



วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

BULLETIN OF APPLIED SCIENCES

ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566
Vol. 12 No. 1 January – June 2023

ISSN 2822-1532 (Print)
ISSN 2822-1540 (Online)





วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
BULLETIN OF APPLIED SCIENCES

ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม- มิถุนายน 2566

Vol. 12 No. 1 January – June 2023

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Bulletin of Applied Sciences

ISSN 2822-1532 (Print)

ISSN 2822-1540 (Online)

ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม- มิถุนายน 2566, Vol. 12 No. 1 January – June 2023

ชื่อวารสาร

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ Bulletin of Applied Sciences

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย ของนักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ให้เป็นที่ประจักษ์แก่ภาครัฐ ภาคเอกชน นักวิชาการ ผู้ประกอบการและประชาชนทั่วไป
2. เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในทางวิชาการ การอ้างอิง และการประกอบกิจการภาคการผลิตและอุตสาหกรรม

เจ้าของ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

นโยบายการจัดพิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ รับผิดชอบต่อความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทัศน์ จากผู้เขียนทั้งภายในและภายนอกหน่วยงานในสาขาเคมี ฟิสิกส์ เทคโนโลยีชีวภาพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร วัสดุศาสตร์ มาตรวิทยา วิศวกรรมศาสตร์ หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์

ที่ปรึกษา

ดร.นพ. ปฐม สวรรค์ปัญญาเลิศ อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ดร.อรสา อ่อนจันทร์ นักวิทยาศาสตร์เชี่ยวชาญ รักษาการในตำแหน่ง
ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านวิเคราะห์ทดสอบ
(นักวิทยาศาสตร์ทรงคุณวุฒิ)

บรรณาธิการจัดการ

นางสาวปัทมา นพรัตน์ ผู้อำนวยการกองหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร. ดวงดาว อัจฉรงค์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร. กรรณิการ์ สหกะโร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ.ดร. จริญญา จักรมณี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. ธีร เชาวนันทปัญญา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร. นภาพร ยังวิเศษ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร. นเรศ เชื้อสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร. พิมพ์า หอมนิรันดร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร. ภัทรินฤณ วรจิตติพล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. วิภารัตน์ เชื้อชวด ชัยสิทธิ์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รศ.ดร. วิษณุ เพชรภา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร. วิณา สาริตปัติพันธ์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.ดร. อติธยา ศิริปัญญาพันธ์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.ดร. อรทัย จงประทีป	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ภญ.ดร. จิตติมา ลัดนากุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร. ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. เทอดเกียรติ ลิ้มปีทีปการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร. ปริญญา เพ็ญโรจน์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผศ.ดร. พิระวัฒน์ นันทวรวงค์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร. พุทธรักษา วรานุสฎากุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร. ยาวภา หล่อเจริญผล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร. รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ. สมพร ชัยอารีย์กิจ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดร. นงนภัส ดวงดี
ดร. นุชนาฏ ธาระนอง
ดร. ประสาร คิตติ
ดร. มาณพ สิทธิเดช

ดร. ลดา พันธุ์สุขุมธนา
ดร. วราวุฒิ ศุภมิตร์มงคล
ดร. สัมพันธ์ ยอดมณี
ดร. อองอาจ ธเนศนิตย์
นายวีระ ตูลาสสมบัติ
ดร. กนิษฐ์ ตะปะสา
ดร. จิราภรณ์ บุราคร
ดร. กรธรรม สติกรกุล

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
นักวิชาการอิสระ
กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน
อดีตอัครราชทูตที่ปรึกษาฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงบรัสเซลส์
ประเทศเบลเยียม
นักวิชาการอิสระ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นักวิชาการอิสระ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ฝ่ายจัดการและเลขานุการ หัวหน้ากลุ่มหอสมุดวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฝ่ายประสานงาน นางสาวอุดมลักษณ์ เวียนงาม
นางสาวจอย ผิวสะอาด
นางสาวทิพย์วาทิ กรรัมย์

ฝ่ายเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ นางสาวพรทิพย์ เส้นสด

เว็บไซต์วารสาร นางสาวพรชชล รัตนปาณี

การจัดพิมพ์และเผยแพร่ จัดพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ กำหนดออกเผยแพร่เดือน มกราคม - มิถุนายน และ
กรกฎาคม - ธันวาคม

จำนวนพิมพ์ 100 เล่ม

สำนักงานวารสาร

กองหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
75/7 ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2201 7000 ต่อ 7260, 7288
เว็บไซต์ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/BAS>
e-mail: bas@dss.go.th
Facebook: www.facebook.com/ScienceLibraryDSS

ISSN 2822-1532 (Print)

ISSN 2822-1540 (Online)

บทความใน “วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ” ถือเป็นผลงานทางวิชาการ และเป็นความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่ใช่ความเห็นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือกองบรรณาธิการ ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน และบทความที่ตีพิมพ์ในเล่มนี้ไม่เคยพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน

พิมพ์ที่

บริษัท ชัคเซสพับลิเคชัน จำกัด

34 ซอยลาซาล 22 ถนนสุขุมวิท 105 แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260

โทรศัพท์ 089 777 4067, 081 755 0969 อีเมล successpub56@gmail.com

บทบรรณาธิการ

วารสารที่ท่านอ่านอยู่ในขณะนี้ได้เปลี่ยนชื่อวารสารจากเดิม คือ วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (Bulletin of Applied Sciences) เป็น วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (Bulletin of Applied Sciences) โดยได้มีการปรับปรุงรูปแบบของเนื้อหาวารสารให้น่าสนใจและน่าอ่านมากขึ้น วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย ของนักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ให้เป็นที่ประจักษ์แก่ภาครัฐ ภาคเอกชน นักวิชาการ ผู้ประกอบการ และประชาชนทั่วไป มุ่งเน้นให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในทางวิชาการ ตลอดจนอ้างอิงในการประกอบกิจการภาคการผลิต และอุตสาหกรรมได้

วารสารได้จัดให้มีระบบ Peer reviews ทั้งในและนอกองค์กรจากหลากหลายสาขาวิชา ทั้งนี้บทความวิจัยและบทความวิชาการในฉบับนี้ถูกดำเนินการเพื่อส่งไปให้ Peer reviews ไม่น้อยกว่า 3 ท่าน ได้อ่านและให้ข้อเสนอแนะ โดยในวารสารฉบับนี้มีบทความที่น่าสนใจหลายเรื่อง ได้แก่ การตรวจหาปริมาณสารแคนนาบินอยด์ในเครื่องดื่มจากกัญชงด้วยเทคนิคอัลตราไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิด โครมาโทกราฟี-แทนเดมแมสสเปกโตรเมตรี, การพัฒนาวัสดุอ้างอิงรับรองสำหรับการวัดปริมาณธาตุบางชนิดในผงฟ้าทะลายโจร (*Andrographis paniculata*), การศึกษาสมบัติดินแดงท้องถิ่นจังหวัดนครปฐมเพื่อการผลิตเซรามิก, การพัฒนาอุปกรณ์ไหลดหัววัดรังสีได้น้ำทะเลจังหวัดสงขลา, การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษเหลือต้นครามจากกระบวนการหมักสีธรรมชาติมาผลิตเป็นกระดาษหัตถกรรม, การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบปริมาณ แมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่วที่แพร่ออกมาจากภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียม และการพัฒนาวิธีหาปริมาณตะกั่ว ในตัวอย่างอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมเจือโดยเทคนิคอินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมาออปติคอลอิมิซชันสเปกโทรสโกปี

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ขอขอบคุณผู้พิมพ์ทุกท่านที่ส่งบทความมาให้พิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่องค์ความรู้และงานวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานด้านการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมของประเทศ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านสำหรับการพิจารณาบทความ (Peer review) โดยได้ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขบทความต่าง ๆ ให้มีความถูกต้องทางวิชาการ และอ่านได้เข้าใจง่ายขึ้น และขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนในการจัดทำวารสารฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้่านทุกท่านในการเสริมสร้างองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถนำไปประยุกต์ใช้

เพื่อพัฒนางาน หรือช่วยแก้ปัญหาที่พบในการปฏิบัติงานได้ และขอขอบคุณผู้อ่านที่ได้ให้ความสนใจติดตามวารสารนี้อย่างต่อเนื่อง โปรดติดตามความรู้ และงานวิจัยดี ๆ จากวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการฉบับหน้า

ดร. อรสา อ่อนจันทร์
หัวหน้ากองบรรณาธิการ

จริยธรรมการตีพิมพ์ (Publication ethics)

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (Bulletin of Applied Sciences)

จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทัศน์ในสาขาเคมี ฟิสิกส์ เทคโนโลยีชีวภาพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร วัสดุศาสตร์ มาตรวิทยา วิศวกรรมศาสตร์ หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มุ่งมั่นที่จะรักษามาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์สูงสุด และให้การเผยแพร่เป็นไปอย่างถูกต้อง มีคุณภาพ และความโปร่งใสตามมาตรฐานการตีพิมพ์ที่เป็นที่ยอมรับในระดับชาติและระดับนานาชาติ ดังนั้นทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ บรรณาธิการ (Editor) ผู้นิพนธ์ (Authorship) และผู้ประเมินบทความ (Reviewer) จะต้องปฏิบัติตามหลักการและมาตรฐานด้านจริยธรรมการตีพิมพ์อย่างเคร่งครัด

บทบาทและหน้าที่ของกองบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณา คัดกรอง ตรวจสอบ บทความที่ส่งมาเพื่อตีพิมพ์ให้เหมาะสม สอดคล้องตรงกับวัตถุประสงค์และขอบเขต (Aim and scope) ของวารสาร รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพบทความในกระบวนการประเมินและคุณภาพบทความก่อนการตีพิมพ์ ในกรณีที่เนื้อหาบทความไม่เหมาะสม สอดคล้องกับวารสาร บรรณาธิการต้องรีบแจ้งให้ผู้นิพนธ์ได้รับทราบ
2. บรรณาธิการเป็นผู้ส่งต้นฉบับบทความให้กองบรรณาธิการวารสาร เพื่อช่วยพิจารณาคุณภาพเบื้องต้นของบทความที่ส่งเข้ามาว่าอยู่ในระดับเหมาะสมที่จะส่งต่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ ไม่น้อยกว่า 3 ท่าน อ่านพิจารณาในขั้นตอนต่อไปหรือไม่
3. บรรณาธิการต้องใช้เหตุผลทางวิชาการในการพิจารณาบทความทุกครั้งโดยปราศจากอคติที่มีต่อบทความของผู้นิพนธ์ในด้านเชื้อชาติ เพศ ศาสนา วัฒนธรรม การเมือง และสังกัดของผู้นิพนธ์ หรือหากบรรณาธิการไม่แน่ใจเกี่ยวกับเนื้อหาและคุณภาพเบื้องต้นของบทความเรื่องใด ๆ บรรณาธิการต้องไม่พิจารณาปฏิเสธบทความเรื่องนั้น ๆ ทันทีด้วยใจอคติ โดยอาจพิจารณาขอความเห็นเพิ่มเติมจากกองบรรณาธิการที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านเกี่ยวกับเนื้อหาบทความนั้น ๆ ก่อนเสมอ
4. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์ หรือผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ ไม่นำบทความหรือวารสารไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจ หรือนำไปเป็นผลงานทางวิชาการของตนเอง
5. บรรณาธิการพิจารณาคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ ในการประเมินบทความเรื่องนั้น ๆ และส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ โดยจะไม่เปิดเผยชื่อของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความหรือผู้นิพนธ์ให้อีกฝ่ายหนึ่งได้ทราบโดยเด็ดขาด (Double blind) รวมทั้งบุคคลอื่นที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย
6. เมื่อเกิดกรณีที่ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความทั้ง 3 ท่าน มีความขัดแย้งกัน บรรณาธิการจะเป็นผู้ตัดสินใจว่าจะดำเนินการในขั้นตอนถัดไปกับบทความเรื่องนั้น ๆ อย่างไรต่อไป

7. บรรณาธิการต้องไม่แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบทความและผลประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ รวมถึงไม่ปิดกั้นหรือแทรกแซงข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความและผู้นิพนธ์
8. บรรณาธิการส่งผลการประเมินให้ผู้นิพนธ์แก้ไข และพิจารณา ตรวจสอบการแก้ไขของผู้นิพนธ์อย่างเคร่งครัด
9. บรรณาธิการเป็นผู้จัดสรรบทความที่ผ่านกระบวนการประเมินบทความและอยู่ในสถานะพร้อมตีพิมพ์เผยแพร่ โดยจะพิจารณาจากเหตุผลหลัก คือ ลำดับก่อนหน้าของการส่งบทความ (Queue) และความน่าสนใจ/ความหลากหลายของเนื้อหาบทความ (Content) รวมถึงเหตุผลในด้านความเหมาะสมอื่น ๆ (Suitability) เป็นสำคัญ
10. ในกรณีที่มีเหตุผลสำคัญ ที่อาจจะไม่นำบทความของผู้นิพนธ์เรื่องใดเรื่องหนึ่ง ลงตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในฉบับตามที่ระบุในหนังสือตอบรับให้ได้นั้น บรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการนำบทความดังกล่าว ลงตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในฉบับต่อ ๆ ไป ตามที่เห็นสมควร โดยบรรณาธิการจะต้องแจ้งให้ผู้นิพนธ์เรื่องนั้น ๆ ได้รับทราบล่วงหน้าก่อนเสมอ
11. บรรณาธิการเป็นผู้ควบคุมและให้ความสำคัญต่อการตีพิมพ์เป็นรูปเล่มของวารสารในแต่ละฉบับ รวมถึงการเผยแพร่ทางเว็บไซต์วารสาร ให้มีความถูกต้อง สมบูรณ์ และออกตรงตามกำหนดเวลาอย่างเคร่งครัด

บทบาทและหน้าที่ของผู้นิพนธ์ (Duties of authorship)

1. ผู้นิพนธ์ต้องรับรองว่าบทความที่ส่งมาตีพิมพ์นั้นยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่ที่ใดมาก่อน หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์โดยตรง
2. ผู้นิพนธ์ต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่น และต้องอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมานำเสนอหรืออ้างอิงในเนื้อหาบทความของตนเอง รวมทั้งต้องทำเอกสารอ้างอิงไว้ท้ายบทความโดยจัดรูปแบบการอ้างอิงตามที่กองบรรณาธิการฯ ได้กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด
3. ผู้นิพนธ์ต้องเขียนบทความให้ถูกต้องตามรูปแบบที่วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด
4. ผู้นิพนธ์ยินดีแก้ไขปรับปรุงรูปแบบและคุณภาพของบทความ ให้ถูกต้องและเหมาะสมตามข้อเสนอแนะเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการฯ ก่อนเข้าสู่กระบวนการพิจารณาในขั้นตอนของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ จำนวน 3 ท่าน ในลำดับต่อไป
5. ข้อคิดเห็นที่ปรากฏและแสดงในเนื้อหาบทความต่าง ๆ ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการถือเป็นความเห็นและความรับผิดชอบโดยตรงของผู้นิพนธ์นั้น ๆ มิใช่เป็นความเห็นและความรับผิดชอบใด ๆ ของกองบรรณาธิการฯ และกรมวิทยาศาสตร์บริการแต่อย่างใด

6. ผู้นิพนธ์ต้องรับทราบและยอมรับถึงข้อกำหนด และนโยบายในการรับพิจารณาตีพิมพ์บทความจากวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ เป็นอย่างดีแล้ว
7. ผู้นิพนธ์ต้องรับทราบว่าบทความ ข้อมูล เนื้อหา รูปภาพ ฯลฯ ที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถือเป็นลิขสิทธิ์เฉพาะของกรมวิทยาศาสตร์บริการ มิใช่เป็นลิขสิทธิ์ของผู้นิพนธ์บทความแต่อย่างใด และไม่ให้นำผลงานไปเผยแพร่หรือตีพิมพ์กับแหล่งอื่นอีกหลังจากได้รับการตีพิมพ์กับวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ แล้ว

บทบาทและหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ (Duties of reviewers)

1. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความพิจารณาความถูกต้อง คุณภาพและความน่าสนใจของเนื้อหาบทความ ภายใต้หลักการและเหตุผลทางวิชาการ ด้วยใจเป็นกลาง และปราศจากอคติ หรือความคิดเห็นส่วนตัว ตลอดจนประโยชน์ที่ผู้อ่านบทความจะได้รับ และพร้อมจะให้คำติชม ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไขปรับปรุงบทความที่สร้างสรรค์และชัดเจนในเชิงประจักษ์ รวมทั้งไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์
2. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องตระหนักว่าตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาของผลงานทางวิชาการที่ประเมินอย่างแท้จริง หากไม่มีความเชี่ยวชาญเนื้อหาในระดับที่มากพอจะวิจารณ์บทความเรื่องนั้น ๆ ได้อย่างมีคุณภาพผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความควรแจ้งปฏิเสธการประเมินบทความให้กองบรรณาธิการได้ทราบ
3. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องรักษาระยะเวลาประเมินตามกรอบเวลาที่กำหนด หากไม่สามารถส่งข้อเสนอแนะบทความได้ทันตามเวลาที่กองบรรณาธิการได้กำหนดไว้ ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความควรแจ้งให้กองบรรณาธิการได้ทราบ พร้อมทั้งควรแจ้งกำหนดเวลาใหม่ในการส่งคืนข้อเสนอแนะบทความ
4. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องไม่แสวงหาประโยชน์จากบทความที่ตนเองได้ประเมิน และไม่เปิดเผยข้อมูลบทความให้ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องได้รับรู้
5. หากผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความตรวจสอบพบว่าบทความที่ประเมินมีการคัดลอกผลงานชิ้นอื่น ๆ ต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบทันที
6. ภายหลังจากการประเมินบทความและให้ข้อเสนอแนะในรอบที่ 1 เรียบร้อยแล้ว เมื่อผู้นิพนธ์ได้แก้ไขปรับปรุงบทความ (พร้อมเหตุผลและคำชี้แจง) กลับมาเพื่อพิจารณาอีกครั้งหนึ่ง กองบรรณาธิการจะขอความเห็นคุณประโยชน์ในการประเมินบทความรอบที่ 2 ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความจะเป็นผู้พิจารณาการแก้ไขปรับปรุงบทความดังกล่าว เมื่อพิจารณาแล้วเสร็จ ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความควรแจ้งผลการพิจารณาสุดท้ายให้กองบรรณาธิการได้รับทราบต่อไป เช่น แจ้งเห็นควรตอบรับการตีพิมพ์ หรือแจ้งปฏิเสธการตีพิมพ์ หรือแจ้งข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการแก้ไขปรับปรุงในรอบที่ 2

การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล

1. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ จะเคร่งครัดกรณีบทความที่มีการคัดลอกการนำเสนอรูปภาพ หรือการนำผลงานผู้อื่นมาเป็นส่วนหนึ่งของบทความเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร
2. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ จะไม่เปิดเผยรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความให้แก่ผู้นิพนธ์หรือบุคคลอื่น

สารบัญ

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

1

การตรวจหาปริมาณสารแคนนาบินอยด์ในเครื่องดื่มจากกัญชาด้วยเทคนิคอัลตราไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิกวิดโครมาโทกราฟี-แทนเดมแมสสเปกโทรเมตรี
จุฑาทิพย์ ลาภวิบูลย์สุข, พัฒนินา วงศ์พิชัย, สมภพ ลาภวิบูลย์สุข

1

2

การพัฒนาวัสตุอ่างอิงรับรองสำหรับการวัดปริมาณธาตุบางชนิดในผงฟ้าทะลายโจร
อุษณา ลี้เกรียงไกร, นันทน์ภัส ลายทิพย์, สุทธินันท์ แต่บรรพกุล, นงลักษณ์ ตั้งไพศาลกุล

15

3

การศึกษาสมบัติดินแดงท้องถิ่นจังหวัดนครปฐมเพื่อการผลิตเซรามิก
สุทธิมา ศรีประเสริฐสุข, สายจิต ดาวสุโข

29

4

การพัฒนาอุปกรณ์โหลดหัววัดรังสีได้น้ำทะเลจังหวัดสงขลา
สมบูรณ์ ไตอุตชนม์, สุขใจ เกียรติศักดิ์วัฒนา

43

5

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษเหล็ต้นครามจากกระบวนการหมักสีธรรมชาติมาผลิตเป็นกระดานหัตถกรรม
จารวี เล็กสุขศรี, ก่อพงศ์ หงษ์ศรี, วีรวัธ อาจสำอางค์

57

6

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบปริมาณ แมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่วที่แพร่ออกมาจากภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียม
จิตวิไล เวฬุวนารักษ์, วันดี ลือสายวงศ์

65

7

การพัฒนาวิธีหาปริมาณตะกั่ว ในตัวอย่างอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมเจือ
โดยเทคนิคอินดักทีฟฟัลด์เพิลพลาสมาออฟติคอลลิมิสชันสเปกโทรสโกปี
วีระ สอนไธสง, วรันท ตะภาพงษ์, จอย ผิวสะอาด

75

CONTENTS

Bulletin of Applied Sciences
Vol. 12 No. 1 January – June 2023

1

The determination of cannabinoids in hemp beverages by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry
Jutathip Lapviboonsuk, Patnipa Wongpichai, Sompop Lapviboonsuk

1

2

Development of Thailand reference material for determining some elements in green chiretta (*Andrographis paniculata*) powder
Usana Leekriangkrai, Nunnapus Laitip, Sutthinun Taebunpakul, Nongluck Tangpaisarnkul

15

3

A study of Nakornpathom red clay body for application in ceramic products
Sutthima Sriprasertsuk, Saijit Daosukho

29

4

Development of loading device for underwater radiation detector using at Songkhla province
Somboon Toautachone, Sukjai Kiatisakwatana

43

5

The feasibility study on using indigo residues from the natural dye extraction process to produce handicraft paper
Jarawee Leksuksri, Korpong Hongsri, Theerat Ardsamang

57

6

Method validation for determination of manganese, zinc, nickel, chromium, molybdenum, cadmium and lead released from aluminium cooking utensils
Jitwilai Waluvanak, Wandee Luesaiwong

65

7

The development of test method for determination of lead in aluminium and aluminium alloy by inductively coupled plasma optical emission spectrometry
Weera Suanthaisong, Vanut Tapaopong, Joy Phewsard

75

The background is a solid medium blue. It is decorated with several large, light blue, organic, and wavy shapes that resemble cells or fluid droplets. Some of these shapes contain concentric circles or smaller circles, creating a layered or cellular effect. A large, white, sans-serif number '1' is centered on the page.

1

การตรวจหาปริมาณสารแคนนาบินอยด์ในเครื่องดื่มจากกัญชง ด้วยเทคนิคอัลตราไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิด โครมาโทกราฟี-แทนเดมแมสสเปกโทรเมตรี

The determination of cannabinoids in hemp beverages by ultra-high
performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

1

จุฑาทิพย์ ลาภวิบูลย์สุข¹, พัฒนินา วงศ์พิชัย¹, สมภพ ลาภวิบูลย์สุข¹

Jutathip Lapviboonsuk¹, Patnipa Wongpichai¹, Sompop Lapviboonsuk¹

รับบทความ: 25 ตุลาคม 2565 แก้ไขบทความ: 23 พฤศจิกายน 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 20 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมตัวอย่างและความเหมาะสมของเทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟี-แทนเดมแมสสเปกโทรเมตรีในการตรวจหาปริมาณสารแคนนาบินอยด์ในเครื่องดื่มจากกัญชง โดยทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีโดยใช้ In-house method based on AOAC (2020) 2018.11 และมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับตาม Commission (EU) 2002/657/EC ได้ค่าร้อยละการคืนกลับเฉลี่ย สำหรับ cannabidiol (CBD) เท่ากับ 99.5 98.4 และ 98.0 (-)- Δ 9-tetrahydrocannabinol (Δ 9-THC) เท่ากับ 98.4 97.3 และ 96.9 (-)- Δ 8-tetrahydrocannabinol (Δ 8-THC) เท่ากับ 93.0 100.4 และ 100.0 (-)-trans-delta-9-THC carboxylic acid A (THCA-A) เท่ากับ 85.0 99.1 และ 100.8 ที่ระดับความเข้มข้น 0.10 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 3.59 – 9.78 นอกจากนี้ขีดจำกัดของการตรวจพบ และขีดจำกัดของการหาปริมาณ เท่ากับ 0.010 และ 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากผลการวิจัยแสดงว่าวิธีนี้มีความน่าเชื่อถือ และเหมาะสมสำหรับการตรวจหาปริมาณสารแคนนาบินอยด์ในเครื่องดื่มจากกัญชง ปริมาณสารแคนนาบินอยด์ที่ตรวจพบในตัวอย่าง อยู่ในช่วงไม่พบ ถึง 4.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ: แคนนาบิไดรอล เตตราไฮโดรแคนนาบินอล ซีบีดี ทีเอชซี เครื่องดื่ม ลิควิดโครมาโทกราฟี-แทนเดมแมสสเปกโทรเมตรี

¹ กองผลิตภัณฑ์อาหารและวัสดุสัมผัสอาหาร กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Abstract

In this research, the suitability of sample preparation and liquid chromatography – tandem mass spectrometry for the determination of cannabinoids in hemp beverages was studied. The method validation was performed by using in-house method based on AOAC (2020) 2018.11 and accuracies were in acceptable range as following the EU Commission 2002/657/EC. The averages of recoveries were 99.5, 98.4 and 98.0% for cannabidiol (CBD), 98.4, 97.3 and 96.9% for (-)- Δ^9 -tetrahydrocannabinol (Δ^9 -THC), 93.0, 100.4 and 100.00% for (-)- Δ^8 -tetrahydrocannabinol (Δ^8 -THC), 85.0, 99.1 and 100.8% for (-)-trans-delta-9-THC carboxylic acid A (THCA-A) at the concentration levels of 0.10, 50 and 100 mg kg⁻¹, respectively. The precision was also in the acceptable range. The relative standard deviations (RSDs) were in the range of 3.59 - 9.78%. Furthermore, the detection limit and quantitation limit were 0.010 and 0.10 mg kg⁻¹, respectively. These research results demonstrated that the method was reliable and suitable for the measurement of cannabinoids in hemp beverages. The cannabinoid concentrations in real samples ranged from not detected to 4.10 mg kg⁻¹.

Keywords: Cannabidiol, Tetrahydrocannabinol, CBD, THC, Beverages, Liquid chromatography – tandem mass spectrometry

¹ Food Products and Food Contact Materials Division, Department of Science Service

* Corresponding author e-mail address: jutathip@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

กลุ่มสารแคนนาบินอยด์ (Cannabinoids) ที่สำคัญได้แก่ สาร Tetrahydrocannabinol (THC) และ สาร Cannabidiol (CBD) เป็นต้น โดยสาร THC เป็นสารที่พบได้มากในกัญชา (marijuana) พบในประมาณ 1-20% และสาร THC สามารถพบในกัญชาด้วย แต่มีในปริมาณน้อยกว่า 1% [1] ในทางการแพทย์สาร THC มีประโยชน์คือ เป็นสารที่ใช้ในการช่วยลดอาการปวด รักษาภาวะกล้ามเนื้อหดเกร็ง รักษาโรคลมชักที่ดื้อยา ลดอาการคลื่นไส้อาเจียนจากการได้ยาเคมีบำบัด แต่การใช้สารชนิดนี้ในการรักษาก็อาจทำให้ผู้ป่วยมีผลข้างเคียงในระยะสั้นต่อระบบประสาท เช่น มีความผิดปกติในการใส่ใจและสมาธิ เวียนศีรษะหรือมีศีรษะ ่วงงอนมากผิดปกติ เห็นภาพหลอนหรือหูแว่ว เป็นต้น รวมทั้งอาจส่งผลต่อความจำระยะยาว การวางแผน และความสามารถในการตัดสินใจ และอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดสมองอีกด้วย [2] สำหรับสาร CBD ซึ่งเป็นสารที่พบได้ในกัญชา (Hemp) มากกว่ากัญชา คือ พบประมาณ 2% [1] โดยในกัญชามีสารนี้อยู่ในปริมาณน้อย สารนี้จะไม่ทำให้มีอาการเมาหรือเคลิบเคลิ้มเหมือน THC และสาร CBD ออกฤทธิ์ตรงข้ามกับ THC เช่นต่อต้านการเกิดโรคจิตประสาท ความจำเสื่อมและลดความตื่นเต้นตกใจจากการใช้สาร THC ประโยชน์ของสาร CBD ในทางการแพทย์มีหลายประการ เช่น แก้อาการนอนไม่หลับ เพิ่มความอยากอาหาร บรรเทาอาการของโรคหลายชนิด เช่นโรคจิตเภท (Schizophrenia) โดยให้ผลข้างเคียงที่พบได้บ้างจากการใช้สาร CBD เช่น อุจจาระร่วง อ่อนเพลีย คลื่นไส้ [2]

ปัจจุบันรัฐบาลได้ปลดล็อกให้มีการใช้ประโยชน์จากกัญชาและกัญชา เพื่อประโยชน์ทางการแพทย์และเศรษฐกิจ ซึ่งการปลดล็อกนี้หมายถึงการอนุญาตให้ใช้ประโยชน์ได้ภายใต้กรอบกฎหมาย โดยกระทรวงสาธารณสุขได้ออกประกาศกระทรวงฯ เรื่อง ระบุชื่อยาเสพติดให้โทษในประเภท 5 (ฉบับที่ 2) เมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2563 ให้บางส่วนของกัญชาและกัญชาไม่จัดเป็นยาเสพติด [3-4] ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของกัญชาและกัญชาจึงเป็นที่แพร่หลายเพิ่มมากขึ้น การตรวจสอบปริมาณสาร THC และสาร CBD จึงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของกัญชาและกัญชา โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่ปัจจุบันได้มีประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 424) พ.ศ. 2564 เรื่อง กำหนดอาหารที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือจำหน่าย มีสาระสำคัญคือ อนุญาตให้ใช้ส่วนของกัญชาและกัญชาที่ไม่เป็นยาเสพติดในผลิตภัณฑ์อาหารได้ [5] และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 425) พ.ศ. 2564 เรื่อง เมล็ดกัญชง น้ำมันจากเมล็ดกัญชง โปรตีนจากเมล็ดกัญชง และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของเมล็ดกัญชง น้ำมันจากเมล็ดกัญชง

หรือโปรตีนจากเมล็ดกัญชง มีสาระสำคัญคือ ให้เมล็ดกัญชง น้ำมันจากเมล็ดกัญชง โปรตีนจากเมล็ดกัญชง และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของเมล็ดกัญชง หรือน้ำมันจากเมล็ดกัญชง หรือโปรตีนจากเมล็ดกัญชง เป็นอาหารควบคุมเฉพาะ โดยสามารถใช้เมล็ดกัญชง และโปรตีนจากเมล็ดกัญชง ในผลิตภัณฑ์อาหารได้โดยมีการควบคุมปริมาณการปนเปื้อนของสาร THC และสาร CBD ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดอาหาร รวมทั้งควบคุมคุณภาพและมาตรฐานของเมล็ดกัญชง น้ำมันจากเมล็ดกัญชง และโปรตีนจากเมล็ดกัญชงอีกด้วย [6] นอกจากนี้ยังมีประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 427) พ.ศ. 2564 เรื่อง ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของส่วนของกัญชาหรือกัญชง มีสาระสำคัญคือ ให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของส่วนของกัญชาหรือกัญชง เป็นอาหารควบคุมเฉพาะ และห้ามมิให้ผลิต นำเข้า หรือจำหน่าย ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของส่วนของกัญชาหรือกัญชง ดังต่อไปนี้ (1) อาหารทารกและอาหารสูตรต่อเนื่องสำหรับทารกและเด็กเล็ก (2) นมดัดแปลงสำหรับทารกและนมดัดแปลงสูตรต่อเนื่องสำหรับทารกและเด็กเล็ก (3) อาหารเสริมสำหรับทารกและเด็กเล็ก (4) เครื่องดื่มที่ผสมกาเฟอีน (5) อาหารอื่นที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด [7] โดยตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 428) พ.ศ. 2564 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนชนิดสารเตตราไฮโดรแคนนาบินอยด์และสารแคนนาบินไดโอดอล ได้กำหนดปริมาณตกค้างสูงสุดคือ ไม่พบ ในหน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในอาหารทารกและอาหารสูตรต่อเนื่องสำหรับทารกและเด็กเล็ก นมดัดแปลงสำหรับทารกและนมดัดแปลงสูตรต่อเนื่องสำหรับทารกและเด็กเล็ก อาหารเสริมสำหรับทารกและเด็กเล็กและเครื่องดื่มที่ผสมกาเฟอีน โดยมีการตรวจวิเคราะห์ได้น้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับ THC และ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับ CBD [8] และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 429) พ.ศ. 2564 เรื่อง ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสารสกัดแคนนาบินไดโอดอลเป็นส่วนประกอบ มีสาระสำคัญคือ ให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสารสกัดแคนนาบินไดโอดอลเป็นส่วนประกอบ เป็นอาหารควบคุมเฉพาะ โดยมีการกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของสารแคนนาบินไดโอดอลและสารเตตราไฮโดรแคนนาบินอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เครื่องดื่มแต่งกลิ่นรสอัดก๊าซและไม่อัดก๊าซ เฉพาะผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคเท่านั้น ยกเว้นผลิตภัณฑ์ในลักษณะเดียวกันที่มีส่วนผสมของชา กาแฟ และกาเฟอีนทั้ง ธรรมชาติและสังเคราะห์ และเครื่องดื่มเกลือแร่ เครื่องดื่มจากธัญชาติเฉพาะผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคเท่านั้น ยกเว้นชา กาแฟ ชาจากพืช และผลิตภัณฑ์ในลักษณะเดียวกัน [9] โดยปัจจุบันมีการปรับปรุงข้อกำหนดคุณภาพและมาตรฐานดังประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 438) พ.ศ. 2565 เรื่อง ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของส่วนของกัญชาหรือกัญชง (ฉบับที่ 2) ซึ่งมีการควบคุมปริมาณ

CBD และ THC ในปริมาณที่แตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์ปรุงรส ซอส น้ำปลา และเกลือ ที่กำหนดปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อครั้ง ต้องมี THC ไม่เกิน 1.6 มิลลิกรัมต่อ 50 กรัม และ CBD ไม่เกิน 1.41 มิลลิกรัมต่อ 50 กรัม [10] นอกจากนี้ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 439) พ.ศ. 2565 ได้ปรับปรุงแก้ไขเรื่อง ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสารสกัดแคนนาบิไดโอดเป็นส่วนประกอบ (ฉบับที่ 2) โดยกำหนดปริมาณในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร CBD ไม่เกิน 55 มิลลิกรัมต่อวันและ THC ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร และเครื่องดื่ม เช่น เครื่องดื่มจากธัญชาติ CBD ไม่เกิน 75 มิลลิกรัมต่อลิตรและ THC ไม่เกิน 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร [11] ดังนั้นการควบคุมคุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์อาหารจึงมีบทบาทสำคัญในการดูแลและคุ้มครองผู้บริโภค โดยเฉพาะการตรวจสอบหาปริมาณสาร THC และ CBD ปัจจุบันวิธีมาตรฐานเช่น AOAC เป็นวิธีที่ใช้ทดสอบหาปริมาณสารแคนนาบินอยด์ (Cannabinoids) ในพืช น้ำมัน และสารสกัด โดยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนลิดโครมาโทกราฟี (High Performance Liquid Chromatography; HPLC) และลิดโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี (Liquid Chromatography – Mass Spectrometry; LC-MS) [12-15] โดยมีการทดสอบสารกลุ่มแคนนาบินอยด์จำนวนมากถึง 17 ชนิด แต่ยังเป็นทดสอบในพืชกัญชาและกัญชง ที่ซึ่งใช้เทคนิคการสกัดแบบ Liquid-solid extraction [16] นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาวิธีการทดสอบในอาหารของสารกลุ่มแคนนาบินอยด์ด้วยเทคนิค QuEChERS (Quick Easy Cheap Effective Rugged Safe) โดยทำการทดสอบในกลุ่มอาหารจำพวกเมล็ดกัญชง โปรตีนจากกัญชง น้ำมันเมล็ดกัญชง น้ำมันดิบและนมผง เป็นต้น และพบว่าได้มีการศึกษาในเมทริกซ์ของมายองเนสและกาแฟ แต่มีผลการทดสอบหนึ่งค่าที่ออกนอกช่วงการยอมรับ (ค่าร้อยละการคืนกลับ (%recovery) อยู่ที่ 122) [17] ในปี 2564 กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้มีการพัฒนาวิธีทดสอบสารกลุ่มแคนนาบินอยด์ในน้ำมันพริก โดยใช้การเตรียมตัวอย่างด้วย SPE Oasis HLB และให้ค่าร้อยละการคืนกลับอยู่ในช่วงร้อยละ 60 – 120 และมีการทำ Matrix-matched calibration curve เนื่องจากวิธีการทดสอบมีหลายขั้นตอน และยังมีข้อจำกัดในการเตรียมกราฟมาตรฐานที่ต้องเตรียมให้มีความใกล้เคียงกับลักษณะตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ (Matrix-matched calibration curve) [18] โดยใช้เทคนิคเดียวกันนี้ในการสำรวจปริมาณสาร THC และสารแคนนาบินอยด์ที่เกี่ยวข้อง (เช่น CBD Cannabigerol (CBG) Cannabinol (CBN) เป็นต้น) ในผลิตภัณฑ์อาหาร เครื่องดื่ม และอาหารสัตว์ [19] นอกจากนี้พบว่ามีการใช้เทคนิคการเตรียมตัวอย่างแบบโตนิกซ์ชัน ซึ่งใช้การสันตะเหือนของคลื่นอัลตราโซนิคจึงอาจทำให้เกิดความร้อนที่อาจส่งผล

ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสาร THC และสาร CBD รวมทั้งผลการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธียังให้ค่าร้อยละการคืนกลับของสาร THCA-A สูงถึงร้อยละ 206.3 และสาร CBDA อยู่ในช่วงร้อยละ 114.7-182.3 [20] จากข้อจำกัดของวิธีการทดสอบดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวิธีทดสอบสารแคนนาบินอยด์ที่ครอบคลุมตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ cannabidiol (CBD) (-)- Δ^9 -tetrahydrocannabinol (Δ^9 -THC) (-)- Δ^8 -tetrahydrocannabinol (Δ^8 -THC) และ (-)-*trans*-delta-9-THC carboxylic acid A (THCA-A) ในตัวอย่างเครื่องดื่ม โดยใช้เทคนิคลิดโครมาโทกราฟี แทนเดมแมสสเปกโตรเมตรี (Liquid Chromatography – Tandem Mass Spectrometry; LC-MS/MS)

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 สารเคมีและวัสดุวิทยาศาสตร์

สารมาตรฐาน Cannabidiol (CBD) (CAS No. 13956-29-1) มีความบริสุทธิ์อย่างน้อยร้อยละ 99.6 สารมาตรฐาน (-)- Δ^9 -Tetrahydrocannabinol (dronabinol) solution (Δ^9 -THC) (CAS No. 1972-08-3) ความบริสุทธิ์อย่างน้อยร้อยละ 97.0 สารมาตรฐาน (-)- Δ^8 -Tetrahydrocannabinol solution (Δ^8 -THC) (CAS No. 5957-75-5) ความบริสุทธิ์อย่างน้อยร้อยละ 97.0 และสารมาตรฐาน (-)-*trans*-delta-9-THC carboxylic acid A (THCA-A) (CAS No. 23978-85-0) ความบริสุทธิ์อย่างน้อยร้อยละ 97.0 สารมาตรฐานทั้งหมดผลิตโดย Lipomed ส่วนสารมาตรฐานภายใน (Internal standard) มี 2 ชนิด คือ สารมาตรฐานภายใน Cannabidiol-D₃ (CBD-D₃) (CAS No. N/A) ความบริสุทธิ์อย่างน้อยร้อยละ 98.5 และสารมาตรฐานภายใน (-)- Δ^9 -Tetrahydrocannabinol-D₃ solution (Δ^9 -THC-D₃) (CAS No. 81586-39-2) ความบริสุทธิ์อย่างน้อยร้อยละ 96.0 สารมาตรฐานภายในทั้งหมดผลิตโดย Lipomed เช่นกัน เมทานอลและอะซิโตรไนโตรลส์ มีชั้นคุณภาพวิเคราะห์ HPLC หรือ LC ผลิตโดย Merck รวมทั้งแอมโมเนียมฟอร์มเมท (Ammonium formate, NH₄HCO₂) ชั้นคุณภาพวิเคราะห์ AR และ กรดฟอร์มิก (Formic acid, FA) ชั้นคุณภาพวิเคราะห์ LC-MS ผลิตโดย Sigma การเตรียมสารละลายต่างๆ ใช้น้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง มีค่าความต้านทานไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 18.2 M Ω •cm โดยใช้เครื่องกรองน้ำ รุ่น Smart2Pure บริษัท Thermo Scientific

2.2 สารละลายและวิธีเตรียม

2.2.1 สารละลายแอมโมเนียมฟอร์มเมท (วัฏภาคเคลื่อนที่มีความเข้มข้น 20 mM และ pH 3.2)

ซึ่ง NH₄HCO₂ จำนวน 1.26 $\pm$ 0.01 กรัม ลงในขวดแก้วปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำที่

มีความบริสุทธิ์สูง แล้วปรับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยกรดฟอสฟอริก ให้มี pH เท่ากับ 3.2 (โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง รุ่น Orion 2 Star บริษัท Thermo Scientific) แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง จนถึงขีดปริมาตร

2.2.2 สารละลายมาตรฐาน CBD (Stock standard solution) ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ซึ่งสารมาตรฐาน CBD 10 มิลลิกรัมแล้วบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ละลายด้วยเมทานอล ถ่ายลงในขวดแก้วปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมนเมทานอลจนถึงขีดปริมาตร เก็บในขวดแก้วสีชาในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

2.2.3 สารละลายมาตรฐาน Δ^9 -THC (Intermediate standard solution) ความเข้มข้น 1.26 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ปิเปตต์สารมาตรฐาน Δ^9 -THC 100 ไมโครลิตรของสารละลายมาตรฐาน Δ^9 -THC ความเข้มข้น 10.26 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วปิเปตต์เมทานอล 900 ไมโครลิตร ลงในขวดแก้วสีชาปริมาตรขนาด 2 มิลลิลิตร เก็บในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

2.2.4 สารละลายมาตรฐาน Δ^8 -THC (Intermediate standard solution) ความเข้มข้น 0.94 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ปิเปตต์สารมาตรฐาน Δ^8 -THC 100 ไมโครลิตรของสารละลายมาตรฐาน Δ^8 -THC ความเข้มข้น 9.4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วปิเปตต์เมทานอล 900 ไมโครลิตร ลงในขวดแก้วสีชาปริมาตรขนาด 2 มิลลิลิตร เก็บในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

2.2.5 สารละลายมาตรฐาน THCA-A (Stock standard solution) ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ซึ่งสารมาตรฐาน THCA-A 10 มิลลิกรัมแล้วบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ละลายด้วยเมทานอล ถ่ายลงในขวดแก้วปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมนเมทานอลจนถึงขีดปริมาตร เก็บในขวดแก้วสีชาในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

2.2.6 สารละลายมาตรฐานภายใน CBD-D₃ (Stock standard solution) ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ซึ่งสารมาตรฐาน CBD-D₃ 10 มิลลิกรัมแล้วบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ละลายด้วยเมทานอล ถ่ายลงในขวดแก้วปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมนเมทานอลจนถึงขีดปริมาตร เก็บในขวดแก้วสีชาในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

2.2.7 สารละลายมาตรฐานภายใน Δ^9 -THC-D₃ (Intermediate standard solution) ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ปิเปตต์สารมาตรฐาน Δ^9 -THC-D₃ 100 ไมโครลิตรของสารละลายมาตรฐาน Δ^9 -THC-D₃ ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วปิเปตต์เมทานอล 900 ไมโครลิตร ลงในขวดแก้วปริมาตรขนาด 2 มิลลิลิตร เก็บในขวดแก้วสีชาในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสม CBD เพื่อใช้สร้างกราฟมาตรฐาน

2.3.1 สารละลายมาตรฐานผสมของ CBD Δ^9 -THC Δ^8 -THC และ THCA-A ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ปิเปตต์สารละลายมาตรฐาน CBD ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 100 ไมโครลิตร Δ^9 -THC ความเข้มข้น 1.26 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 100 ไมโครลิตร Δ^8 -THC ความเข้มข้น 0.94 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 100 ไมโครลิตร THCA-A ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 100 ไมโครลิตร ลงในขวดแก้วปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมนเมทานอลจนถึงขีดปริมาตร

2.3.2 สารละลายมาตรฐานภายในผสมของ CBD-D₃ และ Δ^9 -THC-D₃ ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ปิเปตต์สารละลายมาตรฐาน CBD-D₃ ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 100 ไมโครลิตร Δ^9 -THC-D₃ ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 100 ไมโครลิตร ลงในขวดแก้วปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมนเมทานอลจนถึงขีดปริมาตร

2.3.3 สารละลายมาตรฐานผสม CBD Δ^9 -THC Δ^8 -THC และ THCA-A ความเข้มข้น 0 0.1 0.5 1.0 2.5 5.0 และ 9.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานผสม CBD Δ^9 -THC Δ^8 -THC และ THCA-A ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ข้อ 2.3.1) จำนวน 0 10 50 100 250 500 และ 1000 ไมโครลิตร ตามลำดับ ลงในขวดแก้วสีชาสำหรับฉีดเข้ากับเครื่อง LC-MS/MS ขนาด 2 มิลลิลิตร เติมนสารละลายมาตรฐานภายในผสม CBD-D₃ และ Δ^9 -THC-D₃ ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ข้อ 2.3.2) จำนวน 50 ไมโครลิตร เติมนเมทานอลจำนวน 950 900 850 700 450 และ 0 ไมโครลิตร ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 และต้องคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของแต่ละสารมาตรฐาน

ตารางที่ 1 การเตรียมกราฟมาตรฐานผสม CBD Δ 9-THC Δ 8-THC และ THCA-A

ระดับของกราฟมาตรฐาน	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน (ไมโครลิตร)	ปริมาตรของเมทานอล (ไมโครลิตร)	ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานภายในผสม (ไมโครลิตร)
1	0	0	950	50
2	0.5	50	900	50
3	1.0	100	850	50
4	2.5	250	700	50
5	5.0	500	450	50
6	9.5	950	0	50

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่างประมาณ 1-5 กรัม แล้วบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน โดยตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีคือ เครื่องดื่มน้ำผสมวิตามิน และเติมสารมาตรฐานภายในผสมข้อ 2.3.2 CBD-D₃ และ Δ 9-THC-D₃ จำนวน 500 ไมโครลิตร เพื่อให้มีระดับความเข้มข้นเท่ากับที่เติมในสารมาตรฐานข้อ 2.3.3 และเติมเมทานอลเพื่อเจือจางให้ได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับตรวจวัดด้วย LC-MS/MS แล้วปรับปริมาตรด้วยเมทานอลเป็น 10 มิลลิลิตร (หากตัวอย่างมีปริมาณสารที่สนใจในปริมาณมากสามารถเจือจางได้ตามความเหมาะสม) หลังจากนั้นหากมีตะกอนเกิดขึ้นในสารละลายตัวอย่างให้นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 g เวลา 5 นาทีและกรองผ่านแผ่นเมมเบรนขนาด 0.20 หรือ 0.22 ไมโครเมตรลงในขวดแก้วขนาดเล็กสำหรับฉีดเข้าเครื่อง LC-MS/MS

2.5 การควบคุมคุณภาพ

การเตรียม Standard check สารละลายมาตรฐาน Cannabinoids โดยเลือกเตรียมที่ระดับความเข้มข้น 1 ระดับจาก 2.5 หรือ 5.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งเตรียมเช่นเดียวกันกับข้อ 2.3.1 และกรองผ่านแผ่นเมมเบรนขนาด 0.20 หรือ 0.22 ไมโครเมตรลงในขวดขนาดเล็กสำหรับฉีดเข้ากับเครื่อง LC-MS/MS

2.6 การตรวจวัดด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

2.6.1 นำสารละลายมาตรฐานผสม CBD Δ 9-THC Δ 8-THC และ THCA-A ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.5 ถึง 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเมทานอลที่กรองผ่านแผ่นเมมเบรน ขนาด 0.20 หรือ 0.22 ไมโครเมตร ลงในขวดขนาดเล็ก สีชา ฉีดเข้าเครื่อง LC-MS/MS รุ่น Agilent 1290/6460 บริษัท Agilent Technologies ตามสภาวะเครื่อง LC-MS/MS ที่เหมาะสมในการทดสอบ Cannabinoids ตาม AOAC (2020) 2018.11 [21] ดังนี้

คอลัมน์:	คอลัมน์ LC-MS/MS ชนิด stainless steel ขนาด 2.1 x 150 มิลลิเมตร และการ์ดคอลัมน์ 2.1 x 5 มิลลิเมตร บรรจุด้วย C18 ขนาดอนุภาค 2.0 ไมโครเมตร (Supelco Ascentis Express C18)
อุณหภูมิคอลัมน์:	25 องศาเซลเซียส
ปริมาตรที่ฉีด:	3 ไมโครลิตร
วัฏภาคเคลื่อนที่และอัตราการไหล:	ตามตารางที่ 2
เครื่องตรวจวัด:	MS detector ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 2 วัฏภาคเคลื่อนที่และอัตราการไหล

เวลา (นาที)	A, % 20 mM NH ₄ HCO ₂ , pH 3.2	B, % ACN	อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)
0.00	40	60	0.400
12.00	5	95	0.400
12.01	5	95	0.600
14.00	5	95	0.600
14.01	40	60	0.400
16.00	40	60	0.400

ตารางที่ 3 สภาวะของเครื่อง MS detector

Analytes	Retention time (RT; min)	MRM traces		Fragment energy (Frag; V)	Collision energy (CE; V)
		Precursor ion (MS1)	Product ion (MS2)		
CBD	5.504	315.3	193.2	88	20
		315.3	135.0	88	20
		315.3	259.1	88	20
Δ ⁹ -THC	8.219	315.3	193.1	88	20
		315.3	123.0	88	20
		315.3	259.1	88	20
Δ ⁸ -THC	8.398	315.3	193.2	88	20
		315.3	123.0	88	20
		315.3	259.1	88	20
THCA-A	8.580	359.2	341.2	85	25
		359.2	219.1	85	25
			261.2	85	25
CBD-D ₃	5.482	318.3	196.1	85	20
Δ ⁹ -THC-D ₃	8.188	318.3	196.1	85	20

2.6.2 ตรวจสอบสมรรถนะของเครื่อง LC-MS/MS โดยการฉีดสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 1 ระดับเลือกจาก 2.5 หรือ 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวนอย่างน้อย 3 ซ้ำ เพื่อกำหนดค่า System suitability ตาม US Pharmacopoeia โดยมีเกณฑ์การยอมรับดังนี้

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; RSD) of area < 2%
- RSD of RT < 2%

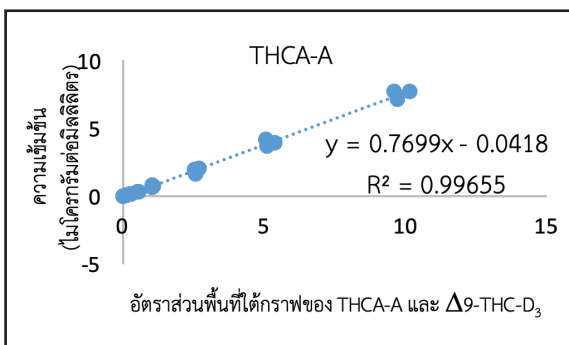
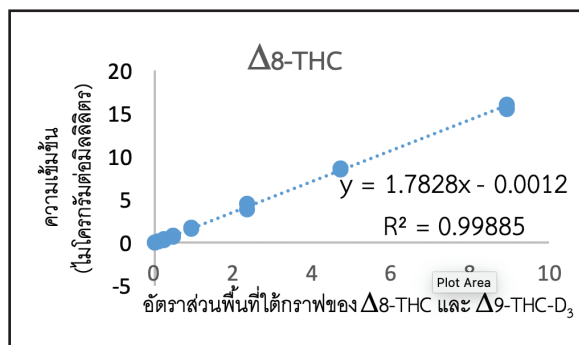
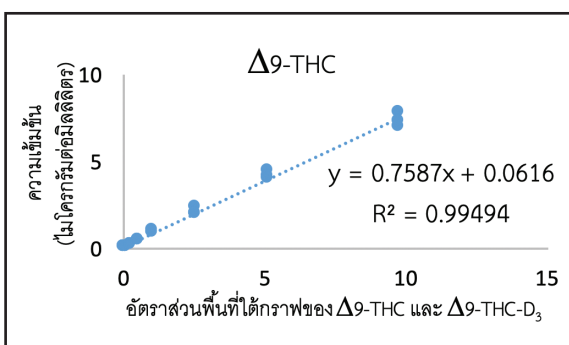
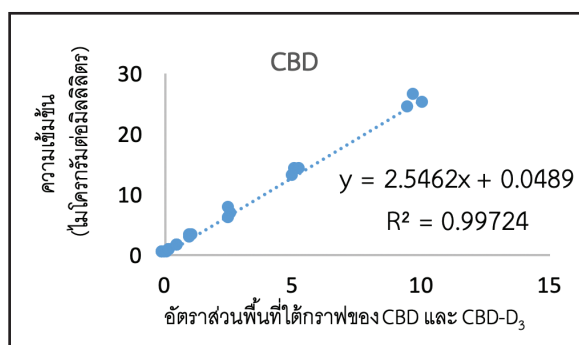
2.7 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี โดยดำเนินการตาม In-house method based on AOAC (2020) 2018.11 [21]

การทดสอบตัวอย่างแบบลบล้างหรือตัวอย่างน้ำผสมวิตามิน (Blank sample) และตัวอย่างที่มีการเติมสารละลายมาตรฐาน (Spiked sample) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ หรือใกล้เคียงศูนย์ จำนวน 10 ซ้ำ เพื่อประมาณค่าขีดจำกัดของการตรวจพบและขีดจำกัดของการหาปริมาณ ซึ่งในที่นี้ทำการเติมที่ระดับความเข้มข้น 0.10 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเตรียมตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานอีก 2 ระดับความเข้มข้น คือ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพื่อทดสอบความเข้มข้นที่ระดับกลางและสูงของช่วงการวัด แล้วคำนวณร้อยละการคืนกลับและค่าความเบี่ยงเบนสัมพัทธ์เพื่อพิสูจน์ความถูกต้องและความเที่ยงของวิธีทดสอบ นอกจากนี้ได้ดำเนินการทดสอบช่วงความเป็นเส้นตรง โดยทดสอบที่ความเข้มข้น 7 ระดับ ดังนี้ 0 0.10 0.50 1.00 2.50 5.00 และ 10.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และระดับความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

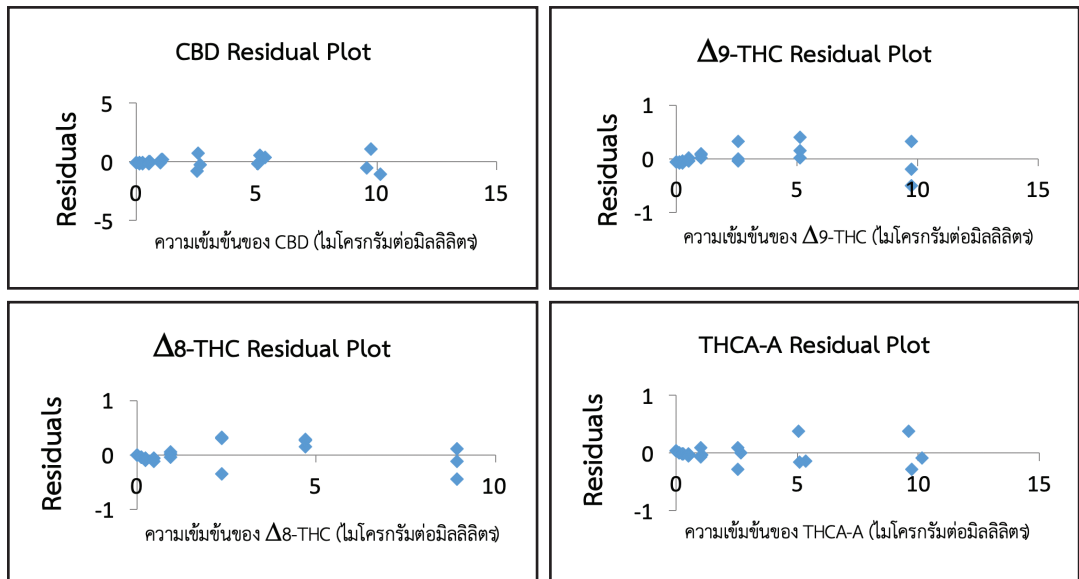
3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 การทดสอบความเป็นเส้นตรง (Linearity) ของสารมาตรฐาน Cannabinoids

ศึกษาโดยการทดสอบสารมาตรฐานที่ 7 ระดับความเข้มข้น ดังนี้ 0 0.10 0.50 1.00 2.50 5.00 และ 10.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่สนใจ และพื้นที่ใต้กราฟซึ่งตรวจวัดด้วยดีเทคเตอร์ ชนิด MS detector ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่สนใจและการตกค้าง (Residual)



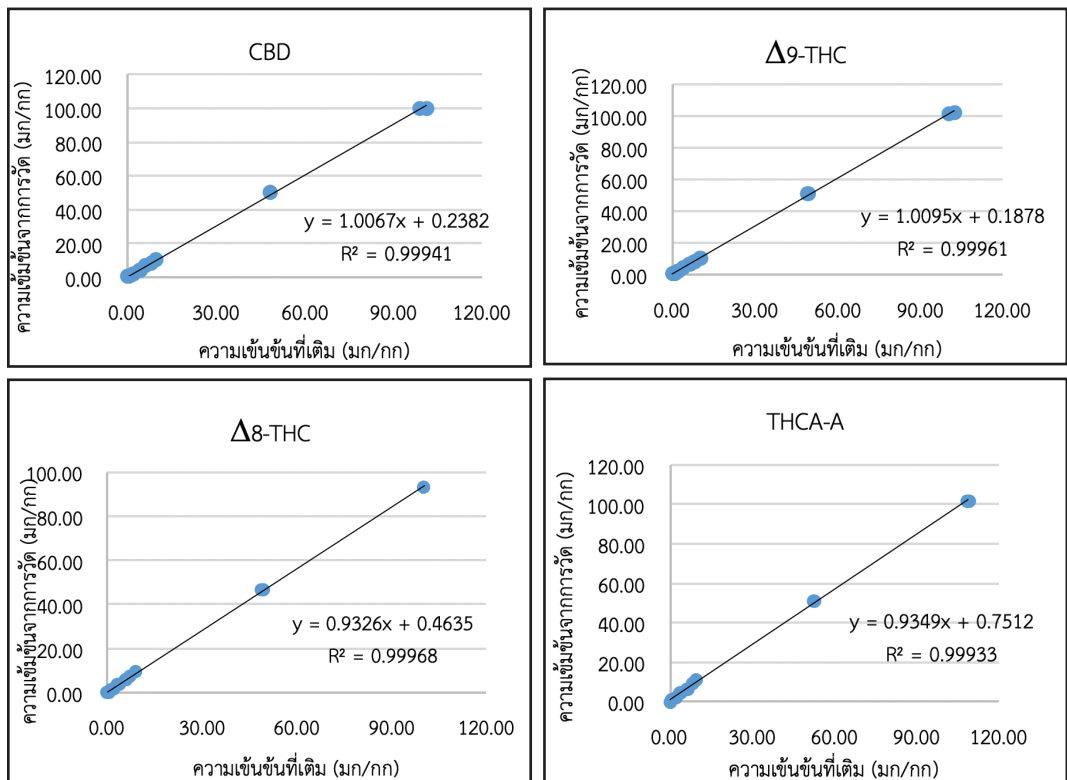
รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ CBD Δ9-THC Δ8-THC THCA-A และพื้นที่ใต้กราฟซึ่งตรวจวัดด้วยดีเทคเตอร์ ชนิด MS detector



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ CBD Δ9-THC Δ8-THC THCA-A และการตกค้าง (residual)

3.2 การทดสอบช่วงการใช้งาน (Working range) ในเครื่องคั้นน้ำผสมวิตามิน

ศึกษาโดยทดสอบตัวอย่างแบบลงค์ และตัวอย่างที่เดิมสารมาตรฐานในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 0.10 0.50 1.00 2.00 4.00 6.00 8.00 10.0 50.0 และ 100.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ระดับความเข้มข้นละ 2 ซ้ำ โดยมีเกณฑ์การยอมรับในช่วงของค่าร้อยละการคืนกลับ CBD เท่ากับร้อยละ 91.28 – 104.93 Δ9-THC เท่ากับร้อยละ 84.37 – 103.74 Δ8-THC เท่ากับร้อยละ 84.35 – 107.48 และ THCA-A เท่ากับร้อยละ 84.66 – 107.11 รูปที่ 3 แสดงช่วงการใช้งานของการตรวจวัดสารที่สนใจระหว่างความสัมพันธ์ของความเข้มข้นที่เดิมและค่าที่วัดได้ในหน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



รูปที่ 3 กราฟแสดงช่วงการใช้งานของการตรวจวัด CBD Δ9-THC Δ8-THC และ THCA-A ระหว่างความสัมพันธ์ของความเข้มข้นที่เดิมและค่าที่วัดได้ ในหน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3.3 การหาขีดต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดของการหาปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ)

ศึกษาโดยทดสอบตัวอย่างแบบลงค์ จำนวน 10 ซ้ำและตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้นต่ำ คือ 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 10 ซ้ำ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบ CBD Δ 9-THC Δ 8-THC และ THCA-A ของตัวอย่างแบบลงค์และตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานที่ระดับ 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ลำดับ	ตัวอย่าง แบบลงค์	ปริมาณที่ตรวจวัดได้ มิลลิกรัม/กิโลกรัม				ค่าร้อยละการคืนกลับ (Recovery, %)			
			Δ 9-THC	Δ 8-THC	THCA-A	CBD	Δ 9-THC	Δ 8-THC	THCA-A
1	ไม่พบ	0.101	0.095	0.081	0.084	95.5	91.4	84.4	81.8
2	ไม่พบ	0.108	0.096	0.082	0.088	103.0	92.4	86.2	85.7
3	ไม่พบ	0.095	0.097	0.083	0.085	90.7	92.8	87.2	83.2
4	ไม่พบ	0.105	0.106	0.089	0.086	101.2	102.5	93.8	84.3
5	ไม่พบ	0.108	0.106	0.088	0.085	103.5	101.9	92.7	81.2
6	ไม่พบ	0.096	0.106	0.099	0.088	93.2	101.4	103.7	84.7
7	ไม่พบ	0.101	0.105	0.091	0.095	98.5	101.4	95.6	90.9
8	ไม่พบ	0.108	0.109	0.096	0.089	104.7	104.8	101.1	86.6
9	ไม่พบ	0.099	0.096	0.088	0.089	97.9	91.7	92.4	86.0
10	ไม่พบ	0.109	0.108	0.089	0.089	107.0	104.2	92.4	86.1
	ค่าเฉลี่ย	0.103	0.102	0.089	0.088				
	SD	0.005	0.006	0.006	0.003				
	S ₀	0.004	0.004	0.004	0.002				
	LOD	0.011	0.012	0.012	0.007				
	LOQ	0.038	0.040	0.041	0.022				

จากการคำนวณตามสูตร Eurachem guide: The fitness for purpose of analytical methods, 2014 [22] และตรวจสอบความถูกต้องและความเที่ยง พบว่าค่า LOD มีระดับความเข้มข้นที่ 0.010 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ LOQ ที่ระดับ 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าร้อยละการคืนกลับอยู่ระหว่าง CBD: 90.7 – 107.0 Δ 9-THC: 91.4 – 104.8 Δ 8-THC: 84.4 – 103.7 และ THCA-A: 81.2 – 90.9 เป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับ 80 - 110%

3.4 ความถูกต้อง (Accuracy) และความเที่ยง (Precision)

การตรวจสอบความถูกต้องและความเที่ยงที่ 3 ระดับความเข้มข้น (ต่ำ กลาง และสูง) ดังนี้ 0.10 50 และ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม จำนวน 10 - 11 ซ้ำ โดยผลการทดสอบดังตารางที่ 5 พบว่า ค่าร้อยละการคืนกลับหรือ %recovery มีในช่วงเกณฑ์การยอมรับ คือ 80 - 110% และ %RSDR (Relative Standard Deviation of Reproducibility) ไม่เกิน 16% ตาม 2002/657/EC [23]

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบ CBD Δ 9-THC Δ 8-THC และ THCA-A ของตัวอย่างแบลงค์และตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานที่ระดับ 0.10 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ชนิดของสาร	ความเข้มข้นที่เติม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ปริมาณที่ตรวจวัดได้ ($\pm$ SD) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ค่าร้อยละการคืนกลับ ($\pm$ SD) (%Recovery)	%RSD _R
CBD	0.10	0.103 ($\pm$ 0.005)	99.52 ($\pm$ 5.28)	5.22
	50	49.65 ($\pm$ 3.74)	98.35 ($\pm$ 7.31)	7.49
	100	98.45 ($\pm$ 9.70)	97.98 ($\pm$ 9.41)	9.78
Δ 9-THC	0.10	0.102 ($\pm$ 0.006)	98.45 ($\pm$ 5.61)	5.47
	50	49.92 ($\pm$ 1.87)	97.28 ($\pm$ 3.63)	3.73
	100	99.01 ($\pm$ 7.51)	96.90 ($\pm$ 7.01)	7.53
Δ 8-THC	0.10	0.089 ($\pm$ 0.006)	92.95 ($\pm$ 6.17)	6.48
	50	47.19 ($\pm$ 2.17)	100.35 ($\pm$ 4.74)	4.60
	100	93.58 ($\pm$ 6.05)	99.98 ($\pm$ 6.43)	6.45
THCA-A	0.10	0.087 ($\pm$ 0.003)	85.05 ($\pm$ 2.76)	3.59
	50	50.68 ($\pm$ 1.99)	99.13 ($\pm$ 4.06)	3.93
	100	102.54 ($\pm$ 4.43)	100.76 ($\pm$ 4.34)	4.32

วิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ตาม In-house method based on AOAC (2020) 2018.11 [21] พบว่า มีขีดจำกัดของการตรวจพบเท่ากับ 0.010 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และขีดจำกัดของการหาปริมาณ เท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าการหาสารกลุ่มแคนนาบินอยด์ในน้ำมะพร้าวที่พัฒนาวิธีโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ [18] ที่มีค่ามีขีดจำกัดของการตรวจพบ และขีดจำกัดของการหาปริมาณ เท่ากับ 0.002 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่วิธีที่พัฒนาขึ้นนี้มีความถูกต้องที่แสดงด้วยค่าร้อยละการคืนกลับที่ใกล้เคียงกับร้อยละ 100 และความเที่ยงที่แสดงด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ไม่เกินร้อยละ 10 ดังนั้นวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้จึงมีความเหมาะสมเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด [8] ในการใช้หาปริมาณสารกลุ่มแคนนาบินอยด์ในเครื่องดื่มได้เช่นกัน

3.5 การทดสอบในตัวอย่างเครื่องดื่ม

วิธีทดสอบ In-house method based on AOAC (2020) 2018.11 [21] ได้นำมาใช้ในการทดสอบในตัวอย่างเครื่องดื่มจำนวน 5 ตัวอย่าง พบว่า CBD มีค่าอยู่ในช่วง ไม่พบ ถึง 1.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ Δ 9-THC มีค่าอยู่ในช่วง ไม่พบถึง 4.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับ Δ 8-THC ในทุกตัวอย่างมีค่าเท่ากับ ไม่พบ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ THCA-A มีค่าอยู่ในช่วง ไม่พบ ถึง 1.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าร้อยละการคืนกลับอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ 80 - 110 [23]

4. สรุป (Conclusion)

การศึกษาวิธีหาปริมาณสารแคนนาบินอยด์ในตัวอย่างเครื่องดื่มจากกัญชง ดำเนินการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีพบว่าวิธีทดสอบ In-house method based on AOAC (2020) 2018.11 [21] มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ โดยให้ค่าร้อยละการคืนกลับเฉลี่ยสำหรับ CBD ร้อยละ 99.5 98.4 และ 98.0 Δ 9-THC ร้อยละ 98.4 97.3 และ 96.9 Δ 8-THC ร้อยละ 93.0 100.4 และ 100.0 THCA-A ร้อยละ 85.0 99.1 และ 100.8 ที่ระดับความเข้มข้น 0.10 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และความเที่ยง แสดงด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ โดยค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.59 – 9.78 นอกจากนี้ขีดจำกัดของการตรวจพบ เท่ากับ 0.010 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และขีดจำกัดของการหาปริมาณ 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปริมาณสารแคนนาบินอยด์ที่ตรวจพบในตัวอย่างอยู่ในช่วง ไม่พบ ถึง 4.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีงบประมาณ 2564-2565

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] กัญชง-กัญชา และประวัติความเป็นมา [อินเทอร์เน็ต]. [ม.ป.ป.] [เข้าถึงเมื่อ 17 กรกฎาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.oncb.go.th/ncsmi/hemp7/กัญชง-กัญชา.pdf>
- [2] คำแนะนำสำหรับแพทย์ การใช้กัญชาทางการแพทย์ [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 1 สิงหาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://tmc.or.th/pdf/fact/guideline_cannabis_101062.pdf
- [3] เรื่องนำรู้กัญชาทางการแพทย์ กัญชงพืชเศรษฐกิจ [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 1 สิงหาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://mnfda.fda.moph.go.th/narcotic/wp-content/uploads/2021/06/Ebook64_AW1CNB-Hemp.pdf
- [4] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศเรื่อง ระบุชื่อยาเสพติดให้โทษในประเภท 5 พ.ศ. 2563 [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 15 สิงหาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2563/E/290/T_0033.PDF
- [5] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศ (ฉบับที่ 424) พ.ศ. 2564 เรื่อง กำหนดอาหารที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือจำหน่าย [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 22 สิงหาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2564/E/045/T_0032.PDF
- [6] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศ (ฉบับที่ 425) พ.ศ. 2564 เรื่อง เมล็ดกัญชง น้ำมันจากเมล็ดกัญชง โปรตีนจากเมล็ดกัญชง และผลิตภัณฑ์อาหาร ที่มีส่วนผสมของเมล็ดกัญชง น้ำมันจากเมล็ดกัญชง หรือโปรตีนจากเมล็ดกัญชง [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 22 สิงหาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://ratchakitcha2.soc.go.th/pdfdownload/?id=17159442>
- [7] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศ (ฉบับที่ 427) พ.ศ. 2564 เรื่อง ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของส่วนของกัญชาหรือกัญชง [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 22 สิงหาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2564/E/168/T_0022.PDF
- [8] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศ (ฉบับที่ 428) พ.ศ. 2564 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนชนิดสารเตตราไฮโดรแคนนาบินอลและสารแคนนาบินโดล [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 22 สิงหาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2564/E/168/T_0025.PDF
- [9] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศ (ฉบับที่ 429) พ.ศ. 2564 เรื่อง ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสารสกัดแคนนาบินโดลเป็นส่วนประกอบ [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 22 สิงหาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://ratchakitcha2.soc.go.th/pdfdownload/?id=138D198S00000000000900>
- [10] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศ (ฉบับที่ 438) พ.ศ. 2565 เรื่อง ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของส่วนของกัญชาหรือกัญชง (ฉบับที่ 2) [อินเทอร์เน็ต]. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 21 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://ratchakitcha2.soc.go.th/pdfdownload/?id=139D251S00000000003100>
- [11] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศ (ฉบับที่ 439) พ.ศ. 2565 เรื่อง ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสารสกัดแคนนาบินโดลเป็นส่วนประกอบ (ฉบับที่ 2) [อินเทอร์เน็ต]. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 21 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://ratchakitcha2.soc.go.th/pdfdownload/?id=139D251S00000000003400>

- [12] Vaclavik L, Benes F, Fenclova M, Hricko J, Krmela A, Svobodova V, et al. Quantitation of cannabinoids in cannabis dried plant materials, concentrates, and oils using liquid chromatography–diode array detection technique with optional mass spectrometric detection: Single-laboratory validation study, first action 2018.11. J AOAC Int. 2019;102:1822–33.
- [13] AOAC International. Cannabinoids in cannabis sativa dried flowers and oils. AOAC Official Method 2018.10. Newyork: AOAC Publication; 2020.
- [14] AOAC International Standard method performance requirements (SMPRs) for quantitation of cannabinoids in cannabis concentrates. AOAC SMPR® 2017.001 [Internet]. 2017 [cited 2022 Aug 24]. Available from: https://www.aoac.org/wp-content/uploads/2020/11/SMPR202017_001.pdf
- [15] AOAC International. Standard method performance requirements (SMPRs) for quantitation of cannabinoids in dried plant materials. AOAC SMPR® 2017.002 [Internet]. 2017 [cited 2022 Aug 24]. Available from: https://www.aoac.org/wp-content/uploads/2020/11/SMPR202017_002.pdf
- [16] Mcrae G, Melanson JE. Quantitative determination and validation of 17 cannabinoids in cannabis and hemp using liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Anal Bioanal Chem. 2020;412:7381-93.
- [17] Christinat N, Savoy MC, Mottier P. Development, validation and application of a LC-MS/MS method for quantification of 15 cannabinoids in food. Food Chem. 2020;318:126469.
- [18] สกุลรัตน์ สมสันติสุข, อัจฉรี อินแก้ว, เสาวณีย์ วาจาสิทธิ์, สุวิมล หมวดหมีะ, ภัฏญารัตน์ เชื้อกุลชาติ, วิทวัส วังแก้วหิรัญ, และคณะ. การพัฒนาและทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารกลุ่มแคนนาบินอยด์ในน้ำมันมะพร้าว โดยเทคนิค LC-MS/MS. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2564;63:556–70.
- [19] Pisciotto IDM, Guadagnuolo G, Soprano V, Esposito M, Gallo P. A survey of Δ^9 -THC and relevant cannabinoids in products from the Italian market: A study by LC–MS/MS of food, beverages and feed. Food Chem. 2021;346:128898.
- [20] Meng Q, Buchanan B, Zuccolo J, Poulin MM, Gabriele J, Baranowski DC. A reliable and validated LC-MS/MS method for the simultaneous quantification of 4 cannabinoids in 40 consumer products. PloS One. 2018;13:e0196396.
- [21] AOAC International. Quantitation of cannabinoids in Cannabis dried plant materials, concentrates, and oils. AOAC Official Method 2018.11. New York: AOAC Publication; 2020.
- [22] Magnusson B, Örnemark U, editors. Eurachem guide: The fitness for purpose of analytical methods – A laboratory guide to method validation and related topics. 2nd ed. [place unknown]: [publisher unknown]; 2014.
- [23] European Commission. Commission decision of 12 August 2002 implementing council directive 96/23/EC concerning the performance of analytical methods and the interpretation of results (2002/657/EC) [Internet]. 2002 [cited 2022 Aug 24]. Available from: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ed928116-a955-4a84-b10a-cf7a82bad858/language-en>

The background is a solid medium blue. It is decorated with several large, light blue, organic, wavy shapes that resemble cells or fluid droplets. Inside some of these larger shapes and scattered elsewhere are smaller circles, each composed of many fine, concentric rings, creating a ripple effect.

2

การพัฒนาวัสดุอ้างอิงรับรองสำหรับ การวัดปริมาณธาตุบางชนิดในผงฟ้าทะลายโจร

Development of Thailand reference material for determining some
elements in green chiretta (*Andrographis paniculata*) powder

2

อุษณา ลี้เกรียงไกร¹, นันทน์ภัส ลายทิพย์¹, สุทธินันท์ แท้บรรพกุล¹, นงลักษณ์ ตั้งไพศาลกุล¹

Usana Leekriangkrai¹, Nunnapus Laitip¹, Sutthinun Taebunpakul¹, Nongluck Tangpaisarnkul¹

รับบทความ: 26 ธันวาคม 2565 แก้ไขบทความ: 8 กุมภาพันธ์ 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 20 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) ได้พัฒนาวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Material, CRM) หรือชื่อทางการค้าคือ Thailand Reference Material (TRM) สำหรับการวัดปริมาณธาตุบางชนิดในผงฟ้าทะลายโจรขึ้น เพื่อช่วยสนับสนุนการวิเคราะห์หัตถ์วัตถุและผลิตภัณฑ์สมุนไพรให้มีความถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือโดยสามารถสอบย้อนกลับได้ทางมาตรวิทยาซึ่ง มว. ได้รับการยอมรับในระดับสากลจากการประกาศความสามารถทางด้านการวัด Calibration and Measurement Capability (CMC) บนเว็บไซต์ของ International Bureau of Weight and Measures (BIPM) จากการเข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างประเทศในรายการต่าง ๆ เช่น CCQM-K89 เป็นต้น ทำให้ผลการวัดโลหะหนักในสมุนไพรมีความน่าเชื่อถือในระดับนานาชาติ ดังนั้น มว. จึงอาศัยความสามารถดังกล่าวให้ค่าอ้างอิง (Certified value) และค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement uncertainty) ใน TRM-F-2006 สำหรับธาตุ As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Pb และ Zn รวมถึงให้ค่าเพื่อเป็นข้อมูล (Information value) สำหรับธาตุ Hg และ Na ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ ID-ICP-MS, GSA-ICP-MS, GSA-ICP-OES, Ext-ICP-MS และ Ext-ICP-OES โดย TRM-F-2006 ที่พัฒนาขึ้นนี้มีกระบวนการผลิตเป็นไปตามมาตรฐานการผลิตวัสดุอ้างอิงรับรองตามระบบคุณภาพ ISO 17034 ซึ่งพบว่าตัวอย่างผงฟ้าทะลายโจรมีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความเสถียรทั้งระยะสั้น และระยะยาว ดังนั้นจึงสามารถนำ TRM-F-2006 ไปใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีทดสอบ รวมถึงนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของห้องปฏิบัติการได้

คำสำคัญ: วัสดุอ้างอิงรับรอง สมุนไพร ฟ้าทะลายโจร ค่าอ้างอิง ค่าความไม่แน่นอนของการวัด

¹สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

Abstract

The certified reference material for determining some elements in green chiretta (*Andrographis Paniculata*) powder has been developed by the National Institute of Metrology (Thailand) (NIMT), which is called Thailand Reference Material (TRM) to support quality control of the traditional herbs and herbal products. NIMT has been recognized for the Calibration and Measurement Capability (CMC) on the International Bureau of Weight and Measures (BIPM) website for participation in the inter-comparison activities of the International Committee for Weights and Measures (CIPM) participated (e.g., CCQM-K89, etc.). Certified values of As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Pb and Zn with their associated uncertainties and information values of Hg and Na were then reasonably obtained. Their property values of TRM-F-2006 were characterized by ID-ICP-MS, GSA-ICP-MS, GSA-ICP-OES, Ext-ICP-MS and Ext-ICP-OES techniques. The TRM-F-2006 regards using valid procedures for homogeneity and stability studies implemented according to the requirement started in ISO 17034 to ensure the quality of CRM. TRM-F-2006 can be used for method validation and quality control purposes.

Keywords: Certified reference material, Herb, Green chiretta, Reference values, Measurement uncertainty

¹ National Institute of Metrology (Thailand)

* Corresponding author e-mail address: usana@nimt.or.th

1. บทนำ (Introduction)

สมุนไพรเป็นสิ่งที่อยู่คู่กับคนไทยมาอย่างยาวนาน เป็นสิ่งที่มีคุณค่าใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ทั้งใช้เป็นส่วนประกอบในอาหาร ยารักษาโรค ป้องกันหรือส่งเสริมสุขภาพ หรือแม้กระทั่งเสริมความงาม ซึ่งภูมิปัญญาเหล่านี้สร้างมูลค่ามหาศาลให้แก่ประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยนั้นตั้งอยู่ในภูมิประเทศและมีภูมิอากาศเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืชสมุนไพร จึงทำให้ประเทศไทยถูกจัดอันดับให้อยู่ในพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพที่มีความสำคัญสูงสุด 8 อันดับแรกของโลก คือมีความหลากหลายของพันธุ์พืชสมุนไพร รัฐบาลจึงกำหนดแผนแม่บทแห่งชาติ ด้านการพัฒนาสมุนไพรไทย ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2560-2564 วิสัยทัศน์ที่ว่าด้วยความมั่นคงทางสุขภาพ และความยั่งยืนของเศรษฐกิจไทย (Thai herbs for health and sustainable economy) เพื่อให้ใน 5 ปีข้างหน้า ประเทศไทยจะเป็นประเทศที่ส่งออกวัตถุดิบสมุนไพรคุณภาพ และผลิตภัณฑ์สมุนไพรชั้นนำของภูมิภาคอาเซียน และมูลค่าของวัตถุดิบสมุนไพรและผลิตภัณฑ์สมุนไพรภายในประเทศเพิ่มขึ้น [1-2] ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์สมุนไพรได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นเรื่อย ๆ และการบริโภคสมุนไพรมีความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น แต่สถานการณ์ปัจจุบันพบว่าอุตสาหกรรมสมุนไพรของไทยยังมีอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจค่อนข้างน้อย เนื่องจากกลไกในการเชื่อมโยงระบบการผลิตตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบสมุนไพร จนถึงการแปรรูปไปเป็นสารสกัด และผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่ยังขาดการพิสูจน์ด้านคุณภาพ และความปลอดภัย ด้วยวิธีที่เป็นมาตรฐาน [3]

โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพ (National Quality Infrastructure, NQI) ทางด้านสมุนไพรจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะนอกจากจะช่วยทำให้แผนแม่บทแห่งชาติบรรลุวัตถุประสงค์แล้ว ยังช่วยสร้างจุดแข็งในเรื่องของการมีมาตรฐาน โดยโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพของประเทศจะช่วยเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของภาคการผลิตและบริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการพัฒนาสินค้าและบริการสู่การมีคุณภาพมีมาตรฐาน และมีความปลอดภัย สามารถตรวจสอบได้ทุกขั้นตอนอย่างเป็นระบบและโปร่งใส ได้รับการรับรองในระดับสากล เพื่อรองรับผลิตภัณฑ์สมุนไพร ผลิตภัณฑ์สร้างความเชื่อมั่นในการผลิต แปรรูป จนกระทั่งการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ และเพื่อให้เกิดการยอมรับผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทยทั้งในประเทศและนานาชาติ

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในตัวอย่างสมุนไพรให้มีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้วัสดุอ้างอิงรับรองที่ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับสากล ซึ่งวัสดุอ้างอิงรับรองส่วนใหญ่ผลิตมาจากสถาบันมาตรวิทยาที่มี

ชื่อเสียงระดับโลก ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้ใช้ระยะเวลาในการขนส่งค่อนข้างนาน และมีราคาสูง มว. เล็งเห็นความสำคัญของการวัดที่ถูกต้องของธาตุในสมุนไพร จึงดำเนินการพัฒนาวัสดุอ้างอิงรับรองสำหรับการวัดปริมาณธาตุในผงฟ้าทะลายโจร เนื่องจากฟ้าทะลายโจรเป็นสมุนไพรที่ถูกบรรจุอยู่ในบัญชียาหลักแห่งชาติ เป็นสมุนไพร Product champion ในมิติด้านความต้องการตามแผนแม่บทแห่งชาติ และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ดังนั้น มว. จึงได้พัฒนาวัสดุอ้างอิงรับรองสำหรับวัดปริมาณธาตุในผงฟ้าทะลายโจรขึ้นมา ภายใต้โครงการพัฒนาฐานข้อมูล และแหล่งเรียนรู้โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพ (National Quality Infrastructure, NQI) และต้นแบบการใช้ประโยชน์ NQI ในการยกระดับคุณภาพของข้าว และสมุนไพรระดับชุมชน ซึ่งได้รับทุนจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) เพื่อช่วยสนับสนุนการวิเคราะห์หัตถุติบและผลิตภัณฑ์สมุนไพรให้มีความถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือสามารถสอบย้อนกลับได้ทางมาตรวิทยา ซึ่ง มว. ได้รับการยอมรับในระดับสากลจากการประกาศความสามารถทางด้านการวัด CMC บนเว็บไซต์ของ BIPM จากการเข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างประเทศในรายการต่าง ๆ ทำให้ผลการวัดโลหะหนักในสมุนไพรมีความน่าเชื่อถือในระดับนานาชาติ โดยกระบวนการผลิต TRM นั้นเป็นไปตามมาตรฐานการผลิตวัสดุอ้างอิงรับรองตามระบบคุณภาพ ISO 17034 สามารถนำ TRM ไปใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีทดสอบ รวมถึงนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของห้องปฏิบัติการได้ รวมทั้งยังช่วยให้ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบสมุนไพรในประเทศไทยมีแหล่งข้อมูลอ้างอิงรับรองภายในประเทศ ในราคาที่เหมาะสม ลดระยะเวลาในการขนส่งจากต่างประเทศ ทำให้ผลการวัดจากห้องปฏิบัติการนั้น ๆ มีความถูกต้อง ซึ่งจะส่งผลให้มีการผลิตสมุนไพรที่มีคุณภาพ และปลอดภัยสู่ท้องตลาดต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

วัสดุอ้างอิงรับรองสำหรับวัดปริมาณธาตุในผงฟ้าทะลายโจร (TRM-F-2006) ที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์หัตถุติบเคมี สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติพัฒนาขึ้นมานั้น ได้ทำการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity study) และความเสถียร (Stability study) ตามเกณฑ์และมาตรฐานของการผลิตวัสดุอ้างอิงรับรองตามระบบคุณภาพ ISO 17034 [4] ซึ่งใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานประมาณ 2 ปี (ตุลาคม พ.ศ. 2563 - กันยายน พ.ศ. 2565)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 Sieve shaker (Retsch, model AS 300, Germany)

- 2.1.2 Test sieve 90 μm (Retsch, model ASTM E11-95, Germany)
- 2.1.3 Sample divider (Retsch, model PT100, Germany)
- 2.1.4 เครื่องย่อยตัวอย่าง (Anton Paar, Multiwave 7000, Austria)
- 2.1.5 ICP-MS (Agilent, 8800 Triple Quad, USA)
- 2.1.6 ICP-OES (PerkinElmer, AVIO 500, USA)
- 2.1.7 HR-ICP-MS (Thermo Fisher Scientific, Element XR, USA)
- 2.1.8 ขวดพลาสติกสีชา (HDPE amber 125 mL, Nalgene, USA)

2.2 สารเคมี

- 2.2.1 Arsenic (NIST SRM3103a, USA)
- 2.2.2 Cadmium (NIST SRM3108, USA)
- 2.2.3 Calcium (NIST SRM3109a, USA)
- 2.2.4 Chromium (NIST SRM3112a, USA)
- 2.2.5 Copper (NIST SRM3114, USA)
- 2.2.6 Iron (NIST SRM3126a, USA)
- 2.2.7 Lead (NIST SRM3128, USA)
- 2.2.8 Magnesium (NIST SRM3131a, USA)
- 2.2.9 Manganese (NIST SRM3132, USA)
- 2.2.10 Mercury (NIST SRM3133, USA)
- 2.2.11 Nickel (NIST SRM3136, USA)
- 2.2.12 Phosphorus (NIST SRM3139a, USA)
- 2.2.13 Phosphorus (Inorganic Ventures CGP1, USA)
- 2.2.14 Rhodium (NIST SRM3144, USA)
- 2.2.15 Sodium (Inorganic Ventures CGNA1, USA)
- 2.2.16 Yttrium (NIST SRM3167a, USA)
- 2.2.17 Zinc (NIST SRM3168a, USA)
- 2.2.18 Elements in pine needle (NIST SRM1575a, USA)
- 2.2.19 Elements in spinach leaves (NIST SRM1570a, USA)
- 2.2.20 Nitric acid (65% HNO_3 Suprapur grade, Germany)
- 2.2.21 Hydrofluoric acid (40% HF Suprapur grade, Germany)
- 2.2.22 Hydrogen peroxide (30% H_2O_2 Suprapur grade, Germany)

2.3 วิธีดำเนินงาน

- 2.3.1 การเตรียมตัวอย่างผงฟ้าทะเลลายโจร

- ชั่งผงฟ้าทะเลลายโจรจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบสมุนไพรไทย 10 กิโลกรัม และทำการผสมผงฟ้าทะเลลายโจรทั้งหมดเข้าด้วยกันในถุงพลาสติกใบใหญ่ จากนั้นทำการแยกขนาดอนุภาคผงฟ้าทะเลลายโจรด้วยตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 90 ไมโครเมตร และผสมเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมตัวอย่าง (Roller mixer) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ และนำผงฟ้าทะเลลายโจร 7 ตัวอย่างมาทำการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันในเบื้องต้น พบว่ามีความเป็นเนื้อเดียวกัน

- ให้เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample divider) ซึ่งจะมีการหุ่ยตัวอย่างผงฟ้าทะเลลายโจรอย่างต่อเนื่อง ให้มีการบรรจุลงในขวดแก้ว Pyrex ที่ใช้รองรับ จนกระทั่งได้ตัวอย่างมาบรรจุในขวดพลาสติกสีชา (ซึ่งผ่านการทำความสะอาดโดยการล้างน้ำ DI (Deionized) 1 รอบ จากนั้นทำการแช่ 10% HNO_3 เป็นเวลามากกว่า 24 ชั่วโมง และล้างด้วยน้ำ DI อีก 3 รอบ) จำนวน 337 ขวด โดยบรรจุขวดละ 25 กรัม

- นำตัวอย่างผงฟ้าทะเลลายโจร 337 ขวด ไปฉายรังสีแกมมา 20 kGy เพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ และเป็นการยืดอายุการใช้งานของวัสดุอ้างอิงรับรอง

- ศึกษาความชื้น โดยนำตัวอย่างผงฟ้าทะเลลายโจร 0.5 กรัม ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง หรือนำไปทำการ Freeze dry ที่อุณหภูมิ -5 $^{\circ}\text{C}$, ความดัน 13.3 Pa เป็นเวลา 20 ชั่วโมง แล้วใส่ไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccator) ที่บรรจุซิลิกาเจล (Silica gel) จนอยู่ในสภาวะสมดุลแล้วจึงชั่งน้ำหนัก โดยผลที่ได้ คือ ความชื้นในตัวอย่างผงฟ้าทะเลลายโจรเท่ากับ 2.06%

2.3.2 การศึกษาปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสม (Sample intake study) (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 3.1.1)

2.3.3 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity studies) (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 3.1.2)

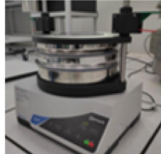
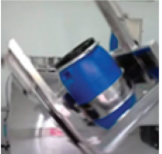
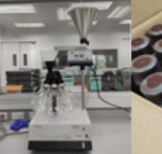
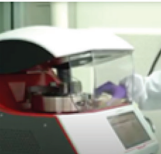
2.3.4 การศึกษาความเสถียร (Stability studies) (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 3.1.3)

- การศึกษาความเสถียรระยะสั้นของวัสดุอ้างอิง (Short-term stability study)

- การศึกษาความเสถียรระยะยาวของวัสดุอ้างอิง (Long-term stability study)

2.3.5 วิเคราะห์ตัวอย่างฟ้าทะเลลายโจร (Characterization) (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 3.1.4)

2.3.6 การให้คำรับรองแก่วิสดูอ้างอิง (Certification) (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 3.1.5)

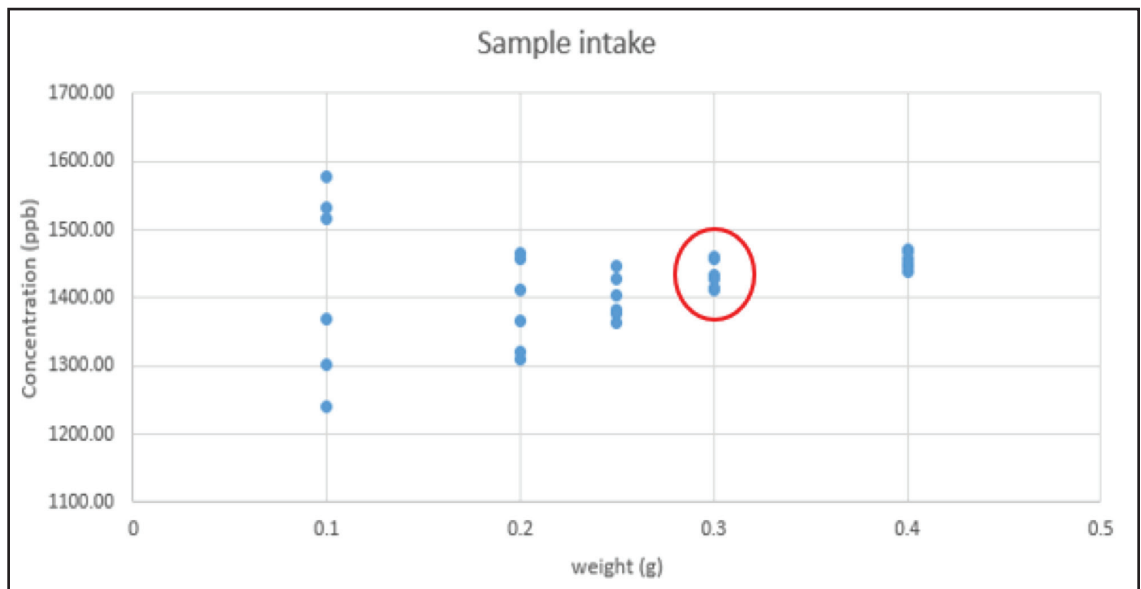
1 เลือกวัตถุดิบ  - ซ้อมผงฟ้าทะลายโจรจากห้องตลาด - Screening test	2 ร่อน  - Sieve (ขนาดอนุภาค < 90 μm)	3 ผสม  - ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน	4 บรรจุขวด  - บรรจุลงในขวดสีชาโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง	5 ฉายรังสี  - ฉายรังสีแกมมา (20 kGy)	6 ศึกษาความชื้น  - Oven 80 °C - Freeze dryer
7 ศึกษาปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสม  - ปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสมคือ 0.30 กรัม	8 ศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน  - Systematic random (n=11) - Evaluation (ANOVA: Single factor statistical test)	9 ศึกษาความเสถียร  - Short term stability study (at 45°C) - Long term stability study (≥ 12 months, Isochronous method)	10 วิเคราะห์และให้ค่าอ้างอิง  - ID-ICP-MS - GSA-ICP-MS, GSA-ICP-OES - Ext-ICP-MS, Ext-ICP-OES	TRM  - Certified value for 12 elements - Information value for 2 elements	

รูปที่ 1 ขั้นตอนการพัฒนาวัสดุอ้างอิงรับรองปริมาณธาตุในผงฟ้าทะลายโจร

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 การศึกษาปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสม (Sample intake study)

การศึกษาปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสม ทำโดยนำตัวอย่างปริมาณ (0.1, 0.2, 0.25, 0.30 และ 0.40) กรัม เติม HNO_3 5 mL และ HF 0.1 mL แล้วทำการย่อยด้วยเครื่อง Microwave digester จากผลการทดลองพบว่าปริมาณตัวอย่างน้อยกว่า 0.30 กรัม ทำให้ผลการวัดไม่ค่อยมีความน่าเชื่อถือเนื่องจากมีความแม่นยำน้อย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation : RSD) % เกินเกณฑ์ที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์หอนินทรีย์ยอมรับ คือ มากกว่า 5% และตัวอย่าง ไม่น้อยกว่า 0.30 กรัม เป็นปริมาณตัวอย่างเพียงพอที่ทำให้ผลการวัดที่มีความแม่นยำ และมีความถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลการศึกษาปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสม

3.2 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน

หลังจากการฉายรังสีแกมมา เพื่อตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุอ้างอิงทั้งหมด โดยยึดตามเอกสาร ISO 17034 ได้มีการสุ่มตัวอย่างของวัสดุอ้างอิงแต่ละชุดจำนวน 11 ขวด โดยวัดขวดละ 2 ข้ำ แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค External calibration ICP-MS โดยใช้สถิติ ANOVA ในการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน ผลการทดสอบโดยใช้ (a) Cochran's test และ (b) One-Way ANOVA (F-test) พบว่าตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดย

(a) Outliers ใช้สมการ Cochran's test; None เมื่อ $R/R_{total} < \text{Cochran critical value}$

(b) การประเมิน ANOVA ด้วย F-test สำหรับระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$); Pass เมื่อ $F\text{-value} < F\text{-critical}$

S_{bb} = The between unit standard deviation

S_r = The repeatability standard deviation

u_{homo} = Standard uncertainty between unit variation

$\%u_{homo}$ = Percent of standard uncertainty

เมื่อพบว่าวิธีการวัดให้ Sufficient repeatability ความไม่แน่นอนจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จะประเมินได้จาก Between-bottle variance โดยผลจาก Within-bottle homogeneity effects ถือว่าน้อยมาก โดยสามารถประเมินได้ ดังสมการที่ 1

$$u_{homo} = S_{bb} = \sqrt{\frac{MS}{n_0}} \quad (1)$$

แต่หากพบว่าวิธีการวัดให้ Insufficient repeatability อิทธิพลของ Repeatability standard deviation ต่อ S_{bb} (Variation between units) จะสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$u_{homo} = S_{bb} = \sqrt{\frac{MS_{within}}{n}}^4 \sqrt{\frac{2}{vMS_{within}}} \quad (2)$$

โดย MS_{within} เทียบเท่ากับ Repeatability variance ของการวัดที่ใช้ในการศึกษา Between-bottle homogeneity study ซึ่งผลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน

Elements	Instrument	S_{bb} (mg/kg)	$S_{r\ homo}$ (mg/kg)	$\%u_{homo}$ (mg/kg)	$\%u_{homo}$
As	ICP-MS	0.000	0.044	0.021	1.50%
Ca	ICP-OES	177	457	211	0.97%
Cd	ICP-MS	0.0028	0.0023	0.0011	2.3%
Cr	ICP-MS	0.000	0.063	0.029	2.3%
Cu	ICP-MS	0.0037	0.1368	0.0632	1.1%
Fe	ICP-MS	13.7	20.7	9.6	1.7%
Mg	ICP-OES	28.7	91.2	42.1	0.7%
Mn	ICP-OES	0.158	0.697	0.338	0.6%
Ni	ICP-MS	0.034	0.051	0.024	2.0%
P	ICP-OES	25.9	5.1	2.4	1.0%
Pb	ICP-MS	0.020	0.015	0.007	2.0%
Zn	ICP-MS	0.000	0.751	0.347	1.0%
Hg	ICP-MS	0.0004	0.0006	0.0004	2.7%
Na	ICP-OES	1.06	1.22	0.56	0.5%

3.3 การศึกษาความเสถียร (Stability studies)

3.3.1 การศึกษาความเสถียรระยะสั้นของวัสดุอ้างอิง (Short-term stability)

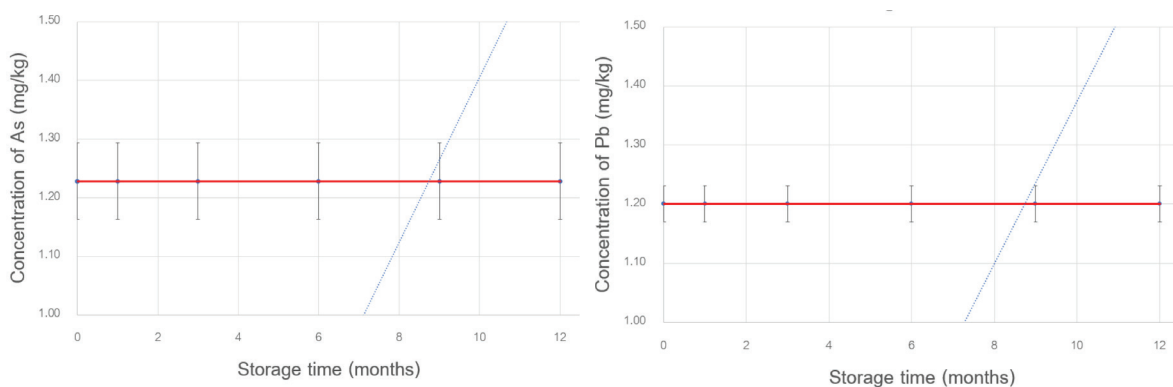
การศึกษาความเสถียรระยะสั้นของวัสดุอ้างอิงนั้นใช้ Isochronous scheme โดยเก็บตัวอย่างผงฟ้าทะลายโจรที่อุณหภูมิต่าง ๆ เพื่อจำลองสภาวะอุณหภูมิจากการขนส่งที่จะมีผลต่อปริมาณธาตุต่าง ๆ ในการประเมินเสถียรภาพของค่าปริมาณธาตุในตัวอย่างผงฟ้าทะลายโจร ได้แก่ การเก็บที่อุณหภูมิ $(22\pm3)^{\circ}\text{C}$ และ 45°C เป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 สัปดาห์ โดยใช้อุณหภูมิอ้างอิงที่ 4°C จากนั้นวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมดพร้อมกันด้วยเทคนิค External calibration ICP-MS และ ICP-OES ภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน (Repeatability condition) จะสามารถลดผลกระทบที่อาจเกิดจากความไม่คงที่ของการตอบสนองของเครื่องมือ วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์ จากการประเมินทางสถิติ [4] (สมการที่ 3) พบว่าผลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมี Short-term stability เนื่องจากเสถียรภาพของธาตุทางอนินทรีย์เคมี จึงอนุมานจากกรณีศึกษาดังกล่าวถึงการมีเสถียรภาพของวัสดุอ้างอิงระยะสั้นที่ดี โดยสามารถละทิ้งความไม่แน่นอนนี้ได้

$$t_{bl} = \frac{|b|}{s(bI)} \quad (3)$$

โดย $t_{bl} < t_{crit} = \text{Stable}$

3.3.2 การศึกษาความเสถียรระยะยาวของวัสดุอ้างอิง (Long-term stability)

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อนินทรีย์เคมีได้ทำการเลือกสุ่มตัวอย่างผงฟ้าทะลายโจร จำนวน 2 ขวดไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ $(22\pm3)^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 1, 3, 6, 9 และ 12 เดือนตามลำดับ พบว่าผลการวัดปริมาณธาตุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างผงฟ้าทะลายโจรที่อุณหภูมิ $(22\pm3)^{\circ}\text{C}$ ไม่ส่งผลกระทบต่อระดับความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ซึ่งกราฟของทุก ๆ ธาตุมีลักษณะเป็นไปในทางเดียวกัน คือ ไม่มีแนวโน้ม (Trend) ของผลการวิเคราะห์เกิดขึ้น ยกตัวอย่างกราฟของธาตุ As โดยใช้เทคนิค GSA-ICP-MS และ Pb โดยใช้เทคนิค ID-ICP-MS เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3 และผลการศึกษาคความเสถียรระยะยาว แสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 3 ความเสถียรระยะยาวของ As และ Pb ในตัวอย่างผงฟ้าทะลายโจร

โดย u_{ls} ได้จากผลการศึกษาคความเสถียรในระยะยาว โดยใช้ Trend analysis ดังสมการที่ 4

$$u_{ls} = s_b X_{ub} \quad (4)$$

s_b = ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอย (Standard error of the slope)

X_{ub} = ระยะเวลาที่ให้ค่าอ้างอิง (Time)

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาค่าความเสถียรในระยะยาว

Elements	u_{ls} (mg/kg)	% u_{ls}	Elements	u_{ls} (mg/kg)	% u_{ls}
As	0.03	2.0%	Mn	1.32	2.4%
Ca	486	2.4%	Ni	0.04	2.4%
Cd	0.003	2.5%	P	20.5	0.8%
Cr	0.021	1.7%	Pb	0.02	1.9%
Cu	0.12	2.2%	Zn	0.20	0.7%
Fe	5.0	0.8%	Hg	0.0008	5.0%
Mg	146	2.6%	Na	3.00	1.5%

3.4 วิเคราะห์ตัวอย่างฟ้าทะลายโจร (Characterization)

ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในผงฟ้าทะลายโจรนั้น ได้นำตัวอย่างผงฟ้าทะลายโจรมา 0.30 กรัม เติม HNO_3 5 mL และ HF 0.1 mL แล้วทำการย่อยด้วยเครื่อง Microwave digester ในแต่ละขั้นตอนการวิเคราะห์ มีการใช้ QC sample ได้แก่ NIST SRM 1575a (Trace elements in pine needles) และ NIST SRM 1570a (Trace elements in spinach leaves) ด้วย ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณในตัวอย่างฟ้าทะลายโจรโดยเทคนิคต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณในตัวอย่างฟ้าทะลายโจรโดยเทคนิคต่าง ๆ

Elements	Mass fraction (mg/kg)	u_{char} (mg/kg)	Analytical method ^(a)
As	1.28	0.02	A), B), C)
Ca	20,231	199	A), C), D), E)
Cd	0.141	0.0005	A), B), C), F), G), H)
Cr	1.25	0.0005	A), C), F), G)
Cu	5.64	0.05	A), B), C), G)
Fe	659	8.6	A), C), G)
Mg	5,616	77	A), D)
Mn	54.4	0.75	A), C), D), E)
Ni	1.60	0.02	C), F), G)
P	2,726	32.9	A), B), E)
Pb	1.23	0.006	A), F), G)
Zn	30.9	0.20	A), C), F), G)
Hg	0.017	0.0005	G)
Na	200	2.44	B), D)

^(a) Analytical method คือ วิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในผงฟ้าทะลายโจร

- A) Gravimetric standard addition-inductively coupled plasma-(quadrupole) mass spectrometry (GSA-ICP-(Q)MS)
- B) Gravimetric standard addition-inductively coupled plasma-(high resolution) mass spectrometry (GSA-ICP-(HR)MS)

- C) Gravimetric standard addition-inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (GSA-ICP-OES)
- D) External calibration analysis-inductively coupled plasma-(quadrupole) mass spectrometry (Ext-ICP-(Q) MS)
- E) External calibration analysis-inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (Ext-ICP-OES)
- F) Isotope dilution-inductively coupled plasma-(quadrupole) mass spectrometry (ID-ICP-(Q)MS)
- G) Isotope dilution-inductively coupled plasma-(high resolution) mass spectrometry (ID-ICP-(HR)MS)
- H) External calibration analysis-inductively coupled plasma-(high resolution) mass spectrometry (Ext-ICP-(HR)MS)

ทั้งนี้ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์หอนินทรีย์เคมียังได้เข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัดปริมาณธาตุในตัวอย่างไม่หลากหลาย เพื่อแสดงความสามารถในการวัดในรายการต่าง ๆ ได้แก่ CCQM-K89 [5], CCQM-K108.2014 [6], CCQM-K125 [7], CCQM-K145 [8], APMP.QM-S17 [9], SIM.QM-S10 [10], CCQM-K128 [11] เป็นต้น ซึ่งเมทริกซ์ในตัวอย่างไม่เหล่านี้ค่อนข้างมีความซับซ้อนเทียบเท่าหรือมากกว่าผงฟ้าทะลายโจร หากแสดงความสามารถของการวัดธาตุต่าง ๆ ในเมทริกซ์เหล่านี้ได้ ย่อมมีความสามารถในการวัดปริมาณธาตุในผงฟ้าทะลายโจรได้ โดยการวัดทั้งหมดใช้หลักการ Exact matching double ID-ICP-MS [12] ซึ่งเป็นเทคนิคการวัดที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลว่าเป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูง สามารถสอบย้อนกลับไปยัง International System of Units (SI units) ได้โดยตรง ยกเว้น As และ Mn เนื่องจากเป็น Mono-isotope ไม่สามารถใช้ IDMS ได้ จึงใช้เทคนิค GSA ในการวัดปริมาณธาตุ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์หอนินทรีย์เคมีได้รับการยอมรับว่ามีความสามารถทางด้านการวัดปริมาณแร่ธาตุและโลหะหนักปรากฏบนเว็บไซต์ BIPM โดยผ่านการเข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัด การจัดทำระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025 และการ Peer review โดย Technical expert จากต่างประเทศมาอย่างต่อเนื่อง [13] โดยหลักฐานแสดงความสามารถในการวัดปริมาณธาตุในผงฟ้าทะลายโจรแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 หลักฐานความสามารถในการวัดปริมาณธาตุในผงฟ้าทะลายโจร และการสอบย้อนกลับไปยัง SI units

Elements	Proof of competence	Standard solution	Traceable to SI Unit	หมายเหตุ
As	CMCs*	NIST SRM3103a	✓	-
Ca	CMCs	NIST SRM3109a	✓	-
Cd	CMCs	NIST SRM3108	✓	-
Cr	Self-assessment**	NIST SRM3112a	✓	-
Cu	Accredited	NIST SRM3114	✓	-
Fe	Accredited	NIST SRM3126a	✓	-
Mg	Accredited	NIST SRM3131a	✓	-
Mn	CMCs	NIST SRM3132	✓	-
Ni	Self-assessment	NIST SRM3136	✓	ผ่านการเข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัดในรายการ CCQM-K128
P	Self-assessment	NIST SRM3139a	✓	-
Pb	CMCs	NIST SRM3128	✓	-
Zn	CMCs	NIST SRM3168a	✓	-
Hg	Self-assessment	NIST SRM3133	✓	ผ่านการเข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัดในรายการ APMP.QM-S17
Na	Self-assessment	Inorganic Ventures CGNA1	-	-

*CMCs (Calibration and Measurement Capability); ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์หอนินทรีย์เคมี มีความสามารถทางการวัด เป็นที่ยอมรับในระดับสากลและปรากฏใน CIPM MRA database (KCDB) โดยแสดงหลักฐานบนเว็บไซต์ของ BIPM (หน่วยงานมาตรวิทยาโลก)

** Self-assessment; การจัดทำระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025

3.5 การให้ค่ารับรองแก่วัสดุอ้างอิง (Certification)

ในการให้ค่ารับรองแก่วัสดุอ้างอิงห้องปฏิบัติการใช้วิธีการวิเคราะห์ (Analytical method) ได้แก่ ID-ICP-MS, GSA-ICP-MS, GSA-ICP-OES, Ext-ICP-MS และ Ext-ICP-OES ซึ่งค่ารับรอง (Certified value) ได้มาจาก Weighted mean ใน 3 แหล่งหลัก ๆ ได้แก่ Characterization, Homogeneity และ Long-term stability ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ผลการวัด ทั้งหมดรายงาน On dry mass basis และสามารถสอบย้อนกลับไปยัง SI units ได้ ซึ่งผลแสดงในตารางที่ 5 และเพื่อที่จะ ประเมินความไม่แน่นอนของค่าที่ได้รับการรับรองนี้ จึงได้มีการรวมค่าความไม่แน่นอนดังกล่าวไว้เข้าด้วยกัน ดังสมการ ที่ 5 และ สมการที่ 6

$$u_C = \sqrt{u_{char}^2 + u_{homo}^2 + u_{lts}^2} \quad (5)$$

$$U_{CRM} = 2 * u_C \quad (6)$$

โดย

u_{homo} ได้จากผลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน
 u_{lts} ได้จากผลการศึกษาความเสถียรระยะยาว
 u_{char} ได้จากการสุ่มวิเคราะห์ตัวอย่างผงฟ้าทะเลลายโจร

ตารางที่ 5 ผลการให้ค่าอ้างอิงแก่วัสดุอ้างอิงสำหรับวัดปริมาณธาตุในผงฟ้าทะเลลายโจร (On dry mass basis)

Elements	Mass fraction (mg/kg)	u_{homo} (mg/kg)	u_{lts} (mg/kg)	u_{char} (mg/kg)	u_C (mg/kg)	U_{CRM} (95% CI) (mg/kg)
As ^(a)	1.28	0.02	0.03	0.02	0.04	0.09
Ca ^(a)	20,231	211	486	199	566	1,133
Cd ^(a)	0.141	0.001	0.003	0.0005	0.004	0.008
Cr ^(a)	1.25	0.029	0.021	0.0005	0.036	0.080
Cu ^(a)	5.64	0.06	0.12	0.05	0.147	0.30
Fe ^(a)	659	13.7	5.0	8.6	16.9	34
Mg ^(a)	5,616	42.1	146	77	170	340
Mn ^(a)	54.4	0.34	1.32	0.75	1.56	3.1
Ni ^(a)	1.60	0.03	0.04	0.02	0.05	0.11
P ^(a)	2,726	25.9	20.5	32.9	46.6	94
Pb ^(a)	1.23	0.02	0.02	0.006	0.032	0.07
Zn ^(a)	30.9	0.35	0.20	0.20	0.45	0.9
Hg ^(b)	0.017	0.0004	0.0008	0.0005	0.001	0.003
Na ^(b)	200	0.564	3.00	2.44	3.91	10

(a) Certified values เป็นค่าที่ได้จากการใช้วิธีการวิเคราะห์ 2 หรือมากกว่า 2 วิธีขึ้นไป

(b) Information values เป็นค่าที่ให้ไว้เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้ที่ใช้ที่สนใจ แต่ยังมีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะประเมินความไม่แน่นอน จึงไม่ระบุความไม่แน่นอน

4. สรุป (Conclusion)

กลุ่มงานวิเคราะห์หัตถ์เคมี ฝ่ายมาตรฐานวิทยาเคมีและชีวภาพ สถาบันมาตรฐานแห่งชาติ ผลิตวัสดุอ้างอิงรับรองสำหรับวัดปริมาณธาตุในผงฟ้าทะลายโจร (TRM-F-2006) จำนวน 337 หน่วย โดยได้ทำการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรของวัสดุอ้างอิง รวมถึงได้ให้ค่าอ้างอิงของธาตุ 14 ชนิด โดยแบ่งเป็นค่าอ้างอิง (Certified value) 12 ธาตุ คือ As (1.28 ± 0.09) mg/kg, Ca ($20,231 \pm 1,133$) mg/kg, Cd (0.141 ± 0.008) mg/kg, Cr (1.25 ± 0.08) mg/kg, Cu (5.64 ± 0.30) mg/kg, Fe (659 ± 34) mg/kg, Mg ($5,616 \pm 340$) mg/kg, Mn (54.4 ± 3.1) mg/kg, Ni (1.60 ± 0.11) mg/kg, P ($2,726 \pm 94$) mg/kg, Pb (1.23 ± 0.07) mg/kg และ Zn (30.9 ± 0.9) mg/kg และค่าเพื่อเป็นข้อมูล (Information value) 2 ธาตุ คือ Hg ($0.014-0.020$) mg/kg และ Na (190-210) mg/kg โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ ID-ICP-MS, GSA-ICP-MS, GSA-ICP-OES, Ext-ICP-MS และ Ext-ICP-OES ซึ่งกระบวนการผลิต TRM เป็นไปตามมาตรฐานการผลิตวัสดุอ้างอิงรับรองตามระบบคุณภาพ ISO 17034 สามารถสอบย้อนกลับได้ทางมาตรฐานวิทยา จึงสามารถนำวัสดุอ้างอิงรับรองที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีทดสอบ รวมถึงนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของห้องปฏิบัติการ ซึ่งช่วยทำให้การวิเคราะห์ทดสอบสมุนไพรมีผลการวัดที่มีความถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ผู้สนับสนุนงบประมาณ

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] กระทรวงสาธารณสุข, กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. แผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการพัฒนาสมุนไพรไทย ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2560-2564. นนทบุรี: กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข; 2559. 1-216.
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. แผนปฏิบัติการจัดการความหลากหลายทางชีวภาพ พ.ศ. 2560-2564. กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์ แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด; 2560. 1-122.
- [3] ชนิตรนันท์ สุริยวิทยาเวช. จากยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปีสู่แผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการพัฒนาสมุนไพรไทยด้วยการบูรณาการการศึกษาเกษตร. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม. 2562;18:240-50.
- [4] International Organization for Standardization (ISO). General requirements for the competence of reference material producers. ISO 17034:2016(E). Switzerland: (ISO) [Internet]. 2016 [cited 2017 Aug 10]; Available from: <https://www.iso.org/standard/29357.html>
- [5] Valiente L, Saxby D, Merrick J, Kotzeva BG, Mester Z, Yang L, et al. Final report on CCQM-K89: Trace and essential elements in Herba Ecliptae. Metrologia [Internet]. 2013 [cited 2022 Dec 5]; 50(1A):08003. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0026-1394/50/1A/08003>
- [6] Inagaki K, Narukawa T, Hioki A, Miyashita S, Long SE, Ellisor MB, et al. CCQM-K108.2014: Determination of arsenic species and total arsenic in brown rice flour. Final Report. Japan: National Metrology Institute of Japan (NMIJ); 2017. 20 p.
- [7] Merrick J, Saxby D, Dutra ES, Sena RC, Araujo TO, Almeida MD, et al. CCQM-K125: Elements in infant formula. Final report. Hong Kong: Government Laboratory of the Hong Kong Special Administrative Region (GLHK); 2017. 57 p.
- [8] Jun W, Jingbo C, Chao W, Haifeng L, Qian W, Panshu S, et al. CCQM-K145: Toxic and essential elements in bovine liver. Final report. China: National Institute of Metrology P.R. China (NIM); 2020. 53 p.
- [9] Shin R, Dewi F, Peng SL. APMP.QM-S17: Elements in lipstick material supplementary comparison. Final report. Singapore: Health Sciences Authority (HSA); 2022. 31 p.
- [10] Grinberg P, Mester Z. SIM.QM-S10: Supplementary comparison for trace elements in skim milk powder. Final report. Ottawa: National Research Council Canada (NRC), Metrology; 2021. 57 p.
- [11] Ma L, Wang Q, Wei C, Wong Y, Tang P, Lee H, et al. CCQM-K128: Measurement of heavy metals and organo-tin in leather powder. Final report. China: National Institute of Metrology P.R. China (NIM); 2018. 80 p.

- [12] Mackay LG, Taylor CP, Myors RB, Hearn R, King B. High accuracy analysis by isotope dilution mass spectrometry using an iterative exact matching technique. *Accredit Qual Assur.* 2003;8:191-94.
- [13] Ohata, M. CRM Production and calibration service on inorganic analysis. Report of technical peer review on the National Institute of Metrology Thailand. Japan: National Metrology Institute of Japan (NMIJ); 2021. 10 p.

The background is a solid medium blue. It is decorated with several organic, wavy shapes in a lighter shade of blue. Scattered throughout are numerous concentric circles, also in the lighter shade, some of which are partially obscured by the larger organic shapes. The overall effect is a textured, layered look.

3

การศึกษาสมบัติดินแดงท้องถิ่นจังหวัดนครปฐมเพื่อการผลิตเซรามิก

A study of Nakompathom red clay body for application in ceramic products

3

สุทธิมา ศรีประเสริฐสุข¹, สายจิต ดาวสุโข¹
Sutthima Sriprasertsuk¹, Saijit Daosukho¹

รับบทความ: 7 ธันวาคม 2565 แก้ไขบทความ: 2 มีนาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 16 มีนาคม 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาใช้ดินแดงในท้องถิ่นจังหวัดนครปฐมให้สามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกสโตนแวร์ที่มีความแข็งแรงสูง สามารถขึ้นรูปงานปั้นลอยตัว ทำการเตรียมตัวอย่างดิน ได้แก่ ดินนครปฐม (ดินที่ผ่านการกรองสิ่งเจือปนออก) และ ดินนครปฐมผสมแกลบ (ดินที่มีเศษไม้และรากไม้ปะปนอยู่) นำมาวิเคราะห์ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมบัติกับดินเชิงใหม่ ซึ่งเป็นดินที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ดินทั้ง 3 ชนิดถูกนำไปอัดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานสี่เหลี่ยมก่อนจะนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1005 ถึง 1248 องศาเซลเซียส จากนั้นวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางแร่ธาตุและองค์ประกอบทางเคมี และทดสอบสมบัติทางกายภาพ เช่น สีหลังเผา การหดตัวหลังเผา การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง ความแข็งและอัตราการขยายตัวเมื่อร้อน ผลการศึกษาพบว่า ดินนครปฐมสามารถพัฒนาให้เหมาะสมเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบท้องถิ่นในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกสโตนแวร์ได้ อุณหภูมิที่เหมาะสม ในการเผาอยู่ในช่วง 1105 ถึง 1200 องศาเซลเซียส ซึ่งดินจะมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำต่ำกว่าร้อยละ 3 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสโตนแวร์ สีของดินนครปฐมหลังเผาให้สีน้ำตาลแดง โดยมีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 34.84 20.22 และ 34.81 ตามลำดับ ผลทดสอบเฟสของดินนครปฐมตรงกับเฟสของดินเชิงใหม่ ปรากฏเฟส ควอตซ์ คริสโตบาไลต์ มุลไลต์ และเฮมาไทต์ ดินนครปฐมมีอัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.00 ในขณะที่ดินนครปฐมผสมแกลบมีอัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 10.20 ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐาน ดินนครปฐมมีความแข็งแรงเท่ากับ 39.08 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่าดินเชิงใหม่ที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 22.58 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ดินนครปฐมมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน สูงกว่าเคลือบมาตรฐานเพียงเล็กน้อย เมื่อนำผลิตภัณฑ์เซรามิก ดินนครปฐมที่ผ่านการขึ้นรูปแบบปั้นลอยตัวไปทดลองชุบและเผาเคลือบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีความแข็งแรงสูง ไม่แตกหักเสียหาย สามารถผลิตเป็นเซรามิกสโตนแวร์เพื่อเพิ่มมูลค่าและสร้างอัตลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นจังหวัดนครปฐมได้

คำสำคัญ: ดินแดง สโตนแวร์ เซรามิก นครปฐม

¹ กองเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Abstract

This research aimed to develop red clay body which was used for stoneware production in Nakornpathom province. The body should have high fired strength, closed to the body strength used in current stoneware production which would be strong enough for forming and handling. The research was carried out by a selection of raw materials: Nakornpathom red clay and Sieved-Nakornpathom red clay, compared the results with Chiangmai commercial clay. The clay slap was pressed into the square-shape mold and the green samples were then sintered at a range of 1005 to 1248 °C. Colour, phase information, chemical composition, flexural strength, hardness, water absorption, shrinkage and thermal expansion were determined. The results revealed that the properties of Nakornpathom red clay can be developed for use in the stoneware industry. The water absorption rate of Nakornpathom red clay was less than 3% when applying the appropriate firing temperature between 1105 to 1200 °C. After firing, Nakornpathom clay showed red brown in color (L^* a^* and b^* values were 34.84 20.22 and 34.81, respectively) with water absorption rate of 0.00%. Nakornpathom red clay and Chiangmai commercial clay presented no difference phase composition which contain quartz, cristobalite, mullite and hematite. The flexural strength of Nakornpathom red clay was 39.08 N/mm² which was higher than Chiangmai commercial clay (22.58 N/mm²). The thermal expansion coefficient of the clay body was slightly higher than W31 clear ceramic glaze. The glazing ceramic prototype made from Nakornpathom red clay showed high flexural strength with no visible crack.

Keywords: Red clay, Stoneware, Ceramic, Nakornpathom

¹ Community Technology Division, Department of Science Service

* Corresponding author e-mail address: sutthima@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ผลิตภัณฑ์เซรามิก ประเภทของประดับตกแต่ง ได้รับความนิยมจากตลาดทั่วโลก เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่สร้างรายได้ให้กับประเทศ และมีศักยภาพในการแข่งขันกับนานาชาติได้สูง ผลิตภัณฑ์ประเภทของประดับตกแต่งที่ต้องการความแข็งแรง โดยมากดินที่ใช้จึงต้องมีสมบัติที่ดีเหมาะสมแก่การขึ้นรูปโดยใช้วิธีที่หลากหลาย เช่น การปั้นลอยตัว การหล่อ เป็นต้น เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีสีที่แตกต่างกันตามวัตถุดิบหลักที่ใช้ เช่น ดินแดง ดินขาว และดินดำ ผลิตภัณฑ์เซรามิกดินแดง นิยมผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภท หม้อดิน กระถาง ของตกแต่งสวน และอ่างน้ำ สีของผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะมี สีน้ำตาล สีเทา และสีเหลือง ขึ้นอยู่กับแหล่งดินในท้องถิ่นและความร้อนที่ใช้ในการเผา ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เตาฟืนเพื่อเผาผลิตภัณฑ์ [1-3]

จากการสำรวจแหล่งดินท้องถิ่นจังหวัดนครปฐม ดินแดงนครปฐมจัดเป็นดินทุติยภูมิ (Secondary clay) หาได้ตามพื้นที่ท้องถิ่นทั่วไป [4] และแหล่งดินมีแนวโน้มที่จะใช้สำหรับการผลิตเซรามิกต่อเนื่องได้ไม่ต่ำกว่า 10 ปี ดินแดงท้องถิ่นนครปฐม เมื่อเผาสุกตัวแล้วให้สีของดินเป็นโทนน้ำตาลแดง มีความแกร่ง แต่มีความบริสุทธิ์ต่ำ มีสิ่งเจือปน เช่น รากไม้ และเศษไม้ มีอัตราการหดตัวสูง ทั้งนี้ยังไม่พบการใช้ดินจากแหล่งดินท้องถิ่นจังหวัดนครปฐมในการผลิตเซรามิกมาก่อน ถ้าหากสามารถนำดินชนิดนี้มาผ่านการวิเคราะห์และกำจัดสิ่งเจือปนออกจากเนื้อดิน ปรับปรุงให้เหมาะกับการทำผลิตภัณฑ์เซรามิกสโตนแวร์ ดินชนิดนี้จะมีศักยภาพที่ดีพอที่จะเป็นแหล่งดินท้องถิ่นของจังหวัดได้ กระบวนการทำผลิตภัณฑ์เซรามิกดินแดง โดยทั่วไปมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้ การเตรียมดิน การขึ้นรูป การตกแต่ง การเคลือบ และการเผา จากนั้นทดสอบสมบัติ และควบคุมสมบัติต่าง ๆ เช่น ความแข็งแรง การดูดซึมน้ำให้ได้ตามต้องการ ช่วยลดปัญหาของเสีย ทำให้ลดต้นทุนการผลิตได้ [5-6]

งานวิจัยนี้จึงนำดินแดงท้องถิ่นจังหวัดนครปฐมมาวิเคราะห์และพัฒนาสมบัติ ให้สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกสโตนแวร์ ประเภทของประดับตกแต่งได้ โดยนำตัวอย่างดินท้องถิ่นนครปฐมมาวิเคราะห์ทดสอบ โดยกำหนดให้ดินนครปฐมผสมแกลบ คือ ดินที่นำมาใช้จากแหล่งดินโดยตรงไม่ผ่านการกรองดิน และดินนครปฐม คือ ดินที่ผ่านการกรองสิ่งเจือปนออกแล้ว เปรียบเทียบสมบัติกับดินเชียงใหม่ ซึ่งเป็นแหล่งดินที่มีการใช้ผลิตเซรามิกอย่างแพร่หลายในจังหวัดนครปฐม ทำการศึกษาสีของดิน สมบัติทางแร่วิทยา และองค์ประกอบเคมี ทดสอบการดูดซึมน้ำ การหดตัวหลังเผา ความแข็งแรง ความแข็งและการขยายตัวเมื่อร้อน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาดินท้องถิ่นจังหวัดนครปฐม เป็นการนำทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งพัฒนาคุณภาพ

ผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และสร้างรายได้ให้กับชุมชนต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 วัตถุดิบและการทดสอบสมบัติวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย ดินนครปฐม (ดินจากพื้นที่จังหวัดนครปฐมที่ผ่านการกรองดินด้วยตะแกรงขนาด 60 เมชเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนออก) ดินนครปฐมผสมแกลบ (ดินจากพื้นที่จังหวัดนครปฐมที่ยังมีเศษไม้และรากไม้ปะปนอยู่) และดินเชียงใหม่ (ดินที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์) ดำเนินการทดสอบสมบัติ ดังนี้ ทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของดิน ด้วย X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRF, Bruker S8 Tiger) ทดสอบเฟสของดิน ด้วย X-Ray Diffractometer (XRD, Bruker D8 Advance) ทดสอบความชื้นในดิน ด้วยเครื่อง Moisture analyzer (Sartorius, MA150) และวัดสีของดิน โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (HunterLab, Ultrascan PRO)

2.2 วิธีเตรียมชิ้นทดสอบ

2.2.1 เตรียมดิน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเนื้อดินตัวอย่างต่อน้ำเป็น 1 : 1 เตรียมส่วนผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนนำมาเกรอะในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์พหุภาค นวดส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันบนปูนปลาสเตอร์ และพักเก็บไว้ในถุงที่ปิดมิดชิดทิ้งไว้ 1 คืน ก่อนนำมาอัดขึ้นรูปในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 50x25x10 มิลลิเมตร ทิ้งไว้จนกว่าจะแห้ง (ใช้เวลา 1-2 วัน) จากนั้นนำไปอบที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะได้ชิ้นงานดิบสำหรับการทดสอบต่อไป

2.2.2 เผาชิ้นงานทดสอบด้วยเตาไฟฟ้าแบบไล่อุณหภูมิ (Gradient kiln) ที่ 1005-1248 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการเผา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที ขึ้นไฟ 30 นาที

2.2.3 เผาชิ้นงานทดสอบเพื่อทดสอบความแข็งแรงและความแข็งที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการเผา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที ขึ้นไฟ 30 นาที

2.3 การทดสอบสมบัติหลังเผา

นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาแล้วมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1 การทดสอบหาการดูดซึมน้ำหลังเผา ตามวิธีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 602-2546 [7]

2.3.2 การวัดการหดตัวหลังเผา ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C326-09 [8]

2.3.3 ทดสอบค่าความแข็งแรง (Modulus of Rupture, MOR) ด้วยเครื่อง Universal testing machine (Shimadzu, Autograph AG-X plus) ที่อัตรา 1 มิลลิเมตร/นาที

ใช้ชั้นทดสอบ 5 ชั้นต่อชนิดของดิน

2.3.4 ทดสอบความแข็ง (Vickers hardness) ด้วยเครื่อง Micro hardness tester (Innovatest, Falcon 600)

2.3.5 ทดสอบการขยายตัวเมื่อร้อน (Thermal expansion coefficient, COE) ด้วยเครื่อง Dilatometer (Linseis, DIL L75 PT)

2.4 การทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากเนื้อดินตัวอย่างแบบปั้นลอยตัว โดยใช้ดินนครปฐมและดินนครปฐมผสมเกลบ จากนั้นเผาผลิตภัณฑ์ด้วยเตาแก๊ส ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการชุบเคลือบและเผาด้วยเตาแก๊ส ที่ อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการเผา 2.5 องศาเซลเซียสต่อหน้าที่ ยืนไฟ 30 นาที

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

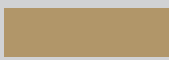
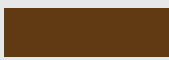
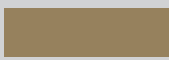
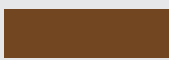
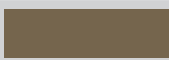
3.1 สีของดินก่อนและหลังเผา

การวัดสี ดินเชิงใหม่ ดินนครปฐม และดินนครปฐมผสมเกลบ ทั้งก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65 ด้วยโหมด MAV (ใช้แทนแสงแดดตอนกลางวัน) ผลการวัดแกน L* บ่งบอกถึง ความสว่าง (Lightness) มี ค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว แกน a* บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*) และแกน b* บรรยาย

แกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึง สีเหลือง (+b*) ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าดินเชิงใหม่หลังเผาให้โทนสีน้ำตาลเข้ม โดยมีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 29.91 19.91 และ 38.70 ตามลำดับ ส่วนดินนครปฐมหลังเผาให้โทนสีน้ำตาลแดง โดยมีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 34.84 20.22 และ 34.81 ตามลำดับดินนครปฐมผสมเกลบหลังเผาให้โทนสีน้ำตาลแดงอ่อน โดยมีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 44.72 17.63 และ 16.75 ตามลำดับ

ขึ้นทดสอบ ดินเชิงใหม่ ดินนครปฐม และดินนครปฐมผสมเกลบ หลังผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 1 ขึ้นทดสอบหลังอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้สีน้ำตาลอ่อน (ดินเชิงใหม่) หรือสีน้ำตาล (ดินนครปฐมและดินนครปฐมผสมเกลบ) ภายหลังจากกระบวนการเผา ดินจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง และสีจะเข้มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น ดินจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงเข้มเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1212 องศาเซลเซียส และดินนครปฐมผสมเกลบพบรอยไหม้บนชิ้นทดสอบ เนื่องจากเผาที่อุณหภูมิสูงเกินไป (Overfired) โดยการไหม้เกิดขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1233 และ 1248 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 ค่าสีของดินก่อนและหลังเผา

ตัวอย่าง		L*avg (±sd)	a* avg (±sd)	b* avg (±sd)	สีของดิน
ดินเชิงใหม่	ก่อนเผา	64.15 (±0.14)	6.19 (±0.03)	32.61 (±0.04)	
	หลังเผา	29.91 (±0.20)	19.91 (±0.14)	38.70 (±0.77)	
ดินนครปฐม	ก่อนเผา	55.54 (±0.43)	5.61 (±0.14)	24.59 (±0.45)	
	หลังเผา	34.84 (±0.37)	20.22 (±0.18)	34.81 (±0.77)	
ดินนครปฐมผสมเกลบ	ก่อนเผา	44.23 (±0.14)	4.04 (±0.02)	18.11 (±0.11)	
	หลังเผา	44.72 (±0.66)	17.63 (±0.13)	16.75 (±0.18)	

อุณหภูมิ (°C)	40	1005	1052	1105	1137	1164	1188	1212	1233	1248
ดินเชียงใหม่										
ดินนครปฐม										
ดินนครปฐมผสมแกลบ										

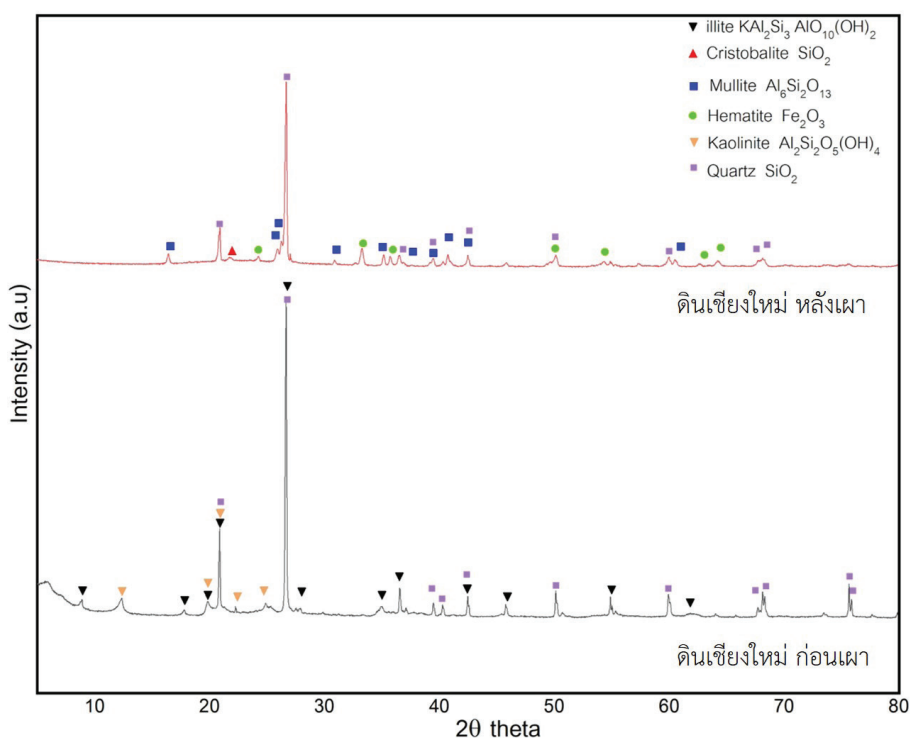
รูปที่ 1 สีของดินก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

3.2 ผลการทดสอบความชื้นในดิน

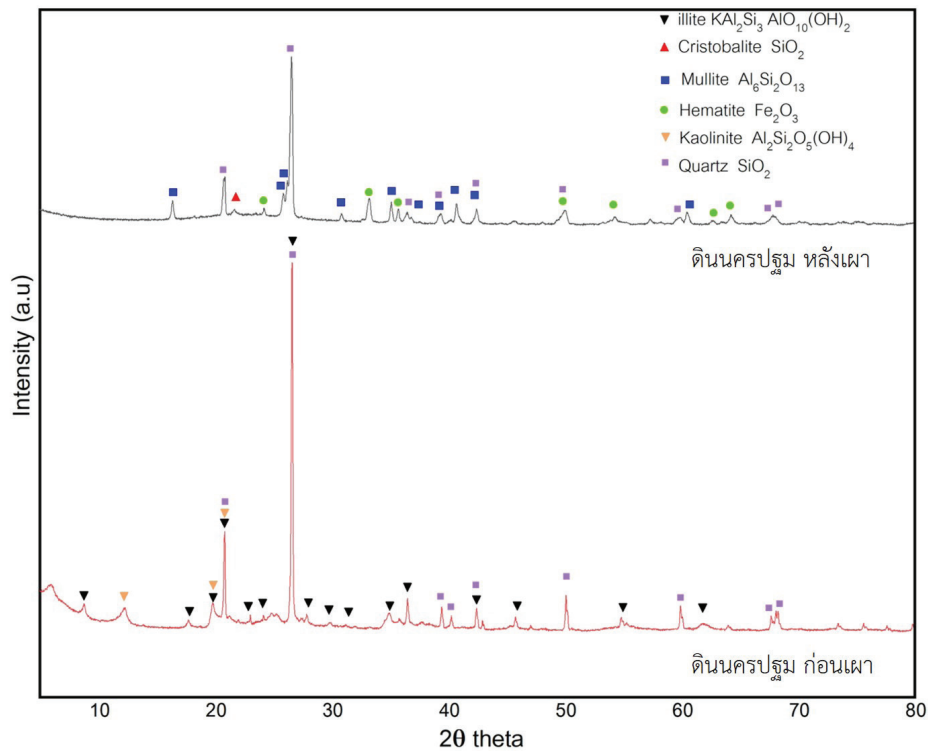
วิเคราะห์หาความชื้นในดินตัวอย่าง โดยการแบ่งดินน้ำหนัก 20 กรัม ทำการวิเคราะห์ความชื้นโดยเครื่องมือ Moisture analyzer (Sartorius, MA 150) ผลวิเคราะห์ความชื้นในดินเชียงใหม่ ดินนครปฐมและดินนครปฐมผสมแกลบ พบว่าความชื้นในดินนครปฐมมีค่าสูงที่สุดร้อยละ 24.95 อันดับถัดมา คือ ดินเชียงใหม่ร้อยละ 22.24 ส่วนดินนครปฐมผสมแกลบให้ค่าความชื้นต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 21.13

3.3 ผลการทดสอบเฟสและองค์ประกอบทางเคมี

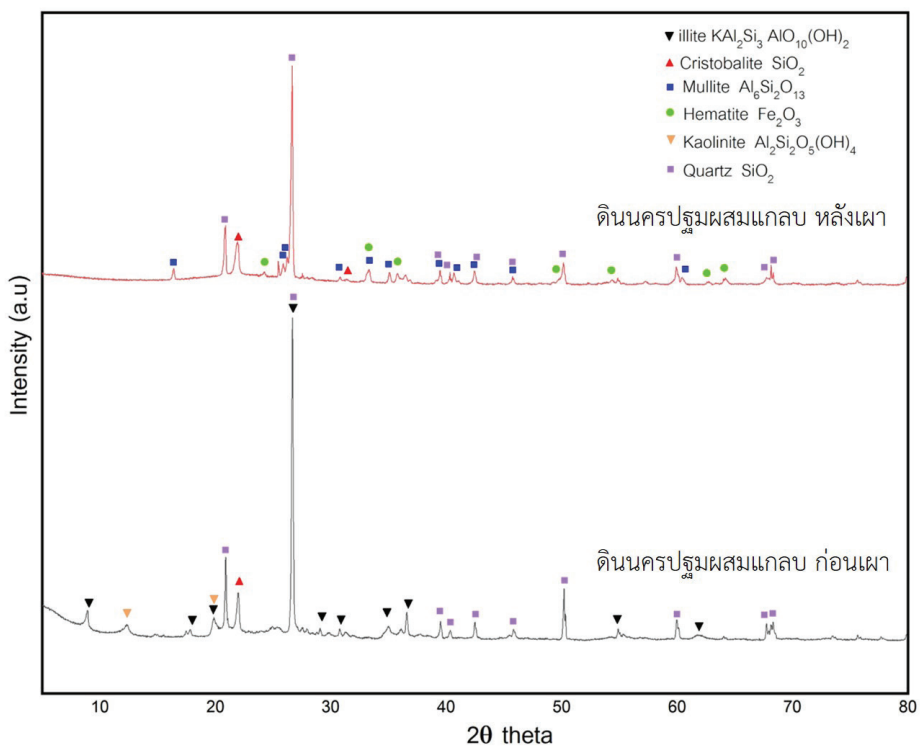
ผลการทดสอบเฟสของดินเชียงใหม่ ดินนครปฐม และดินนครปฐมผสมแกลบ แสดงดังรูปที่ 2 – 4 ตามลำดับ และผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของดิน แสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 เฟสของดินเชียงใหม่



รูปที่ 3 เฟสของดินนครปฐม



รูปที่ 4 เฟสของดินนครปฐมผสมเกลือ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดิน

ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ดินเชิงใหม่		ดินนครปฐม		ดินนครปฐมผสมแกลบ	
	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา
Na ₂ O	0.28	0.26	0.16	0.23	0.36	0.35
MgO	0.83	0.57	1.23	0.88	0.99	0.85
Al ₂ O ₃	17.62	12.59	20.55	16.33	22.26	19.64
SiO ₂	67.10	74.06	63.60	68.72	63.15	64.97
P ₂ O ₅	0.17	0.32	0.10	0.12	0.09	0.10
SO ₃	1.59	0.17	0.03	0.03	0.08	0.02
Cl	0.05	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00
K ₂ O	3.10	3.27	3.07	3.22	2.57	2.83
CaO	0.79	0.76	0.51	0.48	0.89	0.97
TiO ₂	0.95	0.86	1.41	1.30	1.12	1.26
MnO	0.04	0.04	0.13	0.15	0.11	0.14
Fe ₂ O ₃	6.90	7.00	8.53	8.34	7.54	8.98
Rb ₂ O	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03
ZrO ₂	0.03	0.03	0.05	0.05	0.03	0.04
BaO	0.03	0.04	0.09	0.06	0.06	0.08
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02

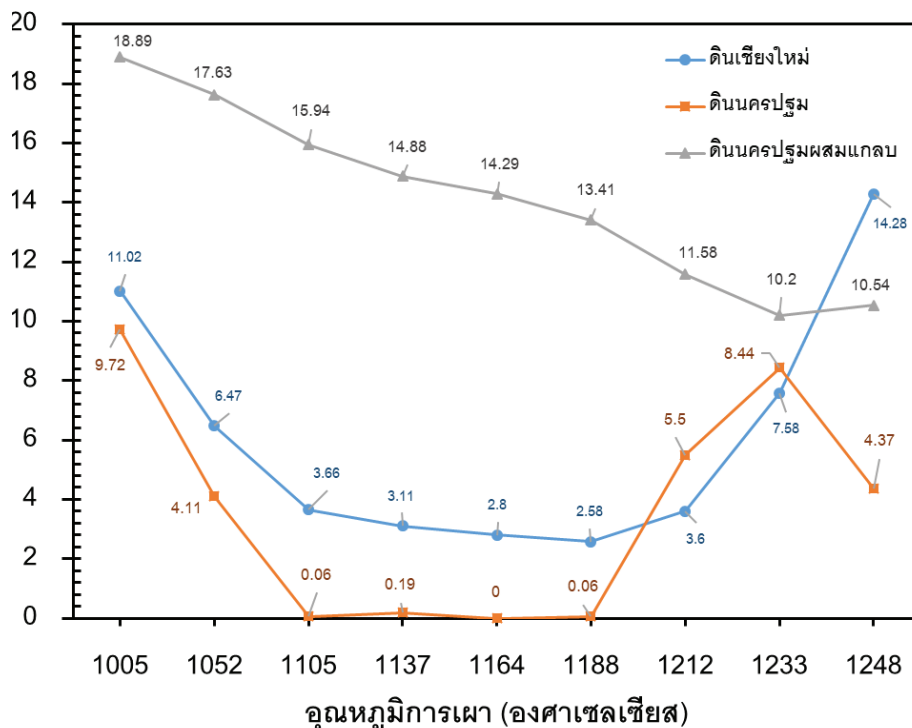
ผลทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของดินเชิงใหม่ ประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ SiO₂ และ Al₂O₃ ร้อยละ 67.10 และ 17.62 ตามลำดับ และมี Fe₂O₃ ร้อยละ 6.90 รวมทั้งมีธาตุแอลคาไล แอลคาไลเอิร์ท ปนอยู่ เช่น Na₂O K₂O CaO และ MgO มีร้อยละปริมาณการสูญเสียหลังเผา (LOI) เท่ากับ 6.91 ภายหลังการเผามีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของ SiO₂ และ Al₂O₃ เป็นร้อยละ 74.06 และ 12.59 ตามลำดับ และมี Fe₂O₃ ร้อยละ 7.00 ในขณะที่ดินนครปฐมประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ SiO₂ และ Al₂O₃ ร้อยละ 63.60 และ 20.55 ตามลำดับ มี Fe₂O₃ ร้อยละ 8.53 และมีค่า LOI เท่ากับร้อยละ 6.27 เมื่อผ่านกระบวนการเผามีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของ SiO₂ และ Al₂O₃ เป็นร้อยละ 68.72 และ 16.33 ตามลำดับ และมี Fe₂O₃ ร้อยละ 8.34 ดินนครปฐมผสมแกลบประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ SiO₂ และ Al₂O₃ ร้อยละ 63.15 และ 22.26 ตามลำดับ มี Fe₂O₃ ร้อยละ 7.54 และมีค่า LOI เท่ากับร้อยละ 8.30 สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีหลังเผาประกอบไปด้วย SiO₂ และ Al₂O₃ ร้อยละ 64.97 และ 19.64 ตามลำดับ และมี Fe₂O₃ สูงขึ้นถึงร้อยละ 8.98 จะเห็นได้ว่าดินทั้ง 3 ชนิด เป็นดินที่มี SiO₂ เป็นองค์ประกอบหลัก และมี Al₂O₃ รองลงมา ดินนครปฐมมีความเหนียวสูงเนื่องจากเม็ดดินเล็ก ความพรุนตัวต่ำ การหดตัวหลังเผาสูง และมีการดูดซึมน้ำต่ำ แต่มีความทนไฟค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีธาตุอื่นเจือปนสูงทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิการเผาสูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์ทดสอบเฟสของดินเชิงใหม่และดินนครปฐม พบว่าเฟสของดินทั้งสองชนิดก่อนเผา มีเฟสของควอตซ์ (SiO₂) เคโอลิไนต์ (Al₂Si₂O₅(OH)₄) และอีลไลต์ (KAl₂Si₂AlO₁₀(OH)₂) ภายหลังกระบวนการเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส ปรากฏเฟส ควอตซ์ คริสโตบาไลต์ (SiO₂) มุลไลต์ (Al₆Si₂O₁₃) และเฮมาไทต์ (Fe₂O₃) เมื่อดินผ่านกระบวนการเผา

ที่อุณหภูมิสูง อนุภาคเกิดการสร้างพันธะเชื่อมต่อกัน เปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของควอตซ์ บางส่วนไปเป็น คริสโตบาไลต์ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของซิลิกา ส่วนเคโอลิไนต์และอิลไลต์ ซึ่งเป็น เฟสของดิน โดยทั่วไปเป็นพวกไฮดรต อะลูมินัส ซิลิเกต (Hydrous aluminous silicate) ที่มักจะมีไอออน (Ions) ของ เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และอื่น ๆ ประกอบอยู่ด้วย หลังจากผ่านกระบวนการเผา เฟสของดินได้ถูกเปลี่ยนเป็นมุลไลต์ การเกิดมุลไลต์ส่งผลให้น้ำเชื่อมที่ความเข้มข้นสูง มีความแข็งแรงสูง มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ และมีความทนทานต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลัน อีกทั้งไอออนของเหล็กที่ประกอบอยู่ในโครงสร้างดิน เมื่อเจอกับออกซิเจนในบรรยากาศภายในเตาระหว่างการเผา เกิดการตกผลึกเป็นเฮมาไทต์ (Fe_2O_3) จึงให้สีแดงของดิน หลังเผา ส่วนเฟสของดินนครปฐมผสมเกลบก่อนเผา พบควอตซ์ คริสโตบาไลต์ เคโอลิไนต์ และอิลไลต์ ภายหลังการเผา ปรากฏเฟส ควอตซ์ คริสโตบาไลต์ มุลไลต์ และเฮมาไทต์ [9]

3.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

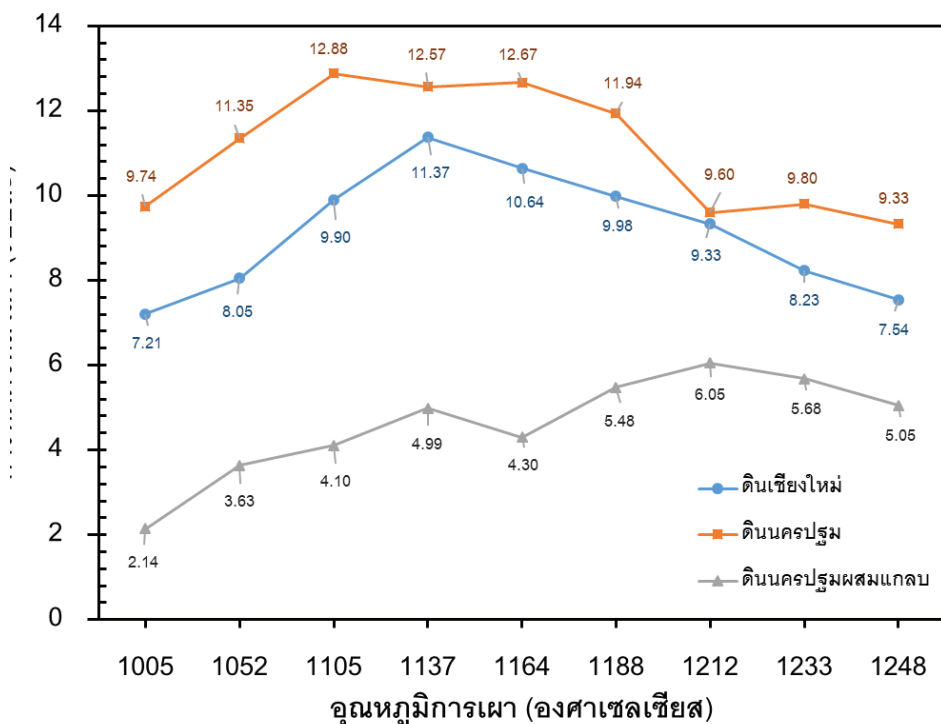
การดูดซึมน้ำจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณรูพรุนเปิด (Open pore) และส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์หลังเผา โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร : สโตนแวร์ มาตรฐานเลขที่ มอก. 602-2546 [7] ได้กำหนดคุณลักษณะค่าการดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 3 จากการนำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้จากดิน ทั้ง 3 ชนิด ไปเผาที่อุณหภูมิ 1005-1248 องศาเซลเซียส และนำมาคำนวณค่าการดูดซึมน้ำจากร้อยละของความแตกต่างระหว่างมวลชิ้นทดสอบหลังจากต้มในน้ำเดือดและมวลชิ้นทดสอบที่อบแห้งต่อมวลชิ้นทดสอบที่อบแห้ง ชิ้นทดสอบดิน เชียงใหม่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดที่ร้อยละ 2.58 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 1188 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในคุณลักษณะตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ ส่วนดินนครปฐมมีค่าการดูดซึมน้ำที่ร้อยละ 0.00 เมื่อทำการเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1164 องศาเซลเซียส เนื่องจากดินมีการสูกตัว เกิดการหลอมและรวมตัวกันของอนุภาค รูพรุนที่อยู่ในโครงสร้างถูกปิดจนเหลือน้อยลง ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำเป็นไปตามคุณลักษณะมาตรฐานผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ และมีค่าการดูดซึมน้ำที่ร้อยละ 0.06 0.19 และ 0.06 เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1105 1137 และ 1188 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดินเชียงใหมและดินนครปฐมมีความทนไฟต่ำ เนื่องจากมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1212 องศาเซลเซียส ส่วนดินนครปฐมผสมเกลบกมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดที่ร้อยละ 10.20 เมื่อทำการเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1233 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของดินเมื่อเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

3.5 ผลการทดสอบการหดตัวหลังเผา

การหดตัวหลังเผาของดินเกิดจากการสูญเสียน้ำในเนื้อดินและสารอินทรีย์ที่ถูกเผาไหม้ระเหยออกจากโครงสร้างอนุภาคของเนื้อดินจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันทำให้ขนาดลดลงและส่งผลให้ดินมีความแข็งแรงมากขึ้น ดินนครปฐมมีความชื้นในดินสูง เมื่อผ่านการเผาทำให้มีค่าการหดตัวของเนื้อดินสูง ค่าการหดตัวของดินที่ทดสอบ ดินเชียงใหม่ ดินนครปฐม ดินนครปฐมผสมแกลบ ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิแตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 6 ขึ้นทดสอบที่มีการดูดซึมน้ำต่ำ จะมีการหดตัวหลังเผาสูง เช่น ดินนครปฐมหลังเผาที่อุณหภูมิ 1164 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าดินเชียงใหม่และดินนครปฐมผสมแกลบ ที่ร้อยละ 0.00 จึงมีการหดตัวหลังเผาสูงที่สุดที่ร้อยละ 12.67 ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดินที่มีความทนไฟต่ำจะมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้น ส่งผลให้การหดตัวหลังเผาของดินมีค่าลดลง



รูปที่ 6 การหดตัวหลังเผาของดิน

3.6 ผลการทดสอบความแข็งแรงและความแข็ง

ขึ้นทดสอบหลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียสประกอบไปด้วย ดินเชียงใหม่ ดินนครปฐม และดินนครปฐมผสมแกลบ ได้ถูกนำไปทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงของดิน พบว่าดินนครปฐมมีความแข็งแรงมากที่สุดที่ 39.08 ± 1.07 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ดินเชียงใหม่มีความแข็งแรงเท่ากับ 22.58 ± 1.81 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนดินนครปฐมผสมแกลบมีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุด คือ 13.24 ± 1.30 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จากผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ดินนครปฐมผสมแกลบมีสิ่งเจือปนในระหว่างการเผา (Sintering) สิ่งเจือปนเหล่านี้ไปขัดขวางการสร้างพันธะระหว่างอนุภาค ทำให้ดินแดงมีความพรุนตัว ส่งผลให้เนื้อดินตัวอย่างหลังเผามีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าดินนครปฐมและดินเชียงใหม่ แต่เนื่องจากในส่วนผสมของดินมีสิ่งเจือปนจำพวกเศษไม้และแกลบ ส่งผลให้ดินนครปฐมผสมแกลบมีความทนไฟ ดินนครปฐมผสมแกลบจึงมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำลงเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น และมีการหดตัวหลังเผามากกว่าดินนครปฐมและดินเชียงใหม่ [10] ในขณะที่ดินนครปฐมมีค่าการหดตัวสูง มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด ทำให้มีความแข็งแรงสูงที่สุด

การทดสอบความแข็งแรงของขึ้นทดสอบหลังผ่านกระบวนการเผา พบว่า เมื่อให้แรงกดทดสอบเท่ากับ 0.5 กิโลกรัม แรงด้วยระยะเวลา 20 วินาที ดินเชียงใหม่มีความแข็งแรงเท่ากับ 1547.80 ± 109.97 HV ซึ่งสูงกว่าความแข็งแรงของดินนครปฐม (1481.16 ± 102.71 HV) และดินนครปฐมผสมแกลบ (1459.03 ± 82.78 HV)

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของดินเชิงใหม่ ดินนครปฐม ดินนครปฐมผสมแกลบ

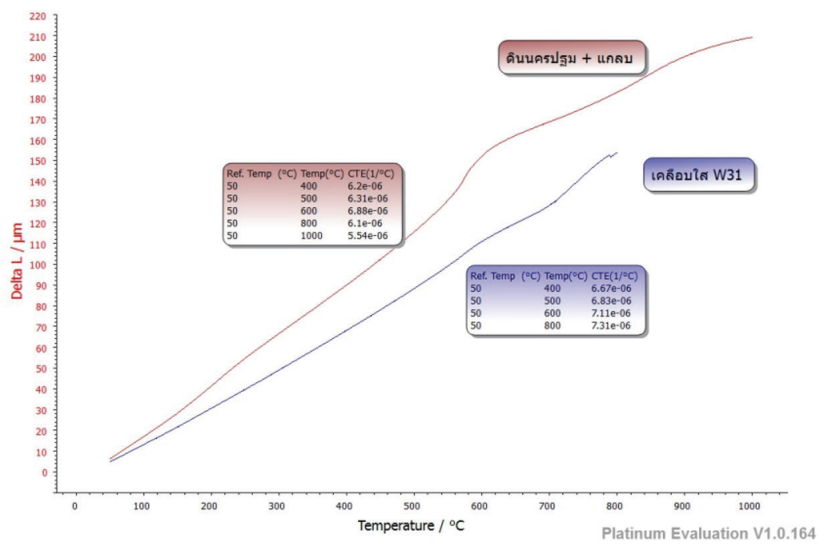
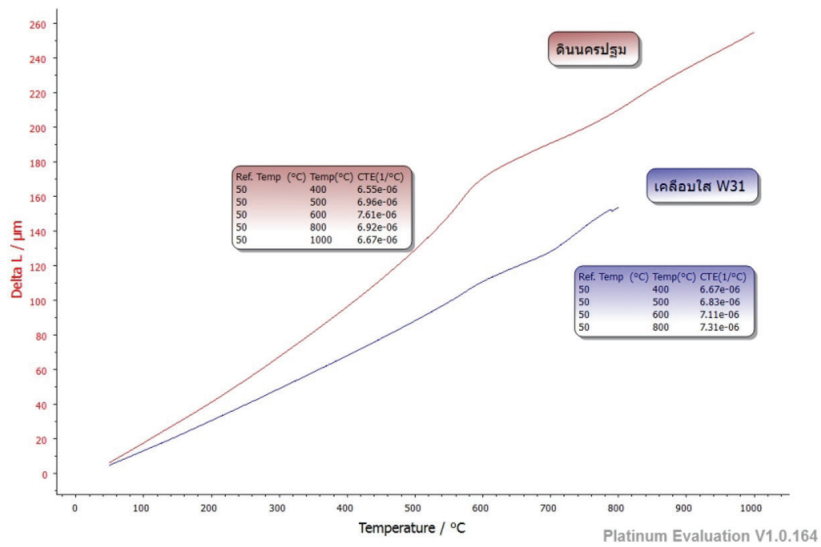
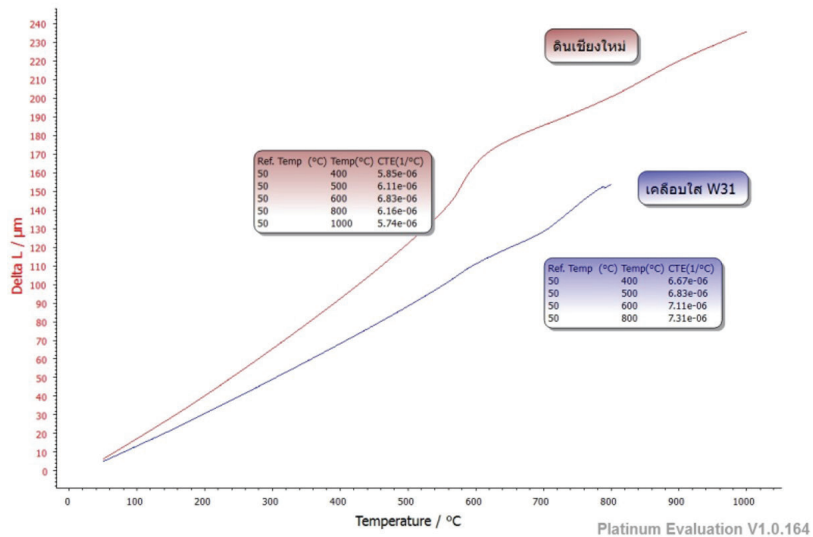
	ดินเชิงใหม่	ดินนครปฐม	ดินนครปฐมผสมแกลบ
ความชื้น (ร้อยละ)	22.24	24.95	21.13
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	2.58	0.00	10.20
การหดตัวหลังเผา (ร้อยละ)	9.98	12.67	5.67
ความแข็งแรง (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)	22.58 ± 1.81	39.08 ± 1.07	13.24 ± 1.30
ความแข็ง (HV)	1547.80 ± 99.97	1481.16 ± 92.71	1459.03 ± 82.78

3.7 ผลการทดสอบการขยายตัวเมื่อร้อน

ขึ้นทดสอบดินเชิงใหม่ ดินนครปฐม และดินนครปฐมผสมแกลบ หลังจากกระบวนการเผาและทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของดิน เพื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของเคลือบใส่สูตร W31 [11] แสดงดังตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของดินควรจะสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของเคลือบเพียงเล็กน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการร้าวหรือการร้าวของผลิตภัณฑ์ [12] ดินนครปฐมมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนใกล้เคียงกับเคลือบ W31 มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 7

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของดินและเคลือบ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (1/องศาเซลเซียส) $\times 10^{-6}$			
	ดินเชิงใหม่	ดินนครปฐม	ดินนครปฐมผสมแกลบ	เคลือบ W31
400	5.85	6.55	6.20	6.67
500	6.11	6.96	6.31	6.83
600	6.83	7.61	6.88	7.11
700	6.55	7.23	6.48	-
800	6.16	6.92	6.10	7.31
1,000	5.74	6.67	5.54	-



รูปที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของดินและเคลือบ W31

3.8 ผลการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

รูปที่ 8 แสดงผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากดินนครปฐมและดินนครปฐมผสมแกลบ เตรียมโดยการปั้นลอยตัว จากนั้นเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และเคลือบโดยใช้สูตรเคลือบ W31 จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากดินทั้ง 2 ชนิด มีความแข็งแรงสูง ไม่แตกหักเสียหาย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินนครปฐมนั้นมีสมบัติที่ดีสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดสโตนแวร์ได้ และสามารถเคลือบผลิตภัณฑ์ ตกแต่งให้สวยงาม เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ สามารถใช้วัตถุดิบท้องถิ่นเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีอัตลักษณ์ได้



รูปที่ 8 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ: ดินนครปฐมผสมแกลบ (ซ้าย) และ ดินนครปฐม (ขวา)

4. สรุป (Conclusion)

งานวิจัยนี้ดำเนินการพัฒนาดินท้องถิ่นจังหวัดนครปฐมเพื่อใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิก ของประดับตกแต่ง โดยเปรียบเทียบสมบัติกับดินเชียงใหม่ที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ เมื่อวิเคราะห์เฟสดินนครปฐมพบว่า มีเฟสตรงกับเฟสของดินเชียงใหม่ และเมื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินนครปฐมพบว่า ดินนครปฐมมีปริมาณ Fe_2O_3 สูง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์หลังเผามีสีน้ำตาลแดง นอกจากนี้พบว่า มีปริมาณ SiO_2 สูง Al_2O_3 ต่ำ และมีธาตุอินทรีย์ปนสูง จึงมีความทนไฟค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำหลังเผาที่อุณหภูมิ 1164 องศาเซลเซียสของดินนครปฐมอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ จึงส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงสูงเท่ากับ 39.08 นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่าดินเชียงใหม่ที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 22.58 นิวตันต่อตารางเมตร ส่วนดินนครปฐมผสมแกลบ มีอัตราการดูดซึมน้ำสูง มีความแข็งแรงต่ำ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร แต่สามารถใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ของประดับตกแต่งได้

เมื่อทดลองสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ผลิตจากดินนครปฐม ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงสูง ไม่แตกหักเสียหาย สามารถนำดินนครปฐมไปใช้เป็นวัตถุดิบท้องถิ่นในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกสโตนแวร์ได้ และสามารถเคลือบผลิตภัณฑ์ ตกแต่งให้สวยงาม เพื่อเพิ่มมูลค่าและสร้างอัตลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ท้องถิ่น

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและเจ้าหน้าที่ กองเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ กลุ่มคนเล่นดิน ตำบลวังน้ำเขียว อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม อนุเคราะห์ให้ดินนครปฐมและดินเชียงใหม่สำหรับการวิจัย ขอขอบคุณนางสาวสุนีย์พร โพธิ์แก้ว สำหรับการทดสอบหาเฟสของดินด้วย X-ray diffractometer และนางสาวชีวกัทร ปาโมกข์ สำหรับการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีด้วย X-ray fluorescence spectroscopy

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. เซรามิกส์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2547.
- [2] ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. เนื้อดินเซรามิก. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์; 2541.
- [3] Dodd AE. Dictionary of ceramics. 3rd ed. London: The Institute of Materials; 1994.
- [4] โกมล รัชวงศ์. วัตถุดิบที่ใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยครูพระนคร; 2531.
- [5] Boch P, Niepce JC. Ceramic materials. Great Britain: John Wiley & Sons; 2007.
- [6] ทวี พรหมพฤษ. เครื่องปั้นดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์; 2523.
- [7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร: สโตนแวร์. มอก. 602-2546 กรุงเทพฯ: สมอ.; 2546.
- [8] ASTM International. Standard test method for drying and firing shrinkages of ceramic whiteware clays. ASTM C326-09(2018) [Internet]. 2019 [cited 2023 Feb 28]. Available from: <https://www.astm.org/c0326-09r18.html> doi: 10.1520/C0326-09R18
- [9] Somrang P, Wannagon A, Sornlar W, Choeycharoen P, Prasanphan S, Shongkittikul W. Lampang raw material characterization to assess the suitability for ceramics industry. Key Eng Mater. 2016;690:187-93.
- [10] ทนารักษ์ จิตชาญวิชัย. ขี้เถ้าแกลบแทนซิลิกาสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส [อินเทอร์เน็ต]. 2558 [เข้าถึงเมื่อ 21 กุมภาพันธ์ 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/article/view/44814>
- [11] สุทธิชัย ทีปประสาน. เทคนิคการทำเคลือบลายคล้ายผลึก [อินเทอร์เน็ต]. 2538 [เข้าถึงเมื่อ 17 ตุลาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2538_43_137_p3-4.pdf
- [12] ธมลวัฒน์ หิรัญชาติอนันต์. ผลของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของดินขาวลำปางที่เติมวัตถุดิบกลุ่มฟลักซ์ต่างกัน [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/article/download/9561/8149/28262>

The background is a solid medium blue. It is decorated with several large, light blue, organic, wavy shapes that resemble cells or fluid droplets. Inside these larger shapes and scattered elsewhere are numerous concentric circles of varying sizes, also in light blue, creating a layered, cellular effect.

4

การพัฒนาอุปกรณ์โหลดหัววัดรังสีใต้น้ำทะเลจังหวัดสงขลา Development of loading device for underwater radiation detector using at Songkhla province

4

สมบุญ โตอุตชนม์¹, สุขใจ เกียรติศักดิ์วัฒนา¹
Somboon Toautachone¹, Sukjai Kiatisakwatana¹

รับบทความ: 14 ธันวาคม 2565 แก้ไขบทความ: 16 กุมภาพันธ์ 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 17 มีนาคม 2566

บทคัดย่อ

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส.) เริ่มติดตั้งสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีใต้น้ำทะเลหลังจากเหตุภัยพิบัติทางนิวเคลียร์ที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะไดอิจิ ประเทศญี่ปุ่นในปี พ.ศ. 2554 (ค.ศ. 2011) เพื่อตรวจวัดระดับปริมาณรังสีแกมมาใต้น้ำทะเล ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จะถูกใช้ประโยชน์ในการกำกับดูแลด้านความปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสีเพื่อความปลอดภัยของประชาชนและสิ่งแวดล้อมแต่ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นกับสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีใต้น้ำทะเล คือ การรั่วซึมของน้ำทะเลเข้าสู่หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (Sodium iodide scintillation detector: NaI) ทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ของหัววัดรังสี เช่น ฟิล์มโซเดียมไอโอไดด์, หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ทิวบ์ (Photomultiplier tube: PMT), และ Tube base ชำรุดเสียหายเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ปส. ได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์โหลดหัววัดรังสีใต้น้ำทะเลกระทัดรัดดำเนินการติดตั้งทดสอบ สอบเทียบด้วยต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ผลการตรวจวัดระดับปริมาณรังสีพื้นหลัง (Background: BKG) ใต้น้ำทะเลจังหวัดสงขลา มีค่าประมาณ 10 nSv/h หลังจากการติดตั้งอุปกรณ์โหลดหัววัดรังสีระบบวัดของสถานีสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมั่นคง รวมถึงสามารถใช้เป็นต้นแบบในการออกแบบและพัฒนาในอนาคต

คำสำคัญ: หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ รังสีแกมมา รังสีพื้นหลัง ใต้น้ำ อุปกรณ์โหลด

¹ กลุ่มวิศวกรรมนิวเคลียร์และบำรุงรักษาเครื่องมือ กองพัฒนาระบบและมาตรฐานกำกับดูแลความปลอดภัย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

Abstract

Office of Atoms for Peace (OAP) has started to install underwater radiation monitoring station after nuclear disaster at Fukushima Daiichi nuclear power plant, Japan, in 2011, to measure gamma radiation under seawater. Measured data can be useful for nuclear and radiation safety regulation for the purpose of human and environmental safety. An important problem happened to the under-seawater radiation monitoring station is the leakage of seawater entered into sodium iodide scintillation detector (NaI) causing damages to components inside NaI detector such as sodium iodide crystal, photomultiplier tube (PMT), and tube base. To solve that problem, OAP has designed and developed a loading device for underwater radiation detector and so on through installation, system testing, and calibration with Cs-137. Result from measured data shown that gamma radiation background (BKG) under seawater at Songkhla province is approximately 10 nSv/h. After installation of loading device, measuring system can be operated efficiently and sustainably and it can be employed as prototype for design and development in future.

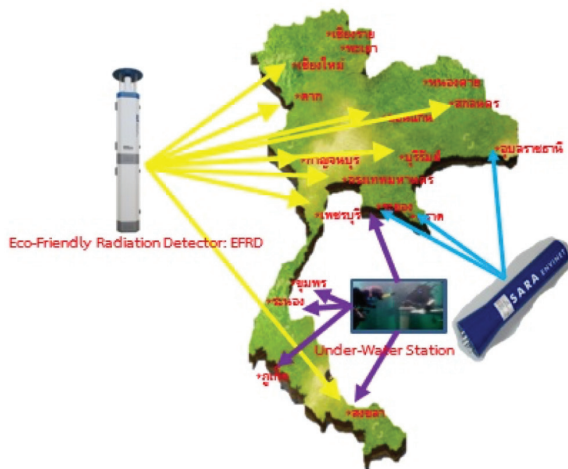
Keywords: Sodium iodide scintillation detector (NaI), Gamma radiation, Background, Underwater, Loading device

¹Nuclear Engineering and Maintenance Group, Regulatory Technical Support Division, Office of Atoms for Peace

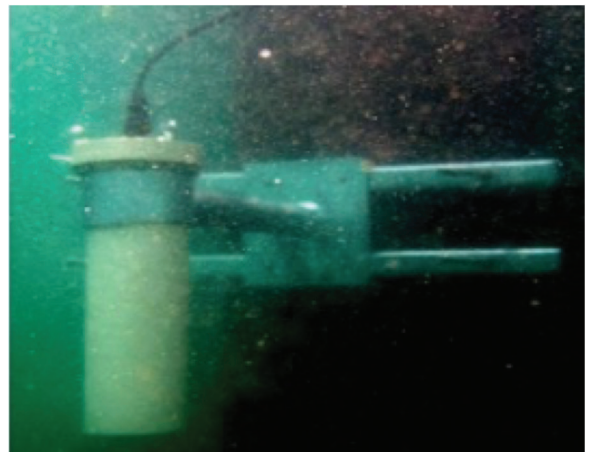
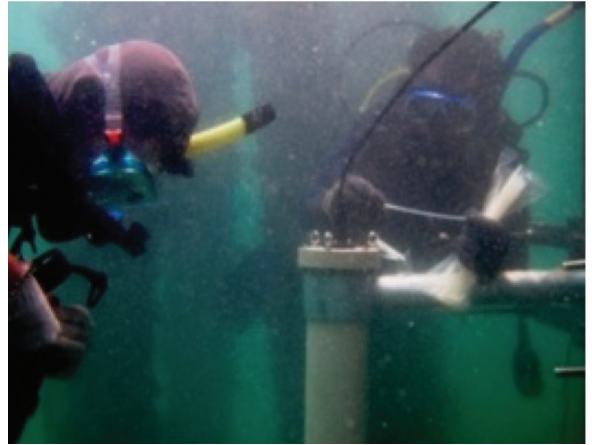
^{*}Corresponding author e-mail address: somboon.t@oap.go.th

1. บทนำ (Introduction)

สถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีถูกติดตั้งครั้งแรกในปี พ.ศ. 2535 โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับตรวจวัดและติดตามระดับปริมาณรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม เพื่อความปลอดภัยของประชาชนและสิ่งแวดล้อม การติดตั้งสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีในขณะนั้นมีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับตรวจวัดระดับปริมาณรังสีแกมมาในอากาศเป็นหลัก จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2554 (ค.ศ. 2011) หลังจากเหตุภัยพิบัตินิวเคลียร์ฟูกูชิมะ เนื่องจากเกิดการแผ่นดินไหวขนาด 9.0 บริเวณนอกชายฝั่งของประเทศญี่ปุ่นทำให้เกิดคลื่นสึนามิ (Tsunami) ขนาดใหญ่ที่สร้างความเสียหายอย่างรุนแรงต่อโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะไดอิจิ ในจังหวัดฟูกูชิมะของประเทศญี่ปุ่น เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2554 ส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของของเหลวที่มีการปนเปื้อนกัมมันตภาพรังสีอย่างมหาศาลลงสู่ทะเลในพื้นที่ดังกล่าว ภัยพิบัติทางนิวเคลียร์ครั้งนี้เป็นเหตุการณ์ที่รุนแรงที่สุดหลังจากเหตุการณ์ภัยพิบัติเชอร์โนบีล เมื่อปี พ.ศ. 2529 (ค.ศ. 1986) จากเหตุการณ์ดังกล่าว ปส. ได้เริ่มติดตั้งสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้นำทะเลที่จังหวัดระยองและจังหวัดภูเก็ต จากนั้นในปี พ.ศ. 2559 ปส. ได้ขยายเครือข่ายของสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้นำทะเลรวมเป็น 5 สถานี โดยได้ทำการติดตั้งสถานีเพิ่มที่จังหวัดชุมพร ระนอง และจังหวัดสงขลา ทำให้ปส. มีสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีทั้งหมด 23 สถานี แบ่งเป็นสถานีตรวจวัดในอากาศ 18 สถานี และตรวจวัดได้นำทะเล 5 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมของสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีในสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2 การติดตั้งห้วดรังสีโซเดียมไอโอไดต์ (NaI) ได้นำทะเล

สถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้นำทะเลจำเป็นต้องติดตั้งห้วดรังสีได้นำทะเล ห้วดรังสีจะถูกติดตั้งกับโครงสร้างของเสาเข็มที่เป็นตอม่อของสถานีสูบน้ำกลางทะเลที่จังหวัดสงขลา ตอม่อของสะพานท่าเทียบเรือกลางทะเลที่จังหวัดภูเก็ตหรือตอม่อของประการขนาดเล็กปากแม่น้ำที่เชื่อมต่อกับทะเลที่จังหวัดชุมพรตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อให้ห้วดรังสีสามารถตรวจวัดอนุภาคของน้ำทะเลรวมถึงฝุ่นละอองต่าง ๆ ที่มากับทิศทางของกระแสน้ำทะเลทั้งในช่วงเวลาที่น้ำทะเลขึ้นและลงได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากห้วดรังสีถูกติดตั้งได้นำทะเลทำให้เกิดปัญหาการรั่วซึมของน้ำทะเล ส่งผลให้ห้วดรังสีโซเดียมไอโอไดต์ (Sodium iodide scintillation detector: NaI) ชำรุดเสียหายดังแสดงในรูปที่ 3 จากการถอดประกอบห้วดรังสี NaI ปรากฏว่ามีน้ำทะเลค้างอยู่ในห้วดรังสีประมาณ 600 ml (cm³)



รูปที่ 3 สภาพความเสียหายของหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดต์ (NaI) เนื่องจากน้ำทะเล

ผลจากน้ำทะเลทำให้ส่วนประกอบของหัววัดรังสี NaI ได้แก่ ผลึกโซเดียมไอโอไดต์ (Sodium iodide crystal) หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ทิวบ์ (Photomultiplier tube: PMT) และ Tube base ของ PMT รวมถึงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ภายในชำรุดเสียหายไม่สามารถซ่อมบำรุงและใช้งานได้ ดังแสดงในรูปที่ 4

ปัญหาการรั่วซึมของน้ำทะเลเป็นปัญหาสำคัญที่มีผลต่อการทำงานของระบบวัดของสถานีตลอดมา ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ปส. ได้ทำการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์หลอดหัววัดรังสีได้น้ำทะเลที่จังหวัดสงขลาจนแล้วเสร็จเมื่อ 1 ตุลาคม 2564 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบวัดของสถานีสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมั่นคง

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับหัววัดรังสี NaI เนื่องจากการรั่วซึมของน้ำทะเล โดยการประยุกต์ใช้ความรู้และทฤษฎีทางด้านวิศวกรรมและฟิสิกส์เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ไม่ได้มุ่งเน้นที่จะนำเสนอผลการตรวจวัดหรือการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดเหมือนกับบทความอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น การตรวจวัดรังสีและวิเคราะห์ไอโซโทปรังสีได้น้ำทะเลที่



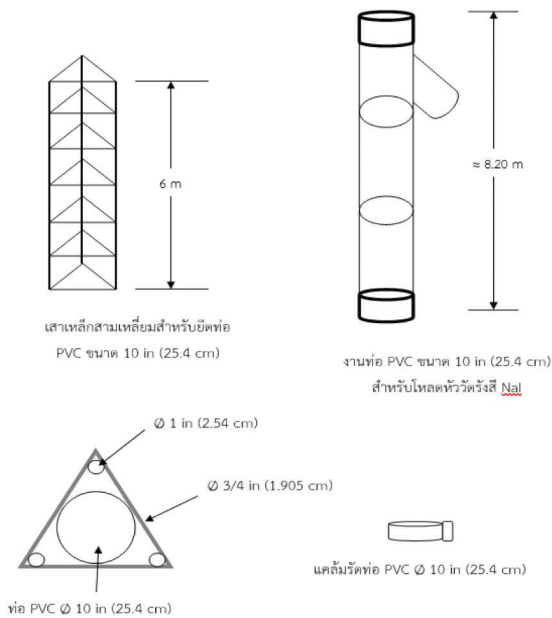
รูปที่ 4 ผลึกโซเดียมไอโอไดต์ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ทิวบ์ และ Tube Base ของหัววัดรังสี NaI ที่ชำรุดเสียหาย (ต่อ)

ทะเลไอริช (Irish sea) ซึ่งอยู่ระหว่างเกาะอังกฤษกับเกาะไอร์แลนด์ และทะเลคารา (Kara sea) ในประเทศรัสเซีย เพื่อตรวจวัดและเฝ้าระวังระดับปริมาณรังสีเนื่องจากการทิ้งวัสดุนิวเคลียร์หรือการปล่อยของเสียจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ (Nuclear power plant) โดยการใช้หัววัดรังสี High purity germanium (HPGe) และหัววัดรังสี NaI ซึ่งนำเสนอโดย P.P. Povinec และคณะ [1] การใช้หัววัดรังสี NaI เพื่อตรวจวัดการรั่วไหลของระดับปริมาณรังสีสูงสิ่งแวดล้อมได้น้ำทะเลระหว่างการกู้ซากเรือดำน้ำคูรส์ก (Kursk) ซึ่งเป็นเรือดำน้ำพลังงานนิวเคลียร์ของประเทศรัสเซีย จมลงเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2543 ที่ความลึก 120 m ทางตะวันออกเฉียงใต้ของทะเลแบเร็นตส์ (Barents sea) ซึ่งผลการตรวจวัดสเปกตรัมของไอโซโทปรังสีที่ได้ขณะทำการกู้ซากเรือดำน้ำพลังงานนิวเคลียร์ ระหว่างวันที่ 7-12 ตุลาคม 2544 สรุปได้ว่า ไม่มีการรั่วไหลของสารกัมมันตรังสี ซึ่งนำเสนอโดย I. Baranov และคณะ [2] และบทความที่นำเสนอโดย C. Tsabaris และ I. Thanos [3] กล่าวถึงการเลือกใช้ Thermoplastic ชนิด Acetal เป็นวัสดุสำหรับสร้างปลอกหุ้ม (Casing) ทรงกระบอกสำหรับบรรจุหัววัดรังสี NaI ซึ่งสามารถป้องกันน้ำได้ดี รวมถึงนำเสนอผลการตรวจวัดของระบบวัดที่ทำการออกแบบและพัฒนาขึ้น

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

เพื่อแก้ปัญหาการรั่วซึมของน้ำทะเลซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบวัดของสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้น้ำทะเล ปล. ได้ดำเนินการออกแบบอุปกรณ์ไหลดหัววัดรังสีได้น้ำทะเล โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ทางด้านวิศวกรรม หลักการเกี่ยวกับฟิสิกส์ในส่วนของการความดัน เครื่องกำบังรังสี คุณสมบัติของวัสดุ และการจัดซื้อจัดหาวัสดุในท้องตลาด

2.1 การออกแบบอุปกรณ์ไหลดหัววัดรังสีได้น้ำทะเล



รูปที่ 5 ลักษณะโครงสร้างของอุปกรณ์ไหลดหัววัดรังสีได้น้ำทะเล

แบบของอุปกรณ์ไหลดหัววัดรังสีได้น้ำทะเลที่ได้ประกอบขึ้นที่จังหวัดสงขลามีลักษณะแสดงในรูปที่ 5 ส่วนประกอบหลักของโครงสร้าง ได้แก่ เสาเหล็กสามเหลี่ยมความยาว 6 m สำหรับยึดท่อ PVC ขนาด 10 in (25.4 cm) และประกอบยึดติดกับโครงสร้างของเสาตอม่อของโรงสูบน้ำกลางทะเล ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง (สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา) โดยที่เสาเหล็กสามเหลี่ยมประกอบจากท่อกลบวไนซ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 in (2.54 cm) ส่วนประกอบหลักอีกหนึ่งอย่าง คือ ท่อไหลดหัววัดรังสีเป็นท่อ PVC ขนาด 10 in (25.4 cm) ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับไหลดหัววัดรังสี Nai มีความยาวประมาณ 8.20 m ท่อของอุปกรณ์ไหลดหัววัดรังสีจะถูกติดตั้งในน้ำทะเลที่ความลึกประมาณ 3 m โดยพิจารณาจากความลึกในช่วงฤดูฝนที่มีมรสุม ในขณะที่ช่วงฤดูร้อนหัววัดรังสีจะอยู่ใต้น้ำทะเลประมาณ 2 m ส่วนด้านบนของท่อไหลดหัววัดรังสีจะมีข้อต่อสำหรับร้อยสายไฟและสายสัญญาณทำมุม 45° (องศา) จากตัวท่อด้านล่าง เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำฝนเข้าสู่ท่อไหลดหัววัดรังสี

การเลือกใช้ท่อ PVC พิจารณาจากคุณสมบัติของท่อที่ทำจากเม็ดพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) มีความเหนียว ยึดหยุ่นตัวได้ดี เบา ทนต่อแรงดันน้ำ และการกัดกร่อนจากกรดหรือด่าง รวมถึงน้ำทะเล นอกจากนี้จากคุณสมบัติของรังสีแกมมาซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่า 30×10^{18} Hz ตามหลักการของเครื่องกำบังรังสี (Shielding) จำเป็นต้องใช้ตะกั่วซึ่งเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงสำหรับใช้งานเป็นเครื่องกำบังรังสี ในขณะที่ PVC เป็นวัสดุทางเลือกที่สามารถนำมาใช้สร้างปลอกหุ้มหัววัดรังสีได้น้ำทะเลได้จากคุณสมบัติของเนื้อวัสดุ [3]

ท่อ PVC ที่ใช้งานจะเลือกท่อที่ชั้นความดัน (Class) 8.5 ซึ่งรับความดันได้ 8.5 kg/cm² หรือ 8.5 Bar หรือ 0.85 MPa หรือ 1.23 psi [4]

จากสูตรความดันสัมบูรณ์

$$P = P_0 + \rho gh$$

เมื่อ P คือ ผลรวมของความดันบรรยากาศและความดันเกจ เรียกว่า ความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure), P_0 คือ ความดันที่ผิวของเหลวเท่ากับ ความดันบรรยากาศเท่ากับ 1.01325×10^5 Pa และ ρgh คือ ความดันเกจ หรือ ความดันเนื่องจากน้ำหนักของของเหลวที่มีความลึก h

ความหนาแน่นของน้ำทะเล $\rho = 1.122$ kg/m³ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $g = 9.80665$ m/s² ที่ความลึกของน้ำทะเล 3 m จะได้ค่าความดันสัมบูรณ์เท่ากับ 131,392 Pa (0.13KPa) ดังนั้น ท่อ PVC ชั้น 8.5 สามารถรับแรงและทนต่อความดันของน้ำทะเลได้อย่างดี [5]

2.2 การสร้างประกอบและการติดตั้งท่อไหลดหัววัดรังสีได้น้ำทะเล

การสร้างประกอบอุปกรณ์ไหลดหัววัดรังสี Nai ได้น้ำทะเลจังหวัดสงขลา แสดงในรูปที่ 6 เริ่มตั้งแต่การจัดระดับของท่อ PVC ให้อยู่ในระนาบเดียวกัน จากนั้นใช้แรงอัดท่อประกอบเข้าด้วยกันและทำการเชื่อมท่อ PVC หลังจากนั้นทาสีรองพื้นและสีกันเปรียงที่ปลายท่อตามระยะทางของความลึกที่จะไหลดไว้ใต้น้ำทะเล 3 m ในขณะเดียวกันดำเนินการสร้างประกอบโครงสร้างเหล็กสามเหลี่ยมสำหรับใช้ยึดท่อและยึดติดกับโครงสร้างของสถานีสูบน้ำกลางทะเล เมื่อส่วนประกอบหลักทั้ง 2 ส่วน สำเร็จแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือ ประกอบท่อไหลดหัววัดรังสีและโครงสร้างของเหล็กสามเหลี่ยมเข้าด้วยกัน โดยการยึดสกรูและนอตของส่วนต่างๆ ให้ติดแน่นและมีความมั่นคงแข็งแรงจนแล้วเสร็จ เมื่อ 1 ตุลาคม 2564 ก่อนที่จะดำเนินการขนย้ายอุปกรณ์ดังกล่าวไปในพื้นที่หน้างานของสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้น้ำทะเลจังหวัดสงขลา



รูปที่ 6 การสร้างประกอบอุปกรณ์โพลดหั่ววัดรังสีได้น้ำทะเล



รูปที่ 7 การขนย้ายและการติดตั้งอุปกรณ์โพลดหั่ววัดรังสีได้น้ำทะเล

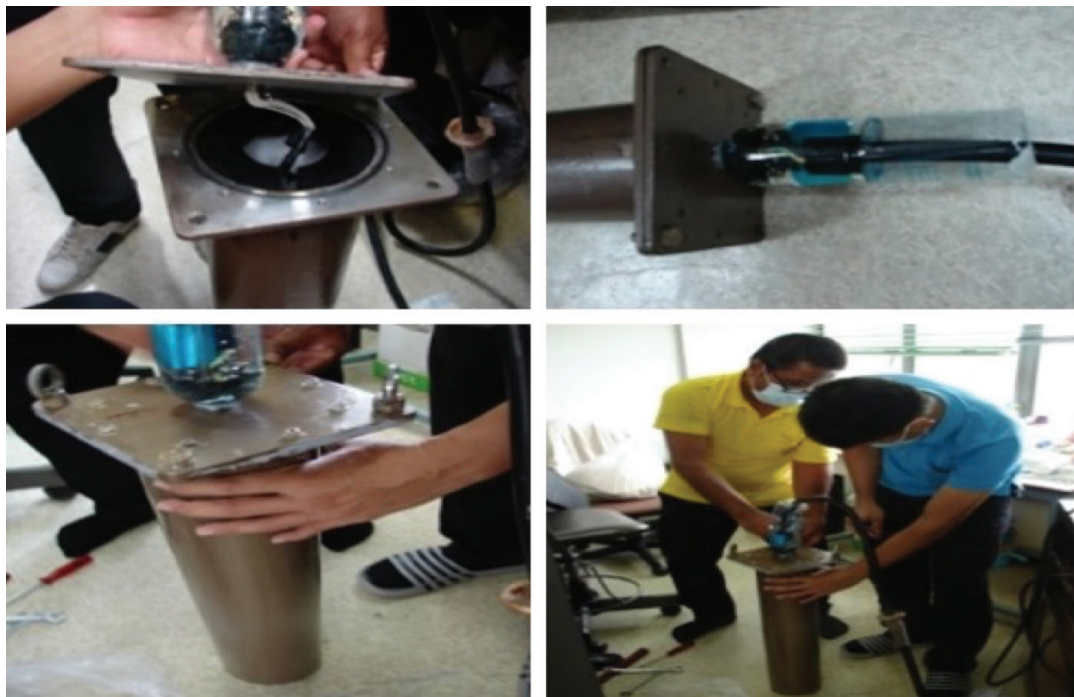
2.3 การทดสอบหั่ววัดรังสีโซเดียมไอโอไดต์ (NaI) และการติดตั้งระบบวัด

เนื่องจากหั่ววัดรังสี NaI ขำรุดเสียหายไม่สามารถใช้งานได้ จำเป็นต้องใช้หั่ววัดรังสีจากสถานีจังหวัดระนอง ที่มีปัญหาการรั่วซึมของน้ำทะเลเช่นเดียวกัน แต่สภาพของหั่ววัดรังสียังไม่ชำรุดเสียหายเหมือนที่จังหวัดสงขลา

ดำเนินการต่อสายไฟและสายสัญญาณ (Wiring) เพื่อทดสอบระบบเบื้องต้นกับชุดควบคุมและประมวลผลที่ได้ คือ ระบบสามารถทำงานได้แต่ค่าการตรวจวัดยังไม่ถูกต้อง จึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบระบบ (Calibration) เพื่อให้ระบบวัดทำงานได้อย่างถูกต้องสำหรับการสอบเทียบจะกล่าวในหัวข้อที่ 3.1 (การสอบเทียบระบบวัดด้วยต้นกำเนิดรังสี Cs-137)

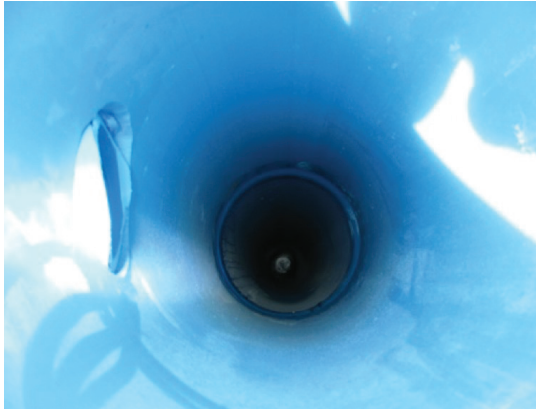


รูปที่ 8 การทดสอบการทำงานของระบบวัดรังสี



รูปที่ 9 การประกอบหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (NaI)

หลังจากทดสอบระบบวัดเรียบร้อยแล้ว ได้ดำเนินการเปลี่ยนสายไฟและสายสัญญาณทดแทนของเดิมที่ขาด โดยการหล่อเรซินที่หัวต่อของสายไฟที่ติดกับปลอกสแตนเลสที่ใช้บรรจุหัววัดรังสี NaI เพื่อให้หัวต่อของสายไฟมีความแข็งแรงและประกอบหัววัดรังสีบรรจุลงในปลอกสแตนเลส ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 10 สภาพภายในท่อไหลดห้วยวัดรังสี
เมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2565

รูปที่ 10 แสดงสภาพของท่อไหลดห้วยวัดรังสี ก่อนติดตั้งห้วยวัดและระบบวัดรังสีกลับคืน ณ โรงสูบน้ำกลางทะเล ซึ่งใช้เป็นพื้นที่สำหรับติดตั้งสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีใต้น้ำทะเลจังหวัดสงขลา ปรากฏว่ามีเงาของน้ำที่บริเวณปลายท่อด้านล่าง จากนั้นได้ดำเนินการเช็คให้แห้งและทดสอบการรั่วซึมโดยการปล่อยทิ้งข้ามคืน ผลปรากฏว่าไม่มีน้ำซึมเข้าท่อ สรุปได้ว่า น้ำที่เกิดขึ้นเกิดจากอากาศที่อยู่ในท่อเกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ



รูปที่ 11 การไหลดห้วยวัดรังสีโซเดียมไอโอไดต์ (NaI) ลงในอุปกรณ์ไหลดห้วยวัดรังสี

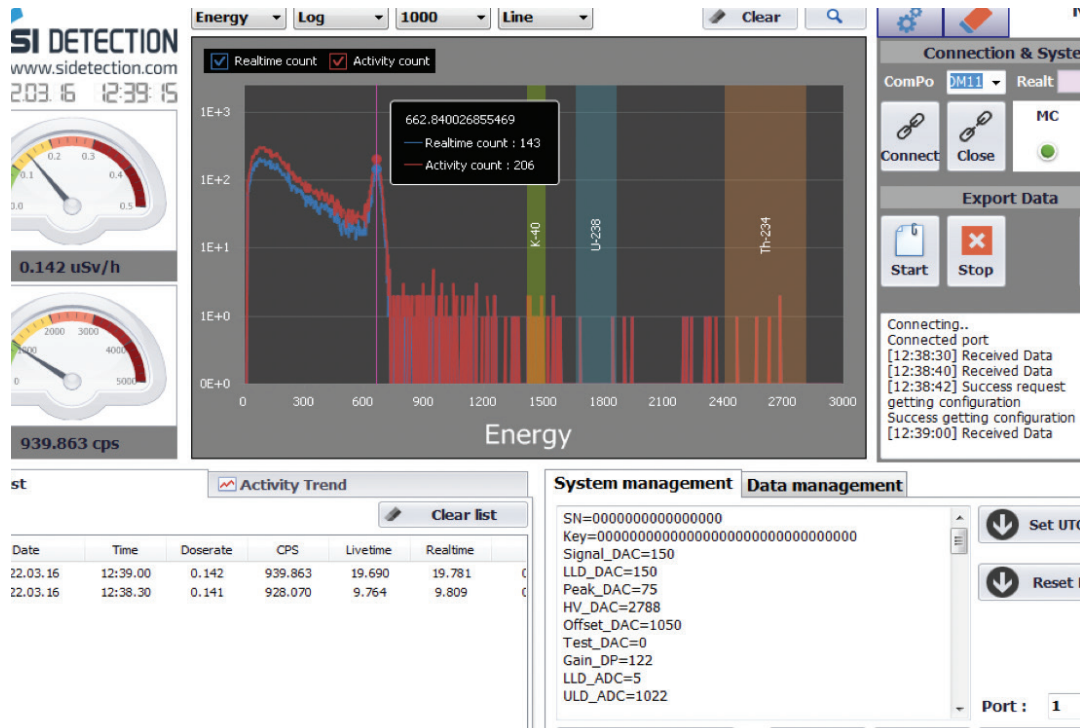
การไหลดห้วยวัดรังสีจะทำการไหลดลงทางด้านปลายด้านบนของท่อไหลด โดยใช้โซเดียมเลสยึดกับห้วยวัดรังสี ด้านบนและค่อย ๆ หย่อนลงจนถึงปลายท่อด้านล่าง หลังจากดำเนินการไหลดห้วยวัดรังสี NaI เรียบร้อยแล้ว ได้ดำเนินการติดตั้งชุดควบคุมและประมวลผล ติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และตรวจเช็คการเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อรองรับการส่งข้อมูลการตรวจวัดกลับมาที่คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ที่กรุงเทพมหานครติดตั้งทั้งหมดแล้วเสร็จเมื่อ 28 กุมภาพันธ์ 2565

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 การสอบเทียบระบบวัดด้วยต้นกำเนิดรังสี Cs-137

การติดตั้งอุปกรณ์โหลดหัววัดรังสี NaI ที่สถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้เน้นทะเลจังหวัดสงขลาทำให้ระบบวัดของสถานีทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่มีปัญหาเหมือนที่เคยเกิดขึ้นก่อนหน้านั้น ผลการสอบเทียบ (Calibration) ระบบวัดในพื้นที่จริงเมื่อ 16 มีนาคม 2565 โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ซึ่งเป็นไอโซโทปรังสีที่มีค่าพลังงาน 661.7 keV สำหรับความถี่ในการสอบเทียบหัววัดรังสี NaI จะดำเนินการสอบเทียบทุก ๆ 1 ปี

การสอบเทียบระบบวัดรังสีสามารถทำได้โดยการปรับแรงดันไฟสูง (High voltage) ที่เหมาะสมป้อนให้กับหัววัดรังสี NaI และใช้สารกัมมันตรังสี Cs-137 ซึ่งมีพลังงานของไอโซโทปรังสีที่ 661.7 keV สำหรับการทดสอบและสอบเทียบ การปรับค่าแรงดันจะทำให้สเปกตรัมของไอโซโทปรังสีเคลื่อนที่ (Shift) ดังนั้นจะต้องปรับแรงดันเพื่อป้อนให้กับหัววัดรังสี NaI ที่ทำให้สเปกตรัมของไอโซโทปรังสี Cs-137 มีค่าการนับวัดสูงสุดที่พลังงาน 661.7 keV หรือใกล้เคียงมากที่สุดที่สามารถจะทำได้ ซึ่งค่าแรงดันไฟสูงที่ป้อนให้กับหัววัดรังสี NaI มีค่าเท่ากับ 760 V ดังรูปที่ 12

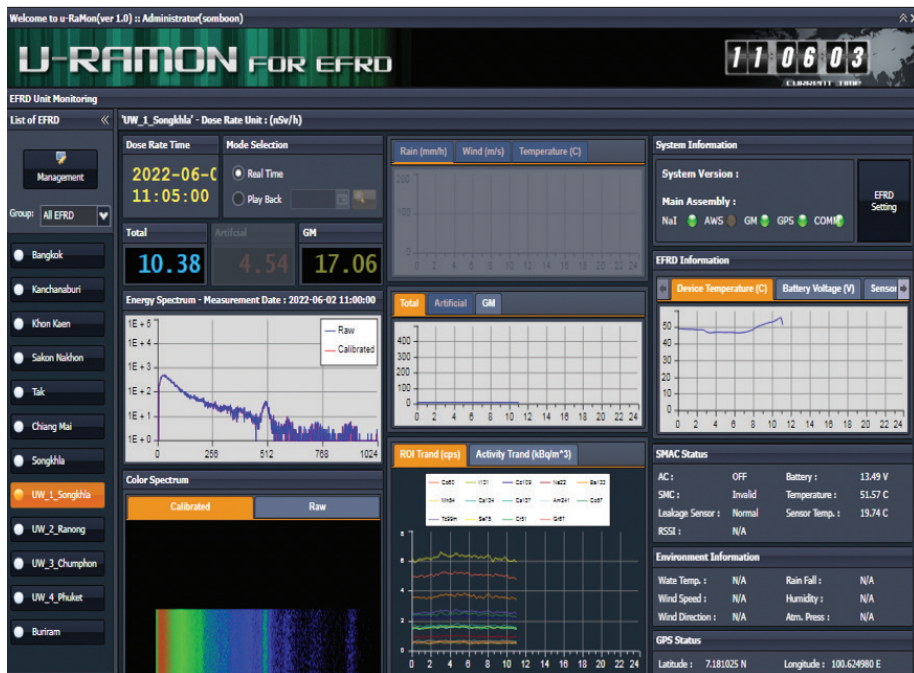


รูปที่ 12 ผลการเปรียบเทียบระบบวัดด้วยต้นกำเนิดรังสี Cs-137

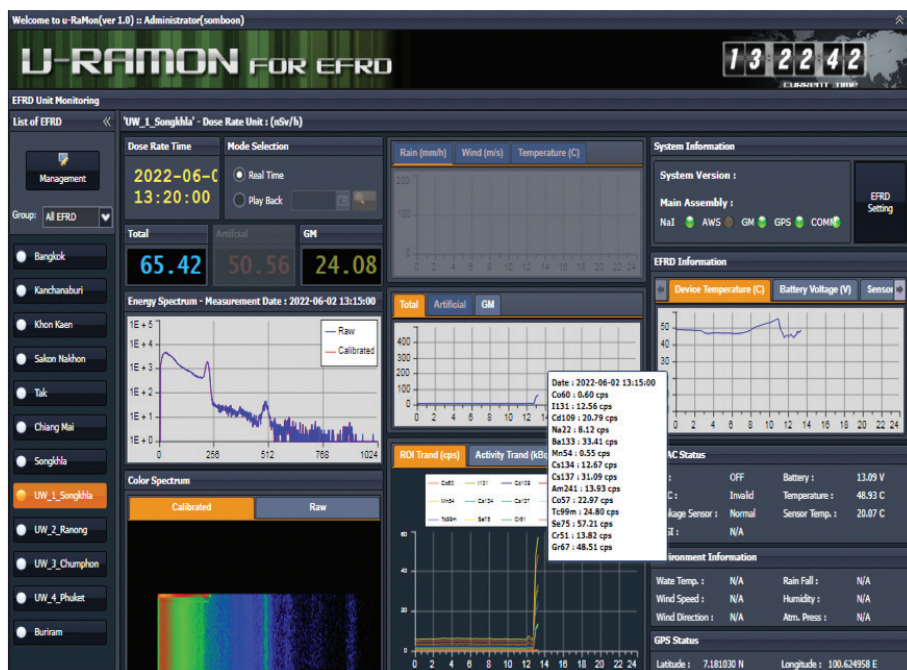
3.2 การตรวจวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมใต้น้ำทะเล (ค่า Background: BKG)

ผลการตรวจวัดระดับปริมาณรังสีแกมมาได้น้ำทะเล จังหวัดสงขลา ณ โรงสูบน้ำกลางทะเลศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง (สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สงขลา) ในสภาวะปกติที่ไม่ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 สำหรับการทดสอบระบบวัด เพื่อให้ระบบวัดทำการตรวจวัดระดับปริมาณรังสีแกมมา

ในธรรมชาติได้นำทะเลในพื้นที่หรือที่เรียกว่า คาร์รังสีพื้นหลัง ในธรรมชาติ (Background: BKG) ณ ขณะนั้นผลการตรวจวัดเบื้องต้น คือ ระดับปริมาณรังสีแกมมารวมที่วัดได้จากหัววัดรังสี NaI เท่ากับ 10.38 nSv/h ระดับปริมาณรังสีแกมมารวมที่วัดได้จากหัววัดรังสีแบบก๊าส (Geiger-muller) เท่ากับ 17.06 nSv/h กราฟของสเปกตรัมของไอโซโทปรังสีมีลักษณะปกติไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากเป็นผลที่ได้จากการวัดรังสี ในธรรมชาติในสิ่งแวดล้อมปกติดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 การตรวจวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมได้น้ำทะเล (ค่า Background: BKG)



รูปที่ 14 การตรวจวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมได้น้ำทะเลที่มีต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ระยะประชิด

3.3 การตรวจวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมได้น้ำทะเลที่มีต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ระยะประชิด

ผลการทดสอบการทำงานของระบบวัดรังสีของสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้น้ำทะเลจังหวัดสงขลา โดยการทดสอบกับต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ระยะประชิด ผลการตรวจวัดที่ได้ คือ ระดับปริมาณรังสีแกมมารวมที่วัด

ได้จากหัววัดรังสี NaI เท่ากับ 65.42 nSv/h ระดับปริมาณรังสีแกมมารวมที่วัดได้จากหัววัดรังสีแบบก๊าซเท่ากับ 24.08 nSv/h จากการทดสอบที่ระยะประชิดจะเห็นได้ว่าสเปกตรัมการตรวจวัดของระบบวัดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะสเปกตรัมของ Cs-137 มีค่าการนับวัดปรากฏในเส้นกราฟอย่างชัดเจนดังรูปที่ 14

จากผลการทดสอบการทำงานของระบบวัดรังสีของสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้นำทะเลจังหวัดสงขลาตามข้อ 3.2 และข้อ 3.3 เมื่อวันที่ 2 มิถุนายน 2565 สามารถสรุปได้ว่า ระบบวัดของสถานีสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การสอบเทียบระบบวัดรังสีของสถานีทำให้ระบบวัดรังสีตอบสนองต่อการตรวจวัดและจำแนกไอโซโทปรังสีได้อย่างถูกต้อง ทำให้มั่นใจได้ว่าการตรวจวัดและการวิเคราะห์ไอโซโทปรังสีของระบบวัดสามารถทำได้ถูกต้องหลังจากสอบเทียบระบบวัดรังสีด้วยต้นกำเนิดรังสี Cs-137

ข้อมูลการตรวจวัดรังสีแกมมาจากสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีในสิ่งแวดล้อมของสถานีต่าง ๆ ทั้งในอากาศและได้นำทะเลจะถูกใช้ประโยชน์ในการกำกับดูแลด้านความปลอดภัยทางนิวเคลียร์และรังสี เพื่อความปลอดภัยของประชาชนและสิ่งแวดล้อม โดยปส. จะอ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานซึ่งกำหนดโดยคณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiation Protection: ICRP) [6] ที่กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานและประชาชนทั่วไปได้รับปริมาณรังสียังผล (Effective dose) ไม่เกิน 20 mSv/yr และ 1 mSv/yr ตามลำดับ ข้อมูลการตรวจวัดดังกล่าวสามารถนำมาใช้ประเมินการได้รับรังสีของประชาชนจากสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ ตัวอย่างจากรูปที่ 13 ระดับปริมาณรังสีแกมมารวมที่วัดได้จากห้วงวัดรังสี Nal เท่ากับ 10.38 nSv/h สมมติว่าเราอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว 24 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 1 ปี (365 วัน) เราจะได้รับรังสีแกมมาซึ่งเป็นรังสีพื้นหลัง (BKG) ในธรรมชาติเท่ากับ 0.091 mSv (< 1 mSv/yr) สรุปได้ว่า พื้นที่ดังกล่าวยังคงเป็นพื้นที่ปลอดภัยทางรังสี และจากรูปที่ 14 ระดับปริมาณรังสีแกมมารวมที่วัดได้จากห้วงวัดรังสี Nal เท่ากับ 65.42 nSv/h ถ้าเราอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว 24 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 1 ปี (365 วัน) เราจะได้รับรังสีแกมมาจากค่า BKG และต้นกำเนิดรังสี Cs-137 เท่ากับ 0.573 mSv หากไม่มีข้อมูลทางสถิติของการตรวจวัดค่า BKG และระบบวัดไม่สามารถตรวจวัดไอโซโทปรังสีได้ จะทำให้สรุปได้ว่าพื้นที่ดังกล่าวยังคงเป็นพื้นที่ปลอดภัยทางรังสี อย่างไรก็ตามจากผลการตรวจวัดค่า BKG ที่มีการจัดเก็บเป็นฐานข้อมูล (ค่า BKG แต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบในสิ่งแวดล้อม) ในสถานการณ์จริงเมื่อระดับปริมาณรังสีสูงขึ้นมากกว่า 2-3 เท่าของค่า BKG รวมถึงระบบวัดสามารถตรวจวัดไอโซโทปรังสีของ Cs-137 ได้อย่างมีนัยสำคัญ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่เฝ้าระวัง และจำเป็นต้องมีการตรวจวัดซ้ำและจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างน้ำทะเลในพื้นที่เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ รวมถึงการกั้นพื้นที่เพื่อความปลอดภัยของประชาชน โดยที่ ปส. จะดำเนินการตามแนวทางปฏิบัติสำหรับการเผชิญเหตุฉุกเฉินทางนิวเคลียร์และรังสีต่อไป

ภาพรวมหลังจากที่ ปส. ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์โหลดห้วงวัดรังสีได้นำทะเลที่จังหวัดสงขลา และทำการทดสอบระบบวัดของสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้นำทะเลจังหวัดสงขลา ผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ ปัญหาการรั่วซึมของน้ำทะเลได้ถูกแก้ไขโดยการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรม ฟิสิกส์ และวัสดุศาสตร์ อย่างไรก็ตามการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงโครงสร้างของสถานียังคงมีความสำคัญและจำเป็นที่จะต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้จำเป็นต้องติดตามสถานะและอายุการใช้งานของท่อโหลดห้วงวัดรังสี Nal ที่ทำจากท่อ PVC จะสามารถใช้งานในพื้นที่จริงได้กี่ปี โดยที่เบื้องต้นประมาณการไว้ที่ 3-5 ปี

4. สรุป (Conclusion)

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้นำทะเลเนื่องจากการรั่วซึมของน้ำทะเลทำให้ห้วงวัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (Nal) ขาดประสิทธิภาพ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ปส. ได้ดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์โหลดห้วงวัดรังสีได้นำทะเลที่จังหวัดสงขลาและทำการสอบเทียบระบบเพื่อให้ระบบวัดของสถานีทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพปลอดภัยจากปัญหาการรั่วซึมของน้ำทะเลที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา เนื้อหาในบทความนี้ไม่ได้มุ่งเน้นสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดที่ได้จากระบบวัดของสถานี แต่เป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมฟิสิกส์ และวัสดุศาสตร์

ข้อมูลจากผลการตรวจวัดระดับปริมาณรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมได้นำทะเลจังหวัดสงขลา ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง (สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สงขลา) จะถูกใช้เป็นข้อมูลสำหรับการกำกับดูแลความปลอดภัยทางด้านนิวเคลียร์และรังสีของประเทศ เพื่อความปลอดภัยของประชาชนและสิ่งแวดล้อม โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส.)

องค์ความรู้และทักษะที่ได้จากการพัฒนาอุปกรณ์โหลดห้วงวัดรังสี Nal สำหรับสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้นำทะเลจังหวัดสงขลา สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเครือข่ายของสถานีเฝ้าระวังภัยทางรังสีได้นำทะเลได้ในอนาคต รวมถึงการใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้อง

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

การพัฒนาอุปกรณ์โหลดห้วงวัดรังสีได้นำทะเลจังหวัดสงขลาเพื่อแก้ปัญหาการรั่วซึมของน้ำทะเล สำเร็จลุล่วงโดยได้รับความอนุเคราะห์จากนายอัครา ไชยมงคล และนายเงินจิระ แว่วสุวรรณ ตลอดจนข้าราชการและ

เจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม
สัตว์น้ำชายฝั่ง (สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง
สงขลา) ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ คณะ
ผู้ดำเนินงานวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ไหลดัดหัวด้รงสีได้นำทะเล
จังหวัดสงขลา ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้สนับสนุนให้
ผลการดำเนินการต่าง ๆ สำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Povinec PP, Osvath I, Baxter MS. Underwater gamma-spectrometry with HPGe and NaI (TI) detectors. Appl Radiat Isot. 1996;47:1127-33.
- [2] Igor B, Igor K, Andrey L, Yuri O. Devices and methods used for radiation monitoring of sea water during salvage and transportation of the Kursk nuclear submarine to dock. Nucl Instrum Methods Phys Res A. 2003;505:439-43.
- [3] Tsabaris C, Thanos I. An underwater sensing system for monitoring radioactivity in the marine environment. Mediterr Mar Sci. 2004;5/1:125-31.
- [4] VLine Product Co., Ltd. คู่มือง่าย ๆ สำหรับมือใหม่ซื้อท่อพีวีซี [อินเทอร์เน็ต]. 2020 [เข้าถึงเมื่อ 15 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.torpvc.com/pvc-begin>
- [5] Dominik C. Hydrostatic pressure calculator [Internet]. 2022 [Cited 2023 Nov 16]. Available from: <https://www.omnicalculator.com/physics/hydrostatic-pressure>
- [6] International Commission on Radiological Protection (ICRP). ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection [Internet]. 2007 [Cited 2023 Feb 14]. Available from: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>

The background is a solid medium blue. It is decorated with several organic, flowing shapes in a lighter shade of blue. Some of these shapes contain concentric circles, creating a ripple effect. The shapes are scattered across the page, with some being larger and more prominent than others. The overall aesthetic is clean and modern.

5

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษเหลือต้นครามจากกระบวนการหมักสีธรรมชาติมาผลิตเป็นกระดาษหัตถกรรม

The Feasibility Study on Using Indigo Residues from the Natural Dye Extraction Process to Produce Handicraft Paper

จารวี เล็กสุขศรี¹, ก่อพงศ์ หงษ์ศรี¹, ชีรธร อาจล้ำอ่าง²

Jarawee Leksuksri¹, Korpong Hongsri¹, Theerat Ardsamang²

รับบทความ: 13 ธันวาคม 2565 แก้ไขบทความ: 24 มกราคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 21 มีนาคม 2566

บทคัดย่อ

ต้นครามจัดเป็นพืชตระกูลถั่ว มีลักษณะเป็นไม้พุ่มชอบน้ำน้อยและแดดจัด นิยมปลูกทางภาคเหนือและ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการย้อมผ้า เนื่องจากให้สีสวยงามและคงทน หลังกระบวนการผลิตครามจะก่อให้เกิดเศษเหลือทิ้งของต้นครามหลังการหมัก (สกิดสี) งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษเหลือต้นครามหลังกระบวนการหมักสีธรรมชาติมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษหัตถกรรมเพื่อลดปริมาณและเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเหลือต้นคราม โดยมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มจากศึกษาองค์ประกอบเคมีของเศษต้นครามหลังการหมัก นำไปผลิตเป็นเยื่อครามด้วยกระบวนการผลิตเยื่อวิธีโซดา และปรับปรุงคุณภาพเยื่อด้วยการบด เพื่อให้เหมาะสมสำหรับขึ้นรูปแผ่นกระดาษหัตถกรรม จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์และทัศนศาสตร์ ตลอดจนทดลองแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ต้นแบบ จากการศึกษาพบว่าต้นครามมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสร้อยละ 28.6 และลิกนินร้อยละ 12.1 หลังผ่านกระบวนการผลิตเยื่อแบบโซดา มีปริมาณผลผลิตเยื่อครามอยู่ที่ร้อยละ 58.3 และมีค่าความเป็นอิสระของน้ำเยื่อ 190 ml (CSF) ที่ระดับการบดเยื่อ 3 นาที สามารถขึ้นแผ่นกระดาษหัตถกรรมจากเยื่อเศษเหลือต้นครามโดยไม่ต้องผสมเยื่อชนิดอื่นหรือสารเติมแต่ง แผ่นกระดาษที่เตรียมได้จากส่วนผสมลำต้นและใบมีดัชนีความต้านแรงดึง 9.63 Nm/g ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด 8.28 mN.m²/g ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ 0.69 kPa.m²/g และสามารถแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุสิ่งของน้ำหนักเบาได้

คำสำคัญ: เศษเหลือต้นคราม องค์ประกอบเคมี กระดาษหัตถกรรม

¹กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

²ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Abstract

Indigo (*Indigofera tinctoria* L.) is a shrub belonging to the Leguminosae family. It prefers sunlight and little water and mostly grows in the north and northeast of Thailand. Indigo is considered the well-known textile dye in textile industry due to its beautiful and durable color. After the production of dye color from the indigo, a large amount of indigo stem has been discarded as waste. This research thus aims to study the feasibility of using indigo residues from dye extraction process as raw material in handicraft paper production to reduce the amount of waste and add value to indigo stem waste. Indigo wastes after dye extraction was analyzed the chemical compositions and pulped by soda pulping process. The indigo pulp properties were further improved by beating. Then, handicraft sheets was formed and tested for the physical and optical properties. The paper bag packaging prototype was subsequently made from these indigo handicraft sheets. The results showed that the amount of holocellulose was 28.6% and lignin was 12.1%. The indigo pulp after soda pulping had 58.3% yields and had 190 mL CSF freeness after being beaten for 3 minutes. The pulp could be formed into handicraft paper without extra additives addition. The handicraft paper made from stem mixed with leave had tensile index of 9.63 Nm/g, tear index of 8.28 mN.m²/g and burst index 0.69 kPa.m²/g. The paper bag made from this handicraft paper could be used to carry the light-weighted item.

Keywords: Indigo residues, Chemical composition, Handicraft paper

¹Engineering Materials Division, Department of Science Service

²Department of Forest Products, Faculty of Forestry, Kasetsart University

*Corresponding author e-mail address : ljarawee@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ต้นคราม มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Indigofera tinctoria* L. จัดอยู่ในวงศ์พืชตระกูลถั่ว LEGUMINOSAE-PAPILIONOIDEAE ชื่อสามัญ คือ Indigo มีลักษณะเป็นไม้พุ่ม ชอบน้ำน้อย แดดจัด พบกระจายพันธุ์อยู่ในเขตร้อนชื้น แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ไทย พม่า ลาว ฯลฯ ใบเป็นใบประกอบขนาดเล็ก กว้าง 0.5 - 1 เซนติเมตร ยาว 1 - 1.5 เซนติเมตร ลำต้นประกอบด้วยข้อและปล้อง ระบบรากเป็นรากแก้ว ดอกมีขนาดเล็กคล้ายดอกถั่ว สีเขียวอ่อนอมครีม ฝักมีลักษณะคล้ายฝักถั่ว ขนาดความยาวของฝักประมาณ 5 - 8 เซนติเมตร ผลมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล มีเมล็ดขนาดเล็ก รูปทรงกระบอกอยู่ภายในประมาณ 8 - 10 เมล็ด เมล็ดที่ร่วงหล่นจะงอกเป็นต้นเจริญเติบโตในหน้าฝน และเมล็ดจะแก่ในช่วงฤดูหนาว จะมีช่วงวงจรชีวิตอยู่ในเดือน พฤษภาคม-ธันวาคม แต่สามารถเก็บเมล็ดนำมาปลูกเลี้ยงได้ตลอดปี ขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด [1] และ [2]

จากข้อมูลปี 2562 พบว่าจังหวัดสกลนครมีพื้นที่ปลูกครามอยู่ที่ 69 ไร่ ผลผลิตรวม 126 ตัน [3] และปัจจุบันมีการเพิ่มพื้นที่ปลูกครามโดยส่งเสริมให้มีการปลูกต้นครามแซมในสวนต้นหม่อน เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตครามเปียกและขายเมล็ดคราม สร้างรายได้ให้กับจังหวัดสกลนคร มีมูลค่าการตลาดไม่ต่ำกว่า 100 ล้านบาท/ปี [4] การเก็บเกี่ยวครามจะใช้วิธีการตัดหรือเกี่ยวกิ่งและใบให้เหลือตอสูงประมาณ 20 เซนติเมตร ต้องเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาเช้ามีด หลีกเลี้ยงแสงแดดที่จะทำให้ใบครามเหี่ยวและให้สีครามน้อย หลังการเก็บเกี่ยวจะแช่ใบครามกับน้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงแยกกากซึ่งก็คือ กิ่งและใบครามออก แล้วนำไปต้มปูนขาว น้ำจะเปลี่ยนเป็นสีคราม แล้วเข้าสู่กระบวนการหมักสีธรรมชาติเพื่อให้ได้น้ำครามเปียกสำหรับใช้ย้อมผ้าต่อไป กิ่งและใบครามประมาณ 8 กิโลกรัม จะได้เนื้อครามผสมน้ำปูนขาว 200 - 300 กรัม จึงต้องปลูกต้นครามค่อนข้างมากเพื่อให้พอใช้สำหรับทำผ้าย้อมครามเพื่อการค้าตลอดทั้งปี [2]

จะเห็นได้ว่าส่วนของกิ่งและใบครามหลังการหมักสีเพื่อทำครามเปียก จะกลายเป็นเศษเหลือที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์อื่นนอกจากปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ และมีปริมาณเศษเหลือมากเท่ากับผลผลิตครามสด กลายเป็นขยะอินทรีย์ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้หลักการใช้ประโยชน์ทุกส่วนอย่างคุ้มค่า และสร้างเศรษฐกิจแบบหมุนเวียน (Circular economy) เพื่อลดปริมาณขยะอินทรีย์จากเศษเหลือต้นคราม และเพิ่มมูลค่าโดยนำเส้นใยครามมาทำเป็นกระดาษหัตถกรรม แปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์บรรจุสินค้าจากผ้าย้อมคราม เพิ่มอัตลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ และส่งเสริมให้เกิดชุมชนของเสียเป็นศูนย์ หรือ Zero waste แต่ที่ผ่านมา

ยังไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเศษเหลือต้นคราม หรือการศึกษาเกี่ยวกับเส้นใยคราม

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาเส้นใยคราม ผลลัพธ์จากเศษเหลือต้นคราม แล้วนำมาทำเป็นกระดาษหัตถกรรม ซึ่งสามารถนำเศษเหลือครามมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า และเป็นการเพิ่มความหลากหลายของวัตถุดิบในการทำกระดาษหัตถกรรม โดยการศึกษาจะดำเนินการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมี (Chemical composition) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใย (Fiber morphology) และผลิตเป็นเยื่อครามด้วยวิธีโซดา (Soda pulping process) ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตเยื่อที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษหัตถกรรม เพราะขั้นตอนง่าย ไม่ซับซ้อน ใช้สารเคมีเพียงชนิดเดียว คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และสามารถผลิตเยื่อกระดาษได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเยื่อกระดาษที่ได้มาขึ้นรูปและวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแข็งแรงทางกายภาพ ทดคุณสมบัติ และแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุสิ่งของต้นแบบ

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

- เศษเหลือต้นคราม
- ชุดสกัดสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบเคมี
- หม้อเหล็กไร้สนิม ขนาดความจุ 30 ลิตร
- เครื่องบดเยื่อแบบ Valley beater
- เครื่องทดสอบสภาพความเป็นอิสระของน้ำเยื่อ

(Canadian standard freeness tester)

- เพรสตะแกรงขึ้นแผ่นกระดาษหัตถกรรม ขนาด 15×25 เซนติเมตร และ 55×80 เซนติเมตร
- กล้องจุลทรรศน์สำหรับวิเคราะห์เส้นใย ZEISS Primostar 3 เชื่อมต่อกับส่วนถ่ายภาพ Axiocam 208 color และโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย Zeiss ZEN 3.7

2.2 สารเคมี

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 98.5%
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดอุตสาหกรรม

2.3 วิธีดำเนินงาน

2.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของต้นคราม

2.3.1.1 นำเศษเหลือต้นครามหลังการหมักมาตากให้แห้ง สับเป็นชิ้นไม้ แล้วบดด้วยเครื่องบดละเอียด และคัดขนาดผงไม้ด้วยเครื่องคัดขนาด (Sieve analyzer) จนได้ผงไม้ขนาด 40 mesh และ 60 mesh

2.3.1.2 นำผงไม้ขนาด 40 mesh แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปวิเคราะห์การละลายในต่างร้อยละ 1 ตามมาตรฐาน TAPPI T 204 ค่าการละลายน้ำร้อน ตามมาตรฐาน TAPPI T 207 และปริมาณเถ้า ตามมาตรฐาน TAPPI T 211 ส่วนที่สองนำผงไม้ไปสกัดหาปริมาณสารแทรก ด้วยแอลกอฮอล์-เบนซีน ตามมาตรฐาน TAPPI T 212 แล้วจึงนำผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกไปวิเคราะห์หาปริมาณ ลิกนิน ตามมาตรฐาน TAPPI T 222 และปริมาณเพนโทแซน ตามมาตรฐาน TAPPI T 223 ts-63

2.3.1.3 นำผงไม้ขนาด 60 mesh สกัดสาร แทรกออกด้วยแอลกอฮอล์-เบนซีน ตามมาตรฐาน TAPPI T 212 แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเซลลูโลส ตามมาตรฐาน TAPPI section, January 10, 1946 และ ปริมาณแอลฟา เบต้า และแกมมาเซลลูโลส ตามมาตรฐาน TAPPI 203

2.3.2 การผลิตเยื่อวิธีโซดา (Soda pulping process)

2.3.2.1 นำเศษเหลือต้นครามแห้งที่ผ่านการสับเป็นชิ้นไม้ ขนาดประมาณ 3 เซนติเมตร ใบของต้น คราม ขนาดความกว้างประมาณ 0.5 -1 เซนติเมตร ยาวประมาณ 1-2 เซนติเมตรและส่วนผลระหว่างลำต้น กับใบในอัตราส่วน 2:1 ใส่ในหม้อเหล็กไร้สนิม ขนาดความจุ 30 ลิตร

2.3.2.2 เตรียมน้ำยาต้มเยื่อ โดยใช้โซเดียม ไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักต้นครามแห้ง เติมน้ำให้ มีอัตราส่วนระหว่างต้นครามต่อน้ำ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) เป็น 1:20

2.3.2.3 เติมน้ำยาต้มเยื่อลงในหม้อ และ ต้มจนเดือด เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

2.3.2.4 เมื่อครบกำหนดเวลา นำเยื่อที่ได้ มาล้างให้สะอาด แล้วทำการหาปริมาณความชื้น และ นำไปปรับปรุงคุณภาพเยื่อด้วยการบดดังแสดงในข้อ 2.3.3

2.3.2.5 วิเคราะห์ผลผลิตเยื่อด้วยวิธีการชั่ง น้ำหนักเยื่อที่ได้ โดยคำนวณเป็นน้ำหนักแห้งจากปริมาณ ความชื้น จากนั้นคิดผลผลิตเยื่อเป็นร้อยละเทียบกับเศษต้น ครามแห้ง วิเคราะห์ความยาวเส้นใยโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ สำหรับวิเคราะห์เส้นใย ZEISS Primostar 3 เชื่อมต่อกับส่วน ถ่ายภาพ Axiocam 208 color และโปรแกรมวิเคราะห์ ภาพถ่าย Zeiss ZEN 3.7

2.3.3 การปรับปรุงคุณภาพเยื่อและขึ้นรูปแผ่น กระดาษหัตถกรรม

2.3.3.1 นำเยื่อที่ได้มาปรับปรุงคุณภาพ ด้วยการบด โดยใช้เครื่อง Valley beater ตามมาตรฐาน ISO 5264-1 เป็นเวลา 3 นาที ดังแสดงในรูปที่ 1ก.

2.3.3.2 หลังการบดนำเยื่อมาหาค่าความ เป็นอิสระของน้ำเยื่อ (Canadian standard freeness: CSF) ตามมาตรฐาน ISO 5267-2 ดังแสดงในรูปที่ 1ข.

2.3.3.3 จากนั้นนำน้ำเยื่อที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 1.57 โดยมวล ปริมาตร 1500 มิลลิลิตร ไปขึ้นแผ่น บนเฟรมตะแกรงขนาดความกว้างของช่องตะแกรง 1.5 มิลลิเมตร ขนาด 15×25 เซนติเมตร สำหรับทดสอบ คุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์และทัศนศาสตร์ และใช้น้ำเยื่อ ปริมาตร 20 ลิตร ไปขึ้นแผ่นเฟรมตะแกรงขนาด 55×80 เซนติเมตร สำหรับทดลองแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ ดังแสดง ในรูปที่ 2

2.3.3.4 ตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง



ก.

ข.

รูปที่ 1 ก. แสดงการบดเยื่อครามด้วยเครื่อง Valley beater
ข. แสดงการหาค่าความเป็นอิสระของน้ำเยื่อแบบ Canadian standard freeness tester



รูปที่ 2 แสดงการขึ้นรูปแผ่นกระดาษหัตถกรรมจากเยื่อคราม

2.3.4 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระดาษ

นำแผ่นกระดาษหัตถกรรมที่ได้มาปรับสภาพ

ในห้องควบคุมสภาวะก่อนการทดสอบ ที่อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 35 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง และทำการทดสอบที่สภาวะ อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 65 ± 2 จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ ได้แก่ ดัชนีความต้านแรงดึง (ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 1924-2) ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด (ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 1974) ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ (ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 2758) ค่าความหนา และความหนาแน่นปรากฏ (ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 534) และทดสอบด้านทัศนศาสตร์ ได้แก่ ความขาวสว่าง (ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 2470-1) และความทึบแสง (ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 2471)

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุลิกโนเซลลูโลสแสดงถึงความเป็นไปได้ของวัตถุดิบสำหรับการผลิตเยื่อและกระดาษซึ่งประกอบไปด้วยเซลลูโลส แพนโทแซน ลิกนิน และสารแทรกแต่งแสดงในตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของเศษเหลือต้นครามหลังการหมัก พบว่า ต้นครามมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสร้อยละ 28.6 โดยมีปริมาณอัลฟาเซลลูโลสร้อยละ 55.3 ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพืชที่ไม่ใช่เนื้อไม้ชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ อย่างเช่น ปอสา ไม้ หรือชานอ้อย ที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงถึงร้อยละ 60 - 70 [7] ส่งผลต่อผลผลิตของเยื่อที่น้อยลง เนื่องจากต้นครามเป็นผลผลิตจากการหมักสัปดาห์ ออกจึงมีเซลลูโลสบางส่วนสลายตัว และจากลำต้นของต้นครามมีขนาดเล็ก มีเปลือกแข็ง จึงอาจให้เส้นใยน้อย ปริมาณลิกนินของต้นครามค่อนข้างน้อยอยู่ที่ร้อยละ 12.1 อยู่ในระดับเดียวกับพืชที่ไม่ใช่เนื้อไม้ทั่วไป ถึงแม้เศษเหลือต้นครามจะมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสน้อย แต่ก็มีปริมาณลิกนินที่น้อยด้วย ซึ่งเป็นผลดีในการผลิตเยื่อจะช่วยให้ผลิตเยื่อได้ง่าย และสีของเยื่อไม่ดำคล้ำเนื่องจากการกลับสีของลิกนิน และส่วนที่สามารถสกัดออกมาจากวัตถุดิบได้มีปริมาณร้อยละ 42.8 แบ่งเป็นสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ จากการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีนพบร้อยละ 13.6 และสารแทรกที่ละลายในน้ำร้อนพบร้อยละ 29.2 ส่วนปริมาณการละลายในด่าง 1% แสดงถึงการวัดระดับการเสื่อมสลายของตัวอย่าง [8] พบว่าในเศษเหลือครามมีค่าสูงถึง 61.8% เนื่องมาจากกระบวนการผลิตสีซึ่งมีการหมักต้นครามและเกิดการเสื่อมสลายขึ้น ปริมาณชี้เป้าแสดงถึงเกลือโลหะต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น คาร์โบเนต ซิลิกา แมกนีเซียม แคลเซียม และเหล็ก ซึ่งปริมาณชี้เป้าสูงเป็นคุณสมบัติที่ไม่ดีต่อกระบวนการผลิตเยื่อ [9]

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของเศษเหลือต้นคราม

องค์ประกอบเคมี		คราม
ปริมาณเถ้า	% ต่อตัวอย่าง	10.5
การละลายในน้ำร้อน	% ต่อตัวอย่าง	29.2
การละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน	% ต่อตัวอย่าง	13.6
การละลายในด่าง 1%	% ต่อตัวอย่าง	61.8
ปริมาณลิกนิน	% ต่อตัวอย่าง	12.1
ปริมาณเพนโทแซน	% ต่อตัวอย่าง	2.7
ไฮโดรเซลลูโลส	% ต่อตัวอย่าง	28.6
อัลฟาเซลลูโลส	% ต่อไฮโดรเซลลูโลส	55.3
เบต้าเซลลูโลส	% ต่อไฮโดรเซลลูโลส	21.7
แกมมาเซลลูโลส	% ต่อไฮโดรเซลลูโลส	20.5

การผลิตเยื่อกระดาษจากเศษเหลือต้นครามด้วยกรรมวิธีการโซดา โดยใช้สารละลายความเข้มข้นร้อยละ 15 ต่อน้ำหนักแห้งของเศษเหลือต้นคราม ซึ่งความเข้มข้นดังกล่าวนิยมใช้โดยทั่วไปสำหรับการผลิตเยื่อด้วยกรรมวิธีโซดากับพืชที่ไม่ใช่เนื้อไม้ [10] ผลผลิตเยื่อครามเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 58.3 มีค่าความเป็นอิสระของน้ำเยื่อ (CSF Freeness) ของเยื่อจากลำต้นผสมกับใบอยู่ที่ 340 มิลลิลิตร (ml CSF) และลดลงจนถึง 190 มิลลิลิตร (ml CSF) ที่ระดับการต้เยื่อ 3 นาที ใบต้นครามมีความยาวเส้นใยเฉลี่ย 1.34 mm ในขณะที่ลำต้นครามมีความยาวเส้นใยยาวกว่าเล็กน้อยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.36 mm ซึ่งเป็นช่วงความยาวเดียวกับพืชเส้นใยสั้นหรือไม่ใวกว้าง เช่น ยูคาลิปตัส กระถิน เมเปิ้ล เป็นต้น [6] และจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10X พบเซลล์เส้นใย (Fiber) เซลล์เวสเซล (Vessel) และเซลล์พาราคิมา (parenchyma) มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3



ก. เซลล์เส้นใย (Fiber) ข. เซลล์เวสเซล (Vessel) ค. เซลล์พาราคิมา (Parenchyma)

รูปที่ 3 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยจากน้ำเยื่อครามที่ผสมกันระหว่างส่วนลำต้นและใบ ประกอบด้วย ก. เซลล์เส้นใย (Fiber) ข. เซลล์เวสเซล (Vessel) ค. เซลล์พาราคิมา (Parenchyma)

หลังการขึ้นรูปแผ่นกระดาษหัตถกรรมในห้องปฏิบัติการพบว่าเยื่อกระดาษสามารถนำมาขึ้นแผ่นหัตถกรรมได้โดยไม่ต้องผสมเยื่อบริสุทธิ์ชนิดอื่นหรือสารเติมแต่งเพื่อช่วยในการขึ้นรูป ผลการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของกระดาษหัตถกรรมจากเศษเหลือต้นक्रम ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า แผ่นกระดาษนี้มีค่าน้ำหนักมูลฐาน 116.6 g/m^2 มีความหนา $761.8 \text{ }\mu\text{m}$ ความหนาแน่นปรากฏ 153 kg/m^3 ดัชนีความต้านแรงดึง 9.63 Nm/g ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด $8.28 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ $0.69 \text{ kPa.m}^2/\text{g}$ ทั้งนี้พบว่าในกระดาษที่ผลิตจากใบक्रमมีความหนาแน่นปรากฏมากกว่าลำต้นक्रम โดยทั่วไปแล้วตัวอย่างกระดาษที่มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าจะให้ค่าความแข็งแรงของแผ่นกระดาษที่มากกว่าโดยเฉพาะเมื่อพิจารณาถึงดัชนีความต้านทานแรงดึง [11] เยื่อที่ผลิตจากใบक्रमพบว่าสามารถต้านทานแรงดึงและแรงดันทะลุได้สูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามความต้านทานแรงฉีกขาดนั้นขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใย [12] จึงพบว่าลำต้นक्रमที่มีเส้นใยยาวกว่าใบक्रमนั้นสามารถต้านทานแรงฉีกขาดได้มากกว่า การผลิตเยื่อที่ผสมระหว่างลำต้นและใบพบว่าสามารถปรับปรุงคุณภาพเยื่อกระดาษที่ผลิตขึ้นได้เหมาะสมกว่าการผลิตเยื่อกระดาษจากส่วนใดส่วนหนึ่งของลำต้นหรือใบक्रम

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของกระดาษหัตถกรรมจากต้นक्रम

สมบัติทางฟิสิกส์	ลำต้นक्रम	ใบक्रम	ลำต้น:ใบ क्रम, 2:1
มวลมาตรฐาน, g/m^2	163.43	101.25	116.65
ความหนา, μm	1,185.22	507.05	761.80
ความหนาแน่น ปรากฏ kg/m^3	138	200	153
ดัชนีความต้านแรง ดึง, Nm/g	7.29	12.57	9.63
ดัชนีความต้านแรงฉีก ขาด, $\text{mN.m}^2/\text{g}$	9.78	6.39	8.28
ดัชนีความต้านแรงดัน ทะลุ, $\text{kPa.m}^2/\text{g}$	0.63	0.69	0.69

แผ่นกระดาษจากลำต้นและใบक्रमมีค่าความทึบแสงสูงถึงร้อยละ 97.0 แต่ค่าความขาวสว่างน้อยกว่าร้อยละ 22.3 เนื่องจากเยื่อกระดาษไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอก จึงให้ค่าความขาวสว่างต่ำ และเยื่อมีสีธรรมชาติ คือ สีเหลือง ดูได้จากค่า b^* และเฉดสีอยู่ในโทนสว่าง ดูได้จากค่า L^* ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 4

จากการทดลองแปรรูปแผ่นกระดาษหัตถกรรมจากเยื่อเศษเหลือต้นक्रम พบว่าสามารถแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทถุงกระดาษ มีขนาดกว้าง 7 เซนติเมตร ยาว 29.5 เซนติเมตร และสูง 40 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 แต่หากเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์กับมาตรฐานกระดาษถุงชั้นเดียวตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษเหนียว (มอก.170-2559) [13] พบว่ากระดาษหัตถกรรมจากเยื่อเศษเหลือต้นक्रमที่ผลิตได้ยังมีค่าความแข็งแรงต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด จึงอาจยังไม่เหมาะที่จะใช้บรรจุสิ่งของที่มีน้ำหนักมาก

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทัศนสมบัติของกระดาษหัตถกรรมจากต้นक्रम

สมบัติทางทัศนศาสตร์	क्रम
ความทึบแสง, ร้อยละ	97.0
ความขาวสว่าง, ร้อยละ	22.3
ค่าสี, หน่วย	
- L^*	65.3
- a^*	0.46
- b^*	19.8



รูปที่ 4 กระดาษหัตถกรรมจากเยื่อเศษเหลือต้นक्रम และต้นแบบบรรจุภัณฑ์ถุงกระดาษ

4. สรุป (Conclusion)

เศษเหลือต้นความมีปริมาณองค์ประกอบเคมีใกล้เคียงกับพืชที่ไม่ใช่เนื้อไม้ (Non-wood) ใบต้นความมีความยาวเส้นใยเฉลี่ย 1.34 mm และลำต้นความมีความยาวเส้นใยยาวกว่าเล็กน้อยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.36 mm จัดอยู่ในช่วงความยาวของพืชเส้นใยสั้นหรือไม้ใบกว้าง สามารถผลิตเป็นเยื่อได้ด้วยกระบวนการผลิตแบบไซตา และสามารถขึ้นรูปเป็น กระดาษหัตถกรรมได้โดยไม่ต้องผสมเยื่อบริสุทธิ์หรือสารเติมแต่ง ค่าความแข็งแรงของแผ่นกระดาษหัตถกรรมที่ได้ค่อนข้างน้อยเนื่องจากเป็นเศษเหลือจากกระบวนการสกัดสี การผลิตเยื่อกระดาษจากส่วนผลระหว่างลำต้นและใบความสามารถช่วยให้เส้นใยมีความเหมาะสมในการผลิตกระดาษมากขึ้นว่าผลิตจากส่วนใดส่วนหนึ่งเท่านั้น และยังสามารถแปรรูปแผ่นกระดาษเป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทถุงสำหรับบรรจุสิ่งของที่มีน้ำหนักเบาได้ และหากต้องการพัฒนาให้บรรจุภัณฑ์ประเภทถุงจากกระดาษหัตถกรรมเศษเหลือต้นความสามารถใช้งานได้หลากหลาย และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อาจต้องใส่สารที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงทางด้านกายภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กลุ่มงานเทคโนโลยีชุมชนสำหรับข้อมูลการติดต่อเพื่อจัดทำวิทยุติดตัว และคุณเอกพันธ์ มืดทับไทย ผู้ปลูกและผลิตคราม อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร ที่เอื้อเฟื้อต้นความหลังการหมักสำหรับกิจกรรมวิจัยนี้ และขอขอบคุณภาคีวิชาการผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้กล้องจุลทรรศน์สำหรับวิเคราะห์เส้นใย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. สำนักวิทยบริการ งานข้อมูลท้องถิ่น. ความ: ไม่ยอมสืบทอดชาติ [อินเทอร์เน็ต]. [ม.ป.ป.] [เข้าถึงเมื่อ 3 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://www.esanpedia.oar.ubu.ac.th/tint/?page_id=59
- [2] สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงาน โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. คู่มือการผลิตผ้าย้อมคราม [อินเทอร์เน็ต]. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัทพุ่มพันธ์เจน ทรี จำกัด; 2555 [เข้าถึงเมื่อ 27 ตุลาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.rdpb.go.th/UploadNew/Documents/ผ้าย้อมคราม.pdf>
- [3] กรมส่งเสริมการเกษตร. ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร สมุนไพรและเครื่องเทศ (คราม) ปี 2562 [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 9 พฤศจิกายน 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://production.doae.go.th>
- [4] เกษตรอินทธรณ. ปลูกครามแซมสวนหม่อน หนึ่งช่องทางเสริมรายได้ของเกษตรกรผู้ปลูกหม่อนเลี้ยงไหม [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 3 พฤศจิกายน 2565] เข้าถึงได้จาก: https://www.sentangsedtee.com/farming-trendy/article_37502
- [5] ครองใจ โสมรักษ์, พิจิกา ทิมสุกใส, สุจินต์ เจนวนิวัฒน์. อิทธิพลของอายุเก็บเกี่ยวต่อผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์คราม. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 2563;38:426-33
- [6] Henriksson G, Brannvall E, Lennholm H. The Trees. In Ek M, Gellerstedt G, Henriksson G, editors. Pulp and paper chemistry and technology volume 1 wood chemistry and wood biotechnology. Stockholm: School of Chemical Science and Engineering Royal Institute of Technology; 2009. p.13-44.
- [7] Ferdous T, Ni Y, Quaiyyum MA, Uddin MN, Jahan MS. Non-wood fibers: Relationships of fiber properties with pulp properties. ACS Omega 2021;6:21613-22.
- [8] Kawase K. Chemical components of wood decayed under natural condition and their properties. J Fac Agric Hokkaido Univ.1962;52:186-245.
- [9] Shakhesh J, Zeinaly F, Marandi M, Saghaei T. The Effects of processing variables on the soda and soda-AQ pulping of kenaf bast fiber. BioResources 2011; 6: 4626-39.
- [10] Leponiemi A. Non-wood pulping possibilities – a challenge for the chemical pulping industry. Appita J. 2008;61:234-43.
- [11] Sahaquai H, Zhou Q, Berglund L.A. Nanofibrillated cellulose for enhancement of strength in high-density paper structures. Nord Pulp Pap Res J. 2013;28:182-89.
- [12] Ardsamang T, Puthson P, Somboon P. Effect of long-fiber hardwood kraft pulp from *Baccaurea ramiflora* Lour. on handsheet properties of pulp blends. Agric Nat Resour. 2020;54:287-94.
- [13] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(สมอ). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษเหนียว. มอก.170-2550. กรุงเทพฯ: สมอ.; 2550.

The background is a solid medium blue. It is decorated with several large, light blue, organic, wavy shapes that resemble cells or fluid droplets. Some of these shapes contain smaller, concentric circles or smaller versions of the organic shapes, creating a layered, cellular effect. The overall aesthetic is clean, modern, and scientific.

6

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบปริมาณ แมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่วที่แพร่ออกมาจาก ภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียม

Method validation for determination of manganese, zinc, nickel,
chromium, molybdenum, cadmium and lead released from aluminium
cooking utensils

6

จิตวิไล เวฬุวนารักษ์¹, วันดี ลือสายวงศ์^{1*}

Jitwilai Waluwanarak¹, Wandee Luesaiwong^{1*}

รับบทความ: 3 มกราคม 2566 แก้ไขบทความ: 27 กุมภาพันธ์ 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 27 มีนาคม 2566

บทคัดย่อ

ภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียมได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในประเทศไทยและประเทศในภูมิภาคอาเซียนเนื่องจากมีน้ำหนักเบา นำความร้อนได้ดี และราคาถูก อย่างไรก็ตามมีข้อด้อยของภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียม คือ เมื่อภาชนะสัมผัสกับอาหารที่เป็นกรด สามารถเกิดการแพร่หรือละลายออกมาของโลหะต่าง ๆ เข้าไปสู่อาหารการปนเปื้อนวิธีทดสอบปริมาณโลหะที่แพร่ออกมาสู่สารที่เป็นตัวแทนอาหารจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบการศึกษานี้จึงเป็นการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบปริมาณแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่วที่แพร่ออกมาจากภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียม ด้วยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมาอะตอมฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรเมตรี (ICP-OES) ตาม Metals and alloys used in food contact materials and article. A practical guide for manufactures and regulators [1] พบว่าช่วงการใช้งานของเครื่องมือสำหรับการทดสอบแมงกานีส นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม ตะกั่ว เท่ากับ 0.05 – 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และสังกะสี เท่ากับ 0.10 – 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าขีดจำกัดการตรวจหาของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่ว เท่ากับ 1.0, 7.4, 0.6, 0.3, 0.3, 0.2 และ 2.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณของสังกะสีเท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุที่เหลือ เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร การศึกษา ค่าความไวและความเที่ยงมีช่วงร้อยละการคืนกลับ และร้อยละของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของทั้งเจ็ดธาตุอยู่ในช่วง 83.8 - 98.4 และ 0.45 - 4.17 ตามลำดับ และค่าความไม่แน่นอนขยายของแต่ละธาตุมีค่าไม่เกินร้อยละ ± 15 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้น วิธีทดสอบปริมาณธาตุทั้งเจ็ดที่แพร่ออกมาจากภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียมด้วยเทคนิค ICP-OES ผ่านการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี และเหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้งาน

คำสำคัญ: ภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียม วัสดุสัมผัสอาหาร ธาตุที่แพร่หรือละลาย

¹กองเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อุปโภค กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Abstract

Aluminium cooking utensils are widely used in Thailand and other ASEAN countries due to their lightweight, transferring heat quickly and cheap prices. There is a trade-off, however, because almost all aluminium cooking utensils can release metals through food when they contact with acidic foodstuffs. The method for determination of manganese, zinc, nickel, chromium, molybdenum, cadmium and lead released from aluminium cooking utensils by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) was validated according to Metals and alloys used in food contact materials and article. A practical guide for manufactures and regulators [1]. Results showed that instrument working ranges of manganese, nickel, chromium, molybdenum, cadmium and lead were 0.05 - 1.0 mg/L and zinc was 0.10 - 1.0 mg/L. The limit of detections of manganese, zinc, nickel, chromium, molybdenum, cadmium and lead were 1.0, 7.4, 0.6, 0.3, 0.3, 0.2 and 2.1 µg/L. The limit of quantitations of zinc was 0.10 mg/L and the others were 0.05 mg/L. The bias and precision studies showed that percentage of recovery and relative standard deviations of seven elements were 83.8 - 98.4 and 1.17 - 4.17, respectively. While the expanded uncertainties of all elements were less than $\pm 15\%$, at the confidence level of 95%. Therefore, this test method for determination of seven released elements from aluminium cooking utensils by ICP-OES is valid and fits for intended use.

Keywords: Aluminium cooking utensils, Food contact materials, Release element

¹Chemicals and Consumer Products Division, Department of Science Service

*Corresponding author e-mail address : jitwilai@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ภาชนะหุงต้ม คือ ภาชนะซึ่งผลิตขึ้นให้ทนต่อความร้อนที่ใช้ในการประกอบอาหาร วัสดุหลักที่นำมาใช้ผลิตภาชนะหุงต้มส่วนใหญ่ คือ โลหะต่าง ๆ เช่น เหล็ก เหล็กกล้า ไร้สนิม และอะลูมิเนียม โดยภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียมได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในประเทศไทยและประเทศในภูมิภาคอาเซียนเนื่องจากการมีน้ำหนักเบา นำความร้อนได้ดี ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิง และราคาถูกกว่าภาชนะหุงต้มเหล็กกล้าไร้สนิม อย่างไรก็ตามข้อด้อยของภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียม คือ เมื่อภาชนะสัมผัสกับอาหารที่เป็นกรดหรือมีรสเค็ม สามารถเกิดการแพร่หรือละลายออกมาของอะลูมิเนียมและโลหะต่าง ๆ เข้าไปสู่อาหาร ส่งผลให้ผู้บริโภคเกิดความเสี่ยงอันตรายจากการรับปริมาณโลหะเข้าสู่ร่างกายโดยไม่ตั้งใจ ดังนั้น ความปลอดภัยจากภาชนะหุงต้มโลหะและโลหะผสมจึงมีความสำคัญไม่ด้อยกว่าความปลอดภัยของอาหาร ปัจจุบันประเทศในสหภาพยุโรปหลายประเทศมีการแนะนำไม่ให้ใช้ภาชนะหุงต้มที่ผลิตจากอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมโลหะผสมที่ไม่มีการเคลือบแล้ว ในปี 2004 สหภาพยุโรปได้ออกระเบียบที่ 1935/2004 ซึ่งเป็นระเบียบเกี่ยวกับการป้องกันการปนเปื้อนสารเคมีจากบรรจุภัณฑ์สู่อาหารในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ หรือมีผลทำให้ส่วนประกอบอาหารเปลี่ยนแปลง หรือทำลายรสชาติและกลิ่นของอาหาร และระเบียบนี้ได้ระบุถึงวัสดุสัมผัสอาหาร 17 ประเภทโดยมีโลหะและโลหะผสมด้วย [2] อย่างไรก็ตามปัจจุบันสหภาพยุโรปยังไม่มีวิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับวัสดุสัมผัสอาหารประเภทโลหะและโลหะผสม มีเพียงแนวทางปฏิบัติตาม Metals and alloys used in food contact materials and articles, A practical guide for manufacturers and regulators [1] ที่จัดทำขึ้นโดย Committee of Experts on Packaging Materials for Food and Pharmaceutical Products (P-SC-EMB) ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับ 1) specific release limits (SRLs) หรือปริมาณสูงสุดที่ยอมให้ไอออนโลหะหรือไอออนโลหะผสม ในหน่วยมิลลิกรัมสามารถแพร่หรือละลายออกมาจากวัสดุหรือบรรจุภัณฑ์ (ที่ถูกกำหนดพื้นที่ผิว) สู่อาหารในหน่วยกิโลกรัม หรือสารที่เป็นตัวแทนอาหาร (food simulants) 2) แนวทางการทดสอบปริมาณโลหะที่แพร่ออกมา (release test) สูตรที่เป็นตัวแทนอาหารโดยวิธีทดสอบที่ใช้ต้องผ่านการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี และ 3) เกณฑ์การยอมรับของขีดจำกัดการตรวจหา (LOD) ขีดจำกัดการวัดปริมาณ (LOQ) ร้อยละของค่าคืนกลับ และร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ดังนั้นการศึกษานี้เพื่อพัฒนาวิธีทดสอบสำหรับประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียมโดยตรวจสอบคุณลักษณะความปลอดภัยเกี่ยวกับปริมาณโลหะที่แพร่ออก

มาสู่สารตัวแทนอาหารประเภทกรดตาม Metals and alloys used in food contact materials and articles. A practical guide for manufacturers and regulators โดยการพัฒนาวิธีทดสอบครั้งนี้ได้ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบปริมาณแมงกานีส สังกะสี และนิกเกิล (ซึ่งเป็นองค์ประกอบรองในโลหะอะลูมิเนียม) โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่ว (ซึ่งเป็นสารปนเปื้อน) ที่แพร่ออกมาจากภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียม โดยกำหนดค่าความไม่แน่นอนเป้าหมายของผลการทดสอบโลหะแต่ละชนิดไม่เกินร้อยละ 15 การศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของวิธีได้แก่ ช่วงการทำงานของเครื่องมือ (Instrument working range) ขีดจำกัดการตรวจหา (LOD) ขีดจำกัดการวัดปริมาณ (LOQ) ความเอนเอียง (Bias) และความเที่ยงระหว่างกลาง (Intermediate precision) อ้างอิงแนวทางตามเอกสาร The fitness for purpose of analytical methods. A laboratory guide to method validation and related topics. [3] และการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัด ตามเอกสาร VAM project 3.2.1 development and harmonisation of measurement uncertainty principles. part (d): protocol for uncertainty evaluation from validation data. [4]

การพัฒนาวิธีทดสอบนี้ครอบคลุมการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบหาปริมาณโลหะที่เป็นองค์ประกอบรอง (แมงกานีส สังกะสี และนิกเกิล) ด้วย เนื่องจากผู้วิจัยมีความเห็นว่าโลหะกลุ่มนี้มีความเข้มข้นสูงกว่าโลหะที่เป็นสารปนเปื้อนเช่นแคดเมียมและตะกั่วที่ผู้มีศึกษาแล้ว จึงมีโอกาสที่จะแพร่ออกมาสู่อาหารได้มากกว่า รวมทั้งเป็นที่ทราบกันดีว่าแมงกานีสและนิกเกิลเป็นโลหะหนักที่มีผลกระทบต่อหลายระบบของร่างกาย สำหรับการเลือกใช้กรดซิตริกเป็นตัวแทนอาหารประเภทกรดและภาวะการทดสอบที่ใช้เป็นการเลือกลักษณะการทดสอบในภาวะที่แย่ที่สุด (Worst-case conditions) นอกจากนี้เหตุผลที่ไม่รวมการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบปริมาณอะลูมิเนียมซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของภาชนะหุงต้ม เนื่องจากที่ผ่านมาการศึกษาหลายเรื่องเกี่ยวกับการแพร่ออกมาของอะลูมิเนียมจากภาชนะหุงต้มและวัสดุสัมผัสอาหารที่ผลิตจากอะลูมิเนียมแล้ว [5-7] ซึ่งผลการศึกษาระบุว่าอะลูมิเนียมสามารถแพร่ออกมาสู่สารตัวแทนอาหารที่เป็นกรดในปริมาณที่สูงกว่า Specific release limit (SRL) ของอะลูมิเนียมหลายเท่าขึ้นกับชนิดของตัวแทนสารอาหารและภาวะการทดสอบที่ใช้ โดยแนวทางปฏิบัติ Metals and alloys used in food contact materials and articles. A practical guide for manufacturers and regulators กำหนดให้ Specific release limit (SRL) ของอะลูมิเนียมเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 ตัวอย่าง

ภาชนะหุงต้มที่ใช้ในการศึกษา คือ หม้อต้มอะลูมิเนียม ขนาดความจุ 600 มิลลิลิตร โดยมีหมายเลขการผลิตเดียวกัน

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.2.1 เครื่องอินดักทีฟเพิลพลาสมาออฟติกคอลลิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ (ICP-OES) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น iCAP PRO Series ผลิตจากประเทศเยอรมนี
- 2.2.2 แท่นให้ความร้อน (Hot plate)
- 2.2.3 กระบอกตวง

2.3 สารเคมี

- 2.3.1 สารละลายมาตรฐานระดับอ้างอิง (Reference solution) ยี่ห้อ High Purity ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับสร้างเส้นโค้งการสอบเทียบ
 - 2.3.1.1 สารละลายมาตรฐานแมงกานีส
 - 2.3.1.2 สารละลายมาตรฐานสังกะสี
 - 2.3.1.3 สารละลายมาตรฐานนิกเกิล
 - 2.3.1.4 สารละลายมาตรฐานโครเมียม
 - 2.3.1.5 สารละลายมาตรฐานโมลิบดีนัม
 - 2.3.1.6 สารละลายมาตรฐานแคดเมียม
 - 2.3.1.7 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว
- 2.3.2 สารละลายมาตรฐานระดับอ้างอิง 7 ธาตุตามข้อ 2.3.1 ยี่ห้อ Perkin Elmer ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เป็นคณละครึ่ง สำหรับการหาค่าขีดจำกัดการวัดปริมาณการหาความอินทรีย์และการหาความเที่ยง
- 2.3.3 กรดซิติริก (AR grade) ผลิตจากประเทศเยอรมนี
- 2.3.4 น้ำปราศจากไอออน
- 2.3.5 แก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์ร้อยละไม่น้อยกว่า 99.995

2.4 วิธีการดำเนินงาน

- 2.4.1 ช่วงการใช้งานของเครื่องมือ (Instrument working range)
สร้างเส้นโค้งการสอบเทียบ (Calibration curve) ระหว่างค่าความเข้มแสงและความเข้มข้นของสารละลายตามตารางที่ 1 แล้วนำค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R²) มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r)

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานผสม

ชนิดที่	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
	แมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่ว
สารละลายแบลงค์ (สารละลายกรดซิติริกความเข้มข้นร้อยละ 0.5)	-
สารละลายมาตรฐานชนิดที่ 1	0.05
สารละลายมาตรฐานชนิดที่ 2	0.10
สารละลายมาตรฐานชนิดที่ 3	0.20
สารละลายมาตรฐานชนิดที่ 4	0.50
สารละลายมาตรฐานชนิดที่ 5	1.0

2.4.2 การเตรียมและการทดสอบตัวอย่าง

- 2.4.2.1 ทำความสะอาดตัวอย่างหม้ออะลูมิเนียมด้วยสารละลายดีเทอร์เจนตร้อน เพื่อกำจัดคราบสิ่งสกปรกและไขมัน จากนั้นล้างออกด้วยน้ำประปาและ น้ำปราศจากไอออน
- 2.4.2.2 เติมสารละลายกรดซิติริก (สารละลายตัวแทนอาหารประเภทกรด) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 2 ใน 3 ของความจุภาชนะ (สำหรับการศึกษานี้ใช้ปริมาตร 400 มิลลิลิตร) ลงในหม้ออะลูมิเนียมที่ทำความสะอาดแล้วโดยต้มเดือดนาน 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นปรับปริมาตรของสารละลายให้มีปริมาตรคงเดิม และนำไปวัดด้วยเครื่อง ICP-OES
- 2.4.3 การหาขีดจำกัดการตรวจหา (LOD) และขีดจำกัดการวัดปริมาณ (LOQ)
เตรียมและทดสอบตัวอย่างตามข้อ 2.4.2 โดยใช้สารละลายกรดซิติริกความเข้มข้นร้อยละ 0.5 จำนวน 8 ซ้ำ

2.4.4 การยืนยันขีดจำกัดการวัดปริมาณ (LOQ)

- เตรียมและทดสอบตัวอย่างตามข้อ 2.4.2 โดยใช้ตัวอย่างหม้ออะลูมิเนียมจำนวน 8 ซ้ำ เติมสารละลายมาตรฐานผสมของแมงกานีส นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4.5 การหาค่าความเอนเอียง (Bias)

เตรียมและทดสอบตัวอย่างตามข้อ 2.4.2 เติมสารละลายมาตรฐานผสมของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่ว ที่ 3 ระดับความเข้มข้น (ต่ำ กลาง สูง) ตามตารางที่ 2 โดยใช้ตัวอย่างหม้ออะลูมิเนียมจำนวน 8 ขั้ว ต่อหนึ่งสารละลายมาตรฐานผสม

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานผสมที่ 3 ระดับความเข้มข้น

สารละลาย	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	แมงกานีส นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่ว	สังกะสี
สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นร้อยละ 0.5	-	-
สารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้นระดับต่ำ	0.05	0.10
สารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้นระดับกลาง	0.50	0.50
สารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้นระดับสูง	1.0	1.0

2.4.6 การหาค่าความเที่ยงระหว่างกลาง (Intermediate precision)

เตรียมและทดสอบตัวอย่างตามข้อ 2.4.2 เติมสารละลายมาตรฐานผสมของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่ว ที่ 3 ระดับความเข้มข้น (ต่ำ กลาง สูง) ตามตารางที่ 2 โดยแต่ละวันเตรียมสารละลายใช้ตัวอย่างจำนวน 4 ขั้ว และ 3 ขั้ว และทำการทดสอบแบ่งเป็น 2 วัน

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 ช่วงการใช้งานของเครื่องมือ (Instrument working range)

ช่วงการใช้งานของเครื่องมือเป็นคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการวัดด้วยเครื่องมือทดสอบเพื่อหาปริมาณโดยใช้เส้นโค้งการสอบเทียบ โดยเกณฑ์การพิจารณา คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.995 ตารางที่ 3 แสดงช่วงความเป็นเส้นตรง ค่าความชัน

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่ว ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของทุกธาตุมีค่ามากกว่า 0.995

ตารางที่ 3 ช่วงความเป็นเส้นตรง ความชัน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

ธาตุ	ช่วงความเป็นเส้นตรง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความชัน	R^2	r
แมงกานีส	0.05 - 1.0	61603	0.9998	0.99990
สังกะสี	0.10 - 1.0	5217	0.9992	0.99960
นิกเกิล	0.05 - 1.0	2734	0.9999	0.99995
โครเมียม	0.05 - 1.0	5136	0.9999	0.99995
โมลิบดีนัม	0.05 - 1.0	2699	0.9999	0.99995
แคดเมียม	0.05 - 1.0	15361	0.9985	0.99925
ตะกั่ว	0.05 - 1.0	1074	0.9999	0.99995

3.2 ขีดจำกัดการตรวจหา (LOD) และขีดจำกัดการวัดปริมาณ (LOQ)

นำผลการทดสอบจากข้อ 2.4.3 มาคำนวณค่าขีดจำกัดการตรวจหาตามสมการที่ 1 และคำนวณค่าขีดจำกัดการวัดปริมาณตามสมการที่ 2 โดยค่า LOD และ LOQ ของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่ว แสดงดังตารางที่ 4

$$\text{LOD} = 3(S'_0) \quad (1)$$

$$\text{LOQ} = 10(S'_0) \quad (2)$$

$$S'_0 = S_0 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{n_b}}$$

เมื่อ S_0 คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) คำนวณจากผลการทดสอบค่า LOD จำนวน 8 ขั้ว

n คือ จำนวนซ้ำของตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการใช้สำหรับรายงานผลการทดสอบ สำหรับการทดสอบนี้กำหนดให้เท่ากับ 2

n_b คือ จำนวนซ้ำของแบลนด์ที่ห้องปฏิบัติการใช้ในการทดสอบ สำหรับการทดสอบนี้กำหนดให้เท่ากับ 1

ตารางที่ 4 ค่า LOD และ LOQ ของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่ว

ธาตุ	LOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	Calculated LOQ (มก./ลิตร)
แมงกานีส	0.0010	0.0038
สังกะสี	0.0074	0.0245
นิกเกิล	0.0006	0.0021
โครเมียม	0.0003	0.0010
โมลิบดีนัม	0.0003	0.0011
แคดเมียม	0.0002	0.0006
ตะกั่ว	0.0021	0.0070

ผลจากการศึกษาค่าขีดจำกัดการตรวจหาและค่าขีดจำกัดการวัดปริมาณของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม และแคดเมียม พบว่า สอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนดค่าขีดจำกัดการตรวจหาและค่าขีดจำกัดการวัดปริมาณของธาตุเหล่านี้ตาม Metals and alloys used in food contact materials and articles, A practical guide for manufacturers and regulators [1] ยกเว้นตะกั่วที่ค่าขีดจำกัดการตรวจหาและค่าขีดจำกัดการวัดปริมาณสูงกว่าเกณฑ์กำหนด (LOD 0.001 และ LOQ 0.002 มก./ลิตร)

3.3 การยืนยันขีดจำกัดการวัดปริมาณ (LOQ)

นำผลการทดสอบจากข้อ 2.4.4 ที่ระดับความเข้มข้นของแมงกานีส นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม ตะกั่ว เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร และสังกะสีความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัม/ลิตร มาคำนวณค่าร้อยละการคืนกลับ (%recovery) และร้อยละค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) แล้วเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนด แสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งสามารถสรุปค่าขีดจำกัดการวัดปริมาณของแมงกานีส นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม ตะกั่ว เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร และ สังกะสี เท่ากับ 0.10 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากมีค่าความถูกต้อง ความเที่ยง และค่าความไม่แน่นอนของการวัดเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 5 ค่าร้อยละการคืนกลับ (%recovery) และร้อยละค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของแมงกานีส นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม ตะกั่ว เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร และ สังกะสีความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัม/ลิตร (คำนวณจากผลการทดสอบ 8 ซ้ำ)

ธาตุ	ความเข้มข้นเฉลี่ย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ร้อยละการคืนกลับ (%recovery)	ร้อยละค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)
แมงกานีส	0.0492	98.4	0.96
สังกะสี	0.0871	87.1	2.52
นิกเกิล	0.0491	98.2	0.83
โครเมียม	0.0487	97.3	0.63
โมลิบดีนัม	0.0473	94.5	0.24
แคดเมียม	0.0480	96.0	0.70
ตะกั่ว	0.0419	83.8	1.89
เกณฑ์กำหนด		80 - 120	≤ 10

3.4 ค่าความเอนเอียง (Bias)

นำผลการทดสอบของสารละลายตัวอย่างจากข้อ 2.4.5 ความเข้มข้นละ 8 ข้ำ มาคำนวณค่าร้อยละการคืนกลับ (% recovery) เพื่อประเมินค่าความเอนเอียง โดยค่าร้อยละการคืนกลับของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคลเซียม และตะกั่ว ผ่านเกณฑ์กำหนด แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าร้อยละการคืนกลับของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคลเซียม และตะกั่ว ในสารละลาย ตัวอย่างสำหรับการศึกษาความเอนเอียง (คำนวณจากผลการทดสอบ 8 ข้ำ)

ธาตุ	สารละลาย	ร้อยละการคืนกลับ
แมงกานีส	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	98.4
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	95.8
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	91.9
สังกะสี	ตัวอย่าง + 0.10 มก./ลิตร	87.1
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	96.8
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	90.3
นิกเกิล	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	98.2
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	97.1
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	91.8
โครเมียม	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	97.3
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	97.9
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	94.1
โมลิบดีนัม	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	94.5
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	94.0
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	89.8
แคลเซียม	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	96.0
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	97.2
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	91.8
ตะกั่ว	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	83.8
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	93.2
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	89.7
เกณฑ์กำหนด		80 - 120

3.5 ค่าความเที่ยงระหว่างกลาง (Intermediate precision)

นำผลการทดสอบของสารละลายตัวอย่างจากข้อ 2.4.6 ความเข้มข้นละ 7 ข้ำ คำนวณค่าร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เพื่อประเมินค่าความเที่ยงของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคลเซียม และตะกั่ว ผ่านเกณฑ์กำหนด

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \quad (3)$$

ตารางที่ 7 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคลเซียม และ ตะกั่ว ในสารละลายตัวอย่างสำหรับการศึกษาความเที่ยง (คำนวณจากผลการทดสอบ 7 ข้ำ)

ธาตุ	สารละลาย	%RSD
แมงกานีส	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	1.78
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	0.45
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	1.07
สังกะสี	ตัวอย่าง + 0.10 มก./ลิตร	4.17
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	1.30
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	1.89
นิกเกิล	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	1.27
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	0.85
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	0.68
โครเมียม	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	1.57
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	0.71
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	1.39
โมลิบดีนัม	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	1.10
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	1.21
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	1.66
แคลเซียม	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	0.93
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	0.71
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	1.17
ตะกั่ว	ตัวอย่าง + 0.05 มก./ลิตร	3.42
	ตัวอย่าง + 0.5 มก./ลิตร	0.79
	ตัวอย่าง + 1.0 มก./ลิตร	0.80
เกณฑ์กำหนด		0.1 มก./ลิตร ≤ 22.6, 1 มก./ลิตร ≤ 16

3.7 การประมาณค่าความไม่แน่นอน

การศึกษานี้ใช้วิธีการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดโดยใช้ Method validation approach ตามเอกสารอ้างอิง [3] โดยแหล่งของค่าความไม่แน่นอนมาจากการทดสอบความเอนเอียง ($u(R)$) และการทดสอบความเที่ยง ($u(P)$) และประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดได้ ดังนี้

$$u_c = C \sqrt{u(R)^2 + u(P)^2} \quad (4)$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารละลาย

u_c คือ ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

และ ค่าความไม่แน่นอนขยาย U เท่ากับ

$$U = k \times u_c \quad (5)$$

เมื่อ k คือ ค่า coverage factor มีค่าเท่ากับ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 8 สรุปแหล่งความไม่แน่นอนของการวัดและค่าความไม่แน่นอนขยายที่คำนวณได้ของแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่ว ซึ่งค่าความไม่แน่นอนขยายของทุกธาตุไม่มากกว่าร้อยละ 15 และเป็นไปตามเกณฑ์ค่าความไม่แน่นอนเป้าหมายที่ตั้งไว้

แหล่งของค่าความไม่แน่นอน		แมงกานีส	สังกะสี	นิกเกิล	โครเมียม	โมลิบดีนัม	แคดเมียม	ตะกั่ว
ความเอนเอียง	$u(R)$	0.0407	0.0552	0.0406	0.0237	0.0398	0.0322	0.0587
ความเที่ยง	$u(P)/P$	0.0178	0.0417	0.0127	0.0157	0.0166	0.0117	0.0342
ความไม่แน่นอนรวม, u_c mg/L		0.0222	0.0346	0.0213	0.0142	0.0216	0.0171	0.0340
ความไม่แน่นอนขยาย (U) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($k = 2$)		0.0444	0.0692	0.0425	0.0284	0.0431	0.0342	0.0680
ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ความไม่แน่นอนขยายคิดเป็นร้อยละ		8.9	13.8	8.5	5.7	8.6	6.8	13.6

4. สรุป (Conclusion)

การศึกษานี้แสดงถึงการพัฒนาวิธีทดสอบปริมาณโลหะที่แพร่่อออกมาจากภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียมด้วยเครื่องอินดักทีฟพลาสมาออปติคัลอีมิสชันสเปกโตรมิเตอร์โดยใช้แนวทางปฏิบัติตาม Metals and alloys used in food contact materials and article. A practical guide for manufactures and regulators โดยทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบปริมาณแมงกานีส สังกะสี นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม แคดเมียม และตะกั่วที่แพร่่อออกมาจากภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียม ผลจากการตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ได้แก่ช่วงการใช้งานของเครื่องมือ ชีตจำกัดในการตรวจหา ชีตจำกัดการวัดปริมาณ ความเอนเอียง ความเที่ยง และการประมาณค่าความไม่แน่นอน เป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับที่แนวทางปฏิบัติกำหนด (ยกเว้นชีตจำกัดในการตรวจหาและชีตจำกัดการวัดปริมาณของตะกั่วที่มีค่ามากกว่าเกณฑ์กำหนด) และค่าความไม่แน่นอนเป้าหมายที่ตั้งไว้แสดงว่าวิธีทดสอบนี้เหมาะสมกับการใช้งานตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นวิธีทดสอบที่ผ่านการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีนี้สามารถนำมาใช้ในการทดสอบปริมาณโลหะทั้งเจ็ดที่แพร่่อออกมาจากภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียมเพื่อให้บริการแก่ลูกค้า และสามารถพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นวิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับประเทศ รวมถึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีทดสอบปริมาณโลหะที่แพร่่อออกมาจากวัสดุสัมผัสอาหารประเภทโลหะและโลหะผสมอื่น ๆ ต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] The Committee of Experts on Packaging Materials for Food and Pharmaceutical Products (P-SC-EMB), European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare. Metals and alloys used in food contact materials and article: A practical guide for manufactures and regulators. Strasbourg: Council of Europe; 2013.
- [2] The European Parliament and The Council of the European Union. REGULATION (EC) No 1935/2004 of the European Parliament and of the council of 27 October 2004 on materials and articles intended to come into contact with food and repealing Directives 80/590/EEC and 89/109/EEC [Internet]. 2004 [cited 2022 Dec 20]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:338:0004:0017:en:PDF>
- [3] Eurachem Method Validation Working Group. Eurachem guide the fitness for purpose of analytical methods- A laboratory guide to method validation and related topics. 2nd ed. Belgium: Eurachem Secretary; 2014.
- [4] Barwick VJ, Ellison SLR. VAM Project 3.2.1 development and harmonisation of measurement uncertainty principles part (d): Protocol for uncertainty evaluation from validation data version 5.1 [Internet]. Teddington(UK): LGC (Teddington) Limited; 2000 [cited 2022 Dec 20]. Available from: <http://www.demarcheiso17025.com/private/Protocol%20for%20uncertainty%20evaluation%20from%20validation%20data.pdf>
- [5] ศศิธร หอมดำรงวงศ์, จตุรงค์ สิ้นแก้ว, อูมา บริบูรณ์. การวิเคราะห์ตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้ม. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2558;57:37-47.
- [6] Sander S, Kappenstein O, Ebner I, Fritsch K-A, Schmidt R, Pfaff K, et al. Release of aluminium and thallium ions from uncoated food contact materials made of aluminium alloys into food and food simulant. PLoS ONE [Internet]. 2018 [cited 2022 Dec 20];13:1-15. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200778>
- [7] Stahl T, Falk S, Rohrbeck A, Georgii S, Herzog C, Wiegand A, et al. Migration of aluminum from food contact materials to food – a health risk for consumers? Part III of III: migration of aluminum to food from camping dishes and utensils made of aluminum. Environ Sci Eur. 2017;29:17. doi: 10.1186/s12302-017-0117-x.

The background is a solid medium blue. It is decorated with several large, light blue, organic, and wavy shapes that resemble cells or fluid droplets. Some of these shapes contain concentric circles or smaller circles, creating a layered or cellular effect. A large, white, sans-serif number '7' is centered on the page.

7

การพัฒนาวิธีหาปริมาณตะกั่ว ในตัวอย่างอะลูมิเนียม และอะลูมิเนียมเจือโดยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมา ออปติคอลลิมิชั่นสเปกโทรสโกปี

The development of test method for determination of lead in
aluminium and aluminium alloy by inductively coupled plasma
optical emission spectrometry

วีระ สวนโธสง¹, วณัท ตะปาองพงษ์², จอย ผิวสะอาด²

Weera Suanthaisong¹, Vanut Tapaopong², Joy Phewsard²

รับบทความ: 29 ธันวาคม 2565 แก้ไขบทความ: 15 มีนาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 7 เมษายน 2566

7

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีทดสอบหาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมเจือที่ให้ผลการทดสอบที่รวดเร็ว ถูกต้อง และแม่นยำ โดยใช้กราฟมาตรฐานที่สร้างจากสารละลายมาตรฐานที่มีองค์ประกอบต่างจากสารตัวอย่างด้วยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมาออปติคอลลิมิชั่นสเปกโทรสโกปี และได้ศึกษาคุณลักษณะเฉพาะที่แสดงสมบัติของวิธีทดสอบ ได้แก่ ความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linearity) ขีดจำกัดการตรวจหา (Limit of Determination, LOD) ขีดจำกัดการวัดปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ) ความเอนเอียง (Bias) ความเที่ยง (Precision) และผลกระทบจากองค์ประกอบของตัวอย่าง (Matrix effect) โดยกำหนดให้ค่าความไม่แน่นอนเป้าหมายของวิธีต้องไม่เกินร้อยละ 20 จากการศึกษาค้นคว้าค่าขีดจำกัดการตรวจหาและขีดจำกัดการวัดปริมาณเท่ากับ 2.164 และ 100.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ช่วงการใช้งานของวิธีทดสอบอยู่ในช่วง 100.0–500.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าความเอนเอียงของวิธีประเมินจากค่าคืนกลับของสารมาตรฐานที่เติมลงไปในตัวอย่อย่างอะลูมิเนียมที่ไม่มีปริมาณตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง ของช่วงการใช้งานของวิธี ภายใต้สภาวะ repeatability มีค่าร้อยละของค่าคืนกลับ 81.76 – 83.43 ความเที่ยงของการทดสอบโดยวิธีเติมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นเดียวกับการศึกษาความเอนเอียงภายใต้สภาวะ intermediate repeatability มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 3.0 และผลการตรวจยืนยันผลกระทบจากองค์ประกอบของตัวอย่างโดยการเปรียบเทียบแบบจับคู่สิ่งที่ทดลอง (Paired t – test) ด้วยวิธี Non-matrix matched calibration กับวิธี Matrix matched calibration พบว่า $t_{cal} = 2.409$ น้อยกว่า $t_{crit} = t(0.025, 2) = 4.30$ แสดงว่าไม่มีผลกระทบจากองค์ประกอบของตัวอย่าง และเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด [1] พบว่า ได้ค่าความไม่แน่นอนร้อยละ 19 ของปริมาณที่ตรวจวัดได้ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้น สรุปว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมเจือให้ผลถูกต้อง แม่นยำ น่าเชื่อถือ และเหมาะกับการใช้งานตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ: อินดักทีฟพลาสมาออปติคอลลิมิชั่นสเปกโทรสโกปี อะลูมิเนียม ตะกั่ว

¹กองเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อุปโภค กรมวิทยาศาสตร์บริการ

²กองทดสอบและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Abstract

This research has developed a rapid, accurate and precise method based on inductively coupled plasma optical emission spectroscopy for determination of lead in aluminium and aluminum alloys using non-matrix matched calibration curve. Performance characteristics which are linearity, Limit of Determination (LOD), Limit of Quantitation (LOQ), bias, precision and matrix effect were studied. The target uncertainty associated with the quantification of lead in aluminium and aluminum alloys, should be no bigger than 20%. From the study, it was found that LOD and LOQ are 2.164 and 100.0 mg/kg, respectively, while working range of this method was 100.0 – 500.0 mg/kg. The method bias was evaluated from the recoveries of the standard substance added to the lead-free aluminum at 3 concentration levels (low, medium and high) of the working range under repeatability conditions. It showed that the recoveries were 81.76 – 83.43%. For the precise of the intermediate repeatability condition, the same concentration of the bias study was added to the samples showed that the relative standard deviation was less than 3% and the matrix effect was investigated by a comparison paired sample test between the non-matrix matched calibration method and matrix matched calibration method. The Paired t-test is t_{cal} (2.409) less than t_{crit} (4.30). It was found that there is no matrix effect. The information obtained from the developed method can be used to estimate measurement uncertainty [1]. It was found that the expanded uncertainties of this method at the confidence level of 95% was 19%. Therefore, the proposed method for determination of lead in aluminium and aluminum alloys is accurate, precise, reliable, and fit for the intended use.

Keywords: Inductively coupled plasma optical emission spectrometry, Aluminium, Lead

¹Chemicals and Consumer Products Division, Department of Science Service

²Science Library and Information Technology Division, Department of Science Service

*Corresponding author e-mail address : weera@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันภาชนะบรรจุอาหารนิยมผลิตจากโลหะและโลหะผสม (Alloys) เนื่องจากโครงสร้างของโลหะทำให้เกิดคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี เช่น การสะท้อนแสง การนำไฟฟ้า การนำความร้อน และมีคุณสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรง และการโค้งงอที่ดีด้วย โลหะที่นิยมใช้ผลิตภาชนะบรรจุอาหาร ได้แก่ อะลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิมหรือสแตนเลส ทองแดง และดีบุก โดยอะลูมิเนียมเป็นโลหะที่นิยมใช้มากที่สุด รองลงมา คือ เหล็กกล้าไร้สนิม เพราะว่าภาชนะอะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา คงทน ความหนาแน่นน้อย ราคาถูก และไม่เป็นสนิม แต่อย่างไรก็ตามภาชนะอะลูมิเนียมมีโอกาสถูกกัดกร่อนเมื่อสัมผัสกับกรด ด่าง และเกลือได้ จึงเกิดการเคลื่อนย้ายหรือแพร่กระจายของสารอันตรายเข้าไปในอาหาร ส่งผลให้ผู้บริโภคเกิดความเสี่ยงต่อการใช้วัสดุที่ปนเปื้อนสารอันตราย เช่น ตะกั่ว และแคดเมียม หากผู้บริโภคได้รับสารตะกั่วจะทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร น้ำหนักลด ปวดเกร็งท้อง และส่งผลต่อการพัฒนาการทางด้านสมอง และทำให้ไอคิวเด็กต่ำ ส่วนสารแคดเมียมมีพิษทำลายอวัยวะที่ไปสะสมทำให้ไตวายและเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้น มาตรฐานวัสดุสัมผัสอาหารจึงมีความสำคัญไม่ต่ำกว่าความปลอดภัยของอาหาร ดังจะเห็นได้จากแต่ละประเทศต่างมีมาตรการหรือกฎหมายที่เกี่ยวกับมาตรฐานบรรจุภัณฑ์อาหารที่เข้มงวด โดยเฉพาะสหภาพยุโรปมีกฎหมายที่เกี่ยวกับวัสดุสัมผัสอาหารที่เข้มงวดมาก ซึ่งครอบคลุมวัสดุสัมผัสอาหาร 17 ประเภท หนึ่งในนั้น คือ โลหะ

สำหรับประเทศไทยในขณะนี้ก็มีกฎหมายเกี่ยวข้อง คือ ประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 92 (พ.ศ. 2528) เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุการใช้ภาชนะบรรจุและการห้ามใช้วัตถุใดเป็นภาชนะบรรจุอาหาร [2] จะต้องไม่มีตะกั่ว และแคดเมียม ละลายออกมาในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดโดยคณะกรรมการวิชาการของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียมเคลือบ ชนิดที่ใช้กับสิ่งบริโภคจะต้องมีปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู ไม่เกินร้อยละ 0.010 โดยน้ำหนัก [3] เมื่อวิเคราะห์ตาม ASTM E3061, ASTM E607 และ ASTM E1251 แต่วิธีที่นิยมใช้กันเป็นอย่างมาก คือ ASTM E1251 และ ASTM E3061

การทดสอบตามวิธี Standard test method for analysis of aluminum and aluminum alloys by spark atomic emission spectrometry (ASTM E1251) เป็นวิธีวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนผสมในอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมเคลือบ โดยอาศัยหลักการทำให้อะตอมของธาตุ

แตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยกระแสไฟฟ้าแรงสูง กระแสไฟฟ้าแรงดันสูงจะทำให้เกิดประกายไฟสปาร์ก (Spark discharge) ขึ้นระหว่างช่องว่างอากาศของอิเล็กโทรด และตัวอย่าง [4,5] ในการสปาร์กแต่ละครั้งใช้เวลาน้อยกว่า 1 นาที่ และสามารถบอกปริมาณสารผสมในอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมเคลือบได้ในคราวเดียวกัน แต่ไม่สามารถทดสอบได้กับอะลูมิเนียมเคลือบที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ หากจำเป็นต้องทำการทดสอบด้วยเทคนิคนี้จะต้องหลอมใหม่ แต่การหลอมใหม่อาจทำให้ธาตุเจือมีปริมาณลดลง และ สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ในการเตรียมตัวอย่าง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวจึงเลือกใช้การทดสอบตามวิธี Standard test method for analysis of aluminum and aluminum alloys by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ASTM E3061) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ ได้พร้อมกัน โดยการใช้พลาสมาเผาผลาญของตัวอย่างสปาร์กตัวอย่าง เพื่อทำให้เกิดอะตอมอิสระและไอออน อะตอมอิสระและไอออน ดังกล่าวจะปล่อยแสงสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นเฉพาะตัวออกมาพร้อม ๆ กัน จากนั้นสเปกตรัมของแสงจะถูกแยกและวัดออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงที่ตกกระทบดีเทคเตอร์และความเข้มแสงแปรผันตรงกับความเข้มข้นของธาตุที่อยู่ในพลาสมา จากความสัมพันธ์ที่แปรผันโดยตรงระหว่างความเข้มข้นกับความเข้มแสงจึงสามารถหาเป็นความเข้มข้นธาตุได้โดยการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่มี องค์ประกอบของตัวอย่างกับความเข้มแสง [6] จึงทำให้วิธีนี้ได้ผลทดสอบที่รวดเร็ว ถูกต้อง และแม่นยำ แต่การเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีองค์ประกอบเดียวกับตัวอย่างนั้นยังมีข้อเสียหลายประการ เช่น ใช้อะลูมิเนียมความบริสุทธิ์สูง มีขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานหลายขั้นตอน สิ้นเปลืองสารเคมี และมีค่าใช้จ่ายที่สูง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาวิธีทดสอบหาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมเคลือบ โดยใช้วิธีการสร้างกราฟมาตรฐานจากภายนอก (External calibration) ทำได้โดยการเจือจางสารละลายมาตรฐานตะกั่วให้มีความเข้มข้นแตกต่างกันเป็นลำดับ 3 – 5 ความเข้มข้น โดยที่องค์ประกอบส่วนใหญ่ของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่สร้างกราฟมาตรฐานนั้นจะแตกต่างจากสารละลายตัวอย่าง จึงเหมาะสำหรับงานวิเคราะห์ประจำ (Routine analysis) ที่วิเคราะห์สารเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามวิธี External calibration ก็มีข้อจำกัดที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการวัดเชิงระบบของวิธีการวิเคราะห์ (Method bias) จากการแทรกสอดเชิงสเปกตรัม (Spectral interferences) จากกายภาพของสารละลาย (Physical interferences) จากการแทรกสอดทางเคมี (Chemical interferences) และ

องค์ประกอบของตัวอย่างที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ ปัญหาดังกล่าวแก้ไขได้ง่ายที่สุด คือ การเลือก Spectral line ของธาตุที่ไม่ซ้อนทับกับสารรบกวน เจือจางสารละลายตัวอย่าง ใช้ค่าแก้ (Correction) และใช้เทคนิค Internal standard technique [7] ซึ่งดำเนินการได้ง่ายกว่าวิธี Matrix-matched calibration ที่สร้างกราฟมาตรฐานจากสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับตัวอย่างจริง ซึ่งวิธีนี้มีข้อเสียหลายประการ เช่น เสียเวลาในการเตรียมสารละลายมาตรฐานนานเป็นชั่วโมงและอาจสูญเสียสารที่สนใจวิเคราะห์จากขั้นตอนการย่อยเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่าง เกิดการปนเปื้อนจากการใช้อะลูมิเนียมที่ไม่ทราบความบริสุทธิ์ที่แน่นอน และแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ค่อนข้างยาก หรือใช้วิธี Standard addition ซึ่งเป็นการเติมสารละลายตัวอย่างในปริมาตรที่เท่า ๆ กันลงในสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีปริมาณแตกต่างกันเป็นลำดับอย่างน้อย 3 ความเข้มข้นหลังการย่อยตัวอย่าง หากเลือกวิธีนี้ก็ยังมีข้อจำกัดเช่นกัน คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมลงไปจะต้องไม่ส่งผลต่อความเป็นเส้นตรงของช่วงการใช้งานของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างถูกเจือจาง และสารละลายมาตรฐานตะกั่วหนึ่งชุดที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานจะใช้วิเคราะห์สารละลายตัวอย่างได้แค่ 1 ชุด จึงทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีและเวลาอย่างมาก แต่หากไม่ต้องการความถูกต้องอาจเติมสารละลายตัวอย่างลงในสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้นเดียว ซึ่งทำได้ง่ายประหยัดทั้งเวลาและสารเคมีมากกว่า แต่วิธีนี้ไม่เป็นที่ยอมรับ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นวิธีที่ทำได้ง่าย ประหยัดเวลา ประหยัดสารเคมี ให้ผลถูกต้อง รวดเร็ว และทำการวิเคราะห์ซ้ำได้

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 ตัวอย่าง

2.1.1 โลหะอะลูมิเนียม หรืออะลูมิเนียมเจือที่ไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ และมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.1 Inductively coupled plasma optical emission spectrophotometer ยี่ห้อ Thermo Fisher Scientific รุ่น iCAP PRO พร้อมอุปกรณ์

2.2.2 เครื่องชั่งยี่ห้อ Sartorius รุ่น Quintix 224-18 ความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม

2.2.3 ขวดแก้ววัดปริมาตร เกรดเอ (Volumetric flask class A) ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.2.4 ปิเปตวัดปริมาตรเกรดเอ (Volumetric pipette class A) ขนาดต่าง ๆ

2.3 สารเคมี

2.3.1 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ความเข้มข้น 1000 ± 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จาก AccuStandard สอบกลับได้ไปยัง NIST RM 3128

2.3.2 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ความเข้มข้น 1000 ± 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จาก PerkinElmer สอบกลับได้ไปยัง NIST RM 3128 คนละแหล่งกับสารละลายมาตรฐานตะกั่วในข้อ 2.3.1

2.3.3 สารละลายมาตรฐานตะกั่วสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.0, 100.0, 500.0, 1000.0 และ 1500.0 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดยการเจือจางสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ด้วยกรดไนตริกร้อยละ 2

2.3.4 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้นร้อยละ 37 w/v ชนิด AR grade

2.3.5 กรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้นร้อยละ 65 w/v ชนิด AR grade

2.3.6 สารละลายกรดกัดทอง (กรดไนตริกและไฮโดรคลอริก อัตราส่วน 1:3)

เตรียมโดยตวงกรดไฮโดรคลอริก 90 มิลลิลิตร และตวงกรดไนตริก 30 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นผสมให้เข้ากัน

2.3.7 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

2.3.8 แก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.995

2.4 วิธีดำเนินงาน

2.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

2.4.1.1 ชั่งตัวอย่าง 0.20 กรัม ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.4.1.2 เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายกรดกัดทองปริมาตร 5 มิลลิลิตร อย่างระมัดระวัง โดยต้องระวังไม่ให้เกิดปฏิกิริยาที่รุนแรงของตัวอย่าง

2.4.1.3 หลังปฏิกิริยาลิ้นสุดลง ทำให้สารละลายร้อนด้วยแท่นให้ความร้อนและปิดด้วยกระจกนาฬิกา

2.4.1.4 เมื่อตัวอย่างละลายสมบูรณ์แล้ว หยุดให้ความร้อน และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ถ่ายสารละลายตัวอย่างลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดวัดปริมาตร

2.4.1.5 กรองสารละลายตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และเก็บสารละลายที่กรองลงในขวดที่มีฝาปิด

2.4.2 ตรวจสอบ Sensitivity ของเครื่อง ICP-OES วัดความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นที่ครอบคลุมในช่วงของยูวีและวิสิเบิล โดยเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดสอบและให้ปรับตั้งค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 1 ค่าความเข้มแสงและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดของเครื่องมือ ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES

พารามิเตอร์	รายละเอียด
ธาตุ	Pb
ความยาวคลื่น, nm	Pb 168.215, 182.205
Analysis mode	Aqueous-Axial-eUV
RF power, W	1150
Nebulizer gas flow, L/min	0.50
Auxillary gas flow, L/min	0.50
Cool gas flow, L/min	12.5
Pump speed, rpm	45
Exposure time, s	10
iFR-Axial	5
eUV-Axial	

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มแสงและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่กำหนดของเครื่องมือ [8]

ธาตุ	ความเข้มข้น, mg/L	ความเข้มแสงที่กำหนด, ≥ cps	%RSD, ≤
Al 396.152	1.0	3600	2
Ba 455.403	0.2	20700	2
Cu 324.754	1.0	2250	2
K 766.490	5.0	55800	-
Mg 279.610	0.2	27000	2
Mn 257.610	1.0	27000	2
Ni 221.647	5.0	8000	2
P 185.942	10.0	200	-
Zn 213.856	0.2	480	2

2.4.3 ตรวจสอบ Selectivity

ทำการตรวจ Interference ธาตุตะกั่ว ที่ความยาวคลื่น 168.215 nm. และ 182.205 nm. ที่ระบุในฐานข้อมูลของเครื่องมือ

2.4.4 ตรวจสอบความล้มพันธ์เชิงเส้น

วัดความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐาน ตะกั่วสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน โดยเลือกวัดที่ความยาวคลื่นอย่างน้อยธาตุละสองความยาวคลื่น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและความเข้มแสง

2.4.5 ตรวจสอบหาขีดจำกัดการตรวจหาของวิธีทดสอบ

ทำการทดสอบหาปริมาณตะกั่วในสารละลาย ตัวอย่างอะลูมิเนียมหรืออะลูมิเนียมเจือที่ไม่มีปริมาณตะกั่วอย่างน้อย 10 ขั้ว ด้วยเครื่อง ICP-OES

2.4.6 ตรวจสอบหาขีดจำกัดการตรวจวัดปริมาณของวิธีทดสอบ

ทำการทดสอบหาปริมาณตะกั่วในสารละลาย Sample blank ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่ประเมินได้จากการขีดจำกัดการตรวจหา หรือที่ความเข้มข้นที่สามารถพิสูจน์ความถูกต้องและความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ อย่างน้อย 10 ขั้ว

2.4.7 ตรวจสอบผลกระทบจากองค์ประกอบของตัวอย่าง (Matrix effect)

ทำการทดสอบหาปริมาณตะกั่วในสารละลาย Sample blank ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง ของช่วงการใช้งานของวิธีทดสอบ ด้วยวิธีการสร้างกราฟมาตรฐานแบบ Non-matrix matched calibration และ Matrix matched calibration

2.4.8 ตรวจสอบหาความเอนเอียงของวิธีทดสอบ

โดยทำการทดสอบหาปริมาณตะกั่วในสารละลาย Sample blank ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐาน ตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง ของช่วงการใช้งานของวิธีทดสอบ อย่างน้อยความเข้มข้นละ 10 ขั้ว

2.4.9 ตรวจสอบหาความเที่ยงของวิธีทดสอบ

ทำการทดสอบหาปริมาณตะกั่วในสารละลาย Sample blank ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง ของช่วงการใช้งานของวิธีทดสอบ อย่างน้อยความเข้มข้นละ 10 ขั้ว ภายใต้เงื่อนไข Intermediate precision condition

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

จากการศึกษาการหาปริมาณตะกั่ว โดยใช้กราฟมาตรฐาน ที่สร้างจากสารละลายมาตรฐานที่มีองค์ประกอบต่างจากสารตัวอย่าง ด้วยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมาอะตอมฟลูออโรมิเตอร์สเปกโทรสโกปี ในตัวอย่างโลหะอะลูมิเนียม

หรืออะลูมิเนียมเจือ พบว่าความเข้มแสงของธาตุตะกั่ว ที่ความยาวคลื่น 168.215 nm และ 182.205 nm มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเข้มข้นตั้ง 0.0 – 1500.0 µg/L และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) เข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารละลายที่คำนวณจากสมการเส้นตรงดังกล่าวมีความถูกต้อง แสดงดังรูปที่ 1 และจากคู่มือของเครื่องที่ได้ระบุว่าไม่มีสัญญาณรบกวนและสัญญาณตอบสนองที่ใช้ทดสอบธาตุตะกั่วที่ความยาวคลื่น 168.215 nm และ 182.205 nm ในสารละลายที่ไม่มีองค์ประกอบของตัวอย่างอะลูมิเนียมหรืออะลูมิเนียมเจือแสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการเลือกความยาวคลื่นแสงที่ใช้สำหรับการหาขีดจำกัดการตรวจหา (LOD) และขีดจำกัดการวัดปริมาณ (LOQ) โดยประมาณ โดยทำการทดสอบสารละลายตัวอย่างอะลูมิเนียมหรืออะลูมิเนียมเจือที่ไม่มีส่วนประกอบของธาตุตะกั่ว (sample blank) จำนวน 10 ข้ำ แล้วประเมินขีดจำกัดการตรวจหา (LOD) เท่ากับ $\bar{X}_{\text{sample blank}} + 3SD$ [9] และขีดจำกัดการวัดปริมาณ (LOQ) โดยประมาณ เท่ากับ $\bar{X}_{\text{sample blank}} + 10SD$ ที่สามารถรายงานผลเป็นตัวเลขได้อย่างมีความแม่นยำและความเที่ยงที่เป็นที่ยอมรับ แสดงดังตารางที่ 4 แต่ผลการวัดปริมาณตะกั่วในสารละลาย sample blank ที่ความยาวคลื่น 168.215 nm ให้ผลคลาดเคลื่อนเนื่องจากอิทธิพลของสารเจือหรือองค์ประกอบหลักในตัวอย่างอะลูมิเนียมจึงทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดไปในทางบวก ส่วนผลการวัดปริมาณตะกั่วในสารละลาย sample blank ที่ความยาวคลื่น 182.215 nm ให้ผลที่ถูกต้องมากกว่า ดังนั้นจึงเลือกวัดปริมาณตะกั่วที่ความยาวคลื่นที่ 182.205 nm ที่ไม่ปรากฏสารรบกวนตามคู่มือของเครื่องและได้ตรวจยืนยัน ผลกระทบจากองค์ประกอบของตัวอย่าง โดยใช้สถิติ Paired t – test ในการเปรียบเทียบผลการวัดปริมาณตะกั่วใน

สารละลาย Sample blank ที่เติมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 100.0 mg/kg (ต่ำ) 250.0 mg/kg (กลาง) และ 500.0 mg/kg mg/L (สูง) ด้วยวิธี Non-matrix matched calibration กับวิธี Matrix matched calibration ดังนี้ จากสูตร

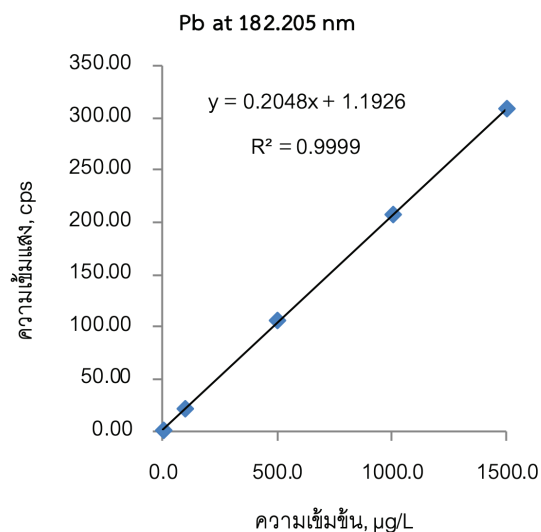
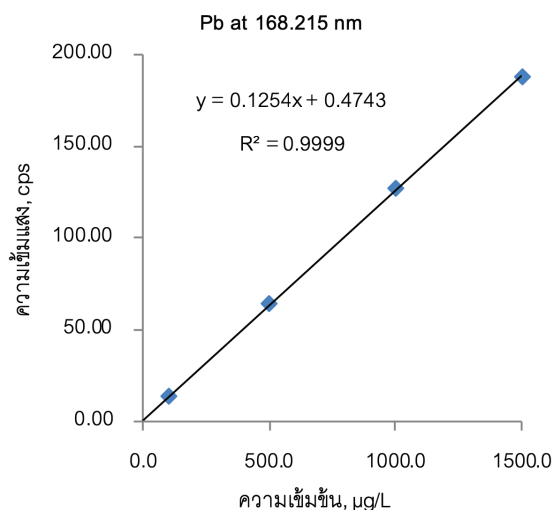
$$t_{\text{cal}} = \frac{\bar{d} \times \sqrt{n}}{S_d}$$

เมื่อ t_{cal} คือ ค่า t ที่ได้จากการคำนวณ
 $\bar{d}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลต่างของข้อมูลแต่ละคู่
 S_d คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง
 n คือ จำนวนชุดตัวอย่าง

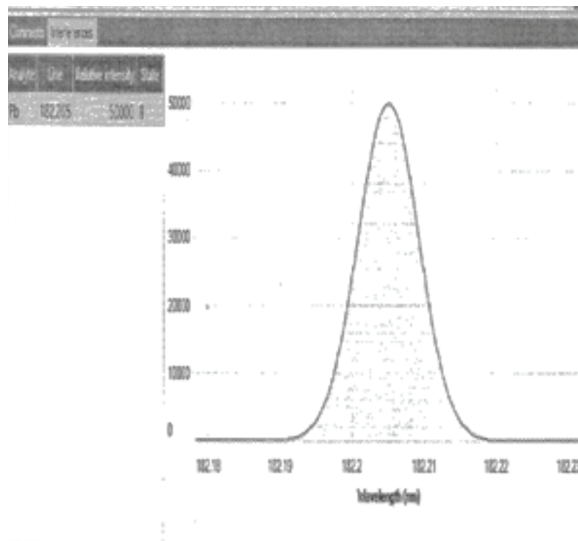
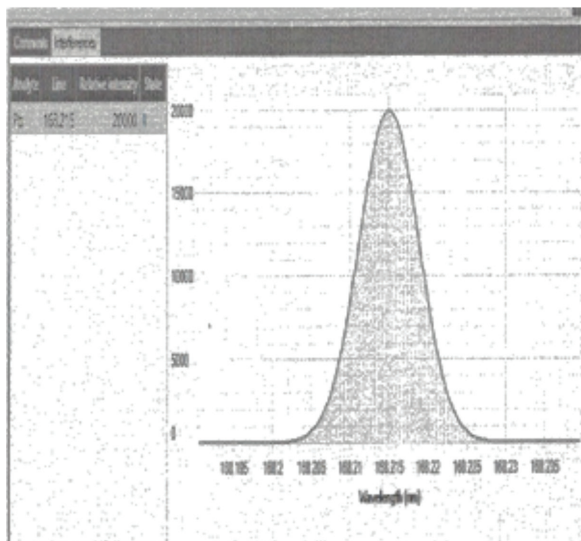
พบว่า $t_{\text{cal}} = 2.409$ น้อยกว่า $t_{\text{crit}} = t_{(0.025,2)} = 4.30$ แสดงว่าการทดสอบหาปริมาณตะกั่วที่ความยาวคลื่น 182.205 nm ไม่มีผลกระทบจากองค์ประกอบของตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 3 ความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น, µg/L	ความเข้มแสง, cps	
	Pb at 168.215 nm	Pb at 182.205 nm
0.0	0.1407	0.3596
100.0	12.95	21.53
500.0	63.70	104.55
1000.0	126.78	206.90
1500.0	187.73	307.40



รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นตะกั่ว (Pb at 168.215 nm. และ 182.205 nm.)



รูปที่ 2 Interferences ภาตุดะกัวที่ควมยวคลิ่น 168.215 nm. และ 182.205 nm.

ตารางที่ 4 ซีดจำกัดการตรวจหา (LOD) และขีดจำกัดการตรวจวัดปริมาณ (LOQ) โดยประมาณ

รายการ	Pb at 168.215 nm	Pb at 182.205 nm
Sample blank, mg/kg	10.65	0.0000
Standard deviation (SD)	0.6337	0.7214
3 x SD	1.901	2.164
10 x SD	6.337	7.214
$\bar{X}_{\text{Blank}} + 3\text{SD}$, mg/kg	12.55	2.164
$\bar{X}_{\text{Blank}} + 10\text{SD}$, mg/kg	16.99	7.214
LOD, mg/Kg	12.55	2.164
LOQ, mg/kg	16.99	7.214

ตารางที่ 5 ผลกระทบจากองค์ประกอบของตัวอย่าง (Matrix effect)

รายการ	ปริมาณ Pb at 182.205 nm ที่ตรวจวัดได้, mg/kg		d
	วิธี Matrix matched calibration	วิธี Non-matrix matched calibration	
1	101.3	83.48	17.82
2	249.2	204.7	44.50
3	500.2	410.2	90.00
ค่าเฉลี่ย ($\bar{d}$)	-	-	50.77
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S_d)	-	-	36.50
t_{cal}	-	-	2.409
$t_{\text{crit}} = t_{(0.025,2)}$	-	-	4.30

การหาความแม่นยำของวิธีทดสอบใช้วิธีศึกษาความแตกต่างระหว่างค่าที่ทดสอบได้กับค่าจริงที่เติมลงไป ใน Sample blank ที่ความเข้มข้น 100.0 mg/kg (200.0 $\mu\text{g/L}$, ความเข้มข้นต่ำ) 250.0 mg/kg (500.0 $\mu\text{g/L}$, ความเข้มข้นกลาง) และ 500.0 mg/kg (1000.0 $\mu\text{g/L}$, ความเข้มข้นสูง) ของช่วงการใช้งานของวิธี ภายใต้การวิเคราะห์ซ้ำแบบ repeatability แล้วสรุปความแม่นยำจากการคำนวณค่าคืนกลับ พบว่าร้อยละค่าคืนกลับอยู่ในช่วง 81.76 – 83.43 แสดงดังตารางที่ 6 สรุปได้ว่าค่าร้อยละการคืนกลับที่ได้จากการทดลองหาปริมาณตะกั่ว ในตัวอย่างอะลูมิเนียมที่มีความเข้มข้นในช่วง 100.0 – 500.0 mg/kg อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 6 ร้อยละค่าคืนกลับและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ความเข้มข้นต่ำ กลาง สูง ของช่วงการใช้งาน

ปริมาณที่เติม, mg/kg	ปริมาณเฉลี่ยที่ ตรวจวัดได้, mg/kg	ร้อยละค่าคืน กลับ	%RSD
100.0 (ต่ำ)	83.43	83.43	2.036
250.0 (กลาง)	204.4	81.76	0.7933
500.0 (สูง)	408.6	82.08	1.646
เกณฑ์กำหนด [10]		80 – 120 %	น้อยกว่า 3%

การหาความเที่ยงเป็นการบอกความใกล้เคียงของผลทดสอบซ้ำของตัวอย่างเดียวกัน โดยทำการทดสอบหาปริมาณตะกั่วที่เติมลงในสารละลาย Sample blank ที่ความเข้มข้นชุดเดียวกับการศึกษาความเอนเอียงของวิธี ภายใต้เงื่อนไข Intermediate precision condition แล้วคำนวณค่าความเที่ยงจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) พบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 3 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบความเอนเอียง ความเที่ยง และกราฟมาตรฐาน ดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการประเมินค่าความไม่แน่นอน โดยถือเป็นแหล่งของค่าความไม่แน่นอนที่สำคัญต่าง ๆ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สรุปค่าความไม่แน่นอนของวิธีทดสอบ

รายการ	Pb at 182.205 nm
ค่าความไม่แน่นอนจากการทดสอบความเอนเอียง u(R)	0.09174
ค่าความไม่แน่นอนจากการทดสอบความเที่ยง u(P)	0.02036
ค่าความไม่แน่นอนจากกราฟมาตรฐาน uCal	0.009044
ความเข้มข้น (C), ร้อยละ	0.010
ค่าความไม่แน่นอนรวม uc	0.00094
ค่าความไม่แน่นอนขยาย (U) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (k=2)	0.0019
ค่าความไม่แน่นอนขยาย (U), ร้อยละ	19

4. สรุป (Conclusion)

วิธีทดสอบหาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่องอินดักทีฟลิคัฟเฟิลพลาสมาออปติคอลมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ ถูกปรับปรุงโดยการปรับเปลี่ยนวิธีการสร้างกราฟมาตรฐานจากวิธี Matrix matched calibration ตามวิธีมาตรฐาน ASTM E3061 เป็นวิธี Non-matrix matched calibration โดยทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบและกำหนดค่าความไม่แน่นอนเป้าหมายของวิธีต้องไม่เกินร้อยละ 20 พบว่าคุณลักษณะเฉพาะที่แสดงสมบัติของวิธีทดสอบ ได้แก่ ความสัมพันธ์เชิงเส้น ชัดจำกัดการตรวจหา ชัดจำกัดการวัดปริมาณ ช่วงการใช้งาน ความเอนเอียง ความเที่ยง ผลกระทบจากองค์ประกอบของตัวอย่าง และค่าความไม่แน่นอน เป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด แสดงว่าวิธีทดสอบนี้เหมาะสมกับการใช้งานตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นวิธีทดสอบหาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่องอินดักทีฟลิคัฟเฟิลพลาสมาออปติคอลมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ ที่สร้างกราฟมาตรฐานด้วยวิธี Non-matrix matched calibration สามารถนำมาใช้กับงานวิเคราะห์ประจำที่วิเคราะห์ตัวอย่างอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมเจือได้รวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ อยู่ในเกณฑ์การยอมรับ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย การพัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจสอบโลหะหนักในวัสดุสัมผัสอาหารประเภทโลหะเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Barwick VJ, Ellison SLR. VAM Project 3.2.1 development and harmonisation of measurement uncertainty principles part (d): Protocol for uncertainty evaluation from validation data version 5.1 [Internet]. Teddington (UK): LGC (Teddington) Limited; 2000 [cited 2022 Dec 20]. Available from: <http://www.demarcheis17025.com/private/Protocol%20for%20uncertainty%20evaluation%20from%20validation%20data.pdf>

[2] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศฉบับที่ 92 (พ.ศ. 2528) เรื่อง การกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุการใช้ภาชนะบรรจุ และการห้ามใช้วัตถุใดเป็นภาชนะบรรจุอาหาร [อินเทอร์เน็ต]. 2528 [เข้าถึงเมื่อ 22 พฤศจิกายน 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_moph/P92.pdf

- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.).
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอะลูมิเนียมเปลว.
มอก. 325-2532. กรุงเทพฯ: สมอ.; 2532.
- [4] Thomsen VBE. Modern spectrochemical analysis
of metals: An introduction for users of arc/spark
instrumentation. Michigan: ASM International; 1994.
- [5] ASTM International. Standard test method for
analysis of aluminum and aluminum alloys by spark
atomic emission spectrometry. ASTM E1251-17a.
West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM
International; 2017.
- [6] ASTM International. Standard test method for
analysis of aluminum and aluminum alloys by
inductively coupled plasma atomic emission
spectrometry. ASTM E3061-17. West Conshohocken,
Pennsylvania: ASTM International; 2017.
- [7] United States Environmental Protection Agency
(U.S.EPA). Inductively coupled plasma-atomic
emission spectrometry. Method 6010D (SW-846).
Washington, DC: U.S. EPA; 2014.
- [8] Thermo Fisher Scientific Inc. iCAP PRO Series ICP-
OES Operating Manual. Bremen, Germany: Thermo
Fisher Scientific; 2020
- [9] National Association of Testing Authorities (NATA).
Technical note 17 guidelines for the validation and
verification of quantitative and qualitative test
methods [Internet]. 2013 [cited 2023 Mar 15].
Available from: [https://www.studocu.com/en-au/
document/queensland-university-of-technology/
pathology/nata-technical-note-17-
october-2013/15147792](https://www.studocu.com/en-au/document/queensland-university-of-technology/pathology/nata-technical-note-17-october-2013/15147792)
- [10] Part I AOAC Guidelines for single-laboratory
validation of chemical methods for dietary
supplements and botanicals In: Latimer GW.Jr,
editor. Official methods of analysis of AOAC
International [Internet]. 22nd ed. New York: AOAC
Publication; 2023 [cited 2023 mar 15] Available
from: [https://doi.org/10.1093/9760197610145.00
5.011](https://doi.org/10.1093/9760197610145.005.011)

คำแนะนำในการจัดทำต้นฉบับ วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ Bulletin of Applied Sciences

บทความที่ส่งตีพิมพ์จะต้องไม่เคยตีพิมพ์หรืออยู่ในระหว่างการรอพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในวารสารอื่น บทความที่เสนอมาเพื่อตีพิมพ์อาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่บทความต้องมีทั้งสองภาษา ทั้งนี้บทความทุกเรื่องจะได้รับการพิจารณาตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง และกองบรรณาธิการ ขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขต้นฉบับและพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง

ความรับผิดชอบ

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถือเป็นผลงานทางวิชาการ และเป็นความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่ใช่ความเห็นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือกองบรรณาธิการ ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน และบทความที่ตีพิมพ์ในเล่มนี้ไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน

การเตรียมต้นฉบับและการส่งต้นฉบับ

1) บทความวิจัย (Research article) ประกอบด้วยหัวข้อ ดังนี้

- **ชื่อเรื่อง** : ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 18 ตัวหนา จัดวางข้อความชื่อเรื่องตรงกึ่งกลางหน้ากระดาษ โดยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษเฉพาะคำขึ้นต้นให้พิมพ์ตัวใหญ่
- **ชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วม** : ชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วม ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 ตัวปกติ จัดวางข้อความชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วมกึ่งกลางหน้ากระดาษ ให้เลข 1.2.3.... โดยยกกำลังแสดงตรงชื่อ และเป็นเลขเดียวกันเพื่อแสดงที่อยู่ และ e-mail address.

ตัวอย่าง

ปราณี จันทรลา¹, นิธิวัชร นวอัครฐานนท์²

Pranee Junlar¹, Nithiwat Nawaukkrathanant²

¹กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

²สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

^{*}Corresponding author e-mail address: pranee@dss.go.th

- **บทคัดย่อ (Abstract)** : บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ เนื้อหาในคัดย่อ ควรระบุวัตถุประสงค์ ผลการวิจัย และบทสรุปโดยย่อ
- **คำสำคัญ (Keywords)** : คำสำคัญต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระบุคำสำคัญหรือวลีสั้น ๆ จำนวน 3-5 คำ คำที่ 1, คำที่ 2, คำที่ 3 ตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 ตัวปกติ

- เนื้อเรื่อง แบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. **บทนำ (Introduction):** หัวข้อบทนำ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย หัวข้อย่อย ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวหนา เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ
2. **วิธีการวิจัย (Experimental methods):** หัวข้อวิธีการวิจัย ตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย หัวข้อย่อย ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวหนา เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ
3. **ผลและวิจารณ์ (Results and discussion):** หัวข้อผลและวิจารณ์ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย หัวข้อย่อย ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวหนา เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ
4. **สรุป (Conclusion):** หัวข้อสรุป ตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ
5. **กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement):** หัวข้อกิตติกรรมประกาศ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ
6. **เอกสารอ้างอิง (References):** การเขียนเอกสารอ้างอิงให้ใช้ระบบเรียงตามตัวเลข ใส่หมายเลขในวงเล็บเหลี่ยม [] เรียงตามลำดับการอ้างอิงในเรื่อง เอกสารอ้างอิงทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงหรือกล่าวถึงในบทความ กรณีมีการอ้างอิงมากกว่า 1 รายการ ให้จัดเรียงดังนี้ รายการลำดับต่อเนื่องกันให้ใช้เครื่องหมาย - คั่น เช่น [1-3] รายการลำดับไม่ต่อเนื่องกันให้ใช้เครื่องหมาย, คั่น เช่น [1,3,5] รายการมีทั้งที่ลำดับต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องกันให้ใช้เครื่องหมาย - และ , ร่วมกัน เช่น [1-2,4]

- ตาราง (Table) และรูป (Figure) : ตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 ตัวปกติ

- ตาราง : ให้ระบุลำดับที่ของตาราง หัวตารางให้จัดชิดขอบด้านซ้าย ชื่อตารางให้อยู่ด้านบนของตาราง
- รูป : ให้ระบุลำดับที่ของรูป คำบรรยายรูปภาพให้อยู่ใต้รูปภาพ และจัดกึ่งกลางคอลัมน์ กรณีเป็นรูปถ่ายความละเอียดของรูปไม่ต่ำกว่า 300 dpi

2) บทความวิชาการ (Academic article) ประกอบด้วยหัวข้อ ดังนี้

- **ชื่อเรื่อง :** ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 18 ตัวหนา จัดวาง ข้อความชื่อเรื่องตรงกึ่งกลางหน้ากระดาษ โดยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษเฉพาะคำขึ้นต้น ให้พิมพ์ตัวใหญ่
- **ชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วม :** ชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วม ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 ตัวปกติ จัดวางข้อความชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วมกึ่งกลางหน้ากระดาษ ใช้เลข 1.2.3.... โดยยกกำลังแสดงตรงชื่อ และเป็นเลขเดียวกันเพื่อแสดงที่อยู่ และ e-mail address.

ตัวอย่าง

ปราณี จันทร์ลา^{1*}, นิธิวัชร นวอักษรฐานนท์²

Pranee Junlar¹, Nithiwat Nawaukkarathanant²

¹กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

- **บทคัดย่อ (Abstract):** บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ เนื้อหาในคัดย่อ ควรระบุวัตถุประสงค์ ผลการวิจัย และบทสรุปโดยย่อ
- **คำสำคัญ (Keywords):** คำสำคัญต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระบุคำสำคัญหรือวลีสั้น ๆ จำนวน 3-5 คำ คำที่ 1, คำที่ 2, คำที่ 3 ตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 ตัวปกติ
- **เนื้อเรื่อง** แบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้
 1. **บทนำ (Introduction):** หัวข้อบทนำ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย หัวข้อย่อย ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวหนา เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ
 2. **เนื้อหา :** นำเสนอตามหัวข้อหรือประเด็นที่ผู้นิพนธ์กำหนดเพื่อแสดงรายละเอียดของเรื่อง
 3. **สรุป (Conclusion):** กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ของเรื่องที่เขียนเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจ
 4. **กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement):** กล่าวถึงบุคคล หรือหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนการศึกษา
 5. **เอกสารอ้างอิง (References):** ต้องอ้างอิงในระบบ Vancouver ใช้ระบบเรียงตามตัวเลข โดยใส่หมายเลขในวงเล็บเหลี่ยม [] เรียงตามลำดับการอ้างอิงในเรื่อง เอกสารอ้างอิงทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงหรือกล่าวถึงในบทความ

การเขียนเอกสารอ้างอิงตามระบบ Vancouver

รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงแบบ Vancouver ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

- 1) การอ้างอิงในเนื้อหา (In-text citation)
- 2) การอ้างอิงท้ายเล่ม หรือ เอกสารอ้างอิง (References) ดังนี้
 1. **การอ้างอิงในเนื้อหา (In-text citation)** เมื่อนำผลงานของบุคคลอื่น ไม่ว่าบางส่วน หรือทั้งหมด มาอ้างอิงในบทความ ให้ใส่ตัวเลขตามลำดับของการอ้างอิง ในเครื่องหมายวงเล็บเหลี่ยม [] หลังชื่อผู้เขียน หรือ หลังข้อความที่อ้างอิง และใช้เลขลำดับเดิมในกรณีที่มีการอ้างอิงซ้ำทุกครั้ง ส่วนเอกสารอ้างอิงท้ายบท จัดเรียงตัวเลขตามลำดับของการอ้างอิงในเนื้อหา กรณีที่มีการอ้างอิงหลายรายการพร้อมกัน ในกรณีที่ตัวเลขลำดับการอ้างอิง เป็นลำดับที่ต่อเนื่องกันให้ใช้เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่นระหว่างตัวเลข เช่น [1-3] แต่ถ้าตัวเลขลำดับการอ้างอิง ไม่ต่อเนื่องกันให้ใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นระหว่างตัวเลข เช่น [2,4]
 2. **การอ้างอิงท้ายเล่ม หรือ เอกสารอ้างอิง (References)** เป็นการนำรายการอ้างอิงในเนื้อหา มารวบรวมไว้ในส่วนท้ายของบทความ โดยจัดเรียงตัวเลขตามลำดับ 1, 2, 3, ... ในเครื่องหมายวงเล็บเหลี่ยม [] ซึ่งตัวเลขต้องสอดคล้องกับลำดับตัวเลขของการอ้างอิงในเนื้อหา ข้อมูลที่นำมาเขียนเอกสารอ้างอิงจะแตกต่างกันตามประเภทของเอกสารที่นำมาอ้างอิง เช่น หนังสือ บทความวารสาร วิทยานิพนธ์ เอกสารประกอบการประชุม หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เอกสารจากอินเทอร์เน็ต สิทธิบัตร มาตรฐาน เป็นต้น

รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงประเภทต่าง ๆ

หนังสือ (Book)

- ผู้แต่งคนไทยให้ใช้ชื่อและนามสกุล เช่น จิตตกานต์ อินเทียง.
- ผู้แต่งชาวต่างชาติให้ใช้ชื่อสกุล ตามด้วยอักษรย่อชื่อตัวและชื่อกลาง เช่น Muller AC.
 - » ผู้แต่งไม่เกิน 6 คน เช่น Peng Q, Zhou M. ให้ใช้เครื่องหมาย , คั่น
 - » ผู้แต่งมากกว่า 6 คน ให้ใช้ชื่อ 6 คนแรก ตามด้วย “และคณะ.” หรือ “et al.” โดยใช้เครื่องหมาย , คั่น เช่น Muller AC, Hachimura K, Hara S, Ogiso T, Aida M, Yasuoka K, et al.
- นิติบุคคล ให้ใช้ชื่อหน่วยงานใหญ่และตามด้วยหน่วยงานย่อย เช่น มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, คณะวิทยาศาสตร์.
- ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง ให้ใช้ชื่อหนังสือแทนในตำแหน่งชื่อผู้แต่ง
- หนังสือที่มีเฉพาะบรรณาธิการ ให้ใช้ชื่อบรรณาธิการในตำแหน่งชื่อผู้แต่ง ตามด้วยจุลภาค และคำว่า บรรณาธิการ editor หรือ editors
- หนังสือที่มีทั้งผู้แต่งและบรรณาธิการหรือผู้แปล ให้ใช้ชื่อบรรณาธิการ/ผู้แปลไว้หลังชื่อหนังสือหรือครั้งที่พิมพ์ ตามด้วยจุลภาค และคำว่า บรรณาธิการ editor editors หรือผู้แปล translator translators
- ชื่อหนังสือภาษาไทยให้ใช้ตามที่ปรากฏ ส่วนชื่อภาษาอังกฤษให้ใช้อักษรตัวใหญ่เฉพาะคำแรกของชื่อ (ชื่อเฉพาะให้ใช้อักษรตัวใหญ่) เช่น Nanotechnology research methods for foods and bioproducts, The availability of solar energy in Thailand
- ครั้งที่พิมพ์ ให้ระบุการพิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป เช่น พิมพ์ครั้งที่ 3. 2nd ed. 3rd ed. 4th ed. โดยไม่ทำด้วยก
- หนังสือชุดที่มีหลายเล่มจบ ให้ใส่จำนวนเล่มทั้งหมด เช่น 5 ล. หรือ 5 vol. (ย่อมาจาก volume) อ้างอิงเพียงเล่มใดเล่มหนึ่ง โดยใส่ไว้หลังชื่อเรื่องหรือครั้งที่พิมพ์ เช่น เล่ม 5. หรือ Vol. 5.

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.✓ชื่อหนังสือ.✓ครั้งที่พิมพ์.✓สถานที่พิมพ์.✓สำนักพิมพ์.✓ปีพิมพ์.✓เล่ม.

ตัวอย่าง

- [1] จ่านงค์ นพรัตน์, ชวดี นพรัตน์. โลหิตวิทยา (Hemato-Book). พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา: ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2563.
- [2] พงษ์ธร แซ่ฮุย. สารเคมียาง. ปทุมธานี: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ; 2548.
- [3] Padua GW, Wang Q, editors. Nanotechnology research methods for foods and bioproducts. Ames (IA): Wiley-Blackwell; 2012.
- [4] Hubschmann HJ. Handbook of GC-MS: fundamentals and applications. 3rd ed. Weinheim: Wiley-VCH; 2015.

บทหนึ่งในหนังสือ (Chapter in book)

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.✓ชื่อบทความ.✓ใน:หรือ In:✓ชื่อบรรณาธิการ, บรรณาธิการ.✓ชื่อหนังสือ.
ครั้งที่พิมพ์.✓สถานที่พิมพ์:✓สำนักพิมพ์;✓ปีพิมพ์.น. หรือ p. เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้าย.

ตัวอย่าง

- [1] นงลักษณ์ ลิ้มกุล.การบริหารความต่อเนื่อง เพื่อฟื้นฟองเภสัชกรรม. ใน: ธีระ กลลดาเรืองไกร, บรรณาธิการ.
การบริหารความต่อเนื่องในภาวะฉุกเฉินของโรงพยาบาล. กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล
มหาวิทยาลัยมหิดล; 2562. หน้า 33-60.
- [2] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. มาตรฐานทางเคมีสำหรับการวิเคราะห์อาหารของกรมวิทยาศาสตร์การ
แพทย์ DMSc F1074: การวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารโดย LC/MS-MS. ใน: มาตรฐาน
สำหรับการวิเคราะห์อาหาร เล่มที่ 5. นนทบุรี: กรม; 2560. หน้า 41-46.

บทความวารสาร (Journal article)

- วารสารภาษาไทย ให้เขียนชื่อเต็ม
- วารสารภาษาอังกฤษ ให้เขียนชื่อย่อของวารสารตามแบบของ index medicus (<http://cassi.cas.org>) หรือ(<http://www2.bg.am.poznan.pl/czasopisma/medicus.php?lang=eng>)
- หากเป็นวารสารชื่อสั้น ๆ คำเดียว มักจะไม่ย่อชื่อวารสาร
- เลขหน้าสุดท้ายให้ใส่เฉพาะเลขที่ไม่ซ้ำกับเลขหน้าแรก ยกเว้นเลขโรมันหรือเลขที่มีตัวอักษรต่อท้าย
เช่น
หน้า 4-12 ให้ระบุ ว่า 4-12.
หน้า 22-28 ให้ระบุ ว่า 22-8.
หน้า 1012A-1045A ให้ระบุ ว่า 1012A-1045A.

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.✓ชื่อบทความ.✓ชื่อวารสาร.✓ปีที่พิมพ์;ปีที่(ฉบับที่):เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้าย.

ตัวอย่าง

- [1] จิตตกานต์ อินเทียง. การปรับตั้งเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (ตอนที่ 1). UP DATE สมท.สาร. 2549 มกราคม-
มีนาคม;11(1):13-6.
- [2] Intiang J, Sirichote W, Boonsanit S. Development of automatic calibration system for electronic
balances. Bull Appl Sci. 2019;8(8):40-7.

วิทยานิพนธ์ (Thesis/Dissertation)

ประเภท/ระดับปริญญา เช่น วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรดุษฎีบัณฑิต dissertation thesis ฯลฯ

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.✓ชื่อเรื่อง✓[ประเภท/ระดับปริญญา].✓เมืองที่พิมพ์: ✓มหาวิทยาลัย;✓ปีที่รับปริญญา.

ตัวอย่าง

- [1] Kaplan SJ. Post-hospital home health care: the elderly's access and utilization [dissertation]. St. Louis, MO: Washington University; 1995.
- [2] Tesema BH. Tannery solid waste generation rate and preparation of leather board from chrome shaving waste and plant fibers “a wealth from waste approach for leather industry” [thesis]. Addis Ababa: Ethiopia; 2018.
- [3] ประเสริฐ ปรภณภสินธุ์. เปรียบเทียบเทคนิคการสกัดสารแคปไซซินในพริกพันธุ์ต่าง ๆ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2544.
- [4] นิจฉร ทูลธรรม. คำโครงการความเผ็ดและกลิ่นของพริกแห้ง [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต]. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2557.

สิทธิบัตร (Patent)

รูปแบบ: ชื่อผู้ประดิษฐ์, ✓ ผู้ประดิษฐ์/inventor; ✓ ชื่อผู้ขอรับสิทธิบัตร, ✓ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/assignee. ✓ ชื่อสิ่งประดิษฐ์. ✓ ประเทศที่ออกสิทธิบัตร ✓ สิทธิบัตร/patent ✓ รหัสประเทศ ✓ เลขที่สิทธิบัตร. ✓ วัน เดือน ปี/year month day ที่จดสิทธิบัตร.

หมายเหตุ: กรณีที่ผู้ประดิษฐ์ และผู้ขอรับสิทธิบัตรเป็นบุคคลเดียวกัน ให้ใช้ ผู้ประดิษฐ์และผู้ขอรับสิทธิบัตร/inventor(s) and assignee

ตัวอย่าง

- [1] มณฑนา เอื้อวิทยา, ผู้ประดิษฐ์; บริษัทมหาชนพาณิชย์เชียงใหม่ จำกัด, ผู้ขอรับสิทธิบัตร. องค์ประกอบสมุนไพรจากกวาวเครือ. ประเทศไทย สิทธิบัตรไทย 8919. 10 พ.ค. 2542.
- [2] Eppler RA, O'conor EF, inventors and assignee. Composition and process for glazing ceramic ware. United States patent application US appl. 3871890. 1975 Mar 18.
- [3] Pagedas AC, inventor; Ancel Surgical R&D Inc., assignee. Flexible endoscopic grasping and cutting device and positioning tool assembly. United States patent US 20020103498. 2002 Aug 1.
- [4] Seiko Ohkubo, inventor; Seiko Ohkubo, assignee. Acupressure appliance for medical treatment. United Kingdom patent GB 2 350 301. 2000 Nov 29.
- [5] Tintara H, inventor; Prince of Songkla University, assignee. Amniotomy training model. Thai petty patent 7488. 2012 Sep 18.

มาตรฐาน (Standards)

รูปแบบ: ชื่อหน่วยงานหรือสมาคมวิชาชีพ. ✓ ชื่อเรื่อง. ✓ หมายเลขมาตรฐาน. ✓ สถานที่พิมพ์ ✓ สำนักพิมพ์; ✓ ปีพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [1] British Standard Institution (BSI). Foodstuffs-determination of sucralose-high performance liquid chromatographic method. BS EN 16155: 2012. London, UK: BSI; 2012.
- [2] International Organization for Standardization (ISO). Rubber, vulcanized or thermoplastic-determination of tension set under constant elongation, and of tension set, elongation and creep under constant tensile load. ISO 2285: 2019. Geneva, Switzerland: ISO; 2019.
- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบตะกั่วและแคดเมียมที่ละลายจากภาชนะเซรามิก ภาชนะเซรามิกแก้ว และภาชนะแก้วที่ใช้กับอาหาร. มอก. 32-2546. กรุงเทพฯ: สมอ.; 2546.

กฎหมายที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา

รูปแบบ: ชื่อหน่วยงาน.✓ชื่อกฎหมาย.✓ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่... ตอน... ,✓วัน เดือน ปีพิมพ์.✓
หน้าเริ่มต้น-หน้าสิ้นสุด

ตัวอย่าง

- [1] กระทรวงสาธารณสุข. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 389 (พ.ศ. 2561) เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร (ฉบับที่ 5). ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 35 ตอนพิเศษ 178 ง, 25 กรกฎาคม 2561. 521-523.
- [2] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์การพิจารณาขึ้นทะเบียนตำรับยาแผนโบราณเกี่ยวกับมาตรฐานการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ และโลหะหนัก. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 121 ตอนพิเศษที่ 43 ง, 21 เมษายน 2547. 40-42.

เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (รูปแบบทั่วไป)

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.✓ชื่อเรื่อง [ประเภทของสื่อ].✓ปีพิมพ์✓[เข้าถึงเมื่อ วัน เดือน ปี หรือ cited ปี เดือน วัน].
✓เข้าถึงได้จาก/Available from: <http://...>

หมายเหตุ: ประเภทของสื่อ เช่น [อินเทอร์เน็ต] [Internet] [ซีดีรอม] [CD-ROM] [ดีวีดี] [DVD] เป็นต้น

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (E-Book)

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.✓ชื่อหนังสือ [อินเทอร์เน็ต/Internet].✓ครั้งที่พิมพ์.✓สถานที่พิมพ์.✓สำนักพิมพ์; ✓ปีพิมพ์✓ [เข้าถึงเมื่อ วัน เดือน ปี/cited ปี เดือน วัน]. ✓เข้าถึงได้จาก/Available from: <http://...>

ตัวอย่าง

- [1] วิชัย โชควิวัฒน์. เหลียวหลังแลหน้าไวรัสโคโรนา-2019 [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี: สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ; 2563 [เข้าถึงเมื่อ 3 พฤษภาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://infocenter.nationalhealth.or.th/Ebook/COVID19DrVichai/book.html#p=1>

[2] Knoop KJ, Stack LB, Storrow AB, Thurman J. The atlas of emergency medicine [Internet]. 5th ed. New York: McGraw-Hill; 2021 [cited 2021 Apr 27]. Available from: <https://accessmedicine.mhmedical.com/book.aspx?bookid=2969>

บทความวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (e- Journal)

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.✓ชื่อบทความ.✓ชื่อวารสาร✓อินเทอร์เน็ต/Internet].✓ปีที่พิมพ์✓[เข้าถึงเมื่อวัน เดือน ปี/cited ปี เดือน วัน];ปีที่(ฉบับที่):เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้าย.✓เข้าถึงได้จาก/Available from: <http://...>

ตัวอย่าง

- [1] นาดยา อังคนาวิน. ผลของการใช้สตีเวียและมอลทิทอลต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพการทดสอบประสาทสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเซอร์เบทหม่อน. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) [อินเทอร์เน็ต]. ก.ค.-ธ.ค. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 16 ส.ค. 2563];11(22):78-90. เข้าถึงได้จาก: <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/article/view/12118/10268>
- [2] Sang L. Optimization of determination of sucralose in drink by HPLC. J Econ Sci Res [Internet]. 2019 [cited 2021 May 3];2(3): 50-4. Available from: <http://doi.org/10.30564/jesr.v2i3.1023>
- [3] Sorbara JC, Ngo HL, Paimert MP. Investigation of composition, temperature, and heating time in the formation of acrylamide in snack: central composite design optimization and microextraction coupled with gas chromatography-mass Spectrometry. Food Anal Methods [Internet]. 2021 [cited 2021 Apr 3];14: 44-53. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01849-6>

บทความวารสารที่มีหมายเลข Digital Object Identifier (DOI)

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.✓ชื่อบทความ.✓ชื่อวารสาร✓ปีที่พิมพ์;ปีที่(ฉบับที่):เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้าย.✓doi:✓xxxxxxxxxx.

ตัวอย่าง

- [1] Kang C, Ma H, Li Y, Zhang C, Hong Y, Shao M. Determination of acrylamide in foods by automatic accelerated solvent extraction and gas chromatography-mass spectrometry. Acta Chromatogr. 2020;33(1):64-72. doi: 10.1556/1326.2020.00755.
- [2] Driver CN, Laporta ML, Bergese SD, Urman RD, DiPiazza F, Overdyk FJ, et al. Frequency and temporal distribution of postoperative respiratory depressive events. Anesth Analg. 2021;132:1206-14. doi: 10.1213/ANE.0000000000005478.

ข้อแนะนำการส่งบทความ

รายการตรวจสอบก่อนส่งบทความ

ในขั้นตอนการส่งบทความ ผู้นิพนธ์ต้องตรวจสอบและปฏิบัติตามข้อกำหนดรายการตรวจสอบการส่งทุกข้อ ดังต่อไปนี้ และบทความอาจถูกส่งคืนให้กับผู้แต่งกรณีที่ไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดทั้งหมด

- รับรองว่า บทความเป็นผลงานของผู้นิพนธ์ และยังไม่เคยส่งหรือกำลังส่งตีพิมพ์วารสารอื่น
- รับรองว่า ผลการศึกษา การบันทึก และการรายงานปราศจากการเสกสรรปั้นแต่งขึ้นเอง (Fabrication)
- รับรองว่า สารเนื้อหาการวิจัย เครื่องมือ กระบวนการ ปราศจากการปลุกปั่นชักยั่วถ่ายเท (Manipulate) อันเปลี่ยนแปลงหรือละเลยผลการศึกษาโดยไม่อธิบายหรือไม่นำเสนออย่างถูกต้องตามข้อมูลในแบบลงข้อมูล
- รายชื่อคณะผู้นิพนธ์เป็นตามความเป็นจริง และเป็นผู้มีส่วนร่วมทางปัญญา (Intellectual contribution) ต่อบทความวิชาการ
- มีการให้ URLs ที่เข้าถึงได้ สำหรับเอกสารที่อ้างอิงจากอินเทอร์เน็ต
- ไฟล์บทความอยู่ในรูปแบบ Microsoft word การกระจายตัวอักษรให้ขอบขวามีขนาดเท่ากัน โดยเลือกการจัดตำแหน่งการกระจายแบบไทย (Thai distributed) ใช้ระยะห่างบรรทัดปกติ (Single-spaced) ใช้ตัวอักษรแบบ Cordia New ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และจัดเตรียมบทความตามข้อกำหนด ทั้งในด้านของรูปแบบและการเขียนเอกสารอ้างอิงแบบ Vancouver ตามคำแนะนำสำหรับผู้นิพนธ์ (Author guidelines)

- การทำงานผ่านระบบวารสารออนไลน์ ทางวารสารจะติดต่อและแจ้งข้อความต่าง ๆ ผ่านอีเมลของท่านที่ได้กรอกเข้าสู่ระบบเป็นหลัก เพื่อให้เข้ามารับ-ส่ง ข้อมูลผ่านในระบบเว็บไซต์วารสารฯ (การตอบกลับไม่ใช้การ reply เมล) ดังนั้นขอให้ตรวจสอบกล่องจดหมายของท่านว่าได้รับอีเมลของวารสารฯ หากไม่ได้รับอีเมลใด ๆ หลังจากส่งบทความนี้แล้ว (บางครั้งอาจตกอยู่ใน spam/junk mail) กรุณาติดต่อที่ tci.thai@gmail.com หรือ passachon@dss.go.th
- กรุณาให้ชื่อและหมายเลขโทรศัพท์มือถือของท่านไว้ใน ข้อความถึงบรรณาธิการ (Comment for editor) และกดบันทึก รวมถึงหากมีข้อสงสัยสามารถสอบถามได้ในช่องทางดังกล่าว

นโยบายส่วนบุคคล

ชื่อและที่อยู่อีเมล หรือข้อมูลส่วนบุคคล ที่กรอกในเว็บไซต์วารสารนี้จะใช้สำหรับวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้ในงานวารสารเท่านั้นและจะไม่เปิดเผยเพื่อวัตถุประสงค์ในกิจกรรมอื่น ๆ หรือให้กับบุคคลหรือหน่วยงานอื่นใดทราบ

การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล

1. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ จะเคร่งครัดการเฝ้าระวังการคัดลอก การนำเสนอรูปร่าง หรือการนำผลงานผู้อื่นมาเป็นส่วนหนึ่งของบทความเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร
2. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ จะไม่เปิดเผยรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความให้แก่ผู้พิมพ์หรือบุคคลอื่น

กรมวิทยาศาสตร์บริการให้ความสำคัญกับการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลอย่างเคร่งครัดและปฏิบัติตามกฎหมายและข้อบังคับทั้งหมดเกี่ยวกับการปกป้องข้อมูลส่วนบุคคลของท่าน ท่านสามารถอ่านรายละเอียดนโยบายและแนวปฏิบัติในการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ได้ที่ <https://www.dss.go.th/images/ict/PrivacyPolicy2564.pdf>

Submission Guidelines

Submission preparation checklist

As part of the submission process, authors are required to check off their submission's compliance with all of the following items, and submissions may be returned to authors that do not adhere to these guidelines.

- Certify that the manuscript is authors' original work, has not been published before, and is not being considered for publication elsewhere.
- Confirm that results, records and reports are presented clearly, honestly without fabrication, falsification.
- When referring to a source accessed from the internet, provide the URLs and a retrieval date in the reference list.
- Certify that the experiment's independent variables are not changed, altered, or influenced on purpose by the researchers (Experimental manipulation).
- Prepare manuscript in Microsoft Word format, align paragraph in Thai distributed, use single-spaced lines, Cordia New font for both Thai and English, and Vancouver referencing style. More stylistic and reference list requirements are outlined in the Author Guidelines.
- As part of online submission process, the journal will contact authors through your registered e-mail address, please check your inbox regularly. If it is not there, please checking your spam/junk mail folder. If you still experience difficulties when submission, please contact tcj.thai@gmail.com or passachon@dss.go.th
- Authorship list should be honestly reflected their intellectual contributions to the work.
- Provide authors, name and mobile phone number in "Comment for Editor" and save. For inquiries, please also send to "Comment for Editor".

Author guidelines

Manuscript preparation and submission

For Research and Academic article

- Title in Thai and English languages. Use font of Cordia New style, bold, size 18 and centered align. For English title; only the first word has a capital letter.

- Name of the author and co-author: both in Thai and English. Use font of Cordia New style, regular, size 12 and centered align. Use superscript numbers (1, 2, 3...) before name to represent author's address and e-mail.

Example

Pranee Junlar^{1*}, Nithiwach Nawaukkaratharnant²

¹Division of Engineering Materials, Department of Science Service

²Metallurgy and Materials Science Research Institute, Chulalongkorn University

*Corresponding author e-mail address: pranee@dss.go.th

Research article

1. **Abstract** in Thai and English languages. Use font of Cordia New style, regular, size 14. The usual sections should briefly contain objectives, methods, results and conclusion.
2. **Keywords** in Thai and English, not more than 3-5 words for each language. Use font of Cordia New style, regular, size 12.
3. **Content** contains:
 - Introduction:
 - » Main topic: Cordia New style, bold, size 16
 - » Sub topic: Cordia New style, bold, size 14
 - » Content: Cordia New style, regular, size 14
 - Experimental methods:
 - » Main topic: Cordia New style, bold, size 16, left align.
 - » Sub topic: Cordia New style, bold, size 14
 - » Content: Cordia New style, regular, size 14
 - Results and discussion:
 - » Main topic: Cordia New style, bold, size 16, left align.
 - » Sub topic: Cordia New style, bold, size 14
 - » Content: Cordia New style, regular, size 14
 - Conclusion:
 - » Topic: Cordia New style, bold, size 16, left align.
 - » Content: Cordia New style, regular, size 14
 - Acknowledgement:
 - » Topic: Cordia New style, bold, size 16, left align.
 - » Content: Cordia New style, regular, size 14

- References: Bulletin of Applied Sciences uses the Vancouver referencing style.
 - » A number in square brackets, [], should be assigned in numerical order to each reference as it is cited in the text.
 - » Reference lists should be listed numerically at the end of the article, in the same order in which they were cited in text.
 - » If citing more than one reference, write a number for each separated by comma e.g. [1, 3].
 - » If citing more than one reference which is numbered consecutively, include reference numbers in increasing order separated by hyphen e.g. [1-3].

4. Table and Figure:

- Use Cordia New style, regular, size 12
- Table: Every table must have a caption that includes the table number on the top of the table, with left align.
- Figure: Every figure must have a caption that includes the figure number on the bottom of the figure, with centered align. Image resolution should not less than 300 dpi.

Academic article

1. **Abstract** in Thai and English languages. Use font of Cordia New style, regular, size 14. The usual sections should briefly contain objectives, methods, results and conclusion.
2. **Keywords** in Thai and English, not more than 3-5 words for each language. Use font of Cordia New style, regular, size 12.
3. **Content contains:**
 - Introduction:
 - » Main topic: Cordia New style, bold, size 16
 - » Sub topic: Cordia New style, bold, size 14
 - » Content: Cordia New style, regular, size 14
 - Content: states the written work in the topic.
 - Conclusion: should contain the most important message of the study and author perspective/ suggestion.
 - Acknowledgement: should contain financial support and other research contributions.
 - References: Bulletin of Applied Sciences uses the Vancouver referencing style.
 - » A number in brackets, [], should be assigned in numerical order to each reference as it is cited in the text.
 - » Reference lists should be listed numerically at the end of the article, in the same order in which they were cited in text.

Copyright notice

- The manuscript must never been published elsewhere or is under consideration by another journal.
- The manuscript can be written in either Thai or English. Abstract must be in both Thai and English.
- The submitted manuscript will be sent to at least three experts in the field (referee) to evaluate the manuscript by double-blind (double-blind peer review).
- BAS' editors reserve the right to pre-screening the manuscript and request the revise version.

Responsibility: The published article is an academic work with authors' perspective not by The Department of Science Service or editorial board. Authors are responsible for their works. The published article must never been published elsewhere and is not under consideration by another journal within 60 days.

Privacy statement

Personal data protection

On BAS website, we collect and use your personal information (name, email, and other personal data) to facilitate efficiency and productivity in BAS publishing process. BAS is dedicated to protecting your personal information and does not share your personal data with anyone outside the organization.

1. BAS is strictly concerned about plagiarism and unacknowledged others' work applies not only to text, but also to illustrations/graphs of the submitted manuscript.
2. BAS does not disclose reviewers' information to authors or other unauthorized persons.

Department of Science Service is aware of Personal Data Protection Act (PDPA) requirements and comply with PDPA law. Information about policy and personal data management guideline, please visit <https://www.dss.go.th/images/ict/PrivacyPolicy2564.pdf>

ดรราชনীคำสำคัญ

	หน้า		หน้า
ก		ศ	
กระดาดหัดถกรรม	57	เศษเหลือต้นคราม	57
ค		ส	
ค่าความไม่แน่นอนของการวัด	15	สมุนไพรร	16
ค่าอ้างอิง	15	สโตนแวร์	29
เครื่องดื่ม	1	ห	
แคนนาบีไดรอล	1	หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์	43
ด		อ	
เตตราไฮโดรแคนนาบินอล	1	องค์ประกอบเคมี	57
ช		อะลูมิเนียม	75
ชีปีดี	1	อินดักทีฟลิคัฟเฟิลพลาสมาออกพิดคอลลิมิสชัน	75
เซรามิก	29	สเปกโทรสโกปี	
ด		อุปกรณ์โหลด	43
ดินแดง	29		
ด			
ตะกั่ว	75		
ได้นำ	43		
ท			
ทีเอชซี	1		
ธ			
ธาตุที่แพร่หรือละลาย	65		
น			
นครปฐม	29		
ฟ			
ฟ้าทะลายโจร	15		
ภ			
ภาชนะหุงต้มอะลูมิเนียม	65		
ล			
ลิกวิด โครมาโทกราฟี-แทนเดมแมส	1		
สเปกโทรเมตรี			
ร			
รังสีพื้นหลัง	43		
รังสีแกมมา	43		
ว			
วัสดุสัมผัสอาหาร	65		
วัสดุอ้างอิงรับรอง	15		

Keyword index

	Page		Page
A		S	
Aluminium	75	Sodium iodide scintillation detector (NaI)	43
Aluminium cooking utensils	65	Stoneware	29
B		T	
Background	43	Tetrahydrocannabinol	1
Beverages	1	THC	1
C		U	
Cannabidiol	1	Underwater	43
CBD	1		
Ceramic	29		
Certified reference material	15		
Chemical composition	57		
F			
Food contact materials	65		
G			
Gamma Radiation	43		
Green chiretta	15		
H			
Handicraft paper	57		
Herb	15		
I			
Indigo residues	57		
Inductively coupled plasma optical emission spectrometry	75		
L			
Lead	75		
Liquid chromatography – tandem mass spectrometry	1		
Loading Device	43		
M			
Measurement uncertainty	15		
N			
Nakornpathom	29		
R			
Red clay	29		
Reference values	15		
Release element	65		

ดรรชนีผู้แต่ง

หน้า

ก

ก่อพงศ์ หงษ์ศรี 57

จ

จอย ผิวสะอาด 75

จารวี เล็กสุขศรี 57

จิตติไล เวฬุวนารักษ์ 65

จุฑาทิพย์ ลาภวิบูลย์สุข 1

ฉ

ธีรวัธ อาจสำอางค์ 57

น

นงลักษณ์ ตั้งไพศาลกุล 15

นันทน์ภัส ลายทิพย์ 15

พ

พัฒน์นิภา วงศ์พิชัย 1

ว

วนัท ทะเภาพงษ์ 75

วันดี ลือสายวงศ์ 65

วีระ สอนโธสง 75

ส

สมบูรณ์ ไตอุตชนม์ 43

สมภพ ลาภวิบูลย์สุข 1

สายจิต ดาวสุโข 29

สุขใจ เกียรติศักดิ์วัฒนา 43

สุทธินันท์ แต่บรรพกุล 15

สุทธิมา ศรีประเสริฐสุข 29

อ

อุษณา ลีเกรียงไกร 15

Author index

	Page
J	
Jarawee Leksuksri	57
Jitwilai Waluvanarak	65
Joy Phewsa-ard	75
Jutathip Lapviboonsuk	1
K	
Korpong Hongsri	57
N	
Nongluck Tangpaisarnkul	15
Nunnapus Laitip	15
P	
Patnipa Wongpichai	1
S	
Saijit Daosukho	29
Somboon Toautachone	43
Sompop Lapviboonsuk	1
Sukjai Kiatisakwatana	43
Sutthima Sriprasertsuk	29
Sutthinun Taebunpakul	15
T	
Theerat Ardsamang	57
U	
Usana Leekriangkrai	15
V	
Vanut Tapaopong	75
W	
Wandee Luesaiwong	65
Weera Suanthaisong	75

[illegible]



กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
Department of Science Service
Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation

75/7 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท
เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
e-mail : bas@dss.go.th
website : <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/BAS>