

## การนำคาเฟอีนจากปฏิบัติการเคมีอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ เพื่อพัฒนามาตรฐานการจัดการของเสีย ตามแนวทาง ESPReL

รัตนา แซ่โจ้ว\* และ ยุพเรศน์ พัลพัฒน์

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

(\*อีเมลผู้ประพันธ์บรรณกิจ: rattana.ch@mail.wu.ac.th)

Received: 18 February 2026, Revised: 26 February 2026, Accepted: 5 March 2026, Published: 12 March 2026

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำสารสกัดหยาบที่เหลือทิ้งจากการเรียนการสอนปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ เรื่องการสกัดคาเฟอีนจากใบชาแห้ง มาใช้เป็นสารทดแทนคาเฟอีนมาตรฐานสำหรับเรียนรายวิชาปฏิบัติการ โดยใช้วิธีระเหิดในการทำสารให้บริสุทธิ์ เนื่องจากเป็นวิธีที่เหมาะสมด้านประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และต้นทุน คาเฟอีนที่ได้มีลักษณะเป็นของผลึกสีขาว ให้อ้อยละการได้กลับคืนเท่ากับ 69.0 มีค่า pH เท่ากับ 5 และมีจุดหลอมเหลว 237.5 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TLC พบค่า  $R_f$  สอดคล้องกับสารมาตรฐานแสดงถึงระดับความบริสุทธิ์ การยืนยันโครงสร้างทางเคมีด้วย FTIR พบแถบการดูดกลืนที่ 1,695 และ 1,648  $\text{cm}^{-1}$  อันเนื่องมาจากหมู่คาร์บอนิล C = O 1,598  $\text{cm}^{-1}$  จากการสั่นของพันธะ C = N และ 1,358  $\text{cm}^{-1}$  จากการสั่นของพันธะ C-N ของ N-CH<sub>3</sub> ขณะที่สเปกตรัม <sup>1</sup>H NMR พบสัญญาณซิงเกิล 4 สัญญาณ ได้แก่  $\delta$  3.41, 3.59 และ 4.00 ppm (3H, s, N-CH<sub>3</sub>) และ  $\delta$  7.51 ppm (1H, s, H-8) ซึ่งมีความสอดคล้องกับสารคาเฟอีนมาตรฐาน ข้อมูลดังกล่าวยืนยันความถูกต้องเชิงโครงสร้างและความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เพื่อการเรียนการสอนปฏิบัติการด้านการวิเคราะห์ และการแปลผลสเปกตรัม แนวทางนี้สามารถลดต้นทุนการใช้คาเฟอีนมาตรฐานได้อ้อยละ 100 ลดปริมาณของเสียจากสารเคมีหมดอายุ ลดภาระการจัดการของเสียอันตราย และลดความยุ่งยากในการนำเข้าสู่สารเคมีควบคุม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มคะแนนประเมินมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย (ESPReL) ด้านการจัดการของเสียร้อยละ 1.54 และสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDG 12) ด้านการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน

**คำสำคัญ:** คาเฟอีน; สารสกัดหยาบ; เคมีอินทรีย์; ยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย; เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

## Recovery of Caffeine from Organic Chemistry Laboratory Experiments to Enhance Waste Management Standards in Accordance under ESPReL Guidelines

Rattana Saengow\* and Yupparase Pullaput

*The Center for Scientific and Technological Equipment, Walailak University, Thasala, Nakhon Si Thammarat 80160, Thailand*

(\*Corresponding author's e-mail: rattana.ch@mail.wu.ac.thh)

### Abstract

This study investigated the recovery of crude caffeine extract waste generated from an undergraduate organic chemistry experiment on caffeine extraction from dried tea leaves as a replacement for commercial caffeine standards in laboratory courses. Purification by sublimation was selected for its efficiency, safety, and cost-effectiveness. The purified caffeine was obtained as a white crystal with 69.0% recovery, pH 5, and a melting point of 237.5 °C. Thin-layer chromatography showed an  $R_f$  value consistent with the standard, indicating acceptable purity. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) revealed characteristic absorption bands at 1,695 and 1,648  $\text{cm}^{-1}$  (C=O), 1,598  $\text{cm}^{-1}$  (C=N), and 1,358  $\text{cm}^{-1}$  (C-N of N-CH<sub>3</sub>). The <sup>1</sup>H NMR spectrum displayed four singlets at  $\delta$  3.41, 3.59, and 4.00 ppm (3H each, N-C CH<sub>3</sub>) and 7.51 ppm (1H, H-8), matching standard caffeine. These results confirm the compound's structural identity and suitability for instructional use, particularly in spectroscopic analysis. This approach eliminates the cost of purchasing standard caffeine, reduces waste from expired reagents, lowers hazardous waste management demands, and minimizes complications related to controlled chemical importation. It also increased the waste management score under the Thai Laboratory Safety Standard (ESPReL) by 1.54%. Overall, the strategy supports Sustainable Development Goal 12 (Responsible Consumption and Production) by promoting resource efficiency and circular practices in teaching laboratories.

**Keywords:** Caffeine; Crude extract; Organic chemistry; Enhancement of safety practice of research laboratory in Thailand; Sustainable development goals

## บทนำ

องค์การสหประชาชาติ (United Nations: UN) ได้กำหนดกรอบการพัฒนาในระดับโลกภายใต้ “เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน” (Sustainable Development Goals: SDGs) เพื่อเป็นทิศทางร่วมของประเทศสมาชิก 193 ประเทศ ในการขับเคลื่อนการพัฒนาให้บรรลุผลภายในปี พ.ศ. 2573 เป้าหมายดังกล่าวประกอบด้วย 17 เป้าหมายหลัก 169 เป้าหมายย่อย และ 247 ตัวชี้วัด สำหรับใช้ติดตาม ประเมินผล และสะท้อนความก้าวหน้าในการดำเนินงาน โดยจัดกลุ่มการพัฒนาออกเป็น 5 มิติ ได้แก่ มิติด้านการพัฒนาคน มิติด้านสิ่งแวดล้อม มิติด้านเศรษฐกิจและความมั่งคั่ง มิติด้านสันติภาพและสถาบัน และมิติด้านความเป็นหุ้นส่วนเพื่อการพัฒนา (มานะ สันธวงษานนท์, 2566) ประเด็นที่ให้ความสำคัญในครั้งนี้อยู่ที่ การลดการเกิดของเสีย ซึ่งสอดคล้องโดยตรงกับเป้าหมายที่ 12: การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน (SDG 12) โดยเฉพาะเป้าหมายย่อย 12.5 ที่มุ่งลดปริมาณขยะผ่านการป้องกัน การลดใช้ การใช้ซ้ำ และการนำกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงเป้าหมายย่อย 12.4 ที่เน้นการจัดการสารเคมีและของเสียทุกประเภทอย่างถูกต้องตามหลักสิ่งแวดล้อม แนวทางดังกล่าวสะท้อนหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่มุ่งใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นรูปธรรม (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2565) แนวคิดนี้สอดคล้องกับนโยบายการให้บริการห้องปฏิบัติการของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ภายใต้แนวคิด “ห้องปฏิบัติการปลอดภัย” ซึ่งมุ่งยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีให้เป็นไปตามมาตรฐานการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย (Enhancement of Safety Practice of Research Laboratory in Thailand: ESPReL) ภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยระบบ ESPReL Checklist ครอบคลุม 7 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การบริหารจัดการด้านความปลอดภัย 2) ระบบการจัดการสารเคมี 3) ระบบการจัดการของเสีย 4) ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ 5) อุปกรณ์และระบบป้องกันอันตราย 6) การให้ความรู้ด้านความปลอดภัย และ 7) การจัดการข้อมูลและเอกสาร ซึ่งการดำเนินงานครั้งนี้มุ่งเน้นเป็น

พิเศษในด้าน “ระบบการจัดการของเสีย” ให้เป็นไปตามแนวทาง ESPReL อย่างเป็นระบบเอกสาร (โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย, 2555; โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย, 2558)

ในบริบทของการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์เป็นส่วนสำคัญที่นักศึกษาเรียนควบคู่กับภาคบรรยาย โดยฝึกปฏิบัติการเตรียมสาร การแยกสาร และการวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การกลั่น การตกตะกอน การสกัด ตลอดจนการใช้เครื่องมือวิเคราะห์สมัยใหม่ อาทิ สเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) และโครมาโทกราฟี (Chromatography) การฝึกปฏิบัติดังกล่าวไม่เพียงเสริมสร้างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ แต่ยังปลูกฝังความตระหนักด้านความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมีที่อาจเป็นอันตราย หนึ่งในบททดลองสำคัญคือ “การสกัดคาเฟอีนจากใบชาแห้ง” ซึ่งใช้เทคนิคการสกัดอย่างง่าย (Simple Extraction) และโครมาโทกราฟีแบบผิวนบาง (Thin-layer Chromatography; TLC) ในแต่ละภาคการศึกษามักศึกษาลงทะเบียนเรียนประมาณ 160 คน ส่งผลให้เกิดสารสกัดหยาบ (Crude Extract) หรือผลิตภัณฑ์คาเฟอีนในปริมาณมาก สารส่วนเกินดังกล่าวจึงกลายเป็นของเสียจากกระบวนการเรียนการสอน หากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม (คณาจารย์ผู้ประสานรายวิชา สาขาเคมี สำนักวิชาวิทยาศาสตร์, 2553)

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การสกัดคาเฟอีนจากใบชาและเมล็ดกาแฟสามารถดำเนินการด้วยวิธีสกัดของเหลว - ของเหลว โดยใช้ไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลาย กระบวนการประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ได้แก่ การแช่ การระเหย การสกัดของเหลว - ของเหลว และการตกผลึกใหม่ ทั้งนี้การตรวจสอบความบริสุทธิ์และเอกลักษณ์ของสารจากรายงานการวิจัยโดยใช้เทคนิคขั้นสูง เช่น โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) เครื่องวิเคราะห์ความร้อนเชิงสแกนแบบแตกต่าง (DSC) พูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) และการวัดจุดหลอมเหลว (Pradeep et al., 2015) รายงานวิจัยของพัชนี ได้ศึกษาเรื่องกาแฟสกัดคาเฟอีน ดำเนินการศึกษากาแฟสกัดคาเฟอีนจากกาแฟ 3 วิธี ได้แก่ กระบวนการสกัดโดยใช้สารเคมี กระบวนการสกัด

คาเพื่อนด้วยน้ำแบบสวิส และกระบวนการสกัดคาเพื่อนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (พชนี สุวรรณวิศลกิจ, 2542) ซึ่งแม้จะมีรายงานการสกัดและการทำสารให้บริสุทธิ์คาเพื่อนจำนวนมาก แต่ยังไม่พบรายงานที่ประยุกต์ใช้ของเสียที่เกิดจากการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการเพื่อทดแทนสารมาตรฐานภายใต้แนวทางการจัดการของเสียด้วยระบบ ESPReL ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางนำสารสกัดคาเพื่อนจากการเรียนการสอนปฏิบัติการมาทำให้บริสุทธิ์ เพื่อใช้ทดแทนสารคาเพื่อนมาตรฐานในการเรียนการสอนปฏิบัติการ โดยใช้วิธีการแยกสารอย่างง่ายและตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี ฟลูออโรเมตริกอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR) ตลอดจนการทดสอบสมบัติทางกายภาพ แนวทางดังกล่าวเป็นการนำของเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Recovery/Recycle) ลดปริมาณของเสียในห้องปฏิบัติการ ลดปัญหาสารเคมีหมดอายุก่อนใช้งาน ลดความยุ่งยากในการจัดซื้อสารควบคุม และลดต้นทุนสารเคมีในรายวิชาปฏิบัติการ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การดำเนินงานนี้จึงเป็นตัวอย่างของการบูรณาการเรียนการสอนกับการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน สอดคล้องทั้งแนวทางระบบ ESPReL และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน SDG 12.5 ที่มุ่งลดขยะผ่านการป้องกัน การลด การใช้ซ้ำ และการนำกลับมาใช้ใหม่อย่างเป็นรูปธรรม อันสะท้อนบทบาทของสถาบันอุดมศึกษาในการขับเคลื่อนความยั่งยืนในระดับปฏิบัติการอย่างแท้จริง

### วัตถุประสงค์การศึกษา

- 1) เพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ให้แก่ผลิตภัณฑ์คาเพื่อนหรือสารสกัดคาเพื่อนจากการเรียนการสอนปฏิบัติการเคมีอินทรีย์สำหรับใช้ทดแทนคาเพื่อนมาตรฐาน
- 2) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการของเสียตามมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย
- 3) เพื่อลดต้นทุนคาเพื่อนของรายวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ และรายวิชาปฏิบัติการสเปกโทรสโกปีสำหรับสารประกอบเคมีอินทรีย์และเคมีอินทรีย์ ร้อยละ 100

### วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อลดการเกิดของเสียในห้องปฏิบัติการจากการหมดอายุของสารเคมีก่อนใช้

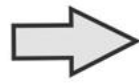
งาน เนื่องจากการใช้สารเคมีปริมาณสารน้อย และการนำสารสกัดคาเพื่อนที่เหลือทิ้งจากการเรียนการสอนปฏิบัติการเคมีอินทรีย์มาทำให้บริสุทธิ์ใช้เป็นสารทดแทนสารมาตรฐานในการเรียนการสอนปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ในปฏิบัติการเรื่องการสกัดคาเพื่อนในใบชาแห่งตอนการทดสอบโครมาโทกราฟี และในรายวิชาปฏิบัติการสเปกโทรสโกปี ฯ ในปฏิบัติการเรื่องเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการเกิดของเสียด้วยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งสอดคล้องกับการลดการเกิดของเสีย ตามแนวคิดของระบบ ESPReL และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน SDG 12.5 ลดขยะโดยการป้องกัน การลด การใช้ซ้ำ นำกลับมาใช้ใหม่ มีรายละเอียดดังนี้

### การทำสารสกัดคาเพื่อนจากใบชาแห้งให้บริสุทธิ์

1) ศึกษากระบวนการคัดเลือกวิธีการทำสารสกัดคาเพื่อนให้บริสุทธิ์โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสีย (Pros and Cons Analysis) เป็นเกณฑ์ตัดสินใจ เนื่องด้วยเป็นเครื่องมือที่ใช้ตัดสินใจเรื่องง่ายที่ผลลัพธ์ ชัดเจน มีประสิทธิภาพ (Khanachang, 2024) ซึ่งโดยทั่วไปคาเพื่อนมีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น กาแฟ ใบชา โกโก้ ช็อกโกแลต (ประพันธ์ แจ่มศิริพรหม และคณะ, 2563) มีชื่อทางเคมีว่า 1,3,7-trimethylxanthine (Manish et al., 2002) เป็นสารเคมีประเภทอัลคาลอยด์ จัดอยู่ในกลุ่มแซนทีน (Xanthines) ตระกูล เมทิลแซนทีน (Methylxanthines) มีลักษณะเป็นผงสีขาว รสขม ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักของโมเลกุลน้อย ระเหิดได้ ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ และละลายในน้ำได้พอสมควรหากให้ความร้อนจะละลายได้ดี (น้ำทิพย์ ปาลี, 2563) และจากรายงานวิจัยของ Pradeep ใช้วิธีการทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีตกผลึกใหม่ (Pradeep et al., 2015) ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียวิธีทำสารให้บริสุทธิ์ 2 เทคนิค คือการระเหิดและการตกผลึกใหม่

2) วิธีการทำสารให้บริสุทธิ์ ดำเนินโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของแต่ละเทคนิคเลือกใช้วิธีการระเหิด เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ ขั้นตอนทดลองไม่ซับซ้อน และลดการสัมผัสสารเคมีของผู้ปฏิบัติงาน การทดลองเริ่มจากนำสารสกัดคาเพื่อนที่เหลือจากการเรียนปฏิบัติการรวบรวมแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นวางบน

เครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยปิดด้วย กระจกนาฬิกาแล้ววางบีกเกอร์น้ำแข็งไว้ด้านบนเพื่อช่วยในการควบแน่นของไอสารกลายเป็นของแข็งเกาะอยู่บนกระจกนาฬิกาและข้างบีกเกอร์ เมื่อระเหิดเสร็จทำการดูดสารสีขาวที่ เกาะด้านบนภาชนะ นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณร้อยละการ ได้กลับคืน (%recovery) ตามสมการที่ 1 จากนั้นนำทดสอบ



- คำนวณร้อยละการได้กลับคืน
- ทดสอบทางกายภาพ
- ทดสอบ TLC
- ทดสอบ FTIR
- ทดสอบ NMR

ภาพที่ 1 ขั้นตอนทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการระเหิด

### 3) การทดสอบความบริสุทธิ์ของคาเฟอีน

#### (1) การศึกษาความบริสุทธิ์ทางกายภาพ

การศึกษาความบริสุทธิ์ทางกายภาพของคาเฟอีน หลังผ่านกระบวนการระเหิด โดยทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การละลาย ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) โดยใช้กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ (Universal Indicator Paper) ยี่ห้อ Merck (pH-Indicator Strips) รวมถึงการทดสอบจุดหลอมเหลวด้วยเครื่องวัดจุดหลอมเหลว (Melting Point Apparatus) ยี่ห้อ Stuart Scientific SMP3 รวมถึงทดสอบโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง โดยใช้ซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับ (Stationary Phase) ยี่ห้อ MN, Germany และใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย (Mobile Phase) จากนั้นคำนวณค่าความสามารถในการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Retention Factor:  $R_f$ ) และเปรียบเทียบกับคาเฟอีนมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluka

#### (2) การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง 2 วิธี

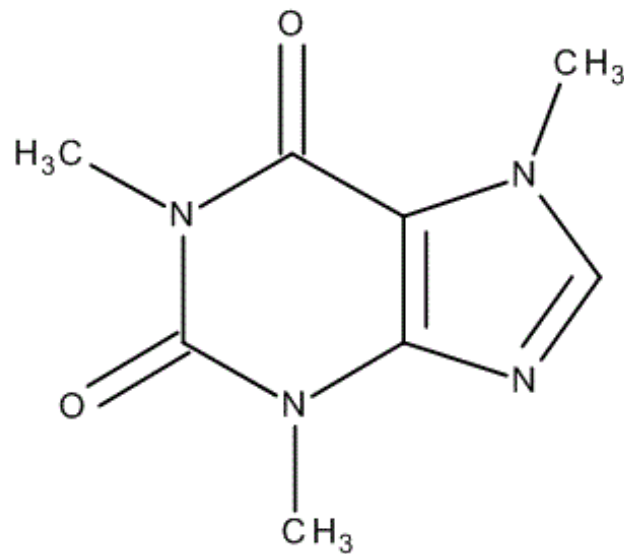
การวิเคราะห์องค์ประกอบของคาเฟอีนด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยนำสารที่ได้มาวัดโดยตรงด้วยเครื่อง FTIR ยี่ห้อ Bruker รุ่น Tensor 27 ในโหมด Attenuated Total Reflectance (ATR mode) แถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด  $4,000 - 550 \text{ cm}^{-1}$  เพื่อศึกษา

ความบริสุทธิ์ของสารที่ได้ ขั้นตอนทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการระเหิด ดังภาพที่ 1

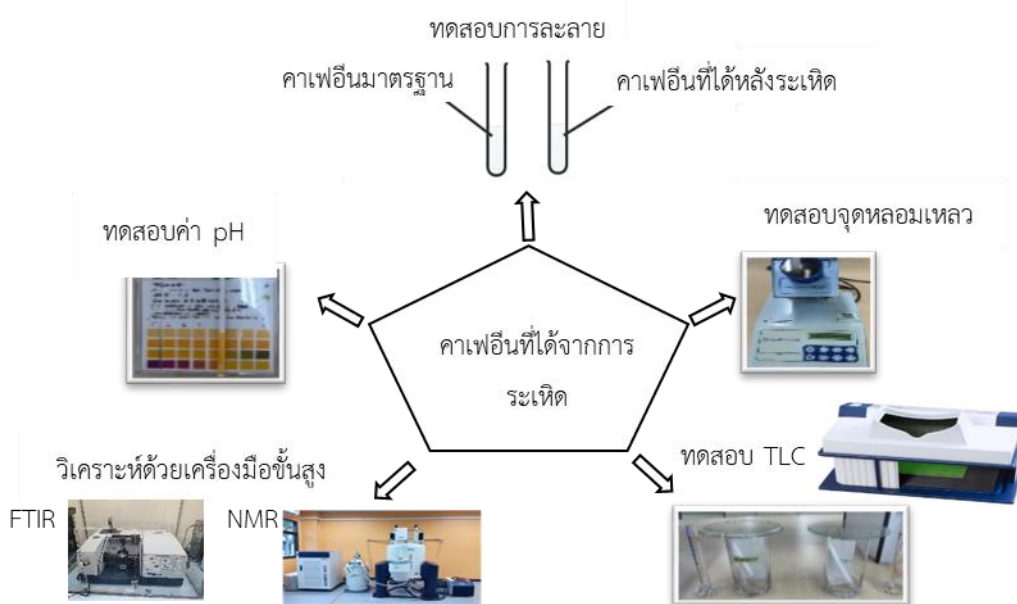
$$\text{ร้อยละการได้กลับคืน} = \frac{\text{น้ำหนักคาเฟอีนที่ได้}}{\text{น้ำหนักสารสกัดหยาบ}} \quad (1)$$

หมู่ฟังก์ชันและประเมินความบริสุทธิ์ของสาร รวมถึงการใช้โปรแกรม OPUS ในส่วนของ Quick Compare เปรียบเทียบตำแหน่งและลักษณะของพีคในสเปกตรัมของคาเฟอีนมาตรฐานและสารคาเฟอีนหลังการระเหิดจะช่วยยืนยันความบริสุทธิ์และความถูกต้องของโครงสร้างทางเคมีได้ โดยตั้งค่าขีดจำกัดขั้นต่ำที่ตั้งไว้เพื่อยอมรับผลว่า “ตรงกัน” (Threshold) ที่ ร้อยละ 95

การระบุโครงสร้างและตำแหน่งโปรตอนของคาเฟอีนด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี เตรียมตัวอย่างโดยละลายคาเฟอีนปริมาณ 5 มิลลิกรัมด้วยคลอโรฟอร์ม-ดี (chloroform- $D$ ) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร บรรจุในหลอด แล้ววิเคราะห์โดยใช้เครื่อง NMR ยี่ห้อ Bruker รุ่น Bruker/ASCEND 500 / AVANCE NEO เพื่อศึกษาโครงสร้างของคาเฟอีน คาเฟอีนมีสูตรโมเลกุล  $C_8H_{10}N_4O_2$  และมีโครงสร้าง ดังภาพที่ 2 ตามรายงานวิจัย (Pradeep et al., 2015) โดยขั้นตอนดังกล่าวใช้เพื่อยืนยันความบริสุทธิ์และโครงสร้างของสารด้วยวิธีทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพร่วมกับเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง ดังภาพที่ 3 วิธีการทดสอบความบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพและเครื่องมือขั้นสูง



ภาพที่ 2 โครงสร้างคาเฟอีน



ภาพที่ 3 วิธีการทดสอบความบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพ และเครื่องมือขั้นสูง

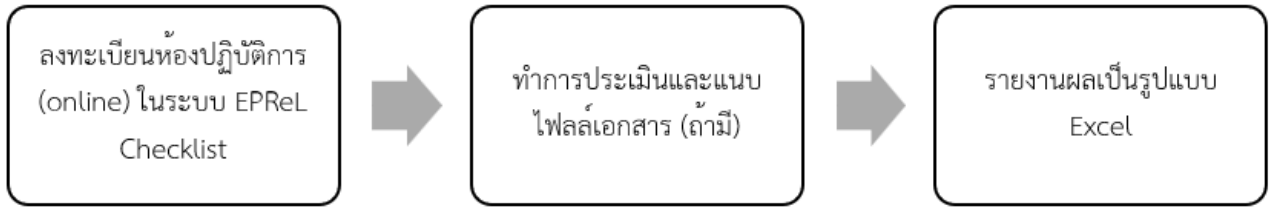
2) การประเมินการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย

ดำเนินการลงทะเบียนห้องปฏิบัติการเคมี 3 ศูนย์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ในระบบการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย (Enhancement of Safety Practice of Research Laboratory in Thailand; ESPReL) ภายใต้การกำกับดูแลของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) แบบออนไลน์ (การประเมินคะแนน

มาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย, 2558) จากนั้นทำการประเมินความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการตามเกณฑ์ ESPReL Checklist ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบการประเมินจำนวน 7 องค์ประกอบ ผู้วิจัยมุ่งเน้นการลดการเกิดของเสียในองค์ประกอบที่ 3 การจัดการของเสียในหัวข้อ 3.3 การลดการเกิดของเสีย ซึ่งประกอบด้วย การลดที่แหล่งกำเนิด (Source Reduction/Reduce) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) การนำกลับมาใช้ประโยชน์ (Recovery/Recycle) และการจัดการ

ก่อนทิ้ง (Pre-treatment/Treatment) โดยนำรายงานการนำสารทดแทนคาเฟอีนในใบชาใช้ทดแทนสารมาตรฐาน แนบประกอบการประเมินในระบบ ESPReL Checklist และสรุปผลการประเมินรายงานในรูปแบบ Excel แสดงผลเป็น

ร้อยละเปรียบเทียบกับการประเมินที่ยังไม่มีการลดการเกิดของเสียด้วยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ ดังภาพที่ 4 ขั้นตอนการการประเมินและยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการการประเมินและยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย

3) การลดต้นทุนรายวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ และรายวิชาปฏิบัติการสเปกโทรสโกปีสำหรับสารประกอบเคมีอินทรีย์และเคมีอินทรีย์

นำคาเฟอีนที่ได้จากการดำเนินการข้อ 1 มาใช้ทดแทนสารมาตรฐานคาเฟอีนในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์บทปฏิบัติการเรื่องการสกัดคาเฟอีนในใบชาแห้ง ตอนที่ทดสอบด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง และการใช้คาเฟอีนเตรียมเป็นตัวอย่างในศึกษาวิเคราะห์ ระบุคุณลักษณะของโครงสร้างสารด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี รายวิชาปฏิบัติการสเปกโทรสโกปีสำหรับสารประกอบเคมีอินทรีย์และเคมีอินทรีย์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารเคมีที่ใช้ปริมาณน้อยหน่วยมิลลิกรัม ทำให้สารสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด และยังช่วยลดภาระงบประมาณในการสั่งซื้อสารใหม่อันเนื่องมาจากสาร

หมดอายุก่อนการใช้งาน และลดขั้นตอนที่ยุ่งยากในการนำเข้าคาเฟอีนซึ่งเป็นสารควบคุม ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการนำผลิตภัณฑ์คาเฟอีนหรือสารสกัดหยาบจากการเรียนการสอนปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ทำให้บริษัทไปใช้ทดแทนคาเฟอีนมาตรฐาน

**ผลการศึกษา**

**การทำสารสกัดหยาบคาเฟอีนให้บริษัทมาใช้ทดแทนคาเฟอีนมาตรฐาน ดังนี้**

1) ผลการศึกษากระบวนการวิเคราะห์เลือกวิธีทำสารให้บริษัท โดยวิธีวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียระหว่างวิธีการตกผลึกใหม่ และการระเหิด พบว่า วิธีการระเหิดเป็นวิธีที่ดีในการทำสารให้บริษัท เนื่องจากมีต้นทุนน้อย ขั้นตอนการทดลองง่าย รวมถึงลดการสัมผัสสารเคมี ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียวิธีการทำสารสกัดหยาบให้บริษัท

| วิธีทำสารให้บริษัท | ข้อดี                            | ข้อเสีย   |
|--------------------|----------------------------------|---|
| การตกผลึกใหม่      | ได้สารบริสุทธิ์                  | ขั้นตอนการทดลองมากกว่า                          |
|                    |                                  | มีต้นทุนสารเคมี กระจาดฯกรอง ค่าไฟฟ้า และน้ำแข็ง |
| การระเหิด          | ได้สารบริสุทธิ์                  | ใช้อุปกรณ์เครื่องแก้วมาก                        |
|                    | ไม่มีมีต้นทุนสารเคมี กระจาดฯกรอง | มีต้นทุนค่าไฟฟ้า น้ำแข็ง                        |
|                    | ขั้นตอนการทดลองง่าย ไม่ยุ่งยาก   | ลดการสัมผัสสารเคมี                              |
|                    | ใช้อุปกรณ์เครื่องแก้วน้อย        |   |

ตารางที่ 2 ราคาต้นทุนสารเคมี และวัสดุวิธีทำสารให้บริสุทธิ์

| วิธีทำสารให้บริสุทธิ์ | ต้นทุนที่เกิดขึ้น                                 | ราคา/หน่วย | ความเป็นอันตราย |
|-----------------------|---|------------|-----------------|
| การตกผลึกใหม่         | ไดคลอโรมีเทน (มิลลิลิตร)                          | 0.30       |                 |
|                       | โซเดียมซัลเฟต แอนไฮดรัส (กรัม)                    | 0.63       |                 |
|                       | กระดาษกรอง ขนาด Ø 7.0 ซม. (แผ่น)                  | 9.65       |                 |
|                       | กระดาษกรอง ขนาด Ø 12.5 ซม. (แผ่น)                 | 4.45       |                 |
|                       | น้ำแข็ง (กิโลกรัม)                                | 7.00       |                 |
|                       | ค่าไฟฟ้า (หน่วย)                                  | 4.93       |                 |
| การระเหิด             | น้ำแข็ง (กิโลกรัม) ใช้ประมาณ 5 กิโลกรัม           | 7.00       |                 |
|                       | ค่าไฟฟ้า (หน่วย) ผู้วิจัยไม่ได้ตรวจวัดการใช้ไฟฟ้า | 4.93       |                 |

2) ผลจากการทดสอบความบริสุทธิ์ของสารด้วยวิธีทางกายภาพ

ผลการศึกษาการทดสอบทางกายภาพของคาเฟอีนที่ได้หลังการระเหิด และคาเฟอีนมาตรฐาน พบว่า คาเฟอีนที่ได้หลังจากการระเหิด มีร้อยละการได้กลับคืน 69.0 ลักษณะสารเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ดังภาพที่ 5 มีความสามารถในการละลายน้ำ ค่า pH เท่ากับ 5 และจุดหลอมเหลวของสารอยู่ในช่วง 237.5 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 3 การวัดจุดหลอมเหลว ซึ่งสอดคล้องกับคาเฟอีนมาตรฐานตามรายงาน

การวิจัยของ Pradeep ค่า pH และจุดหลอมเหลวเท่ากับ 5.5 - 6.5 และ 238.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Pradeep et al., 2015) ทั้งยังทดสอบด้วยเทคนิค TLC พบว่า สารสกัดหยาบของนักศึกษาที่ได้จากการเรียนปฏิบัติการเป็นสารไม่บริสุทธิ์เมื่อเปรียบเทียบกับคาเฟอีนมาตรฐาน ดังภาพที่ 6 โครมาโทแกรม A คาเฟอีนสกัดหยาบ (Crude) เปรียบเทียบกับคาเฟอีนมาตรฐาน (Std) และโครมาโทแกรม B คาเฟอีนที่ได้จากการระเหิด (Sample) เปรียบเทียบกับคาเฟอีนมาตรฐาน (Std) มีอัตราการเคลื่อนที่ของสาร ดังตารางที่ 4



ลักษณะของสารสกัดหยาบ



ลักษณะคาเฟอีนที่ได้จากการระเหิด

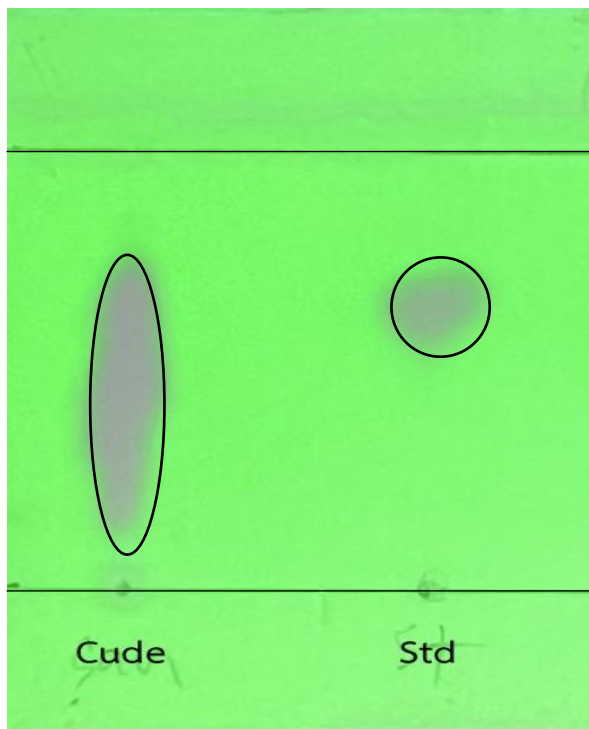
ภาพที่ 5 ลักษณะของสารสกัดหยาบและคาเฟอีนที่ได้จากการระเหิด

ตารางที่ 3 การวัดจุดหลอมเหลว

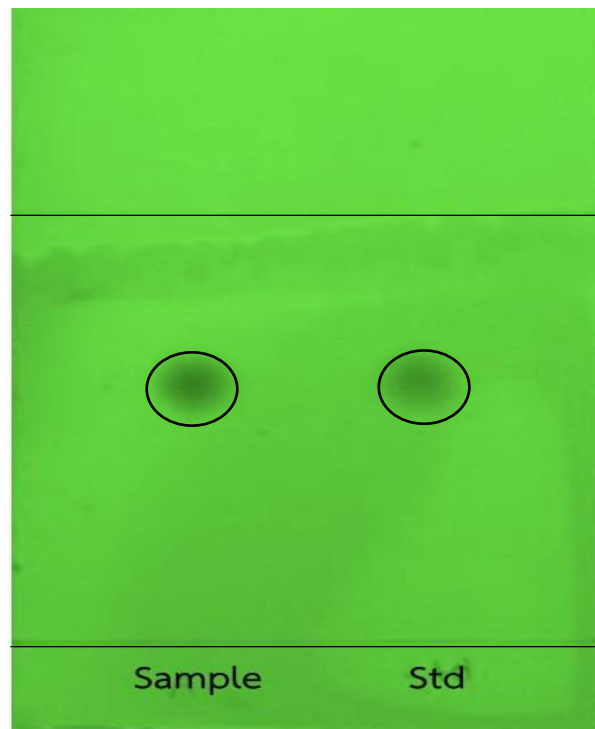
| การวัดจุดหลอมเหลว<br>(องศาเซลเซียส) | คาเฟอีนมาตรฐาน | สารสกัดหยาบ | คาเฟอีนที่ได้จากการระเหิด |
|-------------------------------------|----------------|-------------|---------------------------|
| ครั้งที่ 1                          | 235 - 239      | 230 - 239   | 235-239                   |
| ครั้งที่ 2                          | 236 - 239      | 232 - 239   | 236-239                   |
| ครั้งที่ 3                          | 236 - 239      | 230 - 239   | 236-240                   |
| ค่าเฉลี่ย                           | 237.3          | 234.6       | 237.5                     |
| ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน             | 0.29           | 0.58        | 0.50                      |

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาการวิธีทดสอบทางกายภาพระหว่างคาเฟอีนที่ได้และคาเฟอีนมาตรฐาน

| วิธีการทดสอบ  | คาเฟอีนมาตรฐาน | สารสกัดหยาบ                                    | คาเฟอีนที่ได้จากการระเหิด                                   |
|---|----------------|--|---|
| ลักษณะของผลึก   | ของแข็งสีขาว   | สีขาวปนเขียว                                   | ของแข็งสีขาว  |
| การละลายน้ำ   | ละลายน้ำ       | ละลายน้ำ                                       | ละลายน้ำ  |
| ค่าพีเอช  | 5              | 5  | 5   |
| โครมาโทกราฟีผิวบาง TLC<br>(Retardation Factor : $R_f$ ) | -              | $R_{f (std)} = 0.63$<br>$R_{f (crude)} = 0.50$ | $R_{f (std)} = 0.64$<br>$R_{f (ที่ได้จากการระเหิด)} = 0.64$ |



โครมาโทแกรม A



โครมาโทแกรม B

ภาพที่ 6 ลักษณะโครมาโทแกรม A และโครมาโทแกรม B

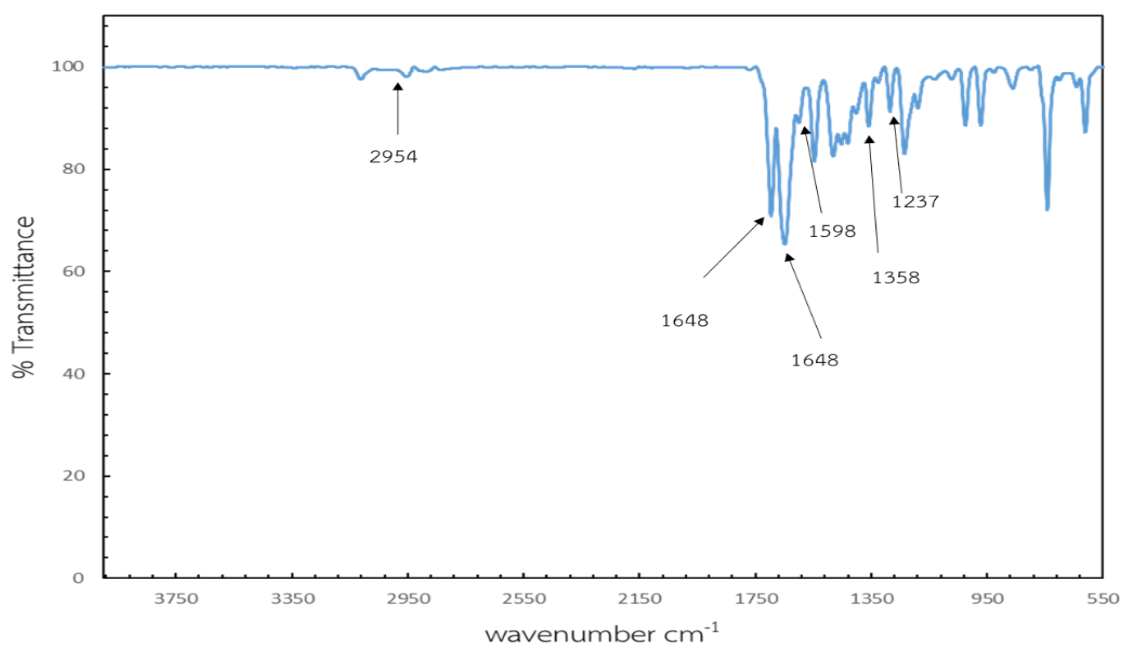
### 3) ผลการศึกษาคุณลักษณะของคาเฟอีน

(1) ศึกษาหมู่ฟังก์ชันองค์ประกอบของคาเฟอีนที่ได้หลังการระเหิดเปรียบเทียบกับคาเฟอีนมาตรฐานด้วยเทคนิค FTIR ดังภาพที่ 7 คาเฟอีนที่ได้จากสารสกัดหยาบ (ตัวอย่าง) สเปกตรัมฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของคาเฟอีน (ตัวอย่าง) พบแถบดูดกลืนที่  $\sim 1,695, 1,648 \text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของหมู่คาร์บอนิล ( $\text{C} = \text{O}$ ) จำนวนสองตำแหน่ง และพบแถบดูดกลืนที่  $1,598 \text{ cm}^{-1}$  อันเนื่องมาจากการสั่นของพันธะ  $\text{C} = \text{N}$  ในวงแหวน Heterocycle และแถบดูดกลืนที่  $1,358 \text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของพันธะ  $\text{C}-\text{N}$  ของหมู่เมทิล ( $\text{N}-\text{CH}_3$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมกับคาเฟอีนมาตรฐาน ปรากฏแถบดูดกลืนสอดคล้องกับแถบดูดกลืนของตัวอย่างและสอดคล้องกับรายงานผลวิจัย (Paston et al., 2015) รวมถึง

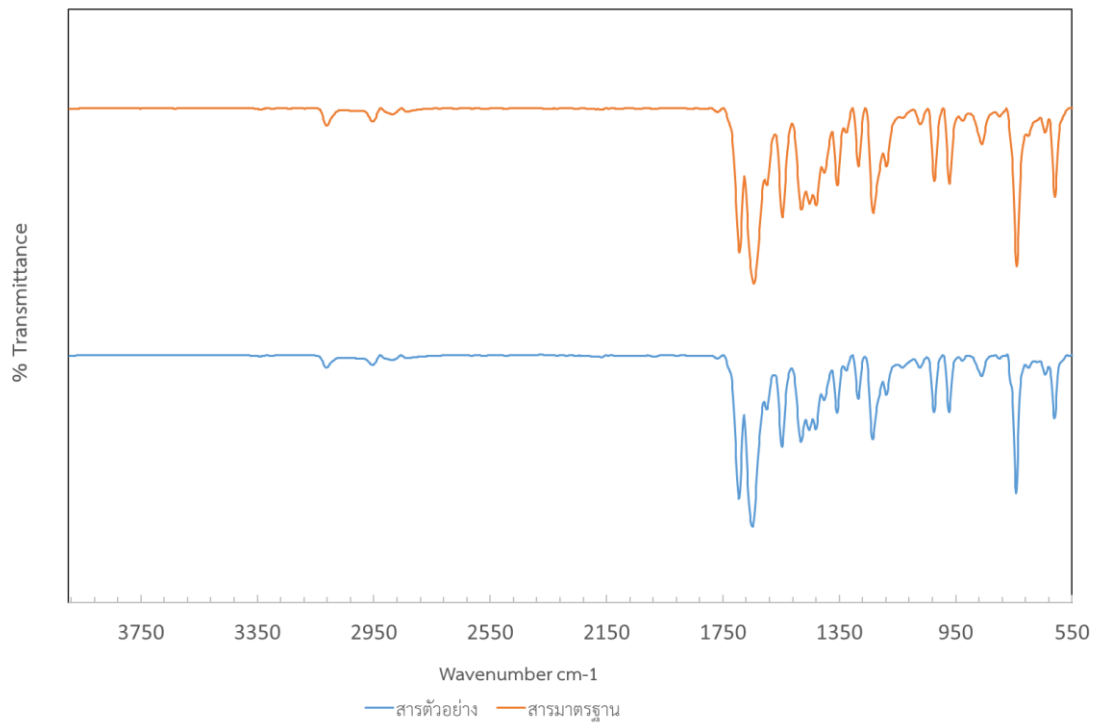
มีค่าสอดคล้องกับรายงานผลของ Pradeep (Pradeep et al., 2015) ดังตารางที่ 5 การระบุฟังก์ชันเอกลักษณ์ลักษณะเฉพาะของคาเฟอีนตัวอย่าง สารมาตรฐาน และสารมาตรฐานงานวิจัย รวมถึงการใช้คำสั่ง Quick Compare ในโปรแกรม OPUS Version 7 เพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งและลักษณะของพีคในสเปกตรัมของตัวอย่างคาเฟอีนหลังการระเหิดกับคาเฟอีนมาตรฐานจะช่วยยืนยันความบริสุทธิ์และความถูกต้องของโครงสร้างทางเคมีได้ โดยตั้งค่าขีดจำกัดขั้นต่ำที่ตั้งไว้เพื่อยอมรับผลว่า “ตรงกัน” (Threshold) ที่ร้อยละ 95.00 ซึ่งผลของ Quick Compare ได้ร้อยละ 97.5 หมายถึงสเปกตรัมสารคาเฟอีนหลังการระเหิดผ่านเกณฑ์ และมีความสอดคล้องกับสารมาตรฐานในระดับสูงมาก ดังภาพที่ 8

ตารางที่ 5 การระบุฟังก์ชันเอกลักษณ์ลักษณะเฉพาะของคาเฟอีนตัวอย่าง สารมาตรฐาน และสารมาตรฐานงานวิจัย

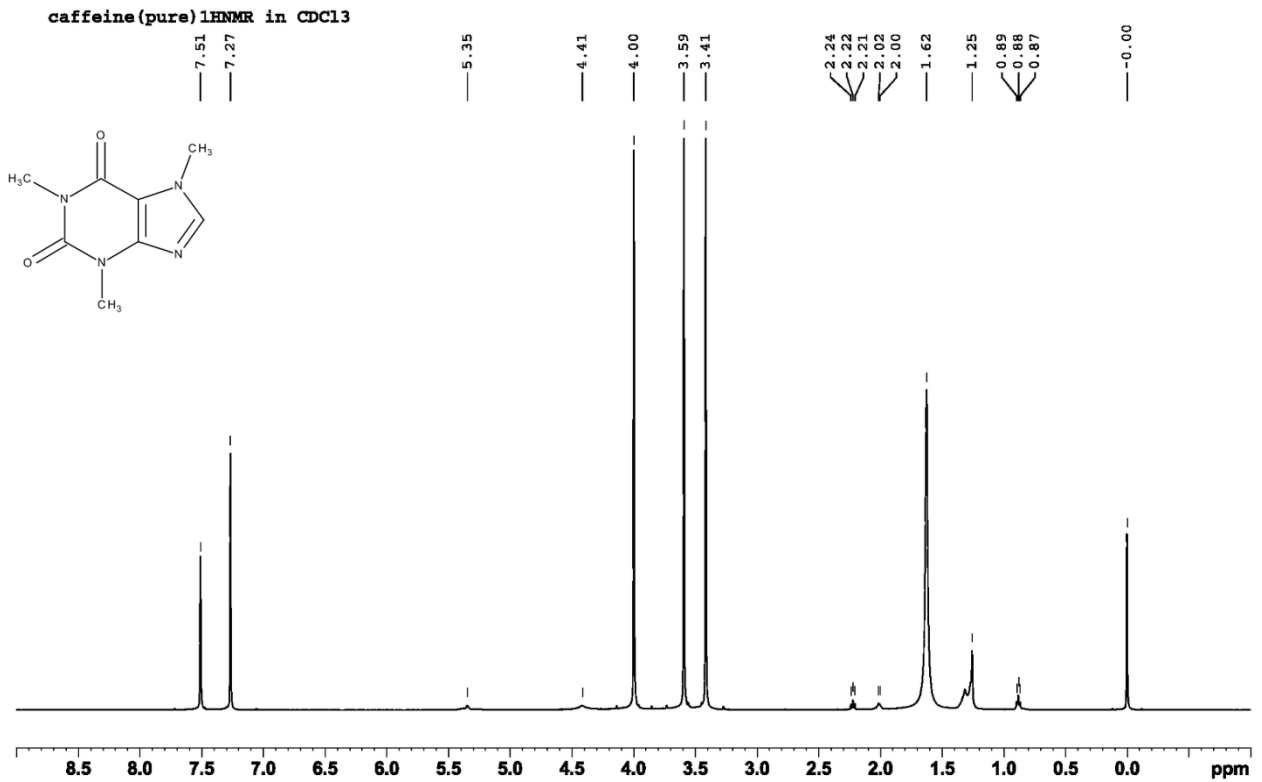
| ลำดับ | โครงสร้าง | สารมาตรฐาน | ตัวอย่าง | สารมาตรฐานงานวิจัย |
|-------|-----------|------------|----------|--------------------|
| 1     | C-H       | 2953.34    | 2953.97  | 2955.33            |
| 2     | C=O       | 1692.82    | 1694.37  | 1701.30            |
| 3     | C=N       | 1643.85    | 1648.05  | 1660.77            |
| 4     | C=C       | 1546.13    | 1547.07  | 1550.03            |
| 5     | C-N       | 1233.96    | 1236.92  | 1239.95            |



ภาพที่ 7 สเปกตรัมฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของคาเฟอีน (ตัวอย่าง)



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมคาเฟอีน (ตัวอย่าง) และสารมาตรฐาน



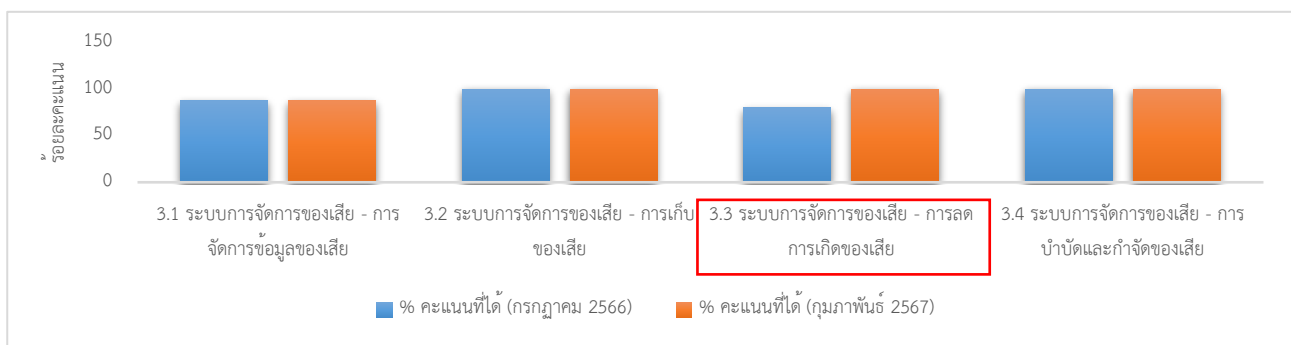
ภาพที่ 9 สเปกตรัม NMR ของคาเฟอีนที่ได้หลังการระเหิด

(2) ศึกษาหมู่ฟังก์ชันองค์ประกอบของคาเฟอีนที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิค  $^1\text{H}$  NMR ดังภาพที่ 9 สเปกตรัม NMR ของคาเฟอีนที่ได้หลังระเหิด พบสัญญาณ Singlet จำนวน 4 สัญญาณ โดยสัญญาณที่  $\delta$  3.41 ppm (3H, s), 3.59 ppm (3H, s) และ 4.00 ppm (3H, s) เป็นโปรตอนของหมู่  $\text{N}-\text{CH}_3$  จำนวน 3 กลุ่ม และสัญญาณที่  $\delta$  7.51 ppm (1H, s) เป็นโปรตอน H-8 บนวงแหวน Xanthine ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างของคาเฟอีนรายงานวิจัยของ Macduff (Macduff O. et al. 2013) และไม่พบสัญญาณเพิ่มเติมที่บ่งชี้ถึงสารตั้งต้นหรือสารพลอยได้ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสารคาเฟอีนที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างถูกต้องและมีความบริสุทธิ์ในระดับสูง

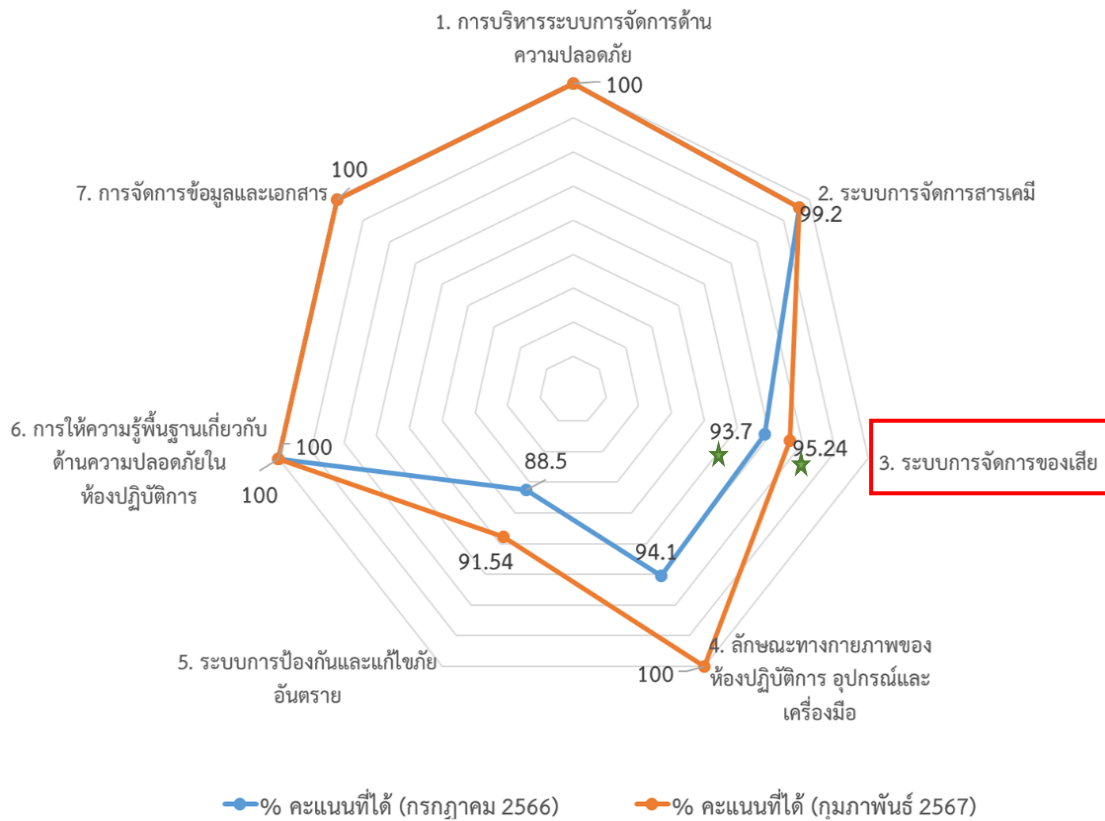
### ผลประเมินการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย

จากการประเมินการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยวิจัยในประเทศไทยของห้องปฏิบัติการเคมี 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ตามระบบ ESPReL พบว่า เมื่อดำเนินการประเมินตาม ESPReL Checklist ในองค์ประกอบที่ 3 ด้านการจัดการของเสีย ผลคะแนน ESPReL การจัดการของเสียแยกตามหัวข้อ เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 พบว่า การลดการเกิดของเสียหลังจากการได้ดำเนินการ

การนำสารคาเฟอีนที่ได้จากการระเหิดน้ำกลับมาใช้ในการเรียนการสอนปฏิบัติการ พบว่า เดือนกุมภาพันธ์ 2567 ได้คะแนนร้อยละ 100 จากเดิมก่อนดำเนินการเดือนกรกฎาคม 2566 ได้คะแนนร้อยละ 80 ดังภาพที่ 10 เปรียบเทียบร้อยละคะแนนประเมิน ESPReL แยกตามองค์ประกอบเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2566 และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 ซึ่งหมายความว่าจัดการของเสียในหัวข้อที่ 3.3 การลดการเกิดของเสียได้ดำเนินการลดการเกิดของเสียครบทุกวิธี ส่งผลให้รายงานความก้าวหน้า เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 มีคะแนนร้อยละ 95.25 เมื่อเทียบกับรายงานความก้าวหน้าเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 ร้อยละ 93.70 ที่ยังไม่มีการลดการเกิดของเสียด้วยวิธีการนำคาเฟอีนกลับมาใช้ใหม่ ส่งผลให้คะแนนการประเมินเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.54 ดังภาพที่ 11 กราฟเรดาร์ (Radar Chart) เปรียบเทียบร้อยละคะแนนการประเมิน ESPReL ทั้ง 7 องค์ประกอบระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 ทั้งนี้ห้องปฏิบัติการเคมี 3 เลขทะเบียนห้องปฏิบัติการ 2-0220-0009-9 ได้รับคัดเลือกเข้าร่วมโครงการมหาวิทยาลัยแม่ข่ายด้านมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ ปี 2566: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ และได้ผ่านการประเมินเป็นห้องพัฒนาจากมหาวิทยาลัยแม่ข่ายด้านมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบร้อยละคะแนนประเมิน ESPReL การจัดการของเสียแยกตามหัวข้อเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2566 และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบร้อยละคะแนนประเมิน ESPReL ทั้ง 7 องค์ประกอบระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2566 และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567

**ผลจากการคิดต้นทุนค่าวัสดุอุปกรณ์สิ้นเปลือง**

การนำสารคาเฟอีนที่ได้จากกระบวนการระเหิดกลับมาใช้ทดแทนสารคาเฟอีนมาตรฐานในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ และรายวิชาปฏิบัติการสเปกโทรสโกปีสำหรับสารประกอบเคมีอินทรีย์และเคมีอนินทรีย์ สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการจัดการเรียนการสอน ทั้งในด้านการสาธิตหลักการ เทคนิค การวิเคราะห์ และการแปลผลสเปกตรัม ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนคาเฟอีนมาตรฐานได้ คิดเป็นร้อยละ 100 เนื่องจากระเหิดคาเฟอีนได้ 4.90 กรัมต่อปีการศึกษา จึงสามารถใช้สารที่ได้จากกระบวนการระเหิดหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด ซึ่งรายวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ใช้คาเฟอีนในการเรียนการสอน 0.96 กรัมต่อปีการศึกษา และรายวิชาปฏิบัติการสเปกโทรสโกปีสำหรับสารประกอบเคมีอินทรีย์และเคมีอนินทรีย์ประมาณ 1.00 กรัมต่อปีการศึกษา หากคิดเป็นจำนวนเงินอาจจะน้อยเนื่องจาก 1.00 กรัม เท่ากับ 7.34 บาท แต่ห้องปฏิบัติการไม่สามารถจัดซื้อสารในปริมาณน้อยได้ต้อง

ซื้อในขนาด 100 กรัม และปัจจุบันราคาคาเฟอีนต่อกรัม 66.13 บาท (ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็มแอนด์พี อิมเป็กซ์, 2569) ดังนั้นอาจเกิดของเสียจากสารหมดอายุจากการใช้งานขึ้น ทั้งนี้เพื่อช่วยลดปริมาณของเสียจากสารเคมีที่หมดอายุก่อนการ ใช้งานประมาณ 5 ปี (ขึ้นอยู่กับการใช้และการเก็บรักษา) ซึ่งเป็นปัญหาที่พบบ่อยในห้องปฏิบัติการการ อันนำไปสู่การลดภาระด้านงบประมาณ และการจัดการของเสียอันตราย ยังรวมถึงช่วยในด้านการบริหารจัดการ การใช้คาเฟอีนที่เตรียมได้เองภายในหน่วยงานยังช่วยลดความยุ่งยากในกระบวนการจัดซื้อสารเคมีใหม่ ซึ่งคาเฟอีนเป็นสารควบคุมที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลตามกฎหมายของประเทศไทยหลายฉบับ ทั้งในบริบทของการผลิตยา อาหาร และการนำเข้า - ส่งออก เนื่องจากมีความเสี่ยงต่อการนำไปใช้ในทางที่ผิด โดยเฉพาะการเป็นสารตั้งต้นหรือสารช่วยในกระบวนการผลิตยาเสพติด การจัดหาจึงต้องขออนุญาตจากกรมการค้าต่างประเทศ และได้รับการรับรองจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2548) และปัจจุบัน

คาเฟอีนยี่ห้อ Fluga ที่ราคาถูกได้เลิกจำหน่ายแล้ว ดังตารางที่ 6 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการนำผลิตภัณฑ์คาเฟอีน

หรือสารสกัดหายากจากการเรียนการสอนปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ทำให้บริษัทไปใช้ทดแทนคาเฟอีนมาตรฐาน

**ตารางที่ 6** การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการนำผลิตภัณฑ์คาเฟอีนหรือสารสกัดหายากจากการเรียนการสอนปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ทำให้บริษัทไปใช้ทดแทนสารคาเฟอีนมาตรฐาน

| คาเฟอีน                 | ข้อดี                             | ข้อเสีย  |
|-------------------------|-----------------------------------|--|
| คาเฟอีนมาตรฐาน          | มีความบริสุทธิ์                   | สารเคมีหมดอายุก่อนการใช้งานเนื่องจากมีการใช้ในการเรียนการสอนปริมาณน้อย |
|                         |                                   | การนำเข้าสารเคมียุ่งยาก เนื่องจากเป็นสารควบคุม                         |
|                         |                                   | มีต้นทุนการกำจัดของเสีย  |
|                         |                                   | มีภาระด้านงบประมาณ   |
| คาเฟอีนที่ได้หลังระเหิด | มีความบริสุทธิ์                   | เพิ่มพื้นที่การจัดเก็บของเสีย  |
|                         |                                   | มีต้นทุนขั้นตอนการระเหิด   |
|                         |                                   | ลดการหมดอายุสารก่อนการใช้งาน 5 ปี                                      |
|                         |                                   | ลดการนำเข้าสารที่ยุ่งยากเนื่องจากเป็นสารควบคุม                         |
|                         |                                   | ไม่มีภาระด้านงบประมาณ  |
|                         |                                   | ลดพื้นที่การจัดเก็บของเสีย   |
|                         | ไม่มีต้นทุนการกำจัดของเสีย        |  |
|                         | นำของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ |  |

### สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

สารสกัดหายากที่เหลือทิ้งจากการเรียนการสอนปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ในหัวข้อการสกัดคาเฟอีนจากชาดำสามารถนำมาใช้ทดแทนสารมาตรฐานได้ โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อดีและข้อจำกัด เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจเลือกวิธีการทำให้สารบริสุทธิ์ ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าวิธีการระเหิดเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีขั้นตอนการทดลองไม่ซับซ้อน ใช้ต้นทุนต่ำ และช่วยลดการใช้รวมถึงการสัมผัสสารเคมีของผู้ปฏิบัติงาน คาเฟอีนที่ได้จากกระบวนการระเหิดมีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น คัดร้อยละการได้กลับคืนเท่ากับ 69.0 สาเหตุที่ร้อยละการกลับคืนไม่ถึง 100 อาจเป็นเพราะการสูญเสียทางกายภาพ เนื่องจากสารบางส่วนเกาะติดผิวภาชนะ หรือพื้นผิวควบคุมแน่น การดูดซับผลึกไม่หมด การถ่ายโอนตัวอย่างระหว่างขั้นตอนทำให้สูญเสียเชิงกลในระดับจุลภาค โมเลกุลที่ระเหิดเกิดควบคุมแน่นเป็นฟิล์มบาง ๆ แทน

การก่อตัวเป็นผลึกที่เก็บได้ง่าย ทำให้เก็บกลับได้ไม่หมด การสูญเสียจากสมดุลไอ - ของแข็ง การระเหิดเป็นกระบวนการสมดุลของ Solid  $\rightleftharpoons$  Vapor ตามหลักอุณหพลศาสตร์ ความดันไอของที่อุณหภูมิที่ใช้จะกำหนดปริมาณที่อยู่ในสถานะไอ หากระบบไม่ปิดสนิท หรือมีการไหลของแก๊สพาออก จะทำให้โมเลกุลบางส่วนหลุดออกจากระบบ แล้วทำให้อัตราการกลับคืนลดลง ความเป็นไปได้ของการสูญเสียระหว่างกระบวนการ การควบคุมแน่นในตำแหน่งที่ไม่ต้องการ หากมี Temperature Gradient ไม่เหมาะสม ไออาจควบคุมแน่นบริเวณที่ไม่ใช่จุดเก็บหลัก การสูญเสียจากการระเหิดต่อเนื่อง ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปเวลาทำนานเกินไปสารที่ควบคุมแน่นแล้วอาจจะระเหิดซ้ำและสูญเสียออกจากระบบ และความเสี่ยงของ Thermal Degradation ที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลอาจเกิด Bond Cleavage เช่น C-N, C-O แตกตัวหรือการ Rearrangement อาจเกิดขึ้นเมื่อได้รับพลังงานความร้อนสูงเพียงพอ ส่งผลให้

มวลสารลดลง หรือเกิดผลิตภัณฑ์สลายตัวที่ไม่สามารถระเหิดได้ ซึ่งทำให้ร้อยละการกลับคืนลดลง นอกจากนี้หากมีออกซิเจนในระบบอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ยังเพิ่มการสูญเสีย รวมถึงยังมีสิ่งเจือปน (Impurities) สารที่ไม่ระเหิดจะคงค้างอยู่ในสารตั้งต้น ขณะที่สารที่มีความดันไอใกล้เคียงกัน อาจเกิด Co-sublimation และระเหิดไปพร้อมกันได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ยังมีสิ่งเจือปนหลงเหลือ แม้กระบวนการระเหิดโดยทั่วไปถือเป็นวิธีทำให้บริสุทธิ์ที่มีประสิทธิภาพ

การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าคาเฟอีนที่ได้หลังระเหิดสามารถละลายน้ำได้ มีค่า pH เท่ากับ 5 และมีช่วงจุดหลอมเหลว 237.5 องศาเซลเซียส ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.50 ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของคาเฟอีนที่รายงานไว้ในงานวิจัยของ Pradeep (Pradeep et al., 2015) รวมถึงมีการทดสอบโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง มีอัตราการเคลื่อนที่ของสารสอดคล้องกับคาเฟอีนมาตรฐาน และการยืนยันโครงสร้างหมู่ฟังก์ชันเอกลักษณ์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบแถบการดูดกลืนที่ประมาณ 1,695 และ 1,648  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งสอดคล้องกับการสั่นของหมู่คาร์บอนิล ( $\text{C}=\text{O}$ ) จำนวนสองตำแหน่ง นอกจากนี้ยังพบแถบที่ 1,598  $\text{cm}^{-1}$  อันเนื่องมาจากการสั่นของพันธะ  $\text{C}=\text{N}$  ในวงแหวนเฮเทอโรไซคลิก และแถบที่ 1,358  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ  $\text{C}-\text{N}$  ของหมู่เมทิล ( $\text{N}-\text{CH}_3$ ) ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสอดคล้องกับโครงสร้างของคาเฟอีนตามรายงานของ (Paston et al., 2015) รวมถึงมีค่าสอดคล้องกับรายงานผลของ Pradeep (Pradeep et al., 2015) ทั้งนี้ยังวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ เพื่อระบุตำแหน่งของโปรตอนจากสเปกตรัม  $^1\text{H}$  NMR พบสัญญาณแบบซิงเกิล จำนวน 4 สัญญาณ โดยสัญญาณที่  $\delta$  3.41 ppm (3H, s), 3.59 ppm (3H, s) และ 4.00 ppm (3H, s) เป็นโปรตอนของหมู่  $\text{N}-\text{CH}_3$  จำนวนสามกลุ่ม และสัญญาณที่  $\delta$  7.51 ppm (1H, s) เป็นโปรตอน H-8 บนวงแหวน แซนทีน ซึ่งสเปกตรัมที่ได้มีความสอดคล้องกับลักษณะโครงสร้างของสารคาเฟอีนมาตรฐานตามรายงานวิจัยของ Macduff (Okuom et al., 2013) แสดงให้เห็นว่าสารที่ได้หลังการระเหิดมีความแม่นยำและความเที่ยงตรงสูงสามารถนำไปใช้ทดแทนสารมาตรฐานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการจัดการเรียนการสอน เทคนิคการวิเคราะห์ และการแปลผลสเปกตรัม ส่งผลให้

สามารถลดต้นทุนสารเคมีคาเฟอีนได้ คิดเป็นร้อยละ 100 เนื่องจากสามารถใช้สารที่ได้จากกระบวนการระเหิดหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ ของเสียจากสารเคมีทั้งหมดอายุก่อนการใช้งาน ที่พบบ่อในห้องปฏิบัติการ ลดการจัดสรรงบประมาณดำเนินการจัดซื้อคาเฟอีน และการจัดการของเสียอันตราย ซึ่งสามารถใช้คาเฟอีนที่เตรียมได้เองภายในหน่วยงาน ทั้งยังช่วยลดความยุ่งยากในกระบวนการจัดซื้อสารเคมีใหม่ เนื่องจากคาเฟอีนหรือเมทิลทีโอโบรมีน เป็นโคกัณฑ์และสินค้าควบคุมที่สำคัญในประเทศไทย ภายใต้ พ.ร.บ. ควบคุมโคกัณฑ์ พ.ศ. 2495 และ พ.ร.บ. อาหาร พ.ศ. 2510 การนำเข้า ส่งออก หรือมีไว้ในครอบครองในปริมาณมากต้องขออนุญาตจากกรมการค้าต่างประเทศและอย. เนื่องจากอาจนำไปใช้ในทางที่ผิดหรือผลิตยาเสพติดได้ตามกองควบคุมวัตถุเสพติด (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2548)

แนวทางดังกล่าวยังช่วยเพิ่มร้อยละคะแนนการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย ของห้องปฏิบัติการเคมี 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ตามระบบ ESPReL ในองค์ประกอบที่ 3 ด้านการจัดการของเสียเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.54 รวมถึงช่วยลดปริมาณการเกิดของเสียและส่งเสริมการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ แนวทางนี้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 12 ว่าด้วยการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน (SDG 12) โดยมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การลดการเกิดของเสีย และการขับเคลื่อนสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ทั้งยังสอดคล้องกับ Green Chemistry ว่าด้วยข้อ 1 ป้องกันการเกิดของเสีย และข้อ 7 ใช้สารหรือวัตถุดิบที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ตามรายงานวิจัย (ณัฐคุณิน ศุภเมธานนท์ และคณะ, 2559)

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ภูวดล บางรักษ์ ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.พิจักษ์ สัมพันธ์ รองผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความเห็นข้อเสนอแนะ สนับสนุน ปรึกษาวิจารณ์เกี่ยวกับการพัฒนาด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการเล็งเห็นถึง

ความปลอดภัยแก่บุคลากร นักวิจัย รวมถึงนักศึกษา ทั้งยังได้รับการสนับสนุนการใช้วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี ครุภัณฑ์ เครื่องมือการวิเคราะห์ทดสอบจากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และขอขอบคุณอาจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ โสสะ อาจารย์สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ที่ช่วยอ่านและแนะนำการเขียนบทความครั้งนี้

### การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Generative AI) ในงานเขียนเชิงวิชาการ

ต้นฉบับบทความนี้ ผู้เขียนใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ (Generative AI) เพื่อช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องของภาษา การเรียบเรียงภาษา ทั้งนี้อยู่ภายใต้การกำกับดูแลและการควบคุมของเจ้าของผลงาน ซึ่งผู้เขียนยังคงมีความรับผิดชอบอย่างเต็มที่ต่อเนื้อหาทั้งหมด โดยบทนำ วิธีการศึกษา ผลการศึกษา การสรุปและการอภิปรายผล การศึกษาที่ปรากฏในบทความนี้ไม่ได้ระบุให้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์เป็นผู้เขียนหรือเป็นผู้เขียนร่วมแต่อย่างใด

### คำชี้แจงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

**รัตนา แซ่ไฉ่ว:** รับผิดชอบการวางแผนวิสัยทัศน์ รูปแบบวิธีการศึกษา ดำเนินการวิจัย เก็บข้อมูลวิเคราะห์สังเคราะห์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ สรุปและอภิปรายผล การศึกษา การตรวจสอบความถูกต้องและการทบทวนและแก้ไขต้นฉบับ **ยุพเรศ พลวัฒน์:** รับผิดชอบการอ่านและทวนสอบเรียบเรียงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูงและแก้ไขต้นฉบับ

### เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ผู้ประสานรายวิชา สาขาเคมี สำนักวิชาวิทยาศาสตร์. (2553). *คู่มือปฏิบัติการเคมีอินทรีย์*. นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย. (2558). *การประเมินคะแนนมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย (ESPrEL Checklist)*. สืบค้นจาก <https://labsafety.nrct.go.th>

โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย. (2555). *แนวปฏิบัติเพื่อความ*

*ปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย. (2558). *คู่มือการประเมินความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติมครั้งที่ 2)*. กรุงเทพฯ: โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย.

ณัฐกรณ์ ศุภเมธานนท์, พิมพ์พา สร้อยสูงเนิน, สิริรัตน์ ลิคนันท์, ณัชชา พันธมา, ปณิตดา เพชรล้วน, สุดา รัตน์ สมบัติศรี, พิมณิจภา กันทาตง, ชัยยศ จันทร์แก้ว และ อาทิตย์ อัสวสุชี. (2559). เคมีสีเขียว Green chemistry. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 18(3), 1-15.

น้ำทิพย์ ปาลี. (2563). *ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อความเสี่ยงในการบริโภคคาเฟอีน (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท)*. เพาะยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.

ประพันธ์ แจ่มศิริพรหม, พัทธนันท์ ศรีสิทธิ์ และ อธิภัทร ฮอพานิชวัฒน์. (2563). *การบริโภคเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีนกับคุณภาพการนอนในนิสิตเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา พ.ศ.2563 (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท)*. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

พชณี สุวรรณวิศลกิจ. (2542). กาแฟสกัดคาเฟอีน. *วารสารเกษตรศาสตร์*, 5(1), 1-10.

มานะ สิริวงษานนท์. (2566). การศึกษากับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDG). *วารสารมติเชษฐาราม*, 5(6), 528-544.

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2564). *การจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ*. สืบค้นจาก [https://cse.wu.ac.th/wp-content/uploads/2021/06/lab\\_safety\\_user\\_manual\\_th\\_2564.pdf](https://cse.wu.ac.th/wp-content/uploads/2021/06/lab_safety_user_manual_th_2564.pdf)

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2548). *กองควบคุมวัตถุเสพติด*. สืบค้นจาก <https://narcotic.fda.moph.go.th/precursors-and-chemicals/%20caffeine-1>

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2565). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ*

- ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2564 - 2567). กรุงเทพฯ  
สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.  
สุธีรา ธรรมจง. (2562). การบริโภคเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของ  
คาเฟอีนกับคุณภาพการนอนในนิสิตเภสัชศาสตร์  
มหาวิทยาลัยบูรพา พ.ศ.2563 (วิทยานิพนธ์  
ปริญญาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.  
ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็มแอนด์พี อิมเป็กซ์. (2569). ราคา  
คาเฟอีน 100 กรัม ยี่ห้อ Loba. สืบค้นจาก  
<https://www.mpimpex.co.th/product/caffeine-anhydrous-ar>
- Khanachang, S. (2024). *Decision making Chea sheet*.  
Brightside. Retrieved from  
<https://brightsidepeople.com/12-เครื่องมือช่วยตัดสินใจ>
- Okuom, M. O., Wilson, M. V., Jackson, A., & Holmes, A. E. (2013). Intermolecular interactions between Eosin Y and caffeine using  $^1\text{H-NMR}$  spectroscopy. *Journal of Spectroscopy*, 2013, 245376.
- Paradkar, M. M., & Irudayaraj, J. (2002). Rapid determination of caffeine content in soft drinks using FTIR-ATR spectroscopy. *Journal Food Chemistry*, 78(2), 261-266.
- Pradeep, S., Rameshaiah, G. N., & Ashoka H. (2015). Caffeine extraction and characterization. *International Journal of Current Research and Review*, 7(9), 16-19.
- Paston, S. V., Polyanichko, A. M., & Shulenina, O. V. (2017). 16.03.2017 Acknowledging publications. *Journal of Structural Chemistry*, 58(2), 399-405.