



วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์
กรมวิทยาศาสตร์บริการ



BULLETIN OF APPLIED SCIENCES

ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2566
Vol. 12 No. 2 July – December 2023

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





วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
BULLETIN OF APPLIED SCIENCES

ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2566

Vol. 12 No. 2 July – December 2023

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Bulletin of Applied Sciences

ISSN 2822-1532 (Print)

ISSN 2822-1540 (Online)

ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2566, Vol. 12 No. 2 July-December 2023

ชื่อวารสาร	วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ Bulletin of Applied Sciences	
วัตถุประสงค์	1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย ของนักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ให้เป็นที่ประจักษ์แก่ภาครัฐ ภาคเอกชน นักวิชาการ ผู้ประกอบการและประชาชนทั่วไป 2. เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในทางวิชาการ การอ้างอิง และการประกอบกิจการ ภาคการผลิตและอุตสาหกรรม	
เจ้าของ	กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม	
นโยบายการจัดพิมพ์	วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ รับผิดชอบต่อความวิจัย บทความวิชาการ และ บทความปริทัศน์ จากผู้เขียนทั้งภายในและภายนอกหน่วยงานในสาขาเคมี ฟิสิกส์ เทคโนโลยีชีวภาพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร วัสดุศาสตร์ มาตรวิทยา วิศวกรรมศาสตร์ หรือ วิทยาศาสตร์ประยุกต์	
ที่ปรึกษา	ดร.นพ. ปฐม สวรรค์ปัญญาเลิศ	อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ
หัวหน้ากองบรรณาธิการ	ดร.อรสา อ่อนจันทร์	นักวิทยาศาสตร์เชี่ยวชาญ วิชาการในตำแหน่ง ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านวิเคราะห์ทดสอบ (นักวิทยาศาสตร์ทรงคุณวุฒิ)
บรรณาธิการจัดการ	นางสาวปัทมา นพรัตน์	ผู้อำนวยการกองหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กองบรรณาธิการ	ศ.ดร. ดวงดาว อัจฉรงค์ ศ.ดร. ภาวิณี ชินะโชติ รศ.ดร. กรรณิการ์ สหกะโร รศ.ภญ.ดร. จิตติมา ลัคนากุล รศ.ดร. จรูญ จักรมณี รศ.ดร. อีร์ เซาวนนท์ปัญญา รศ.ดร. นภาพร ยิ่งวิเศษ รศ.ดร. นุเรศ เชื้อสุวรรณ รศ.ดร. นาทิพย์ วิภาวิน รศ.ดร. พิมพ์า หอมนิรันดร์ รศ.ดร. ภัทรินถน วรจิตติพล รศ.ดร. วิภารัตน์ เชื้อชวด ชัยสิทธิ์ รศ.ดร. วิษณุ เพชรภา รศ.ดร. วิภา สานิตปัดติพันธ์ รศ.ดร. อติยา ศิริปัญญาพันธ์ รศ.ดร. อรทัย จงประทีป ผศ.ดร. ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี ผศ.ดร. เทอดเกียรติ ลิ้มปิที่ปรากร ผศ.ดร. ปริญดา เพ็ญโรจน์ ผศ.ดร. พิระวัฒน์ นันทวรวงค์ ผศ.ดร. พุทธิรักษา วรานุศฎากุล ผศ.ดร. เยาวภา หล่อเจริญผล ผศ.ดร. รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา ผศ. สมพร ชัยอารีย์กิจ ดร. นงนภัส ดวงดี ดร. นุชนาฏ ณ ระนอง	ผู้อำนวยการกองหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สมาคมวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีอาหารแห่งประเทศไทย (FoSTAT) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยนเรศวร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยศิลปากร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ นักวิชาการอิสระ

ดร. ประสาร คิตติ
ดร. มาณพ สิทธิเดช

กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน
อดีตอัครราชทูตที่ปรึกษาฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงบรัสเซลส์
ประเทศเบลเยียม

ดร. ลดา พันธุ์สุขุมธนา
ดร. วราวุฒิ ศุภมิตรมงคล
ดร. สัญชัย ยอดมณี
ดร. อองอาจ ธเนศนิตย
นายชาติวี วงษ์แก้ว
นายวีระ ตูลาสมบัติ
ดร. กนิษฐ์ ตะปะสา
ดร. จิราภรณ์ บุราคร
ดร. กรธรรม สติกรกุล
นางวรรณิ์ ชูไฟบุรณ์

นักวิชาการอิสระ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นักวิชาการอิสระ
นักวิชาการอิสระ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ

ดร. จุฑาทิพย์ ลาภวิบูลย์สุข
ดร. อรพรรณ อภิรักษ์กานต์
นางสาวกมลชนก ศรีไทย
นางสาวกิตติยา ปลื้มใจ
นางสาวชีวกัทร ปาโมกษ์
นางสาวประภัศร ศิลปศาสตร์ดำรง
นายวรวิมล มะโนชาติ
นายสายัณห์ เกลี้ยงสิน
นางสาวสุรรัตน์ ยอดเถื่อน

กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เลขานุการ

หัวหน้ากลุ่มหอสมุดวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฝ่ายบริหารจัดการ

นางสาวอุดมลักษณ์ เวียงงาม
นางสาวทิพย์วาทิ กรรัมย์
นางสาวจอย ผิวสะอาด
นางสาวอุศนา มหานิตพงษ์

ฝ่ายเผยแพร่ประชาสัมพันธ์

นางสาวพรทิพย์ เส้นสด

ฝ่ายเว็บไซต์วารสาร

นางสาวพรชชล รัตนปานิ

การจัดพิมพ์และเผยแพร่

จัดพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ กำหนดออกเผยแพร่เดือน มกราคม-มิถุนายน และ กรกฎาคม-ธันวาคม

จำนวนพิมพ์

150 เล่ม

ค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์

ไม่มีค่าใช้จ่ายสำหรับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

บทความใน “วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ” ถือเป็นผลงานทางวิชาการ และเป็นความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่ใช่
ความเห็นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือกองบรรณาธิการ ผู้เขียนต้องรับผิดชอบตอบบทความของตน และบทความที่ตีพิมพ์ในเล่มนี้
ไม่เคยพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน

พิมพ์ที่

บริษัท ชัดชัดสพบลีเคชั่น จำกัด

34 ซอยลาซาล 22 ถนนสุขุมวิท 105 แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260

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

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (Bulletin of Applied Sciences) ที่ท่านอ่านอยู่ในขณะนี้ได้ผ่านการรับรองคุณภาพวารสารของ TCI โดยถูกจัดให้อยู่ใน “วารสารกลุ่มที่ 2” และมีการปรับปรุงรูปแบบของเนื้อหาวารสารให้ดูน่าสนใจและน่าอ่านมากขึ้น วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย ของนักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ ให้เป็นที่ประจักษ์แก่ภาครัฐ ภาคเอกชน นักวิชาการ ผู้ประกอบการ และประชาชนทั่วไป มุ่งเน้นให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในทางวิชาการ ตลอดจนอ้างอิงในภาคการผลิต และอุตสาหกรรมได้ วารสารได้จัดให้มีระบบ Peer reviews จากผู้ทรงคุณวุฒิหลากหลายสาขาวิชา เพื่อให้มั่นใจถึงคุณภาพของบทความวิจัย และบทความวิชาการ โดยในวารสารฉบับนี้มีบทความที่น่าสนใจหลายเรื่อง ได้แก่ การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณไมทราไจนีนในสารสกัดใบกระท่อมโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง, จลพลศาสตร์การเกิดสีน้ำตาลของไข่ขาวระหว่างกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูง, การพัฒนาวัสดุป้องกันรังสีโดยใช้ยางธรรมชาติผสมไบรอนออกไซด์และโลหะออกไซด์, การศึกษาเชิงปริมาณของสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติ ในประเทศไทย, คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่สุ่มจากห้างสรรพสินค้าในกรุงเทพมหานคร และร้านค้าออนไลน์, การทดสอบสมรรถนะอุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์แบบหมวกคลุมศีรษะที่พัฒนาขึ้นภายในประเทศ สำหรับใช้ในสถานการณ์การแพร่ระบาดโคโรนาไวรัส 2019 ในประเทศไทย

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ขอขอบคุณผู้พิมพ์ทุกท่านที่ส่งบทความมาให้พิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่องค์ความรู้และงานวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานด้านการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมของประเทศ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านสำหรับการพิจารณาบทความ (Peer review) โดยได้ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขบทความต่าง ๆ ให้มีความถูกต้องทางวิชาการ และอ่านได้เข้าใจง่ายขึ้น และขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนในการจัดทำวารสารฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่านในการเสริมสร้างองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนางาน หรือช่วยแก้ปัญหาที่พบในการปฏิบัติงานได้ ขอขอบคุณผู้อ่านที่ได้ให้ความสนใจติดตามวารสารนี้อย่างต่อเนื่อง และโปรดติดตามความรู้ และงานวิจัยดี ๆ จากวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการฉบับหน้า

ดร. อรสา อ่อนจันทร์
หัวหน้ากองบรรณาธิการ

จริยธรรมการตีพิมพ์

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. เมื่อเกิดกรณีข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความทั้ง 3 ท่าน มีความขัดแย้งกัน บรรณาธิการจะเป็นผู้ตัดสินใจว่าจะดำเนินการในขั้นตอนถัดไปกับบทความเรื่องนั้น ๆ อย่างไรต่อไป
7. บรรณาธิการต้องไม่แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบทความและผลประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ รวมถึงไม่ปิดกั้นหรือแทรกแซงข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความและผู้นิพนธ์

8. บรรณาธิการส่งผลการประเมินให้ผู้พิมพ์แก้ไข และพิจารณา ตรวจสอบการแก้ไขของผู้พิมพ์อย่างเคร่งครัด
9. บรรณาธิการเป็นผู้จัดสรรบทความที่ผ่านกระบวนการประเมินบทความและอยู่ในสถานะพร้อมตีพิมพ์เผยแพร่ โดยจะพิจารณาจากเหตุผลหลัก คือ ลำดับก่อนหน้าของการส่งบทความ (Queue) และความน่าสนใจ/ความหลากหลายของเนื้อหาบทความ (Content) รวมถึงเหตุผลในด้านความเหมาะสมอื่น ๆ (Suitability) เป็นสำคัญ
10. ในกรณีที่มีเหตุผลสำคัญ ที่อาจจะไม่นำบทความของผู้พิมพ์เรื่องใดเรื่องหนึ่ง ลงตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในฉบับตามที่ระบุในหนังสือตอบรับให้ได้ นั้น บรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการนำบทความดังกล่าว ลงตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในฉบับต่อไป ตามที่เห็นสมควร โดยบรรณาธิการจะต้องแจ้งให้ผู้พิมพ์เรื่องนั้น ๆ ได้รับทราบล่วงหน้าก่อนเสมอ
11. บรรณาธิการเป็นผู้ควบคุมและให้ความสำคัญต่อการตีพิมพ์เป็นรูปเล่มของวารสารในแต่ละฉบับ รวมถึงการเผยแพร่ทางเว็บไซต์วารสาร ให้มีความถูกต้อง สมบูรณ์ และออกตรงตามกำหนดเวลาอย่างเคร่งครัด

บทบาทและหน้าที่ของผู้พิมพ์ (Duties of authorship)

1. ผู้พิมพ์ต้องรับรองว่าบทความที่ส่งมาตีพิมพ์นั้นยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้พิมพ์โดยตรง
2. ผู้พิมพ์ต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่น และต้องอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมานำเสนอ หรืออ้างอิงในเนื้อหาบทความของตนเอง รวมทั้งต้องทำเอกสารอ้างอิงไว้ท้ายบทความโดยจัดรูปแบบการอ้างอิงตามที่กองบรรณาธิการฯ ได้กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด
3. ผู้พิมพ์ต้องเขียนบทความให้ถูกต้องตามรูปแบบที่วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด
4. ผู้พิมพ์ที่มีการศึกษาหรือทดลองเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต เช่น การใช้สัตว์ทดลอง หรือมนุษย์ ผู้พิมพ์ต้องได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการจริยธรรมก่อนทำการทดลอง และผู้พิมพ์จะต้องแนบส่งหนังสือรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หรือในสัตว์ทดลองสำหรับการส่งตีพิมพ์กับวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
5. ผู้พิมพ์ยินดีแก้ไขปรับปรุงรูปแบบและคุณภาพของบทความ ให้ถูกต้องและเหมาะสมตามข้อเสนอแนะเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการฯ ก่อนเข้าสู่กระบวนการพิจารณาในขั้นตอนของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ จำนวน 3 ท่าน ในลำดับต่อไป
6. ข้อคิดเห็นที่ปรากฏและแสดงในเนื้อหาบทความต่าง ๆ ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถือเป็นความเห็นและความรับผิดชอบโดยตรงของผู้พิมพ์นั้น ๆ มิใช่เป็นความเห็นและความรับผิดชอบใด ๆ ของกองบรรณาธิการฯ และกรมวิทยาศาสตร์บริการแต่อย่างใด
7. ผู้พิมพ์ต้องรับทราบและยอมรับถึงข้อกำหนด และนโยบายในการรับพิจารณาตีพิมพ์บทความจากวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ เป็นอย่างดีแล้ว

8. ผู้นิพนธ์ต้องรับทราบว่าบทความ ข้อมูล เนื้อหา รูปภาพ ฯลฯ ที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถือเป็นลิขสิทธิ์เฉพาะของกรมวิทยาศาสตร์บริการ มิใช่เป็นลิขสิทธิ์ของผู้นิพนธ์บทความแต่อย่างใด และไม่ให้นำผลงานไปเผยแพร่หรือตีพิมพ์กับแหล่งอื่นอีกหลังจากได้รับการตีพิมพ์กับวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ แล้ว
9. ผู้นิพนธ์ต้องระบุข้อมูลของแหล่งทุนวิจัย (ถ้ามี)

บทบาทและหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ (Duties of reviewers)

1. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความพิจารณาความถูกต้อง คุณภาพและความน่าสนใจของเนื้อหาบทความ ภายใต้หลักการและเหตุผลทางวิชาการ ด้วยใจเป็นกลาง และปราศจากอคติ หรือความคิดเห็นส่วนตัว ตลอดจนประโยชน์ที่ผู้อ่านบทความจะได้รับ และพร้อมจะให้คำติชม ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข ปรับปรุงบทความที่สร้างสรรค์และชัดเจนในเชิงประจักษ์ รวมทั้งไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์
2. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องตระหนักว่าตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาของผลงานทางวิชาการที่ประเมินอย่างแท้จริง หากไม่มีความเชี่ยวชาญเนื้อหาในระดับที่มากพอจะวิจารณ์บทความเรื่องนั้น ๆ ได้อย่างมีคุณภาพ ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความควรแจ้งปฏิเสธการประเมินบทความให้กองบรรณาธิการได้ทราบ
3. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องรักษาระยะเวลาประเมินตามกรอบเวลาที่กำหนด หากไม่สามารถส่งข้อเสนอแนะบทความได้ทันตามเวลาที่กองบรรณาธิการได้กำหนดไว้ ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความควรแจ้งให้กองบรรณาธิการได้ทราบ พร้อมทั้งควรแจ้งกำหนดเวลาใหม่ในการส่งคืนข้อเสนอแนะบทความ
4. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องไม่แสวงหาประโยชน์จากบทความที่ตนเองได้ประเมิน และไม่เปิดเผยข้อมูลบทความให้ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องได้รับรู้
5. หากผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความตรวจสอบ พบว่า บทความที่ประเมินมีการคัดลอกผลงานชิ้นอื่น ๆ ต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบทันที
6. ภายหลังจากการประเมินบทความและให้ข้อเสนอแนะในรอบที่ 1 เรียบร้อยแล้ว เมื่อผู้นิพนธ์ได้แก้ไขปรับปรุงบทความ (พร้อมเหตุผลและคำชี้แจง) กลับมาเพื่อพิจารณาอีกครั้งหนึ่ง กองบรรณาธิการจะขอความอนุเคราะห์ในการประเมินบทความรอบที่ 2 ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความจะเป็นผู้พิจารณาการแก้ไขปรับปรุงบทความดังกล่าว เมื่อพิจารณาแล้วเสร็จ ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความควรแจ้งผลการพิจารณาสุดท้ายให้กองบรรณาธิการได้รับทราบต่อไป เช่น แจ้งเห็นควรตอบรับการตีพิมพ์ หรือแจ้งปฏิเสธการตีพิมพ์ หรือแจ้งข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการแก้ไขปรับปรุงในรอบที่ 2

การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล

1. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ จะเคร่งครัดกรณีบทความมีการคัดลอกการนำเสนอรูปภาพ หรือการนำผลงานผู้อื่นมาเป็นส่วนหนึ่งของบทความเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร
2. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ จะไม่เปิดเผยรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความให้แก่ผู้นิพนธ์หรือบุคคลอื่น

สารบัญ

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566

1

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณไมทราไจนินใน
สารสกัดใบกระท่อม โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

10

2

จลพลศาสตร์การเกิดสีน้ำตาลของไข่ขาวระหว่างกระบวนการแปรรูป
ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูง

23

กันต์ฤทัย ต่ายจันทร์, สุวลักษณ์ อัสวสันติ, ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี

3

การพัฒนาวัสดุป้องกันรังสีโดยใช้ยางธรรมชาติผสมโบรอนออกไซด์และ
โลหะออกไซด์

35

นิชาภา บัวสุวรรณ, อรวรรณ ปิ่นประยูร, ศิริพร ช้างน้อย, ธิดิ เรืองสีสำราญ

4

การศึกษาเชิงปริมาณของสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าที่มีส่วนผสม
ของเส้นใยธรรมชาติในประเทศไทย

55

ชนกานต์ ฐีชีพนกมล, อรวรรณ พรมสอน, ก่อพงศ์ หงษ์ศรี, อรพินท์ สุขยศ

5

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่สู่มจาก
ห้างสรรพสินค้าในกรุงเทพมหานคร และร้านค้าออนไลน์

66

ธัญชา ผาติพงศ์, นริศรา ทศวงศ์, จารุณี เมฆสุวรรณ, ธีระ ปานทิพย์อำพร, นพมาศ สะพู

6

การทดสอบสมรรถนะอุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์
แบบหมวกคลุมศีรษะที่พัฒนาขึ้นภายในประเทศสำหรับใช้ในสถานการณ์
การแพร่ระบาดโคโรนาไวรัส 2019 ในประเทศไทย

82

สุริษา สุริยพร, เอกวิฐ มีชูวาศ, กรธรรม สติรกุล, กนิษฐิ์ ตะปะสา, พงศธร ชมดี

CONTENTS

Bulletin of Applied Sciences
Vol. 12 No. 2 July – December 2023

1

- Method validation for determination of mitragynine in Kratom leaf extract by high performance liquid chromatography 10
Subongkoch Subtaeng, Thidarat Kruatian, Pattamaporn Jitpreeda, Worrawit Wanitsuwan

2

- Browning kinetics of egg white during high-temperature process 23
Kanruethai Taichan, Suvaluk Asavasanti, Chairath Tangduangdee

3

- Development of radiation shielding material based on natural rubber/ boron oxide and metal oxide composites 35
Nichapa Buasuwan, Orawan Pinprayoon, Siriporn Changnoi, Thiti Rungseesumran

4

- Quantitative study of absorbable organic halides (AOX) residual in natural fiber-containing-fabric in Thailand 55
Chanakarn Chucheechuenkamol, Orawan Promson, Korpong Hongsi, Orapin Sukyod

5

- Microbiological quality of dietary supplement products randomly collected from department stores in Bangkok and online shops 66
Tanutchai Patipong, Naritsara Tatsawong, Jarunee Meksuwan, Theera Panthipamporn, Nopamart Sapoo

6

- The performance test of domestically-built powered air purifying respirator with hood (PAPR), during the pandemic of COVID-19 in Thailand 82
Surisa Suriyoporn, Ekarat Meechoowas, Korntham Sathirakul, Kanit Tapasa, Pongsathorn Chomdee

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณไมทราไจนีน ในสารสกัดใบกระท่อม โดยเทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง Method validation for determination of mitragynine in Kratom leaf extract by high performance liquid chromatography

1

سوبงกช ทรัพย์แดง¹, ธิดารัตน์ เครือเทียน¹, ปัทมาพร จิตปรีดา¹, วรวิทย์ วาณิชยสุวรรณ²
Subongkoch Subtaeng¹, Thidarat Kruatian¹, Pattamaporn Jitpreeda¹, Worrawit Wanitsuwan²
รับบทความ: 7 มิถุนายน 2566 แก้ไขบทความ: 31 สิงหาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 4 กันยายน 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณไมทราไจนีนในใบกระท่อม และทดสอบความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์ที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ AOAC (Mudge and Brown, 2017) และ Limsuwanchote และคณะ (2017) ในการหาปริมาณไมทราไจนีนในตัวอย่างสารสกัดใบกระท่อม ซึ่งพบว่าวิธีวิเคราะห์มีความจำเพาะเจาะจงและมีช่วงความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์ที่ดี โดยอยู่ในช่วง 5-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9996 ความถูกต้องของวิธีซึ่งแสดงด้วยร้อยละการคืนกลับ พบว่า อยู่ในช่วงร้อยละ 101.19-103.26 ค่าความเที่ยงแสดงด้วยร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ที่วิเคราะห์ภายในวันและต่างวัน มีค่าน้อยกว่า 3% ค่าขีดจำกัดในการตรวจพบและขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณของไมทราไจนีน เท่ากับ 0.108 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.125 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับของวิธีทดสอบตามมาตรฐาน Standard Method Performance Requirements (SMPR) for Alkaloids of *Mitragyna speciosa* จากนั้นได้ทำการเก็บตัวอย่างใบกระท่อมจากแหล่งต่าง ๆ จำนวน 15 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์ตามวิธีที่ผ่านการทดสอบความใช้ได้แล้ว พบว่า ตัวอย่างใบกระท่อมมีปริมาณไมทราไจนีน อยู่ในช่วง 2.30-25.54 มิลลิกรัมต่อกรัม ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ และเหมาะสมสำหรับการตรวจหาปริมาณสารไมทราไจนีนในตัวอย่างสารสกัดใบกระท่อม

คำสำคัญ: ไมทราไจนีน กระท่อม โครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

¹กองเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการ

²สถาบันวิจัยและนวัตกรรมทางการแพทย์ สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Abstract

In this research, the method modified from the AOAC method (Mudge and Brown, 2017) and Limsuwanchote method (2017) for determination of mitragynine in Kratom leaf extract was optimized and validated. The method presented specificity and good linearity within a concentration range of 5 to 50 µg/mL, with a correlation coefficient (R^2) of 0.9996. The accuracy studies were conducted as percent recovery, resulting in values ranging from 100.19 – 103.26%. The precision evaluated as a relative standard deviation of repeatability (%RSD) for intra-day and inter-day precision, which exhibited good repeatability of less than 3%. The limit of detection (LOD) and the limit of quantitation (LOQ) were 0.108 and 0.125 mg/g, respectively. The linearity, percent recovery, precision, LOD, and LOQ values were deemed acceptable and complied with the requirement of Standard Method Performance Requirements for Alkaloids of *Mitragyna speciosa*. Moreover, using this validated method, fifteen samples of Kratom leaves from the central and southern regions of Thailand were analyzed, revealing mitragynine concentrations ranging from 2.30 to 25.54 mg/g. The research results showed that the modified method is reliable and suitable for determining mitragynine in Kratom leaf extract samples.

Keywords: Mitragynine, Kratom, High performance liquid chromatography

¹Community Technology Division, Department of Science Service

²Medical Science Research and Innovation Institute, Research and Development Office, Prince of Songkla University

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

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันกระท่อมได้ถูกปลดออกจากบัญชียาเสพติดให้โทษ ทำให้พืชกระท่อมได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดการเพาะปลูก ซื้อขายและใช้ประโยชน์จากใบพืชกระท่อมอย่างแพร่หลายในเกือบทุกภูมิภาคของประเทศ โดยกระท่อม (*Kratom*; *Mitragyna speciosa* (Korth.) Havil.) เป็นพืชสมุนไพรที่ถูกใช้ประโยชน์มาอย่างยาวนาน ในตำรับยาแผนโบราณหลายขนาน กระท่อมถูกใช้เป็นตัวยาในการรักษาอาการปวด เช่น ยาแก้ปวดลงเป็นเลือด ยาแก้ปวดหัวลูก ยาประสะกาฬแดง ยาประสะกระท่อม ยาเหลื่อมกระท่อม เป็นต้น [1] สารสำคัญหลักที่พบในใบกระท่อม คือ สารไมทราไจนีน ซึ่งเป็นสารกลุ่มอินโดลอัลคาลอยด์ (Indole alkaloids) พบมากที่สุดถึงร้อยละ 66 นอกจากนี้ยังพบอัลคาลอยด์ชนิดอื่น ๆ อีก เช่น 7-ไฮดรอกซีไมทราไจนีน (7-Hydroxymitragynine) สเปซิโอไจนีน (Speciogynine) เพแนนเทอีน (Paynantheine) และสเปซิโอซีเลียทีน (Speciociliatine) เป็นต้น [2] มีงานวิจัย พบว่า กระท่อมสามารถออกฤทธิ์ระงับปวดได้มากกว่าและมีผลข้างเคียงน้อยกว่ามอร์ฟีน [3] จึงมีความเป็นไปได้ที่พืชกระท่อมจะถูกนำไปต่อยอดใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ และมีโอกาสพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ ที่สร้างมูลค่าเพิ่มมากขึ้น

ปัจจุบันประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่รับซื้อกระท่อมมากที่สุด โดยร้อยละ 95 ของทั้งหมด นำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย ในระหว่างปี 2562-2563 อินโดนีเซียมีการส่งออกพืชกระท่อมและผลิตภัณฑ์จากกระท่อมสู่สหรัฐอเมริกา คิดเป็นปริมาณ 121,756 กิโลกรัม มูลค่า 548,909 เหรียญสหรัฐ [4] ซึ่งในขณะนี้รัฐบาลอินโดนีเซียมีแนวโน้มที่จะพิจารณาห้ามไม่ให้มีการส่งออกพืชกระท่อม [5] หากกฎหมายดังกล่าวประกาศใช้ จะเป็นโอกาสของประเทศไทยที่จะส่งออกพืชกระท่อมไปยังสหรัฐอเมริกาเพิ่มขึ้น โดยประเทศไทยมีข้อได้เปรียบ คือ มีกระท่อมคุณภาพดีที่ให้สารสำคัญสูงกว่าในหลายประเทศ ได้มีงานวิจัยของ Takayama และคณะ [6] เปรียบเทียบปริมาณไมทราไจนีนในใบกระท่อมของไทยและประเทศมาเลเซีย พบว่า ใบกระท่อมของไทยมีปริมาณสารไมทราไจนีนสูงกว่าใบกระท่อมของมาเลเซียถึง 5 เท่า และ พบว่า รูปแบบการสร้างและสะสมสารอัลคาลอยด์ของทั้งสองแหล่งแตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากปัจจัยของสภาพแวดล้อม ทำให้พืชเจริญเติบโต สร้างและสะสมสารได้แตกต่างกัน ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณสารสำคัญในพืชกระท่อมจึงขึ้นอยู่กับพื้นที่เพาะปลูก สายพันธุ์ อายุ และฤดูกาลเก็บเกี่ยว ดังนั้น การศึกษาปริมาณสารสำคัญของวัตถุดิบใบกระท่อมจากแหล่งพื้นที่ต่าง ๆ จึงเป็นข้อมูลสำคัญในการกำหนดคุณลักษณะวัตถุดิบใบกระท่อมนำไปสู่การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบและสารสกัดใบกระท่อม เป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดราคาของกระท่อมในตลาด

เทคนิค High-performance liquid chromatography (HPLC) เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการวิเคราะห์ปริมาณไมทราไจนีน เนื่องจากให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำ รวดเร็ว และมีความน่าเชื่อถือ เช่นงานวิจัยของ Mudge และ Brown (2017, 2018) [7, 8] ได้สกัดไมทราไจนีนในใบกระท่อมด้วย 70% เมทานอลในเกลเซียลแอซิดิก แล้ววิเคราะห์โดยใช้สภาวะกราเดียนท์ และวิธีของ Limsuwanchote และคณะ (2017) [9] และ Wungsintaweekul และคณะ (2012) [10] ได้สกัดไมทราไจนีนในพืชกระท่อมด้วยเมทานอล แล้ววิเคราะห์โดยใช้สภาวะไอโซครีติก โดยผู้วิจัยได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย รวมถึงทำการทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ เพื่อให้ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง แม่นยำ

มีความน่าเชื่อถือ เป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในด้านการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบพืชกระท่อม ให้มีมาตรฐานสามารถนำไปผลิตหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ ได้อย่างมีคุณภาพ ซึ่งนำไปสู่การสร้างมาตรฐานเพิ่มความเชื่อมั่นแก่ผู้ผลิตและผู้บริโภค ตลอดจนยกระดับคุณภาพวัตถุดิบไปกระท่อมให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลกต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 ตัวอย่าง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างใบกระท่อมในพื้นที่ภาคกลาง 3 จังหวัด ได้แก่ ปทุมธานี นนทบุรี และนครปฐม และในพื้นที่ภาคใต้ 4 จังหวัด ได้แก่ ชุมพร นครศรีธรรมราช กระบี่ และสตูล โดยเลือกเก็บใบที่สามหรือสี่นับจากยอด เป็นใบที่ไม่อ่อนหรือไม่แก่จนเกินไป สังเกตลักษณะใบ จดบันทึกข้อมูลของต้นกระท่อมที่เก็บและบันทึกภาพใบกระท่อมไว้ จากนั้นนำตัวอย่างใบกระท่อมสดมาล้างทำความสะอาดและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้ง นำมาบดให้ละเอียด และร่อนด้วยตะแกรงที่มีความละเอียด 250 ไมครอน เก็บตัวอย่างไว้ในตู้ดูดความชื้น เพื่อใช้ทำการทดลองต่อไป

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High-performance liquid chromatography, photodiode array detector, HPLC-PDA) ยี่ห้อ Waters รุ่น Waters 2998 ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้คอลัมน์ชนิดอ็อกตะเดซิลเลน (Octadecylsilane) หรือ C18 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.6 มม. ความยาว 25 ซม. ขนาดอนุภาค 5 ไมครอน ยี่ห้อ Merck รุ่น LiChrospher® ผลิตจากประเทศเยอรมันนี, เครื่องเขย่าสารโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic sonicator) ยี่ห้อ GT sonic ผลิตในประเทศจีน, เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น SECURA6102-1S ผลิตจากประเทศเยอรมันนี, เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (Centrifuge) ยี่ห้อ Kubota รุ่น Kubota 1930 ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น และเครื่องทำน้ำบริสุทธิ์ (Deionized Water) ยี่ห้อ Ultra-Pure Water, ELGA, รุ่น ULTRA IONIC ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3 สารเคมี

สารมาตรฐานไมทราไจนีน (Mitagynine) ความบริสุทธิ์ 95.4 เปอร์เซ็นต์ ยี่ห้อ Chromadex สารมาตรฐาน 7-ไฮดรอกซีไมทราไจนีน (7-Hydroxymitagynine) ความบริสุทธิ์ 90.6 เปอร์เซ็นต์ ยี่ห้อ Chromadex ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 (Ethanol 95%) AR grade ยี่ห้อ Merck, เมทานอล (Methanol) HPLC grade ยี่ห้อ Merck กรดแอซีติก (Acetic acid) HPLC grade ยี่ห้อ Merck, แอมโมเนียมแอซีเตต (Ammonium acetate) HPLC grade ยี่ห้อ Merck และแอซีโทไนไทรล์ (Acetonitrile) HPLC grade ยี่ห้อ Merck ผลิตจากประเทศเยอรมันนี

2.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

2.4.1 เตรียมสารละลายมาตรฐาน 7-ไฮดรอกซีไมทราไจนีนเข้มข้น โดยชั่งสารมาตรฐาน 7-ไฮดรอกซีไมทราไจนีนน้ำหนัก 200 ไมโครกรัม (0.2 มิลลิกรัม) ละลายด้วยเมทานอล และปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร

ขนาด 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐาน 7-ไฮดรอกซีไมทราไจนีน Stock solution เข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2.4.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานไมทราไจนีนเข้มข้น โดยชั่งสารมาตรฐานไมทราไจนีนน้ำหนัก 2,000 ไมโครกรัม (2 มิลลิกรัม) ละลายด้วยเมทานอล และปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานไมทราไจนีน Stock solution ความเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2.5 วิธีดำเนินงาน

การทดสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ พัฒนาขึ้นตาม Standard method performance requirements (SMPR) for alkaloids of *Mitragyna speciosa* ของ AOAC (2015) [11] และแนวปฏิบัติการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางเคมีโดยห้องปฏิบัติการเดี่ยว ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (2549) [12] โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ไมทราไจนีนด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ไมทราไจนีนด้วยเครื่อง HPLC

สภาวะ	รายละเอียด
คอลัมน์	LiChrospher® C18 เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มม. ความยาว 25 ซม. ขนาดอนุภาค 5 ไมครอน
Elution mode	Isocratic
เฟสเคลื่อนที่	20 mM แอมโมเนียมแอซิเตต pH 6.0 และแอซีโตนไทรล์ อัตราส่วน 35 : 65
อัตราการไหล (มล./นาที)	1.0
ปริมาตรที่ฉีด (ไมโครลิตร)	5.0
เวลาในการฉีด (นาที)	15
เวลาที่สารเคลื่อนที่ (นาที)	11.28
เครื่องตรวจจับ	ชนิดโฟโตไดโอดอาร์เรย์ (Photodiode array detector)
ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	226

2.5.1 การทดสอบความจำเพาะเจาะจง (Specificity)

ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานผสมระหว่าง สารละลายมาตรฐานของ 7-ไฮดรอกซีไมทราไจนีน ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และสารละลายมาตรฐานไมทราไจนีน ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยเครื่อง HPLC เพื่อตรวจสอบการแยกสารไมทราไจนีนออกจากสารอื่นๆ ซึ่งสารทั้งสองต้องมีพีคแยกออกจากกันอย่างชัดเจน

2.5.2 การทดสอบความเป็นเส้นตรง (Linearity)

กำหนดช่วงความเข้มข้นของสารไมทราจันีนในช่วง 5-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานไมทราจันีน 6 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยเปิดสารละลายมาตรฐานไมทราจันีน stock solution ความเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.25, 0.50, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเมทานอล กรองด้วยเยื่อกรองชนิด PTFE ขนาดรูพรุน 0.22 ไมครอน แล้วนำไปวิเคราะห์โดยเทคนิค HPLC ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ สร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ระหว่างพื้นที่พีค (Peak area) และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมทราจันีน โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ของกราฟมาตรฐานต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.995

2.5.3 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (Precision)

ทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ โดยใช้สารมาตรฐานไมทราจันีน 3 ระดับความเข้มข้น ในช่วง ต่ำ กลาง และสูง ได้แก่ 10, 20 และ 40 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และใช้สารสกัดจากตัวอย่างใบกระท่อม 2 ตัวอย่าง โดยทำ Intra-day precision จำนวน 6 ซ้ำ ภายในวันเดียวกัน จากนั้นนำปริมาณไมทราจันีนมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) จากนั้นทำ Intermediate precision ทำการทดลองเหมือน Intra-day precision โดย (1) เปลี่ยนผู้ทดลอง และ (2) เปลี่ยนวันที่ทำการทดลอง โดยใช้ผู้ทดลองเดิม เป็นเวลา 3 วัน แล้วนำปริมาณไมทราจันีนมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

2.5.4 ความถูกต้อง (Accuracy)

การทดสอบความถูกต้องโดยใช้วิธีการเติมสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นลงในตัวอย่างที่มีปริมาณไมทราจันีนต่ำ หรือ Sample blank ที่ 3 ระดับความเข้มข้นคือ ต่ำ กลาง และสูง ได้แก่ 10, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วนำไปสกัดด้วยวิธีเดียวกับการวิเคราะห์จริง ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ นำผลที่ได้มาคำนวณร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) ในแต่ละระดับความเข้มข้น ควรอยู่ในช่วง 95.0 – 105.0 และค่าร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%Relative standard deviation, %RSD) ไม่เกิน 3.0 โดยมีสูตรคำนวณ ดังนี้

$$\%Recovery = (C1-C2)/C3 \times 100$$

เมื่อ C1 คือ ความเข้มข้นของสารไมทราจันีนในตัวอย่างที่วัดได้

C2 คือ ความเข้มข้นของสารไมทราจันีนในตัวอย่างแบลนด์ (Sample blank)

C3 คือ ความเข้มข้นของสารมาตรฐานไมทราจันีนที่เติมลงในตัวอย่าง (Spiked sample)

$$\%RSD = SD / \bar{X}$$

เมื่อ SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

2.5.5 การทดสอบขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection, LOD) ขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ)

โดยทั่วไปขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) จะไม่สามารถแสดงปริมาณได้อย่างถูกต้องแม่นยำ จึงประมาณค่าเป็น 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานบวกกับค่าเฉลี่ยของ Sample blank เนื่องจากใช้ตัวอย่างผงใบกระท่อมที่มีไมทราไจนีนปริมาณต่ำเป็น Sample blank ทำการวิเคราะห์จำนวน 10 ซ้ำ จากนั้นคำนวณหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เพื่อหาค่า LOD และค่าประมาณ LOQ โดยคำนวณจาก

$$LOD = \bar{X} + 3SD$$

$$\text{การประมาณค่า} \quad LOQ = \bar{X} + 10SD$$

จากนั้นยืนยันค่า LOQ โดยเติมสารละลายมาตรฐานไมทราไจนีนที่ระดับความเข้มข้นเดียวกับค่าประมาณ LOQ จำนวน 7 ซ้ำ แล้วพิจารณาความเที่ยง (Precision) ที่แสดงด้วย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ และความแม่นยำ โดยคำนวณจากค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery)

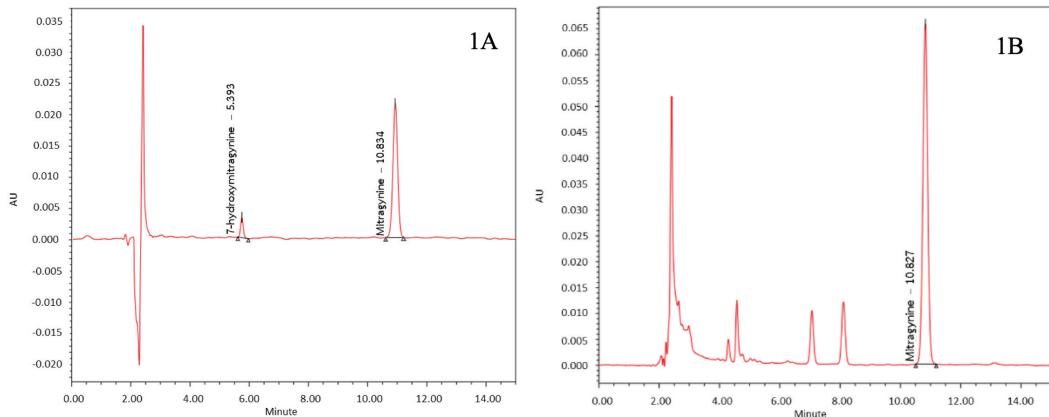
2.5.6 การวิเคราะห์ไมทราไจนีนในตัวอย่างใบกระท่อมจากแหล่งต่าง ๆ

เตรียมตัวอย่างสารสกัดใบกระท่อมจำนวน 15 ตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่างผงใบกระท่อม 0.200x กรัม ลงในหลอดเข็นตริฟิวก์ขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเมทานอล 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำสารสกัดที่ได้มาทำป่นเหวี่ยง ที่ 7,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกเอาเฉพาะสารสกัดส่วนใส นำตะกอนไปสกัดซ้ำ แล้วนำสารสกัดส่วนใสมารวมกัน จากนั้นนำสารละลายกรองผ่านเยื่อกรอง PTFE ขนาดรูพรุน 0.22 ไมครอน นำไปวิเคราะห์หาปริมาณไมทราไจนีนด้วยเครื่อง HPLC แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณไมทราไจนีนในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g)

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 การทดสอบความจำเพาะเจาะจง (Specificity)

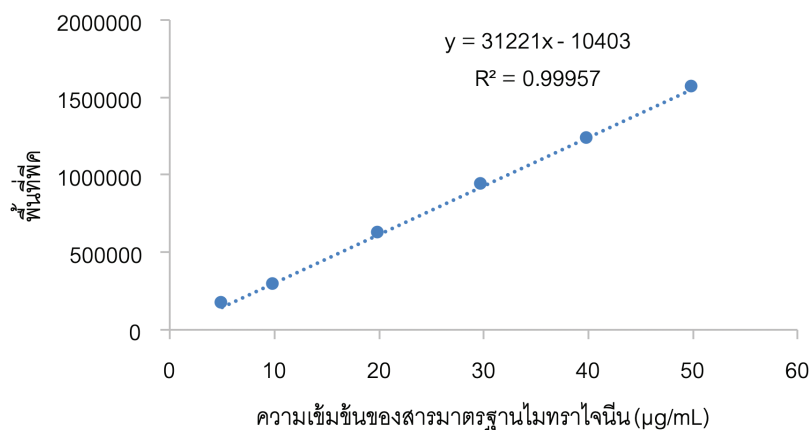
ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานผสมระหว่าง สารละลายมาตรฐานของ 7-ไฮดรอกซีไมทราไจนีน ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และสารละลายมาตรฐานไมทราไจนีน ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยเครื่อง HPLC รูปที่ 1A แสดงโครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า พีคของ 7-ไฮดรอกซีไมทราไจนีนและพีคของไมทราไจนีนแยกจากกันอย่างชัดเจน โดยมี Retention time เท่ากับ 5.39 และ 10.83 นาที ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างสารสกัดใบกระท่อม พบว่า พีคของไมทราไจนีน มี Retention time เท่ากับ 10.83 นาที ดังรูปที่ 1B ดังนั้นวิธีวิเคราะห์นี้มีความจำเพาะเจาะจงสูง ปราศจากเมทริกซ์รบกวน



รูปที่ 1 โครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐานผสมระหว่างสารละลายมาตรฐาน 7-ไฮดรอกซีไมทร่าเจนีนและสารละลายมาตรฐานไมทร่าเจนีน (1A) และโครมาโตแกรมของตัวอย่างสารสกัดใบกระเทียม (1B)

3.2 การทดสอบความเป็นเส้นตรงและช่วงของการวิเคราะห์ (Linearity and range)

การทดสอบนี้ได้กำหนดช่วงการวิเคราะห์สารไมทร่าเจนีนอยู่ในช่วงความเข้มข้น 5–50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อนำสารมาตรฐานไมทร่าเจนีนที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์ด้วย HPLC ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ แล้วนำค่าเฉลี่ยมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและพื้นที่พีค จะได้กราฟมาตรฐานที่มีสมการเส้นตรง $y = 31221x - 10403$ และมีค่า Correlation coefficient (r^2) = 0.9996 ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานไมทร่าเจนีนที่ความเข้มข้น 5-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.3 การทดสอบความเที่ยง (Precision)

ความเที่ยง เป็นความใกล้เคียงของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ ๆ กันหลายครั้งเพื่อดูการกระจายของค่าที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละความเข้มข้น โดยเลือกวิเคราะห์สารมาตรฐานไมทร่าเจนีนความเข้มข้น 10, 20 และ 40 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และตัวอย่างกระเทียม จำนวน 2 ตัวอย่าง โดยวิเคราะห์แบบ Intra-day precision และแบบ Inter-day precision แล้วนำผลการวิเคราะห์มารายงานผลในรูปของ %Relative standard deviation (%RSD) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความเที่ยง Intra-day และ Inter-day precision ของสารมาตรฐานไมทราไจนีน และในตัวอย่างสารสกัดใบกระท่อม (n = 6)

สารมาตรฐาน/ ตัวอย่าง	Intra-day		Inter-day			
	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3	
	Mean $\pm$ SD	%RSD	Mean $\pm$ SD	%RSD	Mean $\pm$ SD	%RSD
10 μ g/mL	9.90 $\pm$ 0.16	1.64	9.91 $\pm$ 0.16	1.99	9.98 $\pm$ 0.23	2.29
20 μ g/mL	19.95 $\pm$ 0.12	0.59	20.96 $\pm$ 0.46	2.19	21.04 $\pm$ 0.30	1.42
40 μ g/mL	39.83 $\pm$ 0.29	0.72	40.74 $\pm$ 0.74	1.81	41.48 $\pm$ 0.81	1.94
Sample 1	20.58 $\pm$ 0.39	1.89	20.31 $\pm$ 0.34	1.68	20.84 $\pm$ 0.28	1.33
Sample 2	20.49 $\pm$ 0.30	1.46	20.34 $\pm$ 0.34	1.69	20.77 $\pm$ 0.24	1.17

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า %RSD ของ Intra-day และ Inter-day precision ของสารมาตรฐานทั้ง 3 ความเข้มข้น และของตัวอย่างใบกระท่อมที่วิเคราะห์ได้ เป็นไปตามมาตรฐาน Standard method performance requirements for alkaloids of *Mitragyna speciosa* กำหนดไว้ โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณของไมทราไจนีนมีค่า %RSD $\leq$ 3% แสดงให้เห็นว่าวิธีวิเคราะห์มีความเที่ยงสูง

3.4 การทดสอบความถูกต้อง (Accuracy)

ความถูกต้องของผลทดสอบ (Accuracy) เป็นการแสดงความใกล้เคียงของค่าที่วิเคราะห์ได้ ด้วยวิธีการทดสอบนั้นกับค่าอ้างอิงหรือค่าจริง สำหรับงานวิจัยนี้เนื่องจากไม่สามารถหาสารมาตรฐานอ้างอิงได้ จึงทำการเติมสารมาตรฐานไมทราไจนีน 3 ระดับความเข้มข้น คือความเข้มข้น 10.00, 20.00 และ 40.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ลงในตัวอย่างใบกระท่อมก่อนการสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณไมทราไจนีนแล้วคำนวณหา %Recovery พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 100.19 – 103.26% ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตาม Standard method performance requirements for alkaloids of *Mitragyna speciosa* ที่กำหนดค่าไว้ในช่วง 95-105

ตารางที่ 3 ค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) ของสารไมทราไจนีนในตัวอย่างสารสกัดใบกระท่อม (n = 3)

ความเข้มข้นของ ไมทราไจนีนที่เติม (mg/ml)	ร้อยละการคืนกลับ (%Recovery)	%RSD
10.00	101.99 $\pm$ 1.49	1.46
20.00	100.19 $\pm$ 0.81	0.80
40.00	103.26 $\pm$ 1.60	1.55

3.5 การทดสอบขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection, LOD) และการประมาณค่าขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ)

จากการศึกษาขีดจำกัดในการตรวจพบ (Limit of detection : LOD) และการประมาณค่าขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation : LOQ) ของไมทราไจนีนโดยคำนวณจากสมการในข้อ 2.5.5 เพื่อหาค่า LOD และ LOQ พบว่า เมื่อนำตัวอย่างกระชอมที่ถูกสกัดไมทราไจนีนออกแล้ว มาสกัดแล้ววิเคราะห์ขีดจำกัดในการตรวจพบของไมทราไจนีนเท่ากับ 0.108 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าประมาณขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณเท่ากับ 0.125 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาขีดจำกัดในการตรวจพบ (LOD) และการประมาณค่าขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ของไมทราไจนีน

ลำดับ	ปริมาณไมทราไจนีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ร้อยละของไมทราไจนีน (%w/w)
1	0.102	0.0102
2	0.102	0.0102
3	0.097	0.0097
4	0.103	0.0103
5	0.099	0.0099
6	0.098	0.0098
7	0.104	0.0104
8	0.097	0.0097
9	0.101	0.0101
10	0.099	0.0099
เฉลี่ย	0.100	0.0100
SD	0.00253	0.000253
%RSD	2.49	2.49
LOD = $(\bar{X}+3SD)$	0.108 (107.6 ppm)	0.0110
การประมาณค่า LOQ= $(\bar{X}+10SD)$	0.125 (125.1 ppm)	0.0130

*หมายเหตุ ค่าที่ยอมรับตามมาตรฐาน Standard method performance requirements for alkaloids of *Mitragyna speciosa* (2015) กำหนด LOD 0.015% (150 ppm), LOQ $\leq$ 0.05 % ($\leq$ 500 ppm)

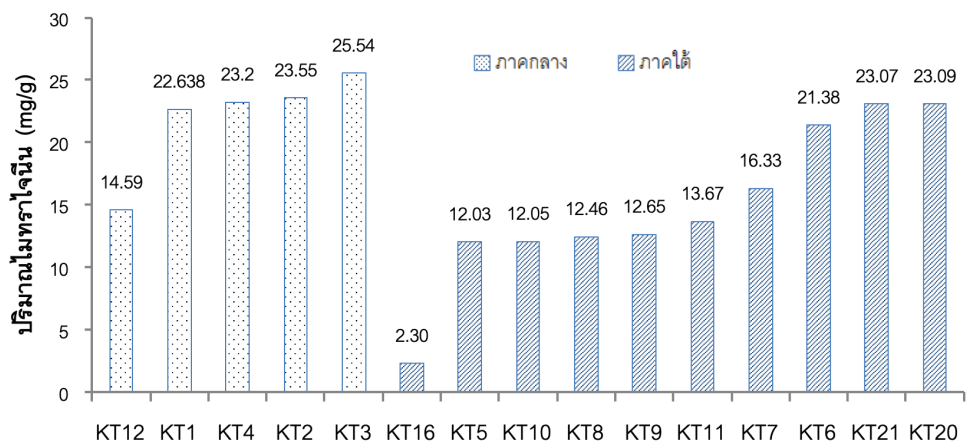
หาขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ โดยทำการเติมสารละลายมาตรฐานไมทราไจนีนที่ระดับความเข้มข้น 0.1251 มิลลิกรัมต่อกรัม (จากการคำนวณค่าประมาณ LOQ) และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC แสดงผลดังตารางที่ 5 พบว่า %Recovery ของไมทราไจนีนอยู่ในช่วง 99.02-102.39% และมีค่า %RSD = 1.44 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การยอมรับในช่วง 95-105% และค่า %RSD $\leq$ 3 แสดงว่าขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ของไมทราไจนีนมีความถูกต้องและมีความเที่ยงที่ยอมรับได้

ตารางที่ 5 การพิสูจน์ขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ของไมทราไจนีนในหน่วย มิลลิกรัมต่อกรัม

ช่วงความเข้มข้นที่พิสูจน์	ปริมาณไมทราไจนีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)		
	No.	%Recovery	ปริมาณไมทราไจนีน ในตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้
ความเข้มข้น (0.1251 มิลลิกรัมต่อกรัม)	1	101.65	0.1260
	2	102.09	0.1266
	3	102.39	0.1270
	4	99.47	0.1233
	5	102.28	0.1268
	6	99.86	0.1238
	7	99.02	0.1228
เฉลี่ย			0.1252
SD			0.0018
%RSD			1.440

3.6 การวิเคราะห์ไมทราไจนีนในตัวอย่างใบกระท่อมจากแหล่งต่าง ๆ

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างใบกระท่อมแหล่งต่าง ๆ ในพื้นที่ภาคกลาง 3 จังหวัด ได้แก่ ปทุมธานี นนทบุรี และนครปฐม และในพื้นที่ภาคใต้ 4 จังหวัด ได้แก่ ชุมพร นครศรีธรรมราช กระบี่ และสตูล รวมจำนวน 15 ตัวอย่าง มาสกัดและวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC พบว่า ตัวอย่างใบกระท่อมมีปริมาณไมทราไจนีน อยู่ในช่วง 2.30 – 25.54 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยภาคกลางอยู่ในช่วง 14.59 – 25.54 มิลลิกรัมต่อกรัม และภาคใต้ อยู่ในช่วง 2.30 – 23.09 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังรูปที่ 3 ซึ่งในแต่ละแหล่งพื้นที่ใบกระท่อมมีปริมาณไมทราไจนีนแตกต่างกันไปตามปัจจัยพื้นที่ปลูก สายพันธุ์ อายุ และฤดูกาลเก็บเกี่ยว [2] โดยผลการวิเคราะห์พบปริมาณสารไมทราไจนีนอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ทำการสำรวจพืชกระท่อมในประเทศไทย [13]



รูปที่ 3 ปริมาณไมทราไจนีนที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างใบกระท่อมแหล่งต่าง ๆ จากภาคกลางและภาคใต้

4. สรุป (Conclusion)

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไมทราไจนีนในตัวอย่างสารสกัดใบกระท่อมด้วยเทคนิค HPLC โดยดัดแปลงพัฒนาวิธีทดสอบมาจากวิธีของ AOAC และ Limsuwanchote และคณะ และทำการตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ได้แก่ ความจำเพาะเจาะจง ช่วงความเป็นเส้นตรง ความถูกต้อง ความเที่ยง ชีตจำกััดในการตรวจพบ ชีตจำกััดในการวัดปริมาณ พบว่า ผลที่วิเคราะห์ได้เป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับของวิธีทดสอบตามมาตรฐาน Standard method performance requirements for alkaloids of *Mitragyna speciosa* และวิธีวิเคราะห์สามารถใช้หาปริมาณไมทราไจนีนในตัวอย่างสารสกัดใบกระท่อมจากแหล่งต่าง ๆ ได้ โดยวิธีที่พัฒนานี้มีความน่าเชื่อถือ และเหมาะสมสำหรับการตรวจหาปริมาณสารไมทราไจนีนในตัวอย่างสารสกัดใบกระท่อม

5. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] จุไรทิพย์ หวังสินทวีกุล. พืชกระท่อมในตำรับยาแผนไทยกับการใช้ประโยชน์ทางการแพทย์. วารสารสำนักงาน ปปส. 2562 มิถุนายน-กันยายน;35(3):19-22.
- [2] Flores-Bocanegra L, Raja HA, Graf TN, Augustinovic M, Wallace ED, Hematian S, et al. The chemistry of Kratom [*Mitragyna speciosa*]: Updated characterization data and methods to elucidate indole and oxindole alkaloids. J Nat Prod. 2020;83:2165-77. doi: 10.1021/acs.jnatprod.0c00257.
- [3] Halpenny GM. *Mitragyna speciosa*: Balancing potential medical benefits and abuse. ACS Med Chem Lett. 2017;8:897-9. doi: 10.1021/acsmedchemlett.7b00298.
- [4] สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำกรุงวอชิงตัน ดี.ซี. โอกาสและความท้าทายสำหรับการส่งออกพืชกระท่อมสู่สหรัฐอเมริกา [อินเทอร์เน็ต]. ตุลาคม 2564 [เข้าถึงเมื่อ 10 กรกฎาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.opsmoac.go.th/dc-news-files-441991791372>
- [5] มัญชุสา ตั้งเจริญ. สถานะทางกฎหมายของพืชกระท่อมในอินโดนีเซียกับอนาคตพืชกระท่อมไทยในตลาดโลก [อินเทอร์เน็ต]. 2565 [เข้าถึงเมื่อ 30 กรกฎาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://www.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/parliament_parcy/download/article/article_20220421202054.pdf
- [6] Takayama H. Chemistry and pharmacology of analgesic indole alkaloids from the rubiaceae plant, *Mitragyna speciosa*. Chem Pharm Bull. 2004;52:916-28. doi: 10.1248/cpb.52.916.
- [7] Mudge EM, Brown PN. Determination of mitragynine in *Mitragyna speciosa* raw materials and finished products by liquid chromatography with UV detection: Single-laboratory validation. J AOAC Int. 2017;100(1):18-24.
- [8] Mudge EM, Brown PN. Determination of Alkaloids in *Mitragyna speciosa* (Kratom) raw materials and dietary supplements by HPLC-UV: Single-laboratory validation, First action 2017.14. J AOAC Int. 2018;100(4):964-5.

- [9] Limsuwanchote S, Putalun W, Keawpradub N, Tanaka H, Morimoto S, Wungsintaweeikul J. Anti-mitragynine monoclonal antibody-based ELISA for determination of alkaloids in the kratom cocktail. *Forensic Toxicol.* 2017;35(1):167-72.
- [10] Wungsintaweeikul J. Methyl jasmonate and yeast extract stimulate mitragynine production in *Mitragyna speciosa* (Roxb.) Korth. shoot culture. *Biotechnol Lett.* 2012;34(10):1945-50. doi: 10.1007/s10529-012-0968-6.
- [11] Itilmas C, Betz J, Brown P, Burdette C, Cain T, Collison M, et al. AOAC SMPR 2015:008 Alkaloids of *Mitragyna speciosa*. *AOAC Int* [Internet]. 2015 [cited 2023 July 3];98(4): 1106–08. Available from: <https://doi.org/10.5740/jaoac.int.SMPR2015.008>
- [12] ทิพวรรณ นิ่งน้อย. แนวปฏิบัติการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางเคมีโดยห้องปฏิบัติการเดียว (A practical guide for single laboratory methods validation of chemical method). นนทบุรี: กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข; 2549.
- [13] Sengnon N, Vonghirundecha P, Chaichan W, Juengwatanatrakul T, Onthong J, Kitprasong P, et al. Seasonal and geographic variation in alkaloid content of Kratom (*Mitragyna speciosa* (Korth.) Havil.) from Thailand. *Plants.* 2023;12(4):949. doi: 10.3390/plants12040949.

จลพลศาสตร์การเกิดสีน้ำตาลของไข่ขาวระหว่างกระบวนการแปรรูป ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูง Browning kinetics of egg white during high-temperature process

2

กันต์ฤทัย ต่ายจันทร์¹, สุवलักษ์ณ์ อัสวสันติ², ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี¹

Kanruethai Taichan¹, Suvaluk Asavasanti², Chairath Tangduangdee¹

รับบทความ: 26 มิถุนายน 2566 แก้ไขบทความ: 25 สิงหาคม 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 18 กันยายน 2566

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์ไข่ขาวเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง เพื่อให้สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จำเป็นต้องแปรรูปที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาล วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาแบบจำลองจลพลศาสตร์การเกิดสีน้ำตาลของไข่ขาวที่อุณหภูมิสูงและผลของการเติมเอนไซม์กลูโคสออกซิเดสเพื่อออกซิไดซ์น้ำตาลในไข่ขาว ตัวอย่างถูกบรรจุในตลับอลูมิเนียม ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส เพื่อให้เซตตัวก่อนให้ความร้อนที่ 100, 110 และ 130 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำมัน นาน 5–30 นาที สุ่มตัวอย่างวัดค่าสีด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณดัชนีความเหลือง (Yellowness index: YI) ผลการทดลอง พบว่าค่าความสว่าง (L^*) มีค่าลดลง ส่วนค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาที่ได้รับความร้อน การเปลี่ยนแปลงของค่า YI อธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งและสอดคล้องกับผลการทดลอง ($R^2=0.92-0.95$, $RMSE=0.11-0.29$) นอกจากนี้ ยัง พบว่า การเติมเอนไซม์ 30 units/mL ทำให้ค่าอัตราส่วน YI ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) จาก 5.9 เป็น 2.6 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไข่ขาวที่มีสีอ่อนลง

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์ไข่ขาว ปฏิกิริยาสีน้ำตาล เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส แบบจำลองจลพลศาสตร์

¹ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²สมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหารแห่งประเทศไทย (FoSTAT)

Abstract

Egg white product is a high protein product. To produce it as a shelf-stable one, a high temperature is needed, but at the expense of the color attribute being brown. The objective of this research aimed to develop the browning kinetic model of the egg white undergoing a high-temperature treatment and to investigate the effect of adding glucose oxidase to desugar in egg white. The samples were filled in sample holders made of aluminum, then heated at 70 °C to solidify the egg white. The samples were heated in an oil bath at 100, 110, and 130 °C for 30 minutes. The sample was randomly taken to measure its surface color using a spectrophotometer; the yellowness index (*YI*) was subsequently calculated. It was found that the *L** value of egg white declined, while *a** and *b** values increased with increasing heating time. The first-order kinetic model was applicable for predicting the change of *YI*-ratio ($R^2 = 0.92\text{--}0.95$, $RMSE = 0.11\text{--}0.29$). In addition, the samples pre-treated with glucose oxidase of 30 units/mL-egg white and 30 °C-incubation for 6.5 hours had a significant reduction of the *YI*-ratio ($p < 0.05$) from 5.9 to 2.6 leading to obtaining lighter product color the quality of CRM. TRM-F-2006 can be used for method validation and quality control purposes.

Keywords: Egg white product, Browning reaction, Glucose oxidase, Kinetic model

¹Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

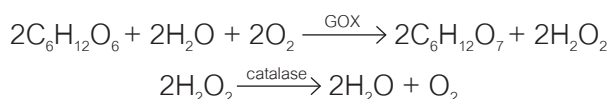
²Food Science and Technology Association of Thailand (FoSTAT)

*Corresponding author's e-mail address: chairath65@gmail.com

1. Introduction

Egg white products are often used as ingredients in other food products, usually found in the form of liquid, frozen, and dried egg whites. Nowadays, a change in people's lifestyle influences more consumption of ready-to-eat (RTE) products. Pasteurized hard-boiled egg white contained in a plastic tube or tray has been developed and is considered a high-protein RTE snack. However, it has a short shelf-life and needs to be kept in a refrigerated condition throughout the cold chain resulting in a high operating cost. Sterilization is recognized as an effective method to produce shelf-stable products. A high temperature of sterilization is typically needed for low-acid foods, including egg white; however, using high temperature induces adverse changes in texture, brown color, and undesired flavors, leading to an unacceptable product for the consumer [1].

Melanoidin in the egg white product is an undesired browning compound induced by the Maillard reaction, in which reducing sugar reacts with amino acids when heated at a high temperature [2]. The combination of time and temperature is a significant factor that controls the rate of Maillard reaction. Some previous research studied the color change of egg white during the thermal process but mostly conducted at a temperature below 100 °C [3–5]. Therefore, the change of egg-white color in a range of sterilizing temperatures is still in doubt. Over the past decade, several studies have attempted to control the Maillard reaction in foods. The general practice is the desugarization of glucose with glucose oxidase (GOX) before heating. The glucose oxidase oxidizes glucose to gluconic acid and hydrogen peroxide, then the hydrogen peroxide is catalyzed by catalase to water and oxygen [6]:



The whiteness and foaming properties of duck egg-white powder were improved by desugarization. Glucose oxidase and catalase of 31.24 and 781 units/mL, respectively, were added and then incubated at 30 °C for 6.55 h prior to spray drying to inhibit the off-flavor and brown color [7]. Among the wide research on the application of glucose oxidase, there are only a few studies applied in desugaring egg white [7,8]. Moreover, no published study has explored the effects of glucose oxidase in desugaring to inhibit browning reaction in the hard-boiled egg white.

To examine the influence of process parameters on a change in food qualities, the isothermal kinetics model is often used, especially in thermal processing. Many studies confirm that using the general rate law of reaction combined with the Arrhenius equation is applicable to reasonably

describe quality degradation associated with thermal processing and storage [9–11]. This research therefore aimed to develop an isothermal kinetic model to examine color change in hard-boiled egg white at high temperatures and to minimize the browning reaction in the sterilized egg white mixed with glucose oxidase.

2. Experimental methods

2.1 Sample preparation

Fresh whole eggs were daily purchased from a Betagro shop (Bangkok, Thailand). The liquid egg white was manually separated from the yolk. The pH of liquid egg white was then adjusted to 9.0 ± 0.05 with 0.1 M HCl. The egg-white liquid (albumen) was divided into 2 parts: (1) the untreated sample and (2) the sample treated with glucose oxidase solution. The glucose oxidase solution was prepared by adding 2 mL of 50-mM sodium acetate buffer (pH 5.1) into glucose oxidase (Sigma-Aldrich Corp., USA) and was kept in a refrigerator at 4 °C. The enzyme solution of 48 μ L was added to 8-mL egg white to obtain a treated sample with 240 units of glucose oxidase. This method was adapted from [7]. The mixture was subsequently stirred at 30 rpm in an incubator shaker (New Brunswick Innova 42/42R Shaker, Germany) at 30 °C for 6.5 hours. The lag time before reaching the steady-state temperature was minimized by using the sample holders (50 mm in diameter and 20 mm high) made of aluminum, which has high thermal conductivity (206 W/m•K) and equipped with an inserted 0.5-mm diameter thermocouple wire (T-type) to measure the surface temperature of the sample as shown in Figure 1. The treated and untreated samples of 8 mL each were filled into sample holders and sealed with lids and gaskets. The samples were heated at 70 °C for 30 minutes in a water bath to solidify the egg white prior to cooling in ice water to minimize the thermal effect. The temperature used is higher than the coagulation temperature of egg whites in the range of 60–65 °C. The sample holders were left at the ambient temperature to reach equilibrium before further thermal treatment.

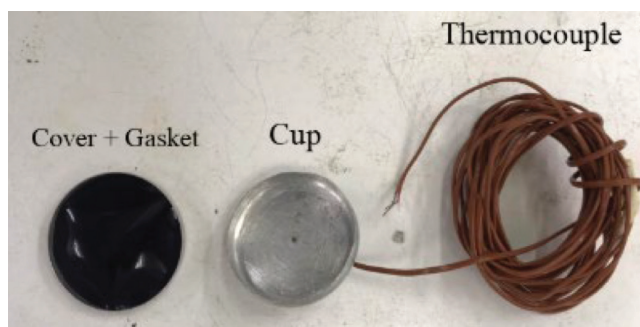


Figure 1 Sample holder equipped with a thermocouple wire.

2.2 Thermal treatment

The untreated and treated samples in 5 holders each were heated at various temperatures (100, 110, and 130 °C) using a thermostatic oil bath (14 liters) containing ethylene glycol (Mommert-ONE, Bangkok, Thailand). A 2 kg dead weight was placed on the sample holder lid to ensure that the holders were hermetically sealed. Temperatures of the samples and the heating medium were recorded using a data logger (YOKOGAWA FX112-4-2, China). At an interval heating time of 5, 10, 15, 20, and 30 minutes, one sample was randomly taken and immediately cooled in ice water to cease the reaction. The experiments at each temperature were conducted in triplicate.

2.3 Color measurement

After thermal treatment, the color at the surface of the sample was measured by a spectrophotometer (Color Quest XE, Hunter Associates Laboratory, Inc., USA), equipped with a standard illumination source D65, the observation at 2° of the viewing field, and 1 inch of port size. The color determination for each treatment was carried out at five different positions, and then the average value was presented in terms of L^* , a^* , b^* , and yellowness index (YI), which is calculated according to Eq. (1) [12].

$$YI = 100 \times \frac{1.2985X - 1.1335Z}{Y} \quad (1)$$

where X , Y , and Z are the CIE tristimulus values.

2.4 Isothermal kinetic modeling

The kinetic model of color change is described by the yellowness index ratio, which is defined as the fraction of the yellowness index at a given time, $YI(t)$, to the initial yellowness index (YI_0)

$$YI_R = \frac{YI(t)}{YI_0} \quad (2)$$

For an isothermal reaction, the rate of YI_R change was assumed to follow the zero-and first-order kinetics, as shown in Eq. (3) and (4):

$$\text{Zero-order reaction (n=0): } YI_R = YI_{R0} - k_T t \quad (3)$$

$$\text{First-order reaction (n=1): } YI_R = YI_{R0} e^{-k_T t} \quad (4)$$

where YI_R is the yellowness index ratio at a given time, YI_{R0} is the initial index ratio, k_T is the rate constant, which is temperature dependent, t is time, and n is the reaction order. The temperature-dependent rate constant is assumed to follow Arrhenius's equation.

$$k_T = k_0 e^{-E_a/RT} \quad (5)$$

where k_0 is a pre-exponential factor, E_a is an activation energy, R is the universal gas constant, and T is the absolute temperature of the product surface, which is time-dependent. The constant parameters (k_0 and E_a) were determined by linear regression analysis.

However, the rate constant must be determined at a constant temperature for an isothermal reaction. The heating system was designed to approach the assumed isothermal condition by using a large volume of heating medium to obtain a constant temperature, high thermal conductivity of the sample holder, and the surface temperature of the sample arriving at the third time constant ($t=3\tau$), which elapses 95% of a full temperature response. In other words, the isothermal temperature for further study in the kinetic model is assumed when the temperature reaches 95% of the steady-state temperature that can be calculated according to Eq. (6) [13].

$$T = T_2 + (T_1 - T_2)e^{-t/\tau} \quad (6)$$

where T is the surface temperature of the product at a given time (t), T_2 is the temperature of the heating medium, T_1 is the initial temperature, and τ is a time constant.

The goodness of the fit between the predicted values and the observed values was calculated in terms of the coefficient of determination (R^2) and the root mean square error ($RMSE$) using Microsoft Excel[®] software.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (8)$$

where y_i is the i^{th} observed value, $\hat{y}_i$ is the corresponding predicted value, $\bar{y}$ is the average of observed values, and N is the number of observations.

3. Results and discussion

3.1 Surface Temperature

Figure 2 shows the surface temperature of hardened egg white with/without glucose oxidase. During heating in the oil bath at 100, 110, and 130 °C, the surface temperature of both sample treatments rapidly rose from the initial temperature of 25 °C to 90, 100, and 120 °C,

respectively, and then stabled at those temperatures below the oil temperatures (5–10 °C) throughout the experiments. In this study, a heat-up period or a delayed time was inevitable because a large sample size was used so that the surface color of the sample was measurable. To compensate for the heat-up period of each experiment (i.e., 3–10 min), the constant temperatures used in the kinetic model were obtained from Eq. (6), which were 92, 98, and 115 °C for the oil bath temperatures of 100, 110, and 130 °C, respectively.

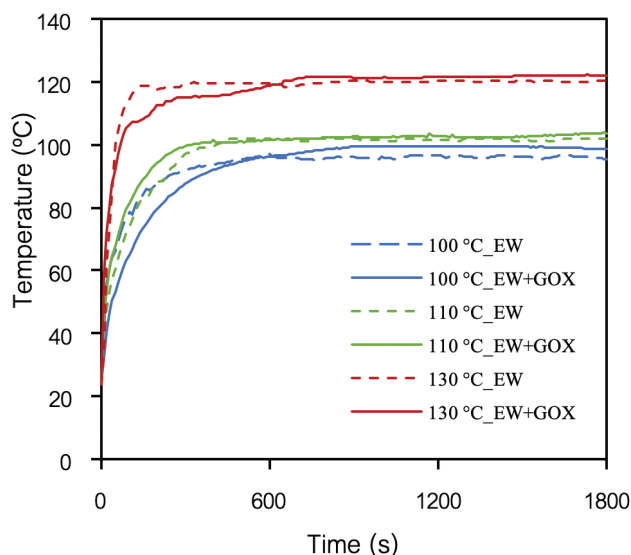


Figure 2 Surface temperatures of egg white with and without glucose oxidase undergoing heating at 100, 110, and 130 °C oil temperatures.

3.2 Color Kinetics

Figures 3(a)(b)(c) show the instrumental values in terms of lightness (L^*), redness (a^*), and yellowness (b^*) of untreated egg whites. It was found that the L^* of the samples steadily decreased with time from 91 initial value to 89, 87, and 75, when heated at 100, 110, and 130 °C, respectively. It can be clearly observed that the L^* value at 130 °C changed at a higher rate than in other cases. In addition, the L^* value remained constant during the first 5–10 min of the heating time, which was defined as the lag time or the heat-up period. The extent of the lag time was inversely proportional to the heating temperature. Without a change in L^* value, the browning reaction might not have started yet; this evidence was also observed in the cases of a^* and b^* values. The a^* value was initially negative (−2.78) and dramatically changed to be positive (+3.63) after heating at 130 °C for 15 min when the surface temperature reached 121 °C indicating that the color changed from green to red due to the temperature effect. The initially positive b^* (+7) indicates that the natural color of hardened egg white is pale yellow and increased to 10, 17, and 33 after heated at 100, 110, and 130 °C, respectively. The influence of a time-temperature could be clearly observed. Particularly at a high temperature the substrates

of the Millard reaction, reducing sugar and amino acids, collide with each other more frequently leading to a faster reaction to generate the brown color of 4-hydroxy-5-methyl-3(2H)-furanone [4]. In other words, the browning reaction intensity could be indicated by a reduced L^* value and increased a^* and b^* values, accelerated by a high temperature.

An alternative way to present the color development is the use of yellowness index ratio. Figure 3(d) represents the yellowness index ratio of the hardened egg white surface treated with glucose oxidase compared with egg white without any enzymatic treatment. In all treatment conditions, the YI -ratio of desugared egg white showed less than that of the untreated egg white. The YI -ratio of the sample heated at 100, 110, and 130 °C increased from the initial value of 1 to 1.5, 2.6, and 5.9, respectively, while the YI -ratio of egg white treated with glucose oxidase increased from 1 to the final values of 1.05, 1.13 and 2.56 when heated at 100, 110, and 130 °C, respectively. Obviously, the YI -ratio of the treated sample significantly reduced ($p < 0.05$), especially at temperatures higher than 100 °C.

Figure 4 displays the color development on the surface of egg white treated/untreated with glucose oxidase during heating at 100, 110, and 130 °C. It appears that at 100 °C the color of treated samples slightly changed throughout the 30-minute heating, while pale yellow color started to be observed after heating at 110 °C for 30 minutes. At 130 °C, it was noticeable that the pale-yellow color was observed within the first 10 minutes, and its intensity obviously increased with increasing heating time. For the hardened egg white surface treated with glucose oxidase, the brown color was not found for the samples of 100 and 110 °C, but not the case of 130 °C where the brown color could be observed at the first 10 minutes at which the surface temperature reached 119 °C. The final brown color of the treated sample (EW with GOX) seems less than that of the sample without glucose oxidase (EW), but at a high temperature for a long time (130 °C for 30 min), the brown color was still occurred likely because of the extant presence of glucose in egg white. The observed results were consistent with the instrumental measurement.

Table 1 shows the estimated parameters of both zero-and first-kinetic models. Based on high R^2 and low $RMSE$, the first-order kinetic model ($R^2 = 0.92\text{--}0.95$ and $RMSE = 0.11\text{--}0.29$) gives a better fit compared with the zero-order kinetic model ($R^2 = 0.83\text{--}0.94$ and $RMSE = 0.16\text{--}0.3$). The observed rate constants (k_T) of the YI -ratio increased with the treatment temperatures. For untreated samples, the k_T varied in the range of $2.98\text{--}10.2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ based on the first-order reaction, whereas $8.29\text{--}24.7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ for treated samples. Thus, the reaction rate was slowed down to around 10 folds. The E_a values were 62.93 and 152.42 kJ/mol for untreated and treated samples, respectively, which agree with the E_a of a non-enzymatic browning reaction (23–238 kJ/mol) [14].

The higher activation energy (E_a) indicates that the reaction is more difficult to occur. Moreover, the predicted yellowness index ratio obtained from the first-order reaction had good agreement with the observed data ($R^2>0.9$) as shown in Figure 5. The observed rate constants (k_T) were reduced by 10 folds approximately when the samples were treated with glucose oxidase, whereas the activation energies were increased.

4. Conclusion

The change of yellowness index (YI) of egg white undergoing a high-temperature treatment followed the first-order reaction. An increase in the activation energy (E_a) of desugared egg white indicated the high energy needed to initiate the reaction and the reaction rate was relatively slow down indicated by a low-rate constant. In conclusion, it could be confirmed that glucose oxidase could reduce the brown color development in egg white undergoing heating at high temperatures. This research demonstrated the potential of using glucose oxidase to reduce brown color development in shelf-stable egg-white products, which are processed at a high temperature.

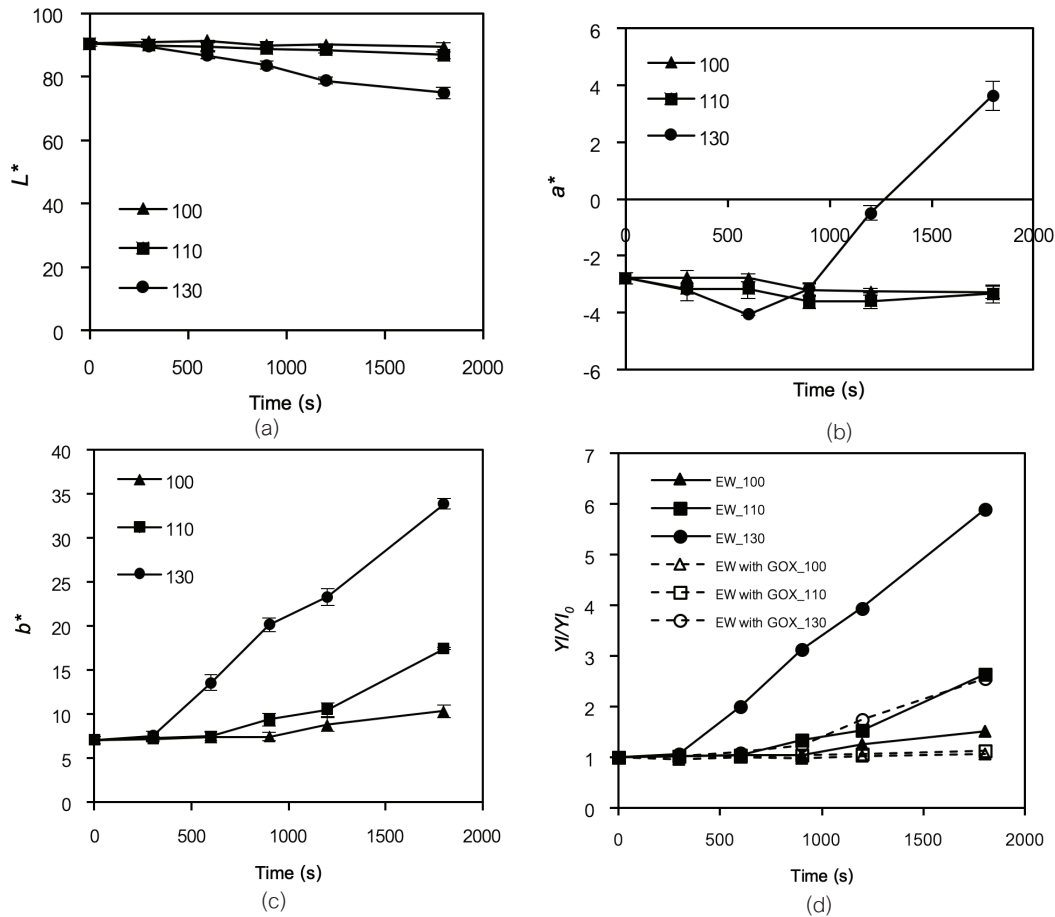


Figure 3 Changes in (a) lightness (L^*), (b) redness (a^*), (c) yellowness (b^*), and (d) yellowness index ratio of egg white during heating at different temperatures.

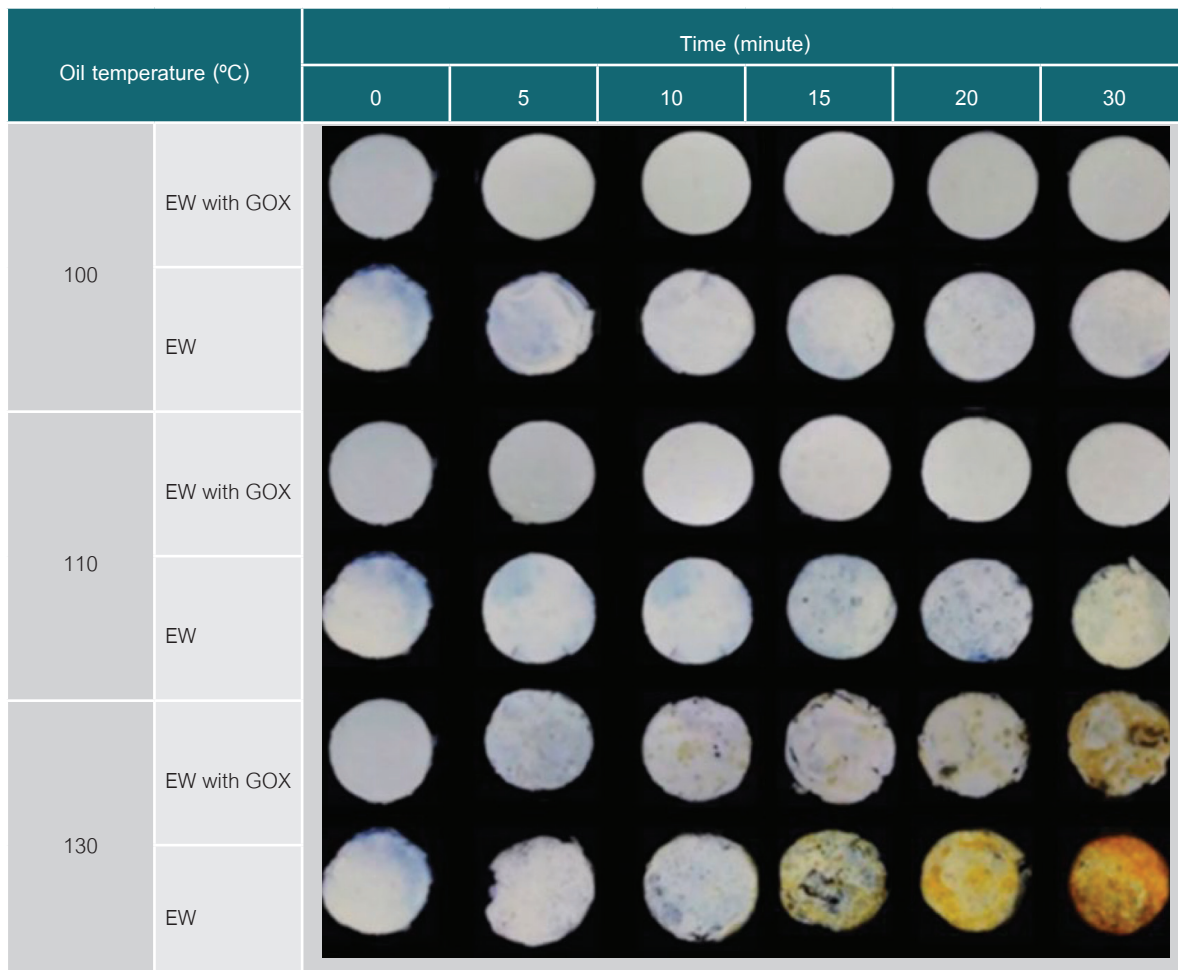


Figure 4 Browning development on the surfaces of egg white (EW) and egg white with glucose oxidase (EW with GOX) during heating at 100, 110, and 130 °C for 5, 10, 15, 20, and 30 minutes.

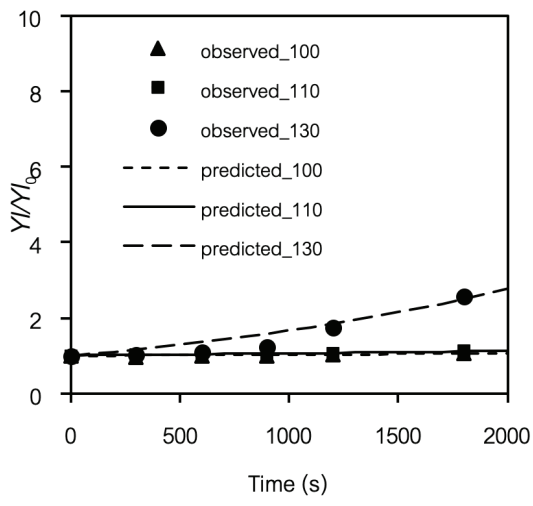
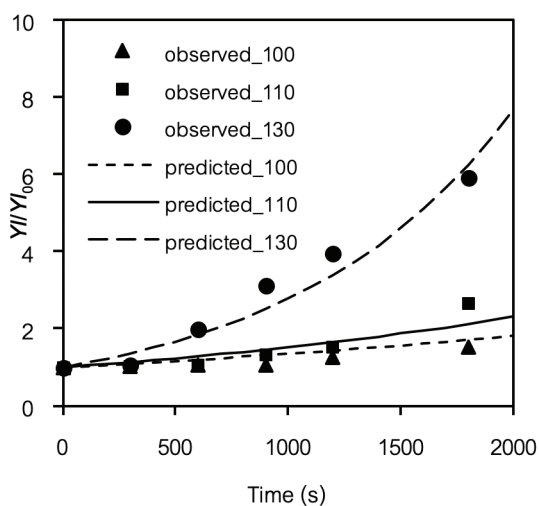


Figure 5 Comparison of the observed and predicted yellowness index ratio (Y/Y_0) obtained from the first-order kinetic model of (a) untreated egg white and (b) and treated egg white with glucose oxidase.

Table 1 Estimated zero-and first-order isothermal kinetic parameter for egg white (EW) and egg white with glucose oxidase (EW with GOX)

Parameter.		Zero order	First order
EW	$k_{92} \text{ (s}^{-1}\text{)}$	3.27×10^{-4}	2.98×10^{-4}
	$k_{98} \text{ (s}^{-1}\text{)}$	5.71×10^{-4}	4.17×10^{-4}
	$k_{115} \text{ (s}^{-1}\text{)}$	2.51×10^{-3}	1.02×10^{-3}
	$k_0 \text{ (s}^{-1}\text{)}$	2.84×10^{11}	3.00×10^5
	$E_a \text{ (kJ/mol)}$	104.43	62.93
	R^2	0.9382	0.9449
	$RMSE$	0.2952	0.2878
EW with GOX	$k_{92} \text{ (s}^{-1}\text{)}$	1.83×10^{-5}	8.29×10^{-5}
	$k_{98} \text{ (s}^{-1}\text{)}$	5.09×10^{-5}	2.72×10^{-5}
	$k_{115} \text{ (s}^{-1}\text{)}$	7.80×10^{-4}	2.47×10^{-4}
	$k_0 \text{ (s}^{-1}\text{)}$	5.84×10^{22}	1.76×10^{17}
	$E_a \text{ (kJ/mol)}$	165.75	152.42
	R^2	0.8298	0.9145
	$RMSE$	0.1621	0.1133

5. Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the National Science and Technology Development Agency (NSTDA) for their financial support through the FEPS scholarship.

6. References

- [1] Lechpattanaporn K, Wang Y, Wang J, Tang J, Hallberg LM, Dunne CP. Sterilization of scrambled eggs in military polymeric trays by radio frequency energy. J Food Sci. 2005;70(4):E288–E294.
- [2] Pastoriza S, Quesada J, Rufián-Henares JA. Lactose and oligosaccharides: Maillard reaction. Reference Module in Food Science [Internet]. 2018 [cited 2023 Jan 5];1-8. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22552-3>
- [3] Zhang W, Tang J, Liu F, Bohnet S, Tang Z. Chemical marker M2 (4-hydroxy-5-methyl-3 (2H)-furanone) formation in egg white gel model for heating pattern determination of microwave-assisted pasteurization processing. J Food Eng. 2014;125:69-76.

- [4] Bornhorst ER, Tang J, Sablani SS, Barbosa-Cánova GV. Development of model food systems for thermal pasteurization applications based on Maillard reaction products. *LWT-Food Sci Technol.* 2017;75:417-24.
- [5] Llave Y, Takemori K, Fukuoka M, Takemori T, Tomita H, Sakai N. Analysis of browning of broiled foods by noncontact techniques: A case study for Japanese eggplant (*Solanum melongena*). *J Food Process Eng.* 2017;40(1):e12347.
- [6] Scott D. Food stabilization, glucose conversion in preparation of albumen solids by glucose oxidase-catalase system. *J Agric Food Chem.* 1953;1(11):727-30.
- [7] Quan TH, Benjakul S. Impacts of desugarization and drying methods on physicochemical and functional properties of duck albumen powder. *Dry Technol.* 2019;37(7):864-75.
- [8] Sisak C, Csanádi Z, Rónay E, Szajáni B. Elimination of glucose in egg white using immobilized glucose oxidase. *Enzyme Microb Technol.* 2006;39(5):1002-7.
- [9] Bali OD, Mittal GS. Kinetics of tofu color changes during deep-fat frying. *LWT-Food Sci Technol.* 2003;36(1):43-8.
- [10] Matsuda H, Llave Y, Fukuoka M, Sakai N. Color changes in fish during grilling–Influences of heat transfer and heating medium on browning color. *J Food Eng.* 2013;116(1):130-7.
- [11] Llave Y, Fukuda S, Fukuoka M, Shibata-Ishiwatari N, Sakai N. Analysis of color changes in chicken egg yolks and whites based on degree of thermal protein denaturation during ohmic heating and water bath treatment. *J Food Eng.* 2018;222:151-61.
- [12] ASTM International. Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates. Paint-tests for chemical, physical, and optical properties. ASTM E313-05. West Conshohocken, PA : ASTM International; 2005.
- [13] Dunn WC. Temperature and Heat. In: Introduction to instrumentation, sensors, and process control. Norwood, Massachusetts: Artech House Inc; 2006.p.149–155.
- [14] Boekel MAJS van. Kinetic aspects of the Maillard reaction: a critical review. *Food/ Nahrung.* 2001;45(3):150–9.

การพัฒนาวัสดุป้องกันรังสีโดยใช้ยางธรรมชาติผสมโบรอนออกไซด์และโลหะออกไซด์

Development of radiation shielding material based on natural rubber/ boron oxide and metal oxide composites

3

นิชาภา บัวสุวรรณ¹, อรวรรณ ปิ่นประยูร¹, ศิริพร ช้างน้อย¹, ธิติ เรืองสีสำราญ²

Nichapa Buasuwan¹, Orawan Pinprayoon¹, Siriporn Changnoi¹, Thiti Rungseesumran²

รับบทความ: 28 เมษายน 2566 แก้ไขบทความ: 4 กันยายน 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 25 กันยายน 2566

บทคัดย่อ

แผ่นยางป้องกันรังสีสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีนิวตรอน รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา ถูกพัฒนาขึ้นจากยางธรรมชาติผสมโบรอนออกไซด์สำหรับป้องกันรังสีนิวตรอน ตะกั่วออกไซด์และทังสเตนออกไซด์สำหรับป้องกันรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ผลการศึกษาสมบัติการป้องกันรังสีนิวตรอนจากต้นกำเนิดนิวตรอน²⁴¹Am-Be (Americium-Beryllium) พบว่า แผ่นยางป้องกันรังสีสูตรที่เติมสารโบรอนออกไซด์ 40 phr ให้ค่าการลดทอนรังสีนิวตรอนร้อยละ 18 ซึ่งดีกว่าวัสดุกำบังรังสีที่มีในท้องตลาดซึ่งทำมาจากพอลิเอทิลีน ที่ให้ค่าการลดทอนรังสีนิวตรอนร้อยละ 11 ที่ความหนาเท่ากัน คือ 2 mm แต่แผ่นยางที่เติมโบรอนออกไซด์เมื่อขึ้นรูปแล้วตัวแผ่นยางเกิดเกล็ดสีขาวเล็ก ๆ ทั่วทั้งแผ่น และสมบัติทางกายภาพความต้านแรงดึงต่ำมาก แผ่นยางสูตรนี้จึงยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นชุดป้องกันรังสีงานวิจัยยังได้ศึกษาสมบัติการลดทอนรังสีเอกซ์โดยใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีแกมมา¹³⁷Cs พบว่า ความสามารถในการลดทอนรังสีของแผ่นยางป้องกันรังสีเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณตะกั่วออกไซด์และทังสเตนออกไซด์ในแผ่นยางสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบค่าการลดทอนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา กับชุดป้องกันรังสีที่มีขายตามท้องตลาดที่ทำจากยางสังเคราะห์ พบว่า สูตรที่เติมตะกั่วออกไซด์ 500 phr มีค่าการลดทอนรังสีเอกซ์ ร้อยละ 87 ค่าการลดทอนรังสีแกมมา ร้อยละ 8.8 และสูตรที่เติมทังสเตนออกไซด์ 900 phr มีค่าการลดทอนรังสีเอกซ์ ร้อยละ 85 ค่าการลดทอนรังสีแกมมา ร้อยละ 8.3 ซึ่งดีกว่าชุดป้องกันรังสีที่มีขายตามท้องตลาด ที่มีค่าการลดทอนรังสีเอกซ์ ร้อยละ 84 ค่าการลดทอนรังสีแกมมา ร้อยละ 6.2 ที่ความหนาเท่ากัน คือ 2 mm จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของแผ่นยางป้องกันรังสี ได้แก่ ความแข็ง ความต้านแรงดึง ความยืดเมื่อขาด และความต้านแรงฉีกขาด พบว่า แผ่นยางป้องกันรังสีสูตรที่เติมตะกั่วออกไซด์ 500 phr ที่มีปริมาณสารป้องกันรังสีสูงขึ้นจะมีค่าสมบัติทางกายภาพมีแนวโน้มลดลงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่แผ่นยางป้องกันรังสี สูตรที่เติมทังสเตนออกไซด์ 900 phr มีสมบัติความต้านแรงดึงต่ำมากจึงต้องพิจารณาการใช้งานอย่างเหมาะสมต่อไป

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ รังสี ชุดป้องกันรังสี

¹กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

²สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

Abstract

Radiation protective rubber sheet for producing neutron radiation, X-rays and gamma rays protection suits are developed from natural rubber mixed with boron oxide for neutron radiation protection, lead oxide and tungsten oxide for protection against X-rays and gamma rays. The study of neutron radiation shielding properties from ^{241}Am -Be (Americium-Beryllium) neutron source found that, at the same thickness of 2 mm, rubber compound containing boron oxide 40 phr provided a neutron radiation attenuation value of 18 percent, gave better attenuation comparing to those with vary amounts of boron oxide. The neutron attenuation values are similar to shielding materials polyethylene which commercially available that gives a neutron radiation attenuation value of 11 percent. But the boron oxide filled rubber sheet, when formed, the rubber sheet formed small white flakes all over the sheet and the physical properties of the tensile strength were very low. Therefore, this formulation of rubber sheets is not suitable for the production of radiation protection suits. This research also studied the X-ray shielding properties by using X-ray source and gamma-ray generated from ^{137}Cs gamma-ray source. The efficiency of X-ray shielding increases with the amount of lead oxide and tungsten oxide. It was found that, at the same thickness of 2 mm, the formula with 500 phr lead oxide had an X-ray attenuation value of 87 percent and gamma ray attenuation value of 8.8 percent and the formula with 900 phr tungsten oxide had an X-ray attenuation value of 85 percent. Gamma rays 8.3 percent, which had better attenuation values than commercially available radiation protection suits had an X-ray attenuation value of 84 percent and a gamma ray attenuation value of 6.2 percent. Physical properties of radiation protection rubber sheet, namely hardness, tensile strength, elongation at break and tear strength are also studied. It was found that the radiation protection rubber sheet (500 phr) an increase in radiation protection substance resulted in a decrease in their physical properties to an acceptable level. However, the radiation protection rubber sheet with tungsten based (900 phr) has very low tensile properties, therefore proper application has to be more considered.

Keywords: Natural rubber, Radiation, Radiation protection suit

¹Engineering Materials Division, Department of Science Service

²Thailand Institute of Nuclear Technology

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

1. บทนำ (Introduction)

รังสี (Radiation) เป็นสิ่งที่สามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ โดยเกิดจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่มีปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม รังสีเป็นการแผ่พลังงานออกมาโดยอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา เป็นต้น หรือในรูปของอนุภาคที่มีความเร็วสูง เช่น รังสีนิวตรอน รังสีแอลฟา และรังสีเบตา ปัจจุบันประเทศไทยมีการประยุกต์ใช้ต้นกำเนิดรังสีในงานด้านต่าง ๆ มากมาย ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้มีแนวโน้มเพิ่มยิ่งขึ้น เช่น ด้านการศึกษา ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม และด้านสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างมีการใช้รังสีแกมมาจากไอโซโทปโคบอลต์ 60 หรือ ซีเซียม 137 ฆ่าเชื้อโรคต่าง ๆ ในน้ำทิ้งจากชุมชนและจากโรงพยาบาลเพื่อป้องกันโรคระบาด [1] เป็นต้น อีกหนึ่งกิจกรรมที่ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีทางด้านรังสีเข้ามามีบทบาทค่อนข้างมาก นั่นคือ กิจกรรมด้านการแพทย์ ซึ่งมีการนำรังสีมาใช้ 3 รูปแบบ คือ 1) รังสีวินิจฉัย (Radiation diagnostic) 2) เวชศาสตร์นิวเคลียร์ (Nuclear medicine) และ 3) รังสีรักษา (Radiation oncology) โดยทั่วไปมนุษย์สามารถสัมผัสรังสีจากสิ่งต่าง ๆ ในธรรมชาติรอบตัวเราอยู่ตลอดเวลา และยังสามารถสัมผัสรังสีได้จากกิจกรรมต่าง ๆ รังสีที่แผ่ออกมานั้นเมื่อผ่านเข้าไปสู่สิ่งมีชีวิตสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่องานมีชีวิตได้ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของรังสีที่ได้รับ ผลกระทบที่สามารถเกิดขึ้น เช่น เกิดเป็นผื่นแดงขึ้นตามผิวหนัง ผอมลง เซลล์ตาย เป็นแผลเปื่อย เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้พันธุกรรมมีลักษณะเปลี่ยนไป หรือสามารถทำให้เสียชีวิตได้ ดังนั้นมีระบบป้องกันรังสีเพื่อป้องกันไม่ใหร่างกายได้รับรังสีหรือได้รับในปริมาณน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามเพื่อสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยสำหรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับรังสี การใช้วัสดุกำบังรังสี (Radiation shielding) เป็นมาตรการด้านความปลอดภัยที่มีความสำคัญเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ทำให้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งนี้ผลสัมฤทธิ์ในการลดปริมาณรังสีนั้นจะขึ้นอยู่กับสมบัติและความหนาของวัสดุกำบังรังสีรวมถึงความเข้มของรังสีด้วย การใช้วัสดุกำบังรังสี เช่น ถุงมือป้องกันรังสี ชุดป้องกันรังสี อุปกรณ์ป้องกันรังสี และบล็อกป้องกันรังสี เป็นต้น

ชุดป้องกันรังสี เป็นมาตรการหนึ่งในการป้องกันอันตรายจากรังสี โดยเฉพาะผู้ปฏิบัติงานด้านการแพทย์ที่ใช้งานเครื่องเอกซเรย์ในห้องผ่าตัด ห้องหัตถการ และรังสีร่วมรักษา เป็นต้น ชุดป้องกันรังสีถูกออกแบบมาให้มีหลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ชุดป้องกันรังสีแบบเสื้อกั๊ก (Vest) แบบกระโปรง (Skirt) แบบขึ้นเดี่ยวคล้ายผ้ากันเปื้อน (Apron) แบบป้องกันบริเวณลำคอ (Thyroid shield) และแบบป้องกันบริเวณอวัยวะสืบพันธุ์ (Gonad shield) เป็นต้น จากการสำรวจ พบว่า ชุดป้องกันรังสีที่ใช้ส่วนใหญ่ผลิตมาจากแผ่นตะกั่ว ซึ่งมีน้ำหนักค่อนข้างมาก ไม่สามารถปรับให้กระชับเข้ากับรูปร่างผู้สวมใส่ได้ และเมื่อสวมใส่ไปนาน ๆ ทำให้เกิดอาการเมื่อยล้า นอกจากนี้ชุดป้องกันรังสีที่มีการใช้งานในปัจจุบันส่วนใหญ่มิมีราคาค่อนข้างสูง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาด เช่น เสื้อป้องกันรังสี มีราคาขายต่อ 1 ตัว อยู่ที่ประมาณ 20,000 บาท สารป้องกันรังสีที่ใช้เป็น ตะกั่ว และชุดป้องกันรังสีที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศเนื่องจากไม่มีผู้ผลิต ในประเทศและประเทศไทยไม่ได้พัฒนาเทคโนโลยีเป็นของตนเอง ซึ่งมาตรการเพื่อสร้างความปลอดภัยให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน และผู้เกี่ยวข้องที่ได้ผลอย่างดียิ่งและมีการใช้งานแพร่หลายงานวิจัยนี้ได้มีแนวความคิดที่จะพัฒนาวัสดุกำบังรังสี เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสี นั่นคือ ชุดป้องกันรังสี ดังนั้นแนวความคิดที่นำมายกรรรมชาติ มาผสมกับสารป้องกันรังสี

เพื่อทำเป็นชุดป้องกันรังสีนี้ จึงเป็นอีกทางหนึ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุป้องกันรังสีขึ้นมาเอง งานวิจัยนี้ เลือการศึกษาสารป้องกันรังสี 3 ชนิด คือ 1) โบรอนออกไซด์ สำหรับป้องกันรังสีนิวตรอน เกียรติศักดิ์ แสนบุญเรือง และคณะ [2] ได้พัฒนาแผ่นกำบังอนุภาคนิวตรอนจากวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติผสมผงซีลีออยม์ โดยศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมป้องกันรังสี คือ กรดบอริก และโบรอนออกไซด์ พบว่า โบรอนออกไซด์ มีความสามารถในการป้องกันอนุภาคนิวตรอนดีที่สุด เพราะโบรอนออกไซด์มีความสามารถอันตรกิริยากับ นิวตรอนได้ดี 2) ตะกั่วออกไซด์ เป็นวัสดุป้องกันรังสีที่นิยมใช้กันมาก คือ ตะกั่ว (Lead) เนื่องจากตะกั่ว มีความหนาแน่นสูง เป็นสารที่มี Mass absorption coefficient สูงสำหรับรังสีแกมมาพลังงานต่ำ และมีราคาไม่แพง 3) ทังสเตนออกไซด์ Orasa Onjun และคณะ [3] ได้พัฒนาวัสดุกำบังรังสีโดยใช้ยางธรรมชาติ ผสมตะกั่วออกไซด์และทังสเตนออกไซด์เป็นสารป้องกันรังสี พบว่า สามารถกำบังรังสีแกมมาได้ในระดับที่ เกณฑ์กำหนดด้านความปลอดภัยระบุไว้ ซึ่งชุดป้องกันรังสีที่ถูกพัฒนาขึ้นจากยางธรรมชาตินี้ มีน้ำหนักเบา สวมใส่สบาย มีความยืดหยุ่น สามารถปรับขนาดให้กระชับเข้ากับรูปร่างของผู้สวมใส่ช่วยให้คล่องตัว เมื่อเคลื่อนไหวร่างกาย และไม่ก่อให้เกิดอาการเมื่อยล้าซึ่งทำให้ส่งผลกระทบต่อการทำงานได้ การพัฒนา วัสดุป้องกันรังสีนี้ยังก่อให้เกิดองค์ความรู้ด้านรังสีกับวัสดุ ทำให้สามารถผลิตวัสดุป้องกันรังสีที่มีความเหมาะสม และนำมาใช้ได้ตรงวัตถุประสงค์ของผู้ใช้มากขึ้น ประกอบกับ การที่ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตและส่งออก ยางธรรมชาติมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก แต่มีปริมาณการใช้ยางธรรมชาติ ในประเทศน้อยมาก ผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้ยางธรรมชาติในประเทศให้มากขึ้น และช่วยเพิ่มมูลค่า ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นการสร้างนวัตกรรมใหม่ของภาคอุตสาหกรรมยางไทยที่มี ประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศในด้านต่าง ๆ อีกด้วย

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 ยางและสารเคมี

ยางและสารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ยางและสารเคมี

ยางและสารเคมี	คุณสมบัติ	ชื่อเคมี
ยางแท่ง (STR 5L)	ยางดิบ	Polyisoprene
โบรอนออกไซด์ (B ₂ O ₃)	สารกำบังรังสีนิวตรอน	Boron oxide
ตะกั่วออกไซด์ (Pb ₃ O ₄)	สารกำบังรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา	Lead oxide
ทังสเตนออกไซด์ (WO ₃)	สารกำบังรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา	Tungsten trioxide
แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO ₃)	สารตัวเติม	Calcium carbonate
ไซโคลเฮกซิลเบนโซไทอาโซล-2-ซัลโฟนาไมด์ (CBS)	สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป	N-Cyclohexylbenzothiazole-2-sulfonamide
ซิงค์ ออกไซด์ (ZnO)	สารกระตุ้นปฏิกิริยายางคงรูป	Zinc oxide
กรดสเตียริก	สารกระตุ้นปฏิกิริยายางคงรูป	Stearic acid

ยางและสารเคมี	คุณสมบัติ	ชื่อเคมี
สไตรีนต ฟีนอล (SPH)	สารต้านการออกซิเดชัน หรือ สารป้องกันยางเสื่อม	2,4-di(α -Phenylethyl)-phenol
กำมะถัน	สารทำให้ยางคงรูป	Sulphur
พาราฟินิก ออยล์	สารช่วยให้ยางนิ่ม	Paraffinic oil
ผงเขม่าดำ (N330)*	สารตัวเติมเสริมแรง	Carbon black (N330)
การประมาณค่า LOQ=($\bar{X}$ +10SD)	0.125 (125.1 ppm)	0.0130

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย

2.2.1 เครื่องบดผสมระบบปิด (Internal mixer) ยี่ห้อ YFM (Yong Fong) รุ่น 0241

2.2.2 เครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ยี่ห้อ YFM (Yong Fong) รุ่น 0242

2.2.3 เครื่องขึ้นรูปยางแบบอัดร้อน (Hydraulic press with heated-plates) ยี่ห้อ YFM (Yong Fong) รุ่น 0138

2.2.4 เครื่องวัดอัตราการคงรูปของยาง (Moving die rheometer, MDR) ยี่ห้อ TECH PRO รุ่น rheo TECH MD+

2.2.5 เครื่องวัดความแข็ง (Durometer hardness tester) ยี่ห้อ Bareiss รุ่น Digitest II

2.2.6 เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง (Universal testing machine, UTM) ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z005

2.2.7 เครื่องชั่ง (Electric balance) ความละเอียด 0.01 กรัม ยี่ห้อ Satorius รุ่น ED224S

2.2.8 ตู้อบ (Geer oven) ยี่ห้อ Yasuda รุ่น 102-SHF-SA

2.2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6610LV

2.2.10 ชุดเครื่องมือสำหรับวัดการป้องกันรังสีนิวตรอน จากต้นกำเนิดนิวตรอน ²⁴¹Am-Be (Americium-Beryllium)

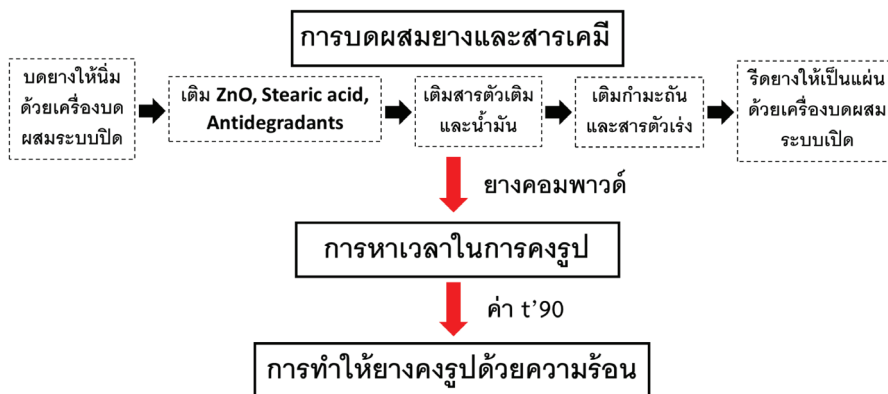
2.2.11 ชุดเครื่องมือสำหรับวัดการป้องกันรังสีเอกซ์ จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ GE รุ่น ISOVOLT TITAN E 320 kV

2.2.12 ชุดเครื่องมือสำหรับวัดการป้องกันรังสีแกมมา จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา ¹³⁷Cs

2.3 วิธีดำเนินงาน

2.3.1 ศึกษาและออกสูตรยางที่เหมาะสมที่มีส่วนผสมของยางธรรมชาติกับสารป้องกันรังสี

เตรียมยางคอมพาวด์โดยการผสมยางและสารเคมีตามสูตรพื้นฐาน (ตารางที่ 2) และสูตรการแปรปริมาณ (ตารางที่ 3) ในเครื่องบดผสมระบบปิดและเครื่องบดผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง จากนั้นนำยางคอมพาวด์ที่ได้มาหาเวลาในการคงรูปของยาง เพื่อสมบัติการคงรูปของยาง (ระยะเวลาสกอรัช; ts, และระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป; t₉₀) ที่อุณหภูมิ 160 °C ด้วยเครื่องวัดการคงรูปของยาง เวลาการคงรูปที่ได้มาใช้เตรียมขึ้นทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยใช้แม่พิมพ์และเครื่องอัดไฮดรอลิคพร้อมแผ่นความร้อน การเตรียมแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสี

ตารางที่ 2 สูตรยางพื้นฐานเพื่อที่จะนำไปพัฒนาสูตรการผลิตชุดป้องกันรังสี (RP00)

ส่วนประกอบ	Phr ¹
ยาง STR 5L	100
CaCO ₃	แปรปรมาณ
โบรอนออกไซด์ หรือ ตะกั่วออกไซด์ หรือ ทังสเทนออกไซด์	แปรปรมาณ
Paraffinic Oil	5
ZnO	5
Stearic Acid	3
SPH	1
CBS	0.5
Carbon black (N330) ²	2
Sulphur	2

หมายเหตุ 1. phr = part per hundred parts of rubber (โดยน้ำหนัก)

2. งานวิจัยนี้ใช้ผงเขม่าดำในปริมาณน้อยมาก ซึ่งไม่ได้ต้องการสมบัติเสริมแรง ใช้เพื่อให้แผ่นยางมีสีดำเท่านั้น

การศึกษาผลกระทบของปริมาณสารป้องกันรังสีทั้ง 3 ชนิด คือ โบรอนออกไซด์ ตะกั่วออกไซด์ และ ทังสเทนออกไซด์ ในสูตรยางต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติการป้องกันรังสีของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสี ทำได้โดยการแปรปรมาณของสารป้องกันรังสีในแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสี ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีนิวตรอนใช้สารป้องกันรังสีเป็นสารประกอบโบรอน คือ โบรอนออกไซด์ ในขณะที่แผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาใช้สารป้องกันรังสีเป็นตะกั่วออกไซด์และทังสเทนออกไซด์ในการเตรียมแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสี ตามลำดับ ทั้งนี้การแปรปรมาณของโบรอนออกไซด์ ตะกั่วออกไซด์ และทังสเทนออกไซด์ มีการควบคุมให้ไม่เกิน 100 phr เมื่อรวมกับแคลเซียมคาร์บอเนต ยกเว้นสูตร PXGL60, PXGL70, PXGT60 และ PXGT70

ตารางที่ 3 การแปรปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต และสารป้องกันรังสีในสูตรยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสี

สูตรยาง	ปริมาณ (phr)			
	แคลเซียมคาร์บอเนต	โบรอนออกไซด์	ตะกั่วออกไซด์	ทังสเตนออกไซด์
RP00	100	-	-	-
PNBo1	90	10	-	-
PNBo3	80	20	-	-
PNBo5	60	40	-	-
PNBo10	30	70	-	-
PXGL5	85	-	15	-
PXGL10	75	-	25	-
PXGL20	55	-	45	-
PXGL40	-	-	100	-
PXGL60	-	-	270	-
PXGL70	-	-	500	-
PXGT5	85	-	-	15
PXGT10	75	-	-	25
PXGT20	50	-	-	50
PXGT40	-	-	-	100
PXGT60	-	-	-	375
PXGT70	-	-	-	900

2.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.4.1 การทดสอบค่าความแข็ง (Hardness) ตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน ISO 7619-1:2010 โดยเครื่อง Durometer type A จำนวน 10 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

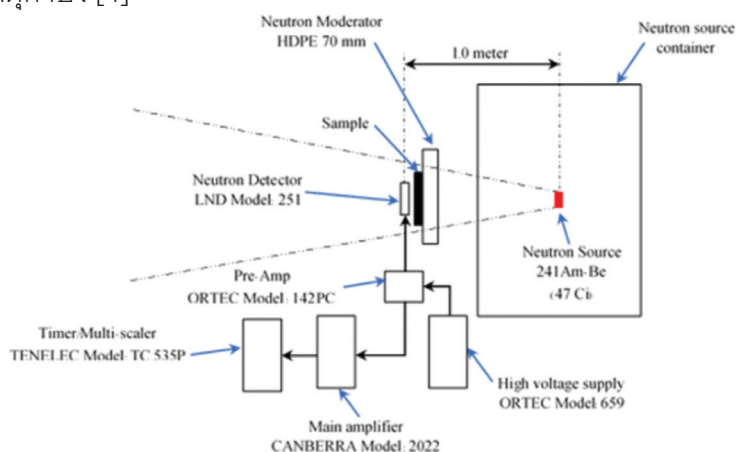
2.4.2 การทดสอบค่าความต้านแรงดึง (Tensile strength; MPa) ความยืดเมื่อขาด (Elongation at break; %) และความต้านแรงฉีกขาด (Tear strength; N/mm) ของชิ้นทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine ขนาดของ Load-cell 1 KN สำหรับรายการความต้านแรงดึง และความยืดเมื่อขาด ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 37:2017 ชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบลชนิดที่ 1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของปากจับเท่ากับ 500 mm/min สำหรับรายการความต้านแรงฉีกขาด ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 34-1:2015 ชิ้นทดสอบแบบมุม (Angle) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของปากจับเท่ากับ 500 mm/min

2.4.3 การทดสอบการเร่งการเสื่อมอายุ (Aging) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 188 เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความแข็ง ความต้านแรงดึง ความยืดเมื่อขาด และความต้านแรงฉีกขาด หลังการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างออกจากตู้อบ ควรปรับสภาวะชิ้นทดสอบไว้ไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง แต่ไม่ควรเกิน 96 ชั่วโมง

2.5 การทดสอบการป้องกันรังสี

2.5.1 การป้องกันรังสีนิวตรอน

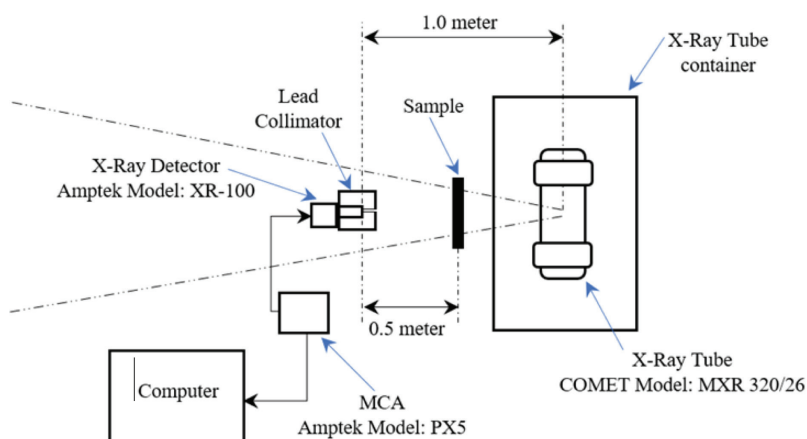
การทดสอบการป้องกันรังสีนิวตรอนใช้เครื่องมือที่จัดทำขึ้นตามแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 2 ที่มีต้นกำเนิดนิวตรอน $^{241}\text{Am-Be}$ (Americium-Beryllium) ความแรงรังสี 47 คูรี ปลดปล่อยให้อนุภาคนิวตรอนพลังงานสูง (Fast neutron) ออกมาจากนั้นทำการหน่วงความเร็วของอนุภาคนิวตรอนด้วยพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง อนุภาคนิวตรอนจะถูกลดพลังงานลงเป็นนิวตรอนพลังงานต่ำ (Thermal neutron) แล้วทำการวัดด้วยหัววัด Neutron Detector LND Model: 251 ซึ่งจะต่อเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณและนับสัญญาณ ใช้เวลาในการวัด 60 วินาที ทำการวัด 3 ซ้ำ โดยค่าที่วัดได้มาคำนวณร่วมกับจำนวนนับนิวตรอนเมื่อไม่มีวัสดุกำบัง [4]



รูปที่ 2 ชุดเครื่องมือสำหรับวัดการป้องกันรังสีนิวตรอน

2.5.2 การป้องกันรังสีเอกซ์

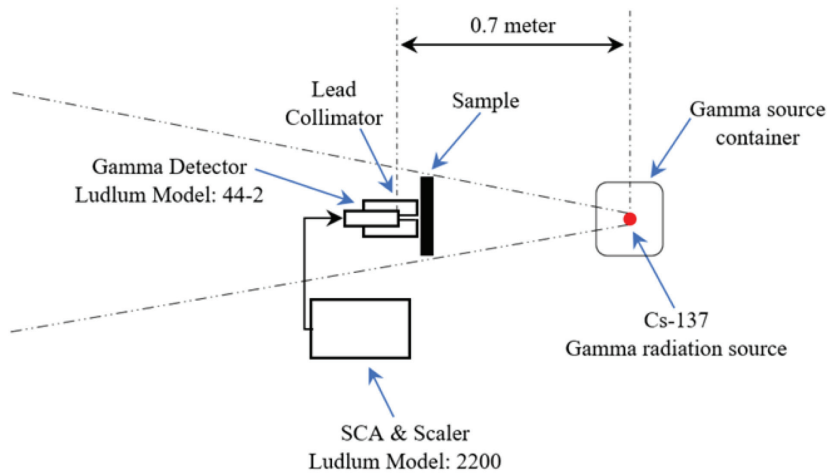
การทดสอบการป้องกันรังสีเอกซ์ใช้ระบบวัดตามแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3 ให้ช่วงพลังงาน 150 KeV โดยใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ GE รุ่น ISOVOLT TITAN E 320 kV หัววัดรังสีแบบ Semi-Conductor Detector ชนิด Cadmium Telluride (CdTe) [5-7] ใช้เวลาในการวัด 200 วินาที ทำการวัด 3 ซ้ำ โดยค่าที่วัดได้ต้องนำมาหักลบกับค่ารังสีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม (Background) แล้วนำค่าจริงที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3 ระบบวัดการป้องกันรังสีเอกซ์

2.5.3 การป้องกันรังสีแกมมา

การทดสอบการป้องกันรังสีแกมมาใช้เครื่องมือที่จัดทำขึ้นตามแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 4 มีต้นกำเนิดรังสีแกมมา ^{137}Cs ให้รังสีแกมมาพลังงาน 661.7 keV โดยใช้หัววัดรังสีแกมมาชนิดเรืองรังสี (Scintillation detector) ใช้เวลาในการวัด 60 วินาที ทำการวัด 3 ซ้ำ โดยค่าที่วัดได้ต้องนำมาหักลบกับค่ารังสีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม (Background) แล้วนำค่าจริงที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย [4]



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงชุดเครื่องมือสำหรับวัดการป้องกันรังสีแกมมา

2.6 การกระจายตัวของสารป้องกันรังสีในเนื้อยาง

การตรวจสอบการกระจายตัวของอนุภาคในเนื้อยางสามารถทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6610LV สัญญาณภาพที่ได้จากหัววัด Secondary electron image (SEI) ศักย์เร่งอิเล็กตรอนที่ 10 kV กำลังขยาย 90 ระยะห่างระหว่าง Pole piece ของเลนส์ใกล้วัตถุกับผิวหน้าของตัวอย่าง (Working distance : WD) ปรับตามความเหมาะสม

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 สมบัติทางกายภาพของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสี

สมบัติการคงรูปของยางที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีจากยางธรรมชาติทั้ง 17 สูตร แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งประกอบด้วย ระยะเวลาสกอรัช (Scorch time หรือ ts_1) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงระยะเวลาที่ยางยังคงสามารถไหลขึ้นรูปได้ ณ อุณหภูมินั้น ๆ และระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป (tc_{90})

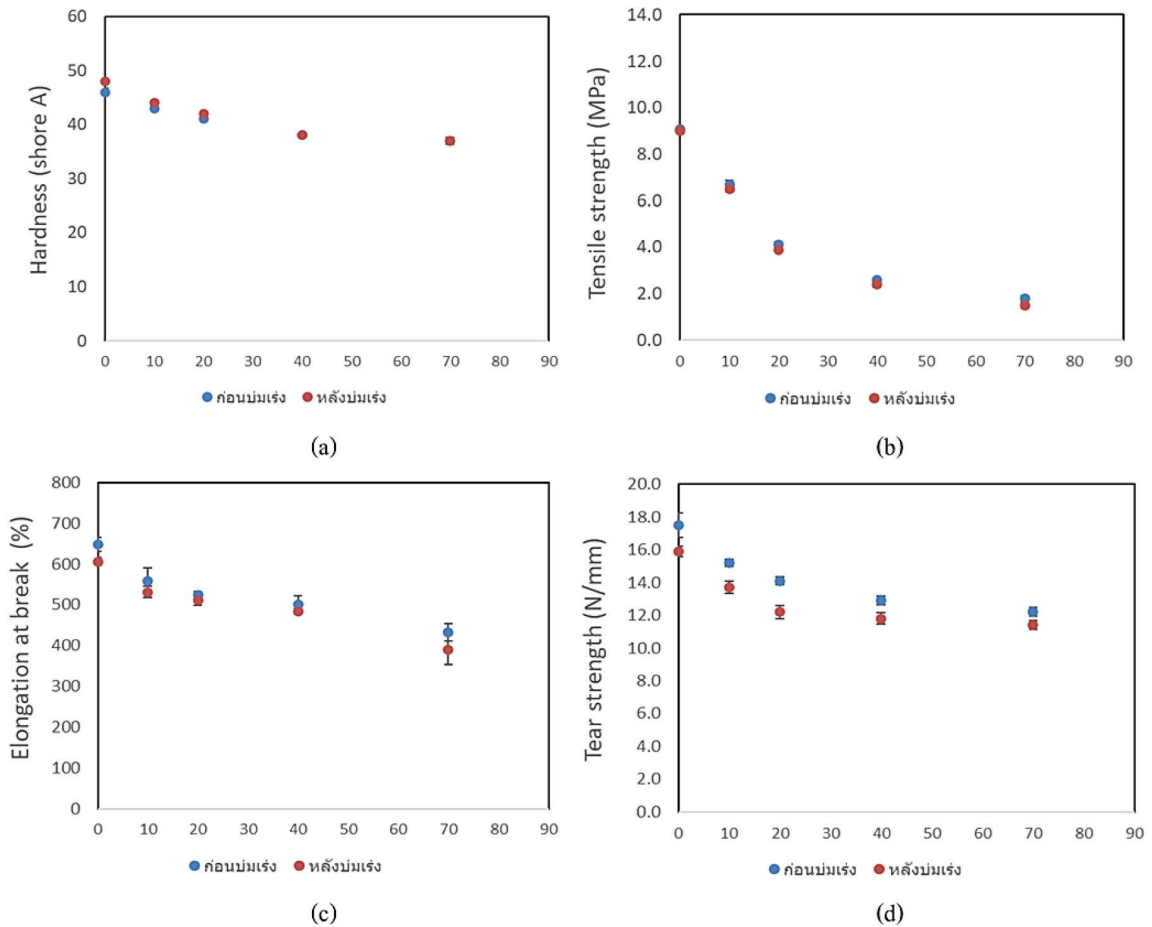
ตารางที่ 4 ค่าสมบัติการคงรูป ค่าความหนาแน่น ของยางสูตรต่าง ๆ

สูตรยาง	สมบัติการคงรูปของยาง		ความหนาแน่น (g/cm ³)
	ts _i (นาท)	tc ₉₀ (นาท)	
RP00	1.42	3.56	1.32
PNBo1	4.85	15.95	1.34
PNBo3	7.41	45.12	1.33
PNBo5	28.64	50.62	1.33
PNBo10	31.28	67.52	1.28
PXGL5	1.52	4.41	1.42
PXGL10	1.25	3.59	1.51
PXGL20	0.96	3.22	1.57
PXGL40	0.57	3.18	1.72
PXGL60	0.49	1.21	2.64
PXGL70	0.38	1.07	3.33
PXGT5	3.75	9.78	1.43
PXGT10	2.52	4.82	1.45
PXGT20	2.74	5.74	1.61
PXGT40	3.12	5.40	1.76
PXGT60	2.98	4.86	2.81
PXGT70	2.78	4.72	4.07
PXG*	-	-	4.55

หมายเหตุ * PXG คือ แผ่นยางของชุดป้องกันรังสีทางการค้า

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีที่มีโบรอนออกไซด์เป็นสารป้องกันรังสีนิวตรอนในปริมาณที่แตกต่างกัน (สูตร PNBo1, PNBo3, PNBo5 และ PNBo10) เมื่อพิจารณาสมบัติการคงรูปแสดงในตารางที่ 4 ระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของโบรอนออกไซด์สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโบรอนออกไซด์มีฤทธิ์เป็นกรด จึงทำหน้าที่เป็นสารหน่วงปฏิกิริยาก่อนการเกิดการคงรูป ทำให้ระยะเวลาที่ยางเกิดการคงรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโบรอนออกไซด์เพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่น พบว่า ค่าความหนาแน่นลดลงเมื่อปริมาณสารป้องกันรังสีเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารป้องกันรังสีถูกเติมลงในสูตรดังกล่าวเข้าไปทดแทนปริมาณของสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความหนาแน่นสูงกว่า ดังนั้นเมื่อปริมาณสารป้องกันรังสีเพิ่มขึ้นปริมาณสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตถูกปรับให้ลดลง ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นโดยรวมของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีลดลงแสดงในตารางที่ 4 สำหรับผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความแข็ง ค่าความต้านแรงดึง ค่าความยืด

เมื่อขาด และค่าความต้านแรงฉีกขาด พบว่า ลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดยเฉพาะสูตร PNB010 ที่เติมโบรอน ออกไซด์ 70 phr มีค่าความต้านแรงดึงลดลงถึง 1.8 MPa ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติที่ต่ำมาก นอกจากนี้ การใส่สารตัวเติมไม่ว่าจะเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตหรือโบรอนออกไซด์ ส่งผลให้ปริมาณการเชื่อมขวางใน เฟสยางลดลง และถ้าเติมลงในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดการเชื่อมขวางที่ไม่ต่อเนื่องของเฟสยาง สำหรับ ผลของการบ่มเร่งด้วยความร้อน พบว่า แผ่นยางมีค่าความแข็ง ค่าความต้านแรงดึง ค่าความยืดเมื่อขาด และค่าความต้านแรงฉีกขาดลดลง

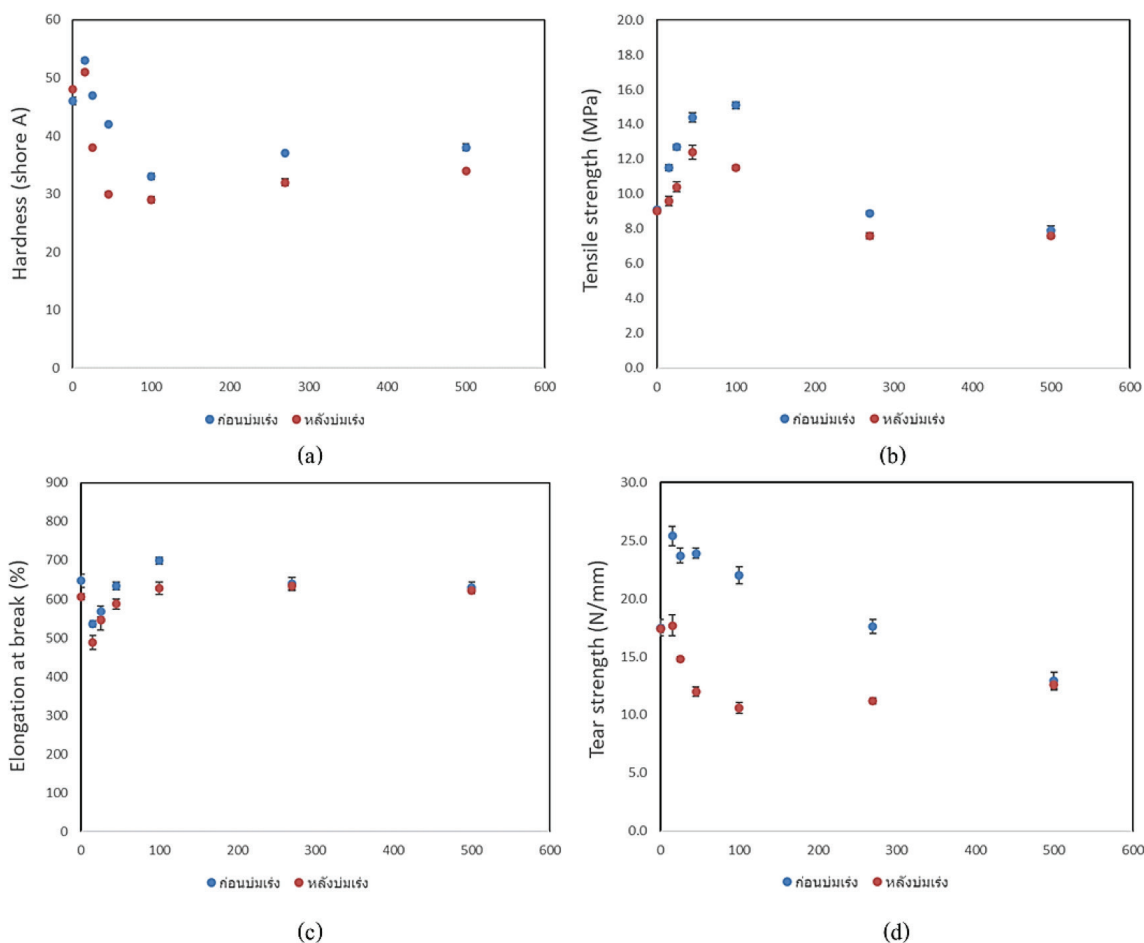


รูปที่ 5 สมบัติทางกายภาพของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสี ที่เติมโบรอนออกไซด์เป็นสารป้องกันรังสี

(a) ค่าความแข็ง (b) ค่าความต้านแรงดึง (c) ค่าความยืดเมื่อขาด (d) ค่าความต้านแรงฉีกขาด

การเติมสารป้องกันรังสีชนิดตะกั่วออกไซด์เพื่อเป็นสารป้องกันรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาลงในสูตรยาง (สูตร PXGL5, PXGL10, PXGL20, PXGL40, PXGL60 และ PXGL70) เมื่อพิจารณาสมบัติการคงรูป (ตารางที่ 4) พบว่า เมื่อเติมตะกั่วออกไซด์ลงในสูตรยางในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาในการคงรูปลดลง ทั้งนี้การลดลงของระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปเมื่อเติมตะกั่วออกไซด์ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนและมีโลหะไฮเดรียมเป็นองค์ประกอบนั้นเกิดจากการที่โลหะไฮเดรียมส่งผลในทางกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูปของยาง โดยส่วนประกอบของโลหะออกไซด์ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นร่วมของปฏิกิริยารีดอกซ์ในขั้นตอนของยาง ดังนั้น เมื่อปริมาณของตะกั่วออกไซด์เพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปจึงลดลง สำหรับค่าความหนาแน่นของแผ่นยาง พบว่า เมื่อเติมตะกั่วออกไซด์ในแผ่นยางปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลให้สมบัติความหนาแน่นโดยรวม

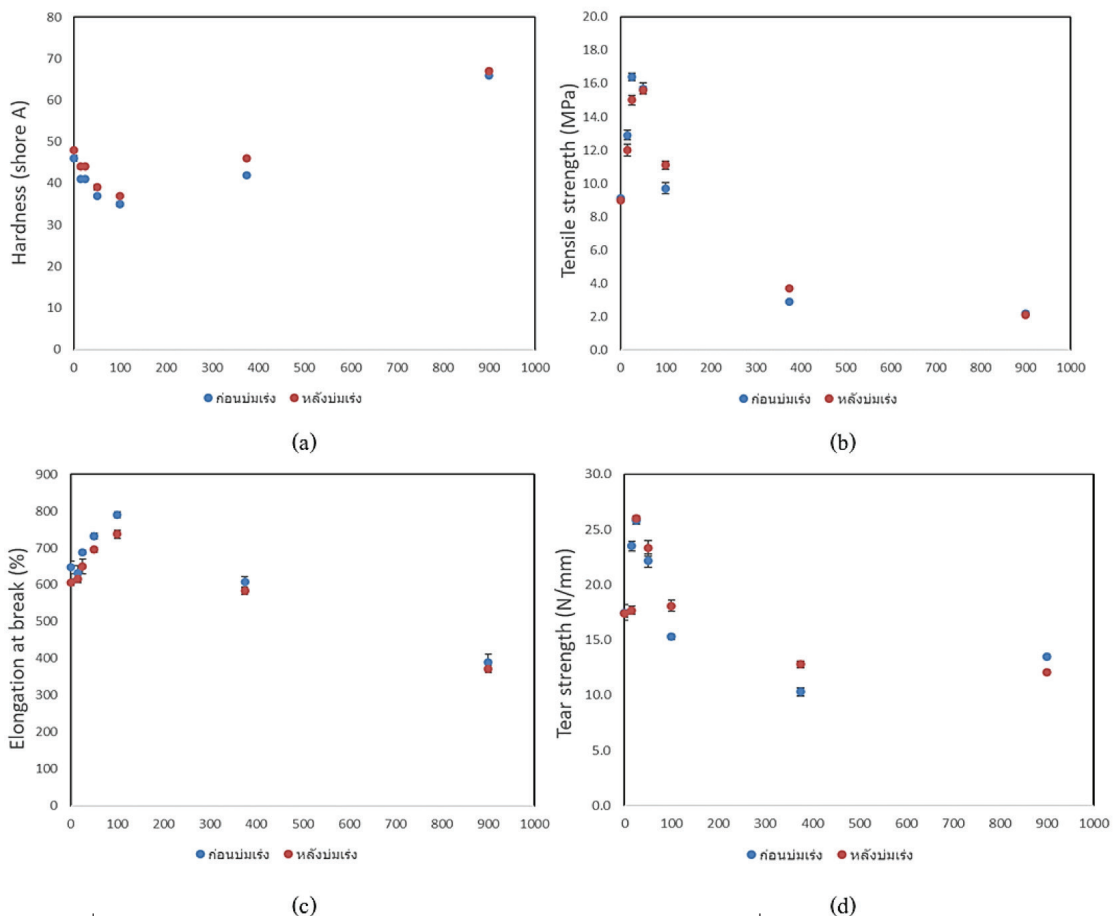
ของแผ่นยางเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารป้องกันรังสี คือ ตะกั่วออกไซด์ มีความหนาแน่นสูงกว่าสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตมาก ส่วนสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อพิจารณาสมบัติความแข็ง พบว่า มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของตะกั่วออกไซด์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ได้พิจารณาค่า Volume fraction ของสูตรยาง RP00 ที่มีสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 100 phr (ไม่มีตะกั่วออกไซด์) มีค่า Volume fraction เท่ากับ 0.234 กับสูตร PXGL40 มีตะกั่วออกไซด์ 100 phr (ไม่มีแคลเซียมคาร์บอเนต) มีค่า Volume fraction เท่ากับ 0.092 แสดงว่าที่ phr เท่ากันปริมาณเนื้อของสารตัวเติมต่างกัน สูตรที่เติมตะกั่วออกไซด์จะมีปริมาณเนื้อสารน้อยกว่าทำให้ค่าความแข็งของสูตรยางที่เพิ่มตะกั่วออกไซด์เพิ่มขึ้น จึงมีค่าลดลง ส่วนค่าความต้านแรงดึง ค่าความยืดเมื่อขาด และค่าความต้านแรงฉีกขาด ของสูตรที่เติมตะกั่วออกไซด์ 15 phr, 25 phr, 45 phr และ 100 phr มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตะกั่วออกไซด์มากขึ้นเป็น 270 phr และ 500 phr พบว่า มีค่าสมบัติทางกายภาพเหล่านี้ลดลง สำหรับผลของการบ่มเร่งด้วยความร้อน พบว่า แผ่นยางมีค่าความแข็ง ค่าความต้านแรงดึง ค่าความยืดเมื่อขาด และค่าความต้านแรงฉีกขาดลดลง



รูปที่ 6 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสี ที่เติมตะกั่วออกไซด์เป็นสารป้องกันรังสี (a) ค่าความแข็ง (b) ค่าความต้านแรงดึง (c) ค่าความยืดเมื่อขาด (d) ค่าความต้านแรงฉีกขาด

เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีที่มีทั้งสแตนออกไซด์เป็นสารป้องกันรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาในปริมาณที่แตกต่างกัน (สูตร PXGT5, PXGT10, PXGT20, PXGT40,

PXGT60 และ PXGT70) เมื่อพิจารณาสมบัติการคงรูป (ตารางที่ 4) พบว่า เมื่อเติมทั้งสเดนออกไซด์ลงในสูตรยางในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาในการคงรูปลดลง เช่นเดียวกับแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีโดยเติมตะกั่วออกไซด์เป็นสารป้องกันรังสีสำหรับค่าความหนาแน่นของแผ่นยาง พบว่า เมื่อเติมทั้งสเดนออกไซด์ในแผ่นยางปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลให้สมบัติความหนาแน่นโดยรวมของแผ่นยางก็เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารป้องกันรังสี คือ ทั้งสเดนออกไซด์ มีความหนาแน่นสูงกว่าสารตัวเดิมแคลเซียมคาร์บอเนตมาก สำหรับสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่า ค่าความแข็งของขึ้นทดสอบแผ่นยางสำหรับทำชุดป้องกันรังสีลดลงเมื่อเติมทั้งสเดนออกไซด์ลงในสูตรยาง โดยมีค่าความแข็งต่ำสุดเท่ากับ 35 Shore A ในสูตร PXGT40 โดยที่ความแข็งระดับนี้ชุดป้องกันรังสีที่เตรียมขึ้นสามารถทนทานต่อการเสียรูปเมื่อได้รับแรงกดในการใช้งานเป็นชุดป้องกันรังสีได้ อย่างไรก็ตาม ค่าความแข็งของยางสูตร PXGT70 เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเนื้อสารเพิ่มขึ้นโดยเทียบกับสูตร PXGT60 พิจารณาจากค่า Volume fraction ของสูตร PXGT70 เท่ากับ 0.509 มีค่าสูงเมื่อเทียบกับสูตร PXGT60 ที่มีค่า Volume fraction เท่ากับ 0.302 ส่วนค่าความต้านแรงดึงและค่าความต้านแรงฉีกขาดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณทั้งสเดนออกไซด์มากขึ้นจนถึงจุดสูงสุดในสูตร PXGT10 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมทั้งสเดนออกไซด์มากขึ้น ส่วนสมบัติความยืดเมื่อขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของทั้งสเดนออกไซด์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดในสูตร PXGT40 จากนั้นมีแนวโน้มลดลง สำหรับผลของการบ่มเร่งด้วยความร้อน พบว่า แผ่นยางมีค่าความแข็ง ค่าความต้านแรงดึง ค่าความยืดเมื่อขาด และค่าความต้านแรงฉีกขาดลดลง

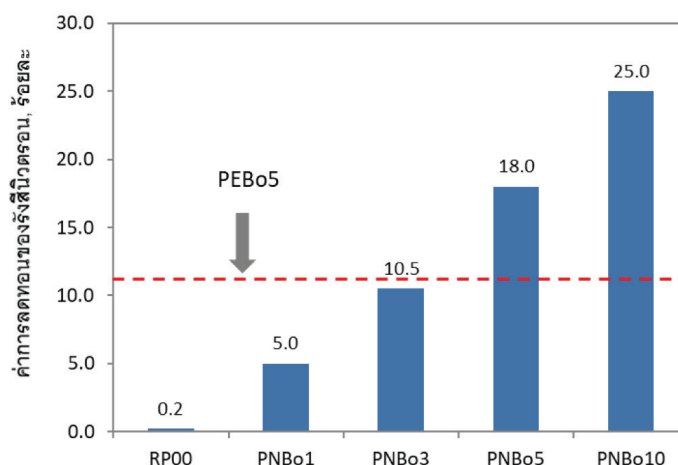


รูปที่ 7 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสี ที่เติมทั้งสเดนออกไซด์เป็นสารป้องกันรังสี
(a) ค่าความแข็ง (b) ค่าความต้านแรงดึง (c) ค่าความยืดเมื่อขาด (d) ค่าความต้านแรงฉีกขาด

3.2 สมบัติการป้องกันรังสี

3.2.1 การป้องกันรังสีนิวตรอนของแผ่นยางที่เติมโบรอนออกไซด์

สมบัติการป้องกันรังสีนิวตรอนของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีที่เติมสารโบรอนออกไซด์คำนวณจากร้อยละการลดทอนของรังสีนิวตรอน พบว่า แผ่นยางป้องกันรังสีที่มีสารประกอบของธาตุโบรอนคือ โบรอนออกไซด์เป็นองค์ประกอบสามารถป้องกันนิวตรอนได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางที่ไม่ได้เติมสารประกอบของธาตุโบรอน (RP00) เมื่อสารโบรอนออกไซด์ในแผ่นยางป้องกันรังสีมีปริมาณเพิ่มขึ้นความสามารถในการป้องกันนิวตรอนก็เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 8 ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าปริมาณของธาตุโบรอนที่มากขึ้นในแผ่นยางป้องกันรังสีทำให้ความหนาแน่นของนิวเคลียสโบรอนที่สามารถดูดซับนิวตรอนได้เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น โอกาสที่จะถูกชนโดยนิวตรอนและจะดูดซับนิวตรอนไว้ก็สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีสูงขึ้นตามปริมาณธาตุโบรอนในเนื้อยางที่เพิ่มขึ้น จากผลของความสามารถในการป้องกันรังสีนิวตรอนที่ความหนาแน่นเท่ากัน สรุปได้ว่าสูตร PNB010 ที่เติมโบรอนออกไซด์ 70 phr ให้ค่าการลดทอนรังสีนิวตรอนสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบค่าการลดทอนรังสีนิวตรอนกับวัสดุกำบังรังสีที่มีขายตามท้องตลาด (PEB05) ซึ่งทำมาจากพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นเท่ากัน พบว่า สูตร PNB010 มีค่าการลดทอนรังสีนิวตรอนสูงกว่าถึง 2 เท่า แต่เมื่อพิจารณาถึงเรื่องการผลิตต้นทุนในการผลิตและยังคงประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีนิวตรอน สูตร PNB05 ที่เติมโบรอนออกไซด์ 40 phr ถือเป็นตัวเลือกที่ดีเพราะยังคงมีค่าการลดทอนรังสีนิวตรอนดีกว่าวัสดุกำบังรังสีที่มีขายตามท้องตลาด อย่างไรก็ตามแผ่นยางที่เติมโบรอนออกไซด์ทุกสูตรเมื่อขึ้นรูปแล้วตัวแผ่นยางเกิดมีเกล็ดสีขาวเล็ก ๆ ทั่วทั้งแผ่น โดยเฉพาะสูตรที่เพิ่มปริมาณโบรอนออกไซด์มากขึ้นยิ่งเห็นได้ชัด จึงสันนิษฐานได้ว่าเกิดจากตัวโบรอนออกไซด์เองที่ไม่ผสมอย่างสมบูรณ์เข้ากับยางคอมพาวด์แผ่นยางสูตรนี้จึงยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นชุดป้องกันรังสี งานวิจัยจะต้องพัฒนาต่อไปในขั้นตอนผลิตและการขึ้นรูปเมื่อนำไปใช้งานจริง



รูปที่ 8 สมบัติการป้องกันรังสีนิวตรอนของแผ่นยางป้องกันรังสีที่เติมโบรอนออกไซด์และเปรียบกับวัสดุกำบังรังสีทางการค้าที่ทำจากพอลิเอทิลีน

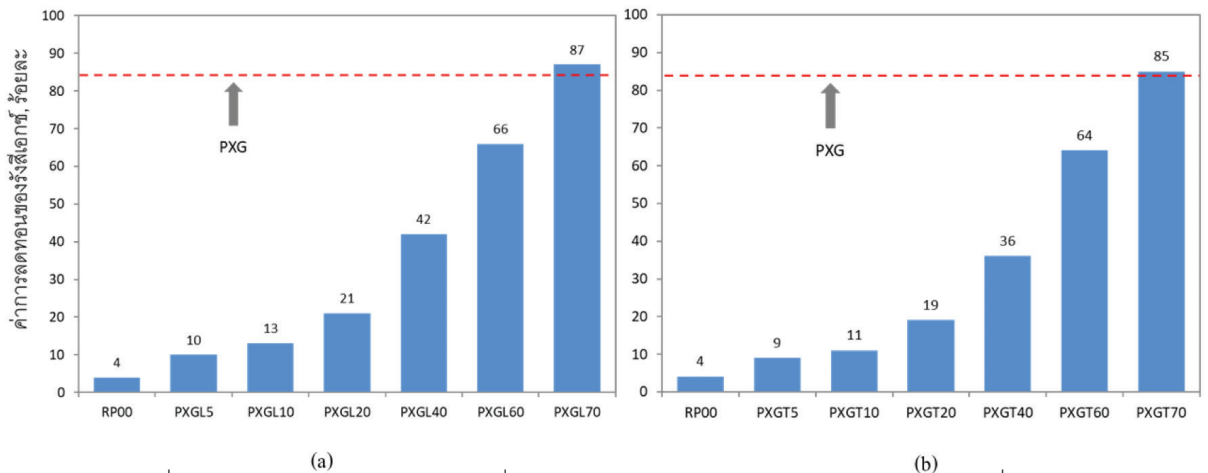
3.2.2 การป้องกันรังสีเอกซ์ของแผ่นยางที่เดิมตะกั่วออกไซด์ และทังสเตนออกไซด์

สมบัติการป้องกันรังสีเอกซ์ โดยใช้เครื่องเร่งอนุภาครังสี หัววัดรังสีแบบ Semi-conductor ชนิด Cadmium Telluride (CdTe) ช่วงพลังงาน 150 KeV ของชุดป้องกันรังสีที่เดิมสารตะกั่วออกไซด์และทังสเตนออกไซด์ในปริมาณต่าง ๆ ที่ความหนาเท่ากัน แสดงในรูปที่ 9 (a) และ (b) แสดงให้เห็นชัดเจนว่าความสามารถในการป้องกันรังสีเอกซ์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารตะกั่วออกไซด์และทังสเตนออกไซด์ในแผ่นยางป้องกันรังสีสูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าการลดทอนรังสีเอกซ์ของแผ่นตะกั่ว (Pb) มาตรฐาน พบว่า สูตร RP00, PXGL5, PXGL10, PXGL20, PXGL40, PXGL60 และ PXGL70 มีความหนาเทียบเท่าแผ่นตะกั่วมาตรฐานเท่ากับ 0.01, 0.02, 0.04, 0.07, 0.17, 0.34 และ 0.64 mmPb ตามลำดับ [8-9] ส่วนสูตร PXGT5, PXGT10, PXGT20, PXGT40, PXGT60 และ PXGT70 มีความหนาเทียบเท่าแผ่นตะกั่วมาตรฐานเท่ากับ 0.02, 0.04, 0.07, 0.14, 0.32 และ 0.59 mmPb ตามลำดับ [8-9] แสดงตารางที่ 5 ทั้งนี้มาตรฐานสำหรับการผลิตชุดป้องกันรังสีของเสื้อป้องกันรังสีเอกซ์และปกคอป้องกันรังสีเอกซ์ สำหรับชุดป้องกันรังสีด้านหน้ากำหนดให้มีค่าความหนาเทียบเท่าตะกั่วเท่ากับ 0.35 mmPb และ สำหรับชุดป้องกันรังสีด้านหลังกำหนดให้มีค่าความหนาเทียบเท่าตะกั่วเท่ากับ 0.25 mmPb [8]

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความหนาเทียบเท่าตะกั่วของสูตรยางป้องกันรังสีเอกซ์ที่เดิมตะกั่วออกไซด์ และทังสเตนออกไซด์

สูตรยาง เดิมตะกั่วออกไซด์	ความหนาเทียบเท่าแผ่น ตะกั่วมาตรฐาน (mmPb)	สูตรยาง เดิมทังสเตนออกไซด์	ความหนาเทียบเท่าแผ่น ตะกั่วมาตรฐาน (mmPb)
RP00	0.01	RP00	0.01
PXGL5	0.02	PXGT5	0.02
PXGL10	0.04	PXGT10	0.04
PXGL20	0.07	PXGT20	0.07
PXGL40	0.17	PXGT40	0.14
PXGL60	0.34	PXGT60	0.32
PXGL70	0.64	PXGT70	0.59
PXG	0.53	PXG	0.53

งานวิจัยยังได้เปรียบเทียบค่าการลดทอนรังสีเอกซ์กับชุดป้องกันรังสีที่มีขายตามท้องตลาด (PXG) แสดงในรูปที่ 7 (a) และ (b) ที่ทำจากยางสังเคราะห์ ซึ่งมีความหนาเทียบเท่าตะกั่วเท่ากับ 0.53 mmPb พบว่าค่าการลดทอนรังสีเอกซ์ของสูตร PXGL70 และสูตร PXGT70 มีค่าการลดทอนที่ดีกว่าชุดป้องกันรังสีที่มีขายตามท้องตลาด ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาพัฒนาเป็นชุดป้องกันรังสีเอกซ์ของแผ่นยางที่เดิมตะกั่วออกไซด์ คือ สูตร PXGL70 และแผ่นยางที่เดิมทังสเตนออกไซด์ คือ สูตร PXGT70



รูปที่ 9 สมบัติการป้องกันรังสีเอกซ์โดยใช้เครื่องเร่งอนุภาครังสี ของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีที่เดิม (a) ตะกั่วออกไซด์ (b) ทังสเตนออกไซด์ และเปรียบเทียบกับชุดป้องกันรังสีทางการค้าที่ทำจากยางสังเคราะห์

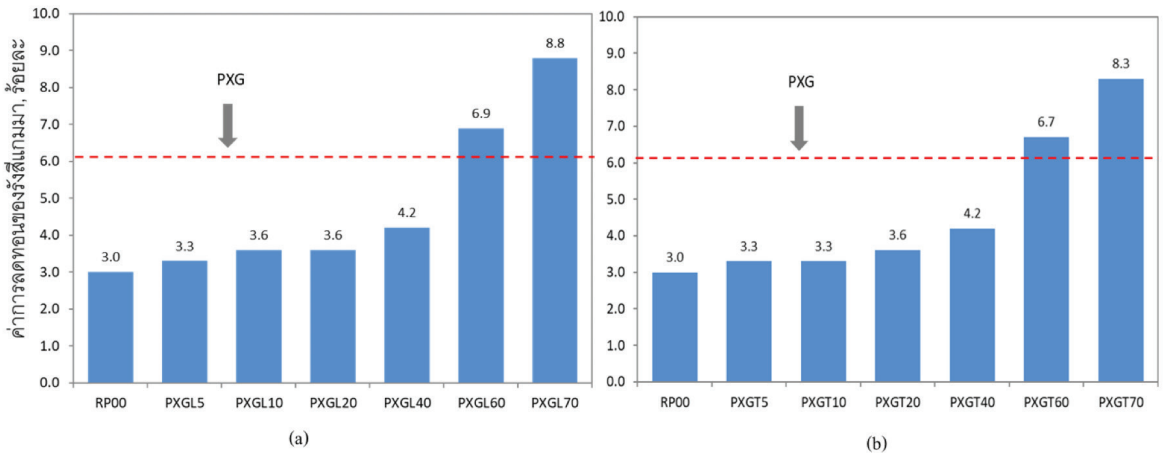
3.2.3 การป้องกันรังสีแกมมาของแผ่นยางที่เดิมตะกั่วออกไซด์ และทังสเตนออกไซด์

สมบัติการป้องกันรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีแกมมา ^{137}Cs (662 keV) ของชุดป้องกันรังสีที่เดิมสารตะกั่วออกไซด์และทังสเตนออกไซด์ในปริมาณต่าง ๆ ที่ความหนาเท่ากัน แสดงในรูปที่ 10 (a) และ (b) ค่าการลดทอนรังสีแกมมาแสดงให้เห็นชัดเจนว่าความสามารถในการป้องกันรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารตะกั่วออกไซด์และทังสเตนออกไซด์ในแผ่นยางป้องกันรังสีสูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าการลดทอนรังสีแกมมาของแผ่นตะกั่ว (Pb) พบว่า สูตร RP00, PXGL5, PXGL10, PXGL20, PXGL40, PXGL60 และ PXGL70 มีความหนาเทียบเท่าตะกั่วเท่ากับ 0.01, 0.03, 0.07, 0.18, 0.36, 0.54 และ 0.77 mmPb ตามลำดับ [8-9] ส่วนสูตร PXGT5, PXGT10, PXGT20, PXGT40, PXGT60 และ PXGT70 มีความหนาเทียบเท่าตะกั่วเท่ากับ 0.02, 0.07, 0.17, 0.36, 0.51 และ 0.73 mmPb ตามลำดับ [8-9] แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบความหนาเทียบเท่าตะกั่วของสูตรยางป้องกันรังสีแกมมาที่เดิมตะกั่วออกไซด์ และทังสเตนออกไซด์

สูตรยาง	ความหนาเทียบเท่าแผ่นตะกั่วมาตรฐาน (mmPb)	สูตรยางเดิมทังสเตนออกไซด์	ความหนาเทียบเท่าแผ่นตะกั่วมาตรฐาน (mmPb)
RP00	0.01	RP00	0.01
PXGL5	0.07	PXGT5	0.07
PXGL10	0.18	PXGT10	0.07
PXGL20	0.18	PXGT20	0.18
PXGL40	0.36	PXGT40	0.36
PXGL60	0.54	PXGT60	0.51
PXGL70	0.77	PXGT70	0.73
PXG	0.53	PXG	0.53

งานวิจัยยังได้เปรียบเทียบค่าการลดทอนรังสีแกมมาของชุดป้องกันรังสีที่มีขายตามท้องตลาด (PXG) แสดงในรูปที่ 8 (a) และ (b) ที่ทำจากยางสังเคราะห์ ซึ่งมีความหนาเทียบเท่าตะกั่วเท่ากับ 0.53 mmPb พบว่าค่าการลดทอนรังสีแกมมาของสูตร PXGL70 และสูตร PXGT70 มีค่าการลดทอนที่ดีกว่าชุดป้องกันรังสีที่มีขายตามท้องตลาด ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาพัฒนาเป็นชุดป้องกันรังสีแกมมาของแผ่นยางที่เติมตะกั่วออกไซด์ คือ สูตร PXGL70 และแผ่นยางที่เติมทังสเตนออกไซด์ คือ สูตร PXGT70

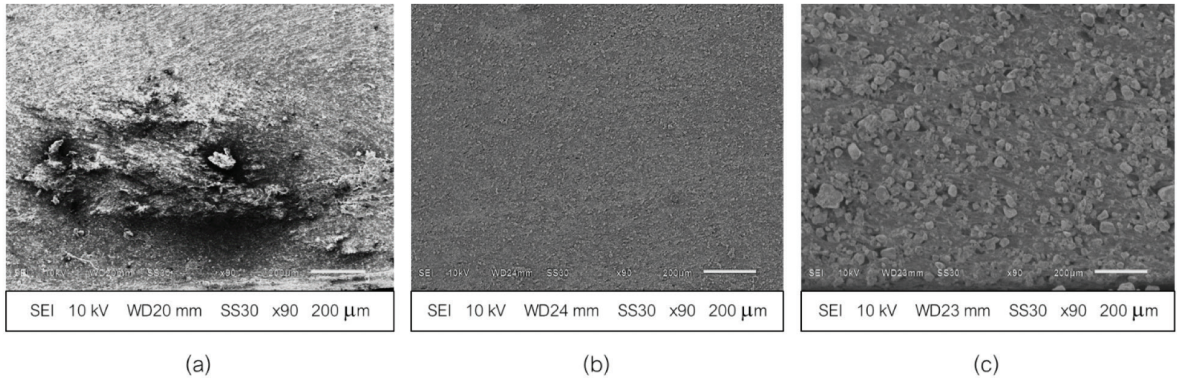


รูปที่ 10 สมบัติการป้องกันรังสีแกมมาของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีที่เติม
(a) ตะกั่วออกไซด์ (b) ทังสเตนออกไซด์ และเปรียบเทียบกับชุดป้องกันรังสีทางการค้าที่ทำจากยางสังเคราะห์

เมื่อพิจารณาผลของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อการลดทอนรังสีของแผ่นยาง เนื่องจากมีสูตรยางบางสูตรที่มีการแปรปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า สูตร RP00 ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 100 phr แต่ไม่ได้เติมสารป้องกันรังสี มีค่าการลดทอนรังสีเล็กน้อย (แสดงค่าการลดทอนรังสีของแผ่นยางสูตร RP00 ดังรูปที่ 8 9 และ 10) เมื่อเทียบกับสูตรที่เติมสารป้องกันรังสีที่เพิ่มขึ้น ซึ่งถือว่าแคลเซียมคาร์บอเนตอาจมีผลต่อการป้องกันรังสีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3.3 การกระจายตัวของสารป้องกันรังสีในเนื้อยาง

การกระจายตัวของสารป้องกันรังสีในเนื้อยางเป็นอีกหนึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการป้องกันรังสีของแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสี การกระจายตัวที่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นยางส่งผลให้การป้องกันรังสีดีขึ้นอย่างชัดเจน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 90 เท่า เพื่อพิสูจน์แสดงการกระจายตัวของสารป้องกันรังสีในแผ่นยางป้องกันรังสีที่เติมโบรอนออกไซด์ (PNBo5) ตะกั่วออกไซด์ (PXGL70) และทังสเตนออกไซด์ (PXGT70) ภาพถ่าย SEM (รูปที่ 9) แสดงให้เห็นการกระจายตัวของตะกั่วออกไซด์ (b) และทังสเตนออกไซด์ (c) เป็นไปอย่างสม่ำเสมอในเนื้อยาง ถึงแม้อนุภาคของทังสเตนจะมีขนาดใหญ่กว่าตะกั่วออกไซด์ก็ตาม แต่ยังกระจายตัวได้ดีในเนื้อยาง ส่วนอนุภาคของโบรอนออกไซด์ (a) มีขนาดใหญ่ และจับตัวเป็นก้อน ไม่แตกกระจายทั่วแผ่นยาง ผลการถ่ายภาพ SEM ทำให้สันนิษฐานได้ว่าเป็นสาเหตุทำให้ แผ่นยางที่เติมโบรอนออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้การผสมของโบรอนออกไซด์กับยางเกิดขี้เถ้าและทำให้เกิดมีเกล็ดสีขาวเล็ก ๆ ทั่วทั้งแผ่นเมื่อขึ้นรูป



รูปที่ 11 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 90 เท่า แสดงการกระจายตัวของสารป้องกันรังสีในแผ่นยางสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีที่เดิม
(a) โบรอนออกไซด์-สูตร PNB05 (b) ตะกั่วออกไซด์-สูตร PXGL70 (c) ทังสเตนออกไซด์-สูตร PXGT70

3.4 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของสูตรยางที่ดีที่สุดจากงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์ชุดป้องกันรังสีทางการค้า

ส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบผลของสมบัติทางกายภาพของสูตรยางที่ดีที่สุดจากงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์ชุดป้องกันรังสีทางการค้า แสดงดังตารางที่ 7 พบว่า สมบัติทางกายภาพของความแข็งและความต้านแรงฉีกขาดของผลิตภัณฑ์ชุดป้องกันรังสีทางการค้า มีค่าที่มากกว่าสูตรจากงานวิจัย แต่สมบัติค่าความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดของสูตรจากงานวิจัยมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์ชุดป้องกันรังสีทางการค้า ยกเว้นค่าความต้านแรงดึงของสูตร PXGT70 ที่มีค่า 2.2 MPa ซึ่งถือว่าต่ำมากสำหรับการใช้งานจริง จึงต้องพิจารณาการเลือกสูตรนี้มาใช้ให้เหมาะสม สำหรับสมบัติของการบ่มเร่งด้วยความร้อน พบว่า สูตรยางจากงานวิจัยและผลิตภัณฑ์ชุดป้องกันรังสีทางการค้ามีค่าการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของสูตรยางจากงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์ชุดป้องกันรังสีทางการค้า

สมบัติ	สูตรยางจากงานวิจัย		ผลิตภัณฑ์ชุดป้องกันรังสีทางการค้า
	PXGL70	PXGT70	
ความหนาแน่น (g/cm ³)	3.33 ± 0.02	4.07 ± 0.02	4.55 ± 0.03
ความแข็ง (shore A)	38 ± 0.6	66 ± 0.3	85 ± 0.4
ความต้านแรงดึง (MPa)	7.9 ± 0.2	2.2 ± 0.1	5.5 ± 0.4
ความยืดเมื่อขาด (%)	630 ± 13.3	390 ± 25.4	212 ± 3.7
ความต้านแรงฉีกขาด (N/mm)	12.9 ± 0.8	13.5 ± 0.2	22.7 ± 3.3
การบ่มเร่ง ที่ 70 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง			
-ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A	-4	+1	-3
-ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลง, ร้อยละ	-4	-4	-1
-ความยืดเมื่อขาดเปลี่ยนแปลง, ร้อยละ	-1	-4	+2
-ความต้านแรงฉีกขาดเปลี่ยนแปลง, ร้อยละ	-2	-10	-8

4. สรุป (Conclusion)

แผ่นยางป้องกันรังสีสำหรับผลิตชุดป้องกันรังสีนิวตรอน รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาถูกพัฒนาขึ้นจากยางธรรมชาติผสมโบรอนออกไซด์สำหรับป้องกันรังสีนิวตรอน ตะกั่วออกไซด์และทังสเตนออกไซด์สำหรับป้องกันรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา โดยผลการศึกษาลักษณะสมบัติการป้องกันรังสีนิวตรอนจากต้นกำเนิดนิวตรอน ²⁴¹Am-Be (Americium-Beryllium) พบว่า ที่ความหนาเท่ากับ 2 mm แผ่นยางป้องกันรังสีสูตรที่เติมสารโบรอนออกไซด์ 40 phr สูตร BNBo5 ให้ค่าการลดทอนรังสีนิวตรอน ร้อยละ 18 ซึ่งดีกว่าวัสดุกำบังรังสีที่มีในท้องตลาดซึ่งทำมาจากพอลิเอทิลีน ที่ให้ค่าการลดทอนรังสีนิวตรอน ร้อยละ 11 แต่แผ่นยางที่เติมโบรอนออกไซด์ เมื่อขึ้นรูปแล้วตัวแผ่นยางเกิดเกล็ดสีขาวเล็ก ๆ ทั่วทั้งแผ่น ซึ่งสันนิษฐานจาก SEM ได้ว่าเกิดจากโบรอนออกไซด์ มีอนุภาคขนาดใหญ่ที่ไม่ผสมเข้ากับยางคอมพาวด์ และสมบัติทางกายภาพความต้านแรงดึงต่ำมาก แผ่นยางสูตรนี้จึงยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นชุดป้องกันรังสี งานวิจัยยังต้องพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมในการผสมโบรอนออกไซด์กับยางธรรมชาติต่อไป นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ศึกษาสมบัติการลดทอนรังสีเอกซ์ โดยใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ และศึกษาสมบัติการลดทอนรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีแกมมา ¹³⁷Cs พบว่าความสามารถในการป้องกันรังสีของแผ่นยางป้องกันรังสีเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณตะกั่วออกไซด์และทังสเตนออกไซด์ในแผ่นยางสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบค่าการลดทอนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมากับชุดป้องกันรังสีที่มีขายตามท้องตลาดที่ทำจากยางสังเคราะห์ พบว่า ค่าการลดทอนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาของสูตรที่เติมตะกั่วออกไซด์ 500 phr สูตร PXGL70 มีค่าการลดทอนรังสีร้อยละ 87 และ 8.8 ตามลำดับ และสูตรที่เติมทังสเตนออกไซด์ 900 phr สูตร PXGT70 มีค่าการลดทอนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาร้อยละ 85 และ 8.3 ตามลำดับซึ่งแผ่นยางทั้งสองสูตรมีค่าการลดทอนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาที่ดีกว่าชุดป้องกันรังสีที่มีขายตามท้องตลาดโดยค่าการลดทอนรังสีร้อยละ 84 และ 6.2 ตามลำดับ ที่ความหนาเท่ากับ 2 mm งานวิจัยได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของแผ่นยางป้องกันรังสี ได้แก่ ความแข็ง ความต้านแรงดึง ความยืดเมื่อขาด และความต้านแรงฉีกขาด พบว่า แผ่นยางป้องกันรังสี สูตร PXGL70 ที่มีปริมาณสารป้องกันรังสีสูงขึ้นจะมีค่าสมบัติทางกายภาพมีแนวโน้มลดลงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางที่ใช้ผลิตชุดป้องกันรังสีทางการค้า แต่แผ่นยางป้องกันรังสี สูตร PXGT70 สมบัติความต้านแรงดึงมีค่าต่ำมากจึงต้องพิจารณาการใช้งานอย่างเหมาะสมต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มยางและผลิตภัณฑ์ยาง กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และสนับสนุนการทำโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.) ที่ให้ความอนุเคราะห์การวัดสมบัติการป้องกันรังสีนิวตรอน รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาของแผ่นยางป้องกันรังสีจากงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] สมาคมโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. ความรู้เกี่ยวกับรังสีเบื้องต้น [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2566]. เข้าถึงจาก: <https://www.aoed.org/articles/2020/september/radiation/>

- [2] เกียรติศักดิ์ แสนบุญเรือง, เอกชัย วิมลมาลา, ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, กীরติกานต์ นิลยง. การผลิตแผ่นกำบังอนุภาคนิวตรอนและรังสีแกมมาจากวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติผสมผงซีลี้อยู่ไม้ ระยะที่ 2: รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม; 2560.
- [3] อรสา อ่อนจันทร์, นิชาภา บัวสุวรรณ. บล็อกยางกำบังนิวตรอนและรังสีแกมมาจากยางธรรมชาติ. *Bulletin of Applied Sciences*. 2017;6(6):80-87.
- [4] Picha R, Channuie J, Khaweerat S, Liamsuwan T, Promping J, Ratanatongchai W, et al. Gamma and neutron attenuation properties of barite-cement mixture. *J Phys: Conf Ser*. 2015;611:012002.
- [5] Kato M, Chida K, Munehisa M, Sato T, Inaba Y, Suzuki M, Zuguchi M, et al. Non-lead protective aprons for the protection of interventional radiology physicians from radiation exposure in clinical settings: An initial study. *Diagnostics*. 2021;11(9):1613.
- [6] Mori H, Koshida K, Ishigamori O, Matsubara K. Evaluation of the effectiveness of X-ray protective aprons in experimental and practical fields. *Radiol Phys Technol*. 2014;7(1):158–66.
- [7] Kim SC, Choi JR, Jeon BK. Physical analysis of the shielding capacity for a lightweight apron designed for shielding low intensity scattering X-rays. *Sci Rep*. 2016;1-7.
- [8] International Electrotechnical Commission (IEC). Protective devices against diagnostic medical X-radiation – Part 3: Protective clothing, eyewear and protective patient shields. IEC 61331-3:2014. London, UK: IEC; 2014.
- [9] Büermann L. Determination of lead equivalent values according to IEC 61331-1:2014—Report and short guidelines for testing laboratories. *J Instrum*. 2016;11:T09002. doi: 10.1088/1748-0221/11/09/T09002

การศึกษาเชิงปริมาณของสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าที่มีส่วนผสม ของเส้นใยธรรมชาติ ในประเทศไทย

Quantitative study of absorbable organic halides (AOX) residual in natural fiber-containing-fabric in Thailand

4

ชนกานต์ ชูชีพชื่นกมล¹, อรวรรณ พรหมสอน¹, ก่อพงศ์ หงษ์ศรี¹, อรพินท์ สุขยศ¹

Chanakarn Chucheechuenkamol¹, Orawan Promson¹, Korpong Hongsi¹, Orapin Sukyod¹

รับบทความ: 23 มิถุนายน 2566 แก้ไขบทความ: 1 กันยายน 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 29 กันยายน 2566

บทคัดย่อ

AOX เป็นสารประกอบที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างลิแกนด์ในเส้นใยธรรมชาติกับคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีนในกระบวนการฟอก สารประกอบนี้มีความเสถียรสูง สลายตัวยาก มีความเป็นพิษสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ ทำให้เกิดความเสียหายในระดับพันธุกรรมทั้งในมนุษย์และสัตว์ ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชและระบบต่อมไร้ท่อของสัตว์ การตรวจหาและลดปริมาณ AOX จึงเป็นประเด็นสำคัญ อุตสาหกรรมผ้าเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สามารถเกิดสารประกอบ AOX ได้จากขั้นตอนการฟอกผ้า ในหลายประเทศได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานขั้นต่ำของปริมาณสารประกอบ AOX ในผลิตภัณฑ์ผ้าและน้ำเสียจากโรงงานผลิตผ้า แต่ในประเทศไทยไม่ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานไว้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในตัวอย่างผ้าที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติที่เป็นที่นิยมใช้และมีขายทั่วไปในท้องตลาดภายในประเทศ จำนวน 6 ชนิด ประกอบด้วย ผ้าฝ้ายไม่ฟอก ผ้าฝ้ายฟอกขาว ผ้ายีนส์ฟอก ผ้าลินิน ผ้าป่านมัดสีลิน ผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ โดยใช้วิธีการสกัดสารด้วยซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย และหาปริมาณสารประกอบ AOX ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ISO 9562 จากการศึกษา พบว่า ผ้าทั้ง 6 ชนิด มีสารประกอบ AOX โดยผ้าฝ้ายฟอกขาวมีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างมากที่สุดเท่ากับ 56.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของผ้าแห้ง และผ้าฝ้ายผสมใยสังเคราะห์มีปริมาณสารประกอบ AOX น้อยที่สุดเท่ากับ 7.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของผ้าแห้ง เมื่อเทียบปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้ากับเกณฑ์ที่ Global Organic Textile Standard (GOTS) กำหนด พบว่า ปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าทั้ง 6 ชนิด มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผ้าแห้ง

คำสำคัญ: สารประกอบที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ สารประกอบ AOX การสกัดจากผ้า

¹ กองวัสดุวิศวกรรม ภาควิทยาศาสตร์บริการ

Abstract

AOX is a product from the reaction between lignin in plant fibers and chlorine or chlorine-containing compound which occurs during the bleaching process. This compound is stable, difficult to be broken down and could be accumulated in living things, which are resulted in gene damaging, irregular growing of plants and endocrine system of animals. The detection and reduction of residual AOX compound become an issue in textile industries, which is produced during the bleaching process. The limited amount of residual AOX compound on the fabric and factory wastewater are legally indicated in many countries, but not in Thailand. This research aims to study and collect the quantitative data of remaining AOX compound in six common natural fibers fabrics in Thailand, which are unbleached cotton, bleached cotton, bleached jeans, linen, muslin, and polyester-cotton blending. The water extraction was done using Soxhlet extraction and the amount of AOX compound was determined by following the ISO 9562 procedure. The study revealed that the bleached cotton contained the highest amount of remaining AOX compound, which was 56.34 milligrams per kilogram of dried sample. On the other hand, the polyester-cotton blending contained the lowest amount of remaining AOX compound, which was 7.73 milligrams per kilogram of dried sample. Compared to the criteria that stated in Global Organic Textile Standard (GOTS), which is supposed to not more than 5.00 milligrams per kilogram, the residual amount of AOX compound of all six fabrics is higher.

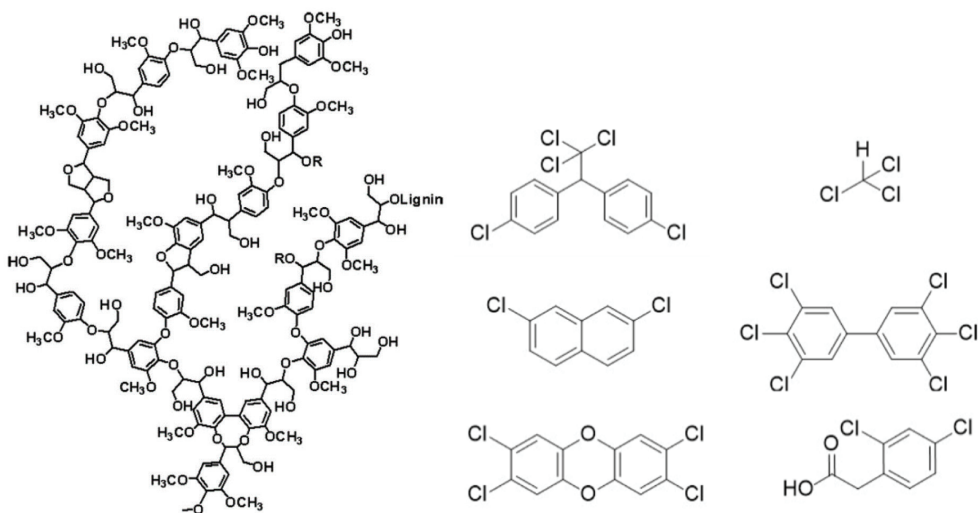
Keywords: Chlorine-containing compound, AOX compound, The fabric extraction

¹ Engineering Materials Division, Department of Science Service

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

1. บทนำ (Introduction)

AOX ย่อมาจาก Adsorbable organic halide หรือมีนิยามว่าผลรวมของปริมาณสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุ Halogen เป็นองค์ประกอบที่สามารถดูดซับบนถ่านกัมมันต์ได้ โดย AOX สามารถเกิดขึ้นโดยธรรมชาติและโดยกิจกรรมของมนุษย์ การเกิดขึ้นโดยธรรมชาติสามารถเกิดได้จากการเผาไหม้ ไฟป่า การระเบิดของภูเขาไฟ หรือเกิดจากการสังเคราะห์ของสิ่งมีชีวิตประเภทเห็ดรา สาหร่าย และไลเคนส์ แต่สารประกอบ AOX ที่เกิดโดยธรรมชาตินั้นมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับสารประกอบ AOX ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และโรงงานอุตสาหกรรม [1] โดยส่วนมาก สารประกอบ AOX ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมจะเกิดจากอุตสาหกรรมเยื่อและการฟอกเยื่อ โดยสารประกอบ AOX จะเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างลิกนินในเส้นใยธรรมชาติและคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีนในกระบวนการฟอก [2] ซึ่งโครงสร้างของสารประกอบ AOX จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของลิกนิน เนื่องจากลิกนินมีโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำให้โครงสร้างของสารประกอบ AOX ที่เกิดขึ้นมีความหลากหลายและแตกต่างกัน [2] สารประกอบ AOX ที่เกิดขึ้นนี้มีความเสถียรสูง สลายตัวยาก และสามารถคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติได้เป็นระยะเวลานาน ซึ่งคุณสมบัติของ AOX มีความเป็นพิษ สามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ ทำให้เกิดความเสียหายในระดับยีนทั้งในมนุษย์และสัตว์ และส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชและระบบต่อมไร้ท่อของสัตว์อีกด้วย [1-3]



รูปที่ 1 (ซ้าย) โครงสร้างของโมเลกุลลิกนิน (Lignoworks) และ (ขวา) โครงสร้างของสารประกอบ AOX ที่อาจเกิดขึ้นได้

ปัจจุบัน การปล่อยสารประกอบ AOX ออกสู่สิ่งแวดล้อมและธรรมชาติกำลังเพิ่มขึ้นจากอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษ และถูกพิจารณาว่าเป็นสารประกอบที่มีความอันตรายรุนแรงและเป็นมลพิษต่อแหล่งน้ำ [4] การตรวจหาและลดปริมาณ AOX จึงเป็นประเด็นสำคัญ ซึ่งประเทศไทยมีการกำหนดค่ามาตรฐานของ AOX ในกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ อ้างอิงจากข้อกำหนดฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย [5] พบว่า ผลิตภัณฑ์ประเภทกระดาษที่ได้รับสัญลักษณ์ฉลากเขียวจะต้องมีสารประกอบ AOX ตกค้างในผลิตภัณฑ์นั้นไม่เกิน 0.12 กิโลกรัมต่อตันน้ำหนักตัวอย่างแห้ง กลุ่มเส้นใยธรรมชาติ กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เป็นหน่วยงานในประเทศเพียงแห่งเดียวที่สามารถทดสอบ หาปริมาณสารประกอบ AOX ได้ทั้งในน้ำธรรมชาติ น้ำทิ้ง น้ำในบ่อบำบัด เยื่อกระดาษ กระดาษ ผลิตภัณฑ์กระดาษ ดิน และกากตะกอน และให้บริการทดสอบ แก่ภาคเอกชนและหน่วยงานอื่นๆ นอกจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษแล้ว ยังมีอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่มีโอกาส เกิดสารประกอบ AOX เนื่องจากในเส้นใยธรรมชาติจะมีลิกนินเป็นส่วนประกอบ ดังนั้น ในกระบวนการผลิตผ้า และสิ่งทอที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติ จะมีการใช้คลอรีนหรือสารประกอบคลอรีน ในขั้นตอนของ การฟอกและย้อมผ้าด้วยสีสังเคราะห์ [6] หรือแม้กระทั่งการใช้น้ำยาฟอกผ้าขาวหรือน้ำยาซักผ้าที่มีส่วนผสม ของสารฟอกขาวระหว่างซักผ้าเพื่อการขจัดคราบ เพื่อให้ผ้าขาวดูสว่างก็อาจทำให้เกิดสารประกอบคลอรีน ตกค้างในผลิตภัณฑ์ผ้าได้เช่นเดียวกัน [7]

ในต่างประเทศมีการกำหนดค่ามาตรฐานปริมาณสารประกอบ AOX ในผลิตภัณฑ์ผ้าและสิ่งทอ ดังแสดง ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานปริมาณสารประกอบ AOX ในผ้าและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

มาตรฐาน	ปริมาณสารประกอบ AOX ที่กำหนด
The bluesign® (เครื่องหมายการรับรองการใช้สารเคมีอย่างยั่งยืน), 2020 [8]	< 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
Global Organic Textile Standard (GOTS) หรือมาตรฐานวัสดุสิ่งทออินทรีย์, 2020 [9]	< 5 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม
สมาคมอุตสาหกรรมสิ่งทอธรรมชาตินานาชาติ หรือ IVN (ผู้ออกเครื่องหมายมาตรฐาน BEST) [10]	< ร้อยละ 1 ในสีย้อมสังเคราะห์และสีย้อมธรรมชาติ < 5 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม
ISOT หรือมาตรฐานสิ่งทออินทรีย์ของประเทศอินเดีย [11]	< 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม
คู่มือการบำบัดน้ำสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอของสวีเดน [12]	< 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีมีการกำหนดมาตรฐานค่าขั้นต่ำของปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้า งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา สํารวจ รวบรวมและเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้าง ในตัวอย่างผ้าชนิดต่าง ๆ จำนวน 6 ชนิด ที่เป็นที่ยอมรับและมีขายทั่วไปในท้องตลาดภายในประเทศ มีรายงานระบุว่า ชนิดของผ้าที่มีบทบาทและผู้คนนิยมใช้มากที่สุด ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าลินิน ผ้าฝ้ายผสม พอลิเอสเตอร์ ผ้าป่าน [13-14] งานวิจัยนี้อ้างอิง วิธีสกัดจาก GOTS และ ASTM D2257-98 จากนั้นจึง วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบ AOX ตามมาตรฐาน ISO 9562: 2004 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ใช้เป็นแนวทาง ในการพัฒนาและออกกฎข้อบังคับต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ผ้าภายใน ประเทศไทยต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 วัตถุดิบ

ตัวอย่างผ้า 6 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้ายไม่ฟอก จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชน จังหวัดอุบลราชธานี ผ้าฝ้ายฟอกขาว ผ้ายีนส์ฟอก ผ้าลินิน ผ้าป่านมัสลิน และ ผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ ซื้อมาจากร้านขายผ้า บริเวณพาหุรัด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างผ้าจำนวน 6 ชนิด

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

2.2.1 ชุดการสกัดสารประกอบ AOX จากผ้าด้วย Soxhlet ประกอบด้วย Soxhlet หอกกลั่น Thimbles ขวดกักเก็บ ขนาด 250 มิลลิลิตร และเตาให้ความร้อน

2.2.2 เครื่องทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX (AOX Analyzer) ยี่ห้อ TSHR BV รุ่น TX6000

2.2.3 เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AT400

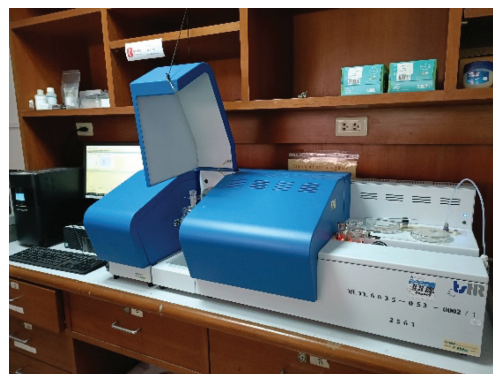
2.2.4 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UF160

2.2.5 ชุดการตรวจหาสารประกอบ AOX ได้แก่ ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตขนาด 100 มิลลิลิตร และ Quartz frit เบอร์ 4

2.2.6 ขวดปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร

2.2.7 กระดาษกรองเบอร์ 4

2.2.8 โถดูดความชื้น (Desiccator)



รูปที่ 3 เครื่องทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX ยี่ห้อ TSHR BV รุ่น TX6000

2.3 สารเคมี

2.3.1 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

2.3.2 สารละลายกรดไนตริก (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent (AR) grade) ความเข้มข้นร้อยละ 69.0 – 70.0 ยี่ห้อ J.T.Baker

2.3.3 สารละลายโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ความเข้มข้น 0.2 mol/L โดยเตรียมจาก โซเดียมไนเตรท (NaNO_3) เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent (AR) grade) ความบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.0 ยี่ห้อ Univar

2.3.4 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ยี่ห้อ Elemental Microanalysis

2.3.5 แก๊สไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.99

2.3.6 แก๊สออกซิเจน ความบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.6

2.4 วิธีดำเนินงาน

2.4.1 การสกัดสารประกอบ AOX จากตัวอย่างผ้า

การสกัดสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าจะสกัดด้วยวิธี Soxhlet ตามมาตรฐาน ASTM D2257-98 เริ่มจากเตรียมผ้าเป็นขนาดไม่เกิน 1x1 เซนติเมตร ให้ได้น้ำหนักของผ้ารวมกันมากกว่า 20 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที จากนั้นปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วจึงชั่งตัวอย่างผ้าผ่านการอบแล้ว ปริมาณ 10 ± 1 กรัม บรรจุลงใน Thimbles ที่อยู่ใน Soxhlet จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมและประกอบเข้ากับชุด Soxhlet และหอกลับ ดังแสดงในรูปที่ 4 ตั้งความร้อนจนเดือด ทำการสกัดตามจำนวนรอบที่ต้องการ แล้วเลือกจำนวนรอบที่มีค่าสารประกอบ AOX มากที่สุด โดยทำการสกัด 2 ชั่วโมง

เมื่อครบจำนวนรอบการสกัด ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำของเหลวที่ได้จากการสกัดมารองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปเก็บไว้ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 การกลั่นด้วยวิธี Soxhlet

2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ AOX ด้วยเครื่อง AOX Analyzer

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ AOX ตามมาตรฐาน ISO 9562: 2004 เริ่มจากนำสารละลายที่สกัดได้ในข้อ 2.4.1 มาปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 1.5-2.0 ด้วยสารละลายกรดไนตริก เตรียมขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 ขวด ซึ่งผงถ่านกัมมันต์ จำนวน 50 มิลลิกรัม ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเปิดสารละลายที่ปรับ pH แล้ว ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ และนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

นำตัวอย่างที่ผ่านการเขย่าแล้วไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบคอลัมน์โดยใช้ Quartz frit เป็นตัวกรองและใช้แก๊สไนโตรเจนในการอัดความดัน จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์อยู่บนถั่วกรอง ล้างถ่านกัมมันต์ที่กรองได้บน ถั่วกรองด้วยสารละลาย NaNO_3 เพื่อกำจัดสารประกอบอนินทรีย์ ดังนั้นบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะคงเหลือเพียงสารประกอบคลอไรด์ของสารอินทรีย์ (TOX, AOX) เท่านั้น หลังจากนั้นจึงนำถ่านกัมมันต์ที่อยู่บนถั่วกรองไปเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ขณะทำการเผาจะใช้แก๊สออกซิเจน

ทำให้สารอินทรีย์ทั้งหมดจะสลายไปและเหลือเพียงก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์และก๊าซแฮโลเจนอื่น ๆ (HCl, HX) ก๊าซที่ได้จะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดและสามารถหาปริมาณของคลอไรด์และแฮโลเจนทั้งหมดได้โดยการไทเทรตแบบคูโลมบ์เมตริก ค่าที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบจะมีหน่วยเป็น มิลลิคูโลมบ์ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบ AOX ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรหรือกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์ต่อไป

2.4.3 การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ AOX ในตัวอย่างผ้าทั้ง 6 ชนิด

ทำการสกัดโดยใช้จำนวนรอบและภาวะที่เหมาะสมตามข้อ 2.4.1 ดำเนินการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ AOX ตามขั้นตอนในข้อ 2.4.1 และ 2.4.2 ตามลำดับ

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 จำนวนรอบในการสกัด Soxhlet ต่อปริมาณสารประกอบ AOX ที่สกัดได้จากผ้าฝ้ายฟอกขาว

ในการสกัดสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าด้วยวิธี Soxhlet ด้วยน้ำปราศจากไอออน 1 รอบ จะใช้เวลาประมาณ 1.5-2 ชั่วโมง โดยตามมาตรฐาน ASTM D227-98 กำหนดให้สกัดอย่างน้อย 20 รอบ ใช้เวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 25 – 30 ชั่วโมง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมากและยากต่อการปฏิบัติการ สกัด จึงจำเป็นต้องหาจำนวนรอบที่เหมาะสมเพื่อลดเวลาในการสกัด โดยทดลองสกัดสารประกอบ AOX ที่ตกค้างจากตัวอย่างผ้าฝ้ายฟอกขาวซึ่งเป็นผ้าที่มีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างมากกว่าผ้าชนิดอื่น ๆ ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ AOX ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนรอบ Soxhlet ที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบ AOX ที่สกัดได้

จำนวนรอบการสกัด	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
ปริมาณสารประกอบ AOX (mg/L) การสกัดครั้งที่ 1	0.3791	0.4367	0.4967	0.5500	0.1533	0.2043	0.2508	0.1777	0.2763	0.1867
ปริมาณสารประกอบ AOX (mg/L) การสกัดครั้งที่ 2	0.1186	0.1366	0.2133	0.5767	0.1953	0.1592	0.2367	0.2223	0.1801	0.1560
ปริมาณสารประกอบ AOX (mg/L) การสกัดครั้งที่ 3	0.2036	0.2249	0.2340	0.5662	0.2093	0.1167	0.1711	0.2262	0.1765	0.1656

จากตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณสารประกอบ AOX ที่สกัดได้ในรอบการสกัดที่ 1 – 4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบและมีปริมาณมากที่สุดในรอบการสกัดที่ 4 จากนั้นค่าจะลดลงโดยไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนในรอบที่ 5 – 20 ดังนั้นการสกัดควรทำที่ 4 รอบ เพราะให้ค่าการสกัดสูงที่สุด และใช้เวลาต่อเนื่องประมาณ 6 – 7 ชั่วโมงในการสกัด โดยในงานวิจัยนี้จะทำการสกัดสารประกอบ AOX จากตัวอย่างผ้าทั้ง 6 ชนิด โดยใช้จำนวนรอบการสกัดที่ 4 รอบ

3.2 ปริมาณสารประกอบ AOX ในผ้าแต่ละชนิด

ในงานวิจัยนี้เลือกผ้าที่ผลิตมาจากเส้นใยธรรมชาติหรือมีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติที่มีขายและเป็นที่ยอมรับในตลาด จำนวน 6 ชนิด คือ ผ้าฝ้ายไม่ฟอก ผ้าฝ้ายฟอกขาว ผ้ายีนส์ฟอก ผ้าลินิน ผ้าป่านมัดสี และผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ และทำการสกัดจำนวน 4 รอบ โดยสารละลายที่ได้จากการสกัดแสดงในรูปที่ 5 และผลการทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX แสดงดังตารางที่ 3



รูปที่ 5 สารละลายหลังจากการสกัดด้วยวิธี Soxhlet จำนวน 4 รอบ

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าชนิดต่าง ๆ

ชนิดผ้า	ปริมาณสารประกอบ AOX ในสารละลายที่สกัดได้จากผ้า 10 กรัม (mg/L)	ปริมาณสารประกอบ AOX (kg/ton) (เทียบน้ำหนักแห้งของผ้า 1 ตัน)
ผ้าฝ้ายไม่ฟลอก	0.2026	0.0203
ผ้าฝ้ายฟลอกขาว	0.5648	0.0565
ผ้ายีนส์ฟลอก	0.1501	0.0150
ผ้าลินิน	0.2735	0.0274
ผ้าป่านมัสลิน	0.2327	0.0233
ผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์	0.0671	0.0067

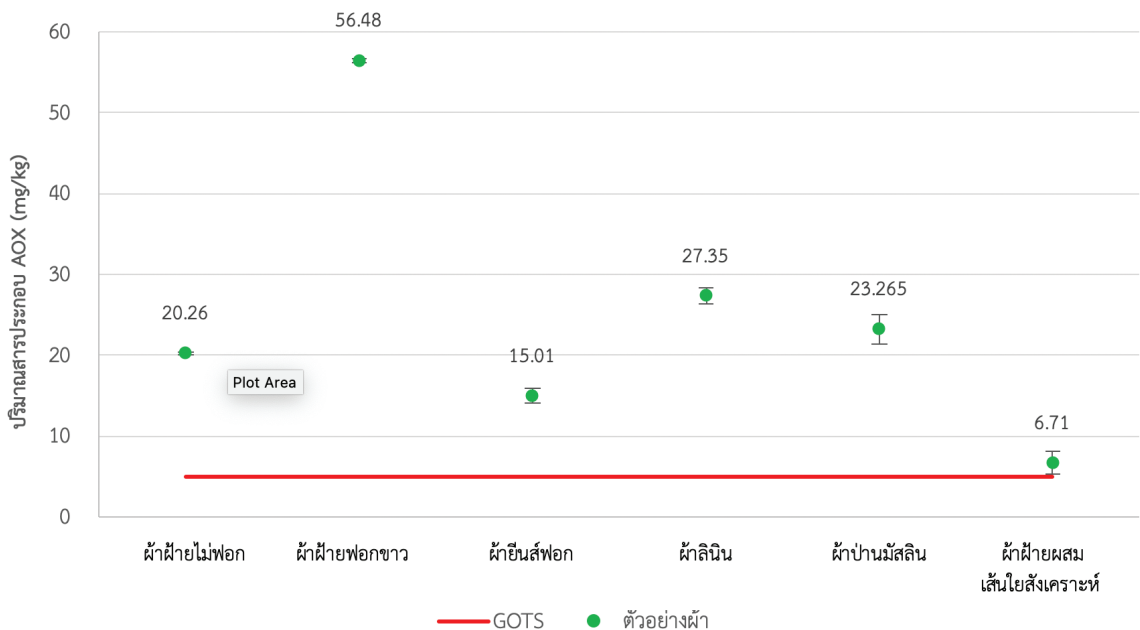
จากตารางที่ 3 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการฟลอกและผ้าฝ้ายฟลอกขาว พบว่า ผ้าฝ้ายฟลอกขาวมีปริมาณสารประกอบ AOX มากกว่า เนื่องจากในกระบวนการฟลอกผ้ามีการใช้สารเคมีที่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสารประกอบที่มีธาตุคลอรีนเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยากับลิกนินในเส้นใยผ้า เกิดเป็นสารประกอบ AOX และตกค้างในเส้นใยผ้า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการฟลอก และผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ พบว่า ผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์มีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างน้อยกว่า ซึ่งเกิดจากผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์มีปริมาณเส้นใยธรรมชาติน้อยกว่า ทำให้มีปริมาณลิกนินน้อยกว่า ดังนั้นโอกาสการเกิดปฏิกิริยาระหว่างลิกนินกับสารประกอบที่มีธาตุคลอรีนซึ่งทำให้เกิดสารประกอบ AOX ในขั้นตอนการฟลอกผ้าจึงมีน้อยกว่าด้วย

ในกรณีของผ้าลินิน พบว่า มีปริมาณ AOX ใกล้เคียงกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการฟลอก แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณลิกนินในเส้นใยฝ้ายและเส้นใยลินิน (เส้นใย Flax) มีรายงานว่าพบปริมาณลิกนินในเส้นใยลินินสูงกว่าปริมาณลิกนินในเส้นใยฝ้าย [15] ทั้งนี้ปริมาณสารประกอบ AOX ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการฟลอกขึ้นกับชนิดของสารเคมีที่นำมาฟลอกเส้นใยด้วย ในกรณีที่ใช้สารประกอบคลอรีนอื่น เช่น โซเดียมคลอไรต์ (NaClO_2) โอกาสในการเกิดสารประกอบ AOX จะน้อยกว่าการใช้คลอรีน (Cl_2) จึงทำให้ปริมาณสารประกอบ AOX ที่พบน้อยกว่า

ในกรณีของผ้ายีนส์ฟอก ซึ่งปัจจุบันผลิตจากผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมสีครามสังเคราะห์ (Synthetic indigo) ซึ่งผ้าย้อมที่ได้จะมีสีครามเข้มและจะนำไปฟอกเพื่อให้สีจางลง กลายเป็นผ้ายีนส์ที่มีสีแตกต่างกัน โดยปริมาณสารประกอบ AOX ที่วิเคราะห์ได้อาจสกัดได้จากสีย้อมของผ้ายีนส์ฟอกตัวอย่าง ซึ่งสีย้อมดังกล่าวมีส่วนประกอบของโครงสร้างฟีนอลิก (Phenolic) ในโมเลกุล ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวนี้สามารถแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (Free radicals) และสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีที่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบในระหว่างกระบวนการฟอกและเกิดเป็นสารประกอบ AOX ขึ้นได้

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ AOX ของตัวอย่างผ้ากับมาตรฐาน GOTS ที่กำหนดให้มีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างได้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ตัวอย่างผ้าทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณตกค้างมากกว่ามาตรฐานกำหนด ดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานฉลากเขียว ซึ่งได้กำหนดปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ ไม่เกิน 0.12 กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์ พบว่า ตัวอย่างผ้าทั้ง 6 ชนิด มีค่าไม่เกินค่าที่มาตรฐานฉลากเขียวกำหนด ดังแสดงในรูปที่ 7 ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพืชที่นำมาผลิตผ้า (ฝ้าย) และเส้นใยพืชที่นำมาผลิตกระดาษ (ยูคาลิปตัส) พบว่า เส้นใยฝ้ายมีปริมาณลิกนินประมาณร้อยละ 1 [16] ในขณะที่เส้นใยยูคาลิปตัสที่ใช้ในการผลิตกระดาษมีปริมาณลิกนินร้อยละ 27 [17] กล่าวคือ ลิกนินในผ้ามีปริมาณน้อยกว่าปริมาณลิกนินในเส้นใยกระดาษ ทำให้โอกาสการเกิดปฏิกิริยาของลิกนินกับสารประกอบที่มีธาตุคลอรีนเกิดเป็นสารประกอบ AOX ในขั้นตอนการฟอกน้อยตามไปด้วย

ปริมาณสารประกอบ AOX ในตัวอย่างผ้า เทียบกับค่าที่ GOTS กำหนด



รูปที่ 6 ปริมาณสารประกอบ AOX ในตัวอย่างผ้าเทียบกับค่าตามที่มาตรฐาน GOTS

4. สรุป (Conclusion)

การสกัดสารประกอบ AOX ที่ตกค้างอยู่บนผ้าฝ้ายฟอกขาวโดยวิธี Soxhlet และใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลาย พบว่า การสกัดจำนวน 4 รอบ จะสามารถสกัดสารประกอบ AOX ออกได้มากที่สุด และเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบ AOX ตามมาตรฐาน ISO 9562:2004 ที่ตกค้างในผ้า 6 ชนิด พบว่า ผ้าฝ้ายฟอกขาวมีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างมากที่สุด เท่ากับ 56.34 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแห้ง 1 กิโลกรัม ถัดมาคือ ผ้าลินิน ผ้าป่านมัสลิน ผ้าฝ้ายไม่ฟอก และผ้าเย็นส์ฟอก โดยมีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้าง เท่ากับ 26.6, 22, 20.16, 14.33 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแห้ง 1 กิโลกรัม ตามลำดับ และผ้าฝ้ายผสมเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์มีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างน้อยที่สุด เท่ากับ 7.73 มิลลิกรัมต่อตัวอย่างแห้ง 1 กิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณสารประกอบ AOX ที่กำหนดโดย GOTS พบว่า ปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในผ้าทั้ง 6 ชนิด มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ GOTS กำหนด

ทั้งนี้สารประกอบ AOX สัมพันธ์โดยตรงกับชนิดของสารฟอกขาวที่ใช้และปริมาณคลอรีนในเส้นใย การเลือกใช้สารฟอกขาวที่ไม่มีส่วนประกอบของคลอรีน เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จะส่งผลเสียกับสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าความแตกต่างระหว่างสารฟอกขาวแต่ละชนิดกับปริมาณสารประกอบ AOX ที่เกิดขึ้น จึงเป็นประเด็นในการศึกษาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชน (ผ้าป่าตัว) จังหวัดอุบลราชธานี สำหรับข้อมูลขั้นตอนการผลิตผ้าฝ้าย และเชื้อเพื่อวัตถุประสงค์สำหรับกิจกรรมวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Maria, WM, WiŚniowska E. Halogenated organic compounds in water and in wastewater. Civ Environ Eng Rep. 2019;29(4):236-47. doi: 10.2478/ceer-2019-0057.
- [2] Shi L, Ge J, Zhang F, Nie S, Qin C, Yao S. Difference in adsorbable organic halogen formation between phenolic and non-phenolic lignin model compounds in chlorine dioxide bleaching. R Soc Open Sci. 2019;6(10):191202. doi: 10.1098/rsos.191202.
- [3] Shi L, Ge J, Nie S, Qin C, Yao S. Effect of lignin structure on adsorbable organic halogens formation in chlorine dioxide bleaching. R Soc Open Sci. 2019;6(2):1-10. doi: 10.1098/rsos.182024
- [4] Yao S, Gao C, Jiang L, Nie S, Wang S, Qin C. Research on the formation mechanism of absorbable organic halogen during the alkali extraction stage of eucalyptus kraft pulp. J Biobased Mater Bioenergy [Internet]. 2017 [cited 2023 May 9];11(5):461-5. Available from: <https://doi.org/10.1166/jbmb.2017.1704>
- [5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว. ข้อกำหนดฉลากเขียวผลิตภัณฑ์กระดาษ: กระดาษพิมพ์และเขียน (Printing and writing paper). TGL-8/1-15. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม; 2558.

- [6] Leri AC, Anthony LN. Formation of organochlorine by-products in bleached laundry. *Chemosphere*. 2013;90(6):2041-9. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.10.088.
- [7] Leverette MM. 6 Chlorine bleach tips for better laundry results [Internet]. 2022 [cited 2023 May 9]. Available from: <https://www.thespruce.com/better-laundry-results-with-chlorine-bleach-2145786>
- [8] Bluesign Technology. Bluesign® criteria for production sites annex: textile manufacturer version. 3.0. Moevenstrasse: Bluesign technology; 2020 [cited 2023 May 9]. Available from: https://www.bluesign.com/downloads/criteria-2020/annex_textile_manufacturer_v3.0_2020-03.pdf
- [9] Global Standard gemeinnutzige GmbH. Global organic textile standard (GOTS) version 6.0 [Internet] 2020 [cited 2023 May 9]. Available from: https://global-standard.org/images/resource-library/documents/standard-and-manual/gots_version_6_0_en1.pdf
- [10] International Association of Natural Textile Industry. Naturtextil IVN certified BEST (IVN BEST) [Internet]. 2018 [cited 2023 May 9]. Available from: https://naturtextil.de/wp-content/uploads/2020/08/Richtlinie_IVN_Best_6_1_English_2018_08_01.pdf
- [11] Ministry of Commerce and Industry, Department of Commerce, National Programme for Organic Production. Indian standards for organic textiles (ISOT) [Internet]. [cited 2023 May 9]. Available from: https://www.apeda.gov.in/apedawebsite/organic/ISOT_Textiles_Standard.pdf
- [12] Sweden Textile Water Initiative. Guildelines for sustainable water use in the production and manufacturing processes of textiles [Internet]. 2014 [cited 2023 May 9]. Available from: <https://corporate.bjornborg.com/en/wp-content/uploads/sites/2/2016/07/Sweden-Textile-Water-Initiative-Guidelines.pdf>
- [13] 5 ชนิดที่มีบทบาทที่สุดในโลกของเสื้อผ้า [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 28 สิงหาคม 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.teppsimply.com/content/25717/5-ชนิดที่มีบทบาทที่สุดในโลกของเสื้อผ้า>
- [14] 7 ผ้าที่นิยมใช้ในงานแฟชั่น [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 28 สิงหาคม 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.winnaargarment.com/content/5505/7-ผ้าที่นิยมใช้ในงานแฟชั่น-summer>
- [15] Dehabadi L, Karoyo AH, Soleimani M, Alabi WO, Simonson CJ, Wilson LD. Flax biomass conversion via controlled oxidation: Facile tuning of physicochemical properties. *Bioeng* [Internet]. 2020 [cited 2023 May 9];7(2):38. Available from: <https://doi.org/10.3390/bioengineering7020038>
- [16] MacMillan C, Birke H, Bedon F, Pettolino F. Lignin deposition in cotton cells-Where is the lignin?. *J Plant Biochem Physiol* [Internet]. 2016 [cited 2023 May 9];1(2):1000e106. Available from: <https://doi.org/10.4172/2329-9029.1000e106>
- [17] Chen X, Zhang K, Xiao LP, Sun RC, Song G. Total utilization of lignin and carbohydrates in eucalyptus grandis: An integrated biorefinery strategy towards phenolics, levulinic acid, and furfural. *Biotechnol Biofuels* [Internet]. 2020 [cited 2023 May 9];13(2). Available from: <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1644-z>

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ที่สุ่มจากห้างสรรพสินค้าในกรุงเทพมหานคร และร้านค้าออนไลน์ Microbiological quality of dietary supplement products randomly collected from department stores in Bangkok and online shops

5

ธัญชา ผาติพงศ์¹, นริศรา ทศวงศ์¹, จารุณี เมฆสุวรรณ¹, อีระ ปานทิพย์อำพร¹, นพมาศ สะพู¹
Tanutcha Patipong¹, Naritsara Tatsawong¹, Jarunee Meksuwan¹, Theera Panthipamporn¹, Nopamart Sapoo¹
รับบทความ: 26 พฤษภาคม 2566 แก้ไขบทความ: 18 กันยายน 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 6 ตุลาคม 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีจำหน่ายโดยทั่วไป โดยมุ่งตรวจสอบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค 3 ชนิด คือ *Salmonella* spp. *Staphylococcus aureus* และ *Clostridium* spp. และจุลินทรีย์ที่เป็นดัชนีบ่งบอกถึงสุขอนามัยของกระบวนการผลิต คือ *Escherichia coli* จากการตรวจสอบ พบว่า ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารทั้งหมด 33 ตัวอย่าง ไม่มีการปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. *S. aureus* และ *E. coli* อย่างไรก็ตามพบการปนเปื้อนของ *Clostridium* spp. ในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจำนวน 5 ตัวอย่าง (ร้อยละ 15) การปนเปื้อนดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ไม่ได้คุณภาพ ตามมาตรฐานทางจุลชีววิทยาที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขและสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้

คำสำคัญ: คุณภาพทางจุลชีววิทยา ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร การปนเปื้อน

¹ กองผลิตภัณฑ์อาหารและวัสดุสัมผัสอาหาร กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Abstract

This research aimed to study the microbiological quality of commercially available dietary supplement products. The contamination of three pathogenic bacteria, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* and *Clostridium* spp., as well as an indicator of unhygienic manufacturing process, *Escherichia coli*, were investigated. The results showed that a total of 33 products did not contain *Salmonella* spp. *S. aureus* and *E. coli*. However, five products (15%) contaminated with *Clostridium* spp. were found. The contamination indicated the distribution of dietary supplement products which do not meet the microbiological standard according to Ministry of Public Health and Food and Drug Administration. These products may be the cause of adverse impacts to customer health.

Keywords: Microbiological quality, Dietary supplement product, Contamination

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

* Corresponding author e-mail address: tanutch@ds.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของสารอาหารหรือสารอื่นซึ่งมีประโยชน์ทางด้านการส่งเสริมสุขภาพ ซึ่งได้รับประทานนอกเหนือจากการรับประทานอาหารตามปกติโดยมิได้อยู่ในรูปแบบอาหารตามปกติ แต่อยู่ในรูปแบบเม็ด แคปซูล ผง เกล็ด ของเหลว หรือลักษณะอื่น ๆ [1] เนื่องจากกระแสด้านการดูแลสุขภาพได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้คนจำนวนมากหันมาสนใจบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารอย่างแพร่หลาย ส่งผลให้ธุรกิจผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันจึงมีผลิตภัณฑ์เสริมอาหารชนิดต่าง ๆ หลากหลายรูปแบบวางจำหน่ายโดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญที่ผู้ประกอบการและผู้บริโภคควรคำนึงถึง คือ คุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

การปนเปื้อนทางจุลชีววิทยาเป็นตัวชี้วัดหนึ่งซึ่งบ่งบอกถึงความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสามารถเกิดการปนเปื้อนได้จากวัตถุดิบ โดยเฉพาะวัตถุดิบที่มาจากพืช ซึ่งอาจมีการสัมผัสจุลินทรีย์ต่าง ๆ จากดิน น้ำ และอากาศตามธรรมชาติ โดยมีรายงานในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีองค์ประกอบของพืช รวมถึงวัตถุดิบจากพืชซึ่งใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารว่า พบการปนเปื้อนของแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในปริมาณสูงกว่า 105 CFU/g การปนเปื้อนของแบคทีเรียในวงศ์ Enterobacteriaceae ซึ่งเป็นแบคทีเรียประจำถิ่นในลำไส้ของคนและสัตว์ในปริมาณสูงกว่า 103 CFU/g อีกทั้งยังพบการปนเปื้อนของเชื้อราอีกด้วย [2] นอกจากนี้ การปนเปื้อนทางจุลชีววิทยายังสามารถเกิดจากกระบวนการผลิต การบรรจุ และการขนส่ง โดยอาจปนเปื้อนมากับวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงบรรจุภัณฑ์และบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดังกล่าว [3]

ในประเทศไทย ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเป็นอาหารที่มีการกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร [1] และประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) เรื่อง หลักฐานและเอกสารประกอบการยื่นขออนุญาตใช้ฉลากของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และคุณภาพหรือมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค [4] ซึ่งประกาศดังกล่าวครอบคลุมจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ได้แก่ *Salmonella* spp. *Staphylococcus aureus* และ *Clostridium* spp. รวมถึง *Escherichia coli* ซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกถึงสุขอนามัยของกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตาม ยังมีรายงานที่แสดงให้เห็นถึงการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ โดยพบการปนเปื้อนของ *E. coli* มากกว่า 3 ต่อผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร 1 กรัม โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น [5]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โดยสุ่มตรวจผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีจำหน่ายทั่วไปในห้างสรรพสินค้าในกรุงเทพมหานคร และร้านค้าออนไลน์ โดยมุ่งตรวจสอบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค 3 ชนิด คือ *Salmonella* spp. *S. aureus* และ *Clostridium* spp. และจุลินทรีย์ที่เป็นดัชนีบ่งบอกถึงสุขอนามัยของกระบวนการผลิต คือ *E. coli* เพื่อเป็นแนวทางบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหารประเภทต่าง ๆ ที่ได้จากการจัดซื้อจากห้างสรรพสินค้าในกรุงเทพมหานคร และร้านค้าออนไลน์ จำนวน 33 ตัวอย่าง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบหลักและวัตถุเจือปนอาหารบนฉลากของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในงานวิจัยนี้

ลำดับที่	ตัวอย่าง	ประเภท (สถานะ)	ส่วนประกอบหลัก	วัตถุเจือปนอาหาร	วันที่ผลิต
1	S01	ไฟเบอร์ (ผง)	ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ ไซเลียมฮัสค์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก), สารแต่งกลิ่นธรรมชาติ	1 ก.พ. 65
2	S02	ไฟเบอร์ (ผง)	อินูลิน ไซเลียมฮัสค์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส และ แล็กทิทอล), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก), สารป้องกันการจับเป็นก้อน (ซิลิกอนไดออกไซด์), สารเพิ่มปริมาณ (มอลโทเดกซ์ทรีน), สีสังเคราะห์, สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	16 มิ.ย. 64
3	S03	คอลลาเจน (ผง)	คอลลาเจนเปปไทด์ ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารแต่งกลิ่นสังเคราะห์	14 ก.พ. 65
4	S04	ไฟเบอร์ (ผง)	ไซเลียมฮัสค์ โพลีเด็กซ์โตรอส	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส)	4 มี.ค. 65
5	S05	คอลลาเจน (ผง)	คอลลาเจนเปปไทด์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (อิริทริทอล), สารเพิ่มปริมาณ (มอลโทเดกซ์ทรีน), สีธรรมชาติ, สีสังเคราะห์	1 ธ.ค. 64
6	S06	คอลลาเจน (ผง)	คอลลาเจนเปปไทด์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส และ แอซีซัลเฟมเค), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก), สารแต่งกลิ่น	11 ก.พ. 65
7	S07	คอลลาเจน (ผง)	คอลลาเจนเปปไทด์ อินูลิน	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดมาลิก), สีสังเคราะห์, สารแต่งกลิ่นรสเลียนธรรมชาติ	4 เม.ย. 65
8	S08	เครื่องดื่ม (ผง)	โพลีเด็กซ์โตรอส ผงโกโก้	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส และ แอซีซัลเฟมเค), สารป้องกันการจับเป็นก้อน (ซิลิกอนไดออกไซด์), สารเพิ่มปริมาณ (มอลโทเดกซ์ทรีน), สารทำให้คงตัว (ไฮดรอกซีโพรพิลสตาแรช), สารแต่งกลิ่นสังเคราะห์	26 ม.ค. 65*
9	S09	เครื่องดื่ม (ผง)	โพลีเด็กซ์โตรอส ผงกาแฟ ครีมเทียม	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส)	ม.ค. 65**
10	S10	ไฟเบอร์ (ผง)	ผงมะขาม ผงสาหร่ายคลอเรลลา ไซเลียมฮัสค์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก)	25 ก.พ. 65

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบหลักและวัตถุเจือปนอาหารบนฉลากของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในงานวิจัยนี้ (ต่อ)

ลำดับที่	ตัวอย่าง	ประเภท (สถานะ)	ส่วนประกอบหลัก	วัตถุเจือปนอาหาร	วันที่ผลิต
11	S11	ไฟเบอร์ (ผง)	ผงมะนาว ผงน้ำผึ้ง ไซเลียมฮัสค์ ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ ผงแอปเปิ้ล	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก)	25 ม.ค. 65
12	S12	คอลลาเจน (ผง)	คอลลาเจนเปปไทด์		23 เม.ย. 64
13	S13	วิตามินซี (เม็ด)	ซูโครส วิตามินซี	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส และ โซเดียมแซ็กคาริน), สารป้องกันการจับเป็นก้อน (แมกนีเซียมสเตียเรต และทาลคัม), สารให้ความชื้นเหนียว (โพลีไวนิลไพโรลิโดน), สีสังเคราะห์, สารแต่งกลิ่นสังเคราะห์	ไม่ระบุ
14	S14	วิตามินซี (เม็ด)	ซูโครส วิตามินซี	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส และ โซเดียมแซ็กคาริน), สารป้องกันการจับเป็นก้อน (แมกนีเซียมสเตียเรต และทาลคัม), สารให้ความชื้นเหนียว (โพลีไวนิลไพโรลิโดน), สีสังเคราะห์, สารแต่งกลิ่นสังเคราะห์	ไม่ระบุ
15	S15	เครื่องดื่ม (ของเหลว)	น้ำเสาวรสเข้มข้น	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ไซลิทอล และ สตีวียอลไกลโคไซด์), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดมาลิก), สารทำให้คงตัว (เพ็กทิน), สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	29 ก.ค. 64
16	S16	โอเมก้า 3 (ของเหลว)	น้ำมันปลา	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซอร์บิทอล ไซรัป), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก และ โพแทสเซียมซิเตรต), สารให้ความชื้นเหนียว (แซนแทนกัม), สารทำให้เกิดความชุ่มชื้น (กลีเซอรอล), สารกันเสีย (โซเดียมเบนโซเอต), สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	19 เม.ย. 65
17	S17	สารสกัด (ของเหลว)	โสมเกาหลีสกัด เห็ดหลินจือสกัด	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (มอลติทอล ไซรัป), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก และ โพแทสเซียมซิเตรต), สารทำให้คงตัว (แซนแทนกัม), สารกันเสีย (โซเดียมเบนโซเอต), สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	14 ก.ค. 64
18	S18	เครื่องดื่ม (ผง)	ผงชาเขียว ใยอาหารจากแอปเปิ้ล ผงน้ำมัน MCT	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (สตีวียอลไกลโคไซด์), สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	2 ธ.ค. 64
19	S19	เครื่องดื่ม (ผง)	ผงสตอเบอรี่ ผงน้ำมัน MCT	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (สตีวียอลไกลโคไซด์), สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	13 ธ.ค. 64
20	S20	เครื่องดื่ม (ผง)	ผงชาดำ ผงน้ำมัน MCT	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (สตีวียอลไกลโคไซด์), สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	13 ธ.ค. 64
21	S21	เครื่องดื่ม (ผง)	ผงโกโก้ ใยอาหารจากแอปเปิ้ล	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (สตีวียอลไกลโคไซด์), สารเพิ่มปริมาณ (มอลโทเดกซ์ทริน), สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	18 ม.ค. 65

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบหลักและวัตถุดิบอาหารบนฉลากของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในงานวิจัยนี้ (ต่อ)

ลำดับที่	ตัวอย่าง	ประเภท (สถานะ)	ส่วนประกอบหลัก	วัตถุดิบอาหาร	วันที่ผลิต
22	S22	เครื่องดื่ม (ผง)	ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ อินูลิน	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (สตีวียอลไกลโคไซด์), สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	21 ม.ค. 65
23	S23	คอลลาเจน (ผง)	คอลลาเจนเปปไทด์	-	3 พ.ค. 65
24	S24	ไฟเบอร์ (ผง)	ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ ไฮเลียมฮัสค์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก), สีส้มแครอท, สารแต่งกลิ่นรสเลียนธรรมชาติ	3 พ.ค. 65
25	S25	คอลลาเจน (ผง)	คอลลาเจนเปปไทด์ ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดมาลิก), สารเพิ่มปริมาณ (มอลโทเดกซ์ทริน), สารแต่งกลิ่นธรรมชาติ, สารแต่งกลิ่นสังเคราะห์	20 ธ.ค. 64
26	S26	ไฟเบอร์ (ผง)	ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ อินูลิน ไฮเลียมฮัสค์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (สตีวียอลไกลโคไซด์)	29 เม.ย. 65
27	S27	คอลลาเจน (ผง)	คอลลาเจนเปปไทด์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส และ ไอโซมอลต์), สารเพิ่มปริมาณ (มอลโทเดกซ์ทริน), สีส้มแครอท, สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	22 ต.ค. 64
28	S28	คอลลาเจน (ผง)	คอลลาเจนเปปไทด์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส และ มัลติตอล), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก), สารเพิ่มปริมาณ (มอลโทเดกซ์ทริน), สีส้มแครอท, สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	15 ก.พ. 64
29	S29	ไฟเบอร์ (ผง)	ใยอาหารจากข้าวสาลี ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก), สารป้องกันการจับเป็นก้อน (ซิลิกอนไดออกไซด์), สีส้มแครอท, สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	14 ม.ค. 65
30	S30	คอลลาเจน (ผง)	คอลลาเจนเปปไทด์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก), สารเพิ่มปริมาณ (มอลโทเดกซ์ทริน), สีส้มแครอท, สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	8 ก.ย. 63
31	S31	เวย์โปรตีน (ผง)	เวย์โปรตีน	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	14 ธ.ค. 64
32	S32	ไฟเบอร์ (ผง)	ใยอาหารจากแอปเปิ้ล ผงมะขาม ผงสับประรด ไฮเลียมฮัสค์	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารควบคุมความเป็นกรด (กรดซิตริก), สีส้มแครอท, สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	12 ก.พ. 65
33	S33	ไฟเบอร์ (ผง)	ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ อินูลิน ไคโตซาน	สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (ซูคราโลส), สารเพิ่มปริมาณ (โพลีเดกซ์โตรส), สีส้มแครอท, สารแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ	1 ก.ค. 65

* พบการขาดทำลายที่ผิวของกล่องบรรจุในตำแหน่งที่ระบุ LOT

** พบการขาดทำลายที่ผิวของกล่องบรรจุในตำแหน่งที่ระบุวันที่ผลิต วันที่หมดอายุ และครั้งที่ผลิต (Batch No.)

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.2.1 AnaeroGen™ 2.5 L (Thermo Scientific, US)
- 2.2.2 Dry anaerobic indicator strips (BD, US)
- 2.2.3 กล้องจุลทรรศน์ (Olympus, Japan)
- 2.2.4 เครื่องควบคุมการดูดจ่ายสารละลาย (Pipette aid) (Thermo Scientific, US)
- 2.2.5 เครื่องชั่ง (Sartorius, Germany)
- 2.2.6 เครื่องบด และโถแก้วสำหรับใช้กับเครื่องบด (Waring Commercial, US)
- 2.2.7 จานเพาะเชื้อพลาสติก (Thermo Scientific, US)
- 2.2.8 ตู้ชีวนิรภัย (Biological safety cabinet) (Astec, UK)
- 2.2.9 ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ (Binder, Germany)
- 2.2.10 ถังปลอดเชื้อ (Nasco Whirl-Pak, US)
- 2.2.11 โถบ่มไร้ออกซิเจน (Anaerobic jar) (Oxoid, UK)
- 2.2.12 ปีเปตต์ (Falcon, US)
- 2.2.13 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Julabo, Germany)

2.3 สารเคมี

- 2.3.1 Baird-parker agar (BPA) base (Oxoid, UK)
- 2.3.2 Barrit's reagent (Scharlau, Spain)
- 2.3.3 Brain heart infusion (BHI) broth (Oxoid, UK)
- 2.3.4 Buffered peptone water (BPW) (Oxoid, UK)
- 2.3.5 Coagulase plasma (rabbit) with EDTA (BD, US)
- 2.3.6 Columbia agar (Merck, Germany)
- 2.3.7 EC broth (Oxoid, UK)
- 2.3.8 Egg yolk-tellurite emulsion (Oxoid, UK)
- 2.3.9 Gentamicin (PanReac AppliChem, Germany)
- 2.3.10 Gram stain reagents (Clinag, Thailand)
- 2.3.11 Hektoen enteric (HE) agar (Oxoid, UK)
- 2.3.12 Hydrogen peroxide (H₂O₂) (Merck, Germany)
- 2.3.13 Iodine (Merck, Germany)
- 2.3.14 Koser's citrate broth (HiMedia, India)
- 2.3.15 Kovacs' reagent (Scharlau, Spain)
- 2.3.16 Lauryl tryptose (LST) broth (Oxoid, UK)
- 2.3.17 Levine's eosin-methylene blue (L-EMB) agar (Oxoid, UK)
- 2.3.18 L-Lysine decarboxylation medium (HiMedia, India)
- 2.3.19 Methyl red (Scharlau, Spain)

- 2.3.20 MR-VP broth (HiMedia, India)
- 2.3.21 Muller-Kauffmann tetrathionate-novobiocin (MKTn) broth (Oxoid, UK)
- 2.3.22 Nutrient agar (NA) (Oxoid, UK)
- 2.3.23 O'Meara's reagent (Scharlau, Spain)
- 2.3.24 Plate count agar (PCA) (Oxoid, UK)
- 2.3.25 Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4) (Merck, Germany)
- 2.3.26 Rappaport-Vassiliadis medium with soya (RVS broth) (Oxoid, UK)
- 2.3.27 Reinforced medium for clostridia (Oxoid, UK)
- 2.3.28 *Salmonella* O polyvalent antisera (Clinag, Thailand)
- 2.3.29 *Salmonella* H antisera (Clinag, Thailand)
- 2.3.30 Sodium chloride (NaCl) (Oxoid, UK)
- 2.3.31 Sodium hydroxide (NaOH) (Merck, Germany)
- 2.3.32 Thioglycollate medium (Oxoid, UK)
- 2.3.33 Triple sugar/iron (TSI) agar (Oxoid, UK)
- 2.3.34 Tryptic soy broth (TSB) (Merck, Germany)
- 2.3.35 Tryptone (Oxoid, UK)
- 2.3.36 Tryptone soya agar (TSA) (Oxoid, UK)
- 2.3.37 Urea 40% (Oxoid, UK)
- 2.3.38 Urea agar base (Oxoid, UK)
- 2.3.39 Xylose lysine deoxycholate (XLD) agar (Oxoid, UK)

2.4 วิธีดำเนินงาน

2.4.1 การเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

สุ่มตัวอย่างปริมาณ 100 กรัม ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันในถุงปลอดเชื้อ กรณีที่ตัวอย่างมีลักษณะเป็นเม็ดจะทำการสับซึ่งตัวอย่างปริมาณ 100 กรัม ลงในโถแก้วที่ทำให้ปลอดเชื้อด้วยหมอนึ่งความดันไอล้างขวดให้ละเอียดจนเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องบด

2.4.2 การตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

2.4.2.1 การตรวจสอบ *Salmonella* spp.

ตรวจสอบ *Salmonella* spp. ด้วยวิธีมาตรฐาน ISO 6579 : 2017 [6] โดยชั่งตัวอย่างปริมาณ 25 กรัม ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Buffered peptone water (BPW) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ± 2 ชั่วโมง ถ่ายเชื้อปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Rappaport-Vassiliadis medium with soya (RVS broth) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 41.5 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 3 ชั่วโมง และถ่ายเชื้อปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Muller-Kauffmann tetrathionate-novobiocin (MKTn) broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 3 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อจากอาหารทั้งสองชนิดปริมาณ 1 ลูบ ขีดลงบนอาหาร

เลี้ยงเชื้อ Xylose lysine deoxycholate (XLD) agar และอาหารเลี้ยงเชื้อ Hektoen enteric (HE) agar บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 3 ชั่วโมง สังเกตโคโลนีสีแดง มีหรือไม่มีจุดดำตรงกลาง โคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ XLD agar และ/หรือ โคโลนีสีเขียวเข้มออกดำเช่นเดียวกับสีอาหารบนอาหารเลี้ยงเชื้อ HE agar แล้วเลือกโคโลนีที่มีลักษณะเฉพาะดังกล่าวขีดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar (NA) และบ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 3 ชั่วโมง เพื่อรอการตรวจยืนยัน

การตรวจยืนยัน *Salmonella* spp. ประกอบด้วยการทดสอบทางชีวเคมีในอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 ชนิด ได้แก่

1) Triple sugar iron (TSI) agar

ถ่ายเชื้อจากอาหารเลี้ยงเชื้อ NA ขีดลงบนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ TSI agar slant และแทงลงในส่วนของอาหารเต็มหลอด (Butt) บ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 3 ชั่วโมง *Salmonella* ให้ผลบวก ซึ่งสังเกตได้จาก บริเวณผิวหน้า Slant มีสีแดง บริเวณก้นหลอดมีสีเหลือง มีแก๊สเกิดขึ้นและมีการสร้าง Hydrogen sulfide (H_2S) ซึ่งสังเกตได้จากสีดำที่เกิดขึ้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ

2) Urea agar

ถ่ายเชื้อจากอาหารเลี้ยงเชื้อ NA ขีดลงบนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ Urea agar slant บ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง *Salmonella* ให้ผลลบ คือ ไม่เกิดการเปลี่ยนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อ

3) L-Lysine decarboxylation medium

ถ่ายเชื้อจากอาหารเลี้ยงเชื้อ NA ลงใน L-Lysine decarboxylation medium โดยใช้หลอดหยด บ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 3 ชั่วโมง *Salmonella* ให้ผลบวก คือ อาหารเลี้ยงเชื้อขุ่นและมีสีม่วง

หากผลการทดสอบทางชีวเคมีในอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 3 ชนิดบ่งชี้ว่าเป็น *Salmonella* จะทำการทดสอบทางน้ำเหลืองวิทยา (Serological testing) ดังนี้

1) การทดสอบ Auto-agglutination

หยดสารละลาย Sodium chloride (NaCl) ที่ความเข้มข้น 0.85% โดยมวลต่อปริมาตร 1 หยด ลงบนสไลด์ เชื้อจากโคโลนีเดียวบนอาหารเลี้ยงเชื้อ NA กระจายลงในสารละลาย เหยียงสไลด์ กลับไปมาประมาณ 1 นาที หากเกิดการจับตัวเป็นเม็ด (Agglutination) แสดงว่าเกิด Auto-agglutination ซึ่งตัวอย่างนั้นจะไม่สามารถนำมาทดสอบทางน้ำเหลืองวิทยาได้ ส่วนตัวอย่างที่ไม่เกิด Auto-agglutination จะนำมาทดสอบ O-antigens และ H-antigens ต่อไป

2) การทดสอบ O-antigens

หยด *Salmonella* O polyvalent antisera 1 หยด ลงบนสไลด์ เชื้อจากโคโลนีเดียวบนอาหารเลี้ยงเชื้อ NA กระจายลงใน *Salmonella* O polyvalent antisera เหยียงสไลด์กลับไปมาประมาณ 1 นาที สังเกตการเกิด Agglutination

3) การทดสอบ H-antigens

หยด *Salmonella* H antisera 1 หยด ลงบนสไลด์ เชื้อจากโคโลนีเดียวบนอาหาร

เลี้ยงเชื้อ NA กระจายลงใน *Salmonella* H antisera เอียงสไลด์กลับไปมาประมาณ 1 นาที สังเกตการเกิด Agglutination *Salmonella* spp. ให้ผลการเกิด Agglutination ทั้งใน *Salmonella* O polyvalent antisera และ *Salmonella* H antisera

2.4.2.2 การตรวจสอบ *S. aureus*

ตรวจสอบ *S. aureus* ด้วยวิธีมาตรฐาน FDA BAM Online, 2016, Chapter 12 [7] โดยชั่งตัวอย่างปริมาณ 50 กรัม ลงในสารละลาย Butterfield's phosphate-buffered dilution water (PB) ปริมาตร 450 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน แล้วถ่ายสารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Baird-Parker agar (BPA) โดยแบ่งเป็น 0.3 มิลลิลิตร 2 จาน และ 0.4 มิลลิลิตร 1 จาน กระจายสารละลายให้ทั่วจานเพาะเชื้อด้วยเทคนิค spread plate บ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตโคโลนีสีเทาดำ ลักษณะ กลม นูน ผิวเรียบขึ้น มีบริเวณขุ่นรอบโคโลนี และมีบริเวณใสรอบนอกบริเวณขุ่นอีกชั้น เลือกลโคโลนีที่มีลักษณะเฉพาะดังกล่าวมาทำการทดสอบ coagulase โดยถ่ายเชื้อลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Brain heart infusion (BHI) broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วถ่ายเชื้อจากอาหารเลี้ยงเชื้อ BHI broth ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับ coagulase plasma (rabbit) with EDTA ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองปลอดเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สังเกตผลบวกของ *S. aureus* คือเกิดการแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ของสารในหลอดทดลอง

2.4.2.3 การตรวจสอบ *Clostridium* spp.

ตรวจสอบ *Clostridium* spp. ด้วยวิธีมาตรฐาน USP 42/NF 37 Volume 5, 2019, <2022> Microbiological procedures for absence of specified microorganisms-nutritional and dietary supplements [9] โดยชั่งตัวอย่างปริมาณ 10 กรัม ลงในสารละลาย PB ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน แบ่งสารละลายตัวอย่างปริมาตร 15 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองปลอดเชื้อแล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องโดยการแช่หลอดทดลองในน้ำ ถ่ายเชื้อจากสารละลายตัวอย่างที่ไม่ผ่านความร้อนปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Reinforced medium for Clostridia ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และถ่ายเชื้อจากสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Reinforced medium for Clostridia ปริมาตร 100 มิลลิลิตร บ่มที่สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อโดยขีดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Columbia agar ที่ผสมยาปฏิชีวนะ Gentamicin ที่ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร บ่มที่สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หากพบการเจริญของเชื้อ ให้ถ่ายเชื้อจากแต่ละโคโลนีที่แตกต่างกันโดยขีดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Columbia agar โคโลนีละ 2 จานเพาะเชื้อ เพื่อบ่มที่สภาวะที่มีแก๊สออกซิเจน และสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หากพบการเจริญของเชื้อ ให้ทำการย้อมแกรม และทดสอบเอนไซม์ Catalase โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ความเข้มข้น 3% (v/v) แล้วสังเกตการเกิดฟองแก๊ส ตัวอย่างที่สามารถเจริญได้ในสภาวะไร้ออกซิเจน ไม่เจริญในสภาวะที่มีแก๊สออกซิเจน ให้ผลแกรมบวก รูปร่างท่อน และให้ผลลบในการทดสอบเอนไซม์ Catalase ซึ่งจะไม่มีการเกิดฟองแก๊สเกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ จะถูกพิจารณาว่าพบ *Clostridium* spp.

2.4.2.4 การตรวจสอบ *E. coli*

ตรวจสอบ *E. coli* ด้วยวิธีมาตรฐาน FDA BAM Online, 2020, Chapter 4 [8] โดยชั่งตัวอย่างปริมาณ 50 กรัม ลงในสารละลาย PB ปริมาตร 450 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน จะได้ระดับความเจือจางที่ 10^{-1} ทำการเจือจางต่อไปในสารละลาย PB โดยเจือจาง 10 เท่า อย่างเป็นลำดับ (Serial dilution) ให้ได้ระดับความเจือจางที่ 10^{-2} และ 10^{-3} จากนั้นถ่ายตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl tryptose (LST) broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และมีหลอดดักแก๊สอยู่ภายใน โดยถ่ายตัวอย่างระดับความเจือจางละ 3 หลอด บ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 3 ชั่วโมง สังเกตความขุ่นและการเกิดแก๊สในหลอดดักแก๊ส

การตรวจยืนยัน *E. coli* ทำได้โดยถ่ายเชื้อจากหลอดที่ขุ่นและ/หรือเกิดแก๊สในหลอดดักแก๊ส 1 หลบ ลงในหลอดที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ EC broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และมีหลอดดักแก๊สอยู่ภายใน บ่มที่อุณหภูมิ 44.5 ± 0.2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง สังเกตความขุ่นและการเกิดแก๊สในหลอดดักแก๊ส

การตรวจสอบ *E. coli* ขั้นสมบูรณ์ทำได้โดยถ่ายเชื้อจากหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ EC broth ที่ขุ่นและ/หรือเกิดแก๊สในหลอดดักแก๊ส 1 หลบ ชีดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Levine's eosin-methylene blue (L-EMB) agar บ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตโคโลนีที่มีลักษณะแบนราบ มีสีดำตรงกลาง มีหรือไม่มีเงาโลหะ (Metallic sheen) ถ่ายเชื้อจากโคโลนีที่มีลักษณะดังกล่าวลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA) บ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการย้อมแกรม โคโลนีที่ให้ผล แกรมลบ รูปร่างท่อนสั้น จะถูกนำไปยืนยันการเกิดแก๊สในอาหาร LST broth อีกครั้ง โดยถ่ายเชื้อจากอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ลงในหลอดที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ LST broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และมีหลอดดักแก๊สอยู่ภายใน บ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง สังเกตความขุ่นและการเกิดแก๊สในหลอดดักแก๊ส และโคโลนีดังกล่าวจะถูกนำไปทดสอบปฏิกิริยา IMViC ดังนี้

1) Indole production

ถ่ายเชื้อจากอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptone broth บ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง ทดสอบ Indole โดยเติม Kovacs' reagent ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร *E. coli* ให้ผลบวกหรือผลลบ ซึ่งสังเกตได้จากการเกิดวงแหวนสีแดงหรือสีเหลืองที่ส่วนบนของอาหารเลี้ยงเชื้อตามลำดับ

2) Voges-Proskauer (VP)-reactive compounds

ถ่ายเชื้อจากอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MR-VP broth บ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง แล้วถ่ายเชื้อปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองเปล่า เติม Barrit's Reagent ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร และเติม O'Meara's Reagent ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง *E. coli* ให้ผลลบ ซึ่งสังเกตได้จากอาหารเลี้ยงเชื้อไม่เปลี่ยนสี

3) Methyl red-reactive compounds

บ่มเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อ MR-VP broth หลังจากทดสอบ VP-reactive compounds ต่อไปที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง แล้วเติมสารละลาย Methyl red 5 หยด *E. coli* ให้ผลบวก ซึ่งสังเกตได้จากอาหารเลี้ยงเชื้อเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดง

4) Citrate

ถ่ายเชื้อจากอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Koser's citrate broth บ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง *E. coli* ให้ผลลบ ซึ่งสังเกตได้จากอาหารเลี้ยงเชื้อไม่ขุ่น

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ได้จากการจัดซื้อจากห้างสรรพสินค้า และร้านค้าออนไลน์ จำนวน 33 ตัวอย่าง ซึ่งมีสถานะเป็นผงจำนวน 28 ตัวอย่าง เป็นเม็ดจำนวน 2 ตัวอย่าง และเป็นของเหลวจำนวน 3 ตัวอย่าง สามารถจัดประเภทโดยพิจารณาจากส่วนประกอบหลักได้เป็น 7 ประเภท ได้แก่ ไฟเบอร์จำนวน 10 ตัวอย่าง คอลลาเจนจำนวน 10 ตัวอย่าง เครื่องดื่มจำนวน 8 ตัวอย่าง วิตามินซีจำนวน 2 ตัวอย่าง โปรตีนเวย์จำนวน 1 ตัวอย่าง โอเมก้า 3 จำนวน 1 ตัวอย่าง และสารสกัดจำนวน 1 ตัวอย่าง (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร พบว่า มีสารบางชนิดที่เป็นส่วนประกอบหลักในหลายผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ ไชเลียมฮัสค์ คอลลาเจนเปปไทด์ และอินูลิน ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ และอินูลินจัดเป็นไฟเบอร์ที่ละลายน้ำได้ ซึ่งเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ แต่สามารถเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อร่างกายที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ได้ ให้ความหวานน้อย ไม่ให้พลังงาน และไม่ทำให้ฟันผุ [10] ไชเลียมฮัสค์เป็นเปลือกของเมล็ดพืช Psyllium หรือเทียนเกล็ดหอย (*Plantago ovata*) องค์ประกอบของไชเลียมฮัสค์เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ย่อยสลายในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ประเภทอะราบิโนไซแลน ซึ่งมีหน่วยย่อยเป็นน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลอะราบิโนสเป็นหลัก มีคุณสมบัติเป็นไฟเบอร์ที่ละลายน้ำได้ มีสมบัติในการเกิดเจล สามารถใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารโดยไม่ทำให้รสชาติเปลี่ยนไป [11] ส่วนคอลลาเจนเปปไทด์นั้นเป็นเปปไทด์สายสั้นที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนคอลลาเจน สามารถละลายน้ำได้ ถูกย่อยสลายและถูกดูดซึมได้ดีในร่างกายมนุษย์ รวมถึงมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและจุลินทรีย์ได้ โดยคุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับความยาวของสายเปปไทด์และกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในสายเปปไทด์ด้วย [12] นอกจากนี้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหารส่วนใหญ่ยังมีส่วนประกอบของวัตถุเจือปนอาหารชนิดต่าง ๆ เพื่อให้มีสี กลิ่น และรสชาติที่พึงประสงค์ ได้แก่ สารให้ความหวานแทนน้ำตาล สารควบคุมความเป็นกรด สารป้องกันการจับเป็นก้อน สารเพิ่มปริมาณ สารทำให้คงตัว สารให้ความข้นเหนียว สารทำให้เกิดความชุ่มชื้น สารกันเสีย สารแต่งกลิ่น สี รสชาติ และสีสังเคราะห์ (ตารางที่ 1) ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารส่วนใหญ่มักมีรสชาติหวานเพื่อให้เข้าถึงผู้บริโภคได้ง่าย อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำตาลที่ให้พลังงานตามปกติอาจไม่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ส่วนใหญ่เป็นผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและไม่ต้องการได้รับพลังงานจากอาหารที่รับประทาน ผู้ผลิตจึงมักใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลทดแทน โดยสารให้ความหวานแทน

น้ำตาลส่วนใหญ่ที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในงานวิจัยนี้คือซูคราโลส ซึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยการดัดแปลงโครงสร้างของน้ำตาลซูโครส มีความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครสถึง 600 เท่า เป็นสารที่ไม่ถูกย่อยในร่างกาย ไม่ให้พลังงาน และได้รับการยอมรับทั่วโลกว่าเป็นสารที่ปลอดภัยต่อร่างกาย [13]

จากการตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โดยตรวจสอบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ *Salmonella* spp. *S. aureus* *Clostridium* spp. และ *E. coli* ด้วยวิธีมาตรฐาน พบว่า ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารทั้ง 33 ตัวอย่าง ไม่มีการปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. *S. aureus* และ *E. coli* อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่พบการปนเปื้อนของ *Clostridium* spp. มีจำนวน 5 ตัวอย่าง ได้แก่ S08, S12, S28 S29 และ S31 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารประเภทเครื่องดื่ม คอลลาเจน คอลลาเจน ไฟเบอร์ และเวย์โปรตีน ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. *S. aureus* *Clostridium* spp. และ *E. coli* ในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร จำนวน 33 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ผลการตรวจสอบ			
	<i>Salmonella</i> spp. ใน 25 กรัม (พบ/ไม่พบ)	<i>S. aureus</i> ใน 0.1 กรัม (พบ/ไม่พบ)	<i>Clostridium</i> spp. ใน 0.1 กรัม (พบ/ไม่พบ)	<i>E. coli</i> (เอ็มพีเอ็น/กรัม)
S01	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S02	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S03	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S04	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S05	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S06	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S07	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S08	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	<3.0
S09	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S11	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	<3.0
S12	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S13	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S14	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S15	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S16	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S17	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S18	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S19	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0

ตารางที่ 2 การปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. *S. aureus* *Clostridium* spp. และ *E. coli* ในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร จำนวน 33 ตัวอย่าง (ต่อ)

ตัวอย่าง	ผลการตรวจสอบ			
	<i>Salmonella</i> spp. ใน 25 กรัม (พบ/ไม่พบ)	<i>S. aureus</i> ใน 0.1 กรัม (พบ/ไม่พบ)	<i>Clostridium</i> spp. ใน 0.1 กรัม (พบ/ไม่พบ)	<i>E. coli</i> (เอ็มพีเอ็น/กรัม)
S20	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S21	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S22	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S23	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S24	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S25	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S26	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S27	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S28	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	<3.0
S29	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	<3.0
S30	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S31	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	<3.0
S32	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0
S33	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	<3.0

คุณภาพหรือมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารได้ถูกกำหนดไว้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) เรื่อง หลักฐานและเอกสารประกอบการยื่นขออนุญาตใช้ฉลากของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และคุณภาพหรือมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งกำหนดไว้ว่า ตรวจพบ *E. coli* น้อยกว่า 3 ต่ออาหาร 1 กรัม โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (Most probable number) ในส่วนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ได้กำหนดไว้ว่า ตรวจไม่พบ *S. aureus* ต่ออาหาร 0.1 กรัม ตรวจไม่พบ *Clostridium* spp. ต่ออาหาร 0.1 กรัม และตรวจไม่พบ *Salmonella* spp. ต่ออาหาร 25 กรัม อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในงานวิจัยนี้จำนวน 33 ตัวอย่าง พบว่า มีผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจำนวน 5 ตัวอย่างที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจากพบ *Clostridium* spp. ต่ออาหาร 0.1 กรัม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 15 แบคทีเรียในสกุล *Clostridium* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปท่อน สร้างสปอร์ และไม่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิต มีรายงานประมาณ 180 สปีชีส์ บางสปีชีส์เป็นแบคทีเรียก่อโรค เช่น *C. perfringens* ซึ่งสามารถสร้างสารพิษได้หลายชนิด ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ *C. botulinum* ซึ่งสามารถสร้างสารพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบประสาท ทำให้เกิดอัมพาตได้ และ *C. difficile* ซึ่งทำให้ท้องเสียและติดเชื้อในลำไส้ใหญ่ [14-15] เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่พบการปนเปื้อนของ *Clostridium* spp. มีสถานะเป็นผง ซึ่งมีค่าแอดติวิตีของ

น้ำ (Water activity, aw) ต่ำ โดยต่ำกว่าระดับที่ *C. perfringens* และ *C. botulinum* สามารถเจริญได้ [16] จึงจัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเสี่ยงต่ำที่จะเกิดการปนเปื้อนของสารพิษที่ผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งสองชนิดดังกล่าว อย่างไรก็ตาม *Clostridium* เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ โดยสปอร์ของ *Clostridium* สามารถทนต่ออุณหภูมิ ความดัน รังสี เอนไซม์ และสารเคมี [15] ดังนั้น สปอร์ของ *Clostridium* จึงอาจปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ หรืออาจเกิดการปนเปื้อนในระหว่างกระบวนการผลิต และสามารถรอดชีวิตไปจนถึงผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ ดังนั้น ผู้ผลิตจึงควรตระหนักและให้ความสำคัญกับควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารอย่างเคร่งครัด โดยผู้ผลิตสามารถดำเนินการผลิตตามมาตรฐานการปฏิบัติสุขลักษณะที่ดี (Good hygiene practices (GHPs)) และสามารถใช้ระบบการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Hazard analysis and critical point (HACCP) system) ในการผลิตอาหาร เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจปนเปื้อนในอาหาร และสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภค

4. สรุป (Conclusion)

ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเป็นอาหารที่มีการกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานไว้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้สุ่มตรวจพบผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีคุณภาพทางจุลชีววิทยาไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยกระทรวงสาธารณสุขและสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา แสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงที่ผู้บริโภคอาจได้รับเมื่อบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเหล่านี้ โดยอาจก่อให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหารและเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) รหัสโครงการ 65FF01

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 122 ตอนพิเศษ 150 ง, 28 ธันวาคม 2548. 2-5.
- [2] Dlugaszewska J, Ratajczak M, Kaminska D, Gajeczka M. Are dietary supplements containing plant-derived ingredients safe microbiologically?. Saudi Pharm J. 2019;27(2):240-5.
- [3] Ratajczak M, Kaminska D, Swiatly-Blaskiewicz A, Matysiak J. Quality of dietary supplements containing plant-derived ingredients reconsidered by microbiological approach. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(18):6837.
- [4] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักฐานและเอกสารประกอบการยื่นขออนุญาตใช้ฉลากของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และคุณภาพหรือมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 123 ตอนพิเศษ 12 ง, 26 มกราคม 2549. 14-17.

- [5] นฤมล จำเริญ, ดาวิวรรณ เศรษฐธรรม. การปนเปื้อนจุลินทรีย์และมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่บริโภคในครัวเรือน กรณีศึกษาเทศบาลตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น. วารสารวิจัย มข. 2557;14:81-91.
- [6] International Organization for Standardization (ISO). Microbiology of the food chain – Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella* – Part 1: Detection of *Salmonella* spp.. ISO 6579-1:2017(E). Geneva, Switzerland: ISO; 2017.
- [7] U.S. Food and Drug Administration (FDA). Bacteriological analytical manual Chapter 12: *Staphylococcus aureus* [Internet]. 2016 [cited 2022 May 15]. Available from: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-12-staphylococcus-aureus>
- [8] U.S. Food and Drug Administration (FDA). Bacteriological analytical manual Chapter 4: enumeration of *Escherichia coli* and the coliform bacteria [Internet]. 2020 [cited 2022 May 15]. Available from: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria>
- [9] United States Pharmacopeia (USP). <2022> Microbiological procedures for absence of specified microorganisms-nutritional and dietary supplements. USP 42/NF 37 Vol. 5. Rockville, Maryland: United States Pharmacopeia; 2019. p. 9057-749.
- [10] Sabater-Molina M, Larqué E, Torrella F, Zamora S. Dietary fructooligosaccharides and potential benefits on health. J Physiol Biochem. 2009;65(3):315-28.
- [11] Franco EAN, Sanches-Silva A, Ribeiro-Santos R, de Melo NR. Psyllium (*Plantago ovata* Forsk): from evidence of health benefits to its food application. Trends Food Sci Technol. 2020;96(1):166-75.
- [12] León-López A, Morales-Peñaloza A, Martínez-Juárez VM, Vargas-Torres A, Zeugolis DI, Aguirre-Álvarez G. Hydrolyzed collagen—Sources and applications. Molecules. 2019;24(22):4031.
- [13] Magnuson BA, Roberts A, Nestmann ER. Critical review of the current literature on the safety of sucralose. Food Chem Toxicol. 2017;106(Pt A):324-55.
- [14] Dürre P. Physiology and sporulation in *Clostridium*. Microbiol Spectr. 2014;2(4):1-14.
- [15] Shen A, Edwards AN, Sarker MR, Paredes-Sabja D. Sporulation and germination in clostridial pathogens. Microbiol Spectr. 2019;7(6):1-47.
- [16] Tapia MS, Alzamora SM, Chirife, J. Effects of water activity (aw) on microbial stability: as a hurdle in food preservation. In: Barbosa-Cánovas GV, Fontana AJ, Schmidt SJ, Labuza TP, editors. Water activity in foods. Iowa: Blackwell Publishing; 2007. p. 323-55.

การทดสอบสมรรถนะอุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์ แบบหมวกคลุมศีรษะที่พัฒนาขึ้นภายในประเทศสำหรับใช้ใน สถานการณ์การแพร่ระบาดโคโรนาไวรัส 2019 ในประเทศไทย

The performance test of domestically-built powered
air purifying respirator with hood (PAPR), during
the pandemic of COVID-19 in Thailand

6

สุริยา สุริยพอร์¹, เอการัต มีชูวาศ¹, กรรธรรม สติรกุล¹, กนิษฐ์ ตะปะสา¹, พงศธร ชมดี²

Surisa Suriyoporn¹, Ekarat Meechoowas¹, Korntham Sathirakul¹, Kanit Tapasa¹, Pongsathorn Chomdee²

รับบทความ: 5 กรกฎาคม 2566 แก้ไขบทความ: 28 กันยายน 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 20 ตุลาคม 2566

บทคัดย่อ

วิกฤตการณ์แพร่ระบาดโคโรนาไวรัส 2019 (COVID-19) ในประเทศไทย เมื่อต้นปี 2563 ทำให้เห็นว่า ชุดป้องกันส่วนบุคคล (Personal protective equipment, PPE) มีความสำคัญมากกับบุคลากรทางการแพทย์ โดยเฉพาะอุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์ หรือ PAPR ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่บุคลากรทางการแพทย์ใช้ป้องกันการติดเชื้อจากผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในสถานการณ์ที่ไม่สามารถจัดหาอุปกรณ์ PAPR ได้เพียงพอต่อความต้องการ ได้มีหลายหน่วยงานพัฒนา PAPR เป็นการเร่งด่วน เพื่อให้บุคลากรทางการแพทย์มีความเชื่อมั่นสูงสุดในความปลอดภัยของอุปกรณ์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ จึงจัดทำข้อกำหนดคุณลักษณะ/มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และพัฒนาห้องปฏิบัติการทดสอบ โดยได้นำผลการประเมินความเสี่ยงจากบุคลากรทางการแพทย์มาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์ 3 รายการสำคัญ ได้แก่ 1. การรั่วซึมเข้าสู่ภายใน (Total inward leakage) 2. แหล่งจ่ายอากาศ (Air supply) และ 3. ความต้านทานการหายใจ (Breathing resistance)

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้เป็นการทดสอบสมรรถนะทั้ง 3 ด้านข้างต้นของอุปกรณ์ PAPR ที่ผลิตในประเทศไทยในช่วงที่ประเทศไทยขาดแคลนอุปกรณ์ PPE ในช่วงการแพร่ระบาดโคโรนาไวรัส 2019 ว่าเป็นตามที่เกณฑ์กำหนดหรือไม่ และเปรียบเทียบกับ PAPR ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ผลการทดสอบ พบว่า อุปกรณ์ PAPR ที่ผลิตในประเทศ มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับตัวอย่างอ้างอิงที่นำเข้าจากต่างประเทศ และมีความสามารถในการนำไปใช้ในการปฏิบัติงานของบุคลากรทางการแพทย์ในพื้นที่ที่มีการแพร่ระบาดของโรคติดต่อทางเดินหายใจได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: อุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์ โคโรนาไวรัส 2019 ชุดป้องกันส่วนบุคคล

¹ กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

² วิทยาลัยพัฒนาชุมชนเมือง มหาวิทยาลัยนวมินทราชิต

Abstract

During the epidemic of COVID-19 in Thailand at the beginning of 2020, personal protective equipment (PPE) was crucial for medical staff, especially, power air purifying respirators (PAPR). PAPR is an effective PPE for medical staff used to protect themselves when dealing with COVID-19 patients. In the situation of lacking PPE for the medical staff in Thailand at that time, many domestic developers built PAPRs for urgent use to support the medical staff. Therefore, to ensure safety and gain confidence in the domestically built PAPR, there was an attempt to develop the specifications and standards to ensure the safety of the products and set up the testing facilities. The risk assessment was undertaken by interviewing some invited medical staff in a focus group and resulted in setting up facilities for testing three important parameters, namely, Total inward leakage, Air supply, and Breathing resistance.

This study aimed to evaluate the performance of the domestically built PAPR in terms of the three parameters above and to compare it with the commercially imported PAPRs. The results exhibited that the performance of the domestically built PAPR was equivalent to the commercially imported ones. Thus, it was promised that the domestically built PAPR could be used in the event of a pandemic.

Keywords: PAPR, COVID-19, PPE

¹ Engineering Materials Division, Department of Science Service

² Urban Community Development College, Navamindradhiraj University

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

1. บทนำ (Introduction)

จากการระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทั่วโลก มีประชากรติดเชื้อเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก และเป็นโรคที่มีอัตราการเสียชีวิตสูง โดยเฉพาะกับผู้ที่มีการป่วยเรื้อรัง และผู้สูงอายุ ทำให้ทุกประเทศทั่วโลกต้องทำการระดมทรัพยากรทางการแพทย์เพื่อรับมือกับจำนวนผู้ป่วยที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้อุปกรณ์ที่จำเป็นในการป้องกันการติดเชื้อสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ขาดแคลนอย่างมาก ทั้งหน้ากากทางการแพทย์ชนิด N99 และ N95 ชุดป้องกันการติดเชื้อ (Personal protective equipment, PPE) และอุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์ (Power air purifying respirators (PAPR)) ซึ่งสินค้าดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานสูง มีผู้ผลิตที่ได้รับการยอมรับในท้องตลาดน้อยราย และเมื่อเกิดการระบาดของโรคขึ้นจำนวนความต้องการมาจากทุกประเทศ แม้แต่ประเทศผู้ผลิตเองที่หลายประเทศต้องออกประกาศให้สินค้าเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมห้ามการส่งออก การขาดแคลนดังกล่าวส่งผลกระทบต่อบุคลากรทางการแพทย์ที่อยู่แนวหน้าในการป้องกันเชื้อโรค และผลกระทบจะสูงขึ้นไปอีกหากบุคลากรทางการแพทย์ต้องทำงานในสภาวะที่ไม่ปลอดภัยจนกระทั่งตัวเองได้รับเชื้อ

สำหรับประเทศไทยในสภาวะปกติอุปกรณ์ป้องกันสำหรับบุคลากรทางการแพทย์เกือบทั้งหมดต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเฉพาะชุดป้องกันการติดเชื้อสำหรับบุคลากรทางการแพทย์โดยเฉพาะอุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์ (PAPR) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานการทดสอบที่เข้มข้น ทำให้ยังไม่เกิดผู้ผลิตในประเทศไทยทั้งที่มีศักยภาพในการผลิตทั้งในส่วนของผู้ประกอบการชิ้นส่วนอุตสาหกรรมที่สามารถพัฒนา PAPR ได้ เมื่อประเทศประสบกับสภาวะการระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ส่งผลให้ไม่สามารถจัดหาชุดดังกล่าวได้เพียงพอต่อการใช้งานของบุคลากรทางการแพทย์ เหตุการณ์นี้ทำให้เกิดความร่วมมืออย่างเร่งด่วน ระหว่างผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในหลากหลายด้าน เข้ามาช่วยกันพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อแจกจ่ายให้บุคลากรทางการแพทย์ใช้งานได้อย่างเพียงพอ โดยใช้แนวคิดจากหลักการการทำงานของชุดป้องกันการติดเชื้อสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ ที่นำเข้าจากต่างประเทศมาประยุกต์ใช้ วัสดุและอุปกรณ์ ที่มีอยู่หรือสามารถผลิตขึ้นได้เองในประเทศไทย ทำการผลิตและทดสอบภายใต้ข้อกำหนดของทรัพยากรและระยะเวลา ซึ่งสามารถพัฒนาชุดป้องกันการติดเชื้อสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ที่พร้อมใช้งานและผลิตขึ้นได้ในประเทศโดยการทดสอบตามมาตรฐานนั้นมี 2 มาตรฐานสากลที่สำคัญ คือ 1. มาตรฐาน EN 12941:1998 + A2:2008 [1] อุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจ (Respiratory protective devices) โดยมาตรฐานนี้จะระบุข้อกำหนด การทดสอบและการทำเครื่องหมาย ครอบคลุมสำหรับอุปกรณ์กรองอากาศที่ใช้กับหมวกหรือหน้ากากป้องกัน (Powered filtering devices incorporating a helmet or a hood) มาตรฐาน EN 12942:1999 [2] อุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจ (Respiratory protective devices) โดยมาตรฐานนี้จะครอบคลุมถึงข้อกำหนด การทดสอบ และเครื่องหมาย สำหรับอุปกรณ์กรองอากาศแบบใช้แรงดันอากาศที่ใช้กับหน้ากากป้องกันแบบเต็มหน้า ครึ่งหน้า หรือ หนึ่งในสี่ของใบหน้า (Power assisted filtering devices incorporating full face masks, half masks or quarter masks) และมาตรฐานสากล ISO 16900-1:2014 [3] อุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจ (Respiratory protective devices) มาตรฐานนี้แสดงถึงวิธีการทดสอบและเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจ 2. มาตรฐานรับรองของสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติ (National Institute for Occupational Safety and

Health, NIOSH) ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการป้องกันส่วนบุคคลแห่งชาติ (National Personal Protective Technology Laboratory, NPPTL) ประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อตรวจสอบและอนุมัติอุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ตามข้อกำหนดของหัวข้อที่ 42 ประมวลกฎหมายรัฐบาลกลาง ส่วนที่ 84 (42 CFR 84) [4] ซึ่งหากต้องทำการพัฒนาห้องปฏิบัติการทดสอบให้ครบทุกรายการจำเป็นต้องใช้เวลานานและอาจไม่ทันต่อสถานการณ์ ดังนั้นจึงใช้แนวทางการประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ร่วมกับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจัดทำข้อกำหนดคุณลักษณะอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์แบบหมวดคลุมครอบศีรษะสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ (Specification for powered air purifying respirator with a helmet or a hood for medical and health care personnel (PAPR)) [5] เพื่อใช้เป็นแนวทางของวิธีทดสอบและเกณฑ์การยอมรับ และได้มีการประกาศ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์แบบหมวดคลุมศีรษะ (มอก. 3191-2564) [6] ประกาศตามมา ซึ่งมีรายละเอียดวิธีทดสอบสอดคล้องกัน การพัฒนาห้องปฏิบัติการอุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์แบบหมวดคลุมศีรษะ ในรายการที่มีความจำเป็นสูงสุดที่สามารถแสดงถึงประสิทธิภาพและความปลอดภัยเมื่อใช้ในการปฏิบัติงาน จำนวน 3 รายการ ได้แก่ 1. การรั่วซึมเข้าสู่ภายใน (Total inward leakage) 2. แหล่งจ่ายอากาศ (Air supply) และ 3. ความต้านทานการหายใจ (Breathing resistance) โดยใช้ตัวอย่างอ้างอิงในการเปรียบเทียบผลการทดสอบ และสามารถให้บริการทดสอบให้แก่หน่วยงานที่พัฒนาผลิตภัณฑ์ ทั้งในส่วนของผู้ประกอบการติดซื้อสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ และหน้ากาก โดยผลการทดสอบสามารถบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการป้องกันของผลิตภัณฑ์ที่อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน ซึ่งผู้ผลิตสามารถนำข้อมูลดังกล่าวประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดความมั่นใจเมื่อนำมาใช้งาน

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

การทดสอบนี้ใช้ตัวอย่าง PAPR อ้างอิงที่จำหน่ายในท้องตลาด และตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทย ที่มีมาตรฐานสูง ได้รับการยอมรับในท้องตลาด และเป็นไปตามมาตรฐานกระบวนการผลิตเครื่องมือแพทย์ ISO 13485: 2016 Medical devices –Quality management systems – Requirements for regulatory purposes [7] หรือ Good manufacturing practice (GMP) ก่อนทำการทดสอบให้เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิและความชื้นที่ค่าหนึ่ง (สูงสุดหรือต่ำสุด) ตามข้อมูลของผู้ผลิตหรือเจ้าของผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 72 ± 1 hr แล้วนำมาเก็บไว้ที่สภาวะแวดล้อมอย่างน้อย 4 hr หลังจากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิและความชื้นอีกค่าหนึ่ง (สูงสุดหรือต่ำสุด) ตามข้อมูลของผู้ผลิตหรือเจ้าของผลิตภัณฑ์ เป็นเวลา 72 ± 1 hr แล้วนำมาเก็บไว้ที่สภาวะแวดล้อมอย่างน้อย 4 hr ก่อนนำมาทดสอบ

2.2 การทดสอบการรั่วซึมเข้าสู่ภายใน (Total inward leakage) กรณีที่ใช้ทดสอบกับหุ่น

2.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.2.1.1 ตัวอย่าง PAPR อ้างอิงที่นำเข้าจากต่างประเทศ จำนวน 4 ชุด

ชุดที่ 1 ได้รับมาตรฐานการทดสอบ EN-12941

ชุดที่ 2 ได้รับมาตรฐานการทดสอบ EN-12941

ชุดที่ 3 ได้รับมาตรฐานการทดสอบ EN-12941

ชุดที่ 4 ได้รับมาตรฐานการทดสอบ EN-12941

2.2.1.2 ตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทย จำนวน 2 ชุด

2.2.1.3 หัวหุ่น และตัวหุ่น จำนวน 1 ตัว

2.2.1.4 ตู้ทดสอบ จำนวน 1 ตู้ ที่มีท่ออากาศสำหรับปล่อยละอองอนุภาค Poly alpha olefin (PAO) ความเร็วลมภายในตู้ทดสอบต้องมีค่าระหว่าง 0.12-0.2 m/s มีพัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 350 mm ติดตั้งอยู่ภายในตู้ทดสอบ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมความเร็วลมบริเวณรอบ ๆ ศีรษะของคนให้มีความเร็วเท่ากับ 2 m/s ความชื้นในตู้ทดสอบต้องมีค่าไม่เกิน 60% RH

2.2.1.5 แหล่งกำเนิดละอองอนุภาค Aerosol generator จำนวน 1 ชุด ภายในตู้ทดสอบต้องมีค่าอยู่ในช่วง ขนาดฝุ่นอยู่ในช่วง 0.1-1 μm หรือตามที่ผู้ผลิตน้ำยากำหนด

2.2.1.6 เครื่องวัดความเข้มข้นของละอองอนุภาค (Aerosol photometer) อัตราการไหล 28.3 l/min จำนวน 1 เครื่อง สำหรับวัดความเข้มข้น ภายในตู้ทดสอบ (Upstream) และสำหรับวัดความเข้มข้น ภายในหมวกคลุมครอบศีรษะ (Downstream) ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มข้นของละอองอนุภาค (Aerosol photometer)

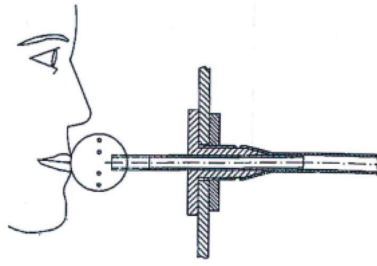
Background (volts)	8.91E-06	In purge mode (3.0E-6 to 1.1E-5)
Sensitivity (mv / mg/m ³)	2.1	Response to emery oil (1.8 to 2.3)
Downstream flow (lpm)	2.1	(1.9 to 2.1)
Vacuum draw pressure (psi)	9.5	>8

หมายเหตุ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ Innovative Instrument Co., Ltd. สอบเทียบเมื่อ 23/07/64

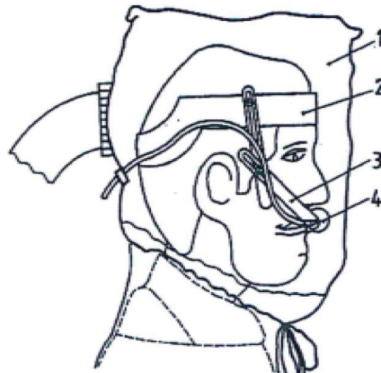
2.2.1.7 ชุดท่อชักตัวอย่างอากาศ จำนวน 1 ชุด

1) ชุดท่อชักตัวอย่างอากาศในหมวกคลุมครอบศีรษะ จำนวน 1 ชุด ประกอบด้วย ท่อซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับพลาสติกทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 mm ที่ตำแหน่งของเส้นรอบวงของพลาสติกทรงกลม มีรูเจาะขนาด 1.5 mm จำนวน 8 รู แต่ละรูมีระยะห่างเท่า ๆ กัน ตามรูปที่ 1 หมวกคลุมครอบศีรษะแบบมีกระบังหน้า ให้เจาะกระบังหน้าบริเวณใกล้กับปากของหัวหุ่นและประกอบชุดท่อชักตัวอย่างอากาศ ตามรูปที่ 1 สำหรับหมวกคลุมครอบศีรษะแบบยืดหยุ่นได้ ให้ติดตั้งสายรัดที่หัวของหุ่นแล้วนำไปคล้องกับชุดท่อชักตัวอย่างอากาศ ตามรูปที่ 2

2) ชุดท่อชักตัวอย่างอากาศภายในตู้ทดสอบ จำนวน 1 ชุด ชุดท่อชักตัวอย่าง (ทำด้วยพลาสติก) ภายในตู้ทดสอบ ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับเครื่องวัดอนุภาค PAO ควรมีความยาวไม่เกิน 1 m อัตราเร็วในการชักตัวอย่างอากาศเท่ากับ 3 l/min



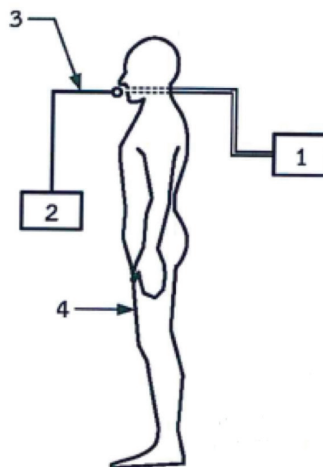
รูปที่ 1 ชุดท่อชักตัวอย่างอากาศติดตั้งอยู่กับกระบังหน้าของหมวกคลุมครอบศีรษะ



- | | |
|----------------------|---------------------------------|
| 1. หมวกคลุมครอบศีรษะ | 3. แถบพลาสติกปรับเลื่อนระดับได้ |
| 2. สายรัดศีรษะ | 4. ชุดท่อชักตัวอย่างอากาศ |

รูปที่ 2 การติดตั้งชุดท่อชักตัวอย่างอากาศภายในหมวกคลุมครอบศีรษะกับสายรัดศีรษะของหมวกคลุมครอบศีรษะแบบยืดหยุ่นได้

2.2.1.8 เครื่องช่วยหายใจ (Breathing machine) จำนวน 1 เครื่อง เครื่องช่วยหายใจทำงานที่ 40 l/min ติดตั้งตามรูปที่ 3



- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1. เครื่องช่วยหายใจ | 3. ท่อชักตัวอย่างอากาศ |
| 2. เครื่องนับจำนวนอนุภาค | 4. หนุนทดสอบ |

รูปที่ 3 ตำแหน่งของการติดตั้งเครื่องช่วยหายใจและท่อชักตัวอย่างอากาศที่หนุนทดสอบ

2.2.2 วิธีการทดสอบ

2.2.2.1 สวมใส่อุปกรณ์ PAPR กับหัวหุ่น และตัวหุ่น

2.2.2.2 เปิดระบบของตู้ทดสอบ

2.2.2.3 ปรับอัตราการไหลของอากาศที่แหล่งจ่ายอากาศของอุปกรณ์ PAPR เพื่อให้ได้ค่าอัตราการไหลของอากาศต่ำสุดตามที่ผู้ผลิต/เจ้าของผลิตภัณฑ์กำหนด

2.2.2.4 เปิดเครื่องช่วยหายใจ

2.2.2.5 เปิดเครื่อง Aerosol generator สร้างอนุภาค ภายในตู้ทดสอบ

2.2.2.6 วัดความเข้มข้นอนุภาค ภายในตู้ทดสอบ (Upstream)

2.2.2.7 วัดความเข้มข้นอนุภาค ภายในหมวกคลุมศีรษะ (Downstream)

2.2.2.8 วัดความเข้มข้นอนุภาค ภายในตู้ทดสอบ (Upstream) อีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่า ค่า Upstream มีค่าอยู่ในช่วง $\pm 15\%$

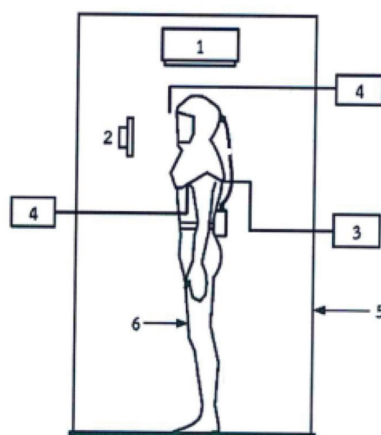
2.2.2.9 บันทึกค่า คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การรั่วซึมเข้าสู่ภายใน (Total inward leakage)

การรั่วซึมเข้าสู่ภายใน P (%) สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$P(\%) = \frac{C_2}{C_1} \times 1.25 \times 100 \quad \text{สมการที่ 1}$$

โดยที่ C_1 คือ ความเข้มข้นของอนุภาคภายในตู้ทดสอบ

C_2 คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของอนุภาคภายใน breathing zone ของอุปกรณ์ PAPR



- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1. เครื่องกำเนิดละอองอนุภาค | 4. เครื่องนับจำนวนอนุภาค |
| 2. ฟิล์ม | 5. ตู้ทดสอบ |
| 3. เครื่องช่วยหายใจ | 6. หุ่นทดสอบ |

รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบการรั่วซึมเข้าสู่ภายในของอุปกรณ์ PAPR

2.3 การทดสอบแหล่งจ่ายอากาศ (Air supply)

2.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.3.1.1 ตัวอย่าง PAPR อ้างอิงที่นำเข้าจากต่างประเทศ จำนวน 4 ชุด ตาม ข้อ 2.2.1.1

2.3.1.2 ตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทย จำนวน 2 ชุด

2.3.1.3 ไมโครมานิเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง

2.3.1.4 ท่ออากาศเข้า จำนวน 1 ชุด

2.3.1.5 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ จำนวน 1 เครื่อง ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ

Unit under calibration (l/min)	Reference 24 °C (l/min)	Reference 28 °C (l/min)
160	73	157.5
180	98	167.5
200	120	177.5
220	137	186
240	154	194.5
260	167	202.5
280	180	209.5
300	190	216.5

หมายเหตุ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบกรมวิทยาศาสตร์บริการ สอบเทียบเมื่อ 18/06/64

2.3.1.6 วาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศ จำนวน 1 ชุด

2.3.1.7 อุปกรณ์ดูดอากาศ จำนวน 1 ชุด

2.3.1.8 ท่ออากาศ จำนวน 2 ท่อ

2.3.2 วิธีทดสอบ

2.3.2.1 วัดอัตราการไหลของอากาศเริ่มต้น

1) ติดตั้งและประกอบอุปกรณ์ทดสอบตามรูปที่ 5

2) เปิดอุปกรณ์ PAPR และปรับเครื่องควบคุมความดันจนไมโครมานิเตอร์ อ่านค่าความดันแตกต่างกันเป็นศูนย์ บันทึกค่าอัตราการไหลที่วัดได้ทุก ๆ 5 min จนครบ 30 min

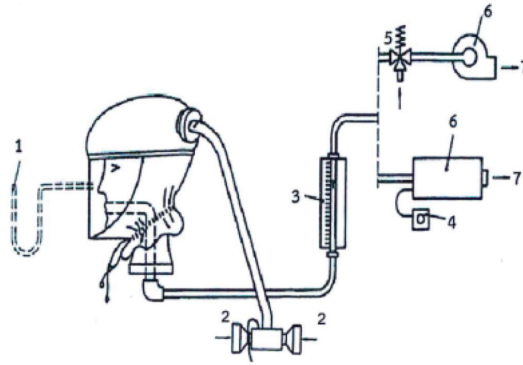
3) คำนวณค่าเฉลี่ยของอัตราการไหล 7 ค่า และรายงานเป็นอัตราการไหลเริ่มต้น

2.3.2.2 วัดอัตราการไหลของอากาศตามระยะเวลาการทำงานที่ผู้ผลิต/เจ้าของผลิตภัณฑ์กำหนด

1) ภายหลังจากวัดอัตราการไหลของอากาศเริ่มต้นตาม ข้อ 2.3.2.1 แล้วจึงถอดไมโครมานิเตอร์ออกจากอุปกรณ์ PAPR และเปิดเครื่องดูดอากาศขณะที่อุปกรณ์ PAPR ทำงานไปอีก 1 hr

2) ต่อไมโครมานิเตอร์ และเปิดเครื่องดูดอากาศ บันทึกค่าอัตราการไหลที่วัดได้ทุก ๆ 5 min จนครบตามเวลาการออกแบบของผู้ผลิตหรือเจ้าของผลิตภัณฑ์ (รวมเวลา 30 min ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลเริ่มต้น และเวลา 1 hr ที่อุปกรณ์ PAPR ทำงานอยู่โดยไม่ได้อัดกับไมโครมานิเตอร์)

3) คำนวณค่าเฉลี่ยของอัตราการไหล และรายงานเป็นค่าอัตราการไหลของอากาศตามระยะเวลาการทำงานที่ผู้ผลิต/เจ้าของผลิตภัณฑ์กำหนด



- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. ไมโครมานิเตอร์ | 5. วาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศ |
| 2. ท่ออากาศเข้า | 6. อุปกรณ์ดูดอากาศ |
| 3. เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ | 7. ท่ออากาศออก |
| 4. อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ | |

รูปที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายอากาศ



รูปที่ 6 อุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายอากาศ (Air supply) พัฒนาโดย กรมวิทยาศาสตร์บริการ

2.4 การทดสอบความต้านทานการหายใจ (Breathing resistance)

2.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.4.1.1 ตัวอย่าง PAPR อ่างอิงที่นำเข้าจากต่างประเทศ จำนวน 4 ชุด ตาม ข้อ 2.2.1.1

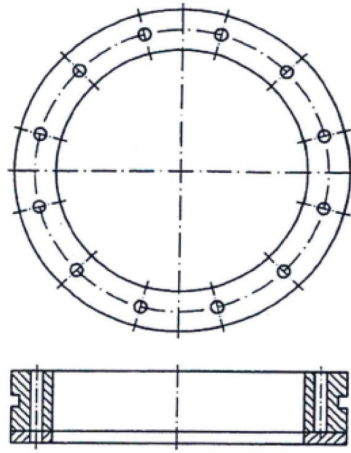
2.4.1.2 ตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทย จำนวน 2 ชุด

2.4.1.3 หัวหุ่น และตัวหุ่น ที่ประกอบกับวงแหวนปรับอัตราการไหลของอากาศ (รูปที่ 7) จำนวน 1 อัน

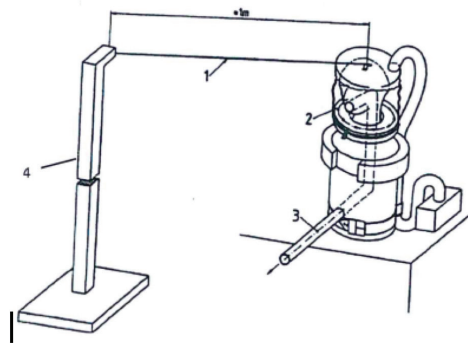
2.4.1.4 สายยางยืด จำนวน 1 ชุด ยาวประมาณ 1 m ใช้ในการควบคุมตำแหน่งของหมวกคลุมครอบศีรษะบนหัวของหุ่น (รูปที่ 8)

2.4.1.5 ขาตั้งปรับความสูงได้ (ตามรูปที่ 8) จำนวน 1 อัน

2.4.1.6 เครื่องช่วยหายใจ จำนวน 1 เครื่อง ที่สามารถปรับอัตราการหายใจ 25 cycles/min และ 2 l/stroke หรือปรับอัตราการไหลของอากาศแบบต่อเนื่องที่ 160 l/min ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่ความดันสัมบูรณ์ 1 bar



รูปที่ 7 วงแหวนปรับอัตราการไหลของอากาศ



1. สายยางยืด
2. วงแหวนปรับอัตราการไหลของอากาศ (รูปที่ 7)
3. ท่อเชื่อมกับเครื่องช่วยหายใจ
4. ขาตั้งปรับความสูงได้

รูปที่ 8 การติดตั้งวงแหวนปรับอัตราการไหลของอากาศ กับสายยางยืด

2.4.2 วิธีทดสอบ

2.4.2.1 สวมหมวกคลุมครอบศีรษะเหนือหัวของหุ่นและผูกเชือกที่หมวกคลุมครอบศีรษะให้แน่นกับวงแหวนปรับอัตราการไหลของอากาศ กรณีมีสายรัดที่หมวกคลุมครอบศีรษะเป็นยางยืดให้สวมยางยืดในร่องของวงแหวนปรับอัตราการไหลของอากาศ

2.4.2.2 ยึดสายยางยืดความยาวประมาณ 1 m จากขาตั้งกับด้านบนของหมวกคลุมครอบศีรษะ (รูปที่ 8) เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวนอนของหมวกคลุมครอบศีรษะ และให้มีผลน้อยที่สุดกับการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

2.4.2.3 ปรับความสูงของขาตั้งไม่ให้ด้านบนของหมวกคลุมครอบศีรษะพันกับสายยางยืด

2.4.2.4 ปรับอัตราการไหลของอากาศที่เข้าไปในหมวกคลุมครอบศีรษะที่อัตราการไหลเริ่มต้นข้อ 2.3.2.1 และปิดช่องทางออกบนวงแหวนปรับอัตราการไหลของอากาศ และช่องทางออกที่ปากของหัวหุ่นซึ่งต่อกับเครื่องช่วยหายใจ

2.4.2.5 ค่อย ๆ เปิดช่องทางออกของวงแหวนปรับอัตราการไหลของอากาศ จนกระทั่งความดันภายในเท่ากับแรงดันเฉลี่ยที่บันทึกไว้ใน ข้อ 2.3.2.1 แล้วหยุดปรับช่องทางออกของวงแหวนปรับอัตราการไหลของอากาศ

2.4.2.6 ปรับค่าอัตราการไหลของอากาศภายในหมวกคลุมครอบศีรษะใหม่ให้เท่ากับอัตราการไหลต่ำสุดของผู้ผลิต/เจ้าของผลิตภัณฑ์ และเปิดช่องอากาศที่ปากของหัวหุ่น แล้วต่อเครื่องช่วยหายใจเข้ากับหัวหุ่น

2.4.2.7 ปรับเครื่องช่วยหายใจให้มีอัตราการหายใจ 25 cycles/min และ 2 l/stroke หรือปรับอัตราการไหลของอากาศแบบต่อเนื่องที่ 160 l/min ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่ความดันสัมบูรณ์ 1 bar

2.4.2.8 กรณีที่หมวกคลุมครอบศีรษะไม่มีสายรัดศีรษะ ให้วัดการต้านทานการหายใจ เมื่อความดันคงที่ใกล้กับปากของหุ่น

2.4.2.9 กรณีที่หมวกคลุมครอบศีรษะไม่มีสายรัดศีรษะ ให้วัดการต้านทานการหายใจ เมื่อความดันคงที่ ในขณะที่หมวกคลุมครอบศีรษะอยู่ในตำแหน่ง 3 ตำแหน่ง ดังนี้

ตำแหน่งที่ 1 หมวกคลุมครอบศีรษะสัมผัสกับจมูกของหัวหุ่น

ตำแหน่งที่ 2 หมวกคลุมครอบศีรษะสัมผัสกับด้านหลังของหัวหุ่น

ตำแหน่งที่ 3 หมวกคลุมครอบศีรษะอยู่ตรงกลางหัวหุ่น

ปรับตำแหน่งของหมวกคลุมครอบศีรษะด้วยการดึงสายยางยืด ตลอดระยะเวลาการทดสอบหมวกคลุมครอบศีรษะต้องอยู่ในตำแหน่งสมดุล แล้วนำค่าที่วัดการต้านทานการหายใจได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง มาหาค่าความต้านทานการหายใจเฉลี่ย

2.4.2.10 ทำการทดสอบจนครบทุกตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดชุดเดียวกันและผู้ทดสอบคนเดียวกัน

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)



รูปที่ 9 ตัวอย่าง PAPR อ่างอิงที่นำเข้าจากต่างประเทศ



รูปที่ 10 ตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทย

3.1 การทดสอบการรั่วซึมเข้าสู่ภายใน (Total inward leakage)

เป็นการทดสอบในสภาวะจำลองการใช้งาน ที่หัวหุ่นและตัวหุ่นใส่อุปกรณ์โดยไม่มีการเคลื่อนไหว เพื่อจำลองถึงโอกาสที่อนุภาคขนาดเล็ก (ตัวแทนของเชื้อโรค/สารเคมี) จะสามารถเข้าไปสู่ภายในหน้ากาก ระหว่างการใช้งานได้ โดยการคำนวณร้อยละการรั่วซึมเข้าสู่ภายใน P (%) ดังสมการที่ 1 แล้วเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด พบว่า ที่ระยะเวลาการทดสอบเริ่มต้น ระยะเวลาการทดสอบ 5, 10 และ 20 นาที ตัวอย่าง PAPR อ้างอิงที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ และตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทยมีค่าร้อยละการรั่วซึมใกล้เคียงกันในทุกกิจกรรมการทดสอบ โดยค่าอัตราการไหลของอากาศที่ค่าต่ำสุด อยู่ในช่วง 0-00-0.01% ซึ่งดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน BS EN 12941:1998 + A2:2008 ที่กำหนดให้ไม่เกิน 1% ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการทำงานของชุดอุปกรณ์ PAPR ได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน เมื่อทดสอบที่อัตราการไหลของอากาศที่ค่าต่ำสุด ที่ระบุโดยผู้ผลิต/เจ้าของผลิตภัณฑ์ โดยมาตรฐานไม่ได้ระบุอัตราการไหลของอากาศที่ค่าต่ำสุดไว้ แต่อัตราการไหลของอากาศจะมีความสัมพันธ์ทั้งประสิทธิภาพด้านการรั่วซึมเข้าสู่ภายใน และความดันภายในหมวกที่ส่งผลถึงความต้านทานการหายใจ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการทดสอบการรั่วซึมเข้าสู่ภายใน (Total inward leakage) ตัวอย่าง PAPR อ้างอิงที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ และตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทย

ผลการทดสอบการรั่วซึมเข้าสู่ภายใน (Total inward leakage)						
ระยะเวลา	ร้อยละการรั่วซึมของอัตราการไหลของอากาศที่มีค่าต่ำสุด P (%)					
	อ้างอิง 1	อ้างอิง 2	อ้างอิง 3	อ้างอิง 4	ผู้ผลิตไทย 1	ผู้ผลิตไทย 2
เริ่มต้น	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
5 นาที	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10 นาที	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20 นาที	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

3.2 การทดสอบแหล่งจ่ายอากาศ (Air supply)

ทำการทดสอบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 4 hr ตามมาตรฐาน BS EN 12941:1998 + A2:2008 โดยให้อัตราการจ่ายอากาศคงที่ (อัตราการไหลของอากาศที่ค่าต่ำสุด) โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลแต่ละชั่วโมงและเปรียบเทียบผล พบว่า ตัวอย่าง PAPR อ้างอิงที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ และตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทย มีค่าอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายออกมาจากอุปกรณ์ PAPR เฉลี่ยในชั่วโมงที่ 1, 2, 3 และ 4 อยู่ในช่วง 160-220 l/min ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการทำงานตลอดช่วงระยะเวลาในการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประเมินจากการวัดอัตราการจ่ายอากาศภายในหมวกคลุมครอบศีรษะในช่วงเวลาการทดสอบ โดยอัตราการไหลของอากาศต้องเปลี่ยนแปลงไปไม่มากเมื่อเทียบกับระยะเวลาเริ่มต้น ซึ่งระบุโดยผู้ผลิต/เจ้าของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4 การทดสอบนี้แสดงให้เห็นประสิทธิภาพและความเสถียรของอุปกรณ์ในสภาวะการทำงาน โดยมาตรฐานการทดสอบระบุให้อุปกรณ์ PAPR ต้องมีอัตราการไหลของอากาศที่สม่ำเสมอต่อเนื่องเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 4 hr ซึ่งตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทยทั้งสองตัวอย่างมีผลการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการทดสอบแหล่งจ่ายอากาศ (Air supply) ตัวอย่าง PAPR อ้างอิงที่นำเข้าจากต่างประเทศ และตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทย

ผลการทดสอบแหล่งจ่ายอากาศ (Air supply)						
กิจกรรม/ตัวอย่าง	อัตราการไหลของอากาศ (l/min)					
	อ้างอิง 1	อ้างอิง 2	อ้างอิง 3	อ้างอิง 4	ผู้ผลิตไทย 1	ผู้ผลิตไทย 2
อัตราการไหลของอากาศเริ่มต้น	222	205	165	182	169	227
อัตราการไหลของอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ 1	219	201	162	179	169	226
อัตราการไหลของอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ 2	218	201	162	182	168	232
อัตราการไหลของอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ 3	219	201	162	183	168	228
อัตราการไหลของอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ 4	218	200	161	183	168	228

3.3 การทดสอบความต้านทานการหายใจ (Breathing resistance)

พบว่า เมื่อทดสอบตัวอย่าง PAPR อ้างอิงที่นำเข้าจากต่างประเทศ และตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทย ที่ตำแหน่งหมวดคลุมครอบศีรษะสัมผัสกับจมูกของหัวหุ่น สัมผัสกับด้านหลังของหัวหุ่นและอยู่ตรงกลางหัวหุ่น โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยของทุกกิจกรรมทดสอบแล้วเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน พบว่าทุกกิจกรรมทดสอบมีค่าความดันเฉลี่ยรวม อยู่ในช่วง 0.15-0.75 mbar ซึ่งดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน BS EN 12941:1998 + A2:2008 ที่กำหนดไว้ให้ไม่มากกว่า 5 mbar แต่เนื่องจากมาตรฐานไม่ได้ระบุอัตราการไหลของอากาศของอุปกรณ์ PAPR ดังนั้นผู้ผลิตสามารถออกแบบให้มีอัตราการไหลของอากาศในปริมาณสูงได้เพื่อให้ประสิทธิภาพการต้านการรั่วซึมเข้าสู่ภายในมีค่าดีที่สุด แต่เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศมีความสัมพันธ์กับความดันของอากาศภายในหมวด ซึ่งส่งผลถึงความต้านทานการหายใจของผู้สวมใส่ ฉะนั้นเพื่อให้เกิดความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้งานอุปกรณ์ PAPR มาตรฐานจึงกำหนดให้มีค่าไม่มากกว่า 5 mbar ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทยมีค่าอยู่ภายในเกณฑ์กำหนดทุกบริเวณที่ทำการวัด

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการทดสอบความต้านทานการหายใจ (Breathing resistance) ตัวอย่าง PAPR อ้างอิงที่นำเข้าจากต่างประเทศ และตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทย

ผลการทดสอบความต้านทานการหายใจ (Breathing resistance)						
ความดัน (mbar)	ความดัน (mbar)					
	อ้างอิง 1	อ้างอิง 2	อ้างอิง 3	อ้างอิง 4	ผู้ผลิตไทย 1	ผู้ผลิตไทย 2
ตำแหน่งหมวดคลุมครอบศีรษะสัมผัสกับจมูกของหัวหุ่น	0.54	0.74	0.17	0.52	0.29	0.31
ตำแหน่งหมวดคลุมครอบศีรษะสัมผัสกับด้านหลังของหัวหุ่น	0.55	0.75	0.16	0.51	0.30	0.30
ตำแหน่งหมวดคลุมครอบศีรษะอยู่ตรงกลางหัวหุ่น	0.54	0.73	0.16	0.53	0.28	0.30
เฉลี่ย	0.54	0.74	0.17	0.52	0.29	0.30

4. สรุป (Conclusion)

4.1 ตัวอย่าง PAPR อ้างอิงที่นำเข้าจากต่างประเทศ และตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทย ที่นำมาทดสอบ เกณฑ์การยอมรับที่สำคัญ จำนวน 3 รายการ ได้แก่ 1. การรั่วซึมเข้าสู่ภายใน (Total inward leakage) 2. แหล่งจ่ายอากาศ (Air supply) และ 3. ความต้านทานการหายใจ (Breathing resistance) สามารถบ่งชี้ประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์ได้ โดยแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ชุดนี้มีการรั่วซึมเข้าสู่ภายในต่ำกว่า เกณฑ์มาตรฐาน สามารถใช้งานได้ระยะเวลา 4 ชั่วโมงขึ้นไปโดยอัตราการจ่ายอากาศคงที่ และมีความสบาย ในการสวมใส่ ซึ่งเป็นผลการทดสอบที่สอดคล้องกับมาตรฐานและเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สร้างความเชื่อมั่น ให้แก่ผู้ปฏิบัติงานที่ใช้อุปกรณ์ โดยเฉพาะบุคลากรทางการแพทย์

4.2 ตัวอย่าง PAPR ของผู้ผลิตไทยมีผลการทดสอบทุกรายการทดสอบ ผ่านเกณฑ์การยอมรับตาม เกณฑ์มาตรฐานที่สูง ใกล้เคียงกับตัวอย่าง PAPR อ้างอิงที่นำเข้าจากต่างประเทศ สามารถนำมาใช้ทดแทน ผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อลดการพึ่งพิงหรือสามารถส่งออกเพื่อแข่งขันในตลาดโลกได้ รวมถึงสามารถเป็นข้อมูลให้กับผู้ผลิตเพื่อใช้ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

การทดสอบชุดป้องกันการติดเชื้อสำหรับบุคลากรทางการแพทย์เพื่อให้ได้ตามมาตรฐาน มีความคืบหน้าและ สามารถทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้องขอขอบคุณ ผู้บริหาร และคณะนักวิจัย ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ หน่วยงานเครือข่ายร่วมวิจัย ศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีววิทยาศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล มหาวิทยาลัยนวมินทราช สถาบันสิ่งทอ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บริษัท คิว แอนด์ อี อินเทอร์เน็ต จำกัด บริษัท แม่น้ำ แมกคาสิก้า จำกัด (มหาชน) และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและ นวัตกรรม (สกว.) ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงาน และให้การสนับสนุนการดำเนินโครงการในครั้งนี้ ทั้งทาง ด้านเทคนิคและนโยบายทำงาน ทำให้การดำเนินงานเป็นไปตามเป้าหมาย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] British Standard Institution (BSI). Respiratory protective devices-powered filtering devices incorporating a helmet or a hood-requirements, testing, marking. BS EN 12941:1998/A2:2008 (Amendment). United Kingdom: BSI; 2008.
- [2] British Standard Institution (BSI). Respiratory protective devices-power assisted filtering devices incorporating full face masks, half masks or quarter masks-requirements, testing, marking. BS EN 12942:1999. United Kingdom: BSI; 1999.
- [3] International Organization for Standardization (ISO). Respiratory protective devices-methods of test and test equipment-Part 1: Determination of inward leakage. ISO 16900-1:2014. Geneva, Switzerland: ISO; 2014.

- [4] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). The National Personal Protective Technology Laboratory (NPPTL). Certificate standards approves air-purifying respirators in accordance with the requirements of title 42 code of federal regulations. Part 84 (42 CFR 84). Pittsburgh, PA: NPPTL; 2020.
- [5] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. ข้อกำหนดคุณลักษณะอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์แบบหมวกคลุม ครอบศีรษะสำหรับบุคลากรทางการแพทย์. DSS 2-2563. กรุงเทพฯ: กรมวิทยาศาสตร์บริการ; 2563.
- [6] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจจ่ายอากาศบริสุทธิ์แบบหมวกคลุมศีรษะ. มอก. 3191-2564. กรุงเทพฯ: สมอ.; 2564.
- [7] International Organization for Standardization (ISO). Medical devices-Quality management systems-Requirements for regulatory purposes. ISO 13485:2016. Geneva, Switzerland: ISO; 2016.

คำแนะนำในการจัดทำต้นฉบับ

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Bulletin of Applied Sciences

บทความที่ส่งตีพิมพ์จะต้องไม่เคยตีพิมพ์หรืออยู่ในระหว่างการรอพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในวารสารอื่น บทความที่เสนอมานี้เพื่อตีพิมพ์อาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่บทความต้องมีทั้งสองภาษา ทั้งนี้ บทความทุกเรื่องจะได้รับการพิจารณาตรวจแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง และกองบรรณาธิการ ขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขต้นฉบับและพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง

ความรับผิดชอบ

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถือเป็นผลงานทางวิชาการ และเป็นความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่ใช้ความเห็นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือกองบรรณาธิการ ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน และบทความที่ตีพิมพ์ในเล่มนี้ไม่เคยพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน

การเตรียมต้นฉบับและการส่งต้นฉบับ

1) บทความวิจัย (Research article) ประกอบด้วยหัวข้อ ดังนี้

- **ชื่อเรื่อง :** ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 18 ตัวหนา จัดวางข้อความชื่อเรื่องตรงกึ่งกลางหน้ากระดาษ 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

จารวี เล็กสุขศรี¹, ก่อพงศ์ หงษ์ศรี²,ธีรัตน์ อาจสำอางค์²

Jarawee Leksuksri¹, Korpong Hongstri², Theerat Ardsamang²

¹กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

²ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

- **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 จัดชิดขอบด้านซ้ายหัวข้อย่อย 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 จัดวางข้อความชื่อเรื่องตรงกึ่งกลางหน้ากระดาษ โดยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษเฉพาะคำขึ้นต้นให้พิมพ์ตัวใหญ่
- **ชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วม :** ชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วม ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 ตัวปกติ จัดวางข้อความชื่อผู้วิจัย ผู้วิจัยร่วมกึ่งกลางหน้ากระดาษ ใช้เลข 1.2.3.... โดยยกกำลังแสดงตรงชื่อ และเป็นเลขเดียวกันเพื่อแสดงที่อยู่ และ e-mail address.

ตัวอย่าง

จารวี เล็กสุขศรี¹, ก่อพงศ์ หงษ์ศรี¹, ธีรวัธ อาจสำอางค์²

Jarawee Leksuksri¹, Korpong Hongsri¹, Theerat Ardsamang²

¹กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

²ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

- **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 ไม่ว่าจะบางส่วน 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 ลิขสิทธิ์มาตรฐาน 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 ให้ใช้ชื่อนั่งสือแทนในตำแหน่งชื่อผู้แต่ง
- หนังสือที่มีเฉพาะบรรณาธิการ ให้ใช้ชื่อบรรณาธิการในตำแหน่งชื่อผู้แต่ง ตามด้วยจุลภาค และคำว่า บรรณาธิการ editor หรือ editors
- หนังสือที่มีทั้งผู้แต่งและบรรณาธิการหรือผู้แปล ให้ใช้ชื่อบรรณาธิการ/ผู้แปลไว้หลังชื่อนั่งสือหรือครั้งที่พิมพ์ ตามด้วยจุลภาค และคำว่า บรรณาธิการ editor editors หรือผู้แปล translator translators
- ชื่อนั่งสือภาษาไทยให้ใช้ตามที่ปรากฏ ส่วนชื่อนั่งสือภาษาอังกฤษให้ใช้อักษรตัวใหญ่เฉพาะคำแรกของชื่อนั่งสือ (ชื่อนั่งสือให้ใช้อักษรตัวใหญ่) 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 โดยใส่ไว้หลังชื่อนั่งสือหรือครั้งที่พิมพ์ เช่น เล่ม 5. หรือ Vol. 5.

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

ตัวอย่าง

- [1] จำนงค์ 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.✓ชื่อนั่งสือ.✓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. ฐีมาตรฐานทางเคมีสำหรับการวิเคราะห์อาหารของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ DMSc F1074: การวิเคราะห์ปริมาณอะคริลไมต์ในอาหารโดย LC/MS-MS. ใน: ฐีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์อาหาร 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>)
- หากเป็นวารสารชื่อนั่งสือ คำเดียว มักจะไม่ย่อชื่อนั่งสือวารสาร

- 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 วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต 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 ประภานภสินธุ์. เปรียบเทียบเทคนิคการสกัดสารแคปไซซินในพริกพันธุ์ต่าง ๆ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2544.
- [4] นิจฉรา ทูลธรรม. คำโครงความเผ็ดและกลิ่นฉุนของพริกแห้ง [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 หลักเกณฑ์การพิจารณาขึ้นทะเบียนตำรับยาแผนโบราณเกี่ยวกับมาตรฐานการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์และโลหะหนัก. 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. เหลือवल้งแลหน้าไวรัสโคโรนา-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✓[เข้าถึงเมื่อ วัน เดือน ปี/cited ปี เดือน วัน];ปีที่(ฉบับที่):เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้าย.✓เข้าถึงได้จาก/ Available from: <http://...>

ตัวอย่าง

- [1] นาทยา 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 ปราศจากการปลุกปั่นยักยายถ่ายเท (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 จะเคร่งครัดกรณีบทความที่มีการคัดลอกการนำเสนอรูปภาพ หรือการนำผลงานผู้อื่นมาเป็นส่วนหนึ่งของบทความเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร
2. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ จะไม่เปิดเผยรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความให้แก่ผู้นิพนธ์หรือบุคคลอื่น

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 tc1.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		ส	
กระท่อม	10	สารประกอบ AOX	55
การปนเปื้อน	66	สารประกอบที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ	55
การสกัดจากผ้า	55		
ค		อ	
คุณภาพทางจุลชีววิทยา	66	อุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจง่าย	82
โครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง	10	อากาศบริสุทธิ์	
โคโรนาไวรัส 2019	82	เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส	23
ช			
ชุดป้องกันรังสี	35		
ชุดป้องกันส่วนบุคคล	82		
บ			
แบบจำลองจลพลศาสตร์	23		
ป			
ปฏิกิริยาสีน้ำตาล	23		
ผ			
ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	66		
ผลิตภัณฑ์ไข่ขาว	23		
ม			
ไมทราไจเนน	10		
ย			
ยางธรรมชาติ	35		
ร			
รังสี	35		

Keyword index

	Page		Page
A		N	
AOX compound	56	Natural rubber	36
B		P	
Browning reaction	24	PAPR	83
C		PPE	83
Chlorine-containing compound	56	R	
Contamination	67	Radiation	36
COVID-19	83	Radiation protection suit	36
D		T	
Dietary supplement product	67	The fabric extraction	56
E			
Egg white product	24		
G			
Glucose oxidase	24		
H			
High performance liquid chromatography	11		
K			
Kinetic model	24		
Kratom	11		
M			
Microbiological quality	67		
Mitragynine	11		

คณาจารย์ผู้แต่ง

	หน้า		หน้า
ก		ว	
กรรธรม สติรกุล	82	วรวิทย์ วาณิชย์สุวรรณ	10
กนิษฐ์ ตะปะสา	82	ศ	
กันต์ฤทัย ต่ายจันทร์	23	ศิริพร ช้างน้อย	35
ก่อพงศ์ หงษ์ศรี	55	ส	
จ		สุบงกช ทรัพย์แดง	10
จารุณี เมฆสุวรรณ	66	สุริษา สุริโยพร	82
ช		สุวลักษณ์ อัครวสันติ	23
ชนกานต์ ชูชีพชื่นกมล	55	อ	
ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี	23	อรพินท์ สุขยศ	55
ฉ		อรวรรณ ปิ่นประยูร	35
ฉนิษฐา ผาติพงศ์	66	อรวรรณ พรหมสอน	55
ธิดารัตน์ เครือเทียน	10	เอกรัฐ มีชูวาศ	82
ธิติ เรื่องสีสำราญ	35		
ธีระ ปานทิพย์อำพร	66		
น			
นพมาศ สะพู	66		
นริศรา ทศวงศ์	66		
นิชาภา บัวสุวรรณ	35		
ป			
ปัทมาพร จิตปรีดา	10		
พ			
พงศธร ชมดี	82		

Author index

	Page		Page
C		P	
Chairath Tangduangdee	23	Pattamaporn Jitpreeda	10
Chanakarn	55	Pongsathorn Chomdee	82
Chucheeepchuenkamol		S	
E		Siriporn Changnoi	35
Ekarat Meechoowas	82	Subongkoch Subtaeng	10
J		Surisa Suriyoporn	82
Jarunee Meksuwan	66	Suvaluk Asavasanti	23
K		T	
Kanit Tapasa	82	Tanutcha Patipong	66
Kanruethai Taichan	23	Theera Panthipamporn	66
Korntham Sathirakul	82	Thidarat Kruatian	10
Korpong Hongsri	55	Thiti Rungseesumran	35
N		W	
Naritsara Tatsawong	66	Worrawit Wanitsuwan	10
Nichapa Buasuwan	35		
Nopamart Sapoo	66		
O			
Orapin Sukyod	55		
Orawan Pinprayoon	35		
Orawan Promson	55		



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>