงานวิจัย “การจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการ: ความท้าทายและทางออกที่ยั่งยืน” ได้กล่าวว่า การจัดการของเสียได้กลายเป็นประเด็นที่สำคัญและท้าทายในหลายอุตสาหกรรมและในหลายสถานที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้องปฏิบัติการทางเคมี ซึ่งถือเป็นสภาพแวดล้อมที่มีความละเอียดอ่อนและเต็มไปด้วยวัตถุอันตราย เนื่องจากการใช้สารเคมีและขั้นตอนการทดลองที่ซับซ้อน ห้องปฏิบัติการเหล่านี้จึงต้องเผชิญกับการก่อกำเนิดของเสียอันตรายในปริมาณมาก (Sayed et al., 2025)

โดยยังมีงานวิจัย “ห้องปฏิบัติการสีเขียว: กรอบแนวคิดการออกแบบเชิงกลยุทธ์เพื่อพัฒนาห้องปฏิบัติการวิจัยที่ยั่งยืน” ได้กล่าวคือ ประการแรก การเปลี่ยนแปลงที่จำเป็นในด้านการศึกษ โดยกำหนดให้ความรู้ความเข้าใจด้านนิเวศวิทยา (Ecological literacy) เป็นหลักการสำคัญ ประการที่สอง การเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปได้ในด้านการออกแบบ ซึ่งมีความจำเป็นต่อการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการก่อสร้างอาคารลงร้อยละ 50 ห้องปฏิบัติการสีเขียวใช้แนวทางทางเลือกในการออกแบบการศึกษาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างออกไป ซึ่งส่งผลให้กระบวนการทางการศึกษาเกิดความเป็นนวัตกรรม มีปฏิสัมพันธ์ และมีความยั่งยืน ตลอดจนสร้างความต้องการอาคารอัจฉริยะที่มีลักษณะเดียวกัน ระเบียบวิธีของห้องปฏิบัติการสีเขียวได้รับการพัฒนาผ่านประสบการณ์ด้านการสอนและการวิจัย โดยเป็นเวทีสำหรับการประยุกต์ใช้และทดสอบหลักการออกแบบและเทคโนโลยีการก่อสร้างเชิงนวัตกรรม อีกทั้งยังเป็นโอกาสในการเสนอการปรับเปลี่ยนกระบวนการทัศน์ทางวัฒนธรรม เพื่อให้มหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัยกลายเป็นต้นแบบในด้านอาคารที่ยั่งยืนและเทคโนโลยีพลังงานโครงการอาคารจะต้องเป็นศูนย์กลางนวัตกรรมสำหรับการศึกษาเทคโนโลยีที่ยั่งยืน (Rosalba, 2012)

ดังนั้น การพัฒนาระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการนำ “Digital Platform” หมายถึง สภาพแวดล้อมหรือโครงสร้างพื้นฐานทางดิจิทัลที่ออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ใช้ (เช่น ผู้บริโภค ผู้ให้บริการ นักพัฒนา) ผ่านเทคโนโลยี (Quick ERP Thailand, 2566)

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) เป็นหน่วยงานที่มีการใช้สารเคมีจำนวนมากจากกิจกรรมการเรียนการสอน งานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา และการให้บริการวิชาการ ส่งผลให้มีการเกิดของเสียอันตรายหลากหลายประเภทอย่างต่อเนื่อง จากการสำรวจและวิเคราะห์สถานการณ์ที่ผ่านมา พบว่ามีประเด็นที่ต้องได้รับการปรับปรุงในด้านการจำแนกประเภทของเสีย การสร้างความรู้ความเข้าใจแก่ผู้ใช้งานห้องปฏิบัติการ และการรวบรวมข้อมูลปริมาณของเสียอย่างเป็นระบบ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการบริหารจัดการของเสียและค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดภายนอก โดยการจำแนกประเภทของเสียอันตรายจากสารเคมี ได้แบ่งประเภทของเสียเป็น 2 ประเภท คือ กลุ่มชนิดที่เป็นของแข็งมี 3 ประเภท ได้แก่ S02 เครื่องแก้วและขวดสารเคมี S03 Toxic Waste S05 ขยะปนเปื้อนสารเคมี และกลุ่มชนิดที่เป็นของเหลว มี 18 ประเภท แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผังการจัดแยกประเภทของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายและสารเคมีในห้องปฏิบัติการ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการจัดเก็บข้อมูล การติดตามปริมาณของเสีย และการประเมินความรู้ด้านการจัดการของเสียของนักศึกษาและผู้ใช้งานห้องปฏิบัติการ ควบคู่กับการส่งเสริมความตระหนักด้านความปลอดภัยและการลดของเสียจากแหล่งกำเนิด ทั้งนี้ เพื่อยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการให้สอดคล้องกับเกณฑ์ ESPReL ลดปริมาณของเสียอันตราย ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย และสนับสนุนการพัฒนาห้องปฏิบัติการที่มีความปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และยั่งยืนในระยะยาว

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายจากสารเคมีในห้องปฏิบัติการ โดยบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลและมาตรการลดของเสีย ณ แหล่งกำเนิด รวมทั้งประเมินความรู้และความเข้าใจของผู้ใช้งานเกี่ยวกับการจำแนก การจัดเก็บ การบำบัด และการกำจัดของเสียให้ถูกต้องตามเกณฑ์มาตรฐาน ESPReL
2. เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณและประเภทของเสียอันตราย รวมถึงค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 - 2568 และประเมินประสิทธิผลของระบบในการลดปริมาณของเสีย ลดค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัด และยกระดับความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี มจธ. ตามเกณฑ์มาตรฐาน ESPReL

ระเบียบวิธีวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา

นักศึกษาที่เข้าใช้ห้องปฏิบัติการในวิชาปฏิบัติการ นักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 2, 3, 4, ป.โท และเอก ที่ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี และนักศึกษาระดับที่ทำโปรเจกต์และงานวิจัยวิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี เป็นผู้ทำแบบทดสอบรายบุคคล และรายกลุ่มก่อนได้รับอนุญาตเข้าใช้ห้องปฏิบัติการ

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การออกแบบระบบและเครื่องมือในการเก็บข้อมูล

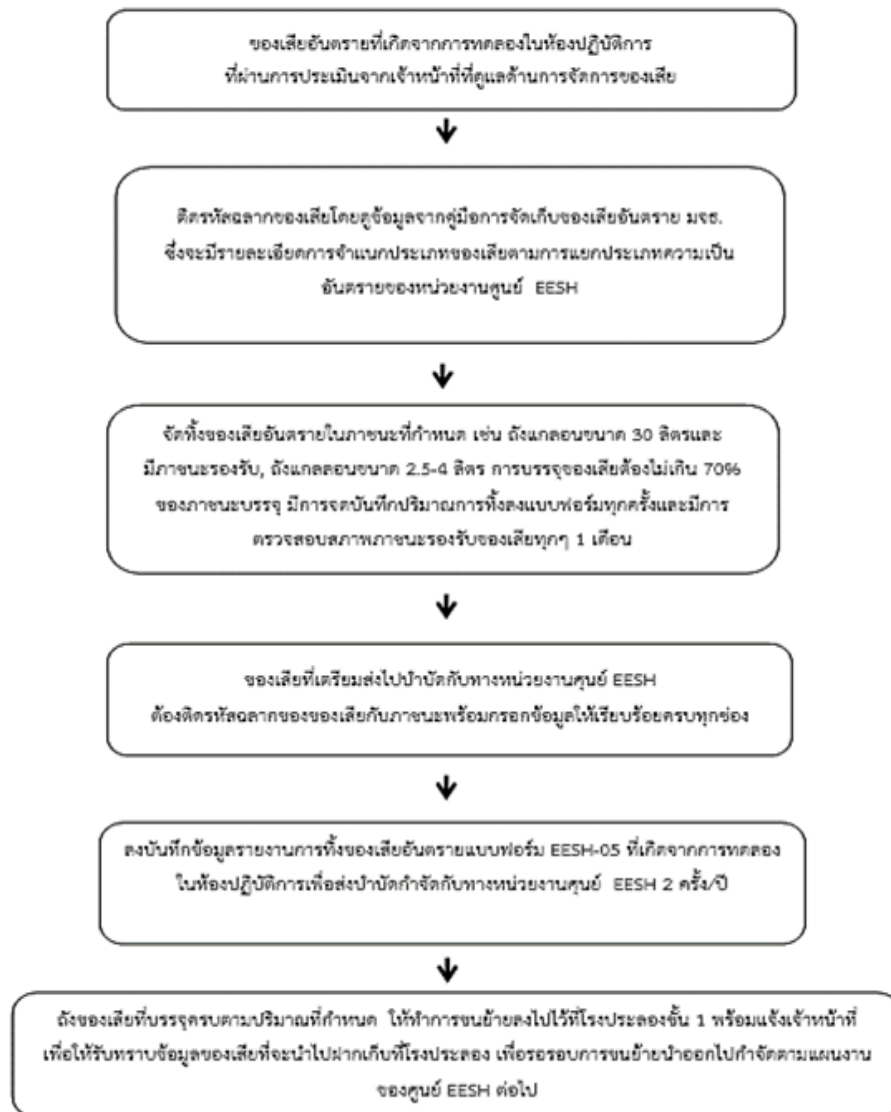
การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental Research) โดยมีมุ่งพัฒนาระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายและสารเคมีภายในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเคมี มจธ. ให้มีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับหลักวิชาการและมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย (ESPReL) โดยครอบคลุมกระบวนการจัดการของเสียตั้งแต่การวางแผนการทดลอง การประเมินความเสี่ยง การจำแนกประเภทของเสีย การรวบรวมและจัดเก็บ การบำบัดเบื้องต้น การส่งกำจัดภายนอก ตลอดจนการรายงานข้อมูลปริมาณของเสียและค่าใช้จ่ายในการกำจัด

ในระยะแรกของการศึกษา ได้มีการสำรวจและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากระบบการจัดการของเสียเดิม พบว่าปัญหาหลักได้แก่ การจำแนกประเภทของเสียไม่ถูกต้อง การปนเปื้อนข้ามประเภทของเสีย การพบของเสียที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ (Unknown Waste) และการขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทางการจัดการของเสียของผู้ใช้งานห้องปฏิบัติการ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน เพิ่มความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม และก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียที่สูงขึ้น

ระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายได้รับการพัฒนาโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัล ได้แก่ Google Forms และ Google Calendar เพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูล การประเมินความเสี่ยง และการติดตามปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการเรียนการสอน และงานวิจัย

นักศึกษาทุกคนที่ต้องทำโปรเจกต์ขอใช้ห้องปฏิบัติการจะต้องผ่านกระบวนการประเมินความรู้ด้านการจัดการของเสียอันตราย และการประเมินความเสี่ยงก่อนเริ่มดำเนินโครงการหรือวิทยานิพนธ์ (Pre-Project Waste Analysis) โดยต้องจัดทำแผนการทดลอง พร้อมระบุประเภทสารเคมี ปริมาณสารเคมีที่ใช้ ประเภทของเสียที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และแนวทางการจัดการของเสีย โดยเข้าทำในระบบฟอร์ม Google Forms และ Google Calendar เพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูล การประเมินความเสี่ยง จากนั้นนำเสนอข้อมูลต่อเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบด้านการจัดการของเสียของภาควิชาเพื่อพิจารณานุมัติก่อนเข้าใช้ห้องปฏิบัติการ ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการทิ้งของเสียอันตรายของห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี มจธ.

ขั้นตอนการทิ้งของเสียอันตราย ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี

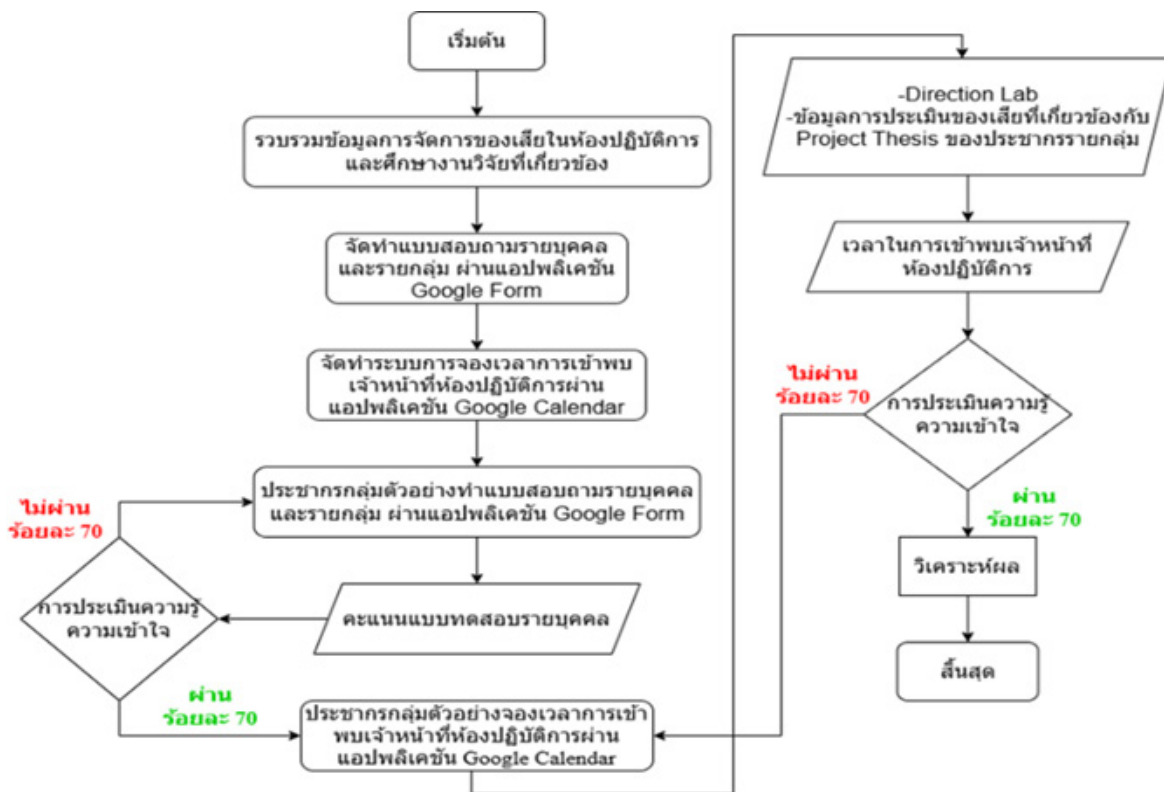


ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทิ้งของเสียอันตรายของห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

นอกจากนี้ ได้พัฒนาแบบทดสอบออนไลน์ผ่าน Google Forms เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจด้านการจำแนกประเภทของเสียอันตราย การจัดเก็บ การบำบัด และการกำจัดของเสียอย่างถูกต้อง โดยกำหนดเกณฑ์ผ่านการประเมินที่ร้อยละ 70 ของคะแนนทั้งหมด ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้ความเข้าใจสามารถปฏิบัติได้ถูกต้อง ดังนั้นคะแนนที่ได้ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ซึ่งจากการทดสอบสถิติเชิงอนุมานด้วยวิธีการทดสอบค่าสัดส่วนแบบ 1 กลุ่มตัวอย่าง (One-Sample Proportion z-Test) ผู้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ต้องเข้ารับการอบรมเพิ่มเติมก่อนได้รับอนุญาตให้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ แสดงดังตารางที่ 1 และภาพที่ 3

ตารางที่ 1 เกณฑ์ในการวัดและประเมินผลความรู้ ร้อยละ 70 ผ่าน

ระดับคุณภาพ	เกณฑ์การให้คะแนน
ดีมาก	ทำแบบทดสอบได้ร้อยละ 80 ผ่าน
ดี	ทำแบบทดสอบได้ร้อยละ 70 ผ่าน



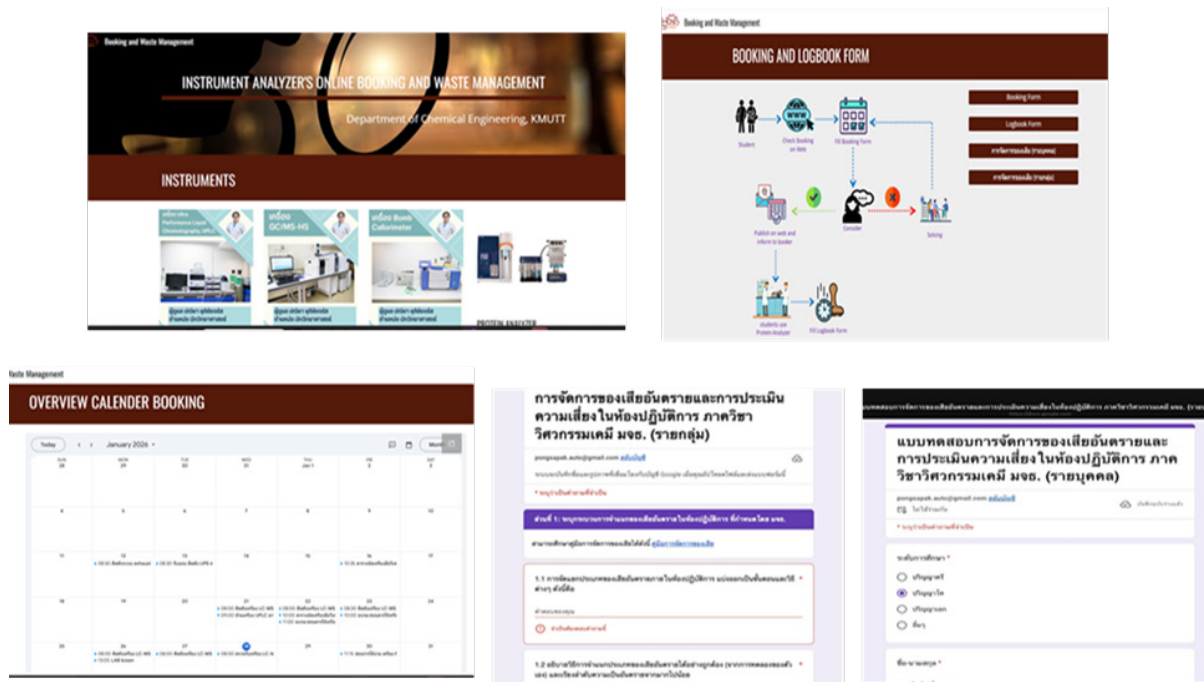
ภาพที่ 3 กระบวนการเก็บข้อมูลโดยการประยุกต์ใช้ Google Forms สำหรับการบริหารจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการ (ปณิชา ชุตติชัยจริส, 2568)

1.1 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยระบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยีสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการ การประเมินความรู้ความเข้าใจของผู้ใช้งานห้องปฏิบัติการ และการติดตามข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการเรียนการสอนและงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1.1. สื่อการเรียนรู้ออนไลน์ด้านการจัดการของเสียอันตรายและการประเมินความเสี่ยงในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ของ (ศูนย์การจัดการด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และชีวนามัย (EESH), (ม.ป.ป.)) (<https://eesh.kmutt.ac.th/>) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อให้นักศึกษาศึกษาด้วยตนเองก่อนเข้าปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

1.1.2. แบบทดสอบออนไลน์ผ่าน Google Forms สำหรับประเมินความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการจำแนกประเภทของเสียอันตราย การจัดเก็บ การบำบัด และการกำจัดของเสียอย่างถูกต้อง โดยกำหนดเกณฑ์ผ่านการประเมินที่ร้อยละ 70 ของคะแนนทั้งหมดโดยดำเนินการดังภาพที่ 4.



ภาพที่ 4 กระบวนการเก็บข้อมูลการประยุกต์ใช้ Google Forms การบริหารจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการ

1.1.3. แบบฟอร์มประเมินความเสี่ยงและวิเคราะห์ของเสียก่อนเริ่มงานวิจัย (Pre-Project Waste Analysis Form) ซึ่งใช้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย ประเภทของเสียที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ปริมาณของเสีย และแนวทางการจัดการของเสีย เพื่อประกอบการพิจารณาอนุมัติการเข้าใช้ห้องปฏิบัติการ

1.1.4. การเก็บรวบรวมข้อมูลการจัดการของเสียอันตราย ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ Google Forms และ Google Calendar สำหรับบันทึก ติดตาม และรวบรวมข้อมูลปริมาณของเสียอันตรายส่งกำจัดที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในห้องปฏิบัติการ

1.1.5. การประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านความรู้การจำแนกของเสียอันตราย ซึ่งใช้วัดผลการเรียนรู้ของนักศึกษาทั้งในระดับรายบุคคลและรายกลุ่ม โดยผลถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การประเมินของแนวทางพัฒนาปรับปรุงขึ้น

1.2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

1.2.1. นักศึกษาศึกษาคู่มือและสื่อการเรียนรู้ออนไลน์ด้านการจัดการของเสียอันตรายและการประเมินความเสี่ยงในห้องปฏิบัติการด้วยตนเอง

1.2.2. นักศึกษาทำแบบทดสอบผ่านระบบ Google Forms เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจด้านการจำแนกประเภทและการจัดการของเสียอันตราย โดยต้องมีคะแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์

1.2.3. นักศึกษาจัดทำแบบประเมินความเสี่ยงและแผนการจัดการของเสียก่อนเริ่มโครงการวิจัยหรือวิทยานิพนธ์ (Pre-Project Waste Analysis) พร้อมนำเสนอรายละเอียดต่อเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบด้านการจัดการของเสียของภาควิชาเพื่อพิจารณาอนุมัติเข้าใช้ห้องปฏิบัติการ

1.2.4. ระหว่างการดำเนินงานวิจัย นักศึกษาต้องบันทึกประเภทและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลอง โดยของเสียทุกประเภทต้องได้รับการจำแนก ติดตาม และจัดเก็บตามแนวปฏิบัติที่กำหนด

1.2.5. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย ปริมาณของเสียอันตรายแยกตามประเภทที่เกิดขึ้นและการส่งกำจัดในแต่ละรอบ, ค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดของเสียภายนอก, ผลการทดสอบความรู้ความเข้าใจของนักศึกษา และผลการประเมินมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการตามเกณฑ์ ESPrEL

1.2.6. การเก็บข้อมูลปริมาณของเสียและค่าใช้จ่ายในการกำจัดย้อนหลังในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 - 2568 ในรอบทุกๆ 6 เดือน (เดือนมิถุนายนและเดือนธันวาคมของแต่ละปีงบประมาณ)

1.2.7. ข้อมูลทั้งหมดถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อประเมินแนวโน้มของระบบการจัดการของเสีย ค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัด และประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านความรู้ความเข้าใจของนักศึกษา

2. การดำเนินงานและติดตามผล

การประยุกต์ใช้ Google Forms ปรับปรุงการพัฒนาการจัดการของเสียขึ้นถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจในการบริหารจัดการของเสียอันตรายภายในห้องปฏิบัติการของภาควิชา โดยต้องบันทึกประเภทและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองลงในระบบอย่างสม่ำเสมอ ของเสียทุกประเภทต้องผ่านการจำแนก การติดฉลาก และการจัดเก็บในภาชนะที่เหมาะสมตามประเภทของของเสีย ก่อนนำส่งไปยังจุดรวบรวมของเสียส่วนกลางของภาควิชา การเก็บข้อมูลปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นถูกจัดเก็บและรวบรวมเป็นรายเดือน พร้อมรายงานต่อศูนย์ EESH เป็นส่วนกลางของมหาวิทยาลัยในการส่งกำจัดของเสียอันตรายภายนอกดำเนินการทุก 6 เดือน โดยมีการบันทึกข้อมูลและค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดอย่างเป็นระบบ

3. การประเมินผลด้านมาตรฐานความปลอดภัย

ภาควิชาวิศวกรรมเคมีได้ดำเนินการปรับปรุงพัฒนาระบบบริหารจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการควบคู่กับการจัดการของเสียอันตราย เพื่อรองรับการประเมินตามเกณฑ์มาตรฐาน ESPReL ของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการประเมิน ได้แก่ CHE 30201, CHE 30301 และ CHE 30501 ซึ่งได้รับการตรวจประเมินในรูปแบบ Peer Evaluation โดยผลการประเมินถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดความสำเร็จของการปรับปรุงพัฒนาระบบในด้านความปลอดภัย

4. ประชากรและการวิเคราะห์ข้อมูล

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยนักศึกษาระดับปริญญาตรีตามหลักสูตรปกติ นานาชาติ ชั้นปีที่ 2, 3, 4 ระดับปริญญาโท เอก และอนุปริญญา จำนวน 96, 110, 102, 63, 34, 32 ตามลำดับ ของภาควิชา รวมทั้งเจ้าหน้าที่ และ นักศึกษาทำโปรเจกต์และงานวิจัยวิทยานิพนธ์ ที่มีกิจกรรมการเรียนการสอนและการวิจัยภายในห้องปฏิบัติการ และนักศึกษาทำโปรเจกต์และงานวิจัยวิทยานิพนธ์ ในจำนวน 145 คน ทำแบบทดสอบรายบุคคลและรายกลุ่มประเมินความรู้ความเข้าใจ ก่อนที่จะได้รับอนุญาตเข้าใช้ห้องปฏิบัติการ ในการออกแบบทดสอบโดยการหาความเที่ยงตรง (Validity) คือการตรวจสอบว่าแบบทดสอบ โดยวิธีที่ IOC (Index of Item-Objective Congruence) ซึ่งขั้นตอน คือ นำร่างข้อสอบให้ผู้เชี่ยวชาญ (อย่างน้อย 3 ท่าน ประกอบด้วย อาจารย์ เจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญประจำห้องปฏิบัติการของภาควิชาอื่นและนักศึกษาบ โท) ตรวจสอบว่าข้อคำถามแต่ละข้อสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้หรือนิยามเชิงปฏิบัติการหรือไม่ในการให้คะแนน ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย (1) ผลการทดสอบความรู้ด้านการจัดการของเสียอันตราย (2) ปริมาณของเสียอันตรายที่เกิดขึ้น และ (3) ค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดของเสียภายนอก ในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 - 2568

การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าสูงสุด (Maximum) และค่าต่ำสุด (Minimum) เพื่ออธิบายแนวโน้มของปริมาณของเสียและค่าใช้จ่ายในการกำจัด นอกจากนี้ ผลการประเมินความรู้ของผู้ใช้งานห้องปฏิบัติการถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงอนุมาน โดยใช้การทดสอบสัดส่วนของประชากรกลุ่มเดียว (One-Sample Proportion z-Test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในการส่งเสริมความรู้และความตระหนักด้านการจัดการของเสียอันตราย

ระยะเวลาดำเนินการ

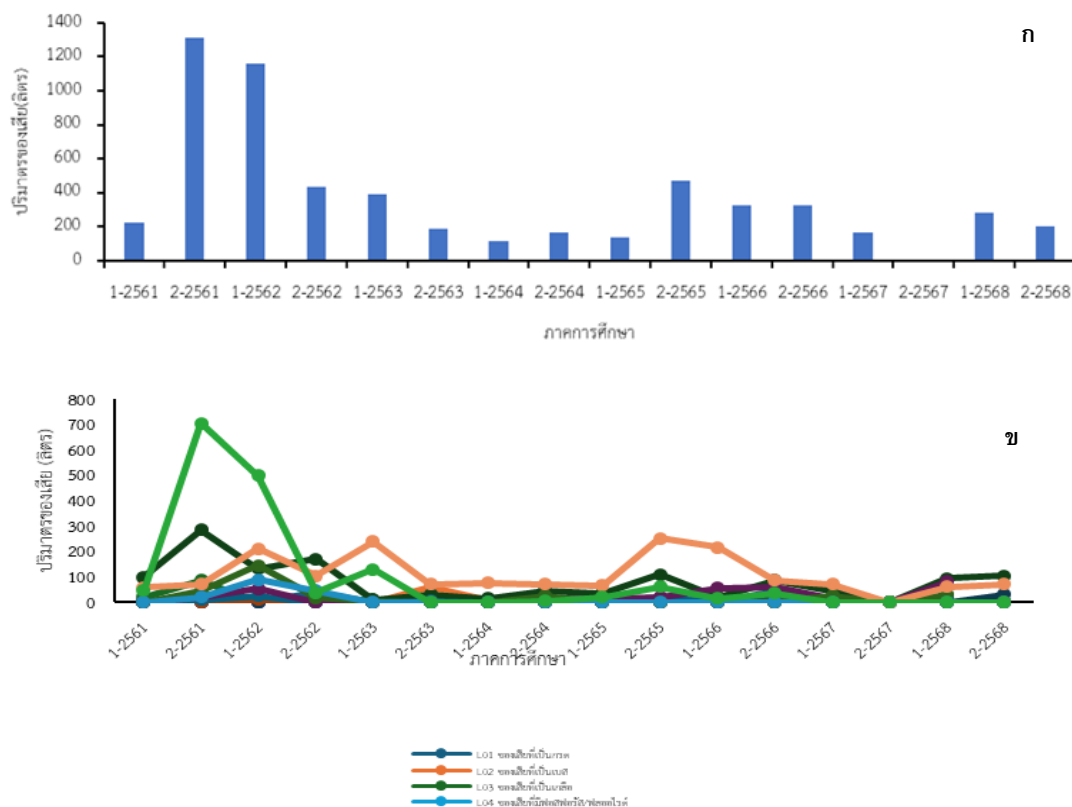
ระยะเวลาดำเนินการเก็บข้อมูลปริมาณของเสียและค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัด ในช่วงปีการศึกษาพ.ศ 2561 - 2568 ในระยะเวลาทุกๆ 6 เดือนระหว่างเดือนมิถุนายน และเดือนธันวาคม ของทุกปีงบประมาณ

ระยะเวลาดำเนินการเก็บข้อมูลนักศึกษาทำแบบทดสอบผ่านระบบ Google Forms เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจในช่วงปีการศึกษา 2567 - 2568 ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2567 - ธันวาคม 2568

ผลการวิจัย

การศึกษาและการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ปัญหาสามารถบ่งบอกได้ว่าการที่ใช้ Google Forms การจัดการของเสียอันตราย และการประเมินความเสี่ยงในห้องปฏิบัติการก่อนเริ่มทำโปรเจกต์ และวิทยานิพนธ์ สามารถสรุปคะแนนเกณฑ์ในการวัดและประเมินผลความรู้แนวทางการจัดการของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการ เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายจากสารเคมีในห้องปฏิบัติการ โดยบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลและมาตรการลดของเสีย ณ แหล่งกำเนิด รวมทั้งประเมินความรู้และความเข้าใจของผู้ใช้งาน การบูรณาการระบบนี้มีเป้าหมายสำคัญเพื่อลดสัดส่วนของเสียประเภทไม่ทราบชนิด ลดความเสี่ยงในการจัดเก็บ

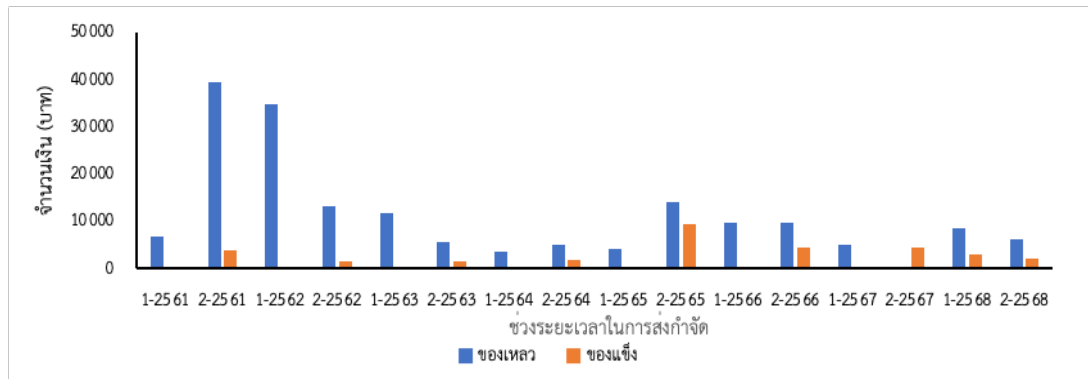
และการประเมินแนวโน้มปริมาณของเสียและประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายภายในห้องปฏิบัติการระบบบริหารจัดการของเสียอย่างเป็นรูปธรรม ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 (ก) ปริมาตรของเสียรวมในแต่ละภาคการศึกษาของภาควิชาวิศวกรรมเคมี พ.ศ. 2561 - 2568 และ (ข) ช่วงระยะเวลาข้อมูลของเสียแบบชนิดของเหลวแต่ละประเภทในการส่งกำจัด

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของเสียอันตรายจากสารเคมีจากภาพที่ 5 พบว่า การเกิดของเสีย 3 ประเภทหลักที่มีปริมาณสูงที่สุดของภาควิชา เนื่องจากของเสียประเภทอื่นมีปริมาณน้อยหรือแทบไม่พบ จากข้อมูลการส่งกำจัดของเสียภายนอกทุก 6 เดือน พ.ศ. 2561 - 2568 จะเห็นได้ว่า ปริมาณของเสียมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญ จากในรอบที่ 2/2561 ปริมาณของเสียเท่ากับ 1,313 ลิตร มีปริมาณสูงสุดในช่วงปีงบประมาณ 2561 - 2562 ก่อนจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วงปีถัดมา ในปีงบประมาณ 2564 ลดลงเหลือ 281.2 ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของ COVID-19 ที่ส่งผลให้กิจกรรมการเรียนการสอนและการวิจัยในห้องปฏิบัติการลดลง อย่างไรก็ตาม ในช่วงปีงบประมาณ 2566 - 2568 ภาควิชาได้กำหนดให้นักศึกษาทุกคนที่เข้าใช้ห้องปฏิบัติการต้องผ่านการทดสอบความรู้ด้านการจัดการของเสียอันตรายและจัดทำแผน Pre-Post Waste Analysis ก่อนเริ่มดำเนินโปรเจกต์หรือวิทยานิพนธ์ มาใช้การควบคุมของเสียตั้งแต่ต้นทาง ลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ และลดการใช้สารเคมีลง และมีการบำบัดของเสียประเภทกรด-เบส (L01 และ L02) ในช่วงการศึกษา เนื่องจากมีการนำกระบวนการบำบัดเบื้องต้นมาใช้แทนการส่งกำจัดภายนอก ทำให้ลดลงอย่างชัดเจนหรือแทบไม่พบ

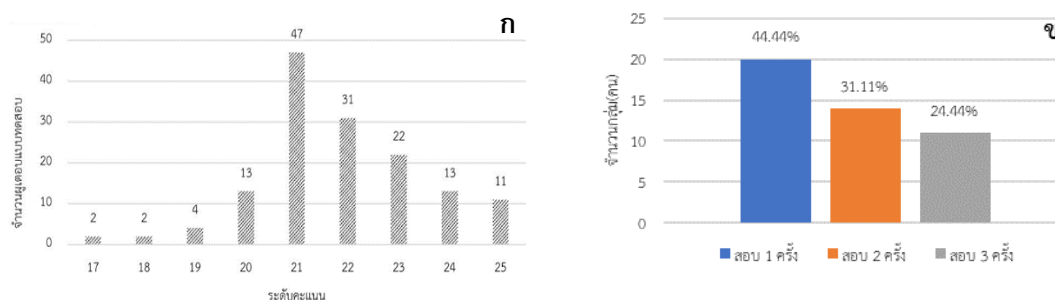
จากค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดของเสียในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 - 2568 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดของเสียชนิดของเหลวเป็นสัดส่วนหลักของค่าใช้จ่ายทั้งหมด จะเห็นได้ว่า ในรอบที่ 1 ของแต่ละปี ซึ่งส่วนใหญ่มีเฉพาะค่าใช้จ่ายจากของเสียประเภทของเหลว คิดเป็นร้อยละ 100 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด เป็นช่วงที่นักศึกษาเริ่มทำโปรเจกต์ภาคการศึกษาที่ 2 แสดงภาพดังที่ 6



ภาพที่ 6 ค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดของเสียภายนอกในรอบทุกๆ 6 เดือน

จากภาพที่ 6 พบว่า ค่าใช้จ่าย ปีงบประมาณ 2561 เท่ากับ 44,000 บาท คิดเป็นชนิดของเหลวเท่ากับ 40,000 บาท (ร้อยละ 90.91) และของเสียชนิดของแข็ง 4,000 บาท (ร้อยละ 9.09) ของค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากภาพที่ 6 ค่าใช้จ่ายของแข็งในรอบที่ 2 ปีงบประมาณ 2565 เท่ากับ 9,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 39.13 สูงสุด จากค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 23,000 บาท ซึ่งผลจากการจัดสารเคมีเสื่อมสภาพภายในห้องปฏิบัติการ ส่งผลให้ปริมาณของเสียประเภทของแข็งเพิ่มสูงขึ้นเป็นกรณีพิเศษ ทั้งนี้ ของเสียประเภทของแข็งมักเกิดขึ้นในรอบที่ 2 ของปีงบประมาณเป็นหลัก เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จากปี 2561 - 2562 ประมาณ 35,000 - 44,000 บาท ลดลงเหลือเพียงประมาณ 5,000 - 12,000 บาทต่อรอบในช่วงปี 2566 - 2568 เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในปี 2561 - 2562 ค่าใช้จ่าย 44,000 บาท กับปี 2567 - 2568 ค่าใช้จ่าย 8,000 บาท จะเห็นได้ว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ถึงร้อยละ 81.81 การนำมาตรการลดการเกิดของเสีย ณ แหล่งกำเนิด การคัดแยกของเสียอย่างถูกต้อง และการที่ใช้ Google Forms การจัดการของเสียอันตรายและการประเมินความเสี่ยงในห้องปฏิบัติการก่อนเริ่มทำโปรเจก และวิทยานิพนธ์ สามารถสรุปคะแนนเกณฑ์ในการวัดและประเมินผลความรู้แนวทางการจัดการของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาและเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ปัญหาการใช้ Google Forms การจัดการของเสียอันตรายและการประเมินความเสี่ยงในห้องปฏิบัติการก่อนเริ่มทำโปรเจก และวิทยานิพนธ์ สามารถสรุปคะแนนเกณฑ์ในการวัดและประเมินผลความรู้แนวทางการจัดการของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการ แสดงดังภาพที่ 7

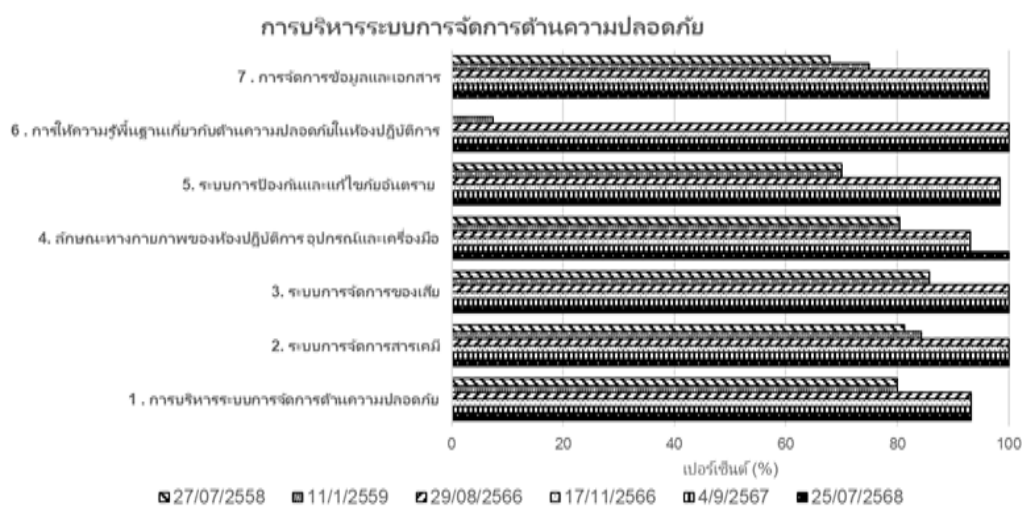


ภาพที่ 7 (ก) การกระจายตัวของคะแนนรายบุคคล พ.ศ 2567 - 2568 และ (ข) การเข้าสอบจำนวนครั้งรายกลุ่มเข้าพบเจ้าหน้าที่

จากภาพที่ 7 (ก) การกระจายตัวของคะแนนจากแบบทดสอบรายบุคคลเป็นการวัดผลความรู้ความเข้าใจที่ทำแบบทดสอบ Google Form เกณฑ์ในการวัดและประเมินผลความรู้จะต้องมากกว่าร้อยละ 70 ขึ้นไป ดังตารางที่ 1 ข้อสอบจำนวน 25 ข้อ ที่ใช้วัดความรู้ โดยคะแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 (ต้องตอบถูก 18 ข้อขึ้นไปจากทั้งหมด 25 ข้อ) โดยจะนำค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (Maximum and Minimum Values) พบว่า ค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 21.85 คะแนน ค่ามัธยฐานเท่ากับ 22 คะแนน ซึ่งการทดสอบมีการกระจายตัวไม่มาก โดยคะแนนส่วนใหญ่รวมตัวอยู่ใกล้ค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐาน ผู้ที่ได้คะแนนต่ำ (17 - 19 คะแนน) มีจำนวนค่อนข้างน้อย จะเห็นได้ว่า ส่วนใหญ่สามารถผ่านเกณฑ์ในระดับดีมาก (มากกว่าร้อยละ 80) และค่าสูงสุด (Maximum) เท่ากับ ร้อยละ 100 ของ 25 คะแนน และค่าต่ำสุด (Minimum) เท่ากับ 17 คะแนน โดยกำหนดไม่ผ่านเกณฑ์ (ต่ำกว่าร้อยละ 70) ต้องทำแบบทดสอบซ้ำ สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนสูงสุดของระดับคุณภาพดีมากทำแบบทดสอบได้ร้อยละ 80 ขึ้นไป มีเป็นส่วนน้อยที่ยังที่ไม่สามารถจำแนกประเภทได้อย่างถูกต้อง

จากภาพที่ 7 (ข) พบว่า การเข้าพบเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ จำนวนกลุ่มโปรเจก 45 กลุ่ม ผลการวิจัยการเข้าสอบรายกลุ่ม เข้าพบเจ้าหน้าที่จำนวนครั้ง 1, 2, 3 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 44.44, 31.11, 24.44 ตามลำดับ ของนักศึกษา จากภาพที่ 7 (ข) ที่มีการเข้าพบของนักศึกษาสามารถระบุสารเคมีที่ใช้และของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นในงานวิจัยตนเองระหว่างทำการทดลอง โดยการคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองจากเอกสารประกอบปฏิบัติการ (Direction Lab) จากภาพที่ 7 (ข) การเข้าพบ แสดงให้เห็นว่า นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจในระบบการจัดการของเสียอันตรายและการจัดเก็บของเสีย (Waste) ในห้องปฏิบัติการ โดยเงื่อนไขเป็นไปตามโปรเจกของตนเองเนื่องจากชื่อเรื่อง โปรเจก ที่แตกต่างกัน พบว่า ผลการประเมินความรู้เกี่ยวกับสถิติเชิงอนุมาน โดยใช้การทดสอบสัดส่วนของประชากรกลุ่มเดียว (One-Sample Proportion z-Test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่า มีค่า p -value อยู่ที่ 0.033 ในการเข้าพบ และช่วยลดเวลาในการเข้าพบเจ้าหน้าที่ โดยมีเกณฑ์เป้าหมายที่กำหนดไว้ (PO) กำหนดเป้าหมายว่า ต้องมีนักศึกษาผ่านเกณฑ์ภายใน 2 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 60 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นนักศึกษาที่ผ่านคิดเป็นร้อยละ 60 มีความแตกต่างจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ การประเมินประสิทธิผลของระบบในการลดปริมาณของเสีย ลดค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัด และยกระดับความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี มจร. ตามเกณฑ์มาตรฐาน ESPReL การพัฒนาและยกระดับระบบบริหารจัดการความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการให้สอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย (ESPReL) ของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ส่งผลให้ผลการประเมินในรูปแบบ Peer Evaluation มีคะแนนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกองค์ประกอบ แสดงดังภาพที่ 8 และตารางที่ 2



ภาพที่ 8 การบริหารระบบการจัดการด้านความปลอดภัยของภาควิชาวิศวกรรมเคมี

ตารางที่ 2 การบริหารระบบการจัดการด้านความปลอดภัยแสดงคะแนนของแต่ละองค์ประกอบ ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี

หัวข้อ/วันที่	25 ก.ค. 2568	4 ก.ย. 2567	17 พ.ย. 2566	29 ส.ค. 2566	11 ม.ค. 2559	27 ก.ค. 2558
1. การบริหารระบบการจัดการด้านความปลอดภัย	93.3%	93.3%	93. %	93.3%	80%	80%
2. ระบบการจัดการสารเคมี	100%	100%	100%	100%	84. 4%	81. 3%
3. ระบบการจัดการของเสีย	100%	100%	100%	100%	85.7%	85.7%
4. ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือ	100%	93.1%	93.1%	93.1%	80. 5%	80.5%
5. ระบบการป้องกันและแก้ไขภัยอันตราย	98.5%	98.5%	98.5%	98.5%	70%	70%
6. การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	100%	100%	100%	100%	7.4%	0%
7. การจัดการข้อมูลและเอกสาร	96.4%	96.4%	96.4%	96.4%	75%	67.9%

จากภาพที่ 8 และตารางที่ 2 ผลการดำเนินงานด้านการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการตามเกณฑ์ ESPReL ของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) จะเห็นได้ว่า การยกระดับความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี มจร. ตามเกณฑ์มาตรฐาน ESPReL มีความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถบรรลุเป้าหมายการประเมินในระดับผ่านเกณฑ์สมบูรณ์ (Pass 100%) จำนวน 4 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบที่ 2) ระบบการจัดการสารเคมี 3) ระบบการจัดการของเสีย 4) ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือ 6) การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ พบว่า องค์ประกอบที่ 6 ด้านการให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบการจัดการสารเคมี 3) ระบบการจัดการของเสีย 4) ซึ่งมีคะแนนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ในปี พ.ศ. 2558 เป็นร้อยละ 100 ในปี พ.ศ. 2568 สะท้อนถึงประสิทธิภาพของการพัฒนาระบบการอบรม การสร้างความตระหนักรู้ และการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านความปลอดภัยอย่างเป็นระบบแก่ผู้ปฏิบัติงาน และนักศึกษา ส่งผลให้เกิดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องและสามารถปฏิบัติงานได้ตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัย นอกจากนี้ ผลการดำเนินงานโดยรวมแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในทุกองค์ประกอบ จนสามารถยกระดับคะแนนการประเมินให้อยู่ในระดับไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ในทุกด้าน และหลายองค์ประกอบได้รับคะแนนเต็มร้อยละ 100 สะท้อนถึงประสิทธิภาพของการบริหารจัดการห้องปฏิบัติการตามแนวทาง ESPReL และความมุ่งมั่นของภาควิชาในการสร้างสภาพแวดล้อมการทำงานที่ปลอดภัย มีมาตรฐาน และเอื้อต่อการเรียนการสอน การวิจัย และการให้บริการวิชาการอย่างยั่งยืน

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายจากสารเคมีในห้องปฏิบัติการ โดยบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลและมาตรการลดของเสีย ณ แหล่งกำเนิด รวมทั้งประเมินความรู้และความเข้าใจของผู้ใช้งานเกี่ยวกับการจำแนก การจัดเก็บ การบำบัด และการกำจัดของเสียให้ถูกต้องตามเกณฑ์มาตรฐาน ESPReL การดำเนินงาน ห้องปฏิบัติการได้รับการรับรองมาตรฐานด้านความปลอดภัยในการทำงาน ตามมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ (ESPReL) การควบคุมตั้งแต่แหล่งกำเนิด (Source Reduction) ลดปริมาณของเสียคิดเป็นสัดส่วน 45% และแก้ปัญหาของเสียไม่ทราบประเภท (Unknown Waste) 100% สามารถลดค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดได้ 81.81% การวัดผลสัมฤทธิ์ด้านการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัย (ESPReL) ผ่านเกณฑ์ระดับสูง ซึ่งภาควิชาฯ ผ่านการประเมิน ESPReL ของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ในทุกองค์ประกอบด้วยคะแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ระบบการจัดการของเสีย คะแนนเต็ม 100% บรรลุผลประเมินร้อยละ 100 ใน 4 องค์ประกอบสำคัญทั้ง 7 องค์ การนำระบบ Pre-Post Waste Analysis โดยการประเมินความรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p\text{-value} = 0.033$ การพัฒนาบุคลากรให้ความรู้พื้นฐานด้านความปลอดภัย มีพัฒนาการแบบก้าวกระโดดจากร้อยละ 0 ในปี พ.ศ. 2558 เป็นร้อยละ 100 ในปัจจุบัน สะท้อนถึงความสำเร็จในการสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัย ส่วนในด้านเศรษฐศาสตร์และการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดของเสียภายนอกลดลงอย่างเป็นรูปธรรมถึงร้อยละ 81.81 (ลดลงจากจุดสูงสุดที่ 44,000 บาท/รอบ เหลือเพียงประมาณ 8,000 บาท/รอบ)

โดยสรุป การพัฒนาระบบการจัดการของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเคมี เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณและประเภทของเสียอันตราย รวมถึงค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 - 2568 และประเมินประสิทธิภาพของระบบในการลดปริมาณของเสีย ลดค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัด และยกระดับความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี มจร. สามารถยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยตามเกณฑ์ ESPReL และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าได้อย่างเป็นรูปธรรม การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและการสร้างความตระหนักรู้ด้านความปลอดภัยเพื่อการบริหารจัดการห้องปฏิบัติการอย่างยั่งยืน

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ปัญหา สามารถบ่งบอกได้ว่าการที่ใช้ Google Forms ช่วยให้นักศึกษาเข้าถึงข้อมูลการใช้ Google form บูรณาการประเมินความรู้ ความเข้าใจ Pre-Post waste Analysis ควบคุมการทำงานลดความเสี่ยงสารเคมีผิดประเภท และลดของเสียไม่ทราบประเภท (Unknown Waste) การวัดผลประสิทธิภาพและความคุ้มค่าสามารถลดค่าใช้จ่าย 81.81% และยังลดต้นทุนการส่งกำจัดที่มีความคุ้มค่าต่อเนื่อง โดยสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น งานวิจัยของ (นายชรรณ กิ่งแก้ว, 2562) “งานวิเคราะห์ระบบการจัดการของเสียสารเคมี ห้องปฏิบัติการทดลองและวิจัยเพื่อควมมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล” พบว่า การมีระบบบริหารจัดการที่ชัดเจนช่วยลดปริมาณของเสียได้ต่อเนื่อง 24.80% และ 46.78% ในปีถัดมา และช่วยให้การตั้งงบประมาณรายปีมีความคุ้มค่า และการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ในการพัฒนาบุคลากรให้ความรู้พื้นฐานด้านความปลอดภัย มีความสอดคล้องกับงานวิจัยระดับนานาชาติ “การจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการ: ความท้าทายและทางออกที่ยั่งยืน” ของ (Sayed et al., 2025) พบว่า การสนับสนุนว่าการฝึกอบรมอย่างเข้มข้น การ

พัฒนาคู่มือคัดแยก และมาตรการ Reuse/Recycle สามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดด้านงบประมาณและบุคลากร โดยช่วยลดของเสียได้ถึง 70% และลดต้นทุนได้ 60% นำไปสู่การจัดการที่ยั่งยืนในทุกๆ ด้าน ได้แก่ ด้านเทคนิค ด้านทรัพยากรบุคคล และด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำไปสู่การจัดการของเสียทางเคมีอย่างยั่งยืน ดังนั้นงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและพัฒนาปรับปรุงระบบการจัดการของเสีย ซึ่งประยุกต์ใช้ระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายจากสารเคมีในห้องปฏิบัติการ โดยบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลและมาตรการลดของเสีย ณ แหล่งกำเนิด ในห้องปฏิบัติการโดยใช้แนวทางการควบคุมตั้งแต่แหล่งกำเนิด (Source Reduction) สามารถเพิ่มการควบคุมการจัดการของเสียและลดต้นทุนการดำเนินงานได้อย่างเป็นรูปธรรม สอดคล้องกับหลักการบริหารจัดการของเสียตามลำดับขั้น (Waste Management Hierarchy) ที่ให้ความสำคัญกับการป้องกันการเกิดของเสียก่อนการบำบัดหรือกำจัดในขั้นตอนปลายทาง

ดังนั้น ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการมาตรการควบคุมต้นทาง การพัฒนาระบบฐานข้อมูลดิจิทัล การสร้างความตระหนักรู้ด้านความปลอดภัยในการทำงาน และการปรับปรุงแนวทางบำบัดของเสียภายในองค์กร เป็นกลไกสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการของเสียอันตราย สามารถยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการได้ และสนับสนุนการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาและปรับปรุงระบบบริหารจัดการความปลอดภัยอย่างยั่งยืน เนื่องจากเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญในการยกระดับมาตรฐานห้องปฏิบัติการ เพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความเสี่ยง และสนับสนุนการดำเนินงานให้สอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัยระดับชาติและสากล แต่ทั้งนี้ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้มีความสามารถในการประยุกต์ใช้กับหน่วยงานที่มีบริบทแตกต่างกัน และการติดตามผลในระยะยาว นอกจากจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยในสถานที่ทำงานแล้ว ยังจะช่วยลดต้นทุนในการจัดการของเสีย

2. ควรพัฒนาแนวปฏิบัติมาตรฐานสำหรับการจัดการของเสียอันตราย โดยเฉพาะมาตรการควบคุมต้นทาง (Pre-Post Waste Analysis) และขั้นตอนการบำบัดของเสียประเภทกรด (L01) และเบส (L02) เพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจน สม่าเสมอ และสามารถถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ผู้ปฏิบัติงานรุ่นต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. มหาวิทยาลัยควรนำข้อมูลสถิติและแนวโน้มการเกิดของเสียอันตรายจากการศึกษานี้ไปใช้ประกอบการวางแผนงบประมาณสำหรับการรวบรวมและกำจัดของเสียอันตราย โดยเฉพาะของเสียประเภทของแข็งที่เกิดจากสารเคมีเสื่อมสภาพ ซึ่งมีแนวโน้มเกิดขึ้นเป็นระยะและอาจส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการของเสียในอนาคต

4. ข้อจำกัดในงานวิจัยนี้ การใช้ข้อมูลย้อนหลังที่มีตัวแปรปริมาณของเสีย ในสถานการณ์ COVID-19 มีผลต่อปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในปี 2564 ดังนั้นข้อมูลที่น่ามาใช้ในครั้งนี้มีผลการนำเสนอเพียงครั้งเดียวเพราะมีการเรียนการสอนเป็นออนไลน์ การลงวิชาปฏิบัติการหรือการทำโปรเจกต์ วิทยานิพนธ์ ถูกงดในการเข้าห้องปฏิบัติการ ปริมาณของเสียลดลงแบบมีนัยสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการ กรณีศึกษา ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดี จากภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่สนับสนุนการทำวิจัย และขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.ชุตินาถ ก้องวโรตม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ ได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ ทั้งนี้ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.ไชยา คำคำ รองคณบดีอาวุโสฝ่ายบริหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้คำแนะนำในการเรียบเรียงและตรวจสอบเนื้อหา ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกคนที่แลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ที่เกี่ยวข้องศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กาญจนา ชันทะพันธ์. (2568). การยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตามมาตรฐาน ESPReL. วารสารวิชาการ ปชมท., 14(2), e2056.

โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย. (2555). ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม และของเสียอันตรายจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (คู่มือการประเมินความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ). กรุงเทพฯ: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.

- ชลธร กิณแก้ว. (2562). *วิเคราะห์ระบบการจัดการของเสียสารเคมี ห้องปฏิบัติการทดลองและวิจัยเพื่อควมมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (งานวิเคราะห์)*. เชียงใหม่: คลังสารสนเทศดิจิทัล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปณิชา ชูติชัยจรัส. (2568). *การประยุกต์ใช้ Google Form สำหรับช่วยวัดผลและประเมินความรู้ความเข้าใจในการจัดการของเสียกรณีศึกษา ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (น. O205)*. ใน *วิชาการวิจัยระดับชาติสำหรับบุคลากร สายสนับสนุนวิชาการในสถาบันอุดมศึกษา ครั้งที่ 18 “ทองกวาววิชาการ 2569”*. เชียงใหม่: สำนักบริการวิชาการ (UNISERV) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่.
- ศูนย์การจัดการด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และชีวอนามัย (EESH). (ม.ป.ป.). *คู่มือการจัดการสารเคมีและของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการ*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจร.).
- ศูนย์การจัดการด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และชีวอนามัย (EESH). (ม.ป.ป.). *แนวทางการปฏิบัติการจัดการของเสียสารเคมีและของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการ (Vol.1)*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจร.).
- สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ. (ม.ป.ป.). *แนวทางการจัดการของเสียอันตราย (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- Quick ERP Thailand. (2566). *Digital Platform คืออะไร สำคัญอย่างไรต่อการทำธุรกิจในยุคปัจจุบัน*. สืบค้นจาก <https://quickerphtailand.com/blog-what-is-digital-platform>
- Rosalba B. (2012). *Green lab: A strategic design framework to develop sustainable research laboratories*. In *Proceedings of the 11th International Conference on Sustainable Energy Technologies (SET-2012)*. Vancouver, Canada: World Society of Sustainable Energy Technologies (WSSET).
- Sayed, A. A. S., Mohammad, N. K., Rohullah, F., & Rahim, E. (2025). Laboratory waste management: Challenges and sustainable solutions. *International Journal of Arts and Social Science*, 8(9), 1-8.