

ISSN 2286-7708

วารสารผลงานวิชาการ



กรมวิทยาศาสตร์บริการ
DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

BULLETIN OF APPLIED SCIENCES

ปีที่ 5 ฉบับที่ 5 สิงหาคม 2559
Vol. 5 No. 5 August 2016

<http://bas.dss.go.th>



วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ปีที่ 5 ฉบับที่ 5 สิงหาคม 2559
Bulletin of Applied Sciences
Vol. 5 No. 5 August 2016

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
Bulletin of Applied Sciences
ISSN 2286-7708
ปีที่ 5 ฉบับที่ 5 สิงหาคม 2559, Vol. 5 No. 5 August 2016

ชื่อวารสาร วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ Bulletin of Applied Sciences

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นวารสารเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย ของนักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ ให้เป็นที่ประจักษ์แก่ภาครัฐ ภาคเอกชน นักวิชาการ ผู้ประกอบการและประชาชนทั่วไป
2. เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในทางวิชาการ การอ้างอิง และการประกอบกิจการภาคการผลิตและอุตสาหกรรม

เจ้าของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

ดร. สุทธิเวช ต.แสงจันทร์ อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ดร. ณัฏฐพงษ์ วัชรวงศ์บุรี รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ

กองบรรณาธิการ

รศ. ดร. ครรชิต จุดประสงค์	สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร. ชรินทร์ ดุ้ยเต็มวงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร. จริญญา ยะผา	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
รศ. ดร. จรัสศรี ลอประยูร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ดร. ประไพพิศ แจ่มสุกใส เทอร์โน	บริษัท อินโนเวแลบ ดีไซน์ จำกัด
ดร. วรวิทย์ เจียมปัญญาธิ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นายวีระ ตูลาสมบัติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
นายศักดิ์ แสนสุภา	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ผศ. ดร. สาวิตร์ ตระกูลนำเลื่อมใส	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ. ดร.สุธรรม ศรีหล่มสัก	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร. สุภาดา คนยัง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ. ดร.อมร เพชรสม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นายเกรียงไกร นาเคเกศ	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ดร. จุฑาทิพย์ ลาภวิบูลย์สุข	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
นายธีระชัย รัตนโรจน์มงคล	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
นางสาวนันทนาถ แจ้งทอง	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ดร. ลดา พันธุ์สุขุมธนา	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ดร. พจมาน ทาจิณ	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
นางสาวพรพรรณ ปานทิพย์อำพร	กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ดร. ภูวดี ตู้จินดา	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ดร. สายจิต ดาวสุโข	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ดร. อนุตตรา นวมณอม	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
นางอารีย์ คชฤทธิ์	กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ฝ่ายเลขานุการ

นางสาวอุดมลักษณ์ เวียนงาม	เลขานุการ
นางสาวจอย ผิวสะอาด	ผู้ช่วยเลขานุการ
นางสาวพรทิพย์ เส้นสด	ผู้ช่วยเลขานุการ

พิธีกรอักษร

นางสาวจอย ผิวสะอาด
นางสาวอุดมลักษณ์ เวียนงาม

ฝ่ายเผยแพร่

นางวลัยพร ร่มริน

เว็บไซต์วารสาร

นายณภดล แก้วบรรพต

การจัดพิมพ์และเผยแพร่

จัดพิมพ์ปีละ 1 ฉบับ กำหนดออกเผยแพร่เดือน สิงหาคม

จำนวนพิมพ์ 1,000 เล่ม

สำนักงานวารสาร

สำนักงานเลขานุการกรม ฝ่ายประชาสัมพันธ์
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ
75/7 ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2201 7000 ต่อ 7095, 7097, 7098, 7470
โทรสาร 0 2201 7470
เว็บไซต์ <http://bas.dss.go.th>

บทความใน “วารสารผลงานวิชาการของกรมวิทยาศาสตร์บริการ” ถือเป็นผลงานทางวิชาการ และเป็นความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่ใช่ความเห็นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือกองบรรณาธิการ ผู้เขียนต้องรับผิดชอบตอบบทความของตน และบทความที่ตีพิมพ์ในเล่มนี้ไม่เคยพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน

พิมพ์ที่

บริษัท ชัคเซสพับลิเคชัน จำกัด
34 ซอยลาซาล 22 ถนนสุขุมวิท 105 แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260
โทรศัพท์ 098 777 4067, 081 755 0969 อีเมล successpub56@gmail.com

บทบรรณาธิการ

วารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ (Bulletin of Applied Sciences) ฉบับนี้ เป็นฉบับปีที่ 5 พ.ศ. 2559 โดยกำหนดตีพิมพ์ปีละ 1 ฉบับ ฉบับนี้มีจำนวนเรื่องที่ตีพิมพ์รวม 12 เรื่อง เนื้อหาของเรื่องมีความหลากหลายพอสมควร ทั้งด้านการนำเอาวัสดุเหลือทิ้ง เช่น เศษกระดาษ ชานอ้อย เศษแก้ว แก้วลอย มาพัฒนาคุณภาพเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อการใช้ประโยชน์ ได้แก่ วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ เซรามิก วัสดุมูลเบา เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการสำรวจคุณภาพพลาสติกเมลามีน การสำรวจความเข้าใจของบุคลากรห้องปฏิบัติการ การศึกษาและพัฒนาเทคนิคทดสอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการ การสอบเทียบเครื่องมือ การพัฒนาวัสดุอ้างอิง การพัฒนาชุดทดสอบโคลิฟอร์ม วิธีการทดสอบหาปริมาณปรอท รวมถึงการศึกษาความอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ในถ่านชีวภาพเพื่อประโยชน์ทางการเกษตร

กองบรรณาธิการขอขอบพระคุณผู้เขียนทุกท่าน ที่มีส่วนทำให้วารสารของเราสามารถตีพิมพ์เผยแพร่ในเวลาที่กำหนด และมีเนื้อหาที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน ในโอกาสนี้ ขอเชิญชวนนักวิทยาศาสตร์ที่ปฏิบัติงานวิจัยส่งผลงานที่มีคุณค่าของท่าน ลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารของเราในโอกาสต่อไป

ดร.ณัฏพงค์ วชิรวงศ์บุรี
หัวหน้ากองบรรณาธิการ

สารบัญ
วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ปีที่ 5 ฉบับที่ 5 สิงหาคม 2559

1	การปรับปรุงคุณภาพด้านกายภาพและเชิงกลของวัสดุตกแต่งประเภท ปูนซีเมนต์ด้วยเศษกระดาษเหลือใช้ ก่อพงศ์ หงษ์ศรี, ขวัญใจ สมบุญ	9
2	การสำรวจเบื้องต้น : คุณภาพของเครื่องใช้ในครัวเรือนพลาสติกเมลามีน ธวัช นุสนธรา, ปวีรีศา สีสวย, สุภัตรา เจริญเกษมวิทย์	19
3	เคลือบเซรามิกจากเถ้าขาน้อย ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ, วราลี บางหลวง, เอ็มวจี ปานทอง, วรรณา ต.แสงจันทร์	31
4	การพัฒนาวัสดุอ้างอิงสำหรับตัวอย่าง Water Soluble Chlorides (as NaCl) ในอาหารสัตว์ พจมาน ท่าจีน, สุกัลยา พลเดช, ศรีสุตา ห่มระฤก	39
5	การสอบเทียบปิเปตต์ด้วยชุดสอบเทียบปิเปตต์ต้นแบบ อัจฉราวรรณ วัฒนหัตถกรรม, วีระชัย วาริยาตร์, บุญธรรม ลิ้มปิยพันธ์	47
6	การพัฒนาวัสดุผสมเบาขึ้นความชื้นจากเศษแก้วและเถ้าลอย วรรณา ต.แสงจันทร์, สุทธิมา ศรีประเสริฐสุข, ภัทธิญา สุวรรณสนธิ, ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ	57

สารบัญ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ปีที่ 5 ฉบับที่ 5 สิงหาคม 2559

7

การตรวจสอบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันงาดำด้วย
เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี และ

Accelerated Oxidation Test

อนุตตรา นวมถนอม, เจนจิรา ภูริรักษ์พิติกร และ จูติพร วัฒนกุล

65

8

การสำรวจความเข้าใจของบุคลากรห้องปฏิบัติการเคมีภายใน
กรมวิทยาศาสตร์บริการต่อความเป็นสีเขียวอย่างยั่งยืน

ปวีณา เครือนิล, อัครินทร์ ไพบุลย์พานิช, อนันต์ณัฐ กันต์ธัญญรัตน์,
ลัดดาวัลย์ เยียดยัต, ดวงกมล เซาว์ศรีหมุด, พิษญา บุตรขุนทอง,
ภัทริดา นิลภัทรฉัตร

71

9

การพัฒนาชุดทดสอบโคลิฟอร์มเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำ
ทางจุลชีววิทยา

ธีระ ปานทิพย์อำพร

79

10

อัตราการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร
ในถ่านชีวภาพ

สุวรรณี แทนธานี และสายจิต ดาวสุโข

89

11

การเปรียบเทียบชนิดของตัวทำละลายและเทคนิคการสกัด

สารเบนโซฟีโนนจากกระดาษที่ใช้เป็นวัสดุสัมผัสอาหาร

หนึ่งฤทัย แสงแสงสีรุ่ง

97

12

การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบหาปริมาณปรอทในกาก

อุตสาหกรรมและในน้ำสกัด : กรณีศึกษาการหาปริมาณปรอท

ในถั่วลยจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน และการหาปริมาณปรอทในกาก

ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

วราภรณ์ กิจชัยนุกูล

103

Contents

Bulletin of Applied Sciences

Vol. 5 No. 5 August 2016

1	The improvement of physical and mechanical properties of cement decorative ornaments by adding wasted paper Korpong Hongsri, Kwanjai Somboon	9
2	A preliminary survey : Quality of plastic melamine kitchenware Thawat Nusonthara, Pawarisa Srisury, Supattra Charoenkasemwit	19
3	Bagasse ash ceramic glaze Sansanee Rugthaicharoencheep, Vararee Bangluang, Emwagee Panthong, Wanna T. Sangchantara	31
4	Development of a reference material for water soluble chlorides (as NaCl) in feeding stuffs Pochaman Tagheen, Sukanya Pondet, Srisuda Romraluk	39
5	Calibration of volumetric pipettes using a prototype of a high accuracy pipette calibration set Acharawan Wattanahuttakum, Weerachai Variyart, Boontham Limpiyapun	47
6	A Development of moisture resistant lightweight material from cullet and fly ash Wanna T.saengchantara, Sutthima Sriprasertsuk, Phatthiya Suwannason, Sansanee Rugthaicharoencheep	57

Contents

Bulletin of Applied Sciences

Vol. 5 No. 5 August 2016

7	Chemical and physical analysis of sesame oil by nuclear magnetic resonance spectroscopy and accelerated oxidation test Anuttra Nuamthanom, Jenjira Phuriragpitikhon, Titiporn Wattanakul	65
8	Survey of the understanding of chemical laboratory workers in the Department of Science Service toward sustainability Paweena Kreunin, Akarin Paibulpanich, Anantanat Kantanyarat, Laddawan Yeadyad, Duangkamol Chaosrimud, Pitchaya Buthkhunthong, Pattida Nilpatarachai	71
9	Development of coliform test kit for microbiological quality water Theera Panthipamporn	79
10	The survival of agricultural microorganisms in biochar Suwannee Thaenthanee and Saijit Daosukho	89
11	Comparison of solvent and techniques for extraction of benzophenone from paper intended to come into contact with foodstuffs Neungrutai Saesaengseerung	97
12	The comparison of method of mercury determination in solid waste and leachate : A case study of mercury determination in coal fly ash from power plant and sludge from wastewater treatment plant Waraporn Kitchainukul	103

การปรับปรุงคุณภาพด้านกายภาพและเชิงกลของวัสดุตกแต่ง ประเภทปูนซีเมนต์ด้วยเศษกระดาษเหลือใช้

The improvement of physical and mechanical properties of cement decorative ornaments by adding wasted paper



ก่อพงศ์ หงษ์ศรี^{1*}, ขวัญใจ สมบุญ¹
Korpong Hongsri^{1*}, Kwanjai Somboon¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพด้านกายภาพและเชิงกลของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ด้วยเศษกระดาษเหลือใช้ โดยการนำเยื่อจากกระดาษประเภทต่าง ๆ อาทิเช่น กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษหนังสือพิมพ์ กล่องกระดาษและเศษกระดาษรวม ผสมลงในปูนซีเมนต์ ยิปซัม ทราย น้ำ ซึ่งได้กำหนดอัตราส่วนของเยื่อกระดาษ ปูนซีเมนต์ ยิปซัม ทราย และน้ำ เป็น 0.1 : 1 : 0.25 : 0.25 : 4 ตามลำดับ เพื่อหาชนิดของเยื่อจากกระดาษที่เหมาะสมในการผลิตเป็นวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ด้วยเศษกระดาษเหลือใช้ ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่าเมื่อเติมเยื่อจากเศษกระดาษลงในวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ทำให้วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์มีค่าความหนาแน่นและมอดูลัสการดกัวลดลง การดูดซึมน้ำ การพองตัวทางความหนาและมอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเยื่อจากเศษกระดาษสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ได้ ทำให้น้ำหนักเบาและเพิ่มความยืดหยุ่น และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของเยื่อจากกระดาษที่นำมาผสม พบว่า เยื่อจากเศษกล่องกระดาษ มีความเหมาะสมที่สุดเพราะทำให้วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์มีความหนาแน่นเท่ากับ 2,215 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การดูดซึมน้ำเท่ากับ 44.1 % การพองตัวทางความหนาเท่ากับ 1.56 % มอดูลัสการดกัวเท่ากับ 1.384 เมกะพาสคัล และมอดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 2,424 เมกะพาสคัล ผลการศึกษานี้สรุปได้ว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ ทำให้อินทรีย์วัตถุได้หลากหลายมากขึ้น มีน้ำหนักเบา การตัด ดัด เจาะและยึดทำได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตเพราะมีการนำวัสดุเหลือใช้มาเป็นวัตถุดิบอีกด้วย

Abstract

The aim of this project was to improve physical and mechanical properties of decorative ornaments made from cement with the ratio of cement : gypsum : sand : water equaled to 1 : 0.25 : 0.25 : 4 by adding different types of wasted paper, which were printing paper, newspaper paper, cardboard paper and mix wasted paper with the ratio of cement : gypsum : sand : water : wasted paper equaled to 1 : 0.25 : 0.25 : 4 : 0.1 respectively and to discover the most appropriated type of the wasted paper to be used to create a mix cement-paper decorative ornaments. The study found that by adding wasted paper into the mixture of cement, the density and modulus of rupture of the cement decorative ornament decreased, whereas water absorption, thickness swelling and modulus of elasticity of the cement decorative ornament increased. This proved that by adding wasted paper into the mixture of cement, the cement-paper mixture was more suitable to make decorative ornaments as the products were lighter and had more flexibility. The cardboard paper was the most suitable wasted paper to be used as it provided the best physical and mechanical properties improvements which were the density of 2,215 gcm⁻³, the water absorption of 44.1 %, the thickness swelling of 1.56 %, the modulus of rupture of 1.384 megapascal and modulus of elasticity of 2,424 megapascal. It can be concluded that where the cement-paper mixture was used to make decorative ornament, it was found that it can be used to make more variety of decorative ornaments because of its lightness, easier to cut and shaped. Using wasted paper also helped reducing the cost of production.

คำสำคัญ: ปูนซีเมนต์ เศษกระดาษเหลือใช้ วัสดุผสมเยื่อกระดาษ

Keywords: Cement, Wasted paper, Recycled paper based composite

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author Email address : korpong@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ปูนซีเมนต์ คือสารผสมที่ได้จากการนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูนและหินดินดานหรือดินเหนียวไปผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1400 -1600 องศาเซลเซียส ความร้อนจะทำปฏิกิริยาเคมีกับวัตถุดิบจนกลายเป็นปูนเม็ดซึ่งให้คุณสมบัติช่วยยึดประสานจากนั้นนำไปบดกับยิปซัมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงจนกลายเป็นผง เมื่อนำมาผสมกับ น้ำ หินและทราย ปูนซีเมนต์จะทำหน้าที่ยึดประสานวัสดุต่างๆให้เป็นเนื้อเดียวกัน ปูนซีเมนต์แต่ละประเภทมีส่วนประกอบที่ต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน เช่น ปูนซีเมนต์ผสมได้จากการบดปูนเม็ดกับยิปซัมและทราย เหมาะกับการใช้การก่อ โบล ฉาบหรืองานก่อสร้างที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมากเกินไป เป็นต้น วัสดุตกแต่งที่ทำจากปูนซีเมนต์ เช่น กระเบื้องดินเผา แก้วกัน ดอกไม้ติดฝาผนัง รูปปั้นต่างๆ เป็นต้น จะพบปัญหา คือ มีน้ำหนักมาก ความยืดหยุ่นต่ำ รูปแบบการขึ้นรูป ไม่หลากหลาย การตัด คัด เจาะและยึดทำได้ยาก

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งได้จากการนำวัสดุหลายๆ ชนิดมาผสมให้เข้ากันดีแล้วนำไปทำเป็นแผ่น วัสดุที่ใช้ผสมสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ (1) ส่วนที่เป็นเส้นใย (Fibrous material) ซึ่งถือว่าเป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษ แบ่งเป็นเส้นใยสั้น (Short fiber) ได้จากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) จะมีความยาวของเส้นใยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 10-20 ไมครอน และเส้นใยยาว (Long fiber) ได้จากไม้เนื้ออ่อน (Softwood) จะมีความยาวของเส้นใยมากกว่า 2 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 20-40 ไมครอน และ (2) ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ซึ่งเป็นสารเติมแต่งใช้เติมผสมลงไปในส่วนเส้นใยเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ในกระดาษโดยทั่วไปจะมีเส้นใยผสมอยู่ในปริมาณร้อยละ 80-95 ของน้ำหนักกระดาษ ปริมาณอัตราส่วนของเส้นใยจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ต้องการผลิต Khadari, Suttisonk, Pratinthong & Hirunlabh (2001) ได้ทำการศึกษาการใช้เส้นใยมะพร้าวและเส้นใยทุเรียนเป็นส่วนผสมในทรายและซีเมนต์ เพื่อผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ ผลการศึกษา พบว่า การใช้เส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้างจะช่วยลดค่าการนำความร้อนและน้ำหนัก (ความหนาแน่น) Vachira (2012) ได้พัฒนาบล็อกประสานน้ำหนักเบาจากเยื่อกระดาษเหลือทิ้ง พบว่าการเพิ่มส่วนผสมของเยื่อกระดาษเหลือทิ้งช่วยลดน้ำหนัก ลดความหนาแน่น และลดค่าการนำความร้อนของวัสดุได้ดี Vachira (2012) ได้ใช้เยื่อกระดาษเหลือใช้ผสมวัสดุตกแต่งและเฟอร์นิเจอร์ พบว่า การใช้เศษกระดาษในวัสดุผสมส่งผลให้วัสดุมีศักยภาพที่ดีขึ้น กล่าวคือ การเพิ่มปริมาณกระดาษจะทำให้ค่าความหนาแน่นต่ำลง (มวลเบา) วัสดุสามารถตัด เจาะ ยึดและตกแต่งได้ง่ายขึ้น และการใช้ตาข่ายพลาสติกเสริมในวัสดุจะทำให้สามารถรับแรงดัดได้เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของ ปูนซีเมนต์ ยิปซัม ทราย น้ำ และเยื่อกระดาษสำหรับผลิตฟอร์นิเจอร์และวัสดุตกแต่งที่จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลเหมาะสมที่สุด คือ 1:0.25:0.25:4:0.1 ตามลำดับ ซึ่งคือน้ำหนักเยื่อกระดาษเป็นร้อยละ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

เมื่อพิจารณางานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า เส้นใยธรรมชาติและเยื่อจากเศษกระดาษเหลือใช้ มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเป็นวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์เพราะจะทำให้ความหนาแน่นต่ำลงสามารถตัด เจาะ ยึดและตกแต่งได้ง่ายขึ้น โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เยื่อจากเศษกระดาษเหลือใช้เป็นส่วนผสมเนื่องจากเส้นใยธรรมชาติจากพืชมีขั้นตอนในการผลิตที่ยุ่งยาก ซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า ส่วนเยื่อจากเศษกระดาษมากกว่าร้อยละ 80 เป็นเยื่อ/เส้นใยที่สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมได้เลย อีกทั้งเป็นการนำเศษกระดาษกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งหนึ่งถือได้ว่าเป็นหนึ่งวิธีที่จะช่วยรักษาสິงแวดล้อม ช่วยลดปริมาณของเสีย

จากเหตุผลต่างๆ ดังกล่าวมางานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการนำเยื่อจากเศษกระดาษเหลือใช้มาผสมกับปูนซีเมนต์ ยิปซัม ทราย และน้ำ ในอัตรา 0.1 : 1 : 0.25 : 0.25 : 4 ตามลำดับ เพื่อผลิตเป็นวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ โดยจะศึกษาเปรียบเทียบเยื่อจากเศษกระดาษแต่ละชนิด คือ เศษกระดาษพิมพ์เขียน เศษกระดาษหนังสือพิมพ์ เศษกล่องกระดาษ และเศษกระดาษรวม ว่าเยื่อจากเศษกระดาษชนิดใดเหมาะสมที่สุดในการนำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตเป็นวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัสดุที่ใช้

2.1.1 ปูนซีเมนต์ประเภท 1 (Normal Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะกับงานก่อสร้างคอนกรีตทั่วไป ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1-2555

2.2.2 ปูนยิปซัมสำหรับงานก่อสร้าง ตามมาตรฐาน มอก. 188-2547

2.2.3 ทรายแม่น้ำ ร่อนผ่านตะแกรง 2.38 มิลลิเมตร (8 Mesh)

2.2.4 น้ำประปา

2.2.5 เศษกระดาษประเภทต่างๆ คือ เศษกระดาษพิมพ์เขียน เศษกระดาษหนังสือพิมพ์ เศษกล่องกระดาษ และเศษกระดาษรวม ซึ่งเป็นการนำเศษกระดาษพิมพ์เขียน เศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเศษกล่องกระดาษมาผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1

2.2 การผลิตวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมเยื่อกระดาษจากเศษกระดาษ

2.2.1.1 ในขั้นตอนนี้เศษกระดาษชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นแผ่นวัสดุขนาดใหญ่จะถูกตีให้กระจายตัวแยกออกจากกันเป็นเส้นใยเดี่ยวหรือกลุ่มเส้นใยในน้ำเยื่อ เส้นใยจะกระจายตัวได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ ความชื้นของน้ำเยื่อ (Consistency) และระยะเวลาที่ใช้ในการกระจายเยื่อ โดยใช้เศษกระดาษพิมพ์เขียนอบแห้ง 1 กิโลกรัม ตัดหรือฉีกให้มีขนาดประมาณ 1x1 นิ้ว แฉ่น้ำอย่างน้อย 4 ชั่วโมงหรือสังเกตจนเศษกระดาษชุ่มน้ำ ใส่ลงในเครื่องกระจายเยื่อแล้วเติมน้ำลงไป โดยควบคุมความชื้นของน้ำเยื่อที่ร้อยละ 25 และระยะเวลาในการกระจายเยื่อ 5 นาที แล้วกรองเอาน้ำออก เยื่อที่ได้

เรียกว่า Screened Pulp จัดเก็บเพื่อใช้งานต่อไป

2.2.1.2 ดำเนินการเหมือนข้อ 2.2.1.1 แต่ใช้เศษกระดาษหนังสือพิมพ์ เศษกล่องกระดาษและเศษกระดาษรวม ตามลำดับ

2.2.2 ขั้นตอนการผลิตวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

2.2.2.1 นำเยื่อจากเศษกระดาษมาหาปริมาณความชื้น เพื่อหาน้ำหนักแห้งของเยื่อกระดาษ

2.2.2.2 นำเยื่อจากเศษกระดาษมาผสมกับปูนซีเมนต์ ยิปซัม และทราย ในอัตราส่วน 0.1 : 1 : 0.25 : 0.25 ตามลำดับ ซึ่งในอัตราส่วนดังกล่าวปริมาณเยื่อกระดาษคิดเป็นร้อยละ 10 ของ

ปูนซีเมนต์ มาคลุกเคล้าให้เข้ากัน

2.2.2.3 เติมน้ำในอัตราส่วน 4 ส่วนเมื่อเทียบกับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ จากนั้นคลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนที่มีใบพัดโลหะประมาณ 3 นาที

2.2.2.4 นำส่วนผสมเหลวในแบบพิมพ์ ขนาด 150 x 150 x 15 เซนติเมตร จากนั้นกระจายวัสดุให้ทั่วทุกจุด ปาดผิวให้เรียบทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง จึงถอดออกจากแบบพิมพ์ นำไปตากแห้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบ 28 วันจึงนำไปทดสอบ

2.3 วิธีการทดสอบ

2.3.1 ความหนาแน่น (Density)

นำชิ้นทดสอบของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ย วัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบขนาด 100 มม. วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่งโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์เป็นตัววัดแล้วหาค่าเฉลี่ย คำนวณหาค่าความหนาแน่นตามสูตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล(กรัม)}}{\text{ปริมาตร(ซม}^3\text{)}}$$

2.3.2 การดูดซึมน้ำ (Water absorption)

ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-2003 นำชิ้นทดสอบของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ไปชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่งก่อนแช่น้ำ จากนั้นวางชิ้นทดสอบในระนาบเดียวกับผิวหน้าโดยให้ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 20 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นวางห่างกันและห่างผนังของภาชนะพอสมควร เมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจึงนำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ โดยไม่มีการซับน้ำทำเช่นนี้ทุกชิ้นทดสอบ แล้วจึงนำชิ้นทดสอบน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยก่อนคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำตามสูตร

$$\text{การดูดซึมน้ำ (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ(กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ(กรัม)}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ(กรัม)}} \right) \times 100$$

2.3.3 การพองตัวทางความหนา (Thickness swelling)

ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-2003 วัดความหนาของชิ้นทดสอบของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ทั้ง 4 มุม หาค่าเฉลี่ยความหนา ก่อนแช่น้ำ นำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำในภาชนะที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ และนำไปวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม จากนั้นหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ยโดยคำนวณค่าการพองตัวทางความหนาตามสูตร

$$\text{การพองตัวทางความหนา (\%)} = \left(\frac{\text{ความหนา ก่อนแช่น้ำ(มิลลิเมตร)} - \text{ความหนา หลังแช่น้ำ(มิลลิเมตร)}}{\text{ความหนา ก่อนแช่น้ำ(มิลลิเมตร)}} \right) \times 100$$

2.3.4 สมบัติมอดูลัสการแตกหัก (Modulus of rupture, MOR)

ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-2003 วางชิ้นทดสอบของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 110 เซนติเมตร กดชิ้นทดสอบด้วยเครื่องกดที่สามารถเพิ่มแรงได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีจังหวะหยุดหรือกระตุกในระหว่างเพิ่ม หาค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ แล้วคำนวณค่ามอดูลัสยืดหยุ่นตามสูตร

$$MOR = \frac{3pL}{2bd^2}$$

เมื่อ MOR = มอดูลัสการแตกหัก หน่วย เมกะพาสคัล (MPa)

P = แรงสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ หน่วย นิวตัน (N)

L = ความยาวของช่วงระหว่างแท่นรองรับ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

d = ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

2.3.5 สมบัติมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity, MOE)

ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-2003 วางชิ้นทดสอบของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 110 เซนติเมตร กดขึ้นทดสอบด้วยเครื่องกดที่สามารถเพิ่มแรงได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีจังหวะหยุดหรือกระตุกในระหว่างเพิ่ม หากค่าเฉลี่ยของแรงกดที่กระทำเพิ่มขึ้นและระยะแอนตัวของชิ้นทดสอบที่เพิ่มขึ้นในช่วงเส้นกราฟเป็นเส้นตรง แล้วคำนวณค่ามอดูลัสยืดหยุ่นตามสูตร

$$MOE = \frac{L^3 \Delta w}{4bt^3 \Delta s}$$

เมื่อ MOE = มอดูลัสยืดหยุ่น หน่วย เมกะพาสคัล (MPa)

L = ระยะห่างของแท่นรองรับ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

Δw = แรงกดที่กระทำเพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วย นิวตัน (N)

b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

t = ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

Δs = ระยะแอนตัวของชิ้นทดสอบที่เพิ่มขึ้นในช่วงเส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วย มิลลิเมตร (mm)

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์



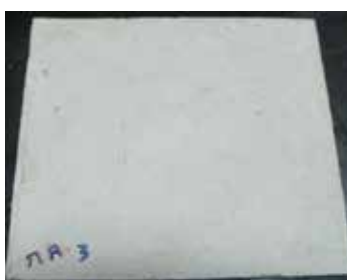
ชิ้นทดสอบและพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ



ชิ้นทดสอบและพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์



ชิ้นทดสอบและพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน



ชิ้นทดสอบและพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ



ชิ้นทดสอบและพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม

รูปที่ 1 ชิ้นทดสอบและลักษณะพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

เมื่อพิจารณาลักษณะพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์พบว่า วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อกระดาษลงไป จะเรียบมากกว่าวัสดุตกแต่งที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป โดยวัสดุตกแต่งที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไปจะมีพื้นผิวหยาบและมีโพรงอากาศขนาดเล็กปนอยู่ เมื่อพิจารณาสีของพื้นผิวพบว่าวัสดุตกแต่งที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไปจะมีสีเทาที่อ่อนกว่าสีเทาของวัสดุตกแต่งที่ไม่ได้ผสมเยื่อกระดาษ เพราะตัวเยื่อจากเศษกระดาษจะไปลดความเข้มของสีเทาของปูนซีเมนต์ลง นอกจากนี้ยังพบผงหมึกในวัสดุตกแต่งที่ผสมเยื่อกระดาษลงไปเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ เยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน และเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ ตามลำดับ

3.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

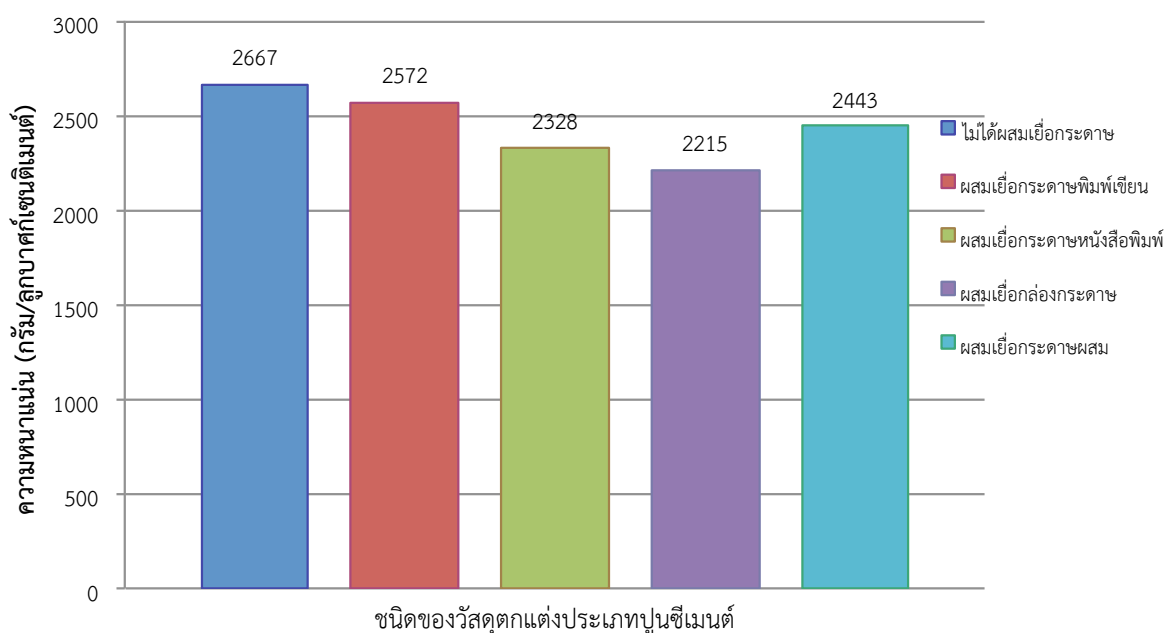
ตารางที่ 1 แสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์	ความหนาแน่น, g/cm ³	การดูดซึมน้ำ, %	การพองตัวทางความหนา, %	มอดูลัสการดกร้าว, MPa	มอดูลัสยืดหยุ่น, MPa
ไม่ได้ผสมเยื่อจากกระดาษ	2,667	17.6	0.15	1.771	1,014
ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน	2,572	41.8	1.12	1.628	1,610
ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์	2,328	42.6	1.34	1.561	1,859
ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ	2,215	44.1	1.56	1.384	2,424
ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม	2,443	43.5	1.35	1.474	1,709

ผลจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้น ตามตารางที่ 1 พบว่า

1. ความหนาแน่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ และผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม มีค่าเท่ากับ 2,667 2,572 2,328 2,215 และ 2,443 g/cm³ ตามลำดับ ตามตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป ทั้งนี้เพราะการเติมเยื่อจากเศษกระดาษซึ่งเป็นวัสดุมวลเบาทำให้วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ได้มีน้ำหนักเบาขึ้นและมีปริมาตรมากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นต่ำลงเมื่อพิจารณาเฉพาะวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่มีการเติมเยื่อจาก

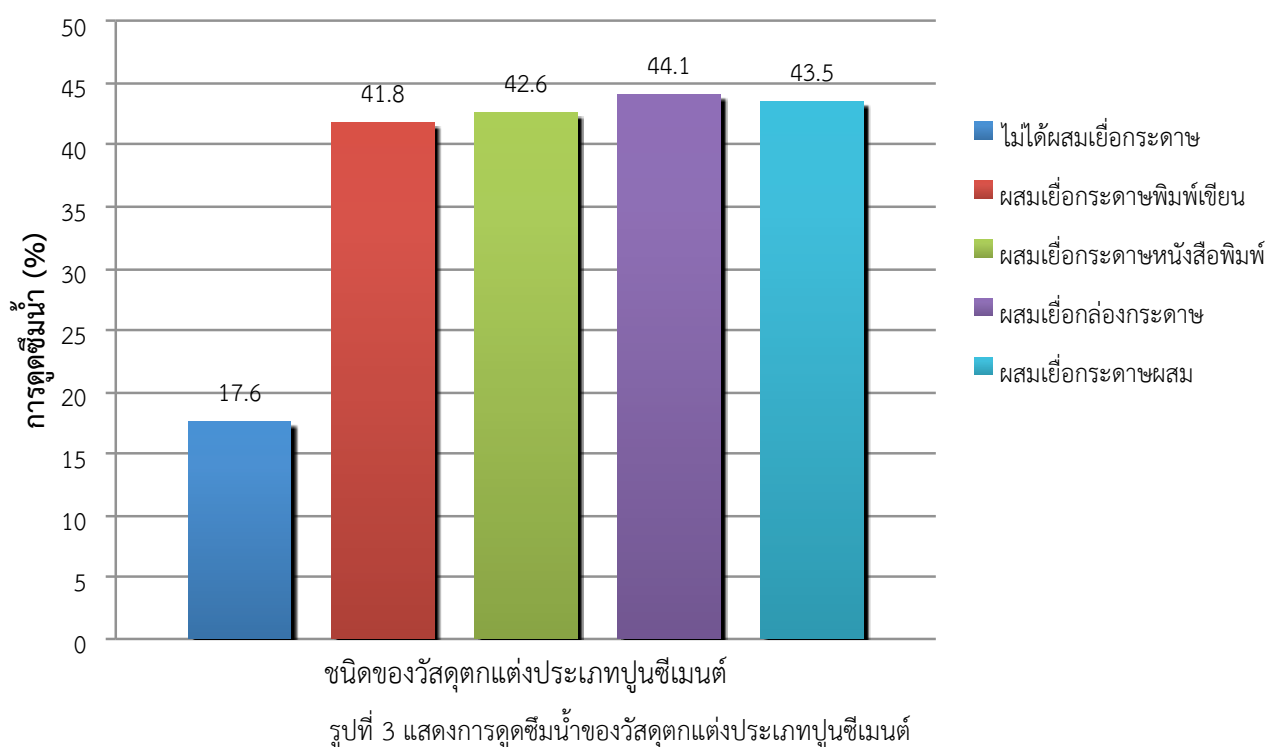
เศษกระดาษ พบว่า ความหนาแน่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียนมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกระดาษที่นำมาผลิตเป็นกระดาษพิมพ์เขียนมีอัตราส่วนของเยื่อใยสั้นต่อเยื่อใยยาวมากกว่า กระดาษหนังสือพิมพ์ และกล่องกระดาษ ตามลำดับ โดยเส้นใยสั้นทำให้ช่องว่างระหว่างส่วนผสมต่างๆ ในวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์มีค่าน้อยกว่าเส้นใยยาวทำให้ปริมาตรน้อยกว่าส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าสูงกว่า ส่วนความหนาแน่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่นำมาผสม โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกล่องกระดาษและเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงความหนาแน่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

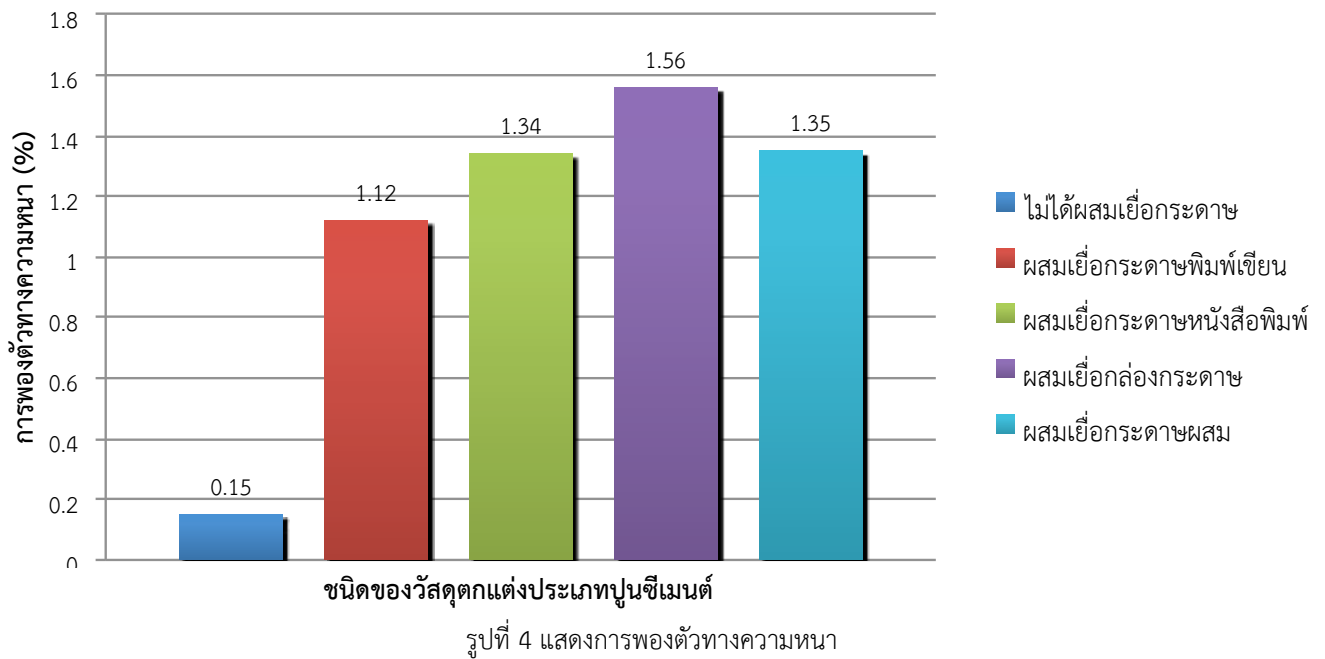
2. การดูดซึมน้ำของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ และผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม มีค่าเท่ากับ 17.6 41.8 42.6 44.1 2 และ 43.5 % ตามลำดับ ตามตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษจะมีความการดูดซึมน้ำสูงกว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป ทั้งนี้เพราะเส้นใยของเยื่อกระดาษที่เติมลงไปมีการดูดซับน้ำส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่มีการเติมเยื่อจากเศษกระดาษพบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการดูดซึมน้ำของวัสดุตกแต่งประเภท

ปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษมีค่าสูงสุด รองลงมาคือเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกระดาษที่นำมาผลิตกล่องกระดาษมีอัตราส่วนของเยื่อใยยาวต่อเยื่อใยสั้นมากกว่า กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ซึ่งเยื่อใยยาวมีความสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าเยื่อใยสั้นส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูงกว่า ส่วนการดูดซึมน้ำของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่นำมาผสม โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียนและเยื่อจากเศษกล่องกระดาษแสดง แสดงดังรูปที่ 3



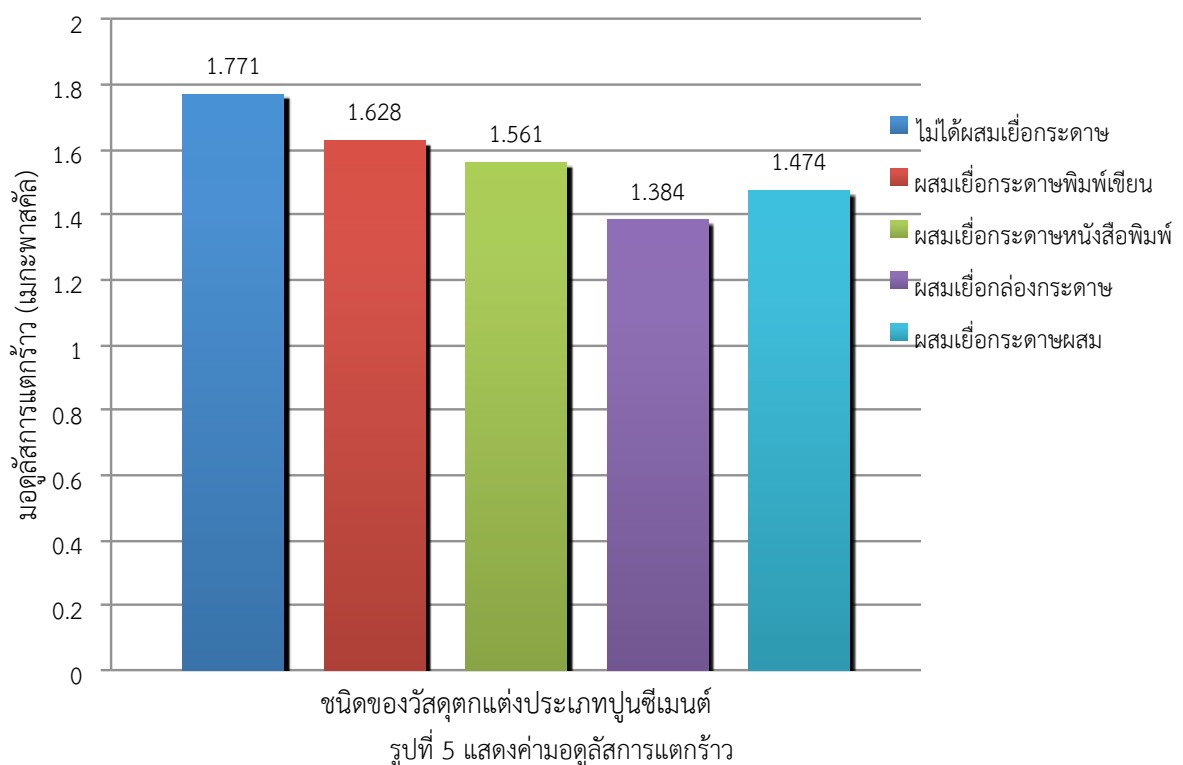
3. การพองตัวทางความหนาของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ และผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม มีค่าเท่ากับ 0.15 1.12 1.34 1.56 และ 1.35 % ตามลำดับ ตามตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษจะมีความการพองตัวทางความหนาสูงกว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป ทั้งนี้เพราะเส้นใยของเยื่อกระดาษที่เติมลงไปมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง และการขยายตัวสูง (พองตัว) จึงเกิดการผลักดันกันภายในวัสดุผสมเยื่อกระดาษ ส่งผลให้การพองตัวทางความหนาสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่มีการเติมเยื่อจากเศษกระดาษ

พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการพองตัวทางความหนาของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกระดาษที่นำมาผลิตกล่องกระดาษมีอัตราส่วนของเยื่อใยยาวต่อเยื่อใยสั้นมากกว่า กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ซึ่งเยื่อใยยาวเมื่อมีการดูดซับน้ำจะมีการพองตัวได้มากกว่าเยื่อใยสั้น ส่งผลให้การพองตัวทางความหนามีค่าสูงกว่า ส่วนการพองตัวทางความหนาของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่นำมาผสม โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียนและเยื่อจากเศษกล่องกระดาษแสดง ดังรูปที่ 4



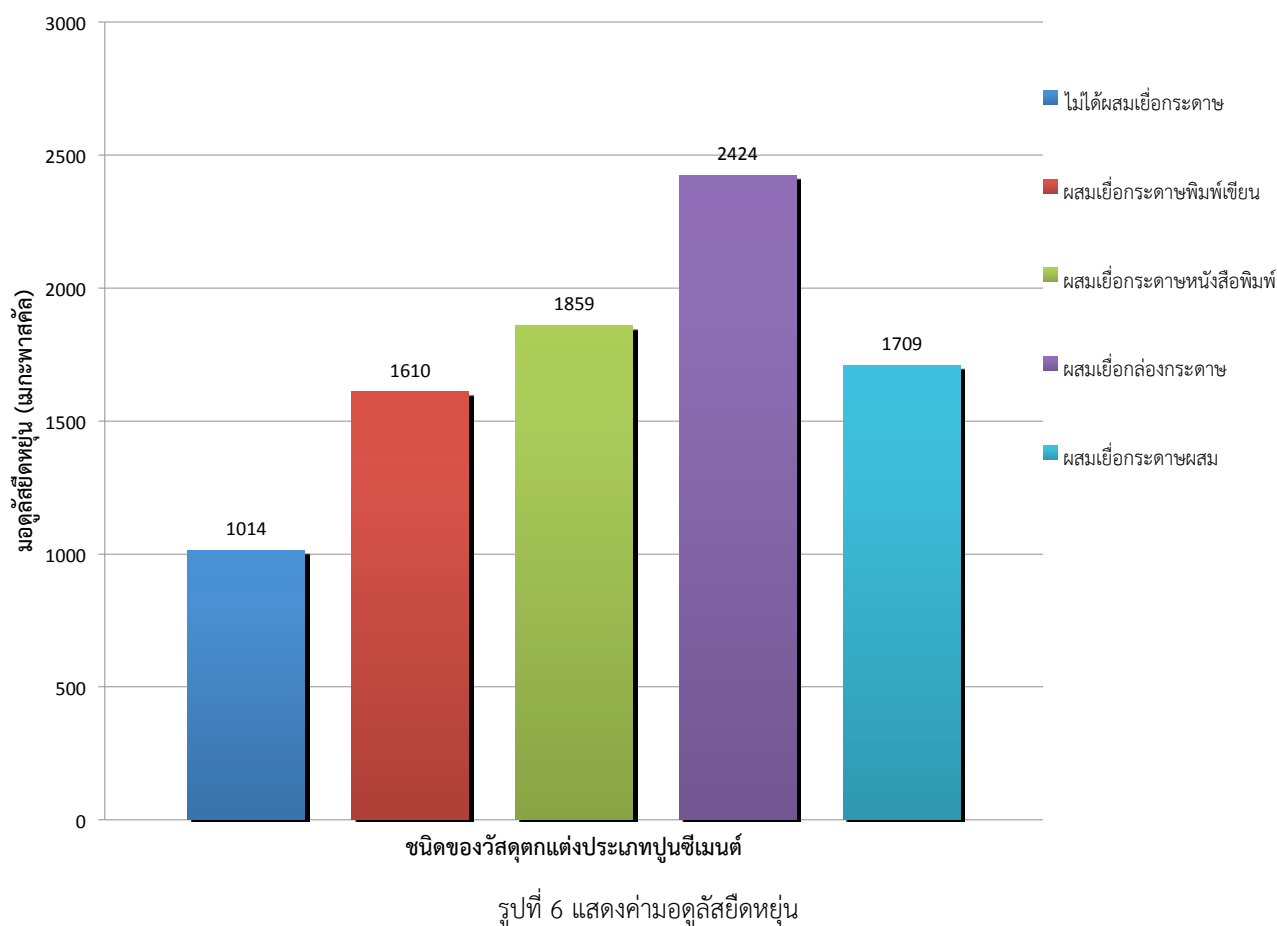
4. มอดูลัสการแตกร้าวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ และผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม มีค่าเท่ากับ 1.771 1.628 1.561 1.384 และ 1.474 MPa ตามลำดับ ตามตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษจะมีค่ามอดูลัสการแตกร้าวต่ำกว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป ทั้งนี้เพราะเส้นใยของเยื่อกระดาษที่เติมลงไปทำให้ความสามารถในการรับแรงดัดสูงสุดที่กระกระทำต่อตัวอย่างปูนซีเมนต์ ณ จุดวิบัติลดลง ส่งผลให้ค่ามอดูลัสการแตกร้าวลดลง เมื่อพิจารณาเฉพาะวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่มีการเติมเยื่อจากเศษกระดาษ พบว่า มอดูลัสการแตกร้าว

ของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียนมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกระดาษที่นำมาผลิตกระดาษพิมพ์เขียนมีอัตราส่วนเยื่อใยสั้นต่อเยื่อใยยาวมากกว่า กระดาษหนังสือพิมพ์ และกล่องกระดาษ ตามลำดับ ซึ่งวัสดุที่ผสมเยื่อใยสั้นมากกว่าจะมีการประสานตัวกันระหว่างเส้นใยกับปูนซีเมนต์และส่วนผสมอื่นๆ ดีกว่าส่งผลให้ค่ามอดูลัสการแตกร้าวมีค่าสูงกว่า ส่วนมอดูลัสการแตกร้าวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่นำมาผสม โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกล่องกระดาษและเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน แสดงดังรูปที่ 5



5. มอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ และผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม มีค่าเท่ากับ 1,014 1,610 1,859 2,424 และ 1,709 MPa ตามลำดับ ตามตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษจะมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป ทั้งนี้เพราะเส้นใยของเยื่อกระดาษที่เติมลงไปทำให้วัสดุผสมสามารถทนทานต่อแรงกระทำได้มาก เสียรูปร่างเดิมได้ยาก ส่งผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่มีการเติมเยื่อจากเศษกระดาษ พบว่า มอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่

ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกระดาษที่นำมาผลิตกล่องกระดาษมีอัตราส่วนเยื่อใยยาวต่อเยื่อใยสั้นมากกว่า กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษพิมพ์เขียนตามลำดับ ซึ่งวัสดุที่ผสมเยื่อใยยาวมากกว่าจะสามารถทนทานต่อแรงกระทำได้มาก เสียรูปร่างเดิมได้ยากกว่า ส่งผลให้มอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าสูงกว่า ส่วนมอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่นำมาผสม โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียนและเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ แสดง ดังรูปที่ 6



4. การนำวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ผสมไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์

การขึ้นรูปทรงเพื่อเป็นทำเป็นวัสดุตกแต่งจะใช้วิธีการหล่อแบบขึ้นรูปทรงโดยใช้วัสดุที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ เพราะเป็นเยื่อที่ทำให้วัสดุมีความหนาแน่นต่ำสุด (มวลเบา) และมีมอดูลัสยืดหยุ่นสูงสุด วัสดุตกแต่งที่ผลิตได้ดังรูปที่ 7



ผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นพาย



ผลิตภัณฑ์ประเภทดอกไม้ติดฝานั่ง



ผลิตภัณฑ์ประเภทดอกไม้ตั้งโต๊ะ

รูปที่ 7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ

วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ ตามอัตราส่วนที่ผลิตขึ้น สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุตกแต่งได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับแบบหล่อที่จะขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ดอกไม้ แผ่นพาย ฯลฯ โดยวัสดุตกแต่งที่ได้จะมีน้ำหนักเบา การตัด ดัด เจาะ และยึด เพื่อประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ทั้งนี้ในขั้นตอนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จะมีการเติมสารเติมแต่งลงไป เช่น สารต้านทานการซึมน้ำเพื่อป้องกันการซึมของน้ำเป็นการยืดอายุการใช้งานวัสดุ สารเคลือบผิวเพื่อทำให้ผิวของวัสดุมีความคงทนและเงางาม กาวเพื่อให้วัสดุยึดติดกันมากขึ้น ทาสีเพื่อเพิ่มความสวยงาม หรืออาจจะเพิ่มความแข็งแรงด้วยการเสริมตาข่ายเหล็กหรือพลาสติกลงไปในขณะที่ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

5. สรุป (Conclusion)

5.1 วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้เติมเยื่อจากเศษกระดาษกับเติมเยื่อจากเศษกระดาษร้อยละ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์พบว่า เมื่อเติมเยื่อจากเศษกระดาษลงไปทำให้วัสดุมีค่าความหนาแน่นและมอดูลัสการดักน้ำลดลง ส่วนการดูดซึมน้ำ การพองตัวทางความหนา และมอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเศษกระดาษเหลือใช้สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในปูนซีเมนต์ ยิปซัม ทราย และน้ำได้ โดยส่งผลให้วัสดุมีน้ำหนักเบา (มวลเบา) ช่วยลดรอยแตกร้าวและเพิ่มความยืดหยุ่นของวัสดุตกแต่งได้

5.2 วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ ที่นำเยื่อจากเศษกระดาษชนิดต่าง ๆ มาผสม พบว่า เยื่อจากเศษกล่องกระดาษจะทำให้วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ มีความหนาแน่นและมอดูลัสการดักน้ำต่ำสุด การดูดซึมน้ำ การพองตัวทางความหนา และมอดูลัสยืดหยุ่นสูงสุด รองลงมาคือ เยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์และเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะเยื่อจากเศษกล่องกระดาษมีอัตราส่วนระหว่างเยื่อใยยาวต่อเยื่อใยสั้นมากกว่าเยื่อจากเศษกระดาษชนิดอื่นๆ

5.3 วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ผสมเยื่อกระดาษไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ สามารถขึ้นรูปได้หลากหลายรูปแบบ การตัด ดัด เจาะ และยึดทำได้สะดวก ง่าย และรวดเร็ว เนื่องจากมีน้ำหนักเบา

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกลุ่มวัสดุก่อสร้าง โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรมกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้ความอนุเคราะห์ทดสอบค่ามอดูลัสการดักน้ำและมอดูลัสยืดหยุ่น

7. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] กิตติศักดิ์ บัวศรี. การพัฒนาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยชานอ้อย : เอกสารเผยแพร่ผลงานวิชาการ 2557. วิทยาลัยสารพัดช่างกาญจนบุรี อำเภอเมืองจังหวัดกาญจนบุรี
- [2] กรมโยธาธิการและผังเมือง. มยผ. 1211-50. มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง. 2550. มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต.
- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 15 เล่ม 1-2555 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์. กรุงเทพฯ : สมอ., 2555.
- [4] วชิระ แสงรัศมี. การพัฒนาบล็อกประสานน้ำหนักเบาจากเยื่อกระดาษเหลือทิ้ง. *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ Built Environment Research Associates Conference, BERAC 3, 2012*
- [5] วชิระ แสงรัศมี. วัสดุตกแต่งและเฟอร์นิเจอร์เยื่อกระดาษเหลือใช้ทางใหม่. *วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/ผังเมือง*. 2555, 95-104.
- [6] JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD. JIS A 5098: 2003. *Particleboard*, Translated and Published by Japanese Standard Association.
- [7] KHEDARI, J., et al., New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composites*, 27(1), 111-116.

การสำรวจเบื้องต้น : คุณภาพของเครื่องใช้ในครัวเรือนพลาสติกเมลามีน A preliminary survey : Quality of plastic melamine kitchenware

2

ธวัช นุสนธรา^{1*}, ปวริศา สีสวย¹, สุภัตรา เจริญเกษมวิทย์¹

Thawat Nusonthara^{1*}, Pawarisa Srisury¹, Supattra Charoenkasemwit¹

บทคัดย่อ

รายงานการศึกษานี้เป็นการศึกษาคุณภาพของเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนที่จำหน่ายในประเทศ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2557 จากจังหวัดเชียงราย หนองคาย มุกดาหาร นครราชสีมา ลพบุรี สระบุรี ปทุมธานี นครสวรรค์ สงขลา และกรุงเทพฯ รวมทั้งสิ้นจำนวน 71 ตัวอย่าง แยกตามประเทศผู้ผลิตได้แก่ ไทย จีน เวียดนาม และที่ไม่ระบุแหล่งผลิตเป็น 20, 36, 2 และ 13 ตัวอย่าง จากการตรวจสอบชนิดของพลาสติกที่ใช้ผลิตพลาสติกเมลามีนด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) พบว่าเป็นพลาสติกเมลามีนชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ 21 ตัวอย่าง ชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 8 ตัวอย่าง และชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ 42 ตัวอย่าง ซึ่งการระบุคุณภาพของเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนด้วยการทดสอบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์โดยเทคนิค UV-visible spectroscopy ตามวิธีทดสอบ DD CEN/TS 13130-23: 2005 และการทดสอบปริมาณสารเมลามีนโดยเทคนิค Ultra-High Performance Liquid Chromatography (UHPLC) ตามวิธีทดสอบ DD CEN/TS 13130-27: 2005 สภาวะทดสอบตัวอย่างสกัดด้วยสารละลายกรดแอสติก ร้อยละ 3 โดยมวลต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และแต่ละตัวอย่างสกัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง โดยใช้ผลการทดสอบของการสกัดครั้งที่ 3 สำหรับตรวจวัดสารฟอร์มาลดีไฮด์และสารเมลามีน โดยตามข้อกำหนดในมาตรฐาน Commission Regulation (EU) No. 10/2011 กำหนดค่าสารฟอร์มาลดีไฮด์ไม่มากกว่า 15.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารเมลามีนไม่มากกว่า 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่าเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนที่จำหน่ายในประเทศชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 62 ตรวจพบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในช่วง 16.0-797.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณเมลามีนในช่วง 3.0-455.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกตัวอย่าง ตรวจพบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในช่วง 22.2-12,193.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณเมลามีนในช่วง 3.1-16.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 88 ตรวจพบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์และปริมาณเมลามีนในช่วง 15.2-5,247.6 และ 2.7-26.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ผลการศึกษานี้สามารถบ่งชี้ได้ว่าเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนที่จำหน่ายในประเทศไทย ส่วนใหญ่มีปริมาณเมลามีนและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นการนำเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนมาใช้งานควรให้ความระมัดระวังในการใช้

Abstract

This research is the preliminary survey of melamine kitchenware quality in Thailand. The sampling and testing of melamine-ware was carried out from January 2013 to March 2014 in areas of Chiang Rai, Nong Khai, Mukdahan, Nakhonratchasima, Lop Buri, Saraburi, Pathum Thani, Nakhon Sawan, Songkhla and Bangkok. The total of 71 samples was analyzed and the producing countries consisted of Thailand, China, Vietnam and unknown as following 20, 36, 2 and 13 samples, respectively. The plastic types were determined using Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) and the results were 21 samples of melamine-formaldehyde, 8 samples of urea - formaldehyde and 42 samples of urea - formaldehyde coated with melamine - formaldehyde. The qualities of plastic melamine kitchenware were specified by testing the formaldehyde and melamine release. The formaldehyde and melamine release were measured using UV-visible spectroscopy method: DD CEN/TS 13130-23 : 2005 and ultra-high performance liquid chromatography (UHPLC) method: DD CEN/TS 13130-27 : 2005, respectively. The samples were exposed to food simulant 3% (w/v) aqueous acetic acid, repeat three times under condition temperature 70°C, 2 hours. The results of third exposure were formaldehyde and melamine. European Union issued EU Regulation No. 10/2011 specified limits for migration of formaldehyde and melamine as 15.0 mg/kg and 2.5 mg/kg, respectively. The results found that the 62 percentages of the melamine - formaldehyde did not meet EU regulation limit. The amount of formaldehyde was found in the range

of 16.0-797.5 mg/kg and 3.0-455.8 mg/kg for melamine. All of urea-formaldehyde did not meet EU regulation limit in the range of 22.2-12,193.8 mg/kg for formaldehyde and 3.1-16.6 mg/kg for melamine. The 88 percentages of urea - formaldehyde coated with melamine - formaldehyde did not meet EU regulation limit in the range 15.2 to 5247.6 mg/kg for formaldehyde and 2.7-26.9 mg/kg for melamine. The results of this study indicated that almost of plastic melamine kitchenware in the country not meet the standards in formaldehyde and melamine substances. Therefore, using the plastic melamine kitchenware for food contact materials should be caution for use.

คำสำคัญ: เครื่องใช้ในครัวเรือน เมลามีน พอร์มาลดีไฮด์

Keyword: Kitchen and tableware, Melamine, Formaldehyde

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author E-mail address : thawat@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนเป็นสินค้าอุปโภคบริโภคที่ครัวเรือนจำเป็นต้องใช้เพื่อประกอบอาหาร และใช้เป็นภาชนะสำหรับการบริโภคเป็นประจำทุกวัน ซึ่งความปลอดภัยของอาหารจากสารปนเปื้อนและสารพิษอันเนื่องมาจากเครื่องใช้ในครัวเรือนเป็นสิ่งที่คนไทยส่วนใหญ่ไม่ให้ความสำคัญเนื่องจากอันตรายที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดในทันทีทันใด แต่จะค่อยๆ สะสมในร่างกายจนเกิดอันตราย โดยเฉพาะภาชนะเมลามีนซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในครัวเรือนและร้านอาหารทั่วไปเนื่องจากมีความคงทนแตกหักได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับภาชนะแก้วหรือเซรามิก นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบา ผิวเรียบมันสวยงามคล้ายภาชนะเซรามิก และราคาถูกหาซื้อได้ง่าย โดยเมลามีนมีชื่อเต็มว่า “เมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์” เป็นพลาสติกเทอร์โมเซตติง (thermosetting plastics) ซึ่งมีสมบัติที่ไม่สามารถคืนสภาพได้หลังจากการขึ้นรูปด้วยความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมี นั่นคือสามารถขึ้นรูปได้เพียงครั้งเดียวนั่นเอง เมลามีนมีส่วนประกอบหลักเป็นสารเมลามีนและสารฟอร์มาลดีไฮด์ ดังนั้นภาชนะชนิดนี้จะเกิดการแพร่กระจายของสารทั้งสองชนิดนี้ออกมาได้หากมีการใช้งานไม่เหมาะสมหรือการใช้สินค้าที่ไม่มีคุณภาพตามมาตรฐาน การใช้งานไม่เหมาะสมส่วนใหญ่เกิดจากความเข้าใจผิดของผู้บริโภคที่มักคิดว่าภาชนะเมลามีนนี้เป็นภาชนะที่สามารถทนความร้อนได้สูงจากการที่รูปร่างภาชนะไม่เปลี่ยนแปลง ผู้บริโภคจึงนำไปบรรจุอาหารที่ร้อนจัด หรือการใส่อาหารแล้วนำไปอุ่นในเตาไมโครเวฟ นอกจากนี้สารทั้งสองชนิดนี้จะละลายออกมาได้เมื่อสัมผัสอาหารที่เป็นกรด การรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนสารเมลามีนจะทำให้เกิดการสะสมของสารนี้ในร่างกายกลายเป็นนิ่วในท่อปัสสาวะและไต ทำให้ไตวายหรือเกิดมะเร็งที่ท่อปัสสาวะได้ [1] ส่วนสารฟอร์มาลดีไฮด์นั้นจัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็ง โดยถ้าได้รับในปริมาณสูงเกิน 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) อาจทำให้หมดสติ และถึงแก่ชีวิตได้เนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์จะเปลี่ยนรูปเป็นกรดฟอร์มิก (formic acid) ซึ่งมีฤทธิ์ทำลายระบบการทำงานของเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย แต่ถ้าได้รับปริมาณน้อยแต่ระยะยาวจะทำให้เกิดผลเสียกับระบบร่างกายต่างๆ หรือก่อให้เกิดมะเร็งได้ [2-4]

อันตรายจากการใช้ภาชนะเมลามีนนั้นผู้บริโภคส่วนใหญ่จะไม่เห็นความสำคัญและถูกมองข้าม เนื่องจากอันตรายที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดในทันทีทันใด การเลือกซื้อ เลือกใช้ภาชนะเมลามีนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะสินค้าเหล่านี้จะมีคุณภาพและราคาแตกต่างกันไป โดยผู้บริโภคมักจะได้รับข้อมูลคุณภาพสินค้านั้นจากการกล่าวอ้างของผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่ายเพียงฝ่ายเดียวทำให้ขาดข้อมูลที่สำคัญในการตัดสินใจในการเลือกซื้อ และได้รับสินค้าที่ไม่มีคุณภาพและความปลอดภัยที่เหมาะสมกับการใช้งาน นอกจากนี้ผู้ประกอบบางแห่งจะลดต้นทุนการผลิตแต่สร้างความเข้าใจผิดให้กับผู้บริโภคโดยผลิตภาชนะพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่มีลักษณะภายนอกคล้ายกับภาชนะเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ โดยใช้พลาสติกชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นพลาสติกที่ใช้ผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ ปลั๊กไฟฟ้า หรือเครื่องอุปโภคชนิดอื่นๆ [3] หรือบางครั้งอาจเคลือบผิวหน้า

ด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ก็ตาม ภาชนะเหล่านี้มีความเสี่ยงต่อสุขภาพผู้บริโภคเป็นอย่างมากเนื่องจากมีความทนอุณหภูมิได้ต่ำกว่าภาชนะเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ นอกจากนี้ภาชนะเมลามีนไม่ได้ผลิตจากโรงงานในประเทศเพียงอย่างเดียวแต่มีการนำเข้าจากประเทศอื่นๆ ได้อย่างสะดวกโดยไม่มีการตรวจสอบความปลอดภัย โดยเฉพาะในปัจจุบันประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนทำให้มีการเคลื่อนย้ายสินค้าภายในภูมิภาคอย่างอิสระ การเปิดการค้าเสรีดังกล่าวทำให้สินค้าที่มีราคาถูกแต่ด้อยคุณภาพเข้ามาจำหน่ายและสามารถหาซื้อได้ง่ายตามตลาดล่าง ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการซื้อสินค้าที่ไม่มีคุณภาพและความปลอดภัยมากขึ้น ดังนั้นการตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพสินค้าจึงมีความสำคัญมากขึ้นเป็นทวีคูณ กรมวิทยาศาสตร์บริการเล็งเห็นความสำคัญในเรื่องความปลอดภัยของสินค้าและคุณภาพชีวิตของประชาชน จึงตรวจสอบสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนเพื่อคุ้มครองผู้บริโภค

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 พื้นที่ในการสำรวจ

พื้นที่ในการเก็บตัวอย่างเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนที่จำหน่ายในประเทศ เพื่อการสำรวจเบื้องต้นในครั้งนี้สุ่มตรวจจากร้านค้าทั่วไป ด้านการค้าขายแดน ท่างสรรพสินค้าและตลาดนัดในจังหวัดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยจำนวนตัวอย่างที่สุ่มขึ้นอยู่กับปริมาณและจำนวนตัวอย่างที่มีการวางจำหน่ายในพื้นที่นั้นๆ

ตารางที่ 1 สถานที่ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างภาชนะเมลามีนและจำนวนตัวอย่าง

ลำดับที่	สถานที่สุ่มตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง
1	ภาคเหนือ - จังหวัดเชียงราย	3
2	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ - จังหวัดหนองคาย มุกดาหาร และ นครราชสีมา	20
3	ภาคกลาง - จังหวัดลพบุรี สระบุรี ปทุมธานี นครสวรรค์ และกรุงเทพฯ	43
4	ภาคใต้ - สงขลา	5
รวม		71

2.2 การทดสอบชนิดพลาสติก

ทดสอบชนิดพลาสติกของตัวอย่างพลาสติกเมลามีนด้านที่สัมผัสและไม่สัมผัสอาหารด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) โดยชุดตัวอย่างด้านที่ต้องการทดสอบให้เป็นผงละเอียดด้วยกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์ หรือกระดาษกากเพชร นำผงที่เตรียมได้หรือกระดาษที่ชุดตัวอย่างลงในช่องสำหรับใส่ชิ้นทดสอบของอุปกรณ์ดิฟฟิวส์รีเฟลกแทนซ์ (diffuse reflectance) ของเครื่อง Infrared spectrometer ที่มีแหล่งกำเนิดรังสีครอบคลุม

ช่วงเลขคลื่นระหว่าง 4,000-400 cm^{-1} บันทึกรูปแบบการดูดกลืนแสง ตรวจสอบชนิดพลาสติกโดยเปรียบเทียบรูปแบบการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกับรูปแบบการดูดกลืนแสงของพลาสติกมาตรฐาน

2.3 การทดสอบหาฟอร์มาลดีไฮด์ ตามวิธีทดสอบ DD CEN/TS 13130-23 : 2005 [5]

2.3.1 เครื่องมือ

2.3.1.1 เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ยี่ห้อ Jasco รุ่น V-650

2.3.1.2 เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม

2.3.1.3 อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$ และ $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$

2.3.1.4 ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$

2.3.2 สารละลายและวิธีเตรียม

2.3.2.1 สารละลายผสมแอซีทิลแอซีโทนและแอมโมเนียมแอซีเตต

ซึ่งแอมโมเนียมแอซีเตตแอนไฮไดรส์ 15 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 80 ลูกบาศก์เซนติเมตรแล้วถ่ายลงในขวดแก้วปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำแอซีทิลแอซีโทนความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 ปริมาตร 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมกรดแอซีติกเข้มข้นความหนาแน่น 1.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาตร 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร สารละลายนี้ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้

2.3.2.2 สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

นำกรดซัลฟิวริกเข้มข้นความหนาแน่น 1.84 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ใส่ขวดแก้วปริมาตรขนาด 1 ลูกบาศก์เดซิเมตรที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

2.3.2.3 สารละลายไทมอลฟทาไลน์ อินดิเคเตอร์ (thymolphthalein indicator) ร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร

ซึ่งไทมอลฟทาไลน์ 0.05 กรัม ละลายในเอทานอลจนมีปริมาตรเป็น 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.3.2.4 สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

ซึ่งโซเดียมซัลไฟด์แอนไฮไดรส์ ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 97 โดยมวล 126 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วย

น้ำกลั่นเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.3.2.5 สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1,500 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

นำสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ร้อยละ 37.4 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 3.8 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ขวดแก้วปริมาตรขนาด 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตรเป็นสารละลาย (A) ใช้ได้ภายใน 1 เดือน สอบเทียบความเข้มข้นของสารละลายในขวดแก้วปริมาตรดังนี้

(1) นำสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (ข้อ 2.2.2.4) ปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ขวดแก้วรูปชมพู่ ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร หยดสารละลายไทมอลฟทาไลน์ อินดิเคเตอร์ (ข้อ 2.2.2.3) จำนวน 2 หยด ถึง 3 หยด จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี

(2) นำสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ (A) ปริมาตร 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในสารละลายข้อ (1) สีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก (ข้อ 2.2.2.2) จนถึงจุดยุติเมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ จากสูตร

$$B = \frac{0.6 \times V1 \times 1000}{V2}$$

เมื่อ B คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ เป็น มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร V1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไทเทรตเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร V2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ เป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.3.2.6 สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1.5, 6.0, 10.5, 15.0 และ 30.0 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

นำสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

(ข้อ 2.1.2.5) ปริมาตร 0.1, 0.4, 0.7, 1.0 และ 2.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร แยกใส่ขวดแก้วปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 5 ใบ ตามลำดับ เติมสารละลายกรดแอสติก ร้อยละ 3 โดยมวลต่อปริมาตรจนถึงขีดปริมาตร

2.3.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

2.3.3.1 กรณีตัวอย่างบรรจุสารละลายได้

- (1) ทำความสะอาดตัวอย่างโดยปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต (ถ้ามี) หรือล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน วางไว้ให้แห้งในที่ปลอดฝุ่น
- (2) เติมสารละลายกรดแอสติก ร้อยละ 3 โดยมวลต่อปริมาตร ที่มีอุณหภูมิ $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ในตัวอย่างให้ระดับต่ำกว่าขอบบนของตัวอย่าง 0.5 เซนติเมตร บันทึกปริมาตรที่ใช้ ปิดด้วยกระจกแช่ในอ่างน้ำหรือวางในตู้ควบคุมที่อุณหภูมิ $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เติมสารละลายกรดแอสติกทิ้งไป แล้วปฏิบัติซ้ำอีกจำนวน 2 ครั้ง ตั้งแต่เติมสารละลายกรดแอสติกจนถึงเททิ้งไป โดยครั้งที่ 3 ให้เก็บสารละลายกรดแอสติกแทนการเททิ้งใส่ในภาชนะแก้วปิดฝา ตั้งไว้จนถึงอุณหภูมิห้องเป็นสารละลายที่สกัดได้สำหรับทดสอบหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่อไป

2.3.3.2 กรณีตัวอย่างบรรจุสารละลายไม่ได้

- (1) คำนวณพื้นที่ผิวตัวอย่างส่วนที่สัมผัสอาหาร หน่วยเป็นลูกบาศก์เดซิเมตร แล้วทำความสะอาดตามข้อ 2.2.3.1(1)
- (2) ใส่ชิ้นตัวอย่างในภาชนะแก้วทรงกระบอก เติมสารละลายกรดแอสติก ร้อยละ 3 โดยมวลต่อปริมาตรที่มีอุณหภูมิ $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ให้ท่วมส่วนที่สัมผัสอาหารและส่วนด้ามจับ (ถ้ามี) สูง 1 เซนติเมตร โดยให้พื้นที่สัมผัสต่อปริมาตรเป็น 100 ตารางเซนติเมตร ต่อ 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร ปิดด้วยกระจกแช่ในอ่างน้ำหรือวางในตู้ควบคุมที่อุณหภูมิ $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ตั้งไว้จนถึงอุณหภูมิของสารละลายกรดแอสติกถึงระดับที่ต้องการ แล้วจับเวลา 2 ชั่วโมง เติมสารละลายกรด

แอสติกทิ้งไป แล้วปฏิบัติซ้ำอีกจำนวน 2 ครั้ง ตั้งแต่เติมสารละลายกรดแอสติกจนถึงเททิ้งไป โดยครั้งที่ 3 ให้เก็บสารละลายกรดแอสติกแทนการเททิ้งใส่ในภาชนะแก้วปิดฝา ตั้งไว้จนถึงอุณหภูมิห้องเป็นสารละลายที่สกัดได้สำหรับทดสอบหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่อไป

2.3.3.3 การเตรียมสารละลายแบล็ก

ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกันกับการเตรียมสารละลายตัวอย่าง ยกเว้นให้ใช้บีกเกอร์แทนตัวอย่าง

2.3.4 วิธีทดสอบ

2.3.4.1 นำสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ตามข้อ 2.2.2.6 แยกใส่ขวดแก้วมีฝาปิดปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน นำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 10 นาที วัดค่าความกลืนแสงภายในเวลาไม่เกิน 25 นาที ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2.3.4.2 ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 2.2.4.1 แต่ใช้สารละลายตัวอย่างและสารละลายแบล็กแล้วแต่กรณีแทนสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

2.3.4.3 ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของฟอร์มาลดีไฮด์กับกราฟมาตรฐาน เป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2.4 การทดสอบหาสารเมลามีน (2,4,6 ไตรอะมีโน 1,3,5 ไตรอะซีน) ตามวิธีทดสอบ DD CEN/TS 13130-27:2005 [6]

2.4.1 เครื่องมือ

2.4.1.1 เครื่องโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูงชนิดสารพาหะเหลว (High performance liquid chromatograph, HPLC) ที่มีภาวะและอุปกรณ์ประกอบ ดังนี้

- (1) คอลัมน์เหล็กกล้าไร้สนิม เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.6 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร บรรจุซิลิกา เจลเคลือบด้วยอะมีโน ขนาดอนุภาค 5 ไมโครเมตร

- (2) อุณหภูมิของคอลัมน์ที่อุณหภูมิห้อง
 - (3) สารพาเป็นสารผสมระหว่างแอซีโทรโนไตรล์และสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ความเข้มข้น 0.005 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตรในอัตราส่วน 75 : 25 และปรับอัตราไหลให้ได้ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
 - (4) เครื่องวัดชนิดอัลตราไวโอเลตสเปกโตรเมทริกที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร
- 2.4.1.2 อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 60 ± 2 °C และ 70 ± 2 °C
- 2.4.1.3 อ่างให้ความร้อนแบบอัลตราโซนิก
- 2.4.2 สารละลายและวิธีเตรียม
- 2.4.2.1 สารแอซีโทรโนไตรล์ เกรด HPLC
- 2.4.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 โดยปริมาตร
- ซังโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมใส่ในขวดปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร
- 2.4.2.3 สารละลายมาตรฐาน 2,4,6 ไทโรซีน 1,3,5 ไทโรซีน เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
- ซัง 2,4,6 ไทโรซีน 1,3,5 ไทโรซีน ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยมวล ปริมาณ 50 มิลลิกรัม ใส่ในขวดปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นนำไปวางในอ่างให้ความร้อนแบบอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิ 70 ± 2 °C จนกระทั่ง 2,4,6 ไทโรซีน 1,3,5 ไทโรซีน ละลายหมด แล้วนำมาปล่อยไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตรเก็บสารละลายที่ได้ไว้ในภาชนะปิดสนิท และอยู่ในที่มืด โดยต้องเตรียมใหม่ทุก 3 เดือน
- 2.4.2.4 สารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ 0.005 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
- ซังโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต 690 มิลลิกรัม ใส่ในขวดปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 900 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปรับความเป็นกรดต่างเป็น 6.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 โดยปริมาตร (ข้อ 2.4.2.2)

แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

- 2.4.2.5 สารละลายมาตรฐาน 2,4,6 ไทโรซีน 1,3,5 ไทโรซีน เข้มข้น 0, 0.5, 1, 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
- นำสารละลาย 2,4,6 ไทโรซีน 1,3,5 ไทโรซีน (ข้อ 2.4.2.3) ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรใส่ในขวดปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายกรดแอซีติกร้อยละ 3 โดยมวลต่อปริมาตร จนถึงขีดปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐาน 2,4,6 ไทโรซีน 1,3,5 ไทโรซีน เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร จากนั้นดูดสารละลายที่ได้ปริมาตร 0, 2.5, 5, 10 และ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร แยกใส่ขวดแก้วปริมาตรขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 5 ใบ ตามลำดับ เติมสารละลายกรดแอซีติกจนถึงขีดปริมาตร
- 2.4.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง
- ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 2.2.3
- 2.4.4 การเตรียมสารละลายแบล็ก
- ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกันกับการเตรียมสารละลายตัวอย่าง ยกเว้นให้ใช้บีกเกอร์แทนตัวอย่าง
- 2.4.5 วิธีทดสอบ
- 2.4.5.1 นำสารละลายมาตรฐาน 2,4,6 ไทโรซีน 1,3,5 ไทโรซีน ตามข้อ 2.4.2.3 แยกใส่ขวดไวโอล ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับฉีดสารตัวอย่างด้วยเครื่องโครมาโทกราฟสมรรถนะสูงชนิดสารพาเหลวที่สภาวะตามข้อ 2.4.1.1 สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของ 2,4,6 ไทโรซีน 1,3,5 ไทโรซีน เป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
- 2.4.5.2 ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 2.4.5.1 แต่ใช้สารละลายตัวอย่างและสารละลายแบล็ก แล้วแต่กรณีแทนสารละลายมาตรฐาน 2,4,6 ไทโรซีน 1,3,5 ไทโรซีน
- 2.4.5.3 หาความเข้มข้นของ 2,4,6 ไทโรซีน 1,3,5 ไทโรซีน ในสารละลายตัวอย่าง โดยนำพื้นที่ใต้พีคของสารละลายตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มข้นกับกราฟมาตรฐาน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 พื้นที่ลุ่มเก็บและประเทศผู้ผลิตตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ลุ่มเก็บจากภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ รวม 71 ตัวอย่าง ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 นำมาตรวจสอบชนิดพลาสติกด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าตัวอย่างผลิตจากพลาสติก 2 ชนิด คือ พลาสติกเมลามีนชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์หรือเมลามีนแท้ (MF) และพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ (UF) แต่มีการขึ้นรูปตัวอย่างเป็น 3 รูปแบบคือ MF และ UF ทั้งขึ้น และ UF ประกบด้วย MF (UF/MF) โดยมีปริมาณตัวอย่างเป็นร้อยละ 30 11 และ 59 ตามลำดับ ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.524-2539 กำหนดให้ภาชนะเมลามีนสำหรับนำไปใช้บรรจุอาหารต้องผลิตจากพลาสติกชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์เพียงชนิดเดียวเท่านั้น [7] ดังนั้นกรณีที่เป็นพลาสติกชนิดอื่นจึงถือว่าเป็นภาชนะเมลามีนปลอม ภาพรวมของตัวอย่างที่ลุ่มเก็บมาแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

จากข้อมูลการลุ่มตัวอย่างครั้งนี้เมื่อพิจารณาจากชนิดของพลาสติก จะเห็นว่าเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนที่

ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นภาชนะพลาสติกเมลามีนชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งขึ้นหรือเมลามีนแท้ คิดเป็นร้อยละ 86 ประเทศจีนส่วนใหญ่ผลิตภาชนะพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งขึ้นและชนิดภาชนะยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ คิดเป็นร้อยละ 75 และ 72 ตามลำดับ ในกรณีของประเทศเวียดนามผลิตพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ร้อยละ 5 ของตัวอย่างกลุ่มนี้ ดังนั้นการเลือกซื้อภาชนะพลาสติกเมลามีนที่ผลิตโดยประเทศไทยจะมีโอกาสเป็นภาชนะพลาสติกเมลามีนแท้มากกว่าภาชนะพลาสติกเมลามีนที่ผลิตโดยประเทศจีน

3.2 ผลการทดสอบปริมาณเมลามีนและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์

ผลการทดสอบปริมาณเมลามีนและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ของตัวอย่างเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีน จำนวน 71 ตัวอย่าง ลักษณะตัวอย่างที่ลุ่มได้แก่ จาน ชาม ถ้วย และอื่น ๆ (แก้ว ช้อน ทัพพี กระบวย และตะหลิว) ผลการทดสอบฟอร์มาลดีไฮด์และเมลามีน ดังแสดงในตารางที่ 3, 4 และ 5

ตารางที่ 2 จำนวนตัวอย่างและประเภทของภาชนะเมลามีนที่ดำเนินการลุ่มเก็บแยกตามประเทศผู้ผลิต

ประเทศผู้ผลิต	จำนวนตัวอย่างที่สุ่มเก็บ						รวม จำนวน
	MF		UF		UF/MF		
	ตัวอย่าง	ร้อยละ	ตัวอย่าง	ร้อยละ	ตัวอย่าง	ร้อยละ	
ประเทศไทย	18	86	1	12	1	2	20
ประเทศจีน	0	0	6	75	30	72	36
ประเทศเวียดนาม	0	0	0	0	2	5	2
ไม่ระบุ	3	14	1	13	9	21	13
รวม	21	30	8	11	42	59	71

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบปริมาณเมลามีนและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของตัวอย่างประเภทพลาสติกเมลามีนชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์

ชนิดตัวอย่าง	ผลการทดสอบ				
	จำนวน ตัวอย่าง	ผ่าน	ไม่ผ่าน		ปริมาณเมลามีนและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน)
			ตัวอย่าง	ร้อยละ	
จาน	3	2	1	33.3	- พบเมลามีน 1 ตัวอย่าง = 3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ชาม	5	1	4	80.0	- พบเมลามีน 1 ตัวอย่าง = 3.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบฟอร์มาลดีไฮด์ 2 ตัวอย่าง = 16.0, 66.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ 1 ตัวอย่าง - เมลามีน = 19.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - ฟอร์มาลดีไฮด์ = 19.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ถ้วย	7	4	3	42.9	- พบเมลามีน 3 ตัวอย่างอยู่ในช่วง 3.3-4.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
อื่น ๆ	6	1	5	83.3	- พบเมลามีน 2 ตัวอย่าง = 2.8, 11.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบฟอร์มาลดีไฮด์ 1 ตัวอย่าง = 797.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ 2 ตัวอย่าง - เมลามีน = 266.0, 455.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - ฟอร์มาลดีไฮด์ = 112.3, 319.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
รวม	21	8	13	62	

- หมายเหตุ 1. เกณฑ์กำหนดของปริมาณเมลามีนต้องไม่มากกว่า 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
2. เกณฑ์กำหนดของปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
3. อื่น ๆ เป็นชนิดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ได้แก่ แก้ว ช้อน ทัพพี กระบวย ตะหลิว

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบปริมาณเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ของตัวอย่างประเภทพลาสติกเมลามีนชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ จำนวน 21 ตัวอย่าง พบว่าเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนที่ผลิตจากวัสดุที่ใช้ชนิดพลาสติกเมลามีนชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ ทั้งชิ้นหรือเมลามีนแท้ (MF) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยถึง 62 โดยมีปริมาณ เมลามีนเกินเกณฑ์มาตรฐานค่อนข้างสูง (อยู่ในช่วง 2.8 – 455.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ที่เกินเกณฑ์มาตรฐานค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน (อยู่ในช่วง 16.0 – 319.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบปริมาณเมลามีนและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของตัวอย่างประเภทพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์

ชนิดตัวอย่าง	ผลการทดสอบ				
	จำนวน ตัวอย่าง	ผ่าน	ไม่ผ่าน		ปริมาณเมลามีนและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน)
			ตัวอย่าง	ร้อยละ	
จาน	3	0	3	100	- พบเมลามีน 2 ตัวอย่าง = 4.8, 8.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ 1 ตัวอย่าง - พบเมลามีน = 16.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบฟอร์มาลดีไฮด์ = 22.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ถ้วย	2	0	2	100	- พบฟอร์มาลดีไฮด์ 1 ตัวอย่าง = 493.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ 1 ตัวอย่าง - พบเมลามีน = 3.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบฟอร์มาลดีไฮด์ = 2,311.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
อื่น ๆ	3	0	3	100	- พบเมลามีน 3 ตัวอย่างอยู่ในช่วง 3.3-4.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
รวม	8	0	8	100	

- หมายเหตุ 1. เกณฑ์กำหนดของปริมาณเมลามีนต้องไม่มากกว่า 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
 2. เกณฑ์กำหนดของปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
 3. อื่น ๆ เป็นชนิดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ได้แก่ แก้ว ช้อน ท็อป กระบวย ตะหลิว

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบปริมาณเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ของตัวอย่างประเภทพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ จำนวน 8 ตัวอย่าง พบว่าเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนที่ผลิตจากวัสดุที่ใช้ชนิดพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ ทั้งชิ้น (UF) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกตัวอย่างที่สุ่มมาทดสอบ โดยมีปริมาณเมลามีนเกินเกณฑ์มาตรฐานค่อนข้างสูง (อยู่ในช่วง 3.1 – 16.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ที่เกินเกณฑ์มาตรฐานค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน (อยู่ในช่วง 22.0 – 12,193.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบปริมาณเมลามีนและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของตัวอย่างประเภทพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์

ชนิดตัวอย่าง	ผลการทดสอบ				
	จำนวน ตัวอย่าง	ผ่าน	ไม่ผ่าน		ปริมาณเมลามีนและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน)
			ตัวอย่าง	ร้อยละ	
จาน	14	5	9	64.3	- พบเมลามีน 4 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 6.0-10.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบฟอร์มาลดีไฮด์ 1 ตัวอย่าง = 38.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ 4 ตัวอย่าง - พบเมลามีน อยู่ในช่วง 7.4-23.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบฟอร์มาลดีไฮด์ อยู่ในช่วง 19.8-40.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ชาม	17	0	17	100	- พบเมลามีน 5 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 3.7-15.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบฟอร์มาลดีไฮด์ 1 ตัวอย่าง = 23.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ 11 ตัวอย่าง -พบเมลามีน อยู่ในช่วง 2.7-21.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม -พบฟอร์มาลดีไฮด์ อยู่ในช่วง 15.2-46.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ถ้วย	7	0	7	100	- พบฟอร์มาลดีไฮด์ 4 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 47.3-5,247.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ 3 ตัวอย่าง - พบเมลามีน อยู่ในช่วง 7.1-26.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบฟอร์มาลดีไฮด์ อยู่ในช่วง 29.1-1,604.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
อื่น ๆ	4	0	4	100	- พบฟอร์มาลดีไฮด์ 3 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 105.9-1,885.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ 1 ตัวอย่าง - พบเมลามีน = 15.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม - พบฟอร์มาลดีไฮด์ = 1,534.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
รวม	42	5	37	88	

- หมายเหตุ 1. เกณฑ์กำหนดของปริมาณเมลามีนต้องไม่มากกว่า 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
 2. เกณฑ์กำหนดของปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
 3. อื่น ๆ เป็นชนิดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ได้แก่ แก้ว ช้อน ท็อป กระบวย ตะหลิว

จากตารางที่ 5 ผลการทดสอบปริมาณเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ของตัวอย่างประเภทพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ จำนวน 42 ตัวอย่างพบว่าเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนที่ผลิตจากวัสดุที่ใช้ชนิดพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ (UF/MF) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยถึง 88 โดยมีปริมาณเมลามีนเกินเกณฑ์มาตรฐานค่อนข้างสูง (อยู่ในช่วง 2.7–26.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกินเกณฑ์มาตรฐานค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน (อยู่ในช่วง 15.2–1,604.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

จากปริมาณเมลามีนและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ที่พบในเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งชิ้นหรือเมลามีนแท้ (MF) พลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งชิ้น (UF) และพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ (UF/MF) ตามตารางที่ 3-5 ดังกล่าวจะเห็นว่าถ้าผู้บริโภคนำมาใช้งานเป็นภาชนะบรรจุอาหารที่มีอุณหภูมิสูงหรือมีความเป็นกรดจะทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ลงสู่อาหารได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบสารเมลามีนจากภาชนะเมลามีนโดยใช้สารละลายกรดแอสติก ร้อยละ 3 สกัดที่อุณหภูมิ 25 70 และ 100 °C พบปริมาณเมลามีนเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้น [8] และสอดคล้องกับการศึกษาการแพร่กระจายของฟอร์มาลดีไฮด์จากภาชนะพลาสติกราคาถูกที่จำหน่ายในตลาดกรุงเทพมหานคร ซึ่งการทดสอบได้จำลองสภาวะการสกัดตัวอย่างตามการใช้จริงคือการนำภาชนะไปใช้บรรจุอาหารประเภทต้มยำ หรือแกงส้มร้อน โดยเติมสารละลายกรดแอสติก ร้อยละ 4 โดยปริมาตร ที่มีอุณหภูมิ 100 °C ในภาชนะแล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงนำสารละลายไปทดสอบซึ่งพบว่าตัวอย่างร้อยละ 58.2 มีฟอร์มาลดีไฮด์แพร่กระจายออกมาสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด [9] นอกจากนี้สาเหตุของการแพร่กระจายของสารเมลามีนส่วนหนึ่งนั้นจะขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นของเรซินที่ใช้ผลิตพลาสติกเมลามีน โดยพลาสติกชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งชิ้นหรือเมลามีนแท้ (MF) มีสารเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารตั้งต้นหลัก [3] ดังนั้นการทดสอบจึงพบสารเมลามีนแพร่กระจายออกมาได้มากที่สุด สำหรับพลาสติกชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ (UF/MF) มีสัดส่วนของแหล่งปลดปล่อยสารเมลามีนลดลงจึงทำให้พบสารเมลามีนในสารละลายลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งชิ้น (UF) นั้น ตามหลักการแล้วจะไม่ใช้สารเมลามีนเป็นสารตั้งต้นของเรซินในกระบวนการผลิต แต่การทดสอบตัวอย่างพบสารเมลามีน ทั้งนี้เนื่องจากในการผลิตอาจมีการผสมเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเพื่อปรับปรุงลักษณะที่ปรากฏของผลิตภัณฑ์พลาสติกนั้นให้คล้ายกับเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งจัดเป็นเมลามีนแท้

เมื่อพิจารณาตามลักษณะตัวอย่างของเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนที่สุ่มมา โดยแยกชนิดตัวอย่างเป็น จาน

ชาม ถ้วย และลักษณะอื่นๆ ได้แก่ แก้ว ช้อนทัพพี กระบวย และตะหลิว พบว่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุดเป็น 40.3, 66.9, 5,247.6 และ 12,193.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยปริมาณสูงสุดที่พบสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานมากกว่า 800 เท่า ส่วนปริมาณเมลามีนสูงสุดเป็น 23.4 21.3, 26.9 และ 455.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสูงสุดที่พบสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 180 เท่า นั้นแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่เป็น แก้ว ช้อน ทัพพี กระบวย และตะหลิวจะมีการแพร่กระจายของสารทั้งสองชนิดในปริมาณสูง เนื่องจากตัวอย่างลักษณะนี้มีขนาดเล็กและไม่สามารถบรรจุสารละลายที่ใช้ทดสอบได้ จึงต้องใช้วิธีการสกัดตัวอย่างโดยการจุ่มชิ้นงานในสารละลาย ซึ่งชนิดตัวอย่างมีการตกแต่งขอบหลังการขึ้นรูปจึงทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ได้มากขึ้น โดยชนิดตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นถ้วยจะพบปริมาณเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์สูงเป็นอันดับ 2 เนื่องจากการทดสอบจะใช้วิธีการจุ่มชิ้นงานในสารละลายเช่นกัน แต่จะใช้เวลาจุ่มตัวอย่างน้อยกว่า ส่วนชนิดตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นจาน และชามจะทดสอบด้วยวิธีการเติมสารละลายในภาชนะทำให้ขอบที่มีการตกแต่งไม่ถูกสัมผัสกับสารละลาย [10] จึงพบการแพร่กระจายของสารทั้งสองชนิดต่ำกว่าตัวอย่างลักษณะอื่น ๆ

โดยปกติแล้วเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนที่ผลิตจากพลาสติกชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถทนอุณหภูมิได้สูงกว่าพลาสติกเมลามีนชนิดอื่น แต่จากการศึกษาวิจัยนี้ พบว่าปริมาณเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์สูงกว่าเกณฑ์กำหนด ทั้งนี้เนื่องจากการบวนการผลิตพลาสติกเมลามีนจะขึ้นรูปด้วยวิธีฉีดอัดผงเรซิน ด้วยแม่แบบร้อนที่ละชิ้นเพื่อให้เกิดการบ่มเป็นพลาสติก หลังจากนั้นจึงนำไปตกแต่งขอบในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งการผลิตงานชิ้นต่อชิ้นจะทำให้การควบคุมคุณภาพทำได้ยาก ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบชิ้นต่อชิ้นนี้จึงอาจมีสารตั้งต้นเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์หลงเหลือในเนื้อของพลาสติกเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ซึ่งทำให้เกิดการแพร่กระจายลงสู่อาหารที่สัมผัสกับพลาสติกเมลามีนนี้ได้ ทำให้การทดสอบที่ได้สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยตามมาตรฐาน EU Regulation No. 10/2011 on plastic material and articles intended to come into contact with food กำหนดปริมาณเมลามีน ไม่มากกว่า 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [11] ส่วนมาตรฐานประเทศไทยซึ่งมี 2 มาตรฐานคือ ภาชนะและเครื่องใช้เมลามีน มอก. 524-2539 กำหนดให้ต้องไม่พบฟอร์มาลดีไฮด์โดยเทียบกับสารมาตรฐาน 4 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร แต่ไม่ได้กำหนดปริมาณสารเมลามีน และประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 พ.ศ. 2548 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะที่ทำจากพลาสติก กำหนดให้ต้องไม่พบฟอร์มาลดีไฮด์ [12]

4. สรุป (Conclusions)

การสำรวจเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนที่จำหน่ายในประเทศ จำนวน 71 ตัวอย่างแยกตามประเทศผู้ผลิตได้แก่

ไทย จีน เวียดนาม และไต้หวันแหล่งผลิต จำนวน 20, 36, 2 และ 13 ตัวอย่าง ตามลำดับ ตรวจสอบชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตพลาสติกเมลามีนด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) พบว่าวัสดุที่ใช้ผลิตพลาสติกเมลามีนเป็นพลาสติกชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ 20 ตัวอย่าง ชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 8 ตัวอย่าง และชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ 42 ตัวอย่าง จากข้อมูลการสุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตพลาสติกเมลามีนชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์และประเทศจีนเป็นผู้ผลิตพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์หรือพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์

การศึกษาปริมาณสารเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ในเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติกเมลามีนใช้เกณฑ์ตามมาตรฐานของ EU Regulation No. 10/2011 พบว่าปริมาณที่พบของสารทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่ใช้ผลิตพลาสติก โดยพลาสติกชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ร้อยละ 62 มีปริมาณเมลามีนในช่วง 3.0-455.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในช่วง 16.0-797.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนพลาสติกชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 100 มีปริมาณเมลามีนในช่วง 3.1-16.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในช่วง 22.2-12,193.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพลาสติกชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ร้อยละ 88 มีปริมาณเมลามีนและปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในช่วง 2.7-26.9 และ 15.2-5,247.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามปริมาณสูงสุดของชนิดสารที่ทดสอบและลักษณะตัวอย่างสามารถสรุปได้ดังนี้

- ปริมาณสูงสุดของสารเมลามีนในพลาสติกชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์มีค่ามากที่สุดคือ 455.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือพลาสติกชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ และพลาสติกชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ โดยพบปริมาณสูงสุดมีค่าเป็น 26.6 และ 16.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ
- ปริมาณสูงสุดของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในพลาสติกชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์มีค่ามากที่สุดคือ 12,193.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือพลาสติกชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ และพลาสติกชนิดเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์มีโดยพบปริมาณสูงสุดมีค่าเป็น 5,247.6 และ 797.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ
- การแพร่กระจายของสารเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างที่เป็นแก้ว ช้อน ทัพพี กระบวย และตะหลิว เมื่อนำไปใช้งานจะแพร่กระจายสู่อาหารได้เร็วกว่าตัวอย่างที่เป็นจาน ชาม และถ้วย โดยมีปริมาณสารเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานมากกว่า 180 และ 800 เท่า เมื่อเทียบกับตัวอย่าง จาน ชาม และ ถ้วย ตามลำดับ เนื่องจากการแพร่กระจายเกิดจากบริเวณขอบชิ้น

งานที่มีการตกแต่งสัมผัสกับสารละลาย ดังนั้นจึงเป็นข้อพึงระวังของผู้บริโภคที่ไม่ควรใช้ภาชนะพลาสติกเมลามีนที่มีรอยขีดข่วนหรืออาหารเพื่อหลีกเลี่ยงการได้รับสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย

ข้อเสนอแนะ

1. การพิจารณาสมบัติทางกายภาพเพื่อจำแนกชนิดของภาชนะพลาสติกเมลามีนทำได้ยาก เนื่องจากมีลักษณะที่คล้ายกันมาก โดยเฉพาะภาชนะพลาสติกเมลามีนชนิดยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เคลือบด้วยเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ยิ่งเพิ่มความยากในการสังเกต ภาชนะพลาสติกเมลามีนเหล่านี้ส่วนใหญ่ข้อมูลบนฉลากมีรายละเอียดไม่ครบถ้วนชัดเจน การนำไปใช้งานจึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับสารฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้ ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายควบคุมความปลอดภัยของภาชนะพลาสติกเมลามีนที่ผลิตจากยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันมากทั้งในบ้านเรือนและร้านอาหาร จึงเป็นปัญหาที่ภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องดำเนินการแก้ไขเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค
2. การศึกษาวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลให้กับผู้บริโภคประกอบการตัดสินใจในการบริโภค เพื่อหลีกเลี่ยงการได้รับสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณนางสาวพูนทรัพย์ วิชัยพงศ์สำหรับคำปรึกษาทางวิชาการ และขอขอบคุณโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบชนิดพลาสติก รวมทั้งขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] นันทิยา ดันขุณห์. เมลามีน : มหันตภัยแห่งยุค. *พุทธชินราชเวชสาร*. 2552, 26(2),173-186.
- [2] บังอร ฉางทรัพย์. ฟอร์มาลดีไฮด์/ฟอร์มาลีน ภัยร้ายใกล้ตัว. *ว. วิทย์. เทคโนโลยี. หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ* 97. 2558. 1(1), 1-13.
- [3] มงคล พันธุมโกมล, ปณตพร บุญเปี่ยมศักดิ์ และกฤตพัฒน์ จัยเตย. *คู่มือการจัดการสารเคมีอันตรายสูงฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)*. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553, 132 หน้า.
- [4] สุจิตรา แดงเรือง. การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพพนักงานจากการรับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์; กรณีศึกษาวัสดุปิดผิวเคลือบเมลามีน. *วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยศิลปากร*. 2554, 126 หน้า.

- [5] BRITISH STANDARD. DD CEN/TS 13130-23, *Materials and articles in contact with foodstuffs-Plastics substances subject to limitation-Part 23: Determination of formaldehyde and hexamethylenetetramine in food simulants*. 2005, pp.1-16.
- [6] BRITISH STANDARD. DD CEN/TS 13130-27, *Materials and articles in contact with foodstuffs-Plastics substances subject to limitation-Part 27: Determination of 2,4,6-triamino-1,3,5-triazine in food simulants*. 2005, pp.1-13.
- [7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 524-2536, *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ภาชนะและเครื่องใช้เมลามีน*. กรุงเทพฯ : สมอ., 2536. หน้า 1-15.
- [8] CHIK, Z., et al. Analysis of melamine migration from melamine food contact articles. *Food Additives and Contaminants : Part A*. 2011. 88(7), 967-973.
- [9] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. การสำรวจคุณภาพของภาชนะที่ใช้น้ำดื่มอาหารทำด้วยพลาสติกราคาถูกที่วางจำหน่ายในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล. *รายงานประจำปี 2556 กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*. นนทบุรี : กรม, 2556. หน้า 73-74.
- [10] SIMONEAU, C., et al. Technical guideline on testing the migration of primary aromatic amines from polyamide kitchenware and of formaldehyde from melamine kitchenware. *JRC Scientific and Technical Reports*. 2011, pp. 1-58.
- [11] Commission Regulation (EU) No. 10/2011. Plastic materials and articles intended to come into contact with food. *Official Journal of the European Union*, 2011. pp. L12/1-L12/89.
- [12] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. กระทรวงสาธารณสุข. บัญชีหมายเลข 1 แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 295) พ.ศ. 2548. *ราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ*, เล่มที่ 123 ตอนที่ 1 ง. ลงวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2549

เคลือบเซรามิกจากเถ้าชานอ้อย Bagasse ash ceramic glaze

3

ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ^{1*}, วราลี บางหลวง¹, เอมวจี ปานทอง¹, วรณา ต.แสงจันทร์¹

Sansanee Rugthaicharoencheep^{1*}, Vararee Bangluang¹, Emwagee Panthong¹, Wanna T. Sangchantara¹

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยปริมาณเถ้าชานอ้อยในอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีจำนวนมาก ซึ่งนอกจากนำไปใช้ปรับปรุงดิน แล้ว ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากเถ้าชานอ้อยเพื่อผลิตเคลือบเซรามิกโดยใช้วัตถุดิบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ เถ้าชานอ้อย ดินดำ และแร่ฟันม้า จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (X-ray fluorescence : XRF) พบว่า เถ้าชานอ้อยมีองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิกา ร้อยละ 71 อะลูมินา ร้อยละ 9 และ แคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 8 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่วิทยา (X-ray diffraction : XRD) พบเฟสหลักคือ ควอตซ์ กำหนดสูตรเคลือบโดยใช้วิธีแปรส่วนผสมในตารางสามเหลี่ยม (Tri-axial blend) เเผที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส ในการทดลองนี้พบว่า ปริมาณเถ้าชานอ้อยที่เหมาะสมนำไปเคลือบผลิตภัณฑ์ประเภทของใช้ ของประดับตกแต่ง อยู่ระหว่างร้อยละ 35-65 ดินดำร้อยละ 15-50 และแร่ฟันมาร้อยละ 10-70 เมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 10 พบว่าเคลือบสุกตัวได้ดีเคลือบที่ได้มีสีเหลืองถึงน้ำตาลเข้ม ขึ้นอยู่กับปริมาณเถ้าชานอ้อยที่ใช้ หากใช้เถ้าชานอ้อยปริมาณมากสีของเคลือบจะเข้มขึ้น เคลือบเซรามิกจากเถ้าชานอ้อยไม่ผ่านการทดสอบการรานโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) จึงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทของประดับแต่ไม่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทของใช้บนโต๊ะอาหาร

Abstract

Sugar industry produces bagasse ash waste many tons per year. The only ash utilization so far is for soil improvement for sugar cane plantation. The utilization of bagasse ash from sugar manufacture to produce ceramic glaze is studied. The glaze consists of 3 major raw materials: bagasse ash, clay, and feldspar. Chemical analysis by X-ray fluorescence (XRF) indicates that bagasse ash contains 71% SiO_2 , 9% Al_2O_3 , and 8% CaO as major composition. Phase analysis by X-ray diffraction (XRD) shows quartz as dominant phase. Glaze formulae for 1250 °C firing temperature are determined using tri-axial blend method. In this study the appropriate amount of bagasse ash for grazing on decorative ware is between 35-65%, clay 15-50% and feldspar 10-70%. The addition of 10% CaCO_3 helps in reducing the firing temperature. The glaze colors vary from yellow to dark brown depends on the amount of added ash. If high amount of ash is added, the glaze color becomes dark brown. The bagasse ash glaze can be used on decorative ware but is not suitable for tableware because it does not pass the crazing resistance test using an autoclave.

คำสำคัญ: เคลือบเซรามิก เถ้าชานอ้อย

Keywords: Ceramic glaze, Bagasse ash

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author E-mail address : ssansanee@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

เคลือบซีเถ้าคือชั้นของแก้วที่ทำจากวัตถุดิบที่มีซีเถ้าเป็นส่วนประกอบ ฉาบอยู่บนผิวของเครื่องเคลือบดินเผาบางๆเพื่อให้ทำความสะดวกสบาย สวยงาม หรือแข็งแรง การค้นพบเคลือบซีเถ้าเป็นพื้นฐานของการพัฒนาเคลือบชนิดอื่นๆในเอเชียตะวันออก เคลือบซีเถ้าเป็นเคลือบที่เตรียมได้ง่าย ใช้วัตถุดิบเพียงสองหรือสามชนิดเป็นส่วนผสมหลัก นิยมใช้ในเครื่องเคลือบดินเผาดั้งเดิมประเภทของประดับ [1]

ซีเถ้าไม่ใช่อินทรียที่เหลือนอยู่หลังจากการเผาไหม้ไม้ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ออกไป ไม้ที่กลั่นนี้หมายถึงไม้พุ่ม หญ้า หรือพืชขนาดเล็ก เช่น ข้าว อ้อย ซีเถ้าไม่มีองค์ประกอบทางเคมีที่ค่อนข้างซับซ้อนและหลากหลาย มีส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ มีส่วนประกอบของสารเชิงกรดและด่างปนกันอยู่ ซึ่งได้จากการที่พืชดูดธาตุจากดินนำไปใช้และสะสม ณ ส่วนต่างๆของต้นซึ่งได้แก่ โปแตสเซียม โซเดียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ ซิลิกอน เหล็ก คลอไรด์ แมงกานีส อลูมิเนียม โดยเฉพาะการที่มีปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมค่อนข้างสูงทำให้ซีเถ้าไม่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำเครื่องเคลือบดินเผาได้ [2]

ถ้าชานอ้อยเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลที่ได้จากการเผาชานอ้อยเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในโรงงาน โดยในปีการผลิต 2553-2554 มีการปลูกอ้อยทั้งสิ้นประมาณ 8.4 ล้านไร่กระจายอยู่เกือบทั่วทุกภูมิภาคของประเทศโดยมีมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง คิดเป็นปริมาณอ้อยประมาณ 95.4 ล้านตัน [3] ได้ถ้าชานอ้อยหลังจากการเผาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 596,000 ตันต่อปี [4] โดยถ้าชานอ้อยจะถูกดักจับด้วยระบบน้ำที่ติดตั้งไว้เหนือปล่อง แล้วจึงนำมาตกตะกอนในบ่อพัก แล้วตกตะกอนขึ้นมาบิบน้ำออกและผึ่งไว้ จึงต้องใช้พื้นที่ในการจัดตั้งเป็นบริเวณกว้าง โดยถ้าชานอ้อยดังกล่าวนำมาใช้เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่ได้ ซึ่งเมื่อนำถ้าชานอ้อยมาวิเคราะห์พบว่าองค์ประกอบทางเคมีเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุทำเคลือบเซรามิก เนื่องจากมีปริมาณซิลิกาอยู่มากสามารถใช้แทนฟลินต์ หรือควอตซ์ (Quartz) ได้ [5] ข้อดีของการนำถ้าชานอ้อยมาใช้งานอีกประการหนึ่งคือ มีโลหะและโลหะออกไซด์มาก เช่น ซิลิกา เหล็ก โปแตสเซียม แคลเซียม ซึ่งจะช่วยให้การใส่สารเคมีลงได้ การใช้งานถ้าชานอ้อยในปัจจุบันส่วนใหญ่ก็นำไปเป็นมวลรวม ในส่วนผสมในคอนกรีต [6-8] อย่างไรก็ตาม เคลือบซีเถ้าเป็นเคลือบที่เตรียมได้ง่าย ใช้วัตถุดิบเพียงสองหรือสามชนิดเป็นส่วนผสมหลัก และเคลือบที่ได้มีความหลากหลายแตกต่างจากเคลือบที่เตรียมจากหินปูนหรือแร่ชนิดอื่น มีสีแตกต่างกันเฉพาะตัว ขึ้นอยู่กับปริมาณโลหะออกไซด์ที่ผสมในเคลือบและวิธีการเผา เช่น สีเหลืองอ่อน เหลืองเข้ม สีส้ม สีเทาอมฟ้า สีเขียวอมฟ้า สีน้ำตาล เป็นเคลือบที่นิยมใช้ในเครื่องเคลือบดินเผาดั้งเดิมประเภทของประดับ เช่น แจกัน ถ้วยชา กระเบื้อง เทราครอดตา ภาชนะใส่น้ำ เป็นต้น

ศุภกา ปาลเปรม [9] เขียนบทความเกี่ยวกับเคลือบเซลาดอน (Celadon) ซึ่งเป็นเคลือบที่ผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศจีน สมัย

ราชวงศ์ถัง ที่ชาวจีนโบราณใช้ภูมิปัญญาผลิตขึ้นจากซีเถ้าไม้ ดินและแร่ฟันม้า เนื่องจากซีเถ้ามีสมบัติเป็นด่างจึงทำให้เคลือบหลอมละลายได้ดี เคลือบที่ได้มีสีเขียวอมฟ้า เขียวอมเทา จากนั้นจึงได้พัฒนาการทำให้เคลือบเซลาดอนเรื่อยมาจนดีขึ้นเป็นลำดับ โดยเฉพาะเซลาดอนที่ผลิตจากเตาลงฉวน มณฑลซีเกียง ใช้เนื้อดินละเอียด สีขาวที่ช่วยเพิ่มความสดใสของเคลือบให้ดูกระจ่าง และมีความลึก ภาชนะที่ผลิตได้ มีลักษณะเนื้อแกร่งสีฟ้าอมเทา ผิวเคลือบมีลักษณะนุ่ม เรียบเนียน คล้ายผิวของหยก การตกแต่งมีการแกะสลักลาย การปั้นนูน และการกด ลวดลายในแบบพิมพ์แล้วนำมาติดบนภาชนะ ผู้แต่งได้พัฒนาสูตรเคลือบเซลาดอนจากซีเถ้า ไม้ เช่น ซีเถ้าเนื้ออ่อน ซีเถ้าแก่ ซีเถ้าอย่างพารา ซีเถ้าเบญจพรรณผสมกับดินผิวนา ดินเหนียวสุราษฎร์ หินปูน แร่ฟันม้า ซีเถ้าเปลือกหอย และสารอินทรียที่เป็นออกไซด์อื่นๆ เช่น คอปเปอร์ออกไซด์ ชิงค์ออกไซด์ เผาในบรรยากาศรีดักชัน

ภาณุเทพ สุวรรณรัตน์ และคณะ [10] ได้ทดลองเคลือบซีเถ้าจากซีเถ้าไม้มะม่วง แร่ฟันม้า และดินเหนียวท้องถิ่น นำไปเคลือบผลิตภัณฑ์ดินเผาชนิดสโตนแวร์ ผลที่ได้ เคลือบที่มีส่วนผสมของแร่ฟันม้าและซีเถ้าไม้มะม่วงสูงตั้งแต่ร้อยละ 20-80 พบว่าเคลือบมีความมันวาว ทั้งการเผาแบบออกซิเดชันและรีดักชัน เคลือบที่มีส่วนผสมของดินเหนียวท้องถิ่นสูงตั้งแต่ร้อยละ 50-80 พบว่าเคลือบที่ได้มีลักษณะกึ่งมันกึ่งด้าน สีที่เกิดขึ้นในบรรยากาศแบบออกซิเดชัน มีโทนสีครีม สีเหลืองอ่อน สีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลเข้ม และในการเผาแบบบรรยากาศรีดักชัน เคลือบมีโทนสีเขียวอมฟ้า สีเขียว สีเขียวขี้ม้า สีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม

สนธิ ปันสกุล [11] ศึกษาการใช้ซีเถ้ากลบเป็นวัสดุแทนควอตซ์ในกระบวนการผลิตเซรามิก โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นชนิดสโตนแวร์ และพัฒนาเคลือบที่ใช้กับเนื้อดินดังกล่าว โดยมีวัตถุดิบคือ หินปูนร้อยละ 30 ดินดำแม่ทอนร้อยละ 30 แร่ฟันม้าร้อยละ 20 และซีเถ้ากลบร้อยละ 30 ทดลองเผาที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส บรรยากาศรีดักชัน เคลือบสุกตัวสมบูรณ์ ผิวมันแวววาว ผิวเคลือบรานและใส เมื่อผสมแบบเตรียมคาร์บอนตร้อยละ 8 ตีบุกออกไซด์ร้อยละ 3 แก้วกระดุมร้อยละ 4 ทองแดงออกไซด์ร้อยละ 1 เคลือบบนผลิตภัณฑ์ พบว่าเคลือบมีสีแดงปนชมพู

Issenberg, M. [12] ใช้ดินเหนียว ผสมกับซีเถ้า ไม้ และสารอินทรียอื่นๆทำให้เกิดสี เช่น โคบอลต์ คอปเปอร์ ใช้เทคนิคการสเปรย์เคลือบบนพื้นผิวผลิตภัณฑ์ พบว่า ชนิดของดินส่งผลต่อความแตกต่างของลักษณะเคลือบมากกว่าชนิดของไม้ที่ใช้ทำถ้า และพบว่า เทคนิคการสเปรย์สามารถใช้ตกแต่งเคลือบบนผิวผลิตภัณฑ์ได้ดี

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากถ้าชานอ้อยในอุตสาหกรรมน้ำตาลเพื่อผลิตเคลือบเซรามิกโดยใช้วัตถุดิบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ ถ้าชานอ้อย ดินดำ และแร่ฟันม้า ทั้งนี้เพื่อเพิ่มทางเลือกในการสร้างรายได้ให้กับชุมชน ที่อาศัยอยู่ใกล้เคียงกับโรงงานน้ำตาลหรือชาวไร่อ้อยนอกฤดูกาลหีบอ้อย ทั้งยังเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งและใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเถ้าขานอ้อยมาผลิตเคลือบเซรามิกและใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ ชุตสปา ชุตเครื่องใช้ในท้องถิ่น และภาชนะบนโต๊ะอาหาร โดยได้รับความอนุเคราะห์เถ้าขานอ้อยจาก บริษัท เกษตรไทยอินเตอร์เนชั่นแนล ชูการ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) อ.ตาคี จ.นครสวรรค์ นำเถ้าขานอ้อยมาคัดขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ดำเนินการ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย X-ray fluorescence (XRF) (Bruker S8 Tiger ประเทศเยอรมัน) และองค์ประกอบทางแร่ธาตุด้วย X-ray diffraction (XRD) (Bruker D8 Advance ประเทศเยอรมัน) ของวัตถุดิบ ได้แก่ เถ้าขานอ้อย แร่ฟันม้า (บริษัท อินดัสเตรียล มินเนอรัล ดีเวลอปเม้นท์ จำกัด เกรตอุตสาหกรรม) และดินตำลานสกา (บริษัท อินดัสเตรียล มินเนอรัล ดีเวลอปเม้นท์ จำกัด)

ทดลองนำวัตถุดิบมาแปรสูตรเคลือบเซรามิก ใช้วิธีแปรส่วนผสมในตารางสามเหลี่ยม (Tri-axial blend) โดยนำอัตราส่วนของสารที่คำนวณได้แต่ละสูตรในตาราง มาชั่งและบดผสมสารในอัตราส่วนน้ำ 1 กรัม ต่อของแข็ง 1 กรัม ในเครื่องบด Hi speed ยี่ห้อ Retsch รุ่น S8 Tiger อัตราเร็ว 4,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที นำน้ำเคลือบมาชุบเคลือบบนแผ่นทดสอบเนื้อดินสโตนแวร์ (บริษัท คอมพาวเคิล จำกัด ชนิด PBB) ขนาด $4 \times 5 \times 0.7$ cm³ ที่ผ่านการเผาที่ 800 °C จับเวลาในการชุบเคลือบ 10 วินาที เมาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 °C อัตราในการให้ความร้อน 2.5 °C/นาที ยืนไฟ 30 นาที ทดสอบเคลือบที่ได้ด้วยการตรวจพินิจ

คัดเลือกสูตรเคลือบ นำมาทดลองเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ร้อยละ 10 เพื่อทดลองลดจุดสุกตัวของเคลือบ นำเคลือบที่ได้ มาตรวจสอบรอยร้าว โดยการแช่ขึ้นทดสอบในสารละลาย Methylene Blue เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำขึ้นมาเช็ดและสังเกตการร้าว และคัดเลือกตัวอย่างที่ไม่พบรอยร้าวมาทดสอบสมบัติการร้าวโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) เพื่อศึกษาสูตรเคลือบที่เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่นกับเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร โดยนำขึ้นทดสอบใส่ในเครื่อง autoclave เติมน้ำถึงระดับแล้วปิดฝาเครื่องให้สนิท ทดสอบแรงดันไอน้ำที่ 50 100 150 และ 200 psi หรือ ที่ความดัน 0.34, 0.69, 1.03, 1.38 MPa ตามลำดับ (1 MPa = 145 psi) และคงระดับความดันที่ต้องการเป็นเวลา 1 ชั่วโมง รอให้ความดันลดลงตามธรรมชาติแล้วจึงนำออกจากเครื่อง นำขึ้นทดสอบแช่ในสารละลาย Methylene Blue เป็นเวลา 1 ชั่วโมงนำขึ้นมาเช็ดให้แห้ง เพื่อตรวจสอบร่องรอยการร้าว Methylene Blue จะช่วยให้เห็นร่องรอยการร้าวที่ชัดเจนขึ้น

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การทดสอบวัตถุดิบและเคลือบเถ้าขานอ้อย

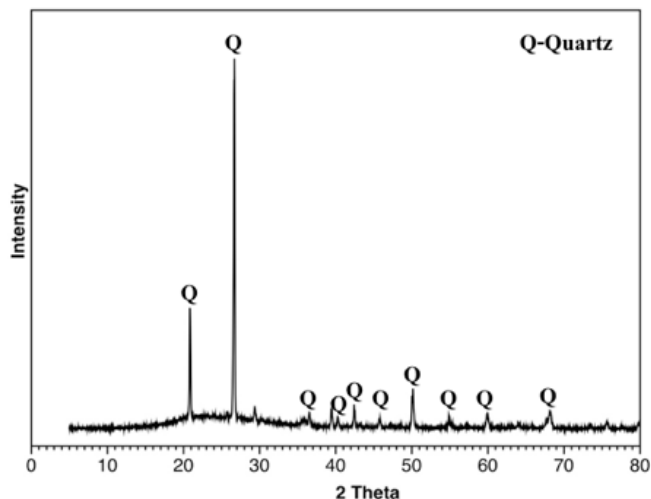
วัตถุดิบหลักที่ใช้ในเคลือบ คือ เถ้าขานอ้อย ดินตำลานสกา และแร่ฟันม้า การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบด้วยเทคนิค XRF และองค์ประกอบทางแร่ธาตุด้วยเทคนิค XRD พบว่า

เถ้าขานอ้อยมีซิลิกา ร้อยละ 71.12 อะลูมินา แคลเซียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 8.96 7.81 และ 4.72 ตามลำดับ ดินตำลานสกา มีซิลิกา ร้อยละ 58.42 อะลูมินา ร้อยละ 26.04 และร่องลงมาคือ เหล็กออกไซด์ร้อยละ 1.72 ส่วนแร่ฟันม้า มีซิลิกา ร้อยละ 76.23 อะลูมินา ร้อยละ 11.72 และโปแตสเซียมออกไซด์และโซเดียมออกไซด์ ร้อยละ 4.85 และ 4.69 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

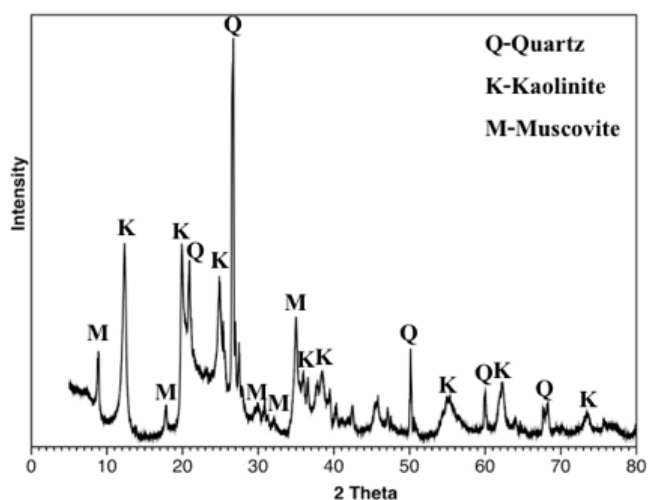
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขานอ้อย ดินตำลานสกาและแร่ฟันม้า

องค์ประกอบทางเคมี	เถ้าขานอ้อย	ดินตำลานสกา	แร่ฟันม้า
SiO ₂	71.12	58.42	76.23
Al ₂ O ₃	8.96	26.04	11.72
Fe ₂ O ₃	4.72	1.72	0.42
CaO	7.81	0.30	1.70
Na ₂ O	0.42	0.12	4.69
CuO	1.54	-	-
MgO	1.54	0.14	0.21
P ₂ O ₅	1.03	-	-
TiO ₂	0.65	0.35	0.16
MnO	0.26	0.02	-
K ₂ O	-	-	4.85
TiO ₂	-	-	0.16

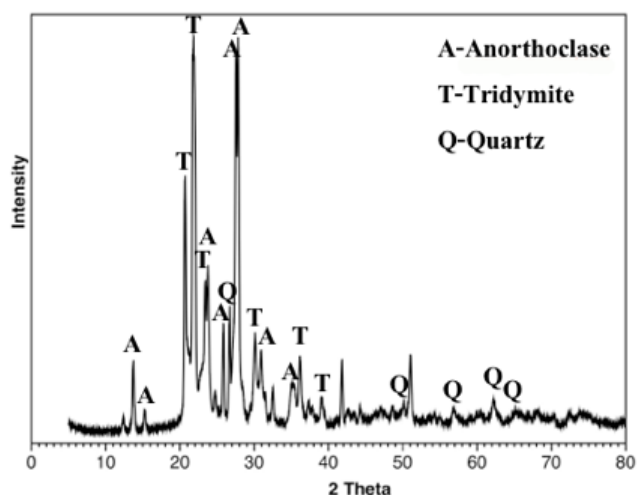
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ธาตุของวัตถุดิบด้วยเทคนิค XRD ของเถ้าขานอ้อย (รูปที่ 1) ดินตำลานสกา (รูปที่ 2) และแร่ฟันม้า (รูปที่ 3) เฟสที่เป็นองค์ประกอบหลักของเถ้าขานอ้อยคือ Quartz (SiO₂) องค์ประกอบหลักของดินตำลานสกา คือ Quartz (SiO₂) Kaolinite (Al₂Si₂O₅(OH)₄) และ Muscovite (H₂KAl₃(SiO₄)₃) องค์ประกอบหลักของแร่ฟันม้า คือ Anorthoclase (Na_{0.71}K_{0.29}AlSi₃O₈) Tridymite (SiO₂) และ Quartz (SiO₂)



รูปที่ 1 องค์ประกอบทางแร่วิทยาของเถ้าขานอ้อย

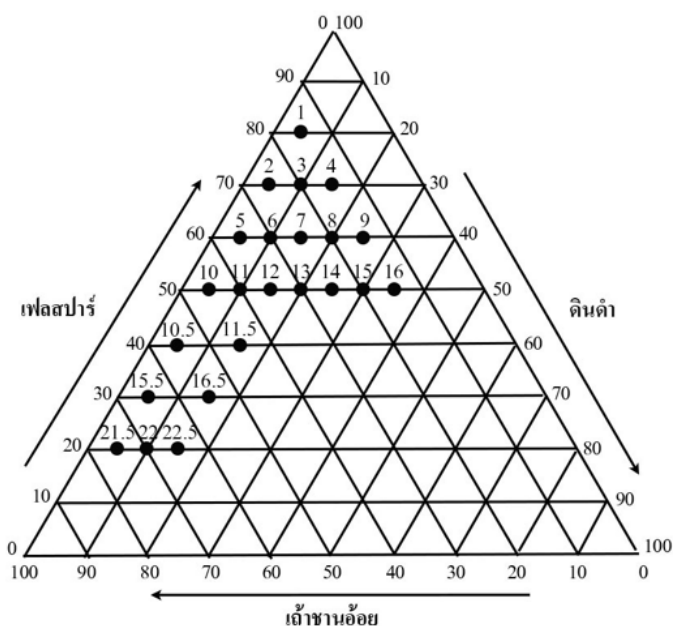


รูปที่ 2 องค์ประกอบทางแร่วิทยาของดินดำลานสกา



รูปที่ 3 องค์ประกอบทางแร่วิทยาของแร่ฟีนมา

ผลการทดลองตรวจพินิจสูตรเคลือบตามตารางสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 4 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C พบว่า ทุกสูตรให้เคลือบสี น้ำตาลเข้ม โดยสูตรที่มีปริมาณเถ้าขานอ้อยร้อยละ 45 ขึ้นไป ทำให้ หนาไฟมากขึ้น จะได้เคลือบด้าน แต่เมื่อผสมแร่ฟีนมาเพิ่มมากกว่าร้อยละ 35 ในสูตรที่มีเถ้าขานอ้อยระหว่างร้อยละ 45-65 เคลือบมีลักษณะ มันมากขึ้น เนื่องจากแร่ฟีนมาเป็น flux



รูปที่ 4 ตารางสามเหลี่ยม โดยใช้วัตถุดิบ 3 ชนิด

เพื่อลดจุดสุกตัวของเคลือบ ผู้วิจัยจึงทดลองเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ลงไปในสูตรเคลือบร้อยละ 10 ผลการทดลองพบว่าสามารถลดจุดสุกตัวของเคลือบได้ โดยเคลือบมีลักษณะมันวาวเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่า สูตรที่เติม CaCO_3 สีเคลือบเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นสีเหลือง ตารางที่ 2 แสดงสูตรเคลือบที่คัดเลือกเพื่อทดสอบการรานตัวโดยกำหนดให้ใช้ปริมาณเถ้าขานอ้อย ระหว่างร้อยละ 15 – 65 ทั้งนี้งานวิจัยนี้ไม่เลือกใช้เถ้าขานอ้อยมากกว่าร้อยละ 65 เนื่องจากมีความหนาไฟมาก ลักษณะของเคลือบหลังเผาแสดงในรูปที่ 5

ตารางที่ 2 แสดงสูตรเคลือบที่จะนำไปทดสอบการรานตัว

ชื่อสูตร	เถ้าขานอ้อย (%)	แร่ฟันม้า (%)	ดินดาลานสกา (%)	CaCO ₃ (%)
A1	15	80	5	-
AC4	15	70	15	10
AC5	35	60	5	10
C1	35	60	5	-
CC55	40	10	50	10
CC54	45	10	45	10
CC31	55	25	20	10
CC36	65	20	15	10
CC43	65	25	20	10
CC50	65	10	25	10

ผลตรวจสอบรอยรานของเคลือบ โดยการแช่ขึ้นทดสอบใน Methylene Blue พบว่า สูตรที่ไม่พบรอยราน ได้แก่ AC4 AC5 C1 CC55 CC54 CC31 CC43 CC50 จึงนำมาทดสอบสมบัติการรานโดยใช้เครื่อง autoclave พบว่า เมื่อทดสอบที่ความดัน 200 psi เคลือบทุกสูตรเกิดการรานตัว



รูปที่ 5 ลักษณะของเคลือบหลังเผาที่ 1250°C

3.2 การทดลองเคลือบเถ้าขานอ้อยบนผลิตภัณฑ์

ผู้วิจัยได้ทดลองออกแบบชุดผลิตภัณฑ์โดยใช้ลักษณะข้ออ้อยเป็นแรงบันดาลใจ มีผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบทั้งสิ้น 3 ชุด ได้แก่ ชุดเครื่องใช้ในห้องน้ำ (ขวดแชมพู ครีมนวดผม โลชั่น และสบู่ล้างมือ) และชุดสปา (เดาน้ำมันหอม เชิงเทียน ที่วางกายาน และที่วางลูกประคบ) เพื่อให้สอดคล้องกับธุรกิจโรงแรม ท่องเที่ยวและสปา ตารางที่ 3 แสดงส่วนผสมของสูตรเคลือบที่คัดเลือกมาทำผลิตภัณฑ์ชุดเครื่องใช้ในห้องน้ำและชุดสปา รูปที่ 6 และ รูปที่ 7 แสดงผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในห้องน้ำและชุดสปา ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของสูตรเคลือบที่คัดเลือกมาทำผลิตภัณฑ์ชุดเครื่องใช้ในห้องน้ำและชุดสปา

สูตร	เถ้าขานอ้อย (%)	แร่ฟันม้า (%)	ดินดาลานสกา (%)	CaCO ₃ (%)
C29	65	25	10	-
C32	50	25	25	-
CC54	45	10	45	10



รูปที่ 6 ผลิตภัณฑ์ชุดเครื่องใช้ในห้องน้ำ



รูปที่ 7 ผลิตภัณฑ์ชุดสปา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่วิทยาพบว่า แก๊ซซานอ้อย มีองค์ประกอบหลัก คือ ควอตซ์ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่พบว่าในแก๊ซซานอ้อยมีซิลิกาถึงร้อยละ 71.12 และมีอะลูมินาถึงร้อยละ 8.96 เมื่อนำส่วนผสมมาทดลองเคลือบ พบว่าเคลือบทุกสูตรให้สีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากแก๊ซซานอ้อยที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีเหล็กออกไซด์เป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 4.72 โดยสูตรที่มีปริมาณแก๊ซซานอ้อยร้อยละ 45 ขึ้นไป จะให้เคลือบด้าน แต่เมื่อผสมแร่ฟอสฟอรัสมากกว่าร้อยละ 35 ในสูตรที่มีแก๊ซซานอ้อยระหว่างร้อยละ 45-65 เคลือบมีลักษณะมันมากขึ้น เนื่องจากแร่ฟอสฟอรัสมีสมบัติเป็นต่างทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอม (flux) ในเคลือบ เคลือบหลอมได้ดีขึ้น เกิดเฟสแก้วมากขึ้น ทำให้เคลือบมีผิวเรียบ มีความมันวาวมากขึ้นโดย

เฉพาะสูตรที่มีแร่ฟอสฟอรัสตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นไป ในทางตรงกันข้าม ส่วนผสมที่มีดินดำระหว่างร้อยละ 50-80 จะทำให้เคลือบด้านหรือไม่หลอมเนื่องจากในดินดำมีปริมาณอะลูมินาสูง มีสมบัติทนไฟ หากอุณหภูมิที่เผาไม่ถึงจุดหลอมตัวจะทำให้เคลือบไม่หลอม มีลักษณะคล้ายเคลือบด้าน ถึงแม้ว่าในแก๊ซซานอ้อยจะมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ซึ่งเป็นตัวช่วยหลอมอยู่ถึงร้อยละ 7.81 แต่ก็ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดเคลือบหลอมนั่นเอง

เมื่อทดลองเติมแคลเซียมออกไซด์ (CaCO_3) ที่ร้อยละ 10 พบว่าเคลือบมีความมันวาวมากขึ้น แสดงถึงการมีเฟสแก้ว (glassy phase) เพิ่มขึ้น เคลือบเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นเหลืองอมน้ำตาลจากการหักเหของแสงดีขึ้น [13]

จากการทดสอบการรานตัวด้วยเครื่อง Autoclave ที่ความดัน 50 100 150 200 psi ตามลำดับ พบว่าเคลือบสูตร AC4 C1 CC43 CC50 เกิดการรานตัวที่ความดัน 50 psi เคลือบสูตร AC5 CC31 เกิดการรานตัวที่ความดัน 100 psi ส่วนที่ความดัน 150 psi พบร่องรอยการรานตัวของเคลือบสูตร CC55 CC54 ไม่ชัดเจนจึงทำการนำเข้าเครื่องทดสอบที่ความดัน 200 psi พบว่าเห็นร่องรอยการรานตัวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการรานตัวเกิดจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบกว่าเนื้อดิน เมื่อเย็นตัวจึงหดตัวมากกว่าจึงเกิดการรานขึ้น

เคลือบรานเหมาะกับการนำไปเคลือบผลิตภัณฑ์ประเภทของประดับตกแต่งเพื่อความสวยงาม เช่น แจกัน โอ่ง ของใช้ของที่ระลึก แต่ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่เน้นประโยชน์ใช้สอยหรือภาชนะใส่อาหาร เช่น จาน ชาม แก้วกาแฟ เนื่องจากอาจมีเชื้อรา เชื้อแบคทีเรียแทรกในรอยรานทำให้อาหารบูดเน่าเสียได้ง่าย

4. สรุป (Conclusion)

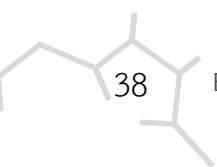
เคลือบซีแก๊ซซานอ้อย มีซิลิกาและอะลูมินา เป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้เคลือบทนไฟ สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำเคลือบเซรามิกได้ โดยผสมกับแร่ฟอสฟอรัสและดินดำ สัดส่วนซีแก๊ซซานอ้อยที่สามารถนำมาทำเคลือบได้ดี คือระหว่างร้อยละ 35-65 ดินดำร้อยละ 15-50 และแร่ฟอสฟอรัสร้อยละ 10-70 เคลือบสามารถสุกตัวได้ที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส เคลือบที่ได้มีลักษณะด้าน หากต้องการเคลือบมันหรือกึ่งมันกึ่งด้าน สามารถเติม CaCO_3 ร้อยละ 10 เคลือบส่วนใหญ่ที่ได้มีสีเหลืองถึงสีน้ำตาลเข้ม โดยเคลือบซีแก๊ซซานอ้อยที่ได้จากการวิจัยนี้ไม่เหมาะจะนำมาเคลือบผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารเนื่องจากเมื่อใช้งานเกิดการรานตัวเมื่อใช้งานได้

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท เกษตรไทยอินเตอร์เนชั่นแนล ซูการ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) จังหวัดนครสวรรค์ ที่ให้อาหารและกรรมวิธีทางวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. *เคลือบเซรามิก*. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์, 2530.
- [2] ลดา พันธุ์สุขุมธนา. *เคลือบซีเมนต์ : เอกสารประกอบการฝึกอบรมวันที่ 27-28 มีนาคม 2547 ณ ศูนย์ศิลปาชีพบ้านกุดนาขาม จ.สกลนคร*. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2547.
- [3] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. *รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2553-2554* [ออนไลน์]. [อ้างถึงวันที่ 23 สิงหาคม 2555]. เข้าถึงจาก: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-5062.pdf>
- [4] CORDEIRO, G.C., et al. Influence of mechanical grind on the pozzolanic activity of residual sugarcane bagasse ash. *Proceedings of the international conference on use of recycled materials in building and structure*. Barcelona, 2004, pp. 342.
- [5] ROGERS, P. *Ash Glazes*, 2nd ed. London : A&C Black Publishing, 2003.
- [6] CORDEIRO, G.C., et al., Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete, *Cement and Concrete Research*. 2009, 39, 110-115.
- [7] รัฐพล สมณา และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ผสมมวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า, *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, ต.ค.-ธ.ค. 2554, 34(4), 369-381.
- [8] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. การใช้เถ้าชานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต, *วารสารคอนกรีต*, ส.ค. 2555, (16), 1-11.
- [9] ศุภกา ปาลเปรม, *เซลาดอน* [ออนไลน์]. [อ้างถึงวันที่ 2 ตุลาคม 2555]. เข้าถึงจาก: http://designinnovathai.com/_file/files/Celadon.pdf
- [10] ภาณุเทพ สุวรรณรัตน์ และคณะ. การทดลองเคลือบซีเมนต์จากอัตราส่วนผสมซีเมนต์ไม่มั่งว่ง หินปูนม้า และดินเหนียวท้องถิ่น เพื่อเคลือบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาชนิดสโตนแวร์, *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา*, ม.ค.-มิ.ย. 2550, 1(1) , 45-52.
- [11] สนิท ปิ่นสกุล. การใช้ซีเมนต์กลบเป็นวัสดุแทนควอทซ์ในกระบวนการผลิตเซรามิกส์, *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, 2554, 7(14), 56-65.
- [12] ISSENBERG, M., *Spraying wood ash glazes*. Ceramic art daily [online]. [viewed 7 October 2012]. Available from: http://www.ceramicartdaily.net/booksales/Glazes_PreWoodAsh.pdf
- [13] วรณา ต.แสงจันทร์ และ ลดา พันธุ์สุขุมธนา. *เคลือบเซรามิก : เอกสารประกอบการอบรม* [ออนไลน์]. [อ้างถึงวันที่ 3 พฤษภาคม 2555]. เข้าถึงจาก: http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_manual/M008.pdf



การพัฒนาวัสดุอ้างอิงสำหรับตัวอย่าง Water Soluble Chlorides (as NaCl) ในอาหารสัตว์

Development of a reference material for water soluble chlorides (as NaCl) in feeding stuffs

4

พจมาน ท่าจิ้น^{1*}, สุกัลยา พลเดช¹, ศรีสุดา หรมระฤก
Pochaman Tagheen^{1*}, Sukanya Pondet¹, Srisuda Romraluk

บทคัดย่อ

งานรายงานนี้เป็นการนำเสนอแนวทางการให้ค่ากำหนดและค่าความไม่แน่นอนของวัสดุอ้างอิงในตัวอย่าง Water Soluble Chlorides (as NaCl) ในอาหารสัตว์ โดยวัสดุอ้างอิงนี้เป็นตัวอย่างที่ผลิตขึ้นจากกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ (PTCH-FA03-1401) จัดโดยศูนย์บริหารจัดการทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ การผลิตวัสดุอ้างอิงจะดำเนินการเป็นไปตามมาตรฐานสากล ISO/IEC 17043, ISO Guide 34 และ ISO Guide 35. วัตถุประสงค์การใช้งานวัสดุอ้างอิงนี้เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีทดสอบ การทวนสอบวิธีทดสอบ และการควบคุมคุณภาพของห้องปฏิบัติการ ในช่วงการใช้งาน 2.00 – 2.50 g/100g และค่าความไม่แน่นอนเป้าหมายไม่เกิน 0.10 g/100g ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่ากำหนดของวัสดุอ้างอิงนี้คือ 2.292 g/100g และค่าความไม่แน่นอนคือ 0.064 g/100g ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (k=2)

Abstract

This paper presented how to assign reference material value and measurement uncertainty for Water Soluble Chlorides (as NaCl) in Feeding Stuffs. This reference material was produced and its value was assigned from the proficiency testing round (PTCH-FA03-1401) organized by Center for Laboratory Proficiency Testing, Department of Science Service in accordance with ISO/IEC 17043, ISO Guide 34 and ISO Guide 35. The reference material is intended to be used for method validation, method verification and laboratory quality control. Target range for the reference material is set at 2.00 – 2.50 g/100g. The target measurement uncertainty for the reference material should not be more than 0.10 g/100g. The result show that the assigned value for the reference material is 2.292 g/100g and the measurement uncertainty is 0.064 g/100g at the 95% confidence level (k=2).

คำสำคัญ: วัสดุอ้างอิง อาหารสัตว์ ค่ากำหนด ค่าความไม่แน่นอน

Keywords: Reference material, Feeding stuff, Assigned value, Measurement uncertainty

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author E-mail address: pochaman@dss.go.th

1. Introduction

Reference Materials (RM)^[1] are the materials, sufficiently homogeneous and stable with reference to specified properties, which have been established to be fit for its intended use in measurement or in examination of nominal properties. Certified reference materials (CRM)^[1] are the reference materials, accompanied by documentation issued by an authoritative body and providing one or more specified property values with associated uncertainties and traceability, using valid procedures. Reference materials and Certified Reference Materials are important tool in realizing a number of aspects of measurement quality and are used for method validation, calibration, estimation of measurement uncertainty, training and for internal quality control and external quality assurance (proficiency testing) purposes.

The production of CRM requires a great deal of planning prior to undertaking any actual activity in the project. A substantial part of the planning deals with the amount of material needed, as well as with the design of the homogeneity, stability and characterization studies. The number of samples to be produced is a very important variable in the planning process. The number of samples and the amount of raw material depend on all these factors.

Modelling a characterization process for the evaluation of uncertainty is neither a routine task nor a strictly mathematic one. The establishment of a proper model for a property value of a specific candidate CRM is a complex task, which should be carried out with great care to account for all relevant details of the procedures followed to produce and certify the material. One of the basic requirements of the model is that all factors that could significantly contribute to the uncertainty associated with the property values of the CRM are included. Therefore, in order to be complete, the combined standard uncertainty on a reference material should acknowledge that homogeneity and both long- and short-term stability also play an important role in addition to the characterization of the batch.

According to ISO Guide 35, the data evaluation for characterization can be evaluated from either

1. Single method in a single laboratory

2. Multiple methods in a single laboratory
3. Method-defined parameters
4. A network of methods and/or laboratories.

In this paper, we used a network of laboratories with similar method from the proficiency testing program to evaluate the reference value and their measurement uncertainty detailed in section 2.

2. Experimental

2.1 Setting target measurement uncertainty for reference material

The candidate reference materials are concentrated feed which the target range for water soluble chlorides (as NaCl) is 2.00 – 2.50 g/100g. The target measurement uncertainty for the reference material should not be more than 0.10 g/100g (%CV = 5%) that is suitable for method validation, method verification and laboratory quality control for feed testing laboratories.

2.2 Homogeneity test

The candidate reference material was checked for homogeneity. Randomly ten packs of samples were measured for water soluble chlorides (as NaCl). The results, together with their statistical evaluations are given the between samples standard deviation (s_{bb}) from a one-way analysis of variance approach. The s_{bb} can be calculated by

$$s_{bb}^2 = \frac{MS_{among} - MS_{within}}{n_0} \dots\dots\dots(1)$$

where n_0 is the number of replicate for within sample
 MS_{among} is the variance of the between samples
 MS_{within} is the variance of the within samples

In this case, the between samples standard deviation s_{bb} is identical to u_{bb}

2.3 Study short term stability

There are two types of (in)stability to be considered in the certification of reference materials which are the short term stability and long term stability (shelf life).

The short term stability for the sample was calculated

by the deviation between the general average of the measurements obtained in the homogeneity testing and the general average of the results obtained in the stability testing. The standard uncertainty for short term stability u_{sts} is calculated by

$$u_{sts} = \frac{|A-B|}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2)$$

where A is the general average of the measurements obtained in the homogeneity testing.

B is the general average of the results obtained in the stability testing

2.4 Providing proficiency testing and assigned the value from the group of participants

Proficiency testing program (PTFF-FA03-1401) was organized by the Center for Laboratory Proficiency Testing, Department of Science Service (CLPT, DSS). The results of the proficiency testing program on Water Soluble Chlorides (as NaCl) were summarized from 43 laboratories registered in this program (3 governmental laboratories and 40 private laboratories).

2.4.1 The assigned value (x_{pt})

The assigned value for test samples used in the proficiency testing scheme is the robust average (x^*) that is the consensus value from all participants. This assigned value was calculated by using Algorithm A (ISO 13528: 2015)

2.4.2 The standard deviation (σ_{pt}) is the target standard deviation from the standard method ISO 6495: 1999 which is 15% of the assigned value.

2.5 Standard uncertainty of characterization

(u_{char})

The standard uncertainty (u_{char}) of the assigned value is estimated from standard uncertainty of the proficiency testing value ($u(x_{pt})$) (ISO 13528: 2015) as:

$$u_{char} = u(x_{pt}) = \frac{1.25 \times s^*}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots(3)$$

where $u(x_{pt})$ is standard uncertainty of the proficiency testing value.

s^* is standard deviation of the consensus value calculated by using Algorithm A.

n is the number of results.

2.6 Study long term stability

In this paper, only classical stability is studied for 1 month, 12 months and 24 months. The standard uncertainty for 24 months long term stability (u_{lts}) as

Time (months) x_i	Water soluble chloride (as NaCl) (g/100g) y_i
x_1	y_1
x_2	y_2
...	...
x_n	y_n

$$u_{lts} = s(b_1) \times t \dots\dots\dots(4)$$

$$s(b_1) = \frac{s}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \dots\dots\dots(5)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_i)^2}{n-2} \dots\dots\dots(6)$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} \dots\dots\dots(7)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots(8)$$

where $s(b_1)$ is standard uncertainty associated with the slope.

t is the number of months.

The slope should be checked as a consequence (no instability) by

$$|b_1| < t_{0.95, n-2} \cdot s(b_1)$$

where $t_{0.95, n-2}$ is the student's t-factor for n-2 degree of freedom and p=0.95 (95% level of confidence)

2.7 Calculate measurement uncertainty for reference material

The uncertainty associated with a properly value of a CRM can be expressed as

$$u_{CRM} = \sqrt{u_{char}^2 + u_{bb}^2 + u_{sts}^2 + u_{lts}^2} \dots\dots\dots(9)$$

Where u_{char} is the standard uncertainty of the certified value analyzed by the robust average from the group of laboratories participated the proficiency testing scheme.

u_{bb} is the standard uncertainty transferred to a single package (homogeneity)

u_{sts} is the standard uncertainty as dispatched to the customer (short-term stability)

u_{lts} is the standard uncertainty at the time of kept (long-term stability)

3. Results and Discussion

3.1 Assigned value for the reference material

This reference material is part of samples from the proficiency testing program on the PTCH-FA03-1401: Water-soluble chlorides (as NaCl) in Feeding stuffs organized by the Center for Laboratory Proficiency Testing, Department of Science Service (CLPT, DSS). The total of 43 laboratories were participated. The assigned value is the robust average ($\bar{x}^*$) calculated from 43 participants in the PT program by using Algorithm A (ISO 13528:2015). Standard deviation of the consensus value (s^*) calculated by using Algorithm A (ISO 13528:2015). The Summary statistics for water-soluble chlorides (as NaCl) in Feeding stuffs is shown in Table 1.

Table 1 Summary statistics for water-soluble chlorides (as NaCl) in feeding stuffs

Summary statistics	Value
No. of results	43
Assigned value ($\bar{x}_{char}$) (g/100g)	2.292
Standard deviation of the consensus value (s^*) (g/100g)	0.130
Standard uncertainty of assigned value (u_{char}) (g/100g)	0.025

3.2 Homogeneity study

Ten randomly selected samples were analyzed in duplicate under repeatability conditions. The results together with their statistical evaluations are given in Table 2-4.

The results, together with their statistical evaluations are given the between samples standard deviation (s_{bb}) from a one-way analysis of variance approach.

Table 2 Homogeneity study for water-soluble chlorides (as NaCl) in feeding stuffs

Sample No.	Water soluble chloride (as NaCl) (g/100g)	
	replicate 1	replicate 2
001	2.335	2.339
002	2.339	2.340
003	2.340	2.336
004	2.347	2.340
005	2.341	2.341
006	2.353	2.341
007	2.342	2.344
008	2.343	2.349
009	2.341	2.341
010	2.341	2.343

Table 3 ANOVA single factor

ANOVA						
Source of Variance	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.0001862	9	0.0000207	1.53251	0.257359	3.02
Within Groups	0.000135	10	0.0000135			
Total						

Table 4 Calculation uncertainty for homogeneity study

Average (A)	2.342
MS between	0.0000207
MS within	0.0000135
S _{bb}	0.0000036
u _{bb}	0.0000036

3.3 Short term stability and long term stability

The short term stability for the sample was calculated by deviation between the general average of the measurements obtained in the homogeneity testing (Table 4) and the general average of the results obtained in the stability testing (Table 5).

Table 5 One month stability study

Sample No.	Water soluble chloride (as NaCl) (g/100g)	
	replicate 1	replicate 2
011	2.341	2.343
012	2.338	2.339
013	2.337	2.339
014	2.340	2.343
015	2.345	2.339
Average (B)	2.342	

The standard uncertainty for short term stability u_{sts} is calculated by

$$u_{sts} = \frac{|A-B|}{\sqrt{3}} = 0 \quad \dots\dots\dots(10)$$

For long term study, we studies 12 months and 24 months to support 2 years self-life. The information for 0 month, 1 month, 12 months and 24 months are shown in Table 6.

Table 6 Stability data for Water soluble chloride (as NaCl) (g/100g)

	Month (x)	Water soluble chloride (as NaCl) (g/100g)	n
	0	2.342	2
	1	2.342	2
	12	2.340	2
	24	2.390	2
average	9.25	2.354	10

Table 7 Calculation from stability data

Month (x)	NaCl (y)	$(x_i - \bar{x})$	$(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - (b_0 - b_1 x_i))^2$	$(y_i - (b_0 - b_1 x_i))^2$
0	2.342	-9.25	-0.012	0.111	85.5625	0.0065	0.000042
1	2.342	-8.25	-0.012	0.099	68.0625	0.0045	0.000020
12	2.340	2.75	-0.014	-0.039	7.5625	-0.0195	0.000380
24	2.390	14.75	0.036	0.531	217.5625	0.0065	0.000042

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.002$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} = 2.354 - (0.002 \times 9.25) = 2.3355$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_i)^2}{n - 2} = 0.0002425$$

$$s(b_1) = \frac{s}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} = 0.00080$$

$$u_{lts} = s(b_1) \times t = 0.00080 \times 24 = 0.020$$

$$t_{0.95, n-2} \cdot s(b_1) = t_{0.95, 8} \times 0.00080 = 2.31 \times 0.00080 = 0.0018$$

$$|b_1| < t_{0.95, n-2} \cdot s(b_1)$$

So the slope is insignificant. As a consequence, no instability was observed.

3.4 Expanded uncertainty for the CRM: water soluble chloride (as NaCl) (g/100g)

The expanded uncertainty of the CRM is estimated by combining the contributions of characterizations, homogeneity and stability to the overall uncertainty associated with the property values:

$$U_{CRM} = k * \sqrt{u_{char}^2 + u_{bb}^2 + u_{sts}^2 + u_{lts}^2}$$

$$U_{CRM} = 2 * \sqrt{0.025^2 + 0.0000036^2 + 0^2 + 0.020^2} = 0.064 \text{ g/100g}$$

The certificate of reference material is shown below



RM Report No. XXXX/2016

**Center for Laboratory Proficiency Testing
Department of Science Service
Certification of Reference Material
Water - soluble chlorides (as NaCl) in Feeding stuffs**

Expired Date : December 2016

- Contents :** Water - soluble chlorides (as NaCl) in Feeding stuffs (fish feed).
Stability : The original unopened container can be used until December 2016.
Storage : The reference material should be kept in the original packaging and stored at room temperature until testing commences.

This reference material was produced from the proficiency testing round (PTFF - FA03 - 1401) which are complied with ISO/IEC 17043, ISO Guide 34 and ISO Guide 35.

The reference material is intended to be used for method validation and quality control.

ASSIGNED VALUE AND CORRESPONDING STATISTICAL DATA

RMFF - FA03 - 1401

Test items	No. of results	Assigned Value	Measurement uncertainty	Standard deviation
Water - soluble chlorides (as NaCl) (g/100g)	43	2.292	0.064	0.130

- Notes :** 1. The assigned value is the robust average from the data of participation laboratories in PT scheme : Water - soluble chlorides (as NaCl) in Feeding stuffs (PTFF - FA03 - 1401).
2. The standard deviation is the target standard deviation from the standard method ISO 6495 : 1999.
3. Measurement uncertainty is the expanded uncertainty at confidence level 95% (k=2) and derived based on ISO Guide 35 : 2006.

Date of issue : March 2016

Approved by

(Mrs. Rachada Hemapattawee)
Director of Center for Laboratory Proficiency Testing
Department of Science Service

4. Conclusion

The reference material is intended to be used for method validation, method verification and laboratory quality control. Target range for the reference material is set at 2.00 – 2.50 g/100g. The target measurement uncertainty for the reference material should not be more than 0.10 g/100g. The result show that the assigned value for the reference material is 2.292 g/100g and the measurement uncertainty is 0.064 g/100g at 95% confidence level ($k=2$) which are fit for the target setting.

5. Acknowledgement

The completion of this study could not have been possible without the participation and assistance of Mrs.Srisuda Romraluk for technical support.

6. Reference

- [1] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL. ISO/IEC Guide 99: 2013,

International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM).

- [2] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO Guide 35: 2006, *Reference materials – General and statistical principles for certification.*
- [3] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL. ISO/IEC 17043: 2010, *Conformity assessment-General requirements for proficiency testing,*
- [4] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13528: 2015, *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons.*
- [5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6495: 1999, *Animal feeding stuffs –Determination of water-soluble chlorides content.*

การสอบเทียบปิเปตต์ด้วยชุดสอบเทียบปิเปตต์ต้นแบบ

Calibration of volumetric pipettes using a prototype of a high accuracy pipette calibration set

5

อัจฉรวรรณ วัฒนหัตถกรรม^{1*}, วีระชัย วาริยาตร์¹, บุญธรรม ลิ้มปิยพันธุ์¹

Acharawan Wattanahuttakum^{1*}, Weerachai Variyart¹, Boontham Limpiyapun¹

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปวิธีการสอบเทียบเครื่องแก้วปริมาตรจะเป็นไปตามเอกสารมาตรฐาน อย่างไรก็ตามผลการวัดอาจผิดพลาดได้เนื่องจากการปรับระดับท้องน้ำหรือส่วนโค้งล่างสุดของ meniscus ไม่อยู่บนขีดบอกปริมาตรของปิเปตต์ งานวิจัยนี้ได้นำเอาชุดสอบเทียบปริมาตรของปิเปตต์ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบด้านมวลและปริมาตรของกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบเครื่องแก้วชนิดปิเปตต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความผิดพลาดที่มาจาก การวัดของผู้ปฏิบัติงาน (human error) ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถอ่านระดับ meniscus ได้ตรงตำแหน่งเดิมหรือใกล้เคียงกับตำแหน่งเดิม ห้องปฏิบัติการดำเนินการทดสอบ 2 ส่วน คือ การหาเวลาการไหลของของเหลวออกจากปิเปตต์ (delivery time) และการหาค่าปริมาตรของเครื่องแก้วที่อุณหภูมิอ้างอิง 20 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างการใช่วิธีสอบเทียบแบบเดิมและใช้ชุดต้นแบบ ผลการทดสอบพบว่าเวลาการไหล (delivery time) ที่วัดด้วยวิธีการสอบเทียบแบบเดิมและการใช่วิธีสอบเทียบโดยใช้ชุดต้นแบบที่นั้นยังคงให้ค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในเกณฑ์การยอมรับที่กำหนดไว้ และการหาค่าปริมาตรของปิเปตต์จากการใช้ชุดต้นแบบนั้นให้ผลการวัดเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งยืนยันได้จากการประเมินผลด้วยการใช้ En number ที่พบว่า En number ≤ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบผลการวัดกับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจาก DAkkS และจากห้องปฏิบัติการที่ให้ค่าอ้างอิงด้านเครื่องแก้วและได้รับการรับรองตาม ISO/IEC 17025 ของประเทศไทย

Abstract

The calibration procedure used to determine the volume of measuring laboratory glassware was generally guided in the international standard. However, a measurement error was possibly occurred if the position of the lowest point of the meniscus was not horizontally tangent to the plane of the upper edge of the graduation line. In this research, a semi-automated pipette calibration set designed and developed by Mass and Volume Laboratory under the Department of Science and Service (DSS) was used for pipette calibration. The use of this prototype device was aimed to reduce the human error from reading meniscus and improve measurement repeatability. Two experiments were investigated. One was to determine the delivery time of pipettes and the other was to measure the actual volume of pipettes at the standard reference temperature of 20°C. The results obtained from using the conventional method and the pipette calibration set were compared. For testing of the delivery time, the results from both manners were almost the same and they were within the limits specified in the international standard. For the volume determination, it was found that the use of the prototype set provided the satisfactory performance as confirmed by the En number less than or equal to 1 (En number ≤ 1). This value was calculated using the measurement values from the DSS laboratory and the reference value from laboratory accredited by DAkkS and Thailand accreditation body according to ISO/IEC 17025.

คำสำคัญ: การสอบเทียบ เครื่องแก้วปริมาตร ปิเปตต์ เมนิสคัส ระยะเวลาการไหล

Keywords: Calibration, Volumetric glassware, Pipette, Meniscus, Delivery time

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

* Corresponding author Email address : acharawan@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

เครื่องแก้วปริมาตรที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีหลากหลายประเภท ปีเปตต์เป็นหนึ่งในกลุ่มเครื่องแก้วปริมาตรที่สำคัญและใช้ในห้องปฏิบัติการทดสอบสำหรับการตรวจและวัดปริมาตรของของเหลวหรือสารเคมี ให้ได้ปริมาตรถูกต้องตามต้องการ [1-4] หากปีเปตต์ผ่านการใช้งานมาบ้างแล้ว ก็อาจทำให้ปริมาตรของ ปีเปตต์คลาดเคลื่อนไป ดังนั้น เพื่อให้ผลการวัดปริมาตรของของเหลวถูกต้องและแม่นยำจึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบและทวนสอบปริมาตรของปีเปตต์ก่อนนำมาใช้งานอีกครั้ง เพื่อยืนยันความถูกต้องของปริมาตรว่าเป็นไปตามเกณฑ์การใช้งานหรือไม่ ทำให้ผลการวิเคราะห์ทดสอบที่ได้มีความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับสำหรับผู้ที่จะนำผลการวิเคราะห์ทดสอบไปใช้ ซึ่งสอดคล้องกับการประกันคุณภาพการวิเคราะห์ทดสอบตามระบบประกันคุณภาพของ ISO 17025 [5]

ปัจจุบันการสอบเทียบปีเปตต์ต้องใช้ความชำนาญของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเป็นอย่างมาก เนื่องจากสาเหตุหลักของความผิดพลาดของการวัดเกิดจากการปรับระดับตำแหน่งของส่วนโค้งของผิวน้ำในหลอดแก้วที่เกิดจากแรงตึงผิวของน้ำที่กระทำกับหลอดแก้ว (meniscus) การวัดปริมาตรที่ถูกต้องนั้นต้องให้ท้องน้ำหรือส่วนโค้งล่างสุดของ meniscus อยู่บนขีดบอกปริมาตรของปีเปตต์ [6] หากผู้ปฏิบัติงานปรับระดับตำแหน่งของ meniscus สูงหรือต่ำกว่าขีดบอกปริมาตรจะส่งผลให้ปริมาตรของปีเปตต์ผิดพลาดด้วย และจากรายงานผลการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญด้านเครื่องแก้วปริมาตร จัดโดยศูนย์บริหารจัดการทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ระหว่างวันที่ 26 พฤศจิกายน 2553 – 22 มีนาคม 2554 ที่พบว่ามีจำนวนห้องปฏิบัติการมากกว่าร้อยละ 70 ที่แสดงผลการสอบเทียบไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับอันเป็นผลมาจากสาเหตุดังกล่าว

งานวิจัยนี้จึงได้นำเอาชุดสอบเทียบปริมาตรของปีเปตต์ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบด้านมวลและปริมาตรของกรมวิทยาศาสตร์บริการ สร้างและพัฒนาขึ้นมานั้น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือต้นแบบสำหรับการสอบเทียบเครื่องแก้วชนิดปีเปตต์ เครื่องมือดังกล่าวนี้จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถอ่านขีดปริมาตรได้ง่ายและสามารถบันทึกภาพระดับท้องน้ำ ณ ขีดบอกปริมาตรโดยระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้ลดความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดของผู้ปฏิบัติงานที่ทำการสอบเทียบ ด้วยวิธีการแบบเดิม ลดความคลาดเคลื่อนจากการวัดซ้ำหลายๆ ครั้ง ทำให้เกิดความเที่ยงในการวัดมากยิ่งขึ้น และส่งผลให้การวัดด้านปริมาตรมีความถูกต้องแม่นยำ เพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการสอบเทียบ

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้

2.1.1 เครื่องแก้วปริมาตรชนิดปีเปตต์ขนาด 1 มิลลิลิตร ถึง 10 มิลลิลิตร ซึ่งมีจำนวน 2 ชุดคือ

ตัวอย่างชุดที่ 1 – เครื่องแก้วปริมาตรที่มีค่าอ้างอิง

มาตรฐานตามใบรับรองผลการสอบเทียบจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจากสถาบัน Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAKkS) จากประเทศสาธารณรัฐเยอรมนี จำนวน 4 ตัวอย่าง มีขนาดความจุ 1, 2, 5 และ 10 มิลลิลิตร ที่ระดับชั้นความถูกต้อง class AS ซึ่งถูกผลิตตามมาตรฐาน ISO 648 : 2008 [1]

ตัวอย่างชุดที่ 2 – เครื่องแก้วปริมาตรชุดนี้ไม่มีค่าอ้างอิงมาตรฐาน แต่ได้รับการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 และเป็นห้องปฏิบัติการอ้างอิงทางด้านเครื่องแก้วปริมาตรของประเทศไทย มีขนาดความจุ 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร โดยแต่ละขนาดความจุมีจำนวน 6 ตัวอย่าง ปีเปตต์ชุดนี้มีระดับชั้นความถูกต้อง class A ซึ่งถูกผลิตตามมาตรฐาน ASTM E969-02 : 2012 [2]

2.1.2 เครื่องชั่ง (เครื่องชั่งยี่ห้อ Sartorius รุ่น ME215S มีความสามารถในการอ่านได้ละเอียด (readability) 0.00001 กรัม ความสามารถในการชั่งในสูงสุด (capacity) 210 กรัม)

2.1.3 น้ำปราศจากไอออน (deionized water) [8]

2.1.4 ขวดซังสาร

2.1.5 น้ำยาล้างเครื่องแก้ว

2.1.6 กรดไนตริก

2.1.7 เครื่องวัดเวลา

2.2 ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเครื่องแก้ว

2.2.1 นำเครื่องแก้วมาล้างด้วยน้ำยาล้างเครื่องแก้ว (Detergent) แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด

2.2.2 ทำความสะอาดคราบสกปรกที่อยู่ในเครื่องแก้วด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (10% – 30%)

2.2.3 แช่เครื่องแก้วทิ้งไว้ โดยระยะเวลาในการแช่ขึ้นขึ้นอยู่กับความสกปรกของเครื่องแก้ว

2.2.4 ล้างเครื่องแก้วที่แช่กรดหรือด่างด้วยน้ำสะอาดแล้วตามด้วยน้ำกลั่น

2.2.5 ทิ้งไว้ให้แห้งในอุณหภูมิห้อง

2.3 การทดสอบ/สอบเทียบ

หลักการสอบเทียบปีเปตต์คือการชั่งน้ำหนักของน้ำที่ถูกปล่อยออกจากปีเปตต์ภายใต้สภาวะแรงเนื่องจากอัตราเร่งความโน้มถ่วงของโลก (gravimetric force) แล้วนำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาค่าปริมาตรของปีเปตต์ที่อุณหภูมิมาตรฐานที่ 20 องศาเซลเซียส การสอบเทียบปีเปตต์จะตรวจสอบ 2 หัวข้อ ดังนี้

2.3.1 เวลาการไหลของของเหลวออกจากปีเปตต์ (delivery time)

เวลาการไหลของของเหลวจะเริ่มนับเวลาตั้งแต่ปล่อยของเหลวจากตำแหน่งขีดบอกปริมาตรจนกระทั่งของเหลวหยุดไหล ระยะเวลาการไหลของปีเปตต์แต่ละขนาดความจุจะถูกกำหนดไว้ในเอกสารมาตรฐาน ISO 648:2008 หรือ ASTM E969-02 [1,2]

2.3.2 ปริมาตรของปีเปตต์ที่ถูกต้อง ณ อุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 องศาเซลเซียส (volume at the reference temperature of 20°C)

การหาค่าปริมาตรของปิเปตต์ที่ถูกต้อง ณ อุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิอ้างอิง (reference temperature) ที่ใช้ในการสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO หรือ ASTM [6,7] โดยห้องปฏิบัติการได้ดำเนินการสอบเทียบปิเปตต์ขนาดต่าง ๆ ตามวิธีมาตรฐาน โดยวิธีการแบบปกติ (ตาม 2.3.2.1) และแบบใช้ชุดสอบเทียบปิเปตต์ (ตาม 2.3.2.2) และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิงของปิเปตต์ที่มีใบรับรองผลการสอบเทียบ

2.3.2.1 การสอบเทียบปิเปตต์แบบปกติทั่วไป มีวิธีการดังนี้ เริ่มจากดูดน้ำเข้าไปในปิเปตต์จนระดับน้ำอยู่เหนือขีดปริมาตร จากนั้นปรับระดับ meniscus ณ ขีดปริมาตร และปล่อยน้ำสู่ภาชนะรองรับแล้วนำไปชั่ง

2.3.2.2 การสอบเทียบปิเปตต์โดยใช้ชุดสอบเทียบปิเปตต์ ซึ่งชุดต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมาจะทำงานด้วยหลักการที่สอดคล้องกันกับการสอบเทียบปิเปตต์แบบวิธีปกติ เพื่อให้กระบวนการสอบเทียบเป็นไปตามวิธีมาตรฐาน การออกแบบสร้างชุดสอบเทียบนี้จะต้องคำนึงถึงระบบต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อค่าปริมาตร เริ่มตั้งแต่การออกแบบให้ปิเปตต์ตั้งฉากเพื่อให้ขีดปริมาตรอยู่แนวระดับขนานกับพื้นโลก ระบบการควบคุมการดูดน้ำเข้าสู่ปิเปตต์/ปล่อยน้ำออกจากปิเปตต์ การอ่านปิเปตต์ในระดับสายตาตามวิธีการที่ถูกต้อง

ด้วยแนวคิดดังกล่าว คณะนักวิจัยจึงได้สร้างชุดสอบเทียบต้นแบบระบบกึ่งอัตโนมัติ ลักษณะดังรูปที่ 1 โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถอ่านขีดปริมาตรได้อย่างชัดเจน ลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นขณะปรับระดับ meniscus ณ ขีดบอกปริมาตร ลดความคลาด

เคลื่อนของการวัด ทำให้การวัดปริมาตรมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเพื่อให้ได้ผลการวัดซ้ำ (repeatability) ที่ดี ชุดสอบเทียบปริมาตรของปิเปตต์ต้นแบบประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

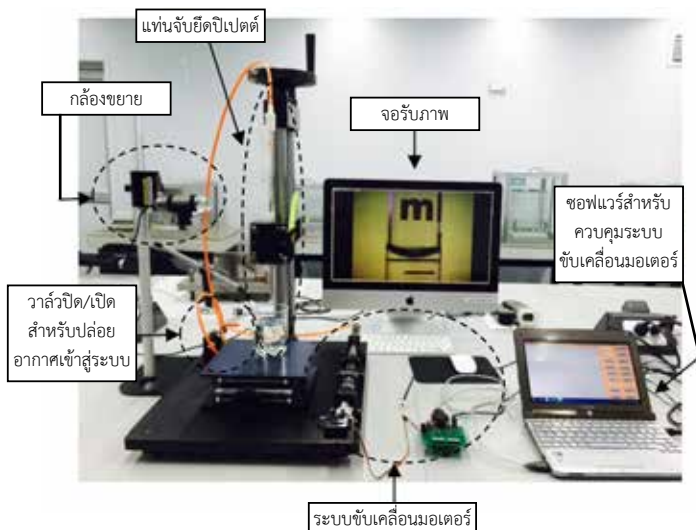
ส่วนที่ 1 แท่นจับปิเปตต์ สำหรับยึดปิเปตต์ให้ตั้งอยู่ในแนวฉาก มีอุปกรณ์สำหรับหมุนปรับปิเปตต์ขึ้น-ลง ได้ตามระดับที่ต้องการ และแท่นวางภาชนะรองรับที่สามารถปรับระดับขึ้น-ลงได้

ส่วนที่ 2 ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ ที่มีแผงวงจรควบคุมมอเตอร์ ระบบมอเตอร์ที่เป็นแบบ gear box ซึ่งใช้สำหรับการดูดของเหลวเข้าปิเปตต์และปล่อยของเหลวออกเพื่อปรับปริมาตรให้ได้ระดับ และท่อลูกสูบที่จะทำงานเมื่อมอเตอร์ขับเคลื่อนสำหรับการดูดและปล่อยของเหลวเข้า-ออกจากปิเปตต์

ส่วนที่ 3 ซอฟต์แวร์ที่ห้องปฏิบัติการพัฒนาขึ้นมา เพื่อควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับดูดและปล่อยของเหลว โดยสามารถปรับระดับความเร็วให้เร็วขึ้น-ช้าลงได้เพื่อช่วยในการปรับระดับ meniscus

ส่วนที่ 4 กล้องขยายเพื่อรับและบันทึกภาพขณะปรับระดับ meniscus และขยายภาพ meniscus ให้เห็นชัดโดยผ่านจอรับภาพ ซึ่งกล้องขยายนี้จะเชื่อมต่อเข้ากับจอรับภาพผ่านช่องเชื่อมต่อสัญญาณ USB และมีซอฟต์แวร์สำหรับบันทึกภาพ

ส่วนที่ 5 วาล์วสำหรับปิดหรือเปิดอากาศ เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศเข้าสู่ปิเปตต์แล้วเกิดเป็นฟองอากาศขึ้นภายในปิเปตต์ ทำให้ไม่สามารถปรับระดับของของเหลวให้ตรงกับขีดบอกปริมาตร



รูปที่ 1 ชุดสอบเทียบปริมาตรของปิเปตต์

การสอบเทียบด้วยชุดต้นแบบนี้มีขั้นตอนการทำงานโดยสังเขปดังนี้

- ยึดปิเปตต์เข้ากับแท่นจับปิเปตต์ แล้วปรับขยายภาพขีดปริมาตรให้เห็นชัดเจนบนจอภาพ

- วางบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำกลั่นบนฐานวางภาชนะ ปรับระดับฐานวางบีกเกอร์เพื่อให้ปลายปิเปตต์จุ่มน้ำ
- ปิดวาล์วเพื่อไม่ให้อากาศรั่วไหลเข้าไปในระบบ แล้วเข้าสู่โปรแกรมซอฟต์แวร์เพื่อสั่งงานให้มอเตอร์ขับเคลื่อนลูกสูบเพื่อดูดน้ำเข้าสู่ปิเปตต์
- หยุดการทำงานของมอเตอร์ เมื่อน้ำถูกดูดขึ้นไปอยู่เหนือระดับขีดบอกปริมาตรประมาณ 1 เซนติเมตร
- นำบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำกลั่นออกจากฐานวางภาชนะ เช็ดน้ำที่เกาะบริเวณส่วนปลายปิเปตต์ออก
- ปรับระดับปริมาตรของน้ำให้ส่วนโค้งล่างสุดของ meniscus อยู่บนเส้นขีดบอกปริมาตรของปิเปตต์ตามกระบวนการสอบเทียบ จากนั้นสั่งงานผ่านซอฟต์แวร์ให้มอเตอร์ขับเคลื่อนเพื่อปล่อยของเหลวออกจากปิเปตต์ ขณะปรับตำแหน่งของ meniscus ซึ่งผู้ปฏิบัติงานสามารถมองภาพ meniscus ที่ชัดเจนผ่านกล้องขยาย ทำให้สามารถอ่านค่าได้ถูกต้อง เมื่อปรับระดับได้แล้ว สั่งมอเตอร์ให้หยุดทำงาน
- ปล่อยน้ำออกจากปิเปตต์ด้วยการเปิดวาล์วเพื่อให้อากาศเข้าไปในปิเปตต์ผลักดันน้ำให้ไหลออกตามสภาวะแรงเนื่องจากอัตราเร่งความโน้มถ่วงของโลก (gravimetric force) แล้วนำไปชั่ง (สำหรับการวัดค่าปริมาตร) หรือจับเวลาตั้งแต่เริ่มปล่อยน้ำจนน้ำหยุดไหล (สำหรับการหาค่า delivery time)

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 ผลการทดสอบ

3.1.1 การหาเวลาการไหลของของเหลว (delivery time)

ผลการทดสอบหาเวลาการไหลของของเหลวของตัวอย่างชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 โดยใช้วิธีการปกติเปรียบเทียบกับการใช้ชุดสอบเทียบ ต้นแบบ แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 เวลาการไหลของตัวอย่างชุดที่ 1 โดยเปรียบเทียบเวลาการไหลระหว่างการใช่วิธีสอบเทียบแบบปกติและการใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบ

ตัวอย่างชุดที่ 1	ช่วงเวลาการไหล (วินาที) อ้างอิงจาก ISO 648	เวลาการไหล (วินาที)	
		โดยวิธีปกติ	โดยใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบ
1 ml	7 - 11	7	7
2 ml	7 - 11	10	9
5 ml	9 - 13	11	10
10 ml	11 - 15	12	12

ตารางที่ 2 เวลาการไหลของตัวอย่างชุดที่ 2 ที่ขนาดความจุ 1 ml 5 ml และ 10 ml โดยเปรียบเทียบเวลาการไหลระหว่างการใช่วิธีสอบเทียบแบบปกติและการใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบ

ตัวอย่างชุดที่ 2	ช่วงเวลาการไหล (วินาที) อ้างอิงจาก ASTM E969-02	เวลาการไหล (วินาที)	
		โดยวิธีปกติ	โดยใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบ
1-PT0802	8 - 60	17	17
1-PT0803	8 - 60	14	15
1-PT0804	8 - 60	11	12
1-PT0806	8 - 60	13	12
1-PT0807	8 - 60	17	18
1-PT0809	8 - 60	16	16
5-PT0802	8 - 60	12	12
5-PT0803	8 - 60	13	12
5-PT0804	8 - 60	13	13
5-PT0806	8 - 60	14	14
5-PT0807	8 - 60	12	12
5-PT0809	8 - 60	15	15
10-PT0802	15 - 60	19	19
10-PT0803	15 - 60	20	20

10-PT0804	15 - 60	23	23
10-PT0806	15 - 60	18	18
10-PT0807	15 - 60	17	17
10-PT0809	15 - 60	15	16

3.1.2 การหาค่าปริมาตรของปิเปตต์ที่ถูกต้อง ณ อุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส (volume at the reference temperature of 20°C)

ค่าปริมาตรของปิเปตต์ ณ อุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 องศาเซลเซียส จะคำนวณโดยใช้สมการที่ (1)

$$V_{20} = (I_L - I_E) \left[\frac{1}{(\rho_s - \rho_L)} \right] \left[1 - \frac{\rho_L}{\rho_s} \right] [1 - \alpha(t_L - 20)] \quad (1)$$

แทนค่า $m = I_L - I_E$ จะได้ $V_{20} = m \left[\frac{1}{(\rho_s - \rho_L)} \right] \left[1 - \frac{\rho_L}{\rho_s} \right] [1 - \alpha(t_L - 20)] \quad (2)$

เมื่อ V_{20} = ปริมาตรของเครื่องแก้วที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 °C (cm³ หรือ ml)

I_L = น้ำหนักของภาชนะที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ (g)

I_E = น้ำหนักของภาชนะเปล่า (g)

P_w = ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm³)

P_A = ความหนาแน่นของอากาศขณะสอบเทียบ (g/cm³)

P_B = ความหนาแน่นของมวลมาตรฐานในเครื่องชั่ง (กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 8.0 g/cm³)

α = สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรเนื่องจากความร้อนสำหรับวัสดุที่ใช้ทำเครื่องแก้ว (cm³/°C)

T_w = อุณหภูมิของน้ำขณะสอบเทียบ (°C)

สำหรับค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดปริมาตรเป็นค่าความไม่แน่นอนขยายที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (3)

$$U = k \times u_c \quad (3)$$

เมื่อ k = Coverage factor ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

u_c = ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

และ

$$u_c(V_{20}) = \sqrt{c_A^2 u_A^2 + c_{B1}^2 u_{B1}^2 + c_{B2}^2 u_{B2}^2 + c_{L1}^2 u_{L1}^2 + c_{L2}^2 u_{L2}^2 + c_{Rep1}^2 u_{Rep1}^2 + c_{Rep2}^2 u_{Rep2}^2 + c_{R1}^2 u_{R1}^2 + c_{R2}^2 u_{R2}^2 + c_{tw}^2 u_{tw}^2 + c_{ta}^2 u_{ta}^2 + c_P^2 u_P^2 + c_h^2 u_h^2 + c_a^2 u_a^2 + c_{mc}^2 u_{mc}^2}$$

เมื่อ U_A = ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากการวัดซ้ำ

U_{B1} = ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง (ภาชนะเปล่า)

U_{B2} = ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง (ภาชนะที่บรรจุน้ำ)

U_{L1} = ค่าความไม่แน่นอนจาก linearity ของเครื่องชั่ง (ภาชนะเปล่า)

U_{L2} = ค่าความไม่แน่นอนจาก linearity ของเครื่องชั่ง (ภาชนะที่บรรจุน้ำ)

U_{Rep1} = ค่าความไม่แน่นอนจาก reproducibility ของเครื่องชั่ง (ภาชนะเปล่า)

U_{Rep2} = ค่าความไม่แน่นอนจาก reproducibility ของเครื่องชั่ง (ภาชนะที่บรรจุน้ำ)

U_{R1} = ค่าความไม่แน่นอนจาก readability ของเครื่องชั่ง (ภาชนะเปล่า)

U_{R2} = ค่าความไม่แน่นอนจาก readability ของเครื่องชั่ง (ภาชนะที่บรรจุน้ำ)

U_{tw} = ค่าความไม่แน่นอนจากอุณหภูมิของน้ำ

U_{ta} = ค่าความไม่แน่นอนจากอุณหภูมิของห้อง

U_P = ค่าความไม่แน่นอนจากความดันบรรยากาศ

U_h = ค่าความไม่แน่นอนจากความชื้นสัมพัทธ์

U_a = ค่าความไม่แน่นอนจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเครื่องแก้ว

U_{mc} = ค่าความไม่แน่นอนจากการปรับปริมาตรหรือปรับระดับ meniscus ณ ซีตบอกรปริมาตร

และค่า c เป็น sensitivity coefficient ซึ่งคำนวณโดยใช้ partial derivatives ของสมการ (2) จะได้

$$c_m = \frac{\partial V_{20}}{\partial m}, c_{t_w} = \frac{\partial V_{20}}{\partial t_w}, c_{t_a} = \frac{\partial V_{20}}{\partial t_a}, c_P = \frac{\partial V_{20}}{\partial P}, c_h = \frac{\partial V_{20}}{\partial h}, c_a = \frac{\partial V_{20}}{\partial \alpha}, c_A = 1 \text{ และ } c_{mc} = 1$$

ตารางที่ 3 และ 4 แสดงค่าผลการวัดปริมาตรและค่าความไม่แน่นอนของการวัดจากการสอบเทียบ [9, 10] ของตัวอย่างชุดที่ 1 และชุดที่ 2 โดยใช้วิธีการสอบเทียบแบบปกติและการใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบ ซึ่งตารางที่ 3 นั้นจะเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจาก DaKKS และตารางที่ 4 เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการสอบเทียบของห้องปฏิบัติการอ้างอิงด้านเครื่องแก้วที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025

3.2 วิจัยรณผลการทดสอบ

3.2.1 การหาเวลาการไหลของของเหลว (delivery time)

ผลทดสอบในตารางที่ 1 และ 2 จากตัวอย่างทั้ง 2 ชุดจะเห็นได้ว่าการใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบเพื่อทำการทดสอบหาค่า delivery time นั้นให้ผลการวัดเทียบเท่ากับการใช้วิธีแบบเดิมที่ควบคุมด้วยมือ และเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าชุดสอบเทียบต้นแบบนี้มีประสิทธิภาพสูง ทำงานตามหลักวิธีการสอบเทียบ ระบบวาล์วที่ถูกออกแบบมาจะช่วยควบคุมการไหลเข้าและออกของอากาศภายในปิเปตต์ด้วย เพื่อมิให้เกิดความผิดพลาดในการหาค่า delivery time เพราะหากระบบวาล์วทำงานผิดพลาดหรือเกิดรั่วก็จะทำให้อากาศไหลเข้าปิเปตต์เกิดเป็นฟองอากาศในแท่งแก้ว หรืออาจทำให้น้ำไหลออกจากปิเปตต์ตลอดเวลาจนทำให้ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำให้หยุดนิ่ง ณ ซีตบอกระดับปริมาตรได้

ตารางที่ 3 ผลการวัดตัวอย่างชุดที่ 1 โดยใช้วิธีแบบปกติและใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบ เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจาก DAkks

ตัวอย่างชุดที่ 1	ค่าจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรอง จาก DAkks		ผลการสอบเทียบโดยวิธีปกติ		ผลการสอบเทียบโดยใช้ชุดสอบ เทียบต้นแบบ	
	ปริมาตร (ml)	±ค่าความไม่ แน่นอน (ml)	ปริมาตร (ml)	±ค่าความไม่ แน่นอน (ml)	ปริมาตร (ml)	±ค่าความไม่ แน่นอน (ml)
1 ml	0.9975	0.0015	0.99431	0.0032	0.99700	0.0024
2 ml	2.0025	0.0025	1.99959	0.0019	2.00088	0.0018
5 ml	4.9980	0.0021	4.99606	0.0027	4.99876	0.0025
10 ml	9.9992	0.0031	9.99489	0.0028	9.99744	0.0021

ตารางที่ 4 ผลการวัดตัวอย่างชุดที่ 2 ที่ขนาดความจุ 1 ml 5 ml และ 10 ml โดยใช้วิธีแบบปกติและใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงด้านจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025

ตัวอย่างชุดที่ 2	ค่าจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรอง ตาม ISO/IEC 17025		ผลการสอบเทียบโดยวิธีปกติ		ผลการสอบเทียบโดยใช้ชุดสอบ เทียบต้นแบบ	
	ปริมาตร (ml)	±ค่าความไม่ แน่นอน (ml)	ปริมาตร (ml)	±ค่าความไม่ แน่นอน (ml)	ปริมาตร (ml)	±ค่าความไม่ แน่นอน (ml)
1-PT0802	1.0028	0.00035	1.00524	0.0014	1.00249	0.0012
1-PT0803	1.0020	0.00062	1.00512	0.0014	1.00270	0.0013
1-PT0804	1.0004	0.00073	1.00129	0.0013	1.00087	0.0013
1-PT0806	1.0063	0.0006	1.00907	0.0016	1.00655	0.0013
1-PT0807	1.0115	0.00064	1.01259	0.0013	1.01115	0.0012
1-PT0809	1.0040	0.00058	1.00548	0.0014	1.00303	0.0012
5-PT0802	4.9989	0.00087	4.99921	0.0014	4.99871	0.0012
5-PT0803	5.0071	0.00083	5.00697	0.0020	5.00659	0.0013
5-PT0804	5.0091	0.00085	5.01159	0.0015	5.00774	0.0014
5-PT0806	5.0048	0.00087	5.00330	0.0014	5.00388	0.0023
5-PT0807	5.0001	0.00088	4.99859	0.0032	4.99960	0.0017
5-PT0809	5.0021	0.00091	5.00274	0.0016	5.00258	0.0012
10-PT0802	10.0269	0.0014	10.0298	0.0024	10.02528	0.0015
10-PT0803	10.0311	0.0015	10.03460	0.0036	10.02913	0.0023
10-PT0804	10.0198	0.0015	10.02238	0.0029	10.0184	0.0016
10-PT0806	10.0188	0.0015	10.02060	0.0022	10.01783	0.0028
10-PT0807	10.0141	0.0015	10.01401	0.0048	10.01560	0.0015
10-PT0809	10.0092	0.0016	10.00334	0.0032	10.00728	0.0015

3.2.2 การหาค่าปริมาตรของปิเปตต์ที่ถูกต้อง ณ อุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส (volume at the reference temperature of 20°C)

การประเมินผลการสอบเทียบปิเปตต์ระหว่างการใช้วิธีสอบเทียบแบบปกติและวิธีการใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบ เปรียบเทียบผลการวัดกับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจาก DAkkS (ตารางที่ 3) และจากห้องปฏิบัติการที่ให้ค่าอ้างอิงด้านเครื่องแก้วและได้รับการรับรองตาม ISO/IEC 17025 (ตารางที่ 4) ห้องปฏิบัติการใช้วิธีการประเมินผลโดยเลือกใช้ En number ที่คำนวณจากผลต่างระหว่างผลการวัดของห้องปฏิบัติการกับค่าอ้างอิง ทหารด้วยรากที่สองของผลรวมกำลังสองของค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของห้องปฏิบัติการและค่าอ้างอิง ดังแสดงในสมการข้างล่างนี้

$$E_n = \frac{|x - X|}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

เมื่อ x คือ ผลการวัดของห้องปฏิบัติการ

X คือ ค่าอ้างอิง (assigned value) จากห้องปฏิบัติการอ้างอิง

U_{lab} คือค่าความไม่แน่นอนของห้องปฏิบัติการที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

U_{ref} คือค่าความไม่แน่นอนของค่าอ้างอิงที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สำหรับเกณฑ์การประเมิน En number เป็นดังนี้

ถ้า $En \leq 1$ แสดงว่าผลการสอบเทียบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (satisfactory)

ถ้า $En > 1$ แสดงว่าผลการสอบเทียบไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (unsatisfactory)

ผลการประเมิน En number จากตารางที่ 5 และ 6 พบว่าผลการวัดปิเปตต์ ตัวอย่างขนาด 10 มิลลิลิตร (จากตัวอย่างชุดที่ 1) และตัวอย่าง 1-PT0802, 1-PT0803, 1-PT0806, 5-PT0804, 10-PT0802, 10-PT0809 (จากตัวอย่างชุดที่ 2) ได้ค่า En number > 1 เมื่อใช้วิธีปกติสอบเทียบ ซึ่งไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (unsatisfactory) แต่เมื่อทำการสอบเทียบตัวอย่างเดียวกันโดยใช้เครื่องต้นแบบ พบว่าค่า En number ≤ 1 แสดงว่าผลการสอบเทียบเป็นที่น่าพอใจอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 5 ค่า En number ของตัวอย่างชุดที่ 1 จากการสอบเทียบโดยใช้วิธีสอบเทียบแบบปกติและการใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบ เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจาก DAkkS

ตัวอย่างชุดที่ 1	En number	
	โดยวิธีปกติ	โดยใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบ
1 ml	0.90	0.18
2 ml	0.99	0.59
5 ml	0.57	0.23
10 ml	1.03*	0.47

ตารางที่ 6 ค่า En number ของตัวอย่างชุดที่ 2 ที่ขนาดความจุ 1 ml 5 ml และ 10 ml จากการสอบเทียบโดยใช้วิธีสอบเทียบแบบปกติและการใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบ เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงด้านจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025

ตัวอย่างชุดที่ 2	En number	
	โดยวิธีปกติ	โดยใช้ชุดสอบเทียบต้นแบบ
1-PT0802	1.62*	0.23
1-PT0803	2.04*	0.49
1-PT0804	0.60	0.32
1-PT0806	1.62*	0.19
1-PT0807	0.75	0.26
1-PT0809	0.98	0.73
5-PT0802	0.19	0.12
5-PT0803	0.06	0.33
5-PT0804	1.44*	0.83
5-PT0806	0.87	0.37
5-PT0807	0.45	0.32
5-PT0809	0.35	0.32
10-PT0802	1.04*	0.79
10-PT0803	0.90	0.72
10-PT0804	0.79	0.64
10-PT0806	0.68	0.31
10-PT0807	0.02	0.71
10-PT0809	1.02*	0.88

หมายเหตุ * หมายถึง ค่า En number > 1

สาเหตุที่ทำให้ได้ค่า E_n number อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับนั้น อาจเกิดจากความผิดพลาดจากการปรับระดับตำแหน่ง meniscus ณ ขีดบอกปริมาตร การสอบเทียบแบบเดิมนั้นอาจทำให้ ผู้ปฏิบัติงานปรับระดับท้องน้ำสูงหรือต่ำกว่าขีดบอกปริมาตร ซึ่งจะมี ผลทำให้การวัดปริมาตรของปิเปตต์ผิดพลาด แต่การใช้ชุดสอบเทียบ ดัชนีแบบนี้จะมิก้องขยายช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานเห็นภาพท้องน้ำชัดเจน ยิ่งขึ้น อ่านขีดปริมาตรได้ง่าย ลดความคลาดเคลื่อนจากการวัดซ้ำ หลาย ๆ ครั้ง ทำให้เกิดความเที่ยงในการวัดมากยิ่งขึ้น ซึ่งยืนยันได้ จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ของผลการ วัดในตารางที่ 7 และ 8 ที่แสดงให้เห็นว่าการใช้ชุดสอบเทียบดัชนีแบบ ให้ค่าการวัดซ้ำที่ดีกว่าการสอบเทียบโดยวิธีปกติ

ตารางที่ 7 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัดของตัวอย่างชุดที่ 1 จากการสอบเทียบโดยใช้วิธีสอบเทียบแบบปกติและการใช้ชุดสอบเทียบดัชนีแบบ

ตัวอย่างชุดที่ 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	โดยวิธีปกติ	โดยใช้ชุดสอบเทียบดัชนีแบบ
1 ml	0.0042	0.0019
2 ml	0.0021	0.0018
5 ml	0.0032	0.0019
10 ml	0.0042	0.0016

ตารางที่ 8 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัดของตัวอย่างชุดที่ 2 ที่ขนาดความจุ 1 ml 5 ml และ 10 ml จากการสอบเทียบโดยใช้วิธีสอบเทียบแบบปกติและการใช้ชุดสอบเทียบดัชนีแบบ

ตัวอย่างชุดที่ 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	โดยวิธีปกติ	โดยใช้ชุดสอบเทียบดัชนีแบบ
1-PT0802	0.0010	0.0007
1-PT0803	0.0011	0.0009
1-PT0804	0.0009	0.0007
1-PT0806	0.0014	0.0007
1-PT0807	0.0008	0.0003
1-PT0809	0.0012	0.0006
5-PT0802	0.0010	0.0004
5-PT0803	0.0024	0.0007
5-PT0804	0.0009	0.0009

5-PT0806	0.0010	0.0008
5-PT0807	0.0026	0.0014
5-PT0809	0.0012	0.0004
10-PT0802	0.0025	0.0007
10-PT0803	0.0036	0.0017
10-PT0804	0.0029	0.0010
10-PT0806	0.0022	0.0022
10-PT0807	0.0050	0.0007
10-PT0809	0.0030	0.0006

4. สรุป (Conclusion)

การสอบเทียบปิเปตต์ด้วยชุดสอบเทียบปิเปตต์ดัชนีแบบที่เป็นระบบกึ่งอัตโนมัติแทนการใช้วิธีแบบเดิมที่ควบคุมด้วยมือ นั้น มีข้อดีดังต่อไปนี้

1. ระยะเวลาการไหลของของเหลว (delivery time) ยังคงมีค่าใกล้เคียงของเดิม ไม่แตกต่างกันมากนัก และอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ในเอกสารมาตรฐาน
2. ผลการวัดมีความถูกต้องสูง เนื่องชุดสอบเทียบนี้จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถอ่านได้ตรงตำแหน่งเดิมหรือใกล้เคียงกับตำแหน่งเดิม ทำให้ลดความคลาดเคลื่อนจากการวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ลดความผิดพลาดที่เกิดจากทักษะความเชี่ยวชาญของผู้ปฏิบัติงาน (human error) ที่ไม่สามารถปรับระดับ meniscus ให้อยู่ ณ ขีดบอกปริมาตรได้
3. ผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับระดับ meniscus ได้ตรงตำแหน่งขีดบอกปริมาตร โดยมองผ่านจอร์รับภาพที่ขยายภาพให้เห็นชัดเจน ช่วยป้องกันมิให้ผู้ปฏิบัติงานมีปัญหาด้านสายตาที่เกิดจากการเพ่งมองเป็นระยะเวลานาน

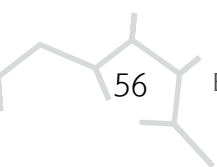
5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารของกรมวิทยาศาสตร์บริการทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยนี้ และช่วยผลักดันให้โครงการสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ยังให้คำปรึกษาแนะนำ ให้ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและพัฒนางานด้านการสอบเทียบให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 648 : 2008. *Laboratory glassware – Single - volume pipettes*.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E969-02 (Reapproved 2012). *Standard specification for glass volumetric (Transfer Pipets)*.

- [3] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 835 : 2007. *Laboratory glassware - Graduated pipettes.*
- [4] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1769 – 1975. *Laboratory glassware – Pipettes - Colour coding.*
- [5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION , INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ISO/IEC 17025 : 2005. *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.*
- [6] BRITISH STANDARD EUROPEAN NORM AND INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. BS EN ISO 4787 : 2011. *Laboratory glassware - Volumetric instruments- Methods for testing of capacity and for use (ISO 4787:2010, Corrected version 2010-06-15).*
- [7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 542-01 (Reapproved 2012). *Standard practice for calibration of laboratory volumetric apparatus.*
- [8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3696 : 1987. *Water for analytical laboratory use-Specification and test methods.*
- [9] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Technical Report. ISO/TR 20461 : 2000. *Determination of uncertainty for volume measurements made using the gravimetric method.*
- [10] BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. JCGM 100 : 2008 GUM 1995 with minor corrections. *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement.*



การพัฒนาวัสดุมวลเบาทนความชื้นจากเศษแก้วและเถ้าลอย

A Development of moisture resistant lightweight material from cullet and fly ash

6

วรรณณา ต.แสงจันทร์^{1*}, สุทธิมา ศรีประเสริฐสุข¹, ภัทธิยา สุวรรณสนธิ¹, ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ¹

Wanna T.Saengchantara^{1*}, Sutthima Sriprasertsuk¹, Phatthiya Suwannason¹,

Sansanee Rugthaicharoencheep¹

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีวัสดุเหลือทิ้งประเภทเศษแก้วและเถ้าลอยเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต การศึกษาวิจัยนี้จึงนำเศษแก้วและเถ้าลอย มาทำเป็นวัสดุมวลเบาทนความชื้น โดยนำเศษแก้วบดละเอียด และเถ้าลอย ผ่านตะแกรงร่อน 200 เมช มาผสมกัน โดยมีส่วนผสมของเศษแก้วร้อยละ 50 – 80 เถ้าลอยร้อยละ 20 – 50 ใช้หินปูนและโดโลไมต์เป็นสารก่อฟอง (foaming agent) โซเดียมซิลิเกตเป็นสารเชื่อมประสาน และบอแรกซ์เป็นสารช่วยหลอม (fluxing agent) ใส่ส่วนผสมในแบบดินเผาขนาด 100 x100 x 25 mm.³ นำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 800 °C อัตราการเร่ง 2.5 °C/min ตัวอย่างที่ได้นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ความหนาแน่น และความต้านแรงอัด จากนั้นคัดเลือกสูตรที่มีค่าความหนาแน่นต่ำ และความแข็งแรงสูง ทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และทดสอบสมบัติความหนาแน่น ความต้านแรงอัด การดูดซึมน้ำ การนำความร้อน และการกันความชื้น ผลการทดลองพบว่า วัสดุมวลเบาที่มีส่วนผสมของเศษแก้วร้อยละ 60 เถ้าลอยร้อยละ 40 มีค่าความหนาแน่น 690 kg/m³ ความต้านแรงอัด 6.84 MPa การดูดซึมน้ำร้อยละ 24.84 ค่าการนำความร้อน 0.119 watt/m.K. และมีสมบัติกันความชื้นได้ สามารถนำไปใช้เป็นฉนวนกันความร้อน สำหรับอาคารบ้านเรือน

Abstract

The large amount of cullet and fly ash affect Thailand's environment. The objective of this study is to develop a moisture resistant lightweight material from cullet and fly ash. The crushed cullet was sieved through 200 mesh, as well as the fly ash. The compositions consisted of 50-80% cullet, 20-50% fly ash, together with dolomite and limestone as foaming agents, sodium silicate as a binder, and borax as a fluxing agent. The mixture was mixed and put into the fired clay mold sized 100 x 100 x 25 mm.³ The mixture was fired in an electric kiln at 800°C with a heating rate of 2.5°C/min. The sample properties were evaluated including appearance, density and compressive strength. The formulas which had low density and high compressive strength were then prepared for the prototype products. The prototypes properties were evaluated including density, compressive strength, water absorption, heat conductivity, and moisture resistance. The results showed that 60% cullet and 40% fly ash formula had density 690 kg/m³, compressive strength 6.84 MPa, water absorption 24.84 %, heat conductivity 0.119 watt/m.K and resistant to moisture. The sample can be used as a building insulating material.

คำสำคัญ: วัสดุฉนวนมวลเบา เศษแก้ว เถ้าลอย

Keywords: Insulating lightweight material, Cullet, Fly ash

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author E-mail address : wanna@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ประเทศไทยมีเศษแก้วทิ้งเป็นขยะอยู่ประมาณปีละ 40,000 ตัน ซึ่งไม่ได้นำกลับไปใช้ในระบบการผลิตแก้ว และนับวันจะมีปริมาณขยะเศษแก้วเพิ่มมากขึ้น อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต ส่วนเถ้าลอย (fly ash) เป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าแม่เมาะใช้ถ่านหินประมาณวันละกว่า 40,000 ตัน การเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์จะได้เถ้าลิกไนต์ออกมาประมาณวันละ 10,000 ตัน ซึ่งในจำนวนนี้จะเป็นเถ้าลอยประมาณ 8,000 ตัน ส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในงานคอนกรีตเพื่อลดต้นทุน และเพิ่มความแข็งแรง ยังมีเถ้าลอยเหลืออยู่จำนวนมากที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้งาน หากนำเศษแก้วและเถ้าลอยมาเป็นวัตถุดิบในการทำวัสดุมวลเบาจะช่วยลดต้นทุนในการผลิต ทำให้วัสดุมวลเบามีราคาถูกลง และลดปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งได้ เท่ากับเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นแล้วยังเป็นการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ช่วยรักษาทรัพยากรธรรมชาติไม่ให้หมดไปอย่างรวดเร็ว

วัสดุก่อสร้างประเภทมวลเบาที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ คอนกรีตมวลเบา เป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ใช้ระบบการผลิตแบบ Autoclaved Aerated Concrete ทำจากส่วนผสมของทราย ซีเมนต์ ปูนขาว ยิปซัม น้ำและผงอะลูมิเนียม มีฟองอากาศที่เป็นรูพรุนอยู่ในเนื้อมากถึงร้อยละ 75 จึงทำให้มีน้ำหนักเบา ฟองอากาศทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อน(1) เทคโนโลยีที่ใช้ทำคอนกรีตมวลเบาในประเทศไทยล้วนเป็นเทคโนโลยีที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น ทำให้วัสดุชนิดดังกล่าวมีราคาแพงและเป็นข้อจำกัดในการใช้อย่างแพร่หลาย นอกจากนั้นแล้วคอนกรีตมวลเบาชนิดนี้ยังไม่สามารถกันความชื้นได้ เมื่อใช้งานไปนานๆ จะดูดความชื้นเข้าไปในตัววัสดุ ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวและเกิดเชื้อราได้

มีงานวิจัยวัสดุมวลเบา จากวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ เช่น การนำเศษแก้วมาทำกลาสโฟม (glass foam) โดยทำเป็นเม็ด aggregate เป็นก้อนอิฐขนาดต่างๆ และเป็นผนัง วัสดุมวลเบาที่ทำจากเศษแก้วมีข้อดีคือ น้ำหนักเบา มีความแข็งแรง ทนต่อแรงอัดได้ดี กันความร้อนไม่ติดไฟ ไม่ไวต่อสารเคมีและไม่เป็นพิษ กันแมลงและแบคทีเรีย และกันความชื้น Solomon และคณะ(2) ศึกษากระบวนการผลิตกลาสโฟม โดยใช้ CaCO_3 และ CaSO_4 เป็นสารก่อฟอง (foaming agent) พบว่า ถ้าใช้ CaSO_4 ที่มีขนาดระหว่าง 110 – 160 ไมครอน จะได้กลาสโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ ยังมีความหนาแน่นต่ำการนำความร้อนก็จะยิ่งต่ำ คือมีความสามารถกันความร้อนมากยิ่งขึ้น สมัยก่อนจะใช้แก้วซึ่งหลอมมาจากวัตถุดิบ แต่ปัจจุบันการทำกลาสโฟมจะใช้เศษแก้วจากผลิตภัณฑ์แก้วทิ้ง ซึ่งอาจใช้เศษแก้วถึงร้อยละ 98 (3) กรมวิทยาศาสตร์บริการวิจัยอิฐมวลเบาโดยใช้เศษแก้ว และหินปูนหรือโดโลไมต์เป็นสารให้ฟอง เเผา 800°C อิฐมวลเบาที่ได้มีความหนาแน่น 300 kg/m^3 ความต้านแรงอัด 5.4 MPa และการนำความร้อน 0.06 watt/m.K. (4) H.R.Fernandes และคณะ (5) ได้วิจัยกลาสโฟมจากเศษกระจกแผ่นและเถ้าลอย โดยใช้เถ้าลอยร้อยละ 20 และสารให้ฟองประเภทคาร์บอนเทรียอโรส 1-2 เเผาที่อุณหภูมิ

850°C กลาสโฟมที่ได้มีความหนาแน่น 360-410 kg/m^3 และความต้านแรงอัด 2.40-2.80 MPa Bo Chen และคณะ(6) ได้วิจัยกลาสโฟมจากเถ้าลอย โดยใช้เถ้าลอยร้อยละ 70 ผสมกับโซเดียมบอแรกซ์และโซเดียมซิลิเกต เเผาที่อุณหภูมิ 800°C กลาสโฟมที่ได้มีความหนาแน่น 540 kg/m^3 และความต้านแรงอัด 3.44 MPa

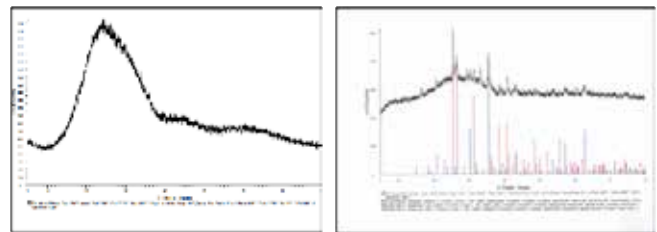
การศึกษานี้เป็นการศึกษาวิจัยเพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำวัสดุมวลเบาขึ้นจากเศษแก้วและเถ้าลอย เพื่อใช้เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารบ้านเรือน ซึ่งจะเป็นทางเลือกใหม่สำหรับวงการก่อสร้างของประเทศไทย

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัตถุดิบ และการทดสอบวัตถุดิบ

- เศษแก้วกระจก จากบริษัทกลาสบริดจ์ จำกัด เป็นเศษแก้วบดละเอียด ชนิดโซดาไลม์
- เถ้าลอย จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- หินปูน (CaCO_3) และ โดโลไมต์ ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) จากบริษัท เซอร์นิค จำกัด เป็นชนิดเกรดอุตสาหกรรม
- โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) จากบริษัทยูเออนวี โฮลดิ้ง (ไทยแลนด์) จำกัด เตรียมให้มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.35
- บอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) จากบริษัทยูเออนวี โฮลดิ้ง (ไทยแลนด์) จำกัด

ร่อนเศษแก้วและเถ้าลอย ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (75 ไมครอน) นำไปวิเคราะห์และทดสอบส่วนประกอบทางแร่ธาตุโดย XRD (X-ray diffractometer Bruker D8 Advance) วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีโดย XRF (X-ray fluorescence spectrometer Bruker model S8 Tiger) วิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดย X-ray sizer (Laser Particle Size Analyzer Mastersizer 3000) ค่าความหนืดโดย Fiber elongation (BAHR Thermoanalyse GmbH Type VIS402) และวิเคราะห์เชิงความร้อนโดย DTA (Simultaneous Thermal Analyzer STA 449 F3 NETZSCH) ผลการวิเคราะห์และทดสอบแสดงในรูปที่ 1 2 และ 3 และตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



(ก) เศษแก้วกระจก

(ข) เถ้าลอย

รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่ธาตุของตัวอย่างเศษแก้วกระจกและเถ้าลอย

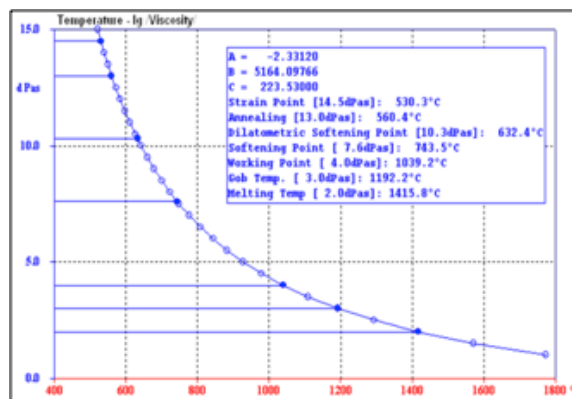
การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่ธาตุโดย XRD ของเศษแก้วกระจก (รูปที่ 1 ก) พบว่าตัวอย่างเป็นอสัณฐาน (amorphous) ส่วนเถ้าลอยพบส่วนประกอบของควอตซ์ และมัลไลต์ เป็นหลัก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบเคมีของเศษแก้วกระจก และเถ้าลอย

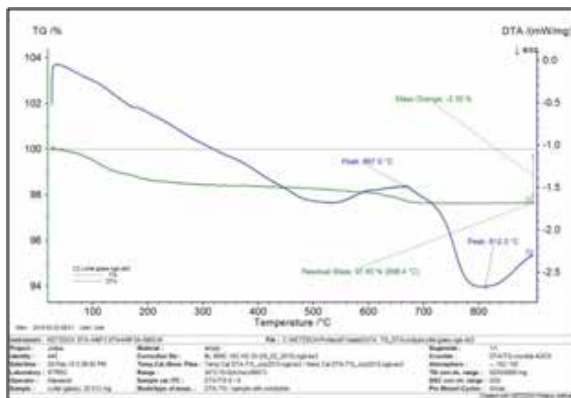
วัตถุดิบ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃
เศษแก้วกระจก	70.2	1.38	0.14	10.5	3.67	13.5	0.20	0.06	0.21
เถ้าลอย	36.1	21.0	13.5	15.7	2.17	1.65	2.87	0.43	4.27

ตารางที่ 2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาค เศษแก้วกระจก และเถ้าลอย

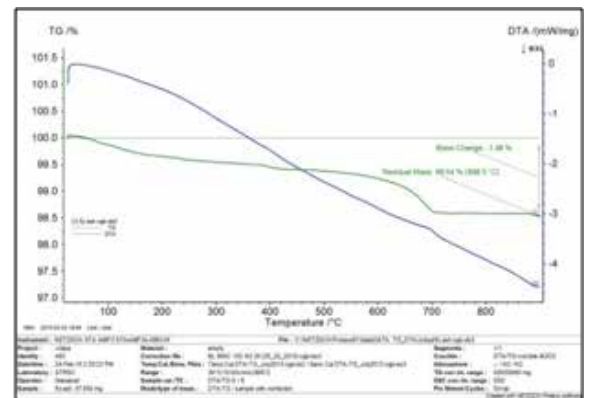
ตัวอย่าง	-50µm	-30µm	-20µm	-10µm	-5µm	-2µm	-1µm
เศษแก้วกระจก	100	96.2	71.7	19.0	6.2	3.3	3.4
เถ้าลอย	99.4	93.7	39.7	9.9	7.6	6.4	6.3



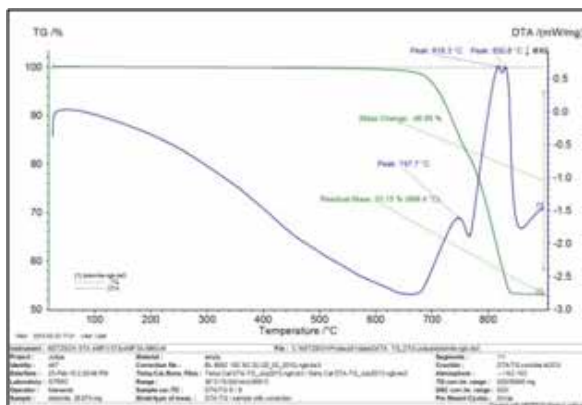
รูปที่ 2 ความหนืดของเศษแก้วกระจก



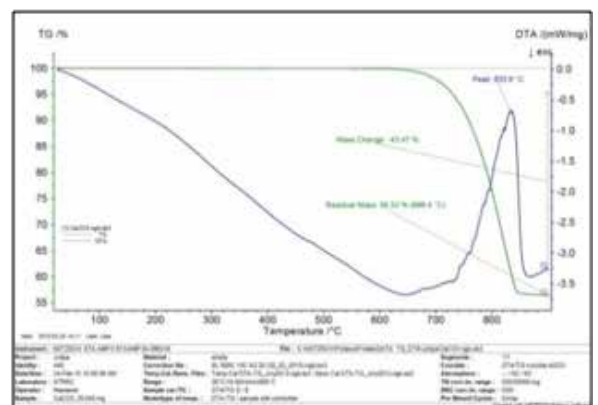
(ก) เศษแก้วกระจก



(ข) เถ้าลอย



(ค) โดโลไมต์



(ง) หินปูน

รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์เชิงความร้อนของเศษแก้ว เถ้าลอย หินปูน และโดโลไมต์ ช่วงอุณหภูมิห้องถึง 900°C

การวิเคราะห์เชิงความร้อนโดย DTA ของเศษแก้วกระจก (รูปที่ 3 ก) เกิดการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิประมาณ 500 °C เล็กน้อย (รูปที่ 3 ข) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 800 °C เนื่องจากมีความทนไฟ ส่วนโพลีเมอร์ และหินปูน (รูปที่ 3 ค และ ง) เริ่มสลายตัวให้ก๊าซ CO₂ ที่อุณหภูมิประมาณ 750 °C

2.2 การเตรียมส่วนผสม และขึ้นทดสอบ

เตรียมเศษแก้วกระจก และเถ้าลอย ที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เมช จากนั้นชั่งเศษแก้วกระจก และเถ้าลอย 4 สูตร (A ถึง D) ดังตารางที่ 3 และเติมหินปูน 1 ส่วน/100ส่วน และโพลีเมอร์ 1 ส่วน/100ส่วน เป็นสารก่อฟอง จากนั้นทำการแปรปริมาณโซเดียมซิลิเกต 10 15 และ 20 ส่วน/100ส่วน เป็นสารเชื่อมประสาน และบอแรกซ์ที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เมช 10 15 และ 20 ส่วน/100ส่วน ตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 4 ผสมวัตถุดิบแห้งด้วยเครื่องผสม (WAB Turbula T2F blender (Mixer)) เป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงผสมโซเดียมซิลิเกต (ถพ. 1.35) จากนั้นนำวัตถุดิบไปเข้าเครื่องผสม (OTTO HM 275) เป็นเวลา 5 นาที เทวัตถุดิบที่ผ่านการผสมเรียบร้อยแล้วลงในแบบพิมพ์ดินเผาขนาด 100 x 100 x 25 mm.³ นำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 800°C อัตราการเผา 2.5 °C/min นำชิ้นงานที่ได้หลังเผาไปตัดให้ได้ขนาด 20 x 20 x 20 mm.³ เพื่อทดสอบลักษณะทั่วไป และสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของชิ้นงาน (Density) ค่าความต้านแรงอัด (Compressive strength) ด้วยเครื่อง Universal Testing Shimadzu Autograph AG – X plus ตามมาตรฐาน มอก. 2601 – 2556 (7)

ตารางที่ 3 ปริมาณเศษแก้วกระจก และเถ้าลอย

สูตร	เศษแก้วกระจก (ร้อยละ)	เถ้าลอย (ร้อยละ)
A	80	20
B	70	30
C	60	40
D	50	50

ตารางที่ 4 ส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง

สูตร	บอแรกซ์ (ส่วน/100ส่วน) โดยน้ำหนัก	โซเดียมซิลิเกต (ส่วน/100ส่วน) โดยน้ำหนัก
A1	10	10
A2	10	15
A3	10	20
B4	10	10

B5	10	15
B6	10	20
C7	10	10
C8	10	15
C9	10	20
D10	10	10
D11	10	15
D12	10	20
C13	15	10
C14	15	15
C15	15	20
D16	15	10
D17	15	15
D18	15	20
D19	20	10
D20	20	15
D21	20	20

2.3 การเตรียมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

คัดเลือกสูตรที่มีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำ และความต้านแรงอัดมาก นำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ได้แก่ สูตร C ที่เติมบอแรกซ์ 10 ส่วน/100ส่วน และสูตร D ที่เติมบอแรกซ์ 15 ส่วน/100 ส่วน ตามลำดับโดยเติมหินปูน 1 ส่วน/100ส่วน โพลีเมอร์ 1 ส่วน/100 ส่วน และโซเดียมซิลิเกต 10 15 และ 20 ส่วน/100ส่วน ขึ้นรูปในหีบดิน (Sagger) สำหรับเผาขนาด 250 x 250 x 100 mm.³ นำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 800°C อัตราการเผา 2.5 °C / min นำชิ้นงานที่ได้หลังเผาไปตัดให้ได้ขนาด 20 x 20 x 20 mm.³ ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ตามมาตรฐาน มอก. 2601 – 2556 ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ (water absorption) ความต้านแรงอัด การนำความร้อน (thermal conductivity) ด้วยเครื่อง Heat Flow Meter – HFM 436 Lambda และทดสอบการกันความชื้น

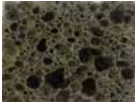
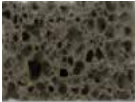
2.4 การทดสอบการกันความชื้น

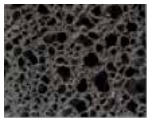
ใช้วิธีทดสอบหาการดูดซึมน้ำโดยการนำชิ้นงานไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งอ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 2601 – 2556 และทำการแช่ในน้ำเพิ่มอีก 24 ชั่วโมง รวมระยะเวลาทดสอบเป็น 48 ชั่วโมงเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำที่เปลี่ยนแปลง

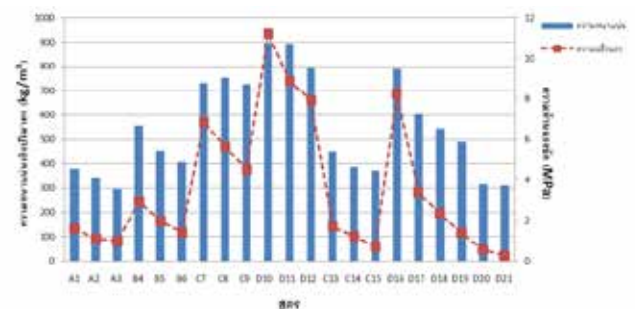
3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 ผลการทดลองชิ้นงานที่เตรียมจากเศษแก้วและเถ้าลอย โดยมีหินปูน 1 ส่วน/100 ส่วน โคลไรต์ 1 ส่วน/100 ส่วน เป็นสารก่อฟอง บอแรกซ์ 10 – 20 ส่วน/100 ส่วน เป็นสารช่วยหลอม และ โซเดียมซิลิเกต 10 – 20 ส่วน/100 ส่วน เป็นสารเชื่อมประสาน เเผาที่อุณหภูมิ 800 °C แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดลองวัสดุมวลเบา เเผาที่อุณหภูมิ 800 °C

สูตร	ผลการทดลอง		
	ลักษณะรูพรุน	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความต้านแรงอัด (MPa)
A3		297	0.98
B4		558	2.95
B5		453	1.97
B6		408	1.43
C7		731	6.85
C8		753	5.64
C9		727	4.52
D10		897	11.23
D11		894	8.87
D12		795	7.95
C13		452	1.70

C14		387	1.22
C15		372	0.71
D16		790	8.27
D17		604	3.39
D18		544	2.36
D19		490	1.38
D20		315	0.57
D21		312	0.27



รูปที่ 4 ความหนาแน่นและความต้านแรงอัดของวัสดุมวลเบา เเผาที่อุณหภูมิ 800 °C

จากผลการทดลองพบว่า ชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C มีรูพรุนเกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของ โคลไรต์ และหินปูน (รูปที่ 3 ค และ ง) เริ่มสลายตัวให้ก๊าซ CO₂ ที่อุณหภูมิประมาณ 750 °C และรูพรุนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อปริมาณโซเดียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น เนื่องจากโซเดียมซิลิเกตช่วยให้ส่วนผสมมีการหลอมตัวง่ายขึ้น จึงช่วยให้อนุภาคของแก้วเกิดการผนึกตัวที่อุณหภูมิต่ำ ก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของ หินปูนและโคลไรต์ ถูกเก็บกักไว้ภายใน ชิ้นงาน และมีการขยายปริมาตรของก๊าซ CO₂ เมื่อความร้อนสะสม เพิ่มขึ้น จึงทำให้รูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อปริมาณโซเดียมซิลิเกต

เพิ่มขึ้น และอัตราส่วนของเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ชิ้นงานมีรูพรุนขนาดเล็กลง ส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าลอยมีความทนไฟ (รูปที่ 3 ข) เถ้าลอยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 800 °C ดังนั้น เมื่อใส่ปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมยังหลอมตัวไม่ได้ ก๊าซที่เกิดขึ้นไม่ถูกเก็บกักอยู่ภายในชิ้นงาน จึงทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้นเมื่อใส่ปริมาณเถ้าลอยมากขึ้น และการเพิ่มปริมาณบอแรกซ์ในส่วนผสมสูตรที่ C13 – D21 ช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมตัวของชิ้นงาน ก๊าซที่เกิดขึ้นถูกเก็บกักไว้ภายในชิ้นงาน ทำให้ค่าความหนาแน่น และความแข็งแรงลดลง

3.2 ผลการทดลองผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่เตรียมจากสูตร C และ D โดยมีหินปูน 1 ส่วน/100 ส่วน โดโลไมต์ 1 ส่วน/100 ส่วนเป็นสารก่อฟอง บอแรกซ์ 10 – 15 ส่วน/100 ส่วน เป็นตัวช่วยหลอม และโซเดียมซิลิเกต 10 – 20 ส่วน/100 ส่วน เป็นสารเชื่อมประสาน แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลทดสอบสมบัติผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ตัวอย่าง			สมบัติผลิตภัณฑ์ต้นแบบ			
สูตร	บอแรกซ์ (ส่วน/100ส่วน)	โซเดียมซิลิเกต (ส่วน/100ส่วน)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความต้านแรง อัด (MPa)	การนำ ความร้อน (watt/m.K.)
C	10	10	690	24.84	6.84 ± 0.863	0.119
		15	670	25.27	5.64 ± 0.324	0.134
		20	590	30.97	4.52 ± 0.200	0.133
D	15	10	610	37.14	8.27 ± 1.026	0.138
		15	640	36.67	3.39 ± 2.147	0.126
		20	550	33.57	2.36 ± 2.362	0.112

3.3 ผลการทดสอบการกันความชื้น

ผลการทดสอบการกันความชื้น แสดงในตารางที่ 7 พบว่า อัตราการดูดซึมน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับ 24 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานมีรูพรุนส่วนใหญ่เป็นแบบปิดซึ่งเป็นผลให้การดูดซึมน้ำต่ำ เมื่อทดลองเพิ่มระยะเวลาในการแช่ตัวอย่างในน้ำเป็น 48 ชั่วโมง พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าความชื้นไม่สามารถเข้าไปภายในชิ้นงานได้ ชิ้นงานจึงมีสมบัติกันความชื้น โดยสูตรที่ใช้เศษแก้วร้อยละ 60 เถ้าลอยร้อยละ 40 โดยมีหินปูน 1 ส่วน/100 ส่วน และโดโลไมต์ 1 ส่วน/100 ส่วน เป็นสารก่อฟอง บอแรกซ์ 10 ส่วน/100 ส่วน และโซเดียมซิลิเกต 10 ส่วน/100 ส่วน มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงต่ำที่สุด

ตารางที่ 7 ผลทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) ที่เวลา 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง

ตัวอย่าง			สมบัติผลิตภัณฑ์ต้นแบบ		
สูตร	บอแรกซ์ (ส่วน/100ส่วน)	โซเดียมซิลิเกต (ส่วน/100ส่วน)	การดูดซึมน้ำ 24 ชม. (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ 48 ชม. (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ ที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
C	10	10	24.84	25.01	0.68
		15	25.27	25.99	2.85
		20	30.97	31.83	2.78
D	15	10	37.14	37.68	1.45
		15	36.67	36.67	2.81
		20	33.57	33.57	4.02

4.สรุป (Conclusion)

การศึกษาวิจัยและทดลองวัสดุมวลเบาขึ้นจากความชื้นจากเศษแก้วและเถ้าลอย พบว่าสูตรที่ใช้เศษแก้วร้อยละ 60 เถ้าลอยร้อยละ 40 โดยมีหินปูน 1 ส่วน/100 ส่วน และโดโลไมต์ 1 ส่วน/100 ส่วน เป็นสารก่อฟอง บอแรกซ์ 10 ส่วน/100 ส่วน และโซเดียมซิลิเกต 10 ส่วน/100 ส่วน เป็นสูตรที่เหมาะสมสำหรับนำไปผลิตเป็นวัสดุมวลเบาขึ้นความชื้น ซึ่งมีค่าความหนาแน่น 690 kg/m^3 ความต้านแรงอัด 6.84 MPa การดูดซึมน้ำร้อยละ 24.84 ค่าการนำความร้อน 0.119 watt/m.K และมีสมบัติกันความชื้นดีที่สุด



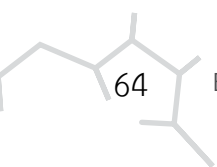
รูปที่ 5 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและเจ้าหน้าที่ สำนักเทคโนโลยีชุมชนทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนการทำวิจัย ขอขอบคุณ โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบองค์ประกอบเคมีของวัสดุดิบและค่าการนำความร้อน ขอขอบคุณบริษัทกลาสบริดจ์ จำกัด และโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ที่ให้ความอนุเคราะห์เศษแก้ว และเถ้าลอย สำหรับใช้ทดลองในงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] นิตยรติ ดอเล้าะ. วัสดุมวลเบาที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง. *Princess of Naradhiwas University Journal*. ก.ย.- ธ.ค. 2552, 1(3), 48-62.
- [2] RECYCLED GLASS PRODUCTS INC. Foamed glass manufacture. *U.S. patent 5,516,351*, 1996-05-14.
- [3] HURLEY, J. *A UK Market Survey for foam glass*. Banbury, UK : WRAP, 2003.
- [4] วรณา ต.แสงจันทร์. การพัฒนาการผลิตอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*. มกราคม 2552, 57(179), 46-52.
- [5] FERNANDES, H.R., TULYAGANOV, D.U. and FERREIRA, J.M.F. Preparation and characterization of foams from sheet glass and fly ash using carbonates as foaming agents. *Ceramic International*. 2009, 35(1), 229-235.
- [6] BO, C., ZHIWEI, L. and ANXIAN, L. Preparation of sintered foam glass with high fly ash content. *Materials Letters*. 2011, 65, 3555-3558.
- [7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 2601-2556. *คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ*.



การตรวจสอบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันงาด้วยเทคนิค นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี และ Accelerated Oxidation Test Chemical and physical analysis of sesame oil by nuclear magnetic resonance spectroscopy and accelerated oxidation test



อนุตตรา นวมถนอม^{1*} เจนจิรา ภูริรักษ์พิติกhon¹ และ ฐิติพร วัฒนกุล¹

Anuttra Nuamthanom^{1*}, Jenjira Phuriragpitikhon¹, Titiporn Wattanakul¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid) ในน้ำมันงาขาว งาดำ งาขึ้นร้อนแท้ (A และ B) และน้ำมันงาขึ้นร้อนปลอมแปลง (C) ที่ผลิตในประเทศไทย ด้วยเทคนิค โปรตอน-นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (¹H-NMR) ที่ 400 MHz ผลจากการศึกษาพบว่า ปริมาณกรดไขมันชนิด oleic (O) linoleic (L) linolenic (Ln) และ saturated (S) ในน้ำมันงาทั้ง 4 ชนิดมีค่าดังนี้ น้ำมันงาดำ มีปริมาณ O ร้อยละ 41 มีปริมาณ L ร้อยละ 42 และมีปริมาณ S ร้อยละ 17 น้ำมันงาขาว มีปริมาณ O ร้อยละ 39 มีปริมาณ L ร้อยละ 43 และมีปริมาณ S ร้อยละ 18 น้ำมันงาขึ้นร้อนแท้ (A และ B) มีปริมาณ O ระหว่างร้อยละ 14-15 มีปริมาณ L ระหว่างร้อยละ 11-13 มีปริมาณ Ln ระหว่างร้อยละ 54-55 และมีปริมาณ S ระหว่างร้อยละ 18-19 และ น้ำมันงาขึ้นร้อนปลอมแปลง (C) มีปริมาณ O ร้อยละ 22 มีปริมาณ L ร้อยละ 56 และมีปริมาณ S ร้อยละ 22 น้ำมันงาขึ้นร้อนเป็นน้ำมันงาชนิดเดียวที่มีกรดไขมันชนิด Ln เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งทำให้มีราคาแพงกว่าเพราะเชื่อว่า Ln มีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงกว่ากรดไขมันชนิดอื่นในน้ำมันงาดำและงาขาว ในงานวิจัยนี้จึงใช้สัญญาณ NMR ของเมทิลโปรตอนในกรดไขมันชนิด Ln ที่ chemical shift 0.95-0.99 ppm ในการบ่งชี้เอกลักษณ์ความแตกต่างของน้ำมันงาขึ้นร้อนแท้และน้ำมันงาขึ้นร้อนปลอม นอกจากนี้ยังทดสอบเสถียรภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative stability) ของน้ำมันงาทั้ง 4 ชนิดด้วยเทคนิค Accelerated Oxidation Test พบว่า น้ำมันงาดำ งาขาว งาขึ้นร้อนแท้ (A และ B) และงาขึ้นร้อนปลอม (C) มีค่าเสถียรภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 110 °C แตกต่างกันดังนี้ 8.4 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง 1.4 ชั่วโมง 1.6 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันงาขึ้นร้อนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าน้ำมันงาดำและงาขาว ส่วนน้ำมันงาขึ้นร้อนปลอมแปลงมีค่า oxidative stability สูงกว่าน้ำมันงาขึ้นร้อนแท้แต่ต่ำกว่าน้ำมันงาขาวและงาดำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้วยเทคนิค ¹H-NMR spectroscopy

Abstract

In this work, we investigated the fatty acid composition of white sesame, black sesame, perilla (A and B) and artificial perilla (C) oils produced in Thailand using ¹H-Nuclear magnetic resonance spectroscopy (¹H-NMR) at 400 MHz. The composition of oleic (O), linoleic (L), linolenic (Ln), and saturated (S) is as follows : 41 % of O, 42 % of L and 17 % of S in black sesame oil ; 39 % of O, 43 % of L and 18 % of S in white sesame oil ; 14-15 % of O, 11-13 % of L, 54-55 % of Ln and 18-19 % of S perilla oil (A and B), and 14-15 % of O, 56 % of L and 22 % of S in artificial perilla (sample C). Based on the results, since perilla oil contained higher amount of Ln which is believed to be beneficial for health, its price is more expensive than black and white sesame oils. In this study, we used the ¹H-NMR signal from the methyl protons of Ln at the chemical shift of 0.95-0.99 ppm to distinguish between real and artificial perilla oil. Oxidative stability of all sesame was determined by using the Accelerated Oxidation Test technique which revealed that white sesame, black sesame, perilla (sample A and B) and artificial perilla (sample C) oil had oxidative stability values at 110 °C as 8.4h, 8h, 1.4h, 1.6h and 3h respectively. These indicated that perilla oil had lower shelf life than white and black sesame oil. The artificial perilla oil had the oxidative stability value higher than real perilla but lower than white and black sesame oil, which was in accordance with data received from ¹H-NMR spectroscopy.

คำสำคัญ: น้ำมันงา นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี เสถียรภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

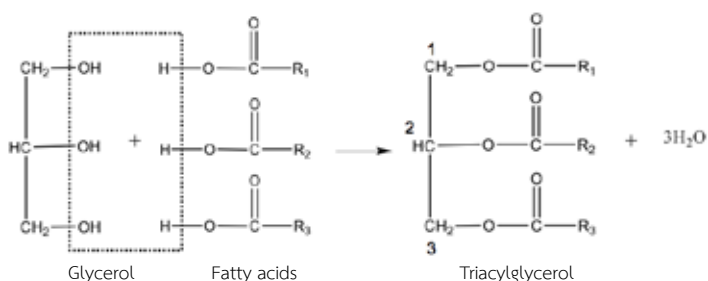
Keywords: Sesame, ¹H-NMR, Oxidative stability

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author E-mail address : anuttra@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

น้ำมันพืชมีไตรเอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerol : TGA) หรือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งเกิดจากโมเลกุลของกลีเซอรอล (Glycerol) รวมตัวกับกรดไขมัน (Fatty acid) โครงสร้างทางเคมีของ TGA แสดงในรูปที่ 1 โดยกรดไขมันอาจเป็นได้ทั้งชนิด กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) เช่น myristic acid (C14:0) palmitic acid (C16:0) และ stearic acid(C18:0) หรือ กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) เช่น oleic acid (C18:1) linoleic acid (C18:2) และ linolenic acid (C18:3) น้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณสัดส่วนของกรดไขมันทั้งสองแตกต่างกันไป ตารางที่ 1 แสดงชนิดและปริมาณของกรดไขมันกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [1] โดยชนิดและปริมาณของกรดไขมันในโครงสร้างระดับโมเลกุลของ TGA นี้เองที่ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันพืช



รูปที่ 1 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของ Triacylglycerol ในน้ำมันพืช

ตารางที่ 1 แสดง Fatty acid composition (wt%) ของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [1]

Fatty acid composition, (%)	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
Cocoa butter	26	34	35	-	-
Corn	13	3	31	52	1
Cottonseed	23	2	17	56	-
Groundnut	7-12	3	46-71	14-35	-
Linseed	6	3	17	14	60
Linola	-	-	16	72	2
Olive	10	2	78	7	1
Palm	44	4	39	11	-
Palm olein	41	4	31	12	-
Palm stearin	47-74	4-6	16-37	3-10	-
Palm mid-fraction	41-55	5-7	32-41	4-11	-

Fatty acid composition, (%)	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
Rape (high erucic)	3	1	16	14	10
Rape (low erucic)	4	2	62	22	10
Rice bran oil	20	2	42	32	-
Safflower (regular)	7	3	14	75	-
Safflower (high oleic)	6	2	74	16	-
Sesame	9	6	41	43	-
Soybean	11	4	23	53	8
Sunflower (regular)	6	5	20	60	-
Sunflower (regular)	4	5	81	8	-
Sunflower (NuSun)	4	5	65	26	-

- indicates values of 0-1

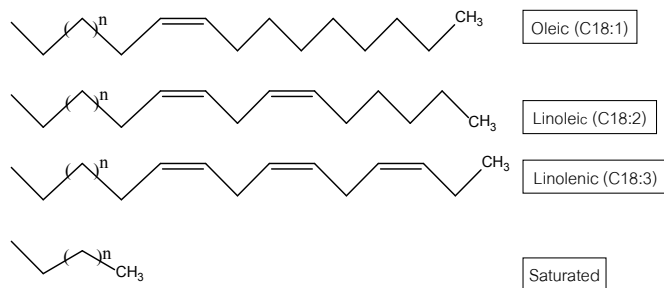
^a also C20-C24 saturated and unsaturated acids 4-7%

^b also saturated acids 10%

^c also 20:1 6% and 22:1 50%

ภาคเหนือของประเทศไทยเป็นพื้นที่หนึ่งที่มีการปลูกยางเป็นจำนวนมากโดยมีแหล่งปลูกที่สำคัญอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งมีทั้ง งามขาว งามดำ และงามขี้ม่อน (Perilla) เกษตรกรผู้ปลูกยาง มีการรวมตัวกัน และตั้งกลุ่มแปรรูปจากยาง จำหน่ายเป็นสินค้า OTOP ประจำจังหวัด น้ำมันยางเป็นสินค้าหนึ่งที่ได้รับค่านิยม เนื่องจากเชื่อว่ามีคุณค่าทางโภชนาการต่อผู้บริโภคสูง นิยมนำไปประกอบอาหารหรือเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางค์ โดยผู้ผลิตน้ำมันยางส่วนใหญ่เป็นผู้ประกอบการวิสาหกิจขนาดย่อมและวิสาหกิจชุมชน ซึ่งมีวิธีการผลิต 2 วิธีคือ การผลิตจากภูมิปัญญาไทยโดยใช้แรงงานจากสัตว์ มอเตอร์ไฟฟ้า และพลังงานน้ำ ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือการใช้เครื่องจักรในการผลิต ปัจจุบันกลุ่มผู้สนใจอาหารเพื่อสุขภาพมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นแนวโน้มความต้องการน้ำมันยางเพื่อใช้ในการประกอบอาหารเพื่อสุขภาพจึงสูงขึ้นด้วย อีกทั้งปัจจุบันภาครัฐมีนโยบายส่งเสริม สนับสนุนให้เกิดการประกอบกิจการวิสาหกิจขนาดย่อมและวิสาหกิจชุมชน ส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีทางการผลิตที่ได้มาตรฐาน การให้ความรู้เรื่องประโยชน์ของน้ำมันยาง ทำให้มีโอกาสในการพัฒนาทางธุรกิจของผลิตภัณฑ์น้ำมันยางได้มากขึ้น โดยโครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในการส่งเสริมทางด้านเทคโนโลยีเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันยางที่มีคุณภาพ น้ำมันยางประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น

oleic acid (C18:1) linoleic acid (C18:2) หรือ linolenic acid (C18:3) รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ oleic(O), linoleic(L), linolenic(Ln) และ saturated (S) acyl chains ที่พบในน้ำมันงา ชนิด และสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำมันงาจะแตกต่างกันไปตามชนิดของ งา พื้นที่การเพาะปลูก และกระบวนการผลิต น้ำมันงาขี้ม่อน (Perilla frutescens) มีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันประเภท α -linolenic acid (ALA, C18:3,n-3) ร้อยละ 50-60 โดยประมาณของปริมาณกรด ไขมันทั้งหมดในน้ำมัน จากผลการวิจัยพบว่า ALA มีประโยชน์ต่อ สุขภาพในเรื่องความสามารถในการลดปริมาณ cholesterol ใน ร่างกาย [2] และจากการศึกษาในหนูทดลองพบว่า ALA จากน้ำมัน perilla ช่วยลดปริมาณ cholesterol ได้ดีกว่า linoleic acid (C18:2) จากน้ำมันดอกคำฝอย (Safflower) [3] ด้วยเหตุนี้จึงทำให้น้ำมันงา ขี้ม่อนมีราคาแพงกว่าน้ำมันงาขาวและงาดำที่มีเพียงกรดไขมันไม่อิ่ม ตัวชนิด linoleic acid และ oleic acid เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นจึงมีการปลอมแปลงเป็นน้ำมันงาขี้ม่อนโดยนำน้ำมันพืชชนิดอื่น ที่มีราคาถูกกว่ามาแอบอ้างเพื่อลดต้นทุนในการผลิตและสามารถขาย ได้ในราคาที่สูงขึ้น โดยการจำแนกส่วนผสมของน้ำมันงาขี้ม่อนนั้น ผู้บริโภคอาจสามารถแยกแยะได้ด้วย การมองเห็น หรือดมกลิ่น จำเป็น ต้องมีการใช้เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ในการตรวจสอบคุณภาพของ น้ำมัน โดยทั่วไปการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช สามารถศึกษาได้ด้วยเทคนิค Gas chromatography (GC) แต่ด้วย เทคนิคนี้ จำเป็นต้องนำน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อเปลี่ยน เป็น methyl esters ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC ซึ่ง กระบวนการวิเคราะห์ทั้งหมดต้องใช้เวลานานและมีราคาสูง การศึกษา นี้ได้นำเทคนิค ^1H NMR spectroscopy ซึ่งเป็นเทคนิคที่สะดวก รวดเร็ว ไม่จำเป็นต้องนำน้ำมันงาไปทำปฏิกิริยาทางเคมีก่อนการ วิเคราะห์ มาใช้ในการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมี และวิเคราะห์ ปริมาณสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำมันงาขาวและงาดำ รวมทั้งแยกแยะ ความแตกต่างโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันงาขี้ม่อนแท้และปลอมแปลง นอกจากนี้ยังได้นำเทคนิค Accelerated Oxidation Test ซึ่งเป็น เทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์หาค่า oxidative stability ในน้ำมัน biofuels น้ำมันพืช และน้ำมันปลา มาใช้ในงาน วิจัยนี้ โดยสามารถวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ISO 6886 [8] เพื่อแสดง ถึงระยะเวลาเกิดกลิ่นหืนซึ่งส่งผลถึงระยะเวลาในการเก็บรักษาของ น้ำมันงาชนิดต่างๆ โดยกลิ่นหืนในน้ำมันนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยา oxidation ของ fatty acids ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันกับ oxygen ในอากาศ และจะเกิดได้ดีขึ้นในสถานะที่มีความเป็นกรด ความชื้น และอุณหภูมิสูง น้ำมันงาขี้ม่อนเป็นน้ำมันงาที่มีปริมาณ lenolenic acid (C18:3) อยู่สูง ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ได้ง่ายและมีค่า oxidative stability ที่ต่ำกว่าน้ำมันงาขาวและงาดำ ซึ่งไม่มีกรดไขมัน lenolenic acid (C18:3) เป็นองค์ประกอบ ดังนั้น จึงสามารถนำผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Accelerated Oxidation Test มาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบ่งชี้้ำมันงาขี้ม่อนแท้และปลอม ได้



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ Oleic(O), Linoleic(L), Linolenic(Ln) และ Saturated (S) acyl chains

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ตัวอย่าง

น้ำมันงาดำ น้ำมันงาขาว น้ำมันงาขี้ม่อน A และ C ซื้อจากจังหวัด แม่ฮ่องสอน น้ำมันงาขี้ม่อน B ซื้อจากท้องตลาดในกรุงเทพมหานคร

2.2 วิธีดำเนินการ

2.2.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ^1H NMR Spectroscopy

นำน้ำมันงาประมาณ 0.1 กรัม (1-2 หยด) ละลายใน CDCl_3 ประมาณ 0.4 มิลลิลิตร ถ่ายลงในหลอด NMR ขนาด 5 มิลลิเมตร นำไปตรวจ วัดด้วยเทคนิค ^1H NMR ด้วยเครื่อง BRUKER AVANCE 400 MHz ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้สัญญาณของ CDCl_3 ที่ 7.24 ppm เป็น chemical shift reference วัดพื้นที่ใต้สัญญาณโดยใช้โปรแกรม TopSpin 3.2 โดยทำการตรวจวัดสัญญาณและหาพื้นที่ใต้สัญญาณ ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.2.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Accelerated oxidation test

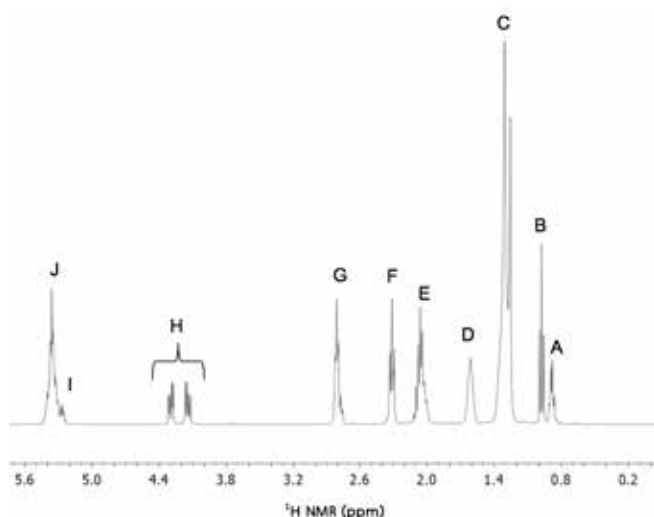
ตรวจวัดค่า oxidatiive stability ของน้ำมันงาขาว น้ำมันงาดำ น้ำมันขี้ม่อน A B และ C จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ด้วยเครื่อง Rancimat (รุ่น 743; Metrohm Ltd., Switzerland) โดยใช้สภาวะ ดังนี้ [8]

ปริมาณตัวอย่าง	3 กรัม
ปริมาณ น้ำ Deionized	50 มิลลิลิตร
อัตราการไหลของก๊าซ	10 ลิตร/ชั่วโมง
อุณหภูมิ	110 องศาเซลเซียส
Delta T	0.1 องศาเซลเซียส
วิธีการประเมินผล	เป็นแบบ Induction Time Evaluation

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค ^1H NMR Spectroscopy

รูปที่ 3 แสดง ^1H NMR สเปกตรัม ของน้ำมันงาขี้ม่อน สัญญาณ A (ระหว่าง δ_{H} 0.83 ถึง 0.93 ppm) เกิดจากการซ้อนทับของสัญญาณจาก methyl protons ($-\text{CH}_3$) ใน saturated, linoleic และ oleic acyl chains สัญญาณ B (ระหว่าง δ_{H} 0.95 ถึง 1.03 ppm) เกิดจาก methyl protons ($-\text{CH}_3$) ใน linolenic acyl chains สัญญาณ C (ระหว่าง δ_{H} 1.1 ถึง 2.03 ppm) เกิดจากการซ้อนทับของสัญญาณจาก methylene protons ($-\text{CH}_2-$) ใน chains ต่างๆ สัญญาณ D (ระหว่าง δ_{H} 1.5 ถึง 1.7 ppm) และ สัญญาณ F (ระหว่าง δ_{H} 2.23 ถึง 2.36 ppm) เกิดจากสัญญาณของ methylenic protons ในตำแหน่ง β และ α จากหมู่ carboxyl ตามลำดับ สัญญาณ E (ระหว่าง δ_{H} 1.94 ถึง 2.14 ppm) เกิดจากสัญญาณของ α methylenic protons ที่เชื่อมต่อกับ double bonds หรือ เรียกว่า allylic protons ($-\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2-$) สัญญาณ G (ระหว่าง δ_{H} 2.70 ถึง 2.84 ppm) เกิดจากการซ้อนทับของสัญญาณจาก α methylenic protons ที่เชื่อมต่อกับสอง double bonds ($=\text{HC}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{}$) หรือเรียกว่า bis-allylic protons สัญญาณ H (ระหว่าง δ_{H} 4.05 ถึง 4.35 ppm) เกิดจากสัญญาณของ protons บน carbon atoms ในตำแหน่ง 1 และ 3 ของหมู่ glyceryl (รูปที่ 1) สัญญาณ I (ระหว่าง δ_{H} 5.2 ถึง 5.26 ppm) เกิดจากสัญญาณของ protons บน carbon atoms ในตำแหน่ง 2 ของหมู่ glyceryl (รูปที่ 1) สัญญาณ J (ระหว่าง δ_{H} 5.26 ถึง 5.5 ppm) เกิดจากสัญญาณของ olefinic protons ($-\text{CH}=\text{CH}-$) รายละเอียดการบ่งชี้สัญญาณใน ^1H NMR ของน้ำมันงาขี้ม่อน แสดงในตารางที่ 2

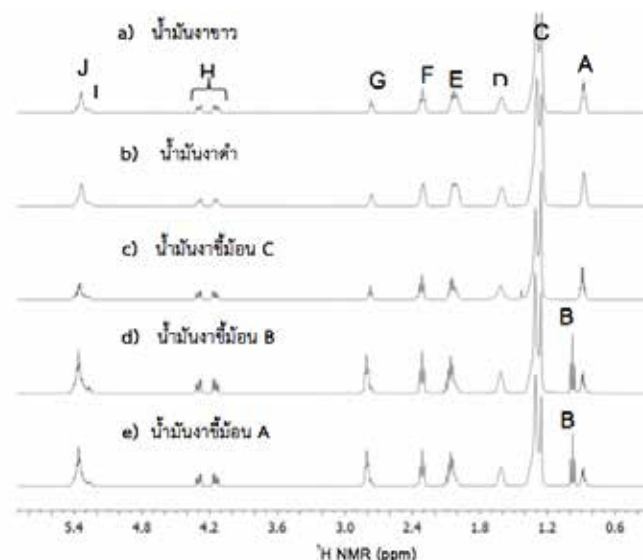


รูปที่ 3 แสดง ^1H NMR สเปกตรัมของน้ำมันงาขี้ม่อน

ตารางที่ 2 แสดงการบ่งชี้สัญญาณใน ^1H NMR สเปกตรัม ของน้ำมันงาขี้ม่อน

สัญญาณ	Chemical shift (ppm)	Functional group
A	0.83-0.93	$-\text{CH}_3$ (saturated, oleic และ linoleic acyl chains)
B	0.93-1.03	$-\text{CH}_3$ (linolenic acyl chains)
C	1.1-1.5	$-(\text{CH}_2)_n-$ (acyl chains)
D	1.5-1.7	$-\text{OCO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ (acyl chains)
E	1.94-2.14	$-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$ (acyl chains)
F	2.23-2.36	$-\text{OCO}-\text{CH}_2-$ (acyl chains)
G	2.70-2.84	$=\text{HC}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{}$ (acyl chains)
H	4.05-4.35	$-\text{CH}_2\text{OCOR}$ (glyceryl group)
I	5.2-5.26	$>\text{CHOCOR}$ (glyceryl group)
J	5.26-5.40	$-\text{CH}=\text{CH}-$ (acyl chains)

การบ่งชี้สัญญาณของน้ำมันงาชนิดต่างๆ พบว่า สัญญาณของ methyl protons ($-\text{CH}_3$) จากหมู่ linolenic ระหว่าง chemical shift 0.93 ถึง 1.03 ppm (สัญญาณ B) จะปรากฏใน ^1H NMR สเปกตรัม ของ น้ำมันงาขี้ม่อน A และ น้ำมันงาขี้ม่อน B แต่ไม่ปรากฏในน้ำมันงาขี้ม่อน C น้ำมันงาดำ และน้ำมันงาขาว ซึ่งทำให้สามารถใช้ผลวิเคราะห์สเปกตรัมที่ตำแหน่ง B เพื่อแยกแยะน้ำมันงาขี้ม่อนแท้และน้ำมันงาขี้ม่อนปลอมได้ ดังนั้นจากผลของ ^1H NMR สเปกตรัม น้ำมันงาขี้ม่อน C จึงไม่ใช่ น้ำมันงาขี้ม่อนแท้ เนื่องจากไม่มีสัญญาณในตำแหน่ง B แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดง ^1H NMR สเปกตรัมของ a) น้ำมันงาขาว b) น้ำมันงาดำ c) น้ำมันงาขี้ม่อน C d) น้ำมันงาขี้ม่อน B และ e) น้ำมันงาขี้ม่อน A

3.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค ^1H NMR Spectroscopy

ปริมาณ oleic(O), linoleic(L), linolenic(Ln) และ saturated(S) ใน triacylglycerol ของ น้ำมันงาขาว น้ำมันงาดำ และน้ำมันงาขี้ม่อน A B และ C คำนวณโดยใช้สมการ (1) ถึง (4) [4 และ 5]

$$\text{Ln (\%)} = 100 \times [\text{B}/(\text{A}+\text{B})] \quad (1)$$

$$\text{L (\%)} = 100 \times [(\text{E}/\text{D}) - 2[\text{B}/(\text{A}+\text{B})]] \quad (2)$$

$$\text{O (\%)} = 100 \times [(\text{C}/2\text{D}) - (\text{E}/\text{D}) + [\text{B}/(\text{A}+\text{B})]] \quad (3)$$

$$\text{S (\%)} = 100 \times [1 - (\text{C}/2\text{D})] \quad (4)$$

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบใน triacylglycerol ของน้ำมันงาชนิดต่างๆ

ลำดับที่	ชื่อตัวอย่าง	องค์ประกอบของ triacylglycerol (%)				
		Palmitoleic (C16:1)	Oleic (C18:1)	Linoleic (C18:2)	Linolenic (C18:3)	Saturated
1	น้ำมันงาจากจังหวัดแม่ฮ่องสอน ^(a)	0.11	11.55	18.45	59.84	10.05
2	น้ำมันงาจากจังหวัดเชียงใหม่ ^(a)	0.17	11.41	22.09	56.96	9.34
3	น้ำมันงาในท้องตลาด ^(a)	0.08	12.66	22.26	54.26	10.17
4	น้ำมันงา A ^(b)	-	13.93	13.09	54.52	18.46
5	น้ำมันงา B ^(b)	-	15.28	10.85	54.37	19.50
6	น้ำมันงา C ^(b)	-	21.73	56.15	ไม่พบ	22.12
7	น้ำมันงาขาว ^(b)	-	38.71	42.92	ไม่พบ	18.37
8	น้ำมันงาดำ ^(b)	-	41.17	41.74	ไม่พบ	17.13

(a) ข้อมูลจาก Reference ที่ [6] วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas chromatography

(b) ข้อมูลจากงานวิจัยนี้ วิเคราะห์ด้วย เทคนิค ^1H NMR Spectroscopy

ข้อมูลองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันงาขี้ม่อนซึ่งปลูกในจังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดเชียงใหม่ และจากท้องตลาด วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas chromatography [6] แสดงในลำดับที่ 1 ถึง 3 ของตารางที่ 3 ข้อมูลองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันงาขี้ม่อน A-C น้ำมันงาขาว และน้ำมันงาดำ จากงานวิจัยนี้วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ^1H NMR spectroscopy แสดงในลำดับที่ 4 ถึง 8 ของตารางที่ 3 จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันงาขี้ม่อนเป็นน้ำมันงามีปริมาณ Ln (แสดงในสัญญาณ B) อยู่สูงกว่าร้อยละ 50 แต่ไม่พบ Ln ในน้ำมันงาขี้ม่อน C น้ำมันงาขาว และน้ำมันงาดำ จากการทดลองนี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเทคนิค ^1H NMR spectroscopy สามารถแยกแยะความแตกต่างของน้ำมันงาขี้ม่อนแท้และน้ำมันงาขี้ม่อนปลอมแปลงได้

3.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Accelerated Oxidation Test

ค่า oxidative stability ของน้ำมันงาขี้ม่อน A-C น้ำมันงาขาว และ น้ำมันงาดำ แสดงในตารางที่ 4 จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันงาขาวและงาดำมีค่า oxidative stability สูงกว่า น้ำมันงาขี้ม่อน A B และ C ซึ่งส่งผลให้เกิดกลิ่นหืนได้ช้ากว่าจึงมีระยะเวลาในการเก็บรักษาได้ดีกว่าน้ำมันงาขี้ม่อน โครงสร้างทางเคมีในน้ำมันพืชมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา oxidation เมื่อปริมาณ unsaturation (double bonds) เพิ่มขึ้นทำให้เกิด fatty acid radical ได้ดีขึ้น เช่น lenoleic acid (C18:2) จะเกิดปฏิกิริยา oxidation ได้เร็วกว่า oleic acid (C18:1) ประมาณ 10 ถึง 40 เท่า และ lenolenic acid (C18:3) จะเกิดปฏิกิริยา oxidation ได้ดีกว่า lenoleic acid (C18:2) [7] เป็นต้น น้ำมันงาขี้ม่อนมี lenolenic acid (C18:3) เป็นองค์ประกอบหลักใน triacylglycerol จึงทำให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ได้ดีกว่าและมีค่า oxidative stability ต่ำกว่าน้ำมันงาขาวและงาดำ ส่วนน้ำมันงาขี้ม่อน C มีค่า oxidative stability สูงกว่าน้ำมันงาขี้ม่อน A และ B แต่ต่ำกว่าน้ำมันงาขาวและงาดำ ดังนั้น น้ำมันงาขี้ม่อน C จึงไม่ใช่ น้ำมันงาขี้ม่อนแท้ แต่จะให้น้ำมันงาขี้ม่อน C มีอายุการเก็บรักษาที่ดีกว่าน้ำมันงาขี้ม่อน A และ B ผลจากการวิเคราะห์ค่า Oxidative stability สามารถเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบ่งชี้ชนิดของน้ำมันงารวมทั้งการปลอมแปลงของน้ำมันงาได้

ตารางที่ 4 แสดงค่า Oxidative stability (OS) ของน้ำมันงาชนิดต่างๆ

ชื่อตัวอย่าง	ค่า Oxidative stability (hours)
น้ำมันงาขี้ม่อน A	1.4
น้ำมันงาขี้ม่อน B	1.6
น้ำมันงาขี้ม่อน C	3
น้ำมันงาขาว	8.4
น้ำมันงาดำ	8

4 สรุป (Conclusion)

จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า $^1\text{H-NMR}$ spectroscopy เป็นเทคนิคที่สามารถใช้ในการศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมัน ในน้ำมันงาขี้ม่อน น้ำมันงาขาวและน้ำมันงาดำได้และพบว่าน้ำมันงาขี้ม่อนเป็นน้ำมันที่มีปริมาณ Linolenic (Ln) อยู่มากกว่าร้อยละ 54 แต่ไม่พบในน้ำมันงาขาวและน้ำมันงาดำ ดังนั้นจึงสามารถใช้สัญญาณจากเมทิลโปรตอนของ linolenic acyl chains ที่ chemical shift 0.93 ppm ใน $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม บ่งชี้ความแตกต่างของน้ำมันงาขี้ม่อนแท้และน้ำมันงาขี้ม่อนปลอมได้ นอกจากนี้การศึกษาด้วยเทคนิค Accelerated Oxidation Test แสดงให้เห็นว่า ค่า oxidative stability ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณและชนิดของกรดไขมันในน้ำมันต่างๆ นั้น จะมีค่าแตกต่างกันในน้ำมันงาชนิดต่างๆ โดยค่า oxidative stability ของน้ำมันงาขี้ม่อน A และ B ซึ่งเป็นน้ำมันงาขี้ม่อนแท้มีค่าต่ำกว่าน้ำมันงาขี้ม่อน C ซึ่งเป็นน้ำมันงาขี้ม่อนปลอม น้ำมันงาขาว และน้ำมันงาดำ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ทั้งสองนี้ยังสามารถประมาณอายุการจัดเก็บของน้ำมันงาจากปริมาณกรดไขมันและค่า oxidative stability ได้ โดยน้ำมันงาที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดที่มีพันธะคู่มากกว่า จะมี ค่า oxidative stability ต่ำกว่าทำให้การหืนได้เร็วกว่าและมีอายุการจัดเก็บได้น้อย

ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์สามารถนำเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ spectroscopy และเทคนิค Accelerated Oxidation Test มาใช้ในการแยกความแตกต่างระหว่างงาขี้ม่อนแท้และปลอมแปลงอีกทั้งประมาณอายุการจัดเก็บของน้ำมันงาได้

5 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ

6 เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] FRANK D. Gunstone 2004 Sources, Composition, Properties and Uses. In: *The chemistry of oil and fats*. Boca Raton, FL : RCA Press, 2004, pp 4.
- [2] OKANOTO, M., et al. Effects of perilla seed oil supplementation on leukotriene generation by leucocytes in patients with asthma associated with lipometabolism. *Int. Arch. Allergy Immunol.* 2000, 122, 137-142.
- [3] IAHARA, M., et al. Comparative effects of short- and long term feeding of safflower oil and perilla oil on lipid metabolism in rats. *Comp. Biochem. Physiol. Part B: Biochem Mol. Biol.* 1998, 121, 223-231.
- [4] GUILLEN, M.D. and RUIZ, A. ^1H nuclear magnetic resonance as a fast tool for determining the composition of acyl chains in acylglycerol mixtures. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2003, 105, 502-507.
- [5] GUILLEN, M.D. and RUIZ, A. Rapid simultaneous determination by proton NMR of unsaturation and composition of acyl groups in vegetable oils. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2003, 105, 688-696.
- [6] SIRIAMORNpun, S., et al. Variation of lipid and fatty acid compositions in Thai Perilla seeds grown at different locations. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 2006, 28 (Suppl. 1), 17-21.
- [7] McCLEMENTS, D.J. and DECKER, E.A. Lipids. In: *Food Chemistry*. Boca Raton, FL : CRC Press, 2008, pp. 155-216.
- [8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6886. *Animal and vegetable fats and oils – Determination of oxidative stability (accelerated oxidation test)*, 2nd ed. 2006.

การสำรวจความเข้าใจของบุคลากรห้องปฏิบัติการเคมี ภายในกรมวิทยาศาสตร์บริการต่อความเป็นสีเขียวอย่างยั่งยืน Survey of the understanding of chemical laboratory workers in the Department of Science Service toward sustainability

8

ปวีณา เครือนิล^{1*}, อัครินทร์ ไพบูลย์พานิช^{2**}, อนันตณัฐ กันต์ธัญญรัตน์², ลัดดาวัลย์ เยียดยัด¹,

ดวงกมล เขาวนศรีหมุด¹, พิษญา บุตรขุนทอง¹, ภัทฐิดา นิลพัทธวัชร²

Paweena Kreunin^{1*}, Akarin Paibulpanich^{2**}, Anantanat Kantanyarat², Laddawan Yeadyad¹,

Duangkamol Chaosrimud¹, Pitchaya Buthkhunthong¹, Pattida Nilpatarachat²

บทคัดย่อ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ (วศ.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสำคัญกับการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียว (Green laboratory) ซึ่งเป็นแนวคิดระดับสากลในการส่งเสริมห้องปฏิบัติการ ให้มีความปลอดภัย มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน การศึกษาวิจัยนี้ เป็นการสำรวจความคิดเห็นของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมีภายใน วศ. เพื่อวิเคราะห์ความเข้าใจของบุคลากรต่อความเป็นสีเขียวของห้องปฏิบัติการ และเสนอแนะแนวทางในการจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียวขององค์กรอย่างยั่งยืน ผลการศึกษาพบว่า ร้อยละ 85.2 ของผู้ตอบแบบสอบถาม ตระหนักถึงความสำคัญและต้องการให้ห้องปฏิบัติการของตนเองเป็นห้องปฏิบัติการสีเขียว ซึ่งสะท้อนถึงความเข้าใจและความพร้อมของบุคลากรที่จะส่งเสริมห้องปฏิบัติการสีเขียว อย่างไรก็ตาม มีเพียง ประมาณหนึ่งในสามของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีความคิดเห็นว่า องค์กรของตนเองมีการดำเนินงานด้านห้องปฏิบัติการสีเขียว นอกจากนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันเกี่ยวกับความเป็นสีเขียวของห้องปฏิบัติการภายในองค์กร ดังนั้น วศ. ควรสื่อสารนโยบายและแนวคิดเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวให้กับบุคลากรให้ทั่วถึงทั้งองค์กร และที่สำคัญที่สุด คือ ควรเสริมสร้างให้บุคลากรมีความตระหนักรู้ มีความรู้ความเข้าใจในแนวทางการบริหารจัดการและแนวปฏิบัติของห้องปฏิบัติการสีเขียว ตลอดจนสนับสนุนให้บุคลากรนำความรู้เชิงทฤษฎีมาใช้ในการปฏิบัติในห้องปฏิบัติการของตนเองอย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการขับเคลื่อนความเป็นสีเขียวอย่างยั่งยืน การศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางอ้างอิงในการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการและความพร้อมของบุคลากรภายในหน่วยงานภาครัฐ รัฐวิสาหกิจ เอกชน และสถาบันการศึกษา เพื่อส่งเสริมการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียวของประเทศอย่างยั่งยืนต่อไป

Abstract

Department of Science Service (DSS), Ministry of Science and Technology, has been promoting the concept of green laboratories, which is an international concept aiming to equip laboratories with safety, efficient resource usage, reducing energy consumption, and being environmentally friendly. We conducted an opinion survey of staffs across the laboratories using chemicals within DSS to analyze the understanding of personnel in moving toward green laboratories, and propose ways to achieve green laboratories within the organization. The study found that 85.2 percent of the respondents are aware of the importance and want to embrace the green laboratory concept into their own laboratories. These findings reflect the understanding and potential of DSS staffs in moving toward green laboratories. However, only one-third of respondents thought that there is DSS green laboratory movement, and the majority of respondents show differences in the understanding of green laboratory development in the organization. Therefore, DSS needs to be more active in communicating the concept across the organization. Importantly, DSS needs to raise awareness and strengthen knowledge and understanding of the staffs on green laboratory practices and guidelines. In addition, DSS needs to support the staffs in undertaking the knowledge into practices to concrete green laboratory development and sustainability. This study can be used as the model for similar studies on laboratories in the public and private sectors and educational institutions as well, in order to promote green laboratory concept within the country in the future.

คำสำคัญ: ห้องปฏิบัติการสีเขียว ห้องปฏิบัติการที่ยั่งยืน ความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการ

Keywords: Green laboratory, Sustainable laboratories, Laboratory safety

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ ²ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*E-mail address : paweena@dss.go.th

**Corresponding author E-mail address : akarin@cbs.chula.ac.th

1. บทนำ (Introduction)

แนวคิดเรื่องห้องปฏิบัติการสีเขียว (Green laboratory) เป็นแนวคิดในการพัฒนาห้องปฏิบัติการ ให้เกิดความยั่งยืน (Sustainability) มีความปลอดภัย (Safety) ลดการใช้พลังงาน (Low energy consumption) เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental friendly) และมีประสิทธิภาพสูง (High efficiency) โดยริเริ่มและผลักดันจากองค์การไม่แสวงหาผลกำไรในระดับสากล คือ International Institute for Sustainable Laboratories (I²SL) ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2547 เพื่อสนับสนุนแนวคิดด้านการพัฒนาห้องปฏิบัติการอย่างยั่งยืนแบบครบวงจร ตั้งแต่การออกแบบ วิศวกรรม ไปจนถึงแนวปฏิบัติ [1] และเป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ข้อมูลข่าวสารจากเครือข่ายความร่วมมือทั่วโลก ซึ่งมีสมาชิกจากนานาประเทศ ทั้งที่เป็นห้องปฏิบัติการและหน่วยงานที่มีอาคารปฏิบัติการที่ทันสมัย โดยในภูมิภาคอาเซียน Singapore Chapter หรือองค์กรสาธารณรัฐสิงคโปร์ เป็นเครือข่ายของ I²SL ที่สนับสนุนการถ่ายทอดแนวคิดดังกล่าว

ในประเทศไทย การเผยแพร่แนวคิดเรื่องห้องปฏิบัติการสีเขียว ดำเนินการโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ (วศ.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2554 ในการจัดสัมมนาวิชาการ เรื่อง “A Walk to Green Laboratory” [2] เพื่อส่งเสริมแนวคิดของ I²SL และดำเนินการอย่างต่อเนื่องด้วยการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เพื่อเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียว ซึ่งหมายรวมไปถึงการเลือกใช้แนวปฏิบัติต่าง ๆ ที่เป็นสีเขียวในการทำงานในห้องปฏิบัติการ (Green laboratory practices) การออกแบบห้องปฏิบัติการและการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ลดการใช้พลังงาน ลดการใช้สารอันตราย ลดการเกิดสารอันตราย ทำให้ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการมีความปลอดภัยเพิ่มขึ้น [3, 4] นอกจากนี้ แหล่งอ้างอิงจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี [5] กล่าวถึงการพัฒนากระบวนการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียวด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ประการ ได้แก่ การจัดการสารเคมี การจัดการของเสียที่เป็นอันตราย การจัดการความปลอดภัย และการจัดการด้านพลังงาน แม้ว่าในปัจจุบัน แนวคิดเรื่องห้องปฏิบัติการสีเขียวมีความแพร่หลายมากขึ้นในประเทศไทย แต่การพัฒนาห้องปฏิบัติการไปสู่ความเป็นสีเขียวยังมีข้อจำกัดด้วยความจำเป็นในการใช้ทรัพยากรหลายด้านขององค์กร เช่น บุคลากร วัสดุอุปกรณ์ อาคารสถานที่ และเทคโนโลยีที่ทันสมัย

ด้วย วศ. เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียวของประเทศ และองค์กรมีนโยบายการจัดการด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ มุ่งมั่นในการรักษาสีเขียวด้วย การส่งเสริมการสร้างวัฒนธรรมองค์กรและปลูกฝังจิตสำนึกในการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน รวมถึงสนับสนุนให้บุคลากรมีความตระหนักและมีส่วนร่วมในความรับผิดชอบต่อความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ [6, 7] การวิจัยนี้เป็นการสนับสนุนการจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียวภายในองค์กร ด้วยการสำรวจความ

คิดเห็นของบุคลากรห้องปฏิบัติการของ วศ. ที่มีการใช้สารเคมี โดยมีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ความเข้าใจของบุคลากรต่อความเป็นสีเขียวของห้องปฏิบัติการ ศึกษาสภาพปัจจุบันและความพร้อมขององค์กร เพื่อใช้ประกอบการเสนอแนะแนวทางในการจัดทำห้องปฏิบัติการเพื่อความเป็นสีเขียวอย่างยั่งยืน ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ เป็นต้นแบบให้กับหน่วยงานอื่น ๆ ในการวิเคราะห์ภายในองค์กรเพื่อค้นหาวิธีการในการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียวของหน่วยงาน การวิจัยครั้งนี้จะช่วยส่งเสริมแนวคิดเรื่องห้องปฏิบัติการสีเขียวและสนับสนุนเศรษฐกิจสีเขียวของประเทศต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

วิธีดำเนินการศึกษาในการทำวิจัย เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research) ด้วยวิธีการศึกษาแบบสำรวจตัวอย่าง (Survey research) ดำเนินการตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2558 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2559 โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล ซึ่งให้คำนิยามของ “ห้องปฏิบัติการเคมี” หมายถึง “ห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมี”

2.1 ประชากรเป้าหมายและกรอบตัวอย่าง

การศึกษานี้มีประชากรเป้าหมาย คือ บุคลากรของ วศ. จากสำนัก/โครงการ/ศูนย์ รวม 7 หน่วยงานที่มีห้องปฏิบัติการเคมีภายใน วศ. ได้แก่ 1) สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ 2) สำนักเทคโนโลยีชุมชน 3) โครงการเคมี 4) โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม 5) โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ 6) ศูนย์บริหารจัดการทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ และ 7) ศูนย์ทดสอบวัสดุสัมผัสอาหารของอาเซียน ซึ่งมีบุคลากรรวม 423 คน ตามอัตรากำลังข้าราชการ/ลูกจ้างประจำ/พนักงานราชการ/ลูกจ้างจ้างเหมา (ข้อมูลอ้างอิง ณ วันที่ 16 มิถุนายน 2558) ที่ปฏิบัติงานในด้านต่าง ๆ ของหน่วยงาน เช่น ด้านบริหารจัดการ ด้านธุรการ ด้านวิจัยหลักสูตร หลักสูตรฝึกอบรมและเทคโนโลยี และด้านห้องปฏิบัติการ ดังนั้น กรอบตัวอย่างของการศึกษานี้ มีจำนวนทั้งสิ้น 423 คน

2.2 การเลือกตัวอย่าง

การเลือกตัวอย่างในการศึกษานี้ กำหนดให้เป็นบุคลากรของ วศ. ที่ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเคมี โดยผู้วิจัยขอให้สำนัก/โครงการ/ศูนย์ คัดเลือกบุคลากรของหน่วยงานเพื่อกรอกข้อมูลแบบสอบถาม โดยระบุ “เฉพาะบุคลากรที่ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมี” ในแบบสอบถาม

2.3 การออกแบบแบบสอบถาม

การออกแบบแบบสอบถามในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้นำแบบสอบถามจาก โครงการวิจัย เรื่อง การสำรวจทัศนคติของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเคมี ต่อการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียวในประเทศไทย [8] ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และงบประมาณสนับสนุนจาก วศ. มาปรับปรุงเพื่อให้สอดคล้องกับกรอบวัตถุประสงค์ของงานวิจัยซึ่งเป็นการศึกษาในระดับองค์กร และเพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์ในการศึกษาความเข้าใจของ

บุคลากร วศ. ต่อความเป็นสีเขียวภายในองค์กร จึงศึกษากลุ่มประเด็นคำถาม ดังนี้

- 2.3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ตอบแบบสอบถาม และการเข้าร่วมการฝึกอบรมหลักสูตรที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการ
- 2.3.2 ความคิดเห็นเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการเคมีขององค์กร
- 2.3.3 ความเข้าใจในการดำเนินงานที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวขององค์กร
- 2.3.4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับประเด็นที่จำเป็นต่อการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียวขององค์กร

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

สำนัก/โครงการ/ศูนย์ ได้นำส่งแบบสอบถามกลับมายังผู้วิจัย ข้อมูลที่ได้นำมารวบรวม ลงรหัส และคีย์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาประกอบด้วย ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และการจัดอันดับด้วยค่าถ่วงน้ำหนักด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

ผู้วิจัยได้รับแบบสอบถามกลับมาจำนวนทั้งสิ้น 291 ฉบับ จากผู้ทำงานในห้องปฏิบัติการเคมีและผู้ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งตรงกับกลุ่มตัวอย่างตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยคิดเป็นอัตราการตอบกลับทั้งสิ้นร้อยละ 68.8 ของอัตรากำลัง วศ. และการวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา ในรูปของค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และการจัดอันดับด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก [9] ซึ่งโดยทั่วไป กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 61.7 เป็นเพศหญิง ร้อยละ 72.1 เป็นผู้มีอายุระหว่าง 26 – 50 ปี และร้อยละ 90.6 เป็นผู้จบการศึกษาระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่า ซึ่งจัดเป็นบุคลากรในวัยทำงานที่มีคุณวุฒิในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

3.1 การเข้าร่วมการฝึกอบรมหลักสูตรที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียว

ในส่วนการศึกษาข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถามในการเข้าร่วมการฝึกอบรมหลักสูตรที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการ จากการฝึกอบรมระดับบุคคลซึ่งจัดโดยสำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (วศ. พศ.) ตามรายละเอียดหลักสูตรในตารางที่ 1 โดยลำดับที่ 1 เป็นหลักสูตรที่เกี่ยวกับการทดสอบ สอบเทียบ และเทคนิคการทดสอบ และลำดับที่ 2 – 5 เป็นหลักสูตรที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียว

โดยทั่วไป บุคลากร วศ. สามารถเลือกเข้ารับการฝึกอบรมหลักสูตรได้ตามความสนใจ หรือตามที่หัวหน้างานกำหนด ทั้งนี้ ข้อคำถามกำหนดให้ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกหลักสูตรที่เคยเข้าร่วมการฝึกอบรม โดยเลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ ซึ่งได้รับแบบสอบถามตอบกลับในเรื่องดังกล่าวจำนวน 287 ฉบับ โดย 79 ฉบับเป็นผู้ตอบแบบสอบถามที่ไม่เคยเข้าร่วมการอบรม ดังนั้น จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามที่เคยเข้าร่วมการฝึกอบรม คิดเป็นจำนวน 208 คนซึ่งเมื่อนับจำนวนความถี่ของคำตอบได้ทั้งสิ้น 462 คำตอบ และเมื่อเรียง

ลำดับหลักสูตรที่มีผู้เข้าร่วมการอบรมจาก “มาก” ไป “น้อย” สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความถี่และร้อยละของผู้เข้าร่วมการฝึกอบรมของวศ.พศ. ที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการ

ลำดับที่	หลักสูตรที่เข้ารับการอบรม	ความถี่ของผู้ที่ตอบในหัวข้อดังกล่าว ÷ 208*	ร้อยละ
1	หลักสูตรอื่นด้านการสอบเทียบเครื่องมือวัด ด้านการควบคุมคุณภาพ ด้านเทคนิคการวิเคราะห์เคมีพื้นฐาน ด้านเทคนิคการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ ด้านจุลชีววิทยา และเทคนิคการวิเคราะห์ทดสอบต่าง ๆ	142	68.3
2	หลักสูตรความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	132	63.5
3	หลักสูตรการควบคุมและการจัดการสารเคมีอันตราย	68	32.7
4	หลักสูตรการกำจัดของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการ	61	29.3
5	หลักสูตรการออกแบบห้องปฏิบัติการเคมีเพื่อความปลอดภัย	59	28.4
รวมความถี่		462	

หมายเหตุ * 208 หมายถึง จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามในข้อดังกล่าว จากตารางที่ 1 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เข้าร่วมการฝึกอบรมที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการในด้านการบริการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 68.3 และหลักสูตรที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวที่เป็นหลักสูตรพื้นฐานได้แก่ หลักสูตรความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ คิดเป็นร้อยละ 63.5 ซึ่งเมื่อเทียบกับหลักสูตรที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวเฉพาะด้าน เช่น การจัดการสารเคมีอันตราย การกำจัดของเสียอันตราย คิดเป็นร้อยละระหว่าง 28.4 – 32.7 ดังนั้น การเพิ่มจำนวนบุคลากรให้เข้าร่วมการฝึกอบรมหลักสูตรทั้งหลักสูตรขั้นพื้นฐานและหลักสูตรเฉพาะด้านดังที่กล่าวมาแล้ว จะช่วยให้บุคลากรมีประสบการณ์ที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวเพิ่มขึ้น

3.2 ความคิดเห็นเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการเคมีขององค์กร

ข้อคำถามที่เกี่ยวกับความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเคมีโดยตรง จำนวน 262 คน เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการของ วศ. ซึ่งมีข้อคำถามที่เป็นแนวคิดของการจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียวเบื้องต้น ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวน (ร้อยละ) ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามต่อประเด็นคำถามที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการเคมีขององค์กร

ประเด็นคำถาม	จำนวน	ความคิดเห็น (ร้อยละ)		
		ใช่	ไม่ใช่	ไม่แน่ใจ
1. ห้องปฏิบัติการของท่านมีเป้าหมายและการบริหารจัดการเพื่อความปลอดภัยของบุคลากร สถานที่ และผู้ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	258	163 (63.2)	21 (8.1)	74 (28.7)
2. ห้องปฏิบัติการของท่านมีคู่มือการบริหารจัดการด้านพลังงาน	257	32 (12.5)	116 (45.1)	109 (42.4)
3. ห้องปฏิบัติการของท่านมีคู่มือการบริหารจัดการสารเคมี	256	83 (32.4)	76 (29.7)	97 (37.9)
4. ห้องปฏิบัติการของท่านมีคู่มือการบริหารจัดการของเสียอันตราย	257	70 (27.2)	78 (30.4)	109 (42.4)
5. ห้องปฏิบัติการของท่านมีคู่มือการบริหารจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	256	104 (40.6)	60 (23.4)	92 (35.9)
6. ห้องปฏิบัติการของท่านมีแผนงานการลดการใช้พลังงานของห้องปฏิบัติการในระยะยาว	256	72 (28.1)	69 (27.0)	115 (44.9)
7. ห้องปฏิบัติการของท่านติดตั้งระบบการถ่ายเทอากาศ การระบายอากาศและการปรับอากาศเพื่อควบคุมการหมุนเวียนของอากาศในห้องปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ	257	106 (41.2)	67 (26.1)	84 (32.7)
8. ห้องปฏิบัติการของท่านมีระบบการจัดการสารเคมีในห้องปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพ	257	85 (33.1)	72 (28.0)	100 (38.9)
9. ห้องปฏิบัติการของท่านมีการแยกพื้นที่ห้องปฏิบัติการที่ใช้สารเคมีออกจากพื้นที่อื่น ๆ อย่างชัดเจน เพื่อลดโอกาสในการรับสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้อง	258	140 (54.3)	66 (25.6)	52 (20.2)
10. ห้องปฏิบัติการของท่านมีการติดสติ๊กเกอร์หรือโปสเตอร์เพื่อเสริมสร้างความตระหนักในการประหยัด หรือรีไซเคิลพลังงานและน้ำ ที่สามารถเห็นได้ชัดเจน	258	108 (41.9)	89 (34.5)	61 (23.6)
11. ห้องปฏิบัติการของท่านมีแนวทางปฏิบัติที่สอดคล้องกับแนวคิดของการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว	256	92 (35.9)	41 (16.0)	123 (48.0)
12. บุคลากรในห้องปฏิบัติการทุกคนมีส่วนร่วมในการทำงานด้านการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว	259	105 (40.5)	45 (17.4)	109 (42.1)
13. ท่านเห็นความสำคัญและต้องการให้ห้องปฏิบัติการของท่านมีการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว	256	218 (85.2)	6 (2.3)	32 (12.5)

จากตารางที่ 2 ข้อ 1 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 63.2 เห็นว่า ห้องปฏิบัติการของตนเองมีเป้าหมายและการบริหารจัดการเพื่อความปลอดภัยของบุคลากร สถานที่ และผู้ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของห้องปฏิบัติการสีเขียว โดยร้อยละ 8.1 ไม่เห็นด้วย ในขณะที่ร้อยละ 28.7 ยังไม่แน่ใจ ซึ่งสะท้อนถึงความเข้าใจในเป้าหมายและการบริหารจัดการของห้องปฏิบัติการที่ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ผลวิเคราะห์ประเด็นคำถามเกี่ยวกับองค์ประกอบเบื้องต้นของห้องปฏิบัติการสีเขียว พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ “ไม่แน่ใจ” หรือคิดห้องปฏิบัติการของตนเอง “ไม่มี” คู่มือการบริหารจัดการด้านพลังงาน คู่มือการบริหารจัดการสารเคมี คู่มือการบริหารจัดการของเสียอันตราย คู่มือการบริหารจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ และแผนงานการลดการใช้พลังงานของห้องปฏิบัติการในระยะยาว ตลอดจนระบบการถ่ายเทอากาศและระบบการจัดการสารเคมีที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งแสดงถึงความเข้าใจในห้องปฏิบัติการภายในองค์กรที่แตกต่างกัน

จากข้อ 13 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 85.2 เห็นความสำคัญและต้องการให้ห้องปฏิบัติการของตนเองมีการจัดการห้องปฏิบัติการที่เป็นสีเขียว แต่ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ “ไม่แน่ใจ” หรือคิดว่าห้องปฏิบัติการของตน “ไม่มี” แนวทางปฏิบัติที่สอดคล้องกับแนวคิดของการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว นอกจากนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามเพียงร้อยละ 40.5 คิดว่า บุคลากรในห้องปฏิบัติการทุกคนมีส่วนร่วมในการทำงานด้านการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว จากข้อมูลดังกล่าว แม้ว่าข้อมูลสะท้อนถึงความมุ่งมั่นและความพร้อมของบุคลากร วศ. ที่จะจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียว แต่ในเชิงปฏิบัติแล้วนั้นยังไม่เป็นไปในทางเดียวกัน และการมีส่วนร่วมในการลงมือจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียว นั้น น้อยกว่าร้อยละ 50 ของกลุ่มตัวอย่าง

3.3 ความเข้าใจในการดำเนินงานที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวขององค์กร

ตารางที่ 3 นำเสนอผลการสำรวจความเข้าใจของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับการดำเนินงานที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวในระดับองค์กร

ตารางที่ 3 จำนวน (ร้อยละ) ของความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามต่อการดำเนินงานที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวในระดับองค์กร

ประเด็นคำถาม	จำนวน	ความคิดเห็น (ร้อยละ)		
		ใช่	ไม่ใช่	ไม่แน่ใจ
1. องค์กรของท่านมีนโยบายสนับสนุนการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียวอย่างเป็นรูปธรรม	286	77 (26.9)	46 (16.1)	163 (57.0)
2. องค์กรของท่านมีการรณรงค์เพื่อให้ตระหนักถึงความเป็นสีเขียวโดยทั่วกัน	285	79 (27.7)	43 (15.1)	163 (57.2)
3. องค์กรของท่านมีการประเมินและติดตามผลการพัฒนาห้องปฏิบัติการไปสู่ห้องปฏิบัติการสีเขียว	286	65 (22.7)	55 (19.2)	166 (58.0)
4. องค์กรของท่านมีความมุ่งมั่นที่จะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีการสื่อสารภายในองค์กรให้ทราบโดยทั่วกัน	285	95 (33.3)	36 (12.6)	154 (54.0)
5. ผู้บริหารในองค์กรให้ความสำคัญในการพัฒนาห้องปฏิบัติการไปสู่การเป็นห้องปฏิบัติการสีเขียว	285	98 (34.4)	31 (10.9)	156 (54.7)

จากมุมมองของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า โดยเฉลี่ยแล้ว ประมาณหนึ่งในสามของผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นว่า องค์กรของตนเองมีนโยบายสนับสนุนการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียวอย่างเป็นรูปธรรม มีการดำเนินการต่าง ๆ เช่น การรณรงค์ให้เกิดความตระหนัก การติดตามผลการพัฒนาความเป็นสีเขียวของห้องปฏิบัติการ มีการสื่อสารภายในองค์กรถึงความมุ่งมั่นที่จะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนผู้บริหารในองค์กรให้ความสำคัญในการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียว ในขณะที่ประมาณสองในสามมีความคิดเห็นว่า “ไม่มี” หรือ “ไม่แน่ใจ” ในเรื่องดังกล่าว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจในการดำเนินงานเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวที่แตกต่างกัน และไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

3.4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับประเด็นที่จำเป็นต่อการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียวขององค์กร

การวิเคราะห์ความคิดเห็นและประเด็นที่จำเป็นต่อการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียวของ วศ. ด้วยการระบุปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการดำเนินการจำนวน 5 ประเด็นคำถาม ได้แก่ การตระหนักรู้ บุคลากรที่มีความรู้ งบประมาณ การฝึกอบรม สถานที่/เครื่องมือ/อุปกรณ์ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมากกว่าร้อยละ 98 มีความคิดเห็นว่า ปัจจัยทั้งหมดมีความจำเป็นต่อการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียวขององค์กร สรุปข้อมูลได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความถี่ (ค่าถ่วงน้ำหนัก) ของความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามต่อประเด็นที่จำเป็นต่อการพัฒนาห้องปฏิบัติการให้เป็นห้องปฏิบัติการสีเขียวขององค์กร

ประเด็นที่จำเป็นต่อการพัฒนาห้องปฏิบัติการให้เป็นห้องปฏิบัติการสีเขียวขององค์กร	อันดับที่ 1	อันดับที่ 2	อันดับที่ 3	อันดับที่ 4	อันดับที่ 5	รวม
1. การตระหนักรู้ของคนในองค์กรและผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับความสำคัญและประโยชน์ของการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว	141 (705)	30 (120)	36 (108)	24 (48)	19 (19)	250 (1,000)
2. บุคลากรที่มีความรู้เกี่ยวกับการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว	21 (105)	94 (376)	73 (219)	42 (84)	20 (20)	250 (804)
3. สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ เพื่อจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียว	8 (40)	39 (156)	50 (150)	59 (118)	93 (93)	249 (557)
4. งบประมาณในการปรับปรุงห้องปฏิบัติการให้เป็นห้องปฏิบัติการสีเขียว	52 (260)	46 (184)	40 (120)	77 (154)	35 (35)	250 (753)
5. การฝึกอบรมด้านการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียวให้กับบุคลากรในองค์กร	28 (140)	41 (164)	51 (153)	48 (96)	83 (83)	251 (636)

จากตารางที่ 4 เมื่อให้ผู้ปฏิบัติงานเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ดังกล่าว จาก “มาก” ไป “น้อย” โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถี่ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (อันดับที่ 1 เท่ากับ 5 อันดับที่ 2 เท่ากับ 4 เป็นต้น) พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญ ดังนี้

ลำดับที่ 1 ได้แก่ การตระหนักรู้ของคนในองค์กรและผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับความสำคัญและประโยชน์ของการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว

ลำดับที่ 2 ได้แก่ บุคลากรที่มีความรู้เกี่ยวกับการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว

ลำดับที่ 3 ได้แก่ งบประมาณในการปรับปรุงห้องปฏิบัติการให้เป็นห้องปฏิบัติการสีเขียว

ลำดับที่ 4 ได้แก่ การฝึกอบรมด้านการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียวให้กับบุคลากรในองค์กร

ลำดับที่ 5 ได้แก่ สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ เพื่อจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียว

การรวบรวมข้อมูลข้อเสนอแนะอื่นๆ ของผู้ตอบแบบสอบถาม ซึ่งเป็นคำถามปลายเปิดพบว่า มีการแสดงความคิดเห็นทั้งหมด 16 ความคิดเห็น ซึ่งสามารถสรุปเป็นประเด็นความต้องการ ได้แก่ การสนับสนุนจากผู้บริหารอย่างเป็นรูปธรรม จริงจัง และมีความต่อเนื่อง การจัดสรรงบประมาณในการดำเนินการพัฒนา การออกแบบห้องปฏิบัติการที่ช่วยให้ประหยัดพลังงานและมีความปลอดภัย การกำหนดแนวทางการจัดการสารเคมีเหลือใช้ การเบิกจ่ายอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลจากส่วนกลางได้ และอื่นๆ ที่เป็นไปในทางเดียวกันกับข้อมูลในตารางที่ 4

3.5 ข้อเสนอแนะแนวทางในการจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียวของ วศ.

จากการประมวลผลข้อมูลจากข้อ 3.1 – 3.4 นั้น ผู้วิจัยเสนอแนะแนวทางในการจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียวของ วศ. อย่างยั่งยืน ดังนี้

1. องค์กรควรสร้างความตระหนักรู้ให้กับบุคลากรในองค์กรเกี่ยวกับความเป็นสีเขียวที่เป็นรูปธรรมอย่างต่อเนื่อง เช่น การส่งเสริมให้หัวหน้างานกระตุ้นให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความสนใจด้วยการให้ความรู้ในเรื่องดังกล่าวเพิ่มขึ้น การวางแผนพัฒนาบุคลากรให้มีการเข้าร่วมการฝึกอบรมที่เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียว หรือการรณรงค์การประหยัดพลังงานโดยใช้สติ๊กเกอร์ โปสเตอร์ หรือสัญลักษณ์ที่เห็นได้ชัดเจน

2. องค์กรควรเพิ่มการสื่อสารภายในองค์กรเกี่ยวกับการดำเนินงานเรื่องห้องปฏิบัติการสีเขียวอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้เกิดความชัดเจนและบุคลากรภายในองค์กรมีความเข้าใจที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เช่น การจัดสัมมนาและกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง หรือการใช้เทคนิคการสื่อสารเชิงวนภาษา หรือด้วยภาษาเขียนเป็นลายลักษณ์อักษร

3. องค์กรควรเพิ่มการสนับสนุนให้บุคลากรมีส่วนร่วมของในการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว เพื่อให้เกิดการดำเนินการจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียวร่วมกันทั่วถึงทั้งองค์กร เช่น การสนับสนุนของผู้บริหารตั้งแต่ระดับบนจนถึงระดับล่าง (Top-down management support) ตลอดจนการส่งเสริมให้ผู้ปฏิบัติงานรู้สึกถึงความเป็นเจ้าของด้านความปลอดภัยในทุกระดับ (Safety ownership at all levels) จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานมีการร่วมมือที่เป็นหนึ่งเดียวในการลงมือจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียว

4. องค์กรควรวางแผนระยะยาวในการเตรียมความพร้อมของทรัพยากรในการสนับสนุนการจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียว โดยเฉพาะการพัฒนาด้านบุคลากรเป็นสำคัญ ตลอดจนด้านอื่นๆ เช่น การจัดหาผู้เชี่ยวชาญเป็นที่ปรึกษาในการดำเนินงาน การจัดสรรงบประมาณ สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ การพัฒนาห้องปฏิบัติการตามแนวโน้มของความเป็นเขียวในระดับสากลนั้น

ผู้ปฏิบัติงานเล็งเห็นความสำคัญที่ต้องการให้องค์กรส่งเสริมการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียวด้วยการสร้างความตระหนักรู้ให้กับบุคลากรในองค์กร ดังนั้น องค์กรควรให้ความสำคัญการพัฒนาบุคลากรเป็นหลัก ซึ่งการให้ความรู้ในหลักการและแนวปฏิบัติด้านการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียวที่ถูกต้องให้กับผู้ปฏิบัติงาน จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจในนโยบาย และปฏิบัติตนให้สอดคล้องกับแนวปฏิบัติด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการสีเขียว ทั้งนี้ การสร้างความตระหนักรู้ร่วมกับการพัฒนาศักยภาพของบุคลากร วศ. จะทำให้ วศ. มีกำลังคนที่มีคุณภาพ ก่อให้เกิดความร่วมมือที่เป็นรูปธรรมในการจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียวขององค์กรอย่างยั่งยืนต่อไป

4. สรุป (Conclusion)

จากการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการของ วศ. มีความเข้าใจและเห็นความสำคัญของการจัดทำห้องปฏิบัติสีเขียวขององค์กร ตลอดจนแสดงความมุ่งมั่นและความพร้อมที่จะให้ความร่วมมือในการจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียว อย่างไรก็ตาม ผู้ปฏิบัติงานยังมีความเข้าใจในแนวปฏิบัติหรือเป้าหมายขององค์กรที่ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้น องค์กรควรมุ่งเน้นการสร้างความตระหนักรู้และให้ความรู้ผู้ปฏิบัติการในด้านการจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียว และสนับสนุนให้ผู้ปฏิบัติงานลงมือจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียวให้เป็นรูปธรรม นอกจากนี้ องค์กรควรส่งเสริมความยั่งยืนของห้องปฏิบัติการ ด้วยการสื่อสารภายในองค์กรอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจความเป็นสีเขียวของห้องปฏิบัติการ และมีการปฏิบัติที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันภายในองค์กร การศึกษาวิจัยต่อยอดด้านการวิเคราะห์พฤติกรรมหรือการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ จะทำให้สามารถกำหนดแนวทางการส่งเสริมในเรื่องดังกล่าวภายในองค์กรที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะวิจัยขอขอบคุณท่านอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ ดร. สุทธิเวช ต.แสงจันทร์ ที่เล็งเห็นความสำคัญของห้องปฏิบัติการสีเขียว และสนับสนุนการดำเนินการสำรวจดังกล่าว และขอขอบคุณท่านผู้อำนวยการสำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ ดร. จันทรเพ็ญ เมฆาอภิรักษ์ และนางสาวปัทมา นพรัตน์ ที่ให้คำแนะนำและแนวทางการดำเนินงาน ตลอดจนสนับสนุนทรัพยากรต่างๆ ในการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE LABORATORIES [online]. 2016 [viewed 23 April 2016]. Available from: <http://www.i2sl.org/>
- [2] DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE. BUREAU OF LABORATORY PERSONNEL DEVELOPMENT. A Seminar on “A Walk to Green Laboratory” [online]. August 2011. [viewed 23 April 2016] Available from: http://blpd.dss.go.th/eng/index.php?option=com_content&view=article&id=195:a-walk-to-green-laboratory&catid=36:blpd-csr&Itemid=74
- [3] ประไพพิศ แจ่มสุกใส เทอร์โน. สิ่งจำเป็นสำหรับห้องปฏิบัติการเคมีที่ปลอดภัยและประหยัดพลังงาน : เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร การออกแบบห้องปฏิบัติการเคมีเพื่อความปลอดภัย วันที่ 14-15 มีนาคม 2556 ณ สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรุงเทพฯ : กรม, 2556, 9-15.
- [4] ปวีณา เครือนิล. Green Laboratories : เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร Designing and Remodeling for Safe Chemical Laboratories วันที่ 28-29 กรกฎาคม 2559 ณ สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรุงเทพฯ : กรม, 2559.
- [5] CHAISAWADI, S., CHIMPALEE, P., and BUALOY, P. Development of Green Laboratory Management System. In: 38th Congress on Science and Technology of Thailand (Abstract) [online]. 2012 [viewed 26 November 2014] Available from: <http://sustainable.kmutt.ac.th/wp-content/uploads/2012/10/DEVELOPMENT-OF-GREEN-LABORATORY-MANAGEMENT-SYSTEM.pdf>.
- [6] กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. นโยบายด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการของกรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรุงเทพฯ : กรม, 2555.
- [7] กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. คู่มือปฏิบัติด้านความปลอดภัยห้องปฏิบัติการกรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรุงเทพฯ : กรม, 2558.

- [8] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ. รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การสำรวจทัศนคติของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเคมี ต่อการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียวในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : กรม, 2559.
- [9] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ. รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การสำรวจทัศนคติของพนักงานในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมีของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ต่อการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว. กรุงเทพฯ : กรม, 2559.

การพัฒนาชุดทดสอบโคลิฟอร์มเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยา

Development of coliform test kit for microbiological quality water

9

ธีระ ปานทิพย์อำพร*
Theera Panthipamporn*

บทคัดย่อ

แบคทีเรียโคลิฟอร์มเป็นจุลินทรีย์ดัชนีบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำ การทดสอบคุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยาจำเป็นต้องรีบทดสอบหลังจากเก็บตัวอย่างทำให้บางครั้งไม่สามารถส่งตัวอย่างทดสอบให้ห้องปฏิบัติการได้ทัน เวลา จึงได้พัฒนาชุดทดสอบเชื้อโคลิฟอร์มเบื้องต้นในลักษณะการตรวจแบบพบหรือไม่พบ โดยอาศัยสมบัติของโคลิฟอร์มที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสเป็นกรดและแก๊สภายใน 24-48 ชั่วโมง การศึกษาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อและปริมาตรตัวอย่างที่เหมาะสม พบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อลอริลซัลเฟตบรอก ที่ความเข้มข้น 3 เท่า เติมนินดิเคเตอร์บรอมครีซอลเพอร์เพิล ปริมาตร 0.01 กรัมต่อลิตร ให้ผลดีที่สุด เมื่อใช้ตัวอย่างน้ำปริมาตร 20 มิลลิลิตร อาหารเลี้ยงเชื้อเปลี่ยนสีจากสีม่วงใสเป็นสีเหลืองขุ่น การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีมาตรฐานและชุดทดสอบของกรมอนามัยโดยใช้ตัวอย่างน้ำ 49 ตัวอย่าง (น้ำอุปโภค 29 ตัวอย่าง ตัวอย่างน้ำบริโภค 20 ตัวอย่าง) พบว่าชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับชุดทดสอบของกรมอนามัยและวิธีมาตรฐาน (AWWA, 2012) โดยจะแสดงผลเป็นบวกเมื่อมีปริมาณโคลิฟอร์มเท่ากับ 2.2 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร ดังนั้นชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการตรวจคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้

Abstract

Coliform bacteria is a microbiological indicator of water quality. However, water samples sometimes cannot be sent for test such bacteria on time. Therefore, the qualitative test kit for coliforms in water was developed as a preliminary investigation. The test kit was developed under the concept that coliform bacteria can use lactose and produce acid and gas within 24-48 hours. It was found that lauryl sulfate broth media at a concentration of 3 times with addition of bromocresol purple 0.01 g/l gave most effective result at 20 ml water sample. Coliform bacteria were detected by the changing of color from clear purple to turbid yellowish-liquid. Detection performance comparing of test kit with standard method (AWWA, 2012) and commercial test kit developed by Department of Health using 49 water samples (29 non-potable water and 20 potable water) showed equal effective and detection limit equal to 2.2 MPN/100 mL of AWWA method. Hence, the test kit can be recommended for detection of presumptive coliform bacteria in potable water in the field.

คำสำคัญ: ชุดทดสอบ โคลิฟอร์ม น้ำ

Keywords: Test kit, Coliforms, Water

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author E-mail address : theera@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

กลุ่มงานจุลชีววิทยา โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพให้บริการตรวจสอบคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาของน้ำอุปโภค/บริโภค การทดสอบน้ำทางด้านจุลชีววิทยานั้นจำเป็นต้องรับทดสอบหลังจากเก็บตัวอย่าง โดยไม่ควรเกิน 12 ชั่วโมง ทำให้บางครั้งไม่สามารถส่งตัวอย่างทดสอบให้ห้องปฏิบัติการได้ทัน อาจมีผลทำให้ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่างผิดพลาดไป นอกจากนี้ยังพบว่าสินค้าประเภทอาหารมีปัญหาเรื่องการปนเปื้อนจุลินทรีย์ ซึ่งอาจมาจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตไม่ได้คุณภาพ การส่งตัวอย่างเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ห้องปฏิบัติการ ต้องใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างส่งห้องปฏิบัติการ ทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น การพัฒนาชุดทดสอบที่ราคาไม่แพง มีวิธีการทดสอบที่ไม่ยุ่งยาก และให้ผลการทดสอบเบื้องต้นมีความน่าเชื่อถือน่าจะเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาก่อนส่งตัวอย่างน้ำไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนาชุดทดสอบเชื้อโคลิฟอร์มและ อี. โคไล ในน้ำบริโภคในนามว่า Colicount โดยใช้เทคนิคการนับจำนวนเชื้อที่เจริญบนกระดาศทดสอบที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ ชุดทดสอบดังกล่าวแม้ว่าจะสามารถให้ทดสอบหาปริมาณเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐานชุดทดสอบที่จำหน่ายในท้องตลาด แต่การผลิตกระดาศทดสอบใช้เทคนิคและขั้นตอนหลายขั้นตอน อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมีราคาแพง ต้องมีอุปกรณ์ประกอบในชุดทดสอบหลายชนิดทำให้มีต้นทุนต่อหน่วยสูง และการผลิตปริมาณมากต้องใช้เวลานาน จึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาชุดทดสอบเชื้อโคลิฟอร์มเบื้องต้นในลักษณะการตรวจพบหรือไม่พบ ซึ่งสามารถให้ข้อมูลเบื้องต้นเพียงพอสำหรับการควบคุมคุณภาพน้ำได้ โดยชุดทดสอบจะต้องมีวิธีการผลิตไม่ยุ่งยาก สามารถผลิตในปริมาณมากได้และต้นทุนต่อหน่วยลดลง

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

- 2.1.1 ขวดแก้วฟาดำมีขีดปริมาตรขนาดปริมาตร 30 มิลลิลิตร
- 2.1.2 หลอดทดลองขนาด 18x180 มิลลิเมตร
- 2.1.3 หลอดทดลองขนาด 16x150 มิลลิเมตร
- 2.1.4 หลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 16x150 มิลลิเมตร
- 2.1.5 หลอดดักแก๊ส
- 2.1.6 เครื่องชั่งไฟฟ้า ชั่งน้ำหนักได้ละเอียด 0.01 กรัม
- 2.1.7 ตู้บ่มเชื้อควบคุมอุณหภูมิที่ 35 ± 1 °C
- 2.1.8 ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิที่ 2-10 °C
- 2.1.9 หม้อนึ่งอัดเชิงควบคุมอุณหภูมิที่ 121 ± 3 °C
- 2.1.10 จานเพาะเชื้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90x150 มิลลิเมตร
- 2.1.11 ปิเปต ขนาด 2 และ 10 มิลลิลิตร
- 2.1.12 ชุดทดสอบ อ 11 ของกรมอนามัย
- 2.1.13 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำปลอดเชื้อ

2.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ สารเคมี

- 2.2.1 ลอริลซัลเฟตบรธ (Lauryl sulfate broth)
- 2.2.2 บริลเลียนกรีนไบล์ 2% บรธ (Brilliant green bile 2% broth)
- 2.2.3 นิวเทรียนบรธ (Nutrient broth, NB)
- 2.2.4 เพลทเค๊าท์อะการ์ (Plate count agar, PCA)
- 2.2.5 บรอมครีซอลเพอร์เพิล (Bromocresol purple)
- 2.2.6 สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) ความเข้มข้นร้อยละ 0.85
- 2.2.7 กลีเซอรอล
- 2.2.8 เอทิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 70

2.3 จุลินทรีย์อ้างอิง

- 2.3.1 เอนเทอโรแบคเตอร์ แอโรจีเนส (Enterobacter aerogenes) ATCC 13048
- 2.3.2 สแตฟีโลค็อกคัส ออเรียส (Staphylococcus aureus) ATCC 25923

2.4 ตัวอย่างน้ำ

- 2.4.1 ตัวอย่างน้ำสำหรับการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ น้ำแข็ง 3 ตัวอย่าง จากกรุงเทพมหานคร
 - 2.4.2 ตัวอย่างน้ำสำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐานและชุดทดสอบกรมอนามัย อ11
- ตัวอย่างน้ำที่นำมาศึกษาจำนวน 49 ตัวอย่าง เก็บจากแหล่งต่างๆ ทั้งในกรุงเทพมหานคร และต่างจังหวัด ดังนี้

1. ตัวอย่างน้ำจากจังหวัดบึงกาฬและจังหวัดหนองคาย จำนวน 20 ตัวอย่าง
2. ตัวอย่างน้ำบาดาล จำนวน 16 ตัวอย่าง
3. น้ำดื่มผ่านเครื่องกรอง เก็บจากกรุงเทพมหานคร จำนวน 6 ตัวอย่าง
4. น้ำแข็งเก็บจากกรุงเทพมหานคร จำนวน 2 ตัวอย่าง
5. น้ำสระว่ายน้ำ จำนวน 2 ตัวอย่าง
6. น้ำดื่มจากตู้หยอดเหรียญเก็บจากกรุงเทพมหานคร จำนวน 3 ตัวอย่าง

2.5 วิธีการทดสอบ

- 2.5.1 การพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ และปริมาตรตัวอย่าง 10/20 มิลลิลิตรที่เหมาะสม

(1) เติร์มอาหารเลี้ยงเชื้อ ลอริลซัลเฟตบรธ 3 ระดับ ความเข้มข้น คือความเข้มข้นปกติ ความเข้มข้น 2 เท่า และความเข้มข้น 3 เท่า เติร์มอินดิเคเตอร์บรอมครีซอลเพอร์เพิล 0.01 กรัมต่อลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วแบ่งบรรจุใส่ขวดแก้วขนาด 30 มิลลิลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 15 นาที ถ้ายังไม่ได้นำไปทดสอบ เก็บอาหารเลี้ยงเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 4-7 °C

- (2) เติร์มตัวอย่างน้ำที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์อ้างอิง

(Spike sample) โดยเติมเชื้อ เอนเทอโรแบคเตอร์ แอโรจีเนส ATCC 13048 (มีความเข้มข้นของเซลล์ประมาณ 100 เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในตัวอย่างน้ำปลอดเชื้อ 19 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายเชื้อความเข้มข้นประมาณ 5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ดังนั้นตัวอย่างน้ำ 20 มิลลิลิตร มีเชื้อ 100 เซลล์ และตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร มีเชื้อ 50 เซลล์

(3) เตรียมตัวอย่างน้ำแข็งที่มีเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ตามธรรมชาติ (natural contaminate sample) ใส่ตัวอย่างน้ำแข็ง 3 ตัวอย่าง และตัวอย่างน้ำที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์อ้างอิงที่เตรียมไว้ตามข้อ 2.4.1(2) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ 20 มิลลิลิตรลงอาหารเลี้ยงเชื้อ ลอริสซัลเฟตบรอกทั้ง 3 ความเข้มข้น นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 °C 24-48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด ตรวจสอบการเจริญของเชื้อโคลิฟอร์มโดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะและสีอาหารเลี้ยงเชื้อ และประเมินผลเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับชุดทดสอบ

2.5.2 การทดสอบเพื่อหาความแม่นยำของชุดทดสอบโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีมาตรฐาน

นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่พัฒนาขึ้นจากข้อ 2.4.1(1) มาทดสอบหาความแม่นยำของชุดทดสอบโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีมาตรฐานโดยการนำผลการทดสอบทั้ง 2 วิธี มาเปรียบเทียบทางสถิติค่า

Relative accuracy = ระดับของความสอดคล้องของผลทดสอบที่ได้จากวิธีมาตรฐาน และวิธีที่พัฒนาในตัวอย่างเหมือนกัน

Relative sensitivity = ความสามารถของวิธีที่พัฒนาในการตรวจพบเชื้อที่ปนเปื้อนในตัวอย่างเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

Relative specificity = ความสามารถในการทดสอบที่พัฒนาในการตรวจตัวอย่างที่ไม่มีเชื้อปนเปื้อนอยู่ได้ถูกต้องเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

$$\text{Relative accuracy} = \frac{(PA+NA)}{N} \times 100, \text{Relative specificity} = \frac{NA}{N-} \times 100, \text{Relative sensitivity} = \frac{PA}{N+} \times 100$$

ใช้ตัวอย่างน้ำอุปโภค/บริโภค 49 ตัวอย่าง ดำเนินการทดสอบ ดังนี้

วิธีมาตรฐาน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed., 2012, Part 9221. วิธีทดสอบมีการดำเนินการ 2 ขั้นตอน ดังนี้

(1) การตรวจขั้น Presumptive Test

เขย่าตัวอย่างน้ำขึ้นลง 25 ครั้ง ระยะห่าง 50 เซนติเมตร เพื่อให้น้ำในขวดมีปริมาณเชื้อกระจายอย่างทั่วถึงเปิดตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร ลงอาหารเลี้ยงเชื้อลอริสซัลเฟตบรอก ความเข้มข้น 2 เท่า ที่มีหลอดดักแก๊ส จำนวน 10 หลอด นำหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อลอริสซัลเฟตบรอก ความเข้มข้น 2 เท่า ไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 °C 24-48 ± 3 ชั่วโมง ตรวจสอบการเจริญโดยสังเกตความขุ่นและการเกิดแก๊สในหลอดดักแก๊ส 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง นับจำนวนหลอดที่ให้ผลบวก คือหลอดที่ขุ่นและเกิดแก๊ส

(2) การตรวจขั้น Confirmed Test

ถ่ายเชื้อจากหลอดที่ให้ผลบวกจากขั้น Presumptive Test จำนวน 1 loop ลงอาหารเลี้ยงเชื้อบิลเลียนกรีน ไบส์ 2% บรอก ที่มีหลอดดักแก๊สอยู่ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 °C 24-48 ± 3 ชั่วโมง ตรวจสอบการเจริญโดยสังเกตความขุ่นและการเกิดแก๊สในหลอดดักแก๊ส 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง นับจำนวนหลอดที่ให้ผลบวก คือหลอดที่ขุ่นและเกิดแก๊ส นำมาหาค่า เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตรโดยการเปิดตาราง เอ็มพีเอ็น แบบ 10 หลอด

2.5.3 การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอาหารเลี้ยงเชื้อที่พัฒนาขึ้นกับวิธีทดสอบชุดทดสอบ อ 11 ของกรมอนามัย

(1) วิธีทดสอบ อ 11 เติมน้ำตัวอย่างลงในขวดจนถึงขีดที่ 4 ของขวด อย่าให้ภาชนะใส่ตัวอย่างน้ำโดนปากขวดอาหารเลี้ยงเชื้อโดยให้อยู่ห่างจากปากขวดประมาณ 1 เซนติเมตร หมุนเกลียวฝาให้แน่นอีกครั้งหนึ่ง หมุนขวดเป็นวงกลมๆ ให้อาหารตรวจเชื้อ อ 11 ผสมกับตัวอย่างน้ำให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

การอ่านและรายงานผล

- ถ้าอาหารเลี้ยงเชื้อเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลืองภายใน 24-48 ชั่วโมง แสดงว่าพบโคลิฟอร์ม
- ถ้าอาหารเลี้ยงเชื้อยังคงเป็นสีแดงหรือจางลงเล็กน้อย แสดงว่าไม่พบโคลิฟอร์ม

(2) วิธีทดสอบชุดทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนา

เทน้ำตัวอย่างน้ำปริมาตร 20 มิลลิลิตรจนถึงขีดที่ 5 ของขวด ปิดฝาให้แน่นเขย่าขวดอาหารเลี้ยงเชื้อขึ้นลงเบาๆ ให้อาหารเลี้ยงเชื้อผสมกับตัวอย่างน้ำให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและ 35 °C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

การอ่านและรายงานผล

- ถ้าอาหารเลี้ยงเชื้อเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเหลืองภายใน 24-48 ชั่วโมง แสดงว่าพบโคลิฟอร์ม
- ถ้าอาหารเลี้ยงเชื้อยังคงเป็นสีม่วงหรือจางลงเล็กน้อย แสดงว่าไม่พบโคลิฟอร์ม

ชุดทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนา เป็นชุดทดสอบภาคสนามสำหรับตรวจเชื้อโคลิฟอร์มแบบพบและไม่พบ หนึ่งชุด ประกอบด้วย 1.ขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ 2.แอลกอฮอล์ ร้อยละ 70 3.สำลี 4.คู่มือการใช้งานชุดทดสอบ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชุดทดสอบโคลิฟอร์มที่กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนา

2.5.4 วิธีทดสอบอายุการเก็บของอาหารเลี้ยงเชื้อที่พัฒนาขึ้น เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อลอริลซัลเฟต บรอก ความเข้มข้น 3 เท่า จำนวน 25 ขวด เก็บรักษาอาหารทดสอบไว้ที่อุณหภูมิ 4-7 °C เมื่อครบกำหนด 30, 60, 90, 120 และ 180 วัน นำมาทดสอบประสิทธิภาพของอาหารเลี้ยงเชื้อครั้งละ 5 ขวด นำเชื้อ เอนเทอโรแบคเตอร์ แอโรจีเนส ATCC 13048 ที่มีความเข้มข้นของเซลล์อยู่ในช่วง 100 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -80 °C ออกมาทดสอบ ปิเปต มา 1 มิลลิลิตรใส่น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ 19 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำตัวอย่างน้ำ ใส่ขวดอาหารเลี้ยงเชื้อนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจสอบการเจริญของโคลิฟอร์มโดยดูความขุ่นและการเปลี่ยนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อจากสีม่วงเป็นสีเหลือง

3. ผลและวิจารณ์ (Result and Discussion)

3.1 การพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อชุดทดสอบ

ในการทดสอบเพื่อหาความเข้มข้นของอาหารเลี้ยงเชื้อลอริลซัลเฟตบรอกที่เหมาะสมกับปริมาณตัวอย่างน้ำโดยอาศัยสมบัติของโคลิฟอร์มที่จะทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อขุ่นเนื่องจากการเจริญของโคลิฟอร์มและเปลี่ยนสีอาหารเลี้ยงเชื้อจากสีม่วงเป็นสีเหลืองขุ่น พบว่าในการทดสอบตัวอย่างน้ำแข็งทั้ง 3 ตัวอย่างให้ผลเหมือนกัน คือ เมื่อใส่น้ำแข็งปริมาณ 10 มิลลิลิตร จะไม่พบเปลี่ยนแปลงของอาหารเลี้ยงเชื้อความเข้มข้นปกติ แต่จะทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อความเข้มข้น 2 เท่า และ 3 เท่า เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเหลืองขุ่น ดังแสดงในตารางที่ 1

ในการทดสอบเพื่อหาความเข้มข้นของอาหารเลี้ยงเชื้อลอริลซัลเฟตบรอก ที่เหมาะสมกับปริมาณตัวอย่างน้ำที่มีการเติมจุลินทรีย์อ้างอิง (Spike sample) เอนเทอโรแบคเตอร์ แอโรจีเนส ATCC 13084 ทั้ง 3 ตัวอย่างก็ให้ผลเช่นกันเดียวกับตัวอย่างน้ำแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 2

จากการทดลองนี้พบว่าสัดส่วนอาหารเลี้ยงเชื้อลอริลซัลเฟตบรอกความเข้มข้น 3 เท่า 10 มิลลิลิตรต่อปริมาณตัวอย่างน้ำ 20 มิลลิลิตร จะให้ผลการทดสอบที่ชัดเจนกว่าระดับความเข้มข้นและปริมาตรตัวอย่างอื่น จึงสรุปใช้สัดส่วนนี้ในการศึกษาประสิทธิภาพของ

ชุดทดสอบต่อไป

3.2 การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ชุดทดสอบของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในกลุ่มน้ำอุปโภค 29 ตัวอย่าง พบเชื้อโคลิฟอร์ม 10 ตัวอย่าง แบ่งเป็น น้ำดิบ 8 ตัวอย่าง น้ำบาดาล 1 ตัวอย่าง น้ำสระว่ายน้ำ 1 ตัวอย่าง ในกลุ่มน้ำบริโภค 20 ตัวอย่าง พบเชื้อโคลิฟอร์ม 8 ตัวอย่าง แบ่งเป็น น้ำผ่านเครื่องกรอง 4 ตัวอย่าง น้ำตู้หยอดเหรียญ 2 ตัวอย่าง และน้ำแข็ง 2 ตัวอย่าง และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานซึ่งแสดงผลเป็นค่าเอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร ของตัวอย่างน้ำ พบว่าตัวอย่างน้ำที่ใช้ชุดทดสอบของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ให้ผลเป็นบวกจะมีค่าเอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร ในช่วง 2.2 ถึง มากกว่า 23 และจะให้ผลเป็นลบในช่วง เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร ตั้งแต่ค่า น้อยกว่า 1.1 ถึง 1.1 แสดงให้เห็นว่าชุดทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนาขึ้นมีค่าต่ำสุดที่ทดสอบได้อยู่ที่ 2.2 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มระหว่างอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 35 °C พบว่าการบ่มที่อุณหภูมิ 35 °C จะให้ผลปฏิกิริยาที่เร็วกว่าบ่มที่อุณหภูมิห้อง โดยการบ่มที่อุณหภูมิ 35 °C จะให้ผลบวกภายใน 24 ชั่วโมง ส่วนการบ่มที่อุณหภูมิห้องอาจต้องใช้เวลา 48 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4

จากข้อมูลการทดลอง 49 ตัวอย่าง หาค่าความแม่นยำของวิธีทางเลือกเปรียบเทียบกับวิธีอ้างอิง เมื่อกำหนดให้ผลการทดสอบโดยวิธีมาตรฐาน มีค่าเอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร น้อยกว่า 1.1 เป็นผลลบ และค่าเอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร ตั้งแต่ 1.1 ถึง มากกว่า 23 เป็นผลบวก วิธีมาตรฐานให้ผลบวก 18 ตัวอย่าง ให้ผลลบ 31 ตัวอย่าง ส่วนชุดทดสอบที่พัฒนาให้ผลบวก 17 ตัวอย่าง ให้ผลลบ 32 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 3

นำข้อมูลมาคำนวณหาค่าทางสถิติเพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นตามมาตรฐาน ISO/IEC 16140 : 2003 โดยการหาค่า Relative accuracy, Relative specificity, และค่า Relative sensitivity ดังนี้

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบผลการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อชุดทดสอบใช้ตัวอย่างน้ำแข็ง (Natural contaminate sample)

น้ำแข็ง	ระดับความเข้มข้นของอาหารเลี้ยงเชื้อลอริลซัลเฟตบรอท	ปริมาตรน้ำแข็ง 10 มล.		ปริมาตรน้ำแข็ง 20 มล.	
		ลักษณะ	การเปลี่ยนสี	ลักษณะ	การเปลี่ยนสี
ตัวอย่าง 1	ความเข้มข้นปกติ	ใส	ไม่เปลี่ยน	ใส	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 2 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 3 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	เปลี่ยน
ตัวอย่าง 2	ความเข้มข้นปกติ	ใส	ไม่เปลี่ยน	ใส	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 2 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 3 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	เปลี่ยน
ตัวอย่าง 3	ความเข้มข้นปกติ	ใส	ไม่เปลี่ยน	ใส	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 2 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 3 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	เปลี่ยน

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบผลการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อชุดทดสอบใช้ตัวอย่าง Spike sample

ตัวอย่างที่เติมเชื้อ	ระดับความเข้มข้นของอาหารเลี้ยงเชื้อลอริลซัลเฟตบรอท	ปริมาตรน้ำแข็ง 10 มล.		ปริมาตรน้ำแข็ง 20 มล.	
		ลักษณะ	การเปลี่ยนสี	ลักษณะ	การเปลี่ยนสี
ตัวอย่าง 1	ความเข้มข้นปกติ	ใส	ไม่เปลี่ยน	ใส	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 2 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 3 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	เปลี่ยน
ตัวอย่าง 2	ความเข้มข้นปกติ	ใส	ไม่เปลี่ยน	ใส	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 2 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 3 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	เปลี่ยน
ตัวอย่าง 3	ความเข้มข้นปกติ	ใส	ไม่เปลี่ยน	ใส	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 2 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	ไม่เปลี่ยน
	ความเข้มข้น 3 เท่า	ขุ่น	เปลี่ยน	ขุ่น	เปลี่ยน

ตารางที่ 3 ตารางผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน (AWWA 22nd ed., 2012, Part 9221) เพื่อตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี

ตัวอย่างที่	ชุดทดสอบที่พัฒนา	วิธีมาตรฐาน	ตัวอย่างที่	ชุดทดสอบที่พัฒนา	วิธีมาตรฐาน
1	-	-	26	-	-
2	-	-	27	-	-
3	+	+	28	-	-
4	-	-	29	+	+
5	+	+	30	+	+
6	-	-	31	-	-

ตารางที่ 3 ตารางผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน (AWWA 22nd ed., 2012, Part 9221) เพื่อตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ชุดทดสอบที่พัฒนา	วิธีมาตรฐาน	ตัวอย่างที่	ชุดทดสอบที่พัฒนา	วิธีมาตรฐาน
7	-	-	32	+	+
8	-	-	33	-	-
9	+	+	34	-	-
10	-	-	35	-	-
11	+	+	36	-	-
12	-	-	37	-	-
13	+	+	38	-	-
14	+	+	39	-	-
15	+	+	40	-	-
16	-	-	41	-	-
17	+	+	42	-	-
18	-	-	43	-	-
19	+	+	44	-	-
20	-	-	45	-	-
21	+	+	46	-	-
22	-	-	47	-	-
23	-	+	48	+	+
24	+	+	49	+	+
25	+	+			

วิธีทางเลือก (Alternative method)	วิธีมาตรฐาน (Reference method)		
	+	-	Total
+	PA (17)	PD (1)	18
-	ND (1)	NA (30)	31
Total	N_+ (18)	N_- (31)	N (49)

เมื่อ PA = ผลการทดสอบของวิธีที่พัฒนาและวิธีมาตรฐานที่ให้ผลการทดสอบเป็นบวกเหมือนกัน

NA = ผลการทดสอบของวิธีที่พัฒนาและวิธีมาตรฐานที่ให้ผลการทดสอบเป็นลบเหมือนกัน

PD = ผลการทดสอบของวิธีที่พัฒนาที่ให้ผลบวก ที่เบี่ยงเบนไปจากวิธีมาตรฐานที่ให้ผลการทดสอบเป็นลบ หรือเรียกว่า false positive

ND = ผลการทดสอบของวิธีที่พัฒนาที่ให้ผลลบ ที่เบี่ยงเบนไปจากวิธีมาตรฐานที่ให้ผลการทดสอบเป็นบวก หรือเรียกว่า false negative

N = จำนวนตัวอย่างที่ศึกษาทั้งหมด ($NA + PA + PD + ND$)

N_- = จำนวนตัวอย่างที่ให้ผลลบทั้งหมดด้วยวิธีมาตรฐาน ($NA + PD$)

N_+ = จำนวนตัวอย่างที่ให้ผลบวกทั้งหมดด้วยวิธีมาตรฐาน ($PA + ND$)

นำผลการทดสอบของทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบทางสถิติเพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีของชุดทดสอบดูค่า Relative accuracy, Relative specificity และ Relative sensitivity ดังนี้

$$\text{Relative accuracy} = \frac{(PA+NA)}{N} \times 100 = \frac{(17+31)}{49} \times 100 = 97.95$$

$$\text{Relative specificity} = \frac{NA}{N-} \times 100 = \frac{31}{31} \times 100 = 100$$

$$\text{Relative sensitivity} = \frac{PA}{N+} \times 100 = \frac{17}{18} \times 100 = 94.44$$

Relative accuracy = ระดับของความสอดคล้องของผลทดสอบที่ได้จากวิธีมาตรฐาน และวิธีที่พัฒนาในตัวอย่างเหมือนกัน

Relative sensitivity = ความสามารถของวิธีที่พัฒนาในการตรวจพบเชื้อที่ปนเปื้อนในตัวอย่างเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

Relative specificity = ความสามารถในการทดสอบที่พัฒนาในการตรวจตัวอย่างที่ไม่มีเชื้อปนเปื้อนอยู่ได้ถูกต้องเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

สรุป จากข้อมูลการทดลอง 49 ตัวอย่าง นำมาคำนวณหาค่าทางสถิติ ตรวจสอบความแม่นยำ ค่าความแม่นยำของวิธีทางเลือกเปรียบเทียบกับวิธีอ้างอิง หาค่า Relative accuracy ได้ 97.95% ค่า Relative specificity ได้ 100% และค่า Relative sensitivity ได้ 94.44% ทั้ง 3 ค่า มีค่าเกิน 70% แสดงว่าชุดทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนาขึ้นมีความแม่นยำไม่ต่างจากวิธีทดสอบมาตรฐาน

3.3 การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นกับวิธีทดสอบชุดทดสอบ อ 11 ของกรมอนามัย

ในการศึกษาชุดทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับชุดทดสอบของกรมอนามัย อ11 พบว่าให้ผลสอดคล้องกันทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันจึงสรุปได้ว่า ชุดทดสอบโคลิฟอร์มในน้ำอุปโภค/บริโภคที่กรมวิทยาศาสตร์บริการพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับชุดทดสอบที่มีจำหน่ายในท้องตลาดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางการทดสอบเพื่อหาความแม่นยำของชุดทดสอบโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับกับวิธีมาตรฐานและและเปรียบเทียบกับชุดทดสอบ อ 11 ของกรมอนามัย

ตัวอย่าง	ชื่อตัวอย่าง	วิธีมาตรฐาน (MPN/100 ml)	ชุดทดสอบ อ.11	ชุดทดสอบ วศ. 24-48 ชม.			
				บ่มอุณหภูมิห้อง		บ่มอุณหภูมิ 35°C	
				24 ชม	48 ชม	24 ชม	48 ชม
1	น้ำดิบก่อนเข้าเครื่องกรอง ตัวอย่าง 1	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
2	น้ำผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 2	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
3	น้ำดิบก่อนเข้าเครื่องกรอง ตัวอย่าง 3	>23	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
4	น้ำผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 4	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
5	น้ำดิบก่อนเข้าเครื่องกรอง ตัวอย่าง 5	5.1	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ
6	น้ำผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 6	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
7	น้ำดิบก่อนเข้าเครื่องกรอง ตัวอย่าง 7	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
8	น้ำผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 8	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
9	น้ำดิบก่อนเข้าเครื่องกรอง ตัวอย่าง 9	23	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ

ตัวอย่าง	ชื่อตัวอย่าง	วิธีมาตรฐาน (MPN/100 ml)	ชุดทดสอบ อ.11	ชุดทดสอบ วศ. 24-48 ชม.			
				บ่มอุณหภูมิห้อง		บ่มอุณหภูมิ 35°C	
				24 ชม	48 ชม	24 ชม	48 ชม
10	น้ำผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 10	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
11	น้ำดิบก่อนผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 11	23	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
12	น้ำผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 12	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
13	น้ำดิบก่อนเข้าเครื่องกรอง ตัวอย่าง 13	6.9	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ
14	น้ำผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 14	5.1	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ
15	น้ำดิบก่อนเข้าเครื่องกรอง ตัวอย่าง 15	>23	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
16	น้ำผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 16	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
17	น้ำดิบก่อนเข้าเครื่องกรอง ตัวอย่าง 17	6.9	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ
18	น้ำผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 18	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
19	น้ำดิบก่อนเข้าเครื่องกรอง ตัวอย่าง 19	23	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
20	น้ำผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 20	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
21	น้ำดื่มผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 21	2.2	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ
22	น้ำดื่มผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 22	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
23	น้ำดื่มผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 23	1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
24	น้ำแข็ง ตัวอย่าง 24	12	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
25	น้ำดื่มผ่านเครื่องกรอง ตัวอย่าง 25	16	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
26	น้ำกลั่น ตัวอย่าง 26	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
27	น้ำกลั่น ตัวอย่าง 27	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
28	น้ำดื่มตู้หยอดเหรียญ ตัวอย่าง 28	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

ตัวอย่าง	ชื่อตัวอย่าง	วิธีมาตรฐาน (MPN/100 ml)	ชุดทดสอบ อ.11	ชุดทดสอบ วศ. 24-48 ชม.			
				บ่มอุณหภูมิห้อง		บ่มอุณหภูมิ 35°C	
				24 ชม	48 ชม	24 ชม	48 ชม
29	น้ำแข็ง ตัวอย่าง 29	23	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
30	น้ำสระว่ายน้ำ ตัวอย่าง 30	>23	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
31	น้ำสระว่ายน้ำ ตัวอย่าง 31	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
32	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 32	>23	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
33	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 33	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
34	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 34	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
35	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 35	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
36	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 36	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
37	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 37	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
38	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 38	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
39	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 39	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
40	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 40	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
41	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 41	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
42	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 42	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
43	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 43	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
44	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 44	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
45	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 45	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
46	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 46	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
47	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 47	<1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
48	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 48	3.6	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ
49	น้ำบาดาล ตัวอย่าง 49	9.2	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ

3.4 วิธีทดสอบอายุการเก็บของอาหารเลี้ยงเชื้อที่พัฒนาขึ้น

ในการศึกษาผลการทดสอบอายุการเก็บของอาหารทดสอบที่พัฒนาขึ้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4-7 °C เป็นเวลา 30, 60, 90, 120 และ 180 วัน พบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อยังมีสีม่วงใส ไม่มีตะกอน และเมื่อนำตัวอย่างน้ำที่มีการ spike ด้วยเชื้อ เอนเทอโรโรแบคเตอร์ แอโรจีเนส ATCC 13048 มาทดสอบ พบว่า อาหารเลี้ยงเชื้อยังให้ผลการทดสอบเป็นบวก คือ มีการเปลี่ยนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อจากสีม่วงเป็นสีเหลือง จึงสรุปได้ว่าอาหารเลี้ยงเชื้อโคลิฟอร์มที่พัฒนานี้มีอายุการเก็บได้ถึง 180 วัน เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4-7 °C ดังรูปที่ 2



A



B

รูปที่ 2 อาหารเลี้ยงเชื้อเปลี่ยนสีจากสีม่วง (ไม่เติมเชื้อ)
เป็นสีเหลือง (เติมเชื้อ)

4. สรุป (Conclusion)

ผลจากการศึกษาพัฒนาชุดทดสอบเชื้อโคลิฟอร์มเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยาทำให้ได้ชุดทดสอบสำเร็จรูปเหมาะสมสำหรับการตรวจสอบโคลิฟอร์มที่สามารถใช้งานได้สะดวก ราคาไม่แพง วิธีทดสอบที่ไม่ยุ่งยาก การอ่านและวิเคราะห์ผลเข้าใจง่ายและให้ผลเบื้องต้นที่น่าเชื่อถือ สามารถอ่านผลได้ใน 24-48 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพในการทดสอบเชื้อโคลิฟอร์มเทียบเท่าวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ และชุดทดสอบที่จำหน่ายทางการค้า

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ คุณนงนุช เมธิยนต์พิริยะ ผู้อำนวยการโครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ และดร.สุพรรณิ เทพอรุณรัตน์ หัวหน้ากลุ่มงานจุลชีววิทยา ดร.ขรรณี ตัญเต็มวงศ์ ภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยให้คำปรึกษา แนะนำ และสนับสนุนการทำงานวิจัยครั้งนี้ด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่กลุ่มงานจุลชีววิทยาที่สนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 พ.ศ. 2524. เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท. *ราชกิจจานุเบกษา*. 2524, 98(157), 52-56.
- [2] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 พ.ศ. 2534. เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท. *ราชกิจจานุเบกษา*. 2534, 107(61), 3401-3042.
- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค. *มอก.* 257-2549.
- [4] *แบคทีเรียโคลิฟอร์ม*. [ออนไลน์]. 2556. เข้าถึงจาก: <https://th.wikipedia.org/wiki/แบคทีเรียโคลิฟอร์ม>
- [5] FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. *Bacteriological Analytical Manual Chapter 4: Enumeration of Escherichia coli and the Coliform Bacteria*. (online). 2002. [viewed 23 october 2013]. Available from: <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm064948.htm>.
- [6] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/IEC 9308-2. *Water quality - Enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria -- Part 2: Most probable number method*. 2012.
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/IEC 11133. *Microbiology of food, animal feed and water – Preparation, production, storage and performance testing of culture media*. 2014.
- [8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/IEC 16140. *Microbiology of food and animal feeding stuffs -- Protocol for the validation of alternative methods*. 2003.
- [9] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/IEC 17381. *Water quality -- Selection and application of ready-to-use test kit methods in water analysis*. 2003.
- [10] MELITA, S., A. NICHOLAS and C. DAVID. *Review of coliform as microbial indicators of drinking water quality*. Australia: NHMRC Publications. 2003.
- [11] SAHIFA. *ชุดทดสอบโคลิฟอร์มแบคทีเรีย SI Medium*. [ออนไลน์]. 2010. เข้าถึงจาก: <http://www.highents.com/blog/2010/02/ชุดตรวจสอบเชื้อโคลิฟอร์ม>.
- [12] ODONKOR, Stephen T., and AMPOFO, Joseph K. *Escherichia coli as an indicator of bacteriological quality of water: an overview*. *Microbiology Research*. 2013, 4(2), pp. 5-11.
- [13] ZAKIR, H.S.M., et al. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, APHA, AWWA & WEF, 22nd ed. 2012, part 9221.

อัตราการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร ในถ่านชีวภาพ

The survival of agricultural microorganisms in biochar

10

สุวรรณี แทนธานี^{1*} และสายจิต ดาวสุโข¹
Suwannee Thaenthanee^{1*} and Saijit Daosukho¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อระบุสายพันธุ์จุลินทรีย์ทางการเกษตรที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานร่วมกับถ่านชีวภาพ โดยได้ศึกษาอัตราการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus subtilis* TISTR 008, *Azotobacter vinelandii* TISTR 1096, *Pseudomonas fluorescens* TISTR 358 และ *Trichoderma harzianum* TISTR 3553 ที่ผสมในวัสดุรองรับที่มีส่วนผสมของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน และโปรตีนเกษตร (ผลิตจากถั่วเหลือง) ในอัตราส่วนต่างๆ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน โดยติดตามการคงอยู่ของจุลินทรีย์ในวัสดุแต่ละสูตรทุกวัน พบว่าวัสดุรองรับที่มีส่วนผสมของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน มีความเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญบนวัสดุรองรับสูตรนี้ได้ทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ *B. subtilis* TISTR 008 และ *T. harzianum* TISTR 3553 ซึ่งสามารถเจริญและมีชีวิตอยู่รอดได้มากกว่า 10^4 CFU/ml และยังมีแนวโน้มของอัตราการอยู่รอดของเชื้อต่อไปได้ภายหลังจากครบกำหนดการทดลอง 14 วัน

Abstract

This research aims the identity the agricultural microbes that could be survived in the biochar. Four species, *Bacillus subtilis* TISTR 008, *Azotobacter vinelandii* TISTR 1096, *Pseudomonas fluorescens* TISTR 358, and *Trichoderma harzianum* TISTR 3553, were studied. The microbes were grown and mixed with the support materials made from soybean protein and biochar at different ratios. The inoculated support materials were kept at 30 °C for 14 days, and were investigated for the survival of microbes every day. The result showed that the support material made from biochar is suitable for 2 types of microbes, *B. subtilis* TISTR 008 and *T. harzianum* TISTR 3553, which tended to survive after day 14 of the experiment.

คำสำคัญ: เชื้อจุลินทรีย์ทางการเกษตร ถ่านชีวภาพ การอยู่รอด บาซิลลัส ซับทิลิส ไตรโคเดอร์มา ฮาร์เซียนัม

Keywords: Agricultural microbes, Biochar, Survival, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author E-mail address : suwannee@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

การค้นพบดินเทรรา เปเรตา (Terra preta) เป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นถึงการใช่อ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินมาอย่างยาวนาน ในบริเวณที่ราบลุ่มอะเมซอน โดยคนพื้นเมืองชาวอินเดียนก่อน ได้ผลิตถ่านแล้วใส่ลงในแปลงดินขนาด 1-80 เฮกตาร์ ดินดังกล่าวมีลักษณะเด่นคือเป็นดินสีดำและเมื่อนำมาวิเคราะห์พบว่ามีส่วนที่เป็นคาร์บอนสีดำอยู่มากกว่าร้อยละ 30 รวมทั้งมีธาตุอาหารพืชอยู่สูง มีการอุ้มน้ำที่ดี มีค่า pH สูงและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง (cation exchange capacity : CEC) จึงทำให้ดินบริเวณดังกล่าวมีความสมบูรณ์สูงกว่าดินที่อยู่บริเวณข้างเคียง จากการศึกษาในลำดับต่อมาทราบว่าลักษณะดังกล่าวเกิดจากการทำปฏิกิริยาจนได้เม็ดดินจุลภาค (microaggregates) ซึ่งมีส่วนประกอบของอินทรียสาร อนุภาคดิน ทราย อาหารปรุงสุกที่ย่อยสลายแล้ว และกลุ่มจุลินทรีย์ [1]

ถ่านชีวภาพ หรือไบโอชาร์ (biochar) เป็นวัสดุที่ได้จากการให้ความร้อนแก่วัสดุชีวภาพ ในสภาวะไร้อากาศที่อุณหภูมิสูง หรือที่เรียกว่ากระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ทำให้ได้สารที่มีคาร์บอนสูง มีรูพรุน และมีความเสถียรเมื่ออยู่ในดินเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากถ่านชีวภาพเป็นคาร์บอนที่มีความทนทานต่อการย่อยสลายและสูญหายไปจากดินได้ยาก มีความหมายต่างจากถ่านทั่วไป (charcoal) ตรงจุดมุ่งหมายการใช้ประโยชน์ ถ่านทั่วไปจะหมายถึงถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ขณะที่ถ่านชีวภาพคือถ่านที่ใช้ประโยชน์เพื่อกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน ช่วยปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน และยังช่วยลดภาวะโลกร้อนด้วยการสะสมคาร์บอนให้อยู่ในดินแทนที่จะถูกเผาเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ ถ่านชีวภาพมีสมบัติในการเป็นวัสดุปรับปรุงดิน (soil amendment) ช่วยให้เกิดความพรุนของเนื้อดิน ทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำและอากาศได้ดี ทำให้ดินเหนียวเมื่อแห้งไม่แตกกระแหง และลดความเป็นกรดของดิน อีกทั้งยังช่วยดูดซับธาตุอาหารและแร่ธาตุให้แก่พืช กระตุ้นการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในดิน รูพรุนของถ่านชีวภาพสามารถเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดินได้ ส่งผลให้พืชที่ปลูกด้วยดินผสมถ่านชีวภาพมีอัตราการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่สูงกว่าพืชที่ปลูกในดินปกติหรือปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยเคมี [2, 3, 4]

ในสภาพธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์จะมีอินทรียสารซึ่งอยู่ในรูปของใบไม้หรือซากพืชซากสัตว์อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ให้แปรสภาพเป็นธาตุอาหารเป็นประโยชน์ต่อพืช จุลินทรีย์มีทั้งประเภทที่เป็นประโยชน์และประเภทที่ก่อโรค จึงได้มีผู้คัดเลือกจุลินทรีย์ที่ดีสำหรับใช้ในทางการเกษตรเพื่อส่งเสริมให้มีจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์เป็นจำนวนมากกว่าจุลินทรีย์ก่อโรค จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อการทำเกษตรกรรมมีอยู่หลายชนิด เช่น กลุ่มของไรโซแบคทีเรียช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชหรือพืชที่อาศัยพึ่งพิง ได้แก่ *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Variovorax*, *Klebsiella*, *Burkholderia*, *Azospirillum*, *Serratia* และ *Azotobacter* เชื้อกลุ่มดังกล่าวจะอยู่รอบรากพืชและมีสมบัติที่

ดีต่อพืชคือ เป็นปุ๋ยชีวภาพโดยการตรึงไนโตรเจน สร้างฮอร์โมนพืช และควบคุมศัตรูพืช นอกจากนี้การครอบครองรากพืชของจุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Trichoderma* และ *Pseudomonas* ทำให้เกิดการกระตุ้นให้พืชมีภูมิคุ้มกัน (Induced Systemic Resistance; ISR) [5] หลักการสำคัญในการใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์คือ ควรมีการใช้ซ้ำในพื้นที่เดิมจนกระทั่งเชื้อก่อโรคลดจำนวนลง จึงหยุดใช้ อย่างไรก็ตามการใส่จุลินทรีย์ลงดินโดยตรงต้องใช้ในปริมาณมาก จึงทำให้สิ้นเปลืองและอาจไม่ได้ผล เนื่องจากจุลินทรีย์ตายหรือถูกชะออกไปจากบริเวณที่ใส่ การใช้จุลินทรีย์ร่วมกับถ่านชีวภาพ จึงนับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงสภาพของดินทั้งในแง่ของสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพไปพร้อมกัน อีกทั้งถ่านชีวภาพซึ่งมีรูพรุนสูง จึงน่าจะเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ได้ จุลินทรีย์ที่ต่างชนิดกัน ย่อมมีสมบัติและความสามารถในการปรับตัวที่แตกต่างกัน ในการทดลองนี้ เป็นการศึกษาความสามารถในการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตรจำนวน 4 ชนิด ในวัสดุรองรับที่มีส่วนผสมของถ่านชีวภาพ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาวัสดุปรับปรุงบำรุงดินเพื่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรต่อไป โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อการระบุสายพันธุ์ที่เหมาะสมอันเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุปรับปรุง

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ผลิตถ่านจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นวัสดุรองรับ

ผลิตถ่านจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ทุเรียน และกล้วย โดยนำไปเลือกผลไม้สดมาตัดให้เป็นชิ้นขนาดเล็กๆ นำไปตากเป็นเวลา 4 ถึง 5 วัน จนแห้งสนิท ชั่งน้ำหนักเปลือกแห้งเผาเปลือกผลไม้โดยใช้เตาเผาถ่านขนาด 50 ลิตร เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมงทิ้งไว้ในเตาเผาจนกว่าจะเย็น ชั่งน้ำหนักถ่านชีวภาพที่ได้และคำนวณร้อยละของผลผลิตที่ได้ (%Yield) โดยใช้สูตร

$$\% \text{ Yield} = \frac{(\text{มวลของชีวมวลหลังเผา})}{(\text{มวลของชีวมวลก่อนเผา})} \times 100$$

2.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมีของถ่านชีวภาพ

2.2.1 การบดและคัดแยกขนาดถ่านชีวภาพ

นำถ่านชีวภาพที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดแบบ Hammer Mill และคัดแยกขนาดด้วยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 2, 8, 12, 16, 50, และ 80 เพื่อแยกขนาดและจัดเก็บ

2.2.2 วิเคราะห์หาปริมาณธาตุโพแทสเซียมของถ่านชีวภาพ

วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำของถ่านชีวภาพ โดยการชั่งน้ำหนักถ่านชีวภาพที่บดแล้ว จำนวน 5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง เติมน้ำกลั่นโดยการดูดของเหลวที่กรองได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น และเจือจางต่อโดยใช้ดูดของเหลวที่เจือจางมาแล้วปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวด Volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น วิเคราะห์หา

ปริมาณโพแทสเซียมโดยใช้ Atomic absorption spectrophotometer เทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมที่มีความเข้มข้น 1, 3, 5 และ 7 ppm ถ่านแต่ละชนิดทำซ้ำ 3 ครั้ง

2.2.3 การทดสอบหาค่า pH ของถ่านชีวภาพ

การทดสอบค่า pH ของถ่านชีวภาพโดยการชั่งถ่านชีวภาพที่บดแล้ว จำนวน 5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนเป็นครั้งคราวเพื่อให้ถ่านชีวภาพกระจายทั่ว ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง นำส่วนใสไปวัดค่า pH ถ่านแต่ละชนิดทำซ้ำ 3 ครั้ง

2.3 ศึกษาอัตราการย่อยของเชื้อจุลินทรีย์ในวัสดุรองรับ

2.3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์

จัดหาเชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์อ้างอิง จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยคัดเลือกเชื้อในการศึกษาครั้งนี้ จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus subtilis* TISTR 008, *Azotobacter vinelandii* TISTR 1096, *Pseudomonas fluorescens* TISTR 358 และ *Trichoderma harzianum* TISTR 3553 นำมาเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ตามวิธีที่ระบุไว้บนฉลาก เพื่อตรวจดูลักษณะโคโลนี การปนเปื้อน และสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญของเชื้อแต่ละสายพันธุ์ ทั้งในอาหารแข็งและอาหารเหลวเพื่อให้ได้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมแก่การนำไปทดสอบกับวัสดุรองรับผสมถ่านชีวภาพ

2.3.2 ศึกษาอัตราการย่อยของเชื้อจุลินทรีย์ในวัสดุรองรับ จัดเตรียมวัสดุรองรับที่ประกอบด้วย โปรตีนเกษตร และถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ อบ และบดละเอียด โดยผสมในอัตราส่วนต่างๆ จำนวน 6 สูตร ดังนี้

- สูตรที่ 1 : ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนผสมโปรตีนเกษตร ในอัตราส่วน 1 : 0
- สูตรที่ 2 : ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนผสมโปรตีนเกษตร ในอัตราส่วน 1 : 1
- สูตรที่ 3 : ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนผสมโปรตีนเกษตร ในอัตราส่วน 1 : 3
- สูตรที่ 4 : ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนผสมโปรตีนเกษตร ในอัตราส่วน 1 : 5
- สูตรที่ 5 : ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนผสมโปรตีนเกษตร ในอัตราส่วน 0 : 1

แบ่งวัสดุรองรับใส่ในขวดเพาะเลี้ยงที่ฆ่าเชื้อแล้ว ขวดละ 100 กรัม จากนั้นดำเนินการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ทั้ง 4 สายพันธุ์โดยใช้อาหารเหลวในสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้ *A. vinelandii* TISTR 1096 เพาะเลี้ยงในอาหาร Jensen's broth (JSB) *B. subtilis* TISTR 008 และ *P. fluorescens* TISTR 358 เพาะเลี้ยงในอาหาร Nutrient Broth (NB) และ *T. harzianum* TISTR 3553 เพาะเลี้ยงในอาหาร Potato dextrose broth (PDB) ทุกสายพันธุ์เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที ยกเว้น *B. subtilis* TISTR 008 เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า

150 รอบต่อนาที (ตารางที่ 5) เมื่อครบเวลา เจือจางเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสารละลาย Butterfield's phosphate buffer pH 7.2 ให้มีปริมาณเชื้อ 10^3 - 10^4 CFU/ml ผสมเชื้อที่เจือจางแล้วปริมาตร 60 มิลลิลิตร ลงในวัสดุรองรับ 5 สูตร ใส่เชื้อแต่ละชนิดแยกกัน เชื้อแต่ละชนิดทำซ้ำ 2 ซ้ำ คลุกผสมเชื้อกับวัสดุรองรับให้ทั่ว บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน และสุ่มเก็บตัวอย่างจากวัสดุรองรับสูตรต่างๆ ทุก 2 วัน มาตรวจนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี standard plate count เพื่อติดตามแนวโน้มของอัตราการย่อยของเชื้อจุลินทรีย์ในวัสดุรองรับ

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 ผลผลิตถ่านจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นวัสดุรองรับ

ถ่านชีวภาพที่ได้จากเปลือกทุเรียนและจากเปลือกกล้วยตากแห้ง ให้ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% yield) 33.60 ± 0.24 และ 23.2 ± 0.45 ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

3.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมีของถ่านชีวภาพ

3.2.1 การบดและคัดแยกขนาดถ่านชีวภาพ

การคัดแยกขนาดถ่านหลังการบดและการร่อนผ่านตะแกรง พบว่า ถ่านชีวภาพส่วนใหญ่ จะมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.3-1.7 มิลลิเมตร คือ ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 คิดเป็นร้อยละ 34 และได้เลือกขนาดอนุภาคดังกล่าวในการทดลอง (ตารางที่ 2)

3.2.2 วิเคราะห์หาปริมาณธาตุโพแทสเซียมของถ่านชีวภาพ

วิเคราะห์หาปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่ละลายน้ำด้วยเครื่อง Atomic absorption spectroscopy จำนวน 3 ซ้ำ พบว่าถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนและจากเปลือกกล้วยมีปริมาณธาตุโพแทสเซียม คิดเป็นร้อยละ 32.94 ± 1.54 , และ 22.53 ± 1.76 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของสายจิตและคณะ ซึ่งรายงานว่าถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีปริมาณโพแทสเซียมสูง อยู่ที่ประมาณร้อยละ 47 หากเป็นทุเรียนในฤดู และจะมีค่าประมาณร้อยละ 24 หากเป็นทุเรียนนอกฤดู [6] จึงเลือกใช้ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ในการศึกษาสมบัติการเป็นที่ย่อยของจุลินทรีย์ในการทดลองขั้นต่อไป

3.2.3 การทดสอบหาค่า pH ของถ่านชีวภาพ

ค่า pH ของถ่านชีวภาพมีค่า pH อยู่ในช่วงเบส จากผลการทดลอง พบว่าถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนและเปลือกกล้วย พบว่ามีค่า pH 9.22 ± 0.21 และ 8.60 ± 0.07 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

3.3 ศึกษาอัตราการย่อยของเชื้อจุลินทรีย์ในวัสดุรองรับ

3.3.1 สภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์

ผลการทดลองพบว่า จุลินทรีย์ทั้ง 4 สายพันธุ์ สามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้เพาะเลี้ยง และไม่พบการปนเปื้อน สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อในอาหารแข็ง และอาหารเหลว ดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ร้อยละของผลผลิตที่ได้ของการเผาถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนและเปลือกกล้วย

ชื่อ	Lot	ครั้งที่	เปลือกแห้ง (กิโลกรัม)	ถ่านที่ได้ (กิโลกรัม)	% yield	ค่าเฉลี่ย	SD
ถ่านชีวภาพจากเปลือก ทุเรียน	1	1	4.5	1.5	33.3	33.60	0.24
		2	4.4	1.5	34.1		
		3	4.4	1.5	34.1		
	2	1	4.5	1.5	33.3		
		2	3.9	1.3	33.3		
ถ่านชีวภาพจากเปลือก กล้วย		1	3.5	0.8	22.9	23.20	0.45
		2	3.4	0.8	23.5		
		3	3.5	0.8	22.9		
		4	3.5	0.8	22.9		
		1	3.5	0.8	22.9		

ตารางที่ 2 ช่วงขนาดอนุภาคและปริมาณของถ่านชีวภาพหลังจากบดและคัดแยกขนาด

ขนาดตะแกรง	วิธีการเก็บตัวอย่าง	ช่วงขนาดอนุภาค	ร้อยละของถ่านที่ได้
-8	ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 8	> 2.4 mm	19
8x12	ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 12	1.7-2.4 mm	6
12x16	ผ่านตะแกรงเบอร์ 12 ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 16	1.2-1.7 mm	11
16x50	ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 50	0.3-1.7 mm	34
50x80	ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 60	0.18-0.3mm	10
80+	ผ่านตะแกรงเบอร์ 80 (pan)	<0.18 mm	20

ตารางที่ 3 แสดงค่า pH ของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนและเปลือกกล้วย

ชนิดของถ่าน ชีวภาพ	ค่า pH				
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
ถ่านชีวภาพจาก เปลือกทุเรียน	9.03	9.18	9.45	9.22	0.21
ถ่านชีวภาพจาก เปลือกกล้วย	8.54	8.67	8.59	8.60	0.07

ตารางที่ 4 สภาวะในการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์และลักษณะโคโลนีบนอาหารแข็ง

เชื้อจุลินทรีย์	อาหาร	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ลักษณะโคโลนีบนอาหารแข็ง
<i>A. vinelandii</i> TISTR 1096	Jensen's agar (JSA)	30	โคโลนีกลม มีสีเหลือง นูน
<i>B. subtilis</i> TISTR 008	Nutrient agar (NA)	37	โคโลนีกลม สีขาว แบนราบ
<i>P. fluorescens</i> TISTR 358	Nutrient agar (NA)	30	โคโลนีกลม สีเขียว แบนราบ
<i>T. harzianum</i> TISTR 3553	Potato dextrose agar (PDA)	30	เส้นใยสีขาว และมีสปอร์สีเขียว

ตารางที่ 5 สภาวะและระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลว

ชนิดเชื้อจุลินทรีย์	อาหาร	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)/ อัตราการเขย่า (รอบต่อนาที)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณจุลินทรีย์ที่นับได้ (CFU/ml)
<i>A. vinelandii</i> TISTR 1096	Jensen's broth (JSB)	30 / 150	72	3.2×10^8
<i>B. subtilis</i> TISTR 008	Nutrient Broth (NB)	37 / 150	24	1.3×10^7
<i>P. fluorescens</i> TISTR 358	Nutrient Broth (NB)	30 / 150	24	2.0×10^9
<i>T. harzianum</i> TISTR 3553	Potato dextrose broth (PDB)	30 / 150	120	6.8×10^6

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เก็บรักษาใน วัสดุรองรับทั้ง 5 สูตร เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน

สูตรที่	อัตราส่วน ของถ่าน ชีวภาพต่อ โปรตีน เกษตร	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในวัสดุรองรับ (CFU/ml)							
		<i>A. vinelandii</i> TISTR 1096		<i>B. subtilis</i> TISTR 008		<i>P. fluorescens</i> TISTR 358		<i>T. harzianum</i> TISTR 3553	
		วันที่ 0	วันที่ 14	วันที่ 0	วันที่ 14	วันที่ 0	วันที่ 14	วันที่ 0	วันที่ 14
1	1:0	ไม่พบ	ND	2.5×10^3	2.5×10^4	2.4×10^4	0	4.4×10^5	5.0×10^4
2	1:1	ไม่พบ	ND	2.5×10^3	6.0×10^8	2.5×10^3	0	4.4×10^5	0
3	1:3	ไม่พบ	ND	2.5×10^3	1.6×10^8	2.5×10^3	0	4.4×10^5	1.3×10^5
4	1:5	ไม่พบ	ND	2.5×10^3	5.0×10^7	2.5×10^3	0	4.4×10^5	0
5	0:1	ไม่พบ	ND	2.5×10^3	9.0×10^7	2.5×10^3	0	4.4×10^5	7.0×10^5

ND : ไม่ได้ทำการทดลอง

3.4 ศึกษาอัตราการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ในวัสดุรองรับ

ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีธาตุโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้อยู่ในปริมาณสูง แต่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไม่สูงนัก [6] ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้โปรตีนเกษตรที่ผลิตจากถั่วเหลืองมาเป็นส่วนผสมในสูตร โปรตีนเกษตร 100 กรัมมีคาร์โบไฮเดรต 40.89 กรัม และ โปรตีน 49.76 กรัม จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนให้แก่เชื้อจุลินทรีย์ ในการศึกษาอัตราการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ในวัสดุรองรับ ที่มีส่วนผสมของโปรตีนเกษตรและถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน จำนวน 5 สูตร ผลการทดลองพบว่าเชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญบนวัสดุรองรับสูตรนี้ได้ทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ *B. subtilis* TISTR 008 และ *T. harzianum* TISTR 3553 ซึ่งสามารถเจริญและมีชีวิตอยู่รอดได้มากกว่า 10^4 CFU/ml และยังมีแนวโน้มของอัตราการอยู่รอดของเชื้อต่อไปได้ภายหลังจากการบ่งกำหนดการทดลอง 14 วัน (ตารางที่ 6)

เชื้อ *Azotobacter vinelandii* TISTR 1096

ไม่พบการเจริญของเชื้อ *A. vinelandii* TISTR 1096 ในวัสดุรองรับทุกสูตร เนื่องจากอาจเกิดจากสภาวะที่ใช้เพาะเลี้ยงไม่เหมาะสม เช่น ค่า pH หรือ องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ของวัสดุรองรับที่นำมาใช้

เชื้อ *Bacillus subtilis* TISTR 008

สามารถเจริญได้ในวัสดุรองรับทั้ง 5 สูตร พบการเจริญของเชื้อเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 และจากนั้นเจริญอย่างช้าๆ ในช่วงวันที่ 4 และเริ่มลดลงจนคงที่ในวันที่ 8 ปริมาณเชื้อที่พบในวันที่ 14 ในวัสดุรองรับสูตรที่ 2, 3, 4, 5 และ 1 เท่ากับ 9.84, 9.46, 9.14, 9.15 และ 5.18 ($\log_{10}$ CFU/g) ตามลำดับ จึงอาจกล่าวได้ว่า วัสดุรองรับที่มีส่วนผสมของโปรตีนเกษตรและถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนส่งเสริมการเจริญของเชื้อ *B. subtilis* TISTR 008 แม้แต่วัสดุรองรับที่มีถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพียงอย่างเดียว (สูตรที่ 1) เชื้อก็ยังสามารถเจริญเติบโตและอยู่ในรอดได้ แสดงว่าในถ่านทุเรียนยังคงมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของเชื้อเหลืออยู่หลังจากการเผา เชื้อดังกล่าวสามารถสร้างเอนโดสปอร์ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความทนทานต่อสภาวะรุนแรง จึงทำให้อยู่รอดในวัสดุรองรับทุกสูตรจนครบระยะเวลา 14 วัน ดังแสดงในรูปที่ 1

เชื้อ *Pseudomonas fluorescens* TISTR 358

สามารถเจริญได้ในวัสดุรองรับสูตรที่ 1 ที่มีส่วนผสมของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพียงสูตรเดียว โดยมีอัตราการเจริญสูงสุดในวันที่ 6 พบการเจริญของเชื้อเท่ากับ 7.39 ($\log_{10}$ CFU/g) และมีจำนวนคงที่ถึงวันที่ 10 จากนั้นลดลงจนกระทั่งไม่พบเชื้อในวันที่ 14 แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของเชื้อดังกล่าว แต่เนื่องจากเชื้อดังกล่าวไม่สามารถสร้างสปอร์ได้ จึงค่อยๆ ตายลงจนกระทั่งไม่พบเชื้อ ดังแสดงในรูปที่ 2

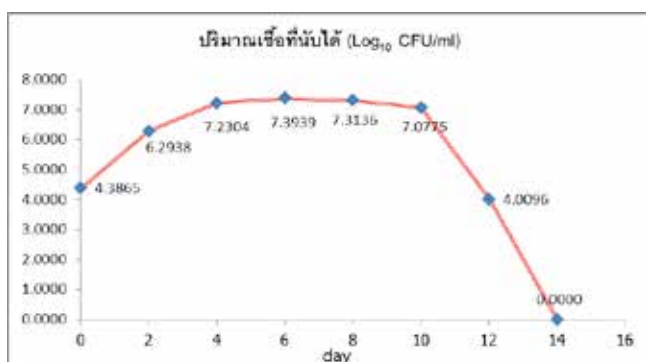
เชื้อ *Trichoderma harzianum* TISTR 3553

สามารถเจริญได้บนวัสดุรองรับทั้ง 5 สูตร ในวันที่ 14 พบการเจริญของเชื้อในวัสดุรองรับสูตรที่ 5, 3, และ 1 เท่ากับ 5.84, 4.91,

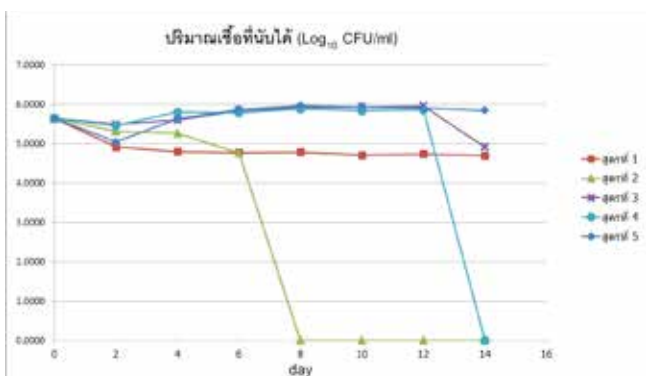
4.70 $\log_{10}$ CFU/g ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าในวัสดุรองรับสูตรที่ 1 ซึ่งมีส่วนประกอบคือถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพียงอย่างเดียว และสูตรที่ 5 ซึ่งมีส่วนประกอบของโปรตีนเกษตรเพียงอย่างเดียว พบการเจริญของเชื้อจนถึงวันที่ 14 ของการทดลอง และมีแนวโน้มคงที่ ในขณะที่ วัสดุรองรับที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนและโปรตีนเกษตร มีแนวโน้มของอัตราการรอดชีวิตต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 1 ปริมาณเชื้อ *B. subtilis* TISTR 008 ในวัสดุรองรับ 5 สูตร เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน



รูปที่ 2 ปริมาณเชื้อ *P. fluorescens* TISTR 358 ในวัสดุรองรับสูตรที่ 1 เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน



รูปที่ 3 ปริมาณเชื้อ *T. harzianum* TISTR 3553 ในวัสดุรองรับสูตรต่างๆ เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน

4. สรุป (Conclusion)

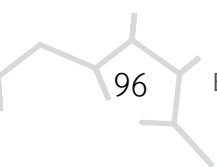
ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีธาตุโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ในปริมาณสูง ซึ่งสามารถเป็นอาหารให้แก่พืชและจุลินทรีย์ในดินได้ ศึกษาอัตราการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์ทางการเกษตรในวัสดุรองรับพบว่า เชื้อในกลุ่ม *B. subtilis* และ *T. harzianum* สามารถย่อยสลายได้ในวัสดุรองรับที่มีถ่านชีวภาพเป็นส่วนผสมเพียงอย่างเดียวโดยไม่ต้องเติมแหล่งอาหารอื่น สอดคล้องกับการค้นพบของ Luo, Y. และคณะ ซึ่งพบว่าถ่านชีวภาพที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ 350 องศาเซลเซียส ยังมีธาตุอาหารจำพวกคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนอินทรีย์ที่ละลายน้ำเหลืออยู่ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถใช้ในการเจริญได้ และการเติมถ่านชีวภาพดังกล่าวลงในดินสามารถดึงดูดจุลินทรีย์บางกลุ่มให้อยู่ในรูพรุนของถ่าน และกระตุ้นให้เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ กล่าวคือ ถ่านชีวภาพมีสถานะเหมาะสมที่จะเป็นบ้านของจุลินทรีย์ [7] การทดลองนี้จึงสรุปในเบื้องต้นได้ว่าถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีศักยภาพที่จะใช้เป็นวัสดุรองรับสำหรับเก็บรักษาจุลินทรีย์ทางการเกษตรได้น้อย 2 ชนิด ทั้งนี้ จำเป็นต้องศึกษาสถานะและระยะเวลาการเก็บรักษาที่เหมาะสมต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีงบประมาณ 2556-2557 ขอบขอบคุณสำนักเทคโนโลยีชุมชนที่เอื้อเฟื้อสถานที่ ขอบขอบคุณนางสาวฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวโรจน์ ที่ให้คำปรึกษา ก่อนดำเนินการวิจัย และ นางสาวกช ทรัพย์แดง ที่ให้ความร่วมมือในการตรวจความถูกต้องของเอกสาร

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] CHIA, C. H. et al. 2008. *Development of Synthetic Terra Preta (STP): Characterization and initial research findings*. [Online]. [Viewed 12 May 2016]. Available from: http://www.biochar-international.org/images/Joseph_IBI_poster_PM.pdf
- [2] CHAN, K.Y. et al. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 2007, 45, 629-634.
- [3] HUNT, J. et al. The basics of biochar: A natural soil amendment. *Soil Crop Management*, 2010, 30, 1-6.
- [4] GLASER, B., J. LEHMANN and W. ZECH. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35, 219-230.
- [5] ดุสิต อธิวัฒน์. จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ด้านการเกษตร Beneficial Microbes in Agriculture. *Thai Journal of Science and Technology*, 2556, 2(1), 18-35.
- [6] สายจิต ดาวสุโข และคณะ. รายงานการวิจัย เรื่อง การพัฒนาถ่านจากเศษผลไม้ที่มีจุลินทรีย์ปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปลูกหน่อไม้ฝรั่ง. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2554.
- [7] LUO, Y. et al. 2010. *Impact of biochar on soil microbial activity and its mechanisms*. [online]. [viewed 17 May 2016]. Available from: <http://www.biochar-international.org/sites/default/files/LuoYu.pdf>



การเปรียบเทียบชนิดของตัวทำละลายและเทคนิคการสกัดสารเบนโซฟีโนน จากกระดาษที่ใช้เป็นวัสดุสัมผัสอาหาร

Comparison of solvent and techniques for extraction of benzophenone from paper intended to come into contact with foodstuffs

11

หนึ่งฤทัย แสแสงสีรุ้ง^{1*}
Neungrutai Saesaengseerung^{1*}

บทคัดย่อ

สารเบนโซฟีโนนเป็นสารเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง (photo-initiator) ชนิดหนึ่งที่ใช้ในหมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์บนบรรจุภัณฑ์ โดยทั่วไปแล้วกระดาษที่มีการพิมพ์ด้วยสีสันสดใสจะมีปริมาณเบนโซฟีโนนตกค้างอยู่เป็นจำนวนมากหากกระดาษเหล่านี้ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายหรือวิธีการสกัดที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลให้การทดสอบปริมาณเบนโซฟีโนนได้น้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้นเพื่อให้ได้วิธีสกัดที่มีประสิทธิภาพ กระดาษกล่องขนมเปียะเป็นตัวอย่างที่ถูกเลือกให้เป็นตัวอย่างในการทดสอบเนื่องจากมีปริมาณเบนโซฟีโนนตกค้างเป็นปริมาณสูงโดยนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน ได้แก่ อะซิโตรไนไตรล์ เอทานอล และตัวทำละลายผสมระหว่างไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 1:1 กับตัวทำละลายดังต่อไปนี้ คือ เฮกเซน ไซโคลเฮกเซน และอะซิโตรไนไตรล์ ผลจากการศึกษาพบว่ากระดาษที่สกัดด้วยเอทานอล ร้อยละ 95 สามารถสกัดสารเบนโซฟีโนนได้สูงสุดโดยสกัดได้มากกว่าเมื่อสกัดด้วยอะซิโตรไนไตรล์ หรืออะซิโตรไนไตรล์ผสมกับไดคลอโรมีเทนถึง ร้อยละ 7 และมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างไดคลอโรมีเทนกับไซโคลเฮกเซนหรือเฮกเซนถึงร้อยละ 50 ส่วนผลการเปรียบเทียบปริมาณเบนโซฟีโนนที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 95 โดยการสกัดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง การสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และการสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณเบนโซฟีโนนที่สกัดได้ทั้ง 3 วิธี มีค่าเท่ากับ 308 322 และ 320 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 (One Way Anova, $p = 0.397$) แต่เทคนิคการสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าอีกสองวิธี ($n = 3$) ผลการศึกษาวิจัยนี้สรุปได้ว่าเทคนิคการสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกและตัวทำละลายเอทานอล ร้อยละ 95 เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดสารเบนโซฟีโนนจากกระดาษที่ใช้เป็นวัสดุสัมผัสอาหาร

Abstract

Benzophenone is used as a photo-initiator in UV cure ink for printing of packaging. Basically, colorful paper packaging may be contaminated with high concentration of benzophenone. If the paper is extracted using inappropriate method, extracted benzophenone might be less than the actual amount. Therefore, to obtain the efficiency of extraction, Chinese cake paper box contaminated with benzophenone in high concentration was selected as test sample. The sample was extracted using various solvent, including acetonitrile, ethanol and mixture of dichloromethane and three kinds of solvents, such as cyclohexane, hexane and acetonitrile in the ratio of 1:1. This study found that the extracted paper sample using 95% ethanol gave the highest yield of benzophenone. The yield from 95% ethanol extraction is around 7% higher than those from acetonitrile and acetonitrile: dichloromethane (1:1) and around 50% yield higher than those from the mixture of dichloromethane and cyclohexane or hexane used. Furthermore, the results of extracted benzophenone by varying extraction techniques: at room temperature for 24 hr, 60°C for 2 hr in water bath and temperature below 60°C ultrasonic bath were 308, 322 and 320 mg/kg, respectively. Although these results are not significantly different at 95% confidences (One Way Anova, $p = 0.397$), ultrasonic extraction gave the least standard deviation ($n=3$). In conclusion, the appropriate technique for benzophenone extraction from food contact paper is ultrasonic extraction using 95% ethanol as extraction solvent.

คำสำคัญ: เบนโซฟีโนน วัสดุสัมผัสอาหาร กระดาษ

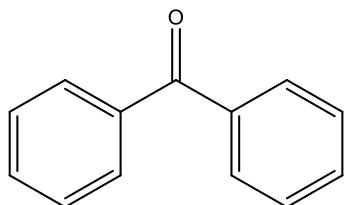
Keywords: Benzophenone, Food contact material, Paper

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

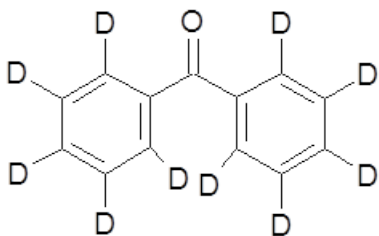
*Corresponding author E-mail address : sneungrutai@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

เบนโซฟีโนน (benzophenone) (รูปที่ 1) เป็นสารที่จัดอยู่ในประเภทสารเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง (photo-initiator) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization process) เพื่อให้หมึกพิมพ์เกิดการแข็งตัวเป็นฟิล์มบนวัสดุที่พิมพ์ โดยทั่วไปเบนโซฟีโนนจะถูกใช้เป็นส่วนผสมของหมึกพิมพ์ยูวี (UV curing ink) [1] เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชนิดนี้จะมีสีสดใส ดังนั้นหมึกพิมพ์ยูวีจึงมักจะถูกนำไปใช้ในการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ต่างๆ เพื่อให้เป็นที่สะดุดตาผู้บริโภค อย่างไรก็ตามมีรายงานการศึกษาวิจัยพบว่าบรรจุภัณฑ์กระดาษที่ใช้เป็นวัสดุสัมผัสอาหาร หรือบรรจุภัณฑ์อาหาร มักจะพบเบนโซฟีโนนตกค้างอยู่บนบรรจุภัณฑ์ และเบนโซฟีโนนที่ตกค้างนี้เองสามารถเคลื่อนย้าย (migrate) จากตัวบรรจุภัณฑ์กระดาษผ่านชั้นพลาสติกเข้าสู่อาหารได้ แม้ว่าบรรจุภัณฑ์กระดาษนั้นจะไม่ได้สัมผัสกับอาหารโดยตรง [2] เนื่องจากสารเบนโซฟีโนนถูกจัดให้เป็นสารก่อมะเร็ง [3] ดังนั้นหากบรรจุภัณฑ์กระดาษมีสารเบนโซฟีโนนตกค้างอยู่ในปริมาณที่สูงอาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของอาหารและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้



Benzophenone



Benzophenone-D₁₀

รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของเบนโซฟีโนน (benzophenone) และเบนโซฟีโนน-d₁₀ (benzophenone-D₁₀)

การวิเคราะห์ทดสอบสารเบนโซฟีโนนจะประกอบไปด้วยสองขั้นตอนหลักคือ การสกัด (extraction) และวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟี (chromatography) [1,4] ในปี 1995 S.M. John และคณะ [5] ได้ศึกษาการเคลื่อนย้ายสารเบนโซฟีโนนจากตัวอย่างกระดาษสู่อาหารที่อุ่นด้วยไมโครเวฟ โดยในการศึกษานั้นได้สกัดตัวอย่างกระดาษด้วยวิธีการเขย่าตัวอย่างกระดาษกับตัวทำละลายคลอโรฟอร์มเป็นเวลาข้ามคืนที่อุณหภูมิห้อง และสกัดเบนโซฟีโนนจากตัวอย่างอาหารด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนกับเฮกเซนก่อนจะผ่านขั้นตอนการกำจัดสิ่งรบกวน (clean up) แล้วเติมตัวทำละลายผสมระหว่างไซโคลเฮกเซนและไดคลอโรมีเทนอัตราส่วน 1:1 ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีร่วมกับ

แมสสเปกโตรเมทรี (Gas chromatography mass spectrometry, GC-MS) ต่อมาในปี 2010 R. Koivikko และคณะ [6] ได้ใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนในไตรล์ ที่ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปทดสอบด้วยเทคนิคไฮเปอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโตกราฟี (HPLC) และในปีเดียวกันนี้งานวิจัยของ E. Van Hoeck และคณะ [1] พบว่าตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดเบนโซฟีโนนออกจากซีเรียลอาหารเช้า (Cereal) คือตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนในไตรล์และไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 1:1 โดยค่าร้อยละคืนกลับ (%Recovery) ของเบนโซฟีโนนสูงกว่าเมื่อสกัดด้วยอะซิโตนในไตรล์ หรือเมทานอล ร้อยละ 100 นอกจากงานวิจัยเหล่านี้แล้วยังพบว่ามาตรฐานระดับชาติ เช่น British standard (BS EN 15519:2007) [7] มีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ คือ เอทานอล ร้อยละ 95 เพื่อหาปริมาณสารเคมีที่สามารถเคลื่อนย้ายจากกระดาษที่ใช้สัมผัสอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ โดยระยะเวลาและสภาวะที่ทดสอบขึ้นอยู่กับลักษณะการสัมผัสอาหารของตัวอย่างกระดาษนั้นๆ

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่าเทคนิคการสกัดสารเบนโซฟีโนนจากกระดาษหรืออาหารมักจะเกี่ยวข้องกับการแช่กระดาษไว้ในตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ เช่น คลอโรฟอร์ม เอทานอล เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เมทานอล และอะซิโตนในไตรล์โดยใช้เวลาดังตั้ง 12-24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิสูงตั้งแต่ 60-70 องศาเซลเซียส [6-7] ซึ่งข้อเสียของวิธีการดังกล่าว คือ ใช้เวลานานในการสกัด ตัวทำละลายหลายตัวมีความเป็นพิษสูง เช่น คลอโรฟอร์ม ไดคลอโรมีเทน อะซิโตนในไตรล์และเมทานอล และแม้จะมีการศึกษาถึงตัวทำละลายและวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดเบนโซฟีโนนจากซีเรียลอาหารเช้า [1] แต่ยังไม่มียานใดที่ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายและเทคนิคในการสกัดเบนโซฟีโนนจากกระดาษที่ใช้เป็นวัสดุสัมผัสอาหารโดยเฉพาะเมื่อกระดาษนั้นมีการปนเปื้อนของเบนโซฟีโนนในปริมาณที่สูง ซึ่งหากใช้ตัวทำละลายหรือเทคนิคในการสกัดที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอก็อาจสกัดสารเบนโซฟีโนนออกมาจากตัวอย่างกระดาษได้น้อยกว่าความเป็นจริงได้

ดังนั้นเพื่อศึกษาเปรียบเทียบการสกัดเบนโซฟีโนนจากวัสดุสัมผัสอาหารประเภทกระดาษ จึงได้หาปริมาณเบนโซฟีโนนเบื้องต้นจากกระดาษตัวอย่างทั้งหมด 10 ตัวอย่าง เพื่อเลือกกระดาษที่มีปริมาณเบนโซฟีโนนสูงที่สุดในศึกษาชนิดตัวทำละลาย และสภาวะที่ใช้ในการสกัดเพื่อให้ได้วิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการสกัดกระดาษที่มีการปนเปื้อนของเบนโซฟีโนนในปริมาณสูง

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ตัวอย่างกระดาษ

กระดาษสัมผัสอาหารจำนวน 10 ตัวอย่าง ชื้อจากร้านจำหน่ายอุปกรณ์เบเกอรี่ในย่านตลาดสำเพ็ง เขตสัมพันธวงศ์ กรุงเทพมหานคร แบ่งเป็นกระดาษรองขนมเค้กจำนวน 2 ตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 1-2) ถาดกระดาษใส่อาหาร จำนวน 2 ตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 3-4) ถังกระดาษ (ตัวอย่างที่ 5-6) กระดาษสำหรับอบขนม (ตัวอย่างที่ 7-9) และกล่องใส่ขนมเปียะ (ตัวอย่างที่ 10)

2.2 สารเคมี

- สารเบนโซฟีโนนสำหรับการเตรียมกราฟมาตรฐาน ยี่ห้อ Sigma-Aldrich (reagent plus, 99.9%)
- สารเบนโซฟีโนน d-10 (รูปที่ 1) สำหรับใช้เป็น Internal standard ยี่ห้อ AccuStandard (Standard 99.5%)
- ตัวทำละลาย เฮกเซน ไซโคลเฮกเซน ไดคลอโรมีเทน และ อะซิโตรไนโตรลล์ ยี่ห้อ Fisher (AR, 99.9%)
- ตัวทำละลาย เอทานอล ยี่ห้อ Merck (Absolute for analysis, 99.9%)

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

2.3.1 การสกัดตัวอย่างกระดาษ (ตัวอย่างที่ 1-10) เพื่อหาชนิดกระดาษที่มีเบนโซฟีโนนสูงสุด

ชั่งตัวอย่างกระดาษที่ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดไม่เกิน 1x1 ซม. จำนวน 0.1-1 กรัม ใส่ลงในขวดสีชาขนาด 40 มิลลิลิตร แล้วเติมตัวทำละลายผสมไดคลอโรมีเทนและเฮกเซน (1:1) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปกรองผ่านหลอดหยดที่ปลายดูดด้วยสำลี ชะตัวอย่างด้วยตัวทำละลายเดิมอีก 2 ครั้ง ครั้งละ 5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่กรองได้ทั้งหมดไปเป่าก๊าซไนโตรเจนจนตัวทำละลายระเหยแห้ง จากนั้นเติมตัวทำละลายผสมระหว่างไดคลอโรมีเทนและเฮกเซน (1:1) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมเบนโซฟีโนน d-10 ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาตร 100 ไมโครลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย GC-MS

2.3.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวทำละลายต่างกัน 5 ชนิด

ชั่งตัวอย่างกระดาษกล่องขนมเปี๊ยะ (ตัวอย่างที่ 10) ขนาดไม่เกิน 1x1 ซม. จำนวน 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดสีชาขนาด 40 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด แต่ละขวดเติมเบนโซฟีโนน d-10 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และเติมเอทานอลร้อยละ 95 ในน้ำ (v/v) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปกรองผ่านหลอดหยดที่ปลายดูดด้วยสำลี ชะตัวอย่างด้วยตัวทำละลายเดิมอีก 2 ครั้ง ครั้งละ 5 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายที่กรองได้ทั้งหมดไปเป่าก๊าซไนโตรเจนจนตัวทำละลายระเหยแห้งแล้วชะด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างไดคลอโรมีเทนและเฮกเซน (1:1) ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย GC-MS

ทำซ้ำแต่เปลี่ยนตัวทำละลายในการสกัดจากเอทานอล ร้อยละ 95 เป็น อะซิโตรไนโตรลล์ ไดคลอโรมีเทนต่อเฮกเซน (1:1) ไดคลอโร

มีเทนต่อไซโคลเฮกเซน (1:1) และไดคลอโรมีเทนต่ออะซิโตรไนโตรลล์ (1:1)

2.3.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาสถานะที่ใช้ในการสกัดเตรียมตัวอย่างตามข้อ 2.3.2 โดยใช้ตัวทำละลายเป็นเอทานอล ร้อยละ 95 จำนวน 3 ขวด ชุดละ 3 ขวด แต่ละชุดนำไปศึกษาในสถานะต่างกัน 3 สถานะ ดังแสดงในตารางที่ 1

2.4 การสร้างกราฟมาตรฐานของละลายเบนโซฟีโนน

เตรียมสารละลายมาตรฐานเบนโซฟีโนน ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แล้วเจือจางเป็น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวทำละลายผสมไดคลอโรมีเทนต่อไซโคลเฮกเซน (1:1) ปีเปตสารละลายเบนโซฟีโนนความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรต่าง ๆ ได้แก่ 50, 100, 500, 1000, 1500, และ 2000 ไมโครลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายเบนโซฟีโนน-d10 ความเข้มข้นและปริมาตรเท่ากับที่เติมตัวอย่างทดสอบ ปรับปริมาตร แล้วจะได้ความเข้มข้น คือ 0.05, 0.10, 0.50, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วย GC-MS แล้วสร้างกราฟมาตรฐานโดยแกน Y คือ อัตราส่วนพื้นที่ใต้พีคของ m/z 105 (เบนโซฟีโนน) ต่อพีค m/z 110 (เบนโซฟีโนน-d-10) และแกน X คือ ความเข้มข้นของสารเบนโซฟีโนน กราฟเส้นตรงที่ได้ต้องเป็นต้องมีค่า $r \geq 0.995$

2.5 การวิเคราะห์ด้วย GC-MS

การวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างและสารมาตรฐานเบนโซฟีโนนที่เตรียมด้วยเทคนิค GC-MS โดยใช้เครื่อง GC-MS รุ่น Trace GC Ultra/ISQ (Thermo Scientific, Sci Spec, China) ประกอบด้วยเครื่อง GC รุ่น Trace 1300 ร่วมกับเครื่องฉีดตัวอย่างอัตโนมัติ รุ่น AI 1310 เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น ISQ LT และคาพิลารีคอลัมน์เคลือบด้วย 50% diphenyl/50% dimethyl polysiloxane (TG-17Sil MS, Thermo Scientific; 30 m x 0.25 mm x 0.25 mm)

GC-MS ทำงานด้วยโหมดอิเล็กตรอนอิมแพกโดยเลือกวัดมวลสาร (SIM mode) ที่เวลา 5-6 นาที ของเบนโซฟีโนนที่ m/z 77, 105 และ 182 และเบนโซฟีโนน-d10 ที่ m/z 82, 110 และ 192 ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นก๊าซตัวพาที่อัตราการไหล 1 มิลลิเมตรต่อนาที อุณหภูมิของ injector, mass transfer line และ ion source คือ 280 300 และ 275 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ปริมาตรที่ฉีด คือ 1 ไมโครลิตร อุณหภูมิในการทำงานเริ่มต้นที่ 150 องศาเซลเซียส (2 นาที) แล้วเพิ่มขั้นที่ 290 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาทีและคงไว้เป็นเวลา 15 นาที

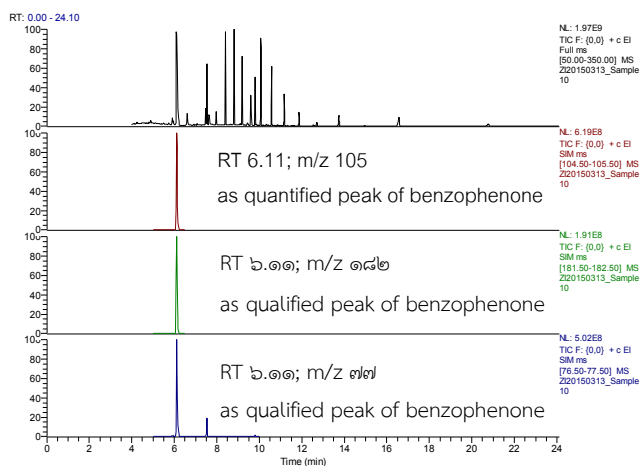
ตารางที่ 1 สถานะในการสกัดที่ใช้ในการศึกษาการสกัดเบนโซฟีโนนจากตัวอย่างกระดาษ

ชุดที่	ปริมาตรตัวทำละลาย (mL)	จำนวนครั้งที่สกัด	สถานะในการสกัด
1	20	1	แช่ขวดสกัดใน water bath ที่ 30°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2	20	1	แช่ขวดสกัดใน water bath ที่ 60°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3	10	3	แช่ขวดสกัดใน ultrasonic bath ที่ 60°C เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การหาตัวอย่างกระดาษที่มีปริมาณเบนโซฟีโนนสูงสุด

จากการสกัดตัวอย่างกระดาษตัวอย่างที่ 1-10 ด้วยตัวทำละลาย ไดคลอโรมีเทนต่อเฮกเซน (1:1) โดยแช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงนั้น ผลการวิเคราะห์ด้วย GC-MS สามารถยืนยันสาร เบนโซฟีโนนโดยพิจารณาจาก m/z 182, 105 และ 77 และนำ อัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคที่ให้ค่าสัญญาณสูงสุดของเบนโซฟีโนน คือ m/z 105 ที่ RT 6.11 (รูปที่ 2) ต่อพื้นที่ใต้พีคของเบนโซฟีโนน-d10 ที่ m/z 110 เทียบกับกราฟมาตรฐาน ($Y = 1.0221X$; $r = 0.995$) เพื่อหาปริมาณเบนโซฟีโนนในตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่าเบนโซฟีโนน จากกล่องขนมเปี๊ยะ (ตัวอย่างที่ 10, รูปที่ 3) มีปริมาณเบนโซฟีโนนสูงสุด คือ 107 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ตัวอย่างหมายเลข 1 และ 7 ไม่พบเบนโซฟีโนน ($s/n < 3$) ตัวอย่างที่เหลือพบปริมาณเบนโซฟีโนน อยู่ในช่วง 0.17-2.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อพิจารณาถึง ลักษณะตัวอย่างกระดาษทั้งหมดที่ทดสอบพบว่ากล่องขนมเปี๊ยะมี ลักษณะเป็นกระดาษแข็งที่มีการพิมพ์ด้วยแดงสดสี ซึ่งสอดคล้องกับ ลักษณะของการพิมพ์ที่ใช้หมึกพิมพ์ที่มีเบนโซฟีโนนเป็นองค์ประกอบ [1] ดังนั้นจึงเลือกกล่องขนมเปี๊ยะเป็นตัวอย่างทดสอบในการศึกษา ต่อไป



รูปที่ 2 GC-MS โครมาโตแกรมแสดงพีคเบนโซฟีโนนที่ใช้ในการหาปริมาณ (quantified peak) และ ยืนยันชนิดสาร (qualified peak) จากการสกัดตัวอย่างกระดาษหมายเลข 10 ด้วยตัวทำละลายผสมไดคลอโรมีเทนต่อเฮกเซนอัตราส่วน 1: 1



รูปที่ 3 ลักษณะของตัวอย่างกระดาษหมายเลข 10 ที่ปนเปื้อนด้วย เบนโซฟีโนนปริมาณสูง

3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของตัวทำละลายชนิดต่างๆ

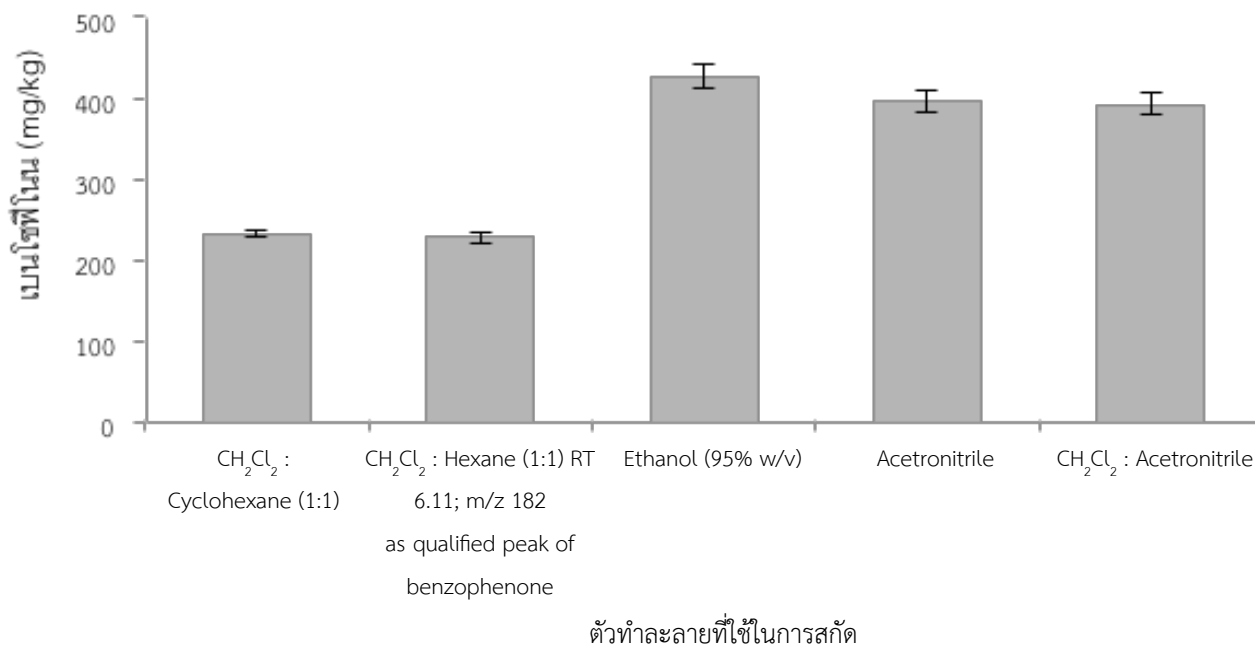
การสกัดเบนโซฟีโนนออกจากกระดาษกล่องขนมเปี๊ยะ (ตัวอย่าง ที่ 10, รูปที่ 3) ด้วยตัวทำละลายต่างกัน ผลการศึกษาสามารถเรียง ลำดับตัวทำละลายที่สกัดได้เบนโซฟีโนนจากปริมาณน้อยไปมาก คือ CH_2Cl_2 : Hexane (1:1) < CH_2Cl_2 : Cyclohexane (1:1) < CH_2Cl_2 : Acetonitrile (1:1) < Acetonitrile < 95% Ethanol (รูปที่ 4) ซึ่ง สอดคล้องกับค่าดัชนีความมีขั้วของ (Polarity index, P') [8] ของตัว ทำละลายที่ใช้ คือ เมื่อตัวทำละลายที่ผสมกับไดคลอโรมีเทน ($P' = 3.4$) [8] ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 มีค่าดัชนีความมีขั้วสูงกว่าไดคลอโรมีเทน เช่น อะซิโตไนโตรล ($P' = 6.2$) [8] จะสามารถสกัดเบนโซฟีโนนออก จากกระดาษได้มากกว่าเมื่อผสมกับตัวทำละลายที่มีค่าดัชนีความมี ขั้วต่ำ เช่น เฮกเซน ($P' = 0.1$) [8] และไซโคลเฮกเซน ($P' = 0.2$) [8] ถึงร้อยละ 58 และ 59 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ เบนโซฟีโนนที่สกัดได้โดยใช้เอทานอลร้อยละ 95 ในน้ำ (v/v) และ สกัดด้วยอะซิโตรไนโตรล พบว่าเอทานอลร้อยละ 95 สามารถสกัด เบนโซฟีโนนออกจากกระดาษได้มากกว่า (ร้อยละ 7) อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 (pair t-test, $p = 0.007$) ในกรณีนี้แม้เอทานอลจะมีดัชนีความมีขั้ว ($P' = 5.2$) [8] น้อยกว่า อะซิโตรไนโตรล ($P' = 6.2$) [8] แต่การเติมน้ำซึ่งมีความมีขั้วสูงมาก ($P' = 9.0$) [8] ลงไปในเอทานอลในอัตราส่วนร้อยละ 5 (v/v) นั้น เป็นการเพิ่มความมีขั้วให้กับตัวทำละลายเอทานอลจนทำให้สามารถ สกัดได้ปริมาณเบนโซฟีโนนสูงสุดเมื่อเทียบกับตัวทำละลายทั้งหมด อีกทั้งผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับสมบัติด้านการละลายของ เบนโซฟีโนนที่ว่าเบนโซฟีโนนสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ [9]

นอกจากตัวทำละลายเอทานอล ร้อยละ 95 สามารถสกัดสาร เบนโซฟีโนนจากกระดาษได้มากที่สุดแล้ว เอทานอลยังเป็นสารเคมีที่ มีความเป็นพิษต่ำเมื่อเทียบกับตัวทำละลายอื่นที่ศึกษา [10] ดังนั้น การเลือกใช้เอทานอล ร้อยละ 95 ในการสกัดตัวอย่างกระดาษจึงเป็น ทางเลือกที่เหมาะสมและยังสอดคล้องกับมาตรฐาน BS EN 15519: 2007 [7]

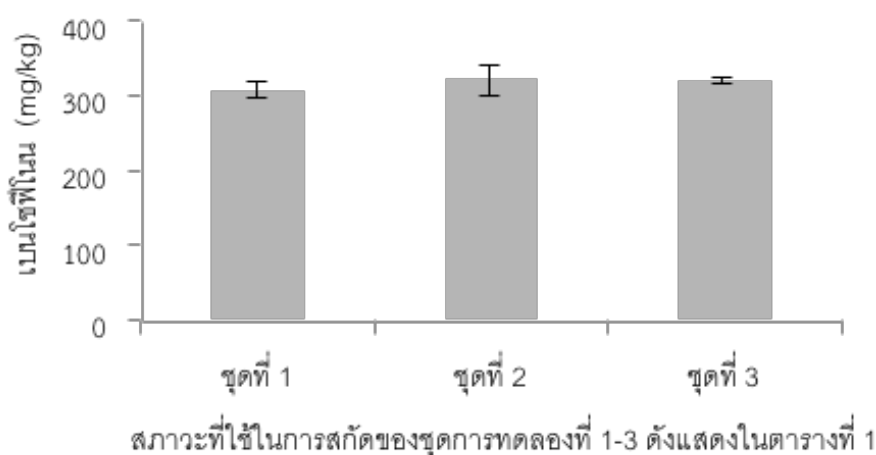
3.3 การศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสกัด

ผลการสกัดเบนโซฟีโนนจากกระดาษ (ตัวอย่างที่ 10, รูปที่ 3) ด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ที่ 30 องศาเซลเซียส (24 ชั่วโมง, ชุดที่ 1 ตารางที่ 1) 60 องศาเซลเซียส (2 ชั่วโมง, ชุดที่ 2 ตารางที่ 1) [7] และ การสกัดโดยอ่างอัลตราโซนิก (ชุดที่ 3 ตารางที่ 1) คือ 308 ± 11 322 ± 20 และ 320 ± 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 5) เมื่อ ค่าความคลาดเคลื่อน คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบ ซ้ำ 3 ครั้ง ($n = 3$) และปริมาณเบนโซฟีโนนที่สกัดได้นี้ไม่มีความต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 (One Way Anova, $p = 0.397$) แสดงว่าอิทธิพลวิธีการสกัด เวลา และ อุณหภูมิที่ใช้ไม่ส่งผลต่อการสกัดเบนโซฟีโนน อย่างไรก็ตามหาก พิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ($n = 3$) ในแต่ละสภาวะพบว่า การสกัดโดยวิธีอัลตราโซนิกนั้นให้ค่าความ

เคลื่อนอยู่ที่ ± 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งน้อยกว่าอีกสองวิธีที่เหลือ (± 11 ถึง ± 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, รูปที่ 5) อาจเพราะการสั่นสะเทือนของคลื่นอัลตราโซนิก ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถเข้าถึงสารที่ต้องการสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้น [11] ในขณะที่การแช่กระดาศในตัวทำละลายที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ โดยไม่เขย่านั้นทำให้โอกาสในการที่ตัวทำละลายเข้าถึงสารที่ต้องการสกัดจะมีประสิทธิภาพน้อยลงจนส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณที่สกัดได้สูงกว่า ดังนั้นแม้ปริมาณเบนโซฟีโนนที่สกัดได้จากสามวิธีจะไม่ต่างกันอย่างไรก็ตามทางสถิติแต่วิธีการสกัดด้วยอัลตราโซนิกจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า และใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่า ดังนั้นจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดตัวอย่างกระดาศที่มีการปนเปื้อนของเบนโซฟีโนนในปริมาณสูง



รูปที่ 4 กราฟแท่งแสดงปริมาณเบนโซฟีโนนที่สกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยความคลาดเคลื่อน (error bar) ที่แสดงในกราฟ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (± 1 SD; standard deviation เมื่อ $n = 3$)



รูปที่ 5 กราฟแท่งแสดงปริมาณเบนโซฟีโนนที่สกัดได้จากตัวอย่างกระดาศหมายเลข 10 ด้วยตัวทำละลายเอทานอล ร้อยละ 95 (ในน้ำ) โดยชุดที่ 1-3 อ้างถึงสถานะที่ใช้ในการสกัดที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 และค่าความคลาดเคลื่อน (error bars) ในกราฟ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (± 1 SD; standard deviation เมื่อ $n = 3$)

4. สรุป (Conclusion)

จากการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของตัวทำละลายและเทคนิคการสกัดสารเบนโซฟีโนนจากกระดาษที่ใช้เป็นวัสดุสัมผัสอาหารพบว่าตัวทำละลายและวิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเบนโซฟีโนนที่ปนเปื้อนปริมาณสูงจากกระดาษ คือ การสกัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สกัดครั้งละ 30 นาที จำนวน 3 ครั้ง เพราะนอกจากวิธีดังกล่าวจะให้ปริมาณเบนโซฟีโนนที่สกัดได้สูงสุด ด้วยความคลาดเคลื่อนต่ำสุดแล้ว ตัวทำละลายเอทานอลยังมีความเป็นพิษต่ำกว่า อะซิโตรไนไตรล์ เฮกเซน และไดคลอโรมีเทน

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง “การสำรวจสารอินทรีย์ต้องห้ามในวัสดุสัมผัสอาหารประเภทกระดาษเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค” สนับสนุนทุนวิจัยโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] HOECK, E. Van., et al. Analysis of benzophenone and 4-methylbenzo-phenone in breakfast cereals using ultrasonic extraction in combination with gas chromatography-tandem mass spectrometry (GC-MSn). *Analytica Chimica Acta*. 2010, 633(1), 55-59.
- [2] PASTORELLI, S., et al. Study of the migration of benzophenone from printed paperboard packages to cakes through different plastic films. *Eur. Food. Res. Techno*. 2008, 227(6), 1585-1590.
- [3] NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM (NTP). Toxicity Studies of Benzophenone (CAS No. 119-61-9). Administered in Feed to F344/N rats and B6C3F1 mice. *Toxicol. Rep. Series*. 2000, 1-53, A1-A13. [online]. Available from: http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/ST_rpts/tox061.pdf.
- [4] CASTLE, L., et al. Migration studies from paper and board food packaging materials. Part 2. Survey for residues of dialkylamino benzophenone UV-cure ink photoinitiators. *Food Additives and Contaminants*. 1997, 14, 45-52.
- [5] JOHNS, S.M., L. W., GRAMSHAW., L., CASTLE and S. M., JICKELLS. Studies on Functional Barriers to Migration 1 Transfer of Benzophenone from Printed Paperboard to Microwaves Food. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*. 1995, 91, 69-73.
- [6] KOIVIKKO, R., et al. Rapid multi-analyte quantification of benzophenone, 4-methylbenzophenone and related derivatives from paperboard food packaging. *Food Additives and Contaminants*. 2010, 27, 1478-1486.
- [7] BRITISH STANDARD, BS EN 15519: 2007. *Paper and board intended to come into contact with foodstuffs-Preparation of an organic solvent extract*.
- [8] BARWICK, V.J. Strategies for solvent selection - a literature review. *Trends in Analytical Chemistry*. 1997, 16, 293-309.
- [9] NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM (NTP). Toxicity Studies of Benzophenone (CAS No. 119-61-9). Administered in Feed to F344/N rats and B6C3F1 mice. *Toxicol. Rep. Series* [online]. Available from: http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/ST_rpts/tox061.pdf.
- [10] U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Guidance for Industry Q3C — Tables and List1” 2012, revision 2, [online]. Available from: <http://www.fda.gov/downloads/drugs/guidancecomplianceregulatoryinformation/guidances/ucm073395.pdf>.
- [11] MELECCHI, M. I. S., et al. Optimization of the sonication extraction method of *Hibiscus tiliaceus* L. flowers. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2006, 13, 242-250.

การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบหาปริมาณปรอทในกากอุตสาหกรรมและในน้ำสกัด :
กรณีศึกษาการหาปริมาณปรอทในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน
และการหาปริมาณปรอทในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย
The comparison of method of mercury determination in solid waste and
leachate : A case study of mercury determination in coal fly ash from
power plant and sludge from wastewater treatment plant

12

วรารณ กิจชัยกุล^{1*}
Waraporn Kitchainukul^{1*}

บทคัดย่อ

การทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นของสารปรอททั้งหมด (Total Mercury) ในสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญ เนื่องจากสารปรอทมีความเป็นพิษสูงและกฎหมายสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยกำหนดให้ต้องทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นของสารปรอททั้งหมดในสิ่งแวดล้อมที่ความเข้มข้นต่ำ ทั้งนี้ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของปริมาณปรอททั้งหมดที่ยอมรับได้ในสิ่งแวดล้อมจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับว่าเป็นค่ามาตรฐานใด เช่น น้ำผิวดินมีค่าไม่เกิน 2 ไมโครกรัมต่อลิตร อากาศที่ระบายออกจากโรงงานที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงและไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีค่าไม่เกิน 2.4 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และกากอุตสาหกรรมมีค่าไม่เกิน 0.200 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) เป็นต้น วิธีการทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในปริมาณต่ำมีหลายวิธี ทั้งนี้การเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่างและช่วงความเข้มข้นของปรอทที่ต้องการวัดกลุ่มงานสิ่งแวดล้อม กรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการทดสอบด้านสิ่งแวดล้อมและเป็นหน่วยงานกลางด้านการทดสอบของประเทศ ผลการทดสอบต้องมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล การวิจัยเปรียบเทียบผลการทดสอบปริมาณปรอททั้งหมดในวัสดุอ้างอิงและตัวอย่างกากของเสียด้วยวิธีการมาตรฐานตามศักยภาพที่มีของห้องปฏิบัติการ โดยงานวิจัยครั้งนี้จะใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเป็นตัวแทนของกากของเสียเพื่อศึกษาปริมาณปรอทในน้ำสกัดและใช้วัสดุอ้างอิงที่เตรียมจาก Matrix ของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและเถ้าลอยเป็นตัวแทนกากของเสียเพื่อหาปริมาณปรอททั้งหมด โดยศึกษาเปรียบเทียบผลการทดสอบปริมาณความเข้มข้นของปรอททั้งหมดที่ได้จากวิธีการทดสอบ 2 วิธี EPA Method 7471 B: Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique) และ EPA Method 7473: Mercury in Solid and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry ผลการศึกษา พบว่า เทคนิค Cold-Vapor Technique และ Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry ให้ผลการทดสอบเชิงปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในแง่ค่าความไม่แน่นอนเทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry มีค่าความไม่แน่นอนต่ำกว่า Cold - Vapor Technique และสารพิษที่เกิดขึ้นจากการทดสอบด้วยเทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry มีปริมาณและความเป็นพิษที่ต่ำกว่า Cold-Vapor Technique

Abstract

Mercury determination in the environment is really important, because of its highly toxic when contaminated in the environment. Therefore, Thai government has limited total mercury concentration in the environment in low concentration. Those concentrations are dependent on each standard for example less than 2 microgram per liter in surface water, less than milligram per cubic meter in ambient air and less than 0.200 milligram per liter in leachate. The alternatives of methods to determine low concentration mercury depend on physical property of sample and range of mercury concentration. The Environment group, Department of Science Service is not only environment testing laboratory but also the third party of testing in Thailand. Therefore, the test results must be of high precision, high accuracy and acceptance. This research focuses on comparison of test results from two methods used to determine low concentration mercury. These two methods are EPA Method 7471 B : Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique) and EPA Method 7473 : Mercury in Solid and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry. The reference material (mercury in sludge and mercury in fly ash) is total mercury sample while coal fly ash from power plant is a leachate sample. The test results indicated that Cold - Vapor Technique are not deference and Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry. The comparison of uncertainty between Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry

and Cold - Vapor Technique showed that Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry were less than Cold - Vapor Technique. Moreover, the volume of waste and its toxicity from Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry were less than Cold - Vapor Technique.

คำสำคัญ: ปรอท เถ้าลอย วิธีทดสอบหาปริมาณปรอท

Keywords: Mercury, Fly ash, Mercury determination

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author E-mail address : waraporn@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

กากอุตสาหกรรมซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตต่างๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องผ่านการทดสอบหาปริมาณสารอันตรายทั้งในรูปของปริมาณสารทั้งหมด (Total Threshold Limit Concentration, TTL) และปริมาณสารในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) ตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่องสิ่งปนเปื้อนหรือวัตถุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548 [1] ปรีทเป็นสารอันตรายที่สำคัญพารามิเตอร์หนึ่งที่ถูกกำหนดให้ทดสอบหาปริมาณตามประกาศฯ ดังกล่าว เนื่องจากสารปรอทมีความเป็นพิษสูงและเมื่อสารปรอทปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำจะเปลี่ยนรูปเป็นสารปรอทอินทรีย์ หรือที่เรียกว่า “เมทิลเมอร์คิวรี (Methyl mercury)” ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ซึ่งสารดังกล่าวมีความเป็นพิษที่สูงมากเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคพิษของปรอทหรือที่รู้จักในชื่อ โรคมินามาตะ ด้วยเหตุนี้เกณฑ์มาตรฐานความเข้มข้นของสารปรอทที่ยอมให้มีได้ในกากอุตสาหกรรมจึงอยู่ในปริมาณต่ำ กล่าวคือความเข้มข้นของปรอทในรูปของ TTL กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณปรอททั้งหมดในรูปของ STLC กำหนดไว้ที่ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำสกัด) และเกณฑ์การยอมรับจะลดต่ำลงอีกในน้ำเสีย/น้ำทิ้ง ที่กำหนดไว้ที่ 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ดังนั้นในการเลือกวิธีการทดสอบหาปริมาณปรอทที่ความเข้มข้นต่ำในสิ่งแวดล้อม จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้ได้มาซึ่งผลการทดสอบที่ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ ปัจจุบันการทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นของปรอทสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับช่วงความเข้มข้นที่ต้องการทดสอบและชนิดของตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ

ในการวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลการวัดปริมาณความเข้มข้นของสารปรอททั้งหมด (Total Mercury) ในตัวอย่างกากอุตสาหกรรมทั้งในรูปของ TTL และปริมาณความเข้มข้นของสารปรอททั้งหมดในน้ำสกัดในรูปของ STLC โดยศึกษาเปรียบเทียบผลการวัดปริมาณปรอทที่วัดได้ตามวิธีมาตรฐานและตามศักยภาพที่ห้องปฏิบัติการสามารถทำการทดสอบได้ กล่าวคือ

1) การทดสอบหาปริมาณสารปรอททั้งหมดในกากอุตสาหกรรมในรูป TTL ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นของปรอทด้วยวิธีมาตรฐาน EPA Method 7471 B : Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold - Vapor Technique) [2] และ EPA Method 7473 : Mercury in Solid and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry [3]

2) การทดสอบหาปริมาณสารปรอทในน้ำสกัด (STLC) ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นของปรอทด้วยวิธีมาตรฐาน EPA Method 7470 A : Mercury in Liquid Waste (Manual Cold-Vapor Technique) [4] และ EPA Method 7473 : Mercury in Solid and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีทดสอบหาปริมาณปรอทความเข้มข้นต่ำในกากอุตสาหกรรม มีขั้นตอนการศึกษาโดยสังเขปดังนี้

2.1 วิธีดำเนินการ

2.1.1 ทดสอบหาปริมาณสารปรอททั้งหมดด้วยเทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry

2.1.1.1 ทดสอบความสามารถของเครื่องมือวิเคราะห์

2.1.1.2 ทดสอบความสามารถของวิธีวิเคราะห์

- ทดสอบความแม่นยำ ความเที่ยง และความไม่แน่นอนของการทดสอบ

- ทดสอบช่วงของการทดสอบ

2.1.2 ทดสอบหาปริมาณสารปรอททั้งหมดด้วยเทคนิค Cold vapor Atomic Absorption Spectrophotometry

2.1.2.1 ทดสอบความสามารถของเครื่องมือวิเคราะห์

2.1.2.2 ทดสอบความสามารถของวิธีวิเคราะห์

- ทดสอบความแม่นยำ ความเที่ยง และความไม่แน่นอนของการทดสอบ

- ทดสอบช่วงของการทดสอบ

2.1.3 เปรียบเทียบความสามารถของทั้งสองวิธีทดสอบ

2.2 เครื่องมือ และ อุปกรณ์

2.2.1 Atomic Absorption Spectrophotometry ด้วยเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry

2.2.2 Direct Mercury Analyzer (Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry)

2.3 สารเคมี

2.3.1 วิธี Direct Mercury Analyzer (Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry)

1) Deionized water (DI water) : น้ำปราศจากไอออน ที่มีค่า Resistivity ไม่น้อยกว่า 18.2 M .cm.

2) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl), 37% w/w: กรดจะต้องมีการวิเคราะห์ความไม่บริสุทธิ์ โดยค่าความไม่บริสุทธิ์จะต้องน้อยกว่าค่าที่ต่ำที่สุดที่วิธีสามารถวัดได้(MDL) จึงจะสามารถใช้ได้

3) Hg standard solution 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

4) Hg standard solution 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร คนละแหล่งกับข้อ 3

5) Hg standard solution: 0, 2, 5, 10, 20, 50

ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, and

2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรเจือจาง Hg standard solution ความเข้มข้น ต่าง ๆ ด้วยสารละลาย 1 % HCl

6) Standard Reference Material 2782: Industrial Sludge traceable to NIST

7) CRM: Fly ash traceable to IRMM ใช้เป็นตัวอย่าง ควบคุมและทำให้ผลการวัดสอบกลับได้ ใช้เป็นตัวอย่างทดสอบ

2.3.2 วิธี Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry

1) Potassium permanganate AR grade

2) Tin(II)chloride dehydrate AR grade

3) Sodium borohydride AR grade

4) Conc. Nitric acid

5) Conc. Hydrochloric acid

6) Conc. Sulfuric acid

7) Sodium hydroxide AR grade

ขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงในรูปที่ 1

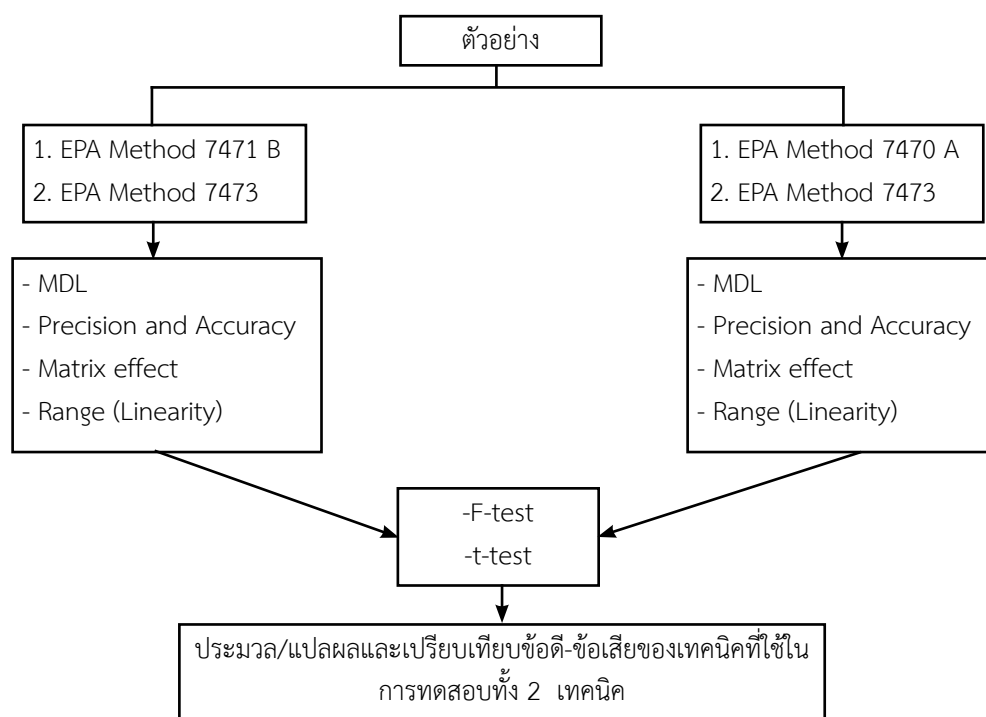
3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 ผลการทดสอบปริมาณปรอททั้งหมด (TTLC)

จากการทดสอบหาปริมาณปรอททั้งหมดในวัสดุอ้างอิง (CRM) โดยใช้เทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry และ Cold Vapor Absorption Spectrophotometry ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3.1 – 3.2

3.2 ผลการทดสอบปริมาณปรอทในน้ำสกัด (STLC)

การเปรียบเทียบผลการทดสอบปริมาณปรอทในน้ำสกัดโดยใช้ spike sample ที่มีการเติมสารละลายปรอทมาตรฐานที่รู้ค่าในปริมาณต่างๆ ลงในตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแทนการใช้วัสดุอ้างอิง โดยสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการเติมต่างแหล่งกับสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน การทดสอบปริมาณปรอทในน้ำสกัดเลือกใช้ spike sample เนื่องจากวัสดุอ้างอิงที่มี matrix เดียวกับเถ้าลอยมีราคาสูงมาก และในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างต้องใช้ตัวอย่างในปริมาณมาก (มากกว่า 500 กรัม)



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนวิธีดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบหาปริมาณปรอททั้งหมดในวัสดุอ้างอิง ประเภทเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้เทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry

ลำดับที่	ปริมาณปรอทใน Method Blank มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ปริมาณปรอทในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ปริมาณปรอทในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
1	0.0035	1.62	1.54
2	0.0036	1.36	2.01
3	0.0041	1.30	1.16
4	0.0037	1.14	1.28
5	0.0036	1.24	1.16
6	0.0035	1.18	0.932
7	0.0032	0.988	1.03
8	0.0030	1.06	0.921
9	0.0056	0.987	0.986
10	0.0044	1.31	0.980
ค่าเฉลี่ย	0.0038	1.30	1.20
SD	0.0007	0.3243	0.3422
MDL	0.0059	-	-
LOQ	0.011	-	-
Assign Value, mg/kg	-	1.60 + 0.23	1.10 + 0.19
% Recovery	-	81.25	109.09
%RSD	-	24.94	28.52

หมายเหตุ: ข้อมูลทั้งหมดผ่านการทดสอบ outlier โดยใช้ Grubbs' test พบว่าไม่มี outlier

3.2.1 การทดสอบหาปริมาณปรอทในน้ำสกัดของตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า โดยใช้เทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry และ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3.3

3.2.2 การทดสอบหาปริมาณปรอทในน้ำสกัดของตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าที่ spike ปรอทในช่วงความเข้มข้นระหว่าง 0.010 ถึง 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำสกัด (สูง กลาง และ ต่ำ) โดยใช้เทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry และ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบหาปริมาณปรอททั้งหมดในวัสดุอ้างอิง ประเภทเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้เทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation and Atomic Absorption Spectrophotometry

ลำดับที่	ปริมาณปรอทใน Method Blank (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ปริมาณปรอทในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ปริมาณปรอทในกากตะกอนจากระบบ บำบัดน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1	0.0021	1.38	1.32
2	0.0034	1.58	1.29
3	0.0020	1.33	1.25
4	0.0011	1.33	1.22
5	0.0033	1.44	1.21
6	0.0032	1.58	1.28
7	0.0030	1.49	1.23
8	0.0016	1.40	1.18
9	0.0012	1.55	1.17
10	0.0026	1.27	1.23
ค่าเฉลี่ย	0.0023	1.44	1.24
SD	0.0009	0.1058	0.0453
MDL	0.005	-	-
LOQ	0.011	-	-
Assign Value, mg/kg	-	1.60 + 0.23	1.10 + 0.19
% Recovery	-	90.0	112.73
%RSD	-	7.35	3.65

หมายเหตุ: ข้อมูลทั้งหมดผ่านการทดสอบ outlier โดยใช้ Grubbs' test พบว่าไม่มี outlier

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบหาปริมาณปรอทในน้ำสกัดจากตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry และ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry

ลำดับที่	Method Bank	
	Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry (มิลลิกรัมต่อลิตร)	Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	0.0034	0.007
2	0.0035	0.003
3	0.0031	0.006
4	0.0031	0.001
5	0.0022	0.002

6	0.0034	0.002
7	0.0018	0.002
8	0.0021	0.001
9	0.0022	0.005
10	0.0022	0.003
ค่าเฉลี่ย	0.0027	0.003
SD	0.0006	0.002
MDL	0.0045	0.009
LOQ	0.0087	0.023

ตารางที่ 3.4 ปริมาณปรอทในน้ำสกัดของตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าที่ spike ปรอทในช่วงความเข้มข้นระหว่าง 0.010 -2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำสกัด

ลำดับที่	Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry (มิลลิกรัมต่อลิตร)				Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	Blank	0.010	0.500	2.00	Blank	0.010	0.500	2.00
1	0.0034	0.0099	0.5348	2.10	0.007	0.010	0.524	2.181
2	0.0035	0.0106	0.5387	2.11	0.003	0.013	0.529	2.041
3	0.0031	0.0107	0.4392	2.10	0.006	0.012	0.535	2.177
4	0.0031	0.0107	0.548	2.14	0.001	0.012	0.544	2.174
5	0.0022	0.0106	0.5467	2.15	0.002	0.011	0.539	2.187
6	0.0034	0.0112	0.5281	2.15	0.002	0.013	0.530	2.149
7	0.0018	0.0107	0.5600	2.15	0.002	0.012	0.481	2.170
8	0.0021	0.0106	0.5467	2.18	0.001	0.011	0.539	2.127
9	0.0022	0.0108	0.5414	2.16	0.005	0.011	0.529	2.196
10	0.0022	0.0109	0.4640	2.18	0.003	0.013	0.536	2.150
ค่าเฉลี่ย	0.0027	0.01067	0.464	2.14	0.003	0.012	0.582	2.155
% Recovery	-	106.6	92.8	107	-	120	116	108
%RSD	-	2.96	8.60	1.39	-	8.33	3.41	2.09

4. สรุป (Conclusion)

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทดสอบหาปริมาณปรอททั้งหมด (TTL) ในตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า (ตัวแทนของตัวอย่างที่เป็นสารอินทรีย์) และในตัวอย่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย (ตัวแทนของตัวอย่างที่เป็นสารอนินทรีย์) และวิธีการทดสอบหาปริมาณปรอทในน้ำสกัด (STLC) จากตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า โดยใช้เทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry และ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry โดยเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสีย ในด้านต่างๆ ดังนี้

4.1 ด้านผลการทดสอบ

4.1.1 การเปรียบเทียบผลทดสอบ

1) การเปรียบเทียบขีดจำกัดของวิธีทดสอบ (Method Detection Limit, MDL) ขีดจำกัดของปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ) ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบขีดจำกัดของวิธีทดสอบ (Method Detection Limit, MDL) ขีดจำกัดของปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ)

รายการ	วิธีทดสอบ	
	Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry	Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry
TTLC MDL, mg/kg LOQ, mg/kg	0.005 0.011	0.006 0.011
STLC MDL, mg/l LOQ, mg/l	0.0045 0.0087	0.009 0.023

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าขีดจำกัดของวิธีทดสอบและขีดจำกัดของปริมาณที่ได้จากเทคนิคทั้งสองมีค่าไม่แตกต่างกันในการทดสอบในตัวอย่างของแข็ง แต่ในการทดสอบหาปริมาณปรอทในน้ำสกัดพบว่าเทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry มีค่าขีดจำกัดของวิธีทดสอบและขีดจำกัดของปริมาณที่ดีกว่ากล่าวคือ สามารถตรวจวัดได้ในปริมาณความเข้มข้นที่น้อยกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความไว (Sensitivity) ของเครื่องมือที่มีสมรรถนะที่แตกต่างกัน อีกทั้งเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry มีขั้นตอนที่มากกว่าทำให้ผลการทดสอบในชุดการทดลองให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ที่สูงกว่าและส่งผลให้ผลการคำนวณค่าขีดจำกัดของวิธีทดสอบและขีดจำกัดของปริมาณมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

2) การเปรียบเทียบผลการทดสอบปริมาณปรอทที่ทดสอบได้ด้วยเทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry และ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry ภายใต้สมมติฐานผลการทดสอบหาปริมาณปรอทด้วยเทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry และ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (H_0) โดยการทดสอบทางสถิติ ได้แก่ F-test เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือก t-test ที่เหมาะสมรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

- ผลการทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของปรอททั้งหมด (TTLC) ในวัสดุอ้างอิงทั้งสองชนิด (ถั่วลอยและตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย) ที่ทดสอบได้จาก 2 วิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.2 การคำนวณค่า F-testของวัสดุอ้างอิง (ถั่วลอย): ความเข้มข้นปรอททั้งหมด (TTLC)

F-Test Two-Sample for Variances

	Cold vapor	Thermal Decomposition
Mean	1.2985	1.435
Variance	0.15176722	0.01242778
Observations	10	10
df	9	9
F	8.463035315	
P(F<=f) one-tail	0.001958911	
F Critical one-tail	3.178893104	

ตารางที่ 4.3 การคำนวณค่า t-test ของวัสดุอ้างอิง (เกลือ) : ความเข้มข้นปรอททั้งหมด (TTLC)

	Cold vapor	Thermal Decomposition
Mean	1.2985	1.435
Variance	0.15176722	0.01242778
Observations	10	10
Hypothesized Mean Difference	0	
df	11	
t Stat	-1.258695506	
P(T<=t) one-tail	0.117099083	
t Critical one-tail	1.795884819	
P(T<=t) two-tail	0.234198166	
t Critical two-tail	2.20098516	

ตารางที่ 4.4 การคำนวณค่า F-test ของวัสดุอ้างอิง (ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย) : ความเข้มข้นปรอท ทั้งหมด (TTLC)
F-Test Two-Sample for Variances

	Cold vapor	Thermal Decomposition
Mean	1.1999	1.238
Variance	0.117117878	0.002284444
Observations	10	10
df	9	9
F	51.2675535	
P(F<=f) one-tail	1.16147E-06	
F Critical one-tail	3.178893104	

ตารางที่ 4.5 การคำนวณค่า t-test ของวัสดุอ้างอิง (ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย) : ความเข้มข้นปรอททั้งหมด (TTLC)
t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Cold vapor	Thermal Decomposition
Mean	1.1999	1.238
Variance	0.117117878	0.002284444
Observations	10	10
Hypothesized Mean Difference	0	
df	9	
t Stat	-0.348673217	
P(T<=t) one-tail	0.367676211	
t Critical one-tail	1.833112933	
P(T<=t) two-tail	0.735352421	
t Critical two-tail	2.262157163	

- ผลการทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัด (STLC) จากตัวอย่างที่ทุกความเข้มข้น ที่ทดสอบได้จาก 2 วิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.1.2 การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดปริมาณ Mercury โดย Method 7471B: Mercury in solid or semisolid waste (Manual cold - vapor technique) และ Method 7473 B: Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, Amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของการวัดปริมาณปรอทในน้ำสกัด(STLC) ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

แหล่งค่าความไม่แน่นอน	ค่าความไม่แน่นอนในรูปแบบ Relative standard uncertainty	
	Thermal decomposition	Cold vapor
ความเที่ยง ($U_{\text{Repeatability}}$)	0.014	0.021
ปริมาตรตัวอย่าง ($U_{\text{V sample}}$)	4.0×10^{-6}	0.0007
น้ำหนักตัวอย่าง ($U_{\text{M sample}}$)	-	-
สารละลายมาตรฐาน ($U_{\text{Std. calibration}}$)	0.0271	0.0271
กราฟมาตรฐาน ($U_{\text{Calibration curve}}$)	0.053	0.030
ค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, mg/L	0.260	0.197
ผลการวัดปรอท, mg/L	2.14	2.16
คิดเป็นร้อยละ	12.1	9.1

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของการวัดปริมาณปรอททั้งหมดในตัวอย่างเกล็ดลอย (TTLC)

แหล่งค่าความไม่แน่นอน	ค่าความไม่แน่นอนในรูปแบบ Relative standard uncertainty	
	Thermal decomposition	Cold vapor
ความเที่ยง ($U_{\text{Repeatability}}$)	0.073	0.250
ปริมาตรตัวอย่าง ($U_{\text{V sample}}$)	-	0.0007
น้ำหนักตัวอย่าง ($U_{\text{M sample}}$)	0.0035	0.0035
สารละลายมาตรฐาน ($U_{\text{Std. calibration}}$)	0.0080	0.0148
กราฟมาตรฐาน ($U_{\text{Calibration curve}}$)	0.030	0.030
ค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, mg/L	0.213	0.654
ผลการวัดปรอท, mg/L	1.44	1.30
คิดเป็นร้อยละ	14.8	50.3

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของการวัดปริมาณปรอททั้งหมดในตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย (TTL)C

แหล่งค่าความไม่แน่นอน	ค่าความไม่แน่นอนในรูป Relative standard uncertainty	
	Thermal decomposition	Cold vapor
ความเที่ยง ($U_{\text{Repeatability}}$)	0.0365	0.285
ปริมาตรตัวอย่าง ($U_{V \text{ sample}}$)	-	0.0007
น้ำหนักตัวอย่าง ($U_{M \text{ sample}}$)	0.0035	0.0035
สารละลายมาตรฐาน ($U_{\text{Std. calibration}}$)	0.0067	0.0148
กราฟมาตรฐาน ($U_{\text{Calibration curve}}$)	0.030	0.030
ค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, mg/L	0.0929	0.689
ผลการวัดปรอท, mg/L	1.24	1.22
คิดเป็นร้อยละ	7.49	57.4

จากตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของการวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำสกัด ค่าความไม่แน่นอนของวิธี Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry อยู่ที่ร้อยละ 12.1 ในขณะที่วิธี Cold vapor Atomic Absorption Spectrophotometry อยู่ที่ร้อยละ 9.1 ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนักและค่าความเที่ยง (%precision ซึ่งหาได้จาก %RSD) ของทั้ง 2 วิธีอยู่ในเกณฑ์ที่ห้องปฏิบัติการกำหนดกล่าวคือไม่เกินร้อยละ 10 (ดังตารางที่ 3.4) ในขณะที่ตารางที่ 4.7 และ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของการวัดปริมาณปรอททั้งหมดในตัวอย่างเถ้าลอยและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าค่าความไม่แน่นอนของการวัดปริมาณปรอทด้วยวิธี Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry มีค่าน้อยกว่าค่าความไม่แน่นอนจากการวัดปริมาณปรอทด้วยวิธี Cold vapor Atomic Absorption Spectrophotometry ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบด้วยวิธี Cold vapor Atomic Absorption Spectrophotometry มีขั้นตอนมากกว่าวิธี Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry ทำให้การทำซ้ำมีการแปรปรวนมากกว่าผลการประเมินด้วย F-test จึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตาราง F-test ที่ 4.2 และ 4.4 และด้วยเหตุนี้เองทำให้มีผลกระทบต่อค่าความไม่แน่นอนดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8 ดังนั้นในกรณีที่ต้องการวัดปริมาณทั้งหมดในตัวอย่างเป็นของแข็งวิธี Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry จะเหมาะสมกว่าวิธี Cold vapor Atomic Absorption Spectrophotometry เนื่องจากวิธี Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry ให้ค่าความแม่นยำและความเที่ยง

อยู่ในเกณฑ์ที่ห้องปฏิบัติการยอมรับที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 80-120 และไม่เกินกว่าร้อยละ 10 ตามลำดับ ในขณะที่วิธี Cold vapor Atomic Absorption Spectrophotometry ให้ค่าความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ห้องปฏิบัติการยอมรับ แต่ค่าความเที่ยงมีค่ามากกว่าเกณฑ์ (ดังแสดงในตารางที่ 3.1) และค่าความไม่แน่นอนมีค่าสูงมาก

4.2 ด้านต้นทุน

4.2.1 เครื่องมือในการทดสอบ

Mercury analyzer (Cold vapor) ราคา 1,300,000 บาท โดยคิดอัตราค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือร้อยละ 20 ต่อปี และเมื่อทำงานเต็มประสิทธิภาพของศักยภาพในห้องปฏิบัติการสามารถทดสอบตัวอย่างได้ 15 ตัวอย่างต่อวัน ใน 1 ปี คิดวันทำงานที่ 245 วัน ดังนั้นการประมาณการต้นทุนในส่วน of เครื่องในการทดสอบคำนวณจาก

ต้นทุน = (ราคาเครื่องมือ $\times$ ค่าเสื่อมราคา) / จำนวนตัวอย่างต่อวัน $\times$ จำนวนวันทำงาน....สมการ (1)

ต้นทุน = (1,300,000 บาท $\times$ 0.2) / 15 ตัวอย่างต่อวัน $\times$ 245 วัน = 70.75 บาทต่อตัวอย่าง

Mercury analyzer (Direct) ราคา 1,500,000 บาท โดยคิดอัตราค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือร้อยละ 20 ต่อปีและเมื่อทำงานเต็มประสิทธิภาพของศักยภาพในห้องปฏิบัติการสามารถทดสอบตัวอย่างได้ 60 ตัวอย่างต่อวัน ใน 1 ปี คิดวันทำงานที่ 245 วัน ดังนั้นการประมาณการต้นทุนในส่วน of เครื่องในการทดสอบคำนวณตามสมการ (1)

ต้นทุน = (1,500,000 บาท $\times$ 0.2) / 60 ตัวอย่างต่อวัน $\times$ 245 วัน = 20.41 บาทต่อตัวอย่าง

4.2.2 สารเคมี

Mercury analyzer (Cold vapor)	Mercury analyzer (Direct)
1. การเตรียมตัวอย่าง - Potassium permanganate (6บาท/ตัวอย่าง) - Sodium borohydride (121บาท/ตัวอย่าง) - Nitric acid (4.5บาท/ตัวอย่าง) - Sulfuric acid (6บาท/ตัวอย่าง) - Sodium hydroxide (3บาท/ตัวอย่าง) 2. การทดสอบ - Tin(II)chloride dehydrate (36.5บาท/ตัวอย่าง) - Hydrochloric acid (4บาท/ตัวอย่าง) - Mercury Standard Solution (3บาท/ตัวอย่าง)	1. การเตรียมตัวอย่าง ไม่มีการเตรียมตัวอย่าง 2. การทดสอบ - Nitric acid (4.5 บาท/ตัวอย่าง) - Mercury Standard Solution (3บาท/ตัวอย่าง)

เมื่อคำนวณต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นพบว่า ต้นทุนการทดสอบปริมาณปรอทด้วยเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry มีค่า 254.75 บาทต่อตัวอย่าง และต้นทุนการทดสอบปริมาณปรอทด้วยเทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry มีค่า 27.91 บาทต่อตัวอย่าง

4.3 ด้านสิ่งแวดล้อม

ในการหาปริมาณปรอทด้วยเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างซึ่งมีการใช้สารเคมีหลายชนิด และต้องใช้ตัวอย่างในปริมาณที่มากพอโดยทั่วๆ ไปการทดสอบหาปริมาณปรอทด้วยเทคนิคนี้จะมีปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดสอบประมาณ 100มิลลิลิตรต่อตัวอย่างซึ่งมีผลทำให้เกิดสารพิษในสิ่งแวดล้อม ในขณะที่การทดสอบหาปริมาณปรอทด้วยเทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry ไม่มีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่าง ปริมาณตัวอย่างที่ใช้มีปริมาณน้อยมาก (สูงสุดไม่เกิน 100 ไมโครกรัม) และการทดสอบเป็นแบบทำลายในระบบปิดและมีระบบดูดซับไอของเสียที่เกิดขึ้นและทำให้อยู่ในสภาพที่ไม่เป็นอันตรายและง่ายต่อการจัดการ จึงอาจกล่าวได้ว่าของเสียเกิดขึ้นภายหลังการทดสอบด้วยเทคนิค Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry ทั้งแง่ของปริมาณและความรุนแรงของพิษ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยีแห่งชาติ (Coordinating Center for Thai Government Science and Technology Scholarship Students (CSTS) National Science and Technology Development Agency (NSTDA)) ปี พ.ศ. 2557 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณหน่วยงานผู้ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อธิบดี รองอธิบดี ผู้อำนวยการโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม และหัวหน้ากลุ่มงานสิ่งแวดล้อมกรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้ความอนุเคราะห์และคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์กับโครงการวิจัยเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณผู้ร่วมงานทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้โครงการนี้ประสบผลสำเร็จและบรรลุเป้าหมายตามที่วางไว้

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548. *ราชกิจจานุเบกษา*. 2548, 123 (ตอนพิเศษ 11 ง), 14.
- [2] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, US EPA. (2007), EPA Method 7471 B: *Mercury in solid or semisolid waste (Manual cold-vapor technique)*, pp.11.
- [3] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, US EPA. (2007), EPA Method 7473: *Mercury in solid and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry*, pp.17.
- [4] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, US EPA. (1994), EPA Method 7470 A : *Mercury in liquid waste (Manual cold-vapor technique)*, pp.6.

คำแนะนำในการส่งต้นฉบับ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Bulletin of Applied Sciences

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ยินดีรับบทความวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยบทความที่ส่งตีพิมพ์จะต้องไม่เคยตีพิมพ์หรืออยู่ในระหว่างการพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในวารสารอื่น บทความที่เสนอมานี้เพื่อตีพิมพ์อาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่บทความต้องมีทั้งสองภาษา ทั้งนี้บทความทุกเรื่องจะได้รับการพิจารณาตรวจแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องและกองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขต้นฉบับและพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง

ความรับผิดชอบ

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ ถือเป็นผลงานทางวิชาการ และเป็นความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่ใช่ความเห็นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือกองบรรณาธิการ ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน และบทความที่ตีพิมพ์ในเล่มนี้ไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน

การเตรียมต้นฉบับและการส่งต้นฉบับ

○ **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

อรวรรณ ปิ่นประยูร^{1*}, กรรณิการ์ บุตรเอก^{2**}
Orawan Pinprayoon^{1*}, Kannika Butrak^{2**}

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

²ศูนย์ประสานงานกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำภูมิภาค ภาคใต้

* E-mail address: porawan@dss.go.th

** Corresponding author E-mail address: kannika.b@most.go.th

○ **บทคัดย่อ (Abstract):** บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ เนื้อหาในคัดย่อ ควรระบุวัตถุประสงค์ ผลการวิจัย และบทสรุปโดยย่อ

○ **คำสำคัญ (Keywords):** คำสำคัญต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระบุคำสำคัญหรือวลีสั้นๆ จำนวน 3-5 คำ คำที่ 1, คำที่ 2, คำที่ 3 ตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 ตัวปกติ

○ **เนื้อเรื่อง** แบ่งเป็นส่วนต่างๆดังนี้

1. **บทนำ (Introduction):** หัวข้อบทนำ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 ตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้าย หัวข้อย่อย ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวหนา เนื้อหา ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ตัวปกติ

2. **วิธีการวิจัย (Experimental):** 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): การอ้างอิงเอกสารให้ใช้ระบบเรียงตามตัวเลข ใส่หมายเลขในวงเล็บเหลี่ยม [] เรียงตามลำดับการอ้างอิงในเรื่อง เอกสารอ้างอิงทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงหรือกล่าวถึงในบทความตัวอย่าง

- [1] CHAN, A.H.S. and LEE, P.S.K. Effect of display factors on Chinese reading times, comprehension scores and preferences. *Behav. Info. Techn.*, 2005, 24 (2), 81-9 .
- [2] CAI, D., CHI, C.F. and YOU, M. The legibility threshold of Chinese characters in three- type styles. *International Journal of Industrial Ergonomics.*, 2001, 27, 9-17.
- [3] BERNARD, M., et al. Examining children's Reading performance and preference for different computer-displayed text. *Behav Info Techn.*, 2002, 21(2), 87-96.

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

- ตาราง : ให้ระบุลำดับที่ของตาราง หัวตารางให้จัดชิดขอบด้านซ้าย ชื่อตารางให้อยู่ด้านบนของตาราง
- รูป : ให้ระบุลำดับที่ของรูป คำบรรยายรูปภาพให้อยู่ใต้รูปภาพ และจัดกึ่งกลางคอลัมน์

○ การส่งต้นฉบับ

1. ส่งต้นฉบับทางไปรษณีย์ ส่งต้นฉบับจำนวน 1 ชุด และสำเนาจำนวน 2 ชุด พร้อมติดสติกเกอร์ที่กองบรรณาธิการวารสารวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (Bulletin of Applied Sciences) สำนักงานวารสาร สำนักงานเลขานุการกรม ฝ่ายประชาสัมพันธ์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ เลขที่ 75/7 ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
2. ส่งต้นฉบับทางไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) มายังฝ่ายเลขานุการ e-mail : bulletin@dss.go.th, udomlak@dss.go.th
3. ส่งต้นฉบับทางเว็บไซต์ได้ที่ URL : <http://bas.dss.go.th>

กรณีศึกษาสำคัญ
วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ปีที่ 5 ฉบับที่ 5 สิงหาคม 2559

ก		ป	
กระดาศ	97	ปรอท	103
การสอบเทียบ	47	ปิเปตต์	47
การอยู่รอด	89	ปูนซีเมนต์	9
ค		ฟ	
ความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการ	71	ฟอร์มัลดีไฮด์	19
ค่ากำหนด	39	ม	
ค่าความไม่แน่นอน	39	เมนิสคัส	47
เครื่องแก้วปริมาตร	47	เมลามีน	19
เครื่องใช้ในครัวเรือน	19	ร	
เคลือบเซรามิก	31	ระยะเวลาการไหล	47
โคลิฟอร์ม	79	ว	
ช		วัสดุฉนวนมวลเบา	57
ชุดทดสอบ	79	วัสดุผสมเยื่อกระดาษ	9
เชื้อจุลินทรีย์ทางการเกษตร	89	วัสดุสัมผัสอาหาร	97
ด		วัสดุอ้างอิง	39
ไดโครเดอร์มา ฮาร์เซียนัม	89	วิธีทดสอบหาปริมาณปรอท	103
ถ		ศ	
ถ่านชีวภาพ	89	เศษกระดาษเหลือใช้	9
ถ้ำซานอ้อย	31	เศษแก้ว	57
ถ้ำลอย	57, 103	ส	
น		เสถียรภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน	65
น้ำ	79	ห	
น้ำมันงา	65	ห้องปฏิบัติการที่ยั่งยืน	71
นิวเคลียร์แมคเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี	65	ห้องปฏิบัติการสีเขียว	71
บ		อ	
บาซิลลัส ซับทีลิส	89	อาหารสัตว์	39
เบนโซฟีโนน	97		

Keyword Index
Bulletin of Applied Sciences
Vol. 5 No. 5 August 2016

¹ H-NMR	65	L	
A		Laboratory safety	71
Agricultural microbes	89	M	
Assigned value	39	Measurement uncertainty	39
B		Melamine	19
Bacillus subtilis	89	Meniscus	47
Bagasse ash	31	Mercury	103
Benzophenone	97	Mercury Determination	103
Biochar	89	O	
C		Oxidative stability	65
Calibration	47	P	
Cement	9	Paper	97
Ceramic glaze	31	Pipette	47
Coliforms	79	R	
Cullet	57	Recycled paper based composite	9
D		Reference material	39
Delivery time	47	S	
F		Sesame	65
Feeding stuff	39	Survival	89
Fly ash	57,103	Sustainable laboratories	71
Food contact material	97	T	
Formaldehyde	19	Test kit	79
G		Trichoderma harzianum	89
Green laboratory	71	V	
I		Volumetric glassware	47
Insulating lightweight material	57	W	
K		Wasted paper	9
Kitchen and tableware	19	Water	79

ดรรชนีผู้แต่ง
วารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ปีที่ 5 ฉบับที่ 5 สิงหาคม 2559

ก		ล	
ก่อพงศ์ หงษ์ศรี	9	ลัดดาวัลย์ เยียดยัด	71
ข		ว	
ขวัญใจ สมบุญ	9	วรรณดา ต.แสงจันทร์	31, 57
จ		วราภรณ์ กิจชัยนุกูล	103
เจนจิรา ภูริรักษ์พิติกร	65	วราลี บางหลวง	31
ฐ		วีระชัย วาริยาตร์	47
ฐิติพร วัฒนกุล	65	ศ	
ด		ศรีสุดา ห่มระฤก	39
ดวงกมล เขาวนศรีหมุด	71	ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ	31, 57
ธ		ส	
ธวัช นุสนธรา	19	สายจิต ดาวสุโข	89
ธีระ ปานทิพย์อำพร	79	สุกัลยา พลเดช	39
บ		สุทธิมา ศรีประเสริฐสุข	57
บุญธรรม ลิ้มปิยพันธ์	47	สุภัตรา เจริญเกษมวิทย์	19
ป		สุวรรณี แทนธานี	89
ปวีศา สีสวย	19	ห	
ปวีณา เครือนิล	71	หนึ่งฤทัย แสงแสงสีรุ้ง	97
พ		อ	
พจมาน ท่าจีน	39	อนันตณัฐ กันต์ธัญญรัตน์	71
พิชญา บุตรขุนทอง	71	อนุดตรา นวมณอม	65
ภ		อักรินทร์ ไพบูลย์พานิช	71
ภัทธิดา นิลภัทรฉัตร	71	อัจฉราวรรณ วัฒนหัตถกรรม	47
ภัทธิดา สุวรรณสนธิ์	57	เอมวจิ ปานทอง	31

Author Index
Bulletin of Applied Sciences
Vol. 5 No. 5 August 2016

A

Acharawan Wattanahuttakum
Akarin Paibulpanich
Anantanat Kantanyarat
Anuttra Nuamthanom

47
71
71
65

B

Boontham Limpiyapun

47

D

Duangkamol Chaosrimud

71

E

Emwagee Panthong

31

J

Jenjira Phuriragpitikhon

65

K

Korpong Hongsri

9

Kwanjai Somboon

9

L

Laddawan Yeadyad

71

N

Neungrutai Saesaengseerung

97

P

Pattida Nilpatarachat

71

Pawarisa Srisury

19

S

Paweena Kreunin

71

Phatthiya Suwannason

57

Pitchaya Buthkhunthong

71

Pochaman Tagheen

39

Saijit Daosukho

89

Sansanee Rugthaicharoencheep

31, 57

Srisuda Romraluk

39

Sukanya Pondet

39

Supattra Charoenkasemwit

19

Sutthima Sriprasertsuk

57

Suwannee Thaenthanee

89

T

Thawat Nusonthara

19

Theera Panthipamporn

79

Titiporn Wattanakul

65

V

Vararee Bangluang

31

W

Wanna T. Sangchantara

31, 57

Waraporn Kitchainukul

103

Weerachai Variyart

47

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

75/7 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท
เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

e-mail : bulletin@dss.go.th

website : <http://bas.dss.go.th>