

ISSN 2286-7708

วารสารผลงานวิชาการ



กรมวิทยาศาสตร์บริการ
DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

BULLETIN OF APPLIED SCIENCES

ปีที่ 6 ฉบับที่ 6 สิงหาคม 2560
Vol. 6 No. 6 August 2017

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



วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Bulletin of Applied Sciences

ปีที่ 6 ฉบับที่ 6 สิงหาคม 2560

Vol. 6 No. 6 August 2017

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
Bulletin of Applied Sciences
ISSN 2286-7708
ปีที่ 6 ฉบับที่ 6 สิงหาคม 2560, Vol. 6 No. 6 August 2017

ชื่อหนังสือ วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ Bulletin of Applied Sciences

วัตถุประสงค์

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

เจ้าของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

ดร. สุทธิเวช ต.แสงจันทร์

อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

นางเน่งน้อย เวทยพงษ์

รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ

กองบรรณาธิการ

ดร. ชรณี ตัญเต็มวงศ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รศ.ดร.จักรพงษ์ แก้วขาว

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ดร. จริญญา ยะฝา

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

รศ. ดร. จรัสศรี ลอประยูร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดร.นุชนาฏ ญ ระนอง

กรมวิชาการเกษตร

นายพยับ นามประเสริฐ

นักวิชาการอิสระ

ผศ. ดร. วิภารัตน์ เชื้อชวด ชัยสิทธิ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

นายวีระ ตูลาสมบัติ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

นายศักดิ์ แสนสุภา

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ผศ.สุชาติ ไชยสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ. ดร.สุธรรม ศรีหล่มสัก

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ดร.องอาจ ธนศนิตย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายเขมชาติ ธนาภิชาญเจริญ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ดร. จริยวดี ศิริจันทร์

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

นางจันทร์รัตน์ วรสรรพวิทย์

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ดร. จิราภรณ์ บุราคร

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ดร. จุฑาทิพย์ ลาภวิบูลย์สุข

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

นางชุติมา วิไลพันธ์

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

นางสาวณัฐกานต์ เกตุคุ้ม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

นางสาวดวงกมล เขาวนศรีหมุด

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ดร. เทพวรรณ จิตรวัชรโกมล

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

นายธีระชัย รัตนโรจน์มงคล

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ดร. พจมาน ท่าจิ้น	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
นางสาวพรพรรณ ปานทิพย์อำพร	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ดร. วีระชัย วาริยาตร์	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
นางวรรณมา ต.แสงจันทร์	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ดร. สายจิต ดาวสุโข	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ดร. สุภาพร โค้วณภูมิตร	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ดร. อนุตตรา นวมณอม	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ดร. อรสา อ่อนจันทร์	กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ฝ่ายเลขานุการ

นางสาวอุดมลักษณ์ เวียนงาม	เลขานุการ
นางสาวจอย ผิวสะอาด	ผู้ช่วยเลขานุการ
นางสาวพรทิพย์ เส้นสด	ผู้ช่วยเลขานุการ
นางสาวจิตลดา คณีกุล	ผู้ช่วยเลขานุการ

ฝ่ายเผยแพร่

นางวลัยพร ร่มรื่น

เว็บไซต์วารสาร

นางสาวพรรัชชล รัตนปानी

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

บทบรรณาธิการ

งานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศและผู้ประกอบการธุรกิจในทุกภาคส่วน มาโดยตลอด โดยเฉพาะทิศทางการพัฒนาในอนาคตที่มีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีแบบก้าวกระโดด ดังนั้นการจัดทำวารสารผลงานวิชาการกรมหาวิทยาลัยบริการ จึงมีจุดมุ่งหวังที่จะนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะนำไปใช้เพื่อการยกระดับและพัฒนาเทคโนโลยีให้ก้าวหน้า

วารสารผลงานวิชาการกรมหาวิทยาลัยบริการ (Bulletin of Applied Sciences) ฉบับนี้ตีพิมพ์เผยแพร่เป็นปีที่ 6 ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2560 ประกอบด้วยบทความวิจัยที่มีความหลากหลาย อาทิ ด้านการพัฒนาคุณภาพวัสดุ และการนำวัสดุกลับมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ กระดาษ แก้ว เซรามิก และยางธรรมชาติ รวมทั้งการประเมินคุณภาพของวัสดุสัมผัสอาหารประเภทอะลูมิเนียม ด้านจุลชีววิทยามีการพัฒนาวิธีทดสอบหาปริมาณเชื้อราในเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ การพัฒนาคุณภาพน้ำโดยใช้วัตถุดิบธรรมชาติจากดินขาว และด้านห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับมาตรวิทยา และห้องปฏิบัติการสีเขียว เป็นต้น

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเนื้อหาจากวารสารวิชาการฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์สำหรับนักวิจัย นักวิชาการ ผู้ประกอบการ นิสิต นักศึกษา ในการศึกษาค้นคว้า พัฒนางาน เพื่อต่อยอดและสร้างนวัตกรรมต่อไป

แน่นน้อย เวทยพงษ์
หัวหน้ากองบรรณาธิการ

สารบัญ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ปีที่ 6 ฉบับที่ 6 สิงหาคม 2560

1	การพัฒนาเนื้อดินแดงบ้านป่าตาลให้มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรง ลดดา พันธุ์สุขุมธนา, วรธนา ต.แสงจันทร์, ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ, ศศิธร พลະบุญ	9
2	กรณีศึกษาสถานภาพด้านความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ของโรงงานอุตสาหกรรมเคมีแห่งหนึ่ง ปวีณา เครือนิล, อัครินทร์ ไพบุลย์พานิช, พิษญา บุตรขุนทอง	17
3	ผลกระทบของการสัมผัสต่อเนื่องต่อเครื่องชั่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ที่มีความละเอียดและน้ำหนักชั่งแตกต่างกัน จิตตกานต์ อินเทียง, วีระชัย วาริยาตร์, สมโภชน์ บุญสนิท, พลัปปึง นาคเกิด	24
4	ผลกระทบของการเติมโคบอลต์ออกไซด์ และพาซีโอไคเดียมออกไซด์ต่อ สมบัติการดูดกลืนแสงของแก้วกรองแสง เอกรัฐ มีชูวาศ, วนิดา แสงจันทร์, อรุณา นาคนิคาม, กนิษฐ์ ตะปะสา	32
5	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารละลายเจือจางต่อการนับจำนวนเชื้อรา ที่ปนเปื้อนในเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ สุพรรณิ เทพอรุณรัตน์, สุลาวดี เขียวชม	38
6	การศึกษาเบื้องต้นของประสิทธิภาพสารกรองสารหนูจากดินขาวสำหรับน้ำเพื่อ บริโภค อาภาพร สินธุสาร, นงลักษณ์ บรรยงวิมลณัฐ, อังสนา ฉั่วสุวรรณ, เมธี ครองพงษ์	44
7	การประเมินคุณภาพวัสดุและการศึกษาการละลายของธาตุจาก กระเพาะไฟฟ้าอะลูมิเนียม ดวงกมล เซวาน์ศรีหมุด, จิตวิไล เวฬุวนารักษ์, จิรพรรณ โรมา, นุชรินทร์ พลหงษ์	51
8	ยางคอมปาวด์ที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก สำหรับทำความสะอาด แม่พิมพ์ยาง กาจพันธ์ สุกุลแก้ว, ประเสริฐ แซ่จู้	58

สารบัญ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ปีที่ 6 ฉบับที่ 6 สิงหาคม 2560

9

การพัฒนาแผ่นรองเผาจากวัสดุเหลือทิ้ง

65

วรรณภา ต.แสงจันทร์, ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ, จุติภา บุญวิเศษ,
สุทธิมา ศรีประเสริฐสุข

10

การสำรวจความรู้ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวของ ผู้ทำงานในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมีของหน่วยงานราชการแห่งหนึ่ง

73

ปวีณา เครือนิล, อัครินทร์ ไพบุลย์พานิช, อนันตณัฐ กันต์ธัญญรัตน์,
ลัดดาวัลย์ เยียดยัด, ดวงกมล เขาวนศรีหมด

11

บล็อกยางกำบังนิวตรอนและรังสีแกมมาจากยางธรรมชาติ

80

อรสา อ่อนจันทร์, นิชาภา บัวสุวรรณ

12

การพัฒนาวัสดุอ้างอิงรับรองสำหรับวัดธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่ม

88

อุษณา เทียงมณี, เนตติกานต์ แก้วขอมดี, สุทธินันท์ แต่บรรพกุล, จริญญา ยะฝา

13

การพัฒนาวัตถุดิบแก้วกึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหลอมแก้ว

97

กนิษฐ์ ตะปะสา, เอกรัฐ มีชูวาศ

14

การศึกษาแนวทางการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ

101

ทดสอบความต้านแรงกดกล่องกระดาษลูกฟูก

จิระศักดิ์ ชัยสนิท, สุรเดช พานเพ็ง, ขวัญใจ สมบุญ, ภูวดิ ตูจินดา

15

การผลิตกระดาษลูกฟูกเยื่อเวียนทำใหม่จากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า

108

ยุทธนาพงศ์ แดงเพ็ง, สุรเดช พานเพ็ง, ขวัญใจ สมบุญ, ภูวดิ ตูจินดา

16

การเปรียบเทียบเทคนิคการกำหนดค่าอ้างอิงของเมลามีนในสารละลายตัวแทนอาหาร

113

โดยวิธีการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนักและวิธีไฮเพอร์ฟอร์แมนลิควิด โครมาโทกราฟี

จุฑาทิพย์ ลาภวิบูลย์สุข, พจมาน ท่าจิ้น, สมภพ ลาภวิบูลย์สุข

Contents

Bulletin of Applied Sciences

Vol. 6 No. 6 August 2017

1	A Development of strong and lightweight banpatan red clay body Lada Punsukumtana, Wanna T.saengchantara, Sansanee Rugthaicharoencheep, Sasithorn Pharaboon	9
2	Case study of safety status of laboratory workers in a chemical industrial plant Paweena Kreunin, Akarin Paibulpanich, Pitchaya Buthkhunthong	17
3	Vibration effect on laboratory balance with different readability and loading Jittakant Intiang, Weerachai Variyart, Sompote Boonsanit, Phlapphlueng Nakkead	24
4	The Effect of cobalt oxide (CoO) and praseodymium oxide (Pr_2O_3) on the spectroscopic properties in filter glass Ekarat Meechoowas, Wanida Sangchan, Usuma Naknikham, Kanit Tapasa	32
5	Comparison of the efficiency of diluents on the enumeration of molds contaminated in spices and spice products Supanee Theparoonrat, Sulawadee Keawchom	38
6	Preliminary study on efficiency of arsenic filter from kaolin for water for consumption Apaporn Sinthusarn, Nongluk Bunyovimonnat, Aungsana Chuasuwan, Mathee Krongpong	44
7	Evaluation of material quality and study of released elements from aluminium electric pan Duangkamol Chaosrimud, Jitwilai Waluvanarak, Jirapan Roma, Nootjarin Phonhong	52
8	Natural rubber-based compound for rubber mold cleaning Kartpan Sakulkaew, Prasert Saeju	58

Contents

Bulletin of Applied Sciences

Vol. 6 No. 6 August 2017

9	A Development of kiln shelf for firing ceramic from waste Wanna T.saengchantara, Sansanee Rugthaicharoencheep, Jutipa Boonwiset, Sutthima Sriprasertsuk	65
10	Survey of basic understanding of chemical laboratory workers' towards green laboratory management: A case study in a government sector Paweena Kreunin, Akarin Paibulpanich, Anantanat Kantanyarat, Laddawan Yeadyad, Duangkamol Chaosrimud	73
11	Neutron and gamma radiation shielding block from natural rubber Orasa Onjun, Nichapa Buasuwan	80
12	Development of thailand reference material for determining trace elements in drinking water Usana Thiengmanee, Nattikarn Kaewkhomdee, Sutthinun Taebunpakul, Charun Yafa	88
13	Development of semi-Instant glass batch for increasing glass melting efficiency Kanit Tapasa, Ekarat Meechoowas	97
14	A study conducted proficiency testing of laboratory test for the compression strength of corrugated fiberboard boxes Jierasak Chaisanit, Suradej Phanphang, Kwanjai Somboon, Poovadee Tuchinda	101
15	The production of recycle corrugated paper from used corrugated container Yutthanapong Daengpeng, Suradej Phanphang, Kwanjai Somboon, Poovadee Tuchinda	108
16	Comparison of melamine determination as reference value in food simulant by gravimetric method and high performance liquid chromatography Jutathip Lapviboonsuk, Pochaman Tagheen, Sompop Lapviboonsuk	113

การพัฒนาเนื้อดินแดงบ้านป่าตาลให้น้ำหนักเบาและมีความแข็งแรง

A development of strong and lightweight banpatan red clay body

1

ลดา พันธุ์สุขุมธนา^{1*}, วรณา ต.แสงจันทร์¹, ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ¹, ศศิธร พลบุญ¹
Lada Punsukumtana^{1**}, Wanna T.saugchantara¹, Sansanee Rugthaicharoencheep¹, Sasithorn Pharaboon¹

บทคัดย่อ

รายงานการศึกษาวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเนื้อดินแดงของ บ้านป่าตาล ตำบลสันผักหวาน อำเภอดง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ใช้สำหรับการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ให้มีน้ำหนักที่เบาหรือมีความหนาแน่นที่ลดลง โดยเนื้อดินแดงยังคงมีความแข็งแรงเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส การวิจัยได้คัดเลือกวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบเป็นอินทรีย์สาร หรือมีโครงสร้างจุลภาคพรุน รวมถึงมีองค์ประกอบเคมีของธาตุที่มีสมบัติลดอุณหภูมิสุดตัวของเนื้อดิน ได้แก่ แกลบดิบ แกลบ ถ่านไม้ และเยื่อกระดาษ เป็นสารเติมลงในดินแดง

ผลการศึกษาวิจัยเมื่อใช้สารเติมชนิดแกลบดิบ แกลบ ถ่านไม้ และเยื่อกระดาษ เติมนลงในดินแดงที่ร้อยละ 5 เผาที่อุณหภูมิ 800 900 และ 1000 องศาเซลเซียส พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิของการเผา มีผลให้ การดูดซึมน้ำลดลง การหดตัว ความหนาแน่น และความต้านแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยชนิดของสารเติมที่ใช้มีผลต่อสมบัติกายภาพของเนื้อดินแดงแตกต่างกัน เนื้อดินแดงที่ใช้สารเติมชนิดแกลบดิบและถ่านไม้ไม่มีการหดตัวสูงกว่าดินแดงที่ไม่เติมสารและเนื้อดินแดงที่ใช้สารเติมชนิดแกลบดิบ และเยื่อกระดาษ สารเติมมีผลให้สมบัติการดูดซึมน้ำของเนื้อดินแดงเพิ่มขึ้น โดยเนื้อดินแดงที่ใช้สารเติมชนิดเยื่อกระดาษมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าการใช้สารเติมชนิดแกลบดิบ แกลบ และถ่านไม้ สารเติมมีผลให้ความหนาแน่นของเนื้อดินแดงลดลง เรียงตามลำดับของการใช้สารเติม ดังนี้ แกลบดิบและเยื่อกระดาษ < ถ่านไม้ < แกลบ โดยชนิดของสารเติมมีผลต่อความต้านแรงดัดของเนื้อดินเรียงตามลำดับ ดังนี้ ถ่านไม้ > แกลบดิบ เยื่อกระดาษ และดินแดง > แกลบ และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติความหนาแน่นหลังจากความต้านแรงดัด พบว่า ที่ความหนาแน่นในระดับเดียวกัน เนื้อดินแดงที่ใช้สารเติมชนิดถ่านไม้มีค่าความต้านแรงดัดสูงสุด

ผลการศึกษาวิจัยนี้สรุปได้ว่าการใช้สารเติมชนิดถ่านไม้ร้อยละ 5 ในดินแดงจากบ้านป่าตาล ตำบลสันผักหวาน อำเภอดง จังหวัดเชียงใหม่ หลังจากเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เนื้อดินแดงที่ได้มีความหนาแน่นลดลง ความต้านแรงดัดเพิ่มขึ้น ทำให้เนื้อดินแดงมีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อดินแดงใช้ในการผลิตในปัจจุบัน ทำให้สะดวกในการเคลื่อนย้าย

Abstract

This research aimed to develop a lighter weight or lower density red clay body which was used for pottery production in Ban Patan, Sanphakwan district, Chiang Mai province. The body should also have high fired strength, at 1000°C, closed to the body strength used in the current production. The light and strong body would be easier to transport and strong enough to handle. The research was carried out by a selection of raw materials containing organic compounds or porous microstructure. Their chemical elements which could effect on lowering the body temperature had also been considered. The selected raw materials were rice husk, rice husk ash, charcoal, and pulp. Five percents of these raw materials were added into the body and the bodies were fired at 800°C, 900°C, 1000°C. Then the shrinkage, water absorption, density, and bending strength were tested.

The study showed that increase the sintering temperature reduced the water absorption but increased shrinkage, density, and bending strength of the body. The additives differently affected the body. The body with rice husk ash or charcoal had higher shrinkage than the red clay or the body with rice husk or pulp. The additives increased the water absorption which pulp gave higher value than rice hash, rice husk ash, and charcoal. As a result, the density changed as the following order: rice husk and pulp < charcoal < rice hash. The strength changed as the following order: charcoal > rice husk, pulp, and red clay > rice husk ash. When comparing the strength at the same density, it was found that the charcoal addition provided the maximum bending strength.

In conclusion, five percent charcoal adding into the red clay, Ban Patan, Sanphakwan district, Chiang Mai province, fired at 1000°C caused a decrease in density but an increase in bending strength which resulted in light and strong red clay body to enable easier handling.

คำสำคัญ: ดินแดง เนื้อดินเบา เครื่องปั้นดินเผา

Keyword: Red clay, Light weight body, Pottery

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาหนึ่งผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบล (OTOP) ของไทยมีอยู่แทบทุกภูมิภาคของประเทศ สามารถสร้างงานและรายได้ กลุ่มหนึ่งผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบล (OTOP) ที่พบจากการสำรวจ คือ กลุ่มประติมากรรมดินเผาบ้านป่าตาล จังหวัดเชียงใหม่ มีสมาชิกมากกว่า 70 คน เป็นกลุ่มที่มีการพัฒนาการผลิตในระดับหนึ่ง คือ ตั้งแต่สมาชิกในกลุ่มจะผลิตผลิตภัณฑ์ประเภท อิฐ คนโท ออมสิน ต่อมามีการพัฒนารูปแบบใหม่เป็นผลิตภัณฑ์ประเภท ตุ๊กตา กลุ่มนี้ผลิตผลิตภัณฑ์โดยใช้เนื้อดินท้องถิ่นในการผลิต ใช้วิธีขึ้นรูปด้วยมือ และเผาในเตาด้วยฟืนหรือแก๊สที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความพรุนตัวและไม่แข็งแรงเท่าที่ควร และใช้เทคนิคตกแต่งหลังเผาด้วยสีน้ำมัน ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาที่ผลิตมีขนาดต่างๆ กันตั้งแต่ขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่ ผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาที่มีขนาดใหญ่มีน้ำหนักมาก ขนส่งลำบาก เสียหายได้ง่าย จึงมีความต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ มีน้ำหนักที่ลดลง โดยยังคงมีความแข็งแรงดั้งเดิมหรือดีขึ้นกว่าเดิม

เครื่องปั้นดินเผาที่ผลิตในท้องถิ่นโดยทั่วไปมักจะไม่ใช้ดินในพื้นที่ใกล้เคียง ผสมกับวัตถุดิบอื่นอีกไม่มากนัก เช่น ดินเชื้อ (ดินผสมกลบหรือทรายเผา) หรือ ทราย มีวิธีการเตรียมวัตถุดิบและเนื้อดิน โดยการนำดินมาผสมกับดินเชื้อ หรือทราย ใช้วิธีประมาณการสัดส่วน ห้มก และผสมให้เข้ากันอย่างง่าย ก่อนเผา ขนาด ให้เป็นเนื้อดินที่พร้อมสำหรับการขึ้นรูป การพัฒนาเครื่องปั้นดินเผาที่มีน้ำหนักลดลง สามารถทำได้โดยการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำเป็นส่วนผสม หรือการทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อ แต่การทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อทำให้ความแข็งแรงลดลง

วัตถุดิบอื่นๆ ในท้องถิ่นที่พบทั่วไปได้แก่ แกลบ เถ้าไม้ ถ่าน ฯลฯ วัตถุดิบเหล่านี้มีลักษณะเฉพาะคือ แกลบมีความพรุนตัวสูง เถ้าไม้มีองค์ประกอบของสารช่วยลดอุณหภูมิ ถ่านไม่มีสารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้หมดไป วัตถุดิบเหล่านี้จึงน่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมกับดินแทนดินเชื้อหรือทรายที่มีความหนาแน่นค่อนข้างสูงที่ใช้อยู่เดิม ส่วนการเพิ่มความแข็งแรงแก่เนื้อดินหลังเผาทำได้โดย การลดรูพรุนในเนื้อดิน หรือการเพิ่มเฟสหลังเผาให้ความแข็งแรง โดยการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น หรือการใช้สารช่วยลดอุณหภูมิการสูกตัวของเนื้อดิน ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการลดน้ำหนักและการเพิ่มความแข็งแรงเป็นกระบวนการที่สัมพันธ์กัน การวิจัยจึงต้องทำโดยการสร้างให้เกิดความสมดุลในสมบัติทั้งสอง

การที่ผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาใช้อุณหภูมิการเผาต่ำ ทำให้มีข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีที่ไม่สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักลดลงและมีความแข็งแรงได้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ เพื่อนำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาแก้ปัญหา และพัฒนาการใช้ประโยชน์จากเนื้อดินในท้องถิ่นที่ใกล้แหล่งผลิตให้เหมาะสม

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัตถุดิบ และการทดสอบสมบัติวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย ดินแดงจาก บ้านป่าตาล ตำบลสันผักหวาน อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ แกลบดิบ เถ้าแกลบ และถ่านไม้ โดยสุ่มวัตถุดิบจากที่ใช้อยู่ทั่วไปในจังหวัดเชียงใหม่ ส่วนเยื่อกระดาษจากกล่องกระดาษลูกฟูก ได้รับความอนุเคราะห์จากกลุ่มเยื่อและกระดาษ กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ทดสอบสมบัติของวัตถุดิบต่าง ๆ ดังนี้ ทดสอบองค์ประกอบเคมีของ ดินแดง แกลบดิบ เถ้าแกลบ และถ่านไม้ ด้วย X-ray fluorescence spectroscopy (XRF, Bruker AS-8, ประเทศเยอรมนี) ทดสอบการกระจายขนาดอนุภาคของดินด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง (Laser Diffraction Technique, Mastersizer 300 ประเทศอังกฤษ) ทดสอบเฟสของดินด้วย X-ray diffractometer (XRD, Bruker D8 Advance, ประเทศเยอรมนี) และทดสอบโครงสร้างทางจุลภาคของ แกลบดิบ เถ้าแกลบ ถ่านไม้ และเยื่อกระดาษ ด้วย Scanning electron microscope (SEM, JEOL JSM-6610LV, ประเทศญี่ปุ่น)

2.2 การศึกษาปริมาณการใช้สารเติมที่ใช้ชนิดแกลบดิบ เถ้าแกลบ ถ่านไม้และเยื่อกระดาษเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเนื้อดินแดง

2.2.1 เตรียม แกลบดิบ เถ้าแกลบ และถ่านไม้ โดยการอบให้แห้ง ในตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส บดด้วยโกร่ง คัดขนาดด้วยการร่อนผ่านตะแกรง 50 หรือ 100 เมช และเตรียมเยื่อกระดาษโดยการตัดกระดาษจากกล่องกระดาษลูกฟูกให้มีขนาดประมาณ 3x3 เซนติเมตร 2 นำมาแช่น้ำที่เติมสารกันบูด (sodium Benzoate) ร้อยละ 0.1 น้ำหนักแห้งของเยื่อกระดาษ เป็นเวลา 2 คืน แล้วจึงนำมาผสมน้ำและกระจายเยื่อด้วยเครื่องปั่นอาหาร เพื่อให้เยื่อกระดาษกระจายตัว

2.2.2 เตรียมอัตราส่วนของเนื้อดินแดงกับสารเติมแต่ละชนิด โดยการชั่งน้ำหนักดินแดงและสารเติมที่ใช้แต่ละชนิดตามส่วนผสมที่กำหนด ให้ชื่อตัวอย่าง P1 - P9 แสดงในตารางที่ 1 เตรียมตัวอย่างโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเนื้อดินแดงต่อน้ำเป็น 1 : 1 ยกเว้นอัตราส่วนระหว่างดินแดงเติมเยื่อกระดาษกับน้ำเป็น 1:2 เนื่องจากเนื้อดินแดงที่เติมเยื่อกระดาษมีความหนืดสูง เตรียมส่วนผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นอาหารเป็นเวลา 3 นาที ก่อนนำมากระโอบในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์พองหมาด นำมาขนาด และห้มกทิ้งไว้ 1 คืน ก่อนนำมาอัดขึ้นรูปในแบบพิมพ์ทองเหลืองขนาด 30x120x10 มิลลิเมตรด้วยมือ อบส่วนผสมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสให้แห้ง

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนของดินแดงกับสารเติม

ตัวอย่าง	ดินแดง	แกลบดิบ (-50 เมช)	แกลบดิบ (-100 เมช)	เถ้าแกลบ (-50 เมช)	เถ้าแกลบ (-100 เมช)	ถ่านไม้ (-50 เมช)	ถ่านไม้ (-100 เมช)	เยื่อกระดาษ
P1	100							
P2	95	5						
P3	95		5					
P4	95			5				
P5	95				5			
P6	95					5		
P7	95						5	

ตารางที่ 1 (ต่อ)

P7.1	90						10	
P7.2	85						15	
P7.3	80						20	
P8	95							5
P9	80			10		10		

2.2.3 เมาตัวอย่าง P1 - P9 ด้วยเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 800 900 1000 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการเผา 2.5 องศาเซลเซียส/นาที ยืนไฟ 30 นาที ตามลำดับ

2.2.4 ทดสอบสมบัติกายภาพของตัวอย่าง P1 - P9 จากตารางที่ 1 ดังนี้

- สมบัติการหดตัว ตามวิธีใน ASTM C326-09
- การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ตามวิธีใน ASTM C373-88
- ความต้านแรงดัดแบบ 3 จุด ด้วยเครื่อง Universal testing machine (Shimadzu Autograph AG-X plus, ประเทศญี่ปุ่น) ที่อัตรา 1 มม./นาที ใช้จันทดสอบ 10 ชิ้น/อัตราส่วนผสม
- โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM, JEOL JSM-6610LV ประเทศญี่ปุ่น)

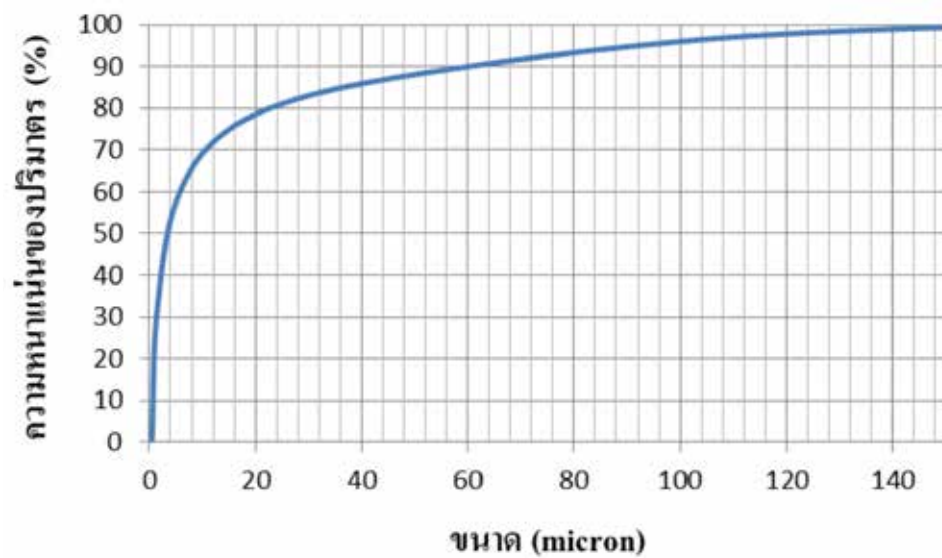
3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 ผลการทดสอบสมบัติของเนื้อดินแดงและสารเติมที่ใช้แต่ละชนิด

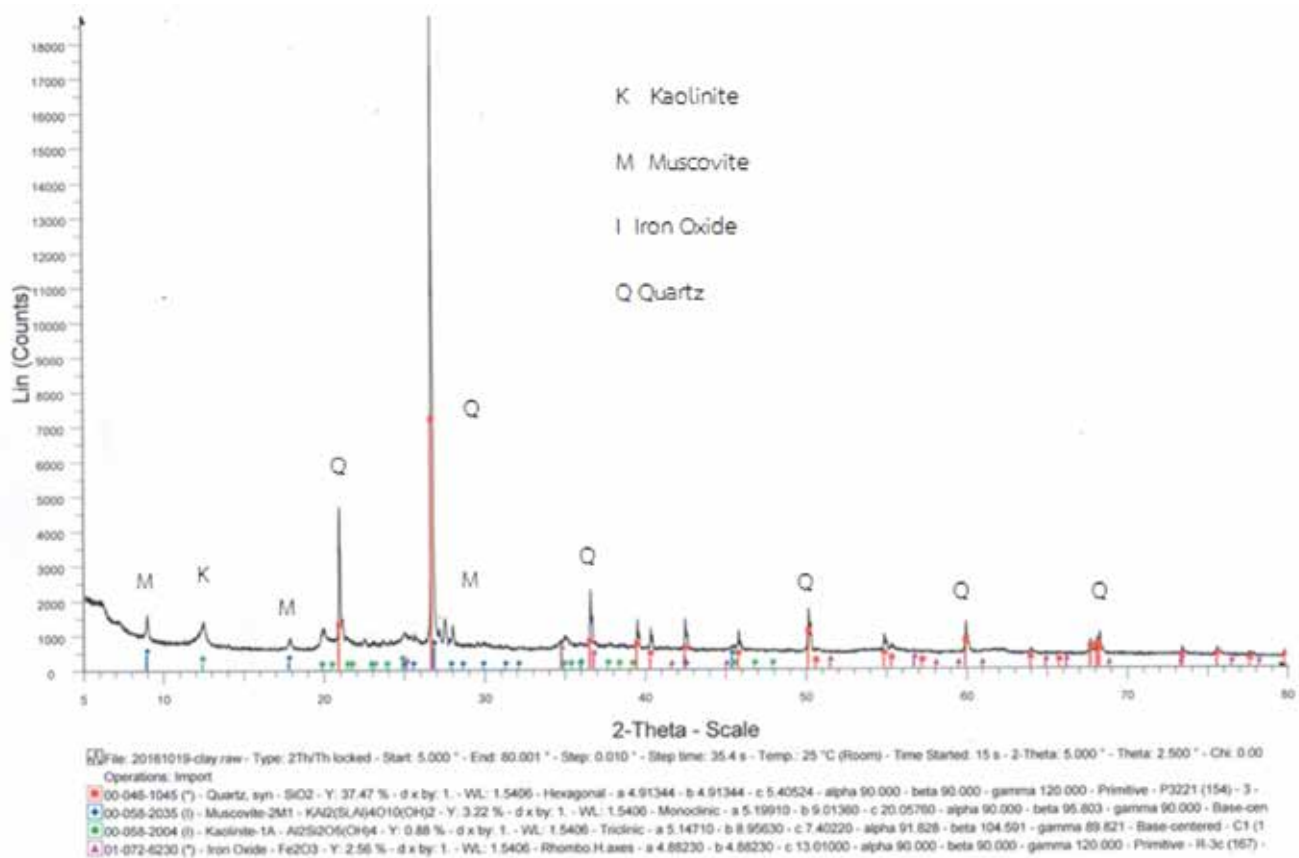
ผลการทดสอบองค์ประกอบเคมีของ ดินแดง และสารเติมที่ใช้ชนิด แกลบดิบ ถั่วแกลบ และถ่านไม้ เยื่อกระดาษ แสดงดังตารางที่ 2 เนื่องจากเยื่อกระดาษมีค่าน้ำหนักที่หายไปหลังเผา (LOI) สูงมากจึงไม่ได้ทดสอบองค์ประกอบเคมี การกระจายขนาดอนุภาคและเฟสของดินแดงแสดงดังรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และผลทดสอบโครงสร้างทางจุลภาคของ แกลบดิบ ถั่วแกลบ ถ่านไม้ แสดงดังรูปที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ ดินแดง แกลบดิบ ถั่วแกลบ ถ่านไม้

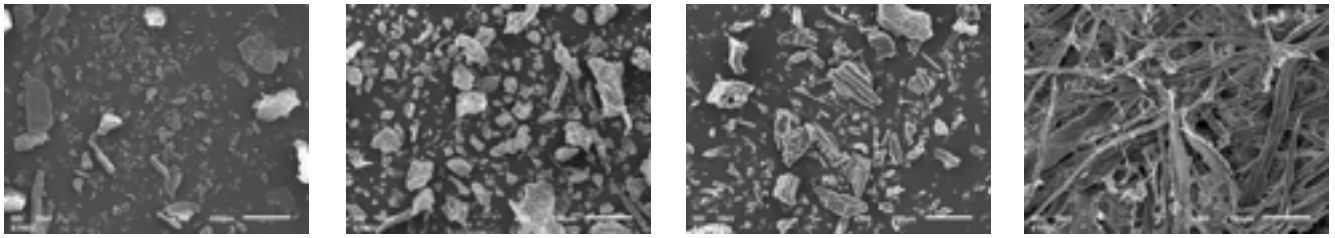
องค์ประกอบเคมี	ดินแดง (wt.%)	สารเติม (wt.%)		
		แกลบดิบ	ถั่วแกลบ	ถ่านไม้
SiO ₂	58.28	17.79	61.66	0.52
Al ₂ O ₃	19.47	0.12	2.66	0.16
Fe ₂ O ₃	8.11	0.02	1.70	0.03
TiO ₂	1.26	-	0.25	-
Na ₂ O	0.19	0.02	0.12	-
K ₂ O	3.23	0.45	5.91	2.07
CaO	0.82	0.12	10.22	4.66
MgO	1.36	0.10	1.40	0.58
BaO	0.09	-	0.04	0.03
MnO	0.16	0.02	-	0.02
P ₂ O ₃	0.05	0.19	1.83	0.16
SO ₃	-	0.11	1.59	0.27
ZrO ₂	0.06	-	0.02	-
LOI	6.92	81.05	12.60	91.50



รูปที่ 1 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของดินแดง



รูปที่ 2 แสดงเฟสของดินแดง



แกลบดิบ

ถั่วแกลบ

ถ่านไม้

เยื่อกระดาษ

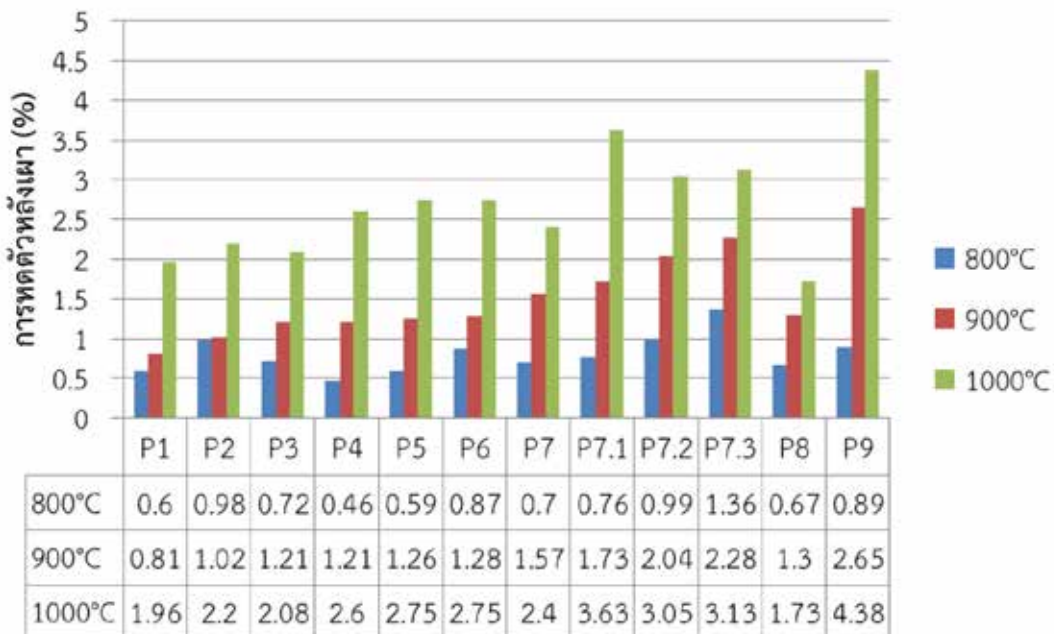
รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของ แกลบดิบ ถั่วแกลบ ถ่านไม้ และเยื่อกระดาษ

ผลการทดสอบดินแดงแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบเคมีหลักคือ SiO_2 Al_2O_3 ร้อยละ 58.28 และ 19.47 ตามลำดับ และมี Fe_2O_3 สูงถึงร้อยละ 8.11 รวมทั้งมีธาตุอัลคาไล อัลคาไลเอิร์ท ปนอยู่ เช่น Na_2O K_2O CaO MgO ปรากฏเป็นเฟส ควอตซ์ มัสโคไวท์ เกาลินไนท์ และเหล็กออกไซด์ โดยมีขนาดมัธยฐานที่ 3.82 ไมครอน เมื่อเทียบกับแร่เกาลินไนท์จัดเป็นดินที่มี SiO_2 สูง Al_2O_3 ต่ำ มีความความละเอียด ความเหนียวสูง และเมื่อเผาจะมีสีแดงที่เกิดจาก Fe_2O_3 รวมทั้งจะมีความทนไฟค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีธาตุอื่นเจือปนสูง

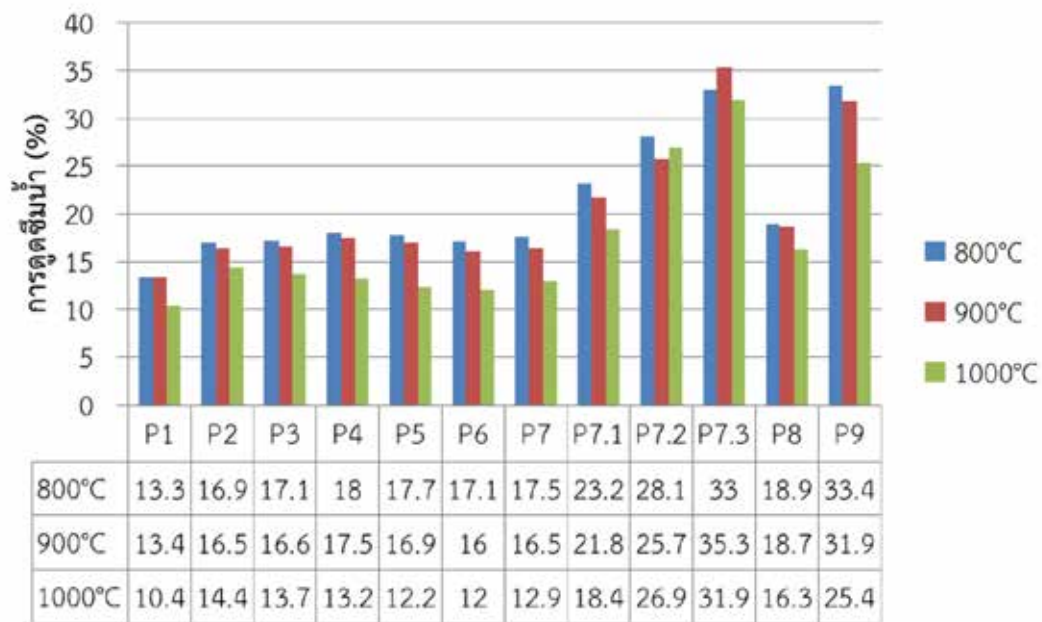
ผลการทดสอบองค์ประกอบเคมีของ แกลบดิบ ถั่วแกลบ และถ่านไม้ พบว่า แกลบดิบและถั่วแกลบประกอบด้วย SiO_2 เป็นองค์ประกอบเคมีหลัก มีส่วนประกอบของธาตุ อัลคาไลเอิร์ท อัลคาไล เช่น CaO K_2O MgO สูง แกลบดิบยังมีค่า LOI สูงถึงร้อยละ 81.05 และถั่วแกลบมีค่า LOI ร้อยละ 12.60 ส่วนถ่านไม้ประกอบด้วย อัลคาไลเอิร์ท อัลคาไล เป็นองค์ประกอบเคมีหลัก เช่น CaO K_2O และมีค่า LOI สูงถึงร้อยละ 91.50 สมบัติของ อัลคาไลเอิร์ท อัลคาไล ในวัตถุดิบนี้จะทำให้วัตถุดิบนั้นมีสมบัติลดอุณหภูมิจุดสุกตัวของดินได้ ส่วนค่า LOI นี้สัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์สารที่สามารถถูกเผาไหม้หมดไปทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อดินหลังเผาได้ สอดคล้องกับโครงสร้างจุลภาคของ แกลบดิบ ถั่วแกลบ และถ่านไม้ ที่แสดงให้เห็นโครงสร้างที่มีลักษณะพรุน และโครงสร้างจุลภาคของเยื่อกระดาษมีลักษณะเป็นเส้น

3.2 ผลการทดสอบอัตราส่วนของดินแดงกับสารเติมที่ใช้แต่ละชนิด

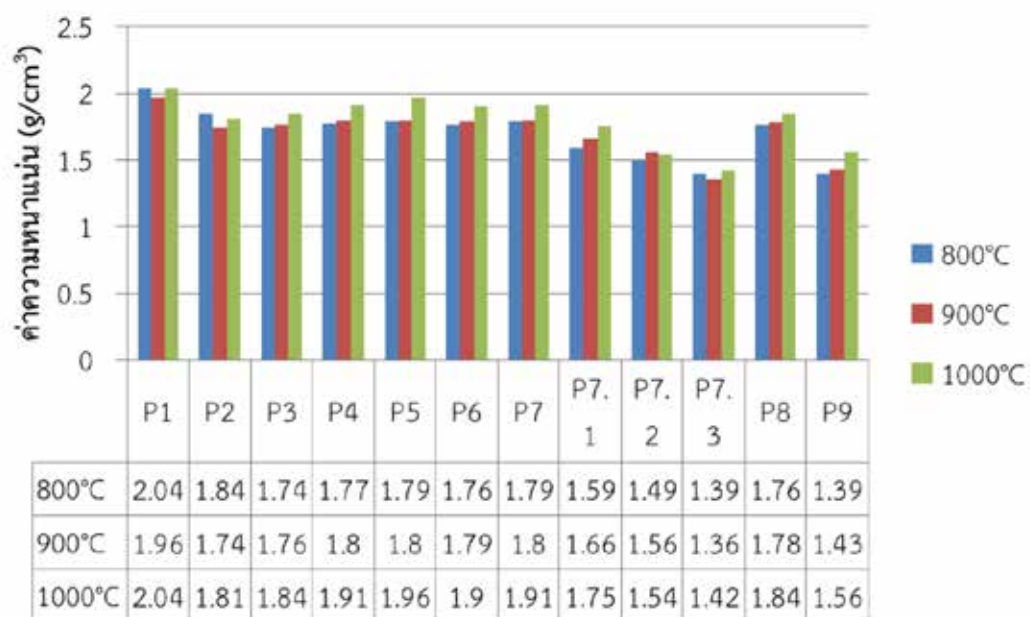
ผลการทดสอบสมบัติการหดตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และ ความต้านแรงดัดของดินแดงผสมสารเติม หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 900 1000 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4-7 และโครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างดินแดงผสมสารเติม P1 P2 P4 P6 และ P8 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 8



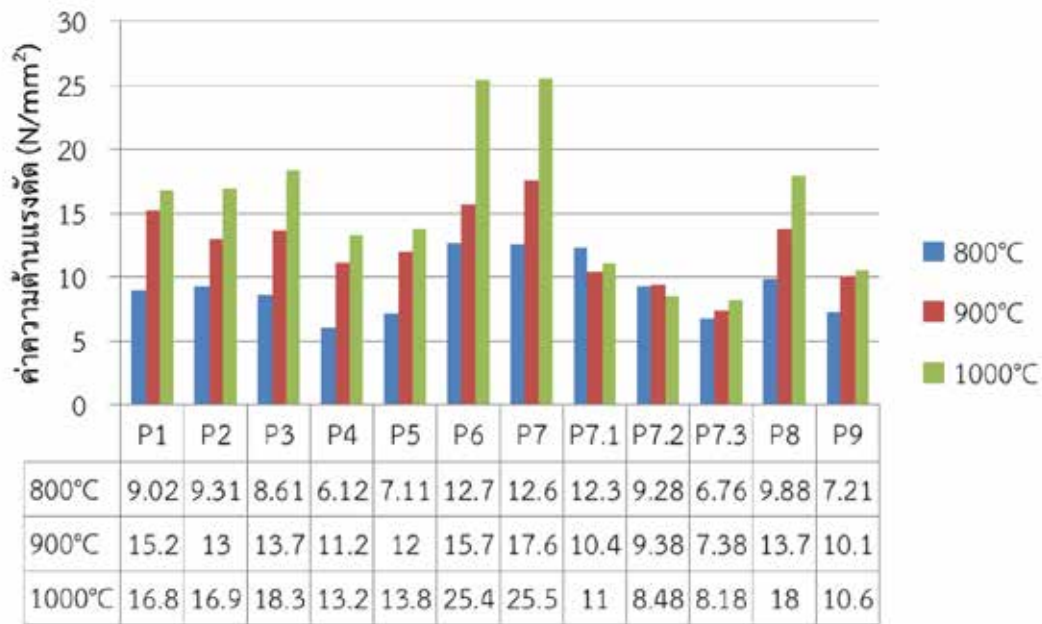
รูปที่ 4 แสดงสมบัติการหดตัวของตัวอย่างดินแดงและดินแดงผสมสารเติม หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 900 1000 องศาเซลเซียส



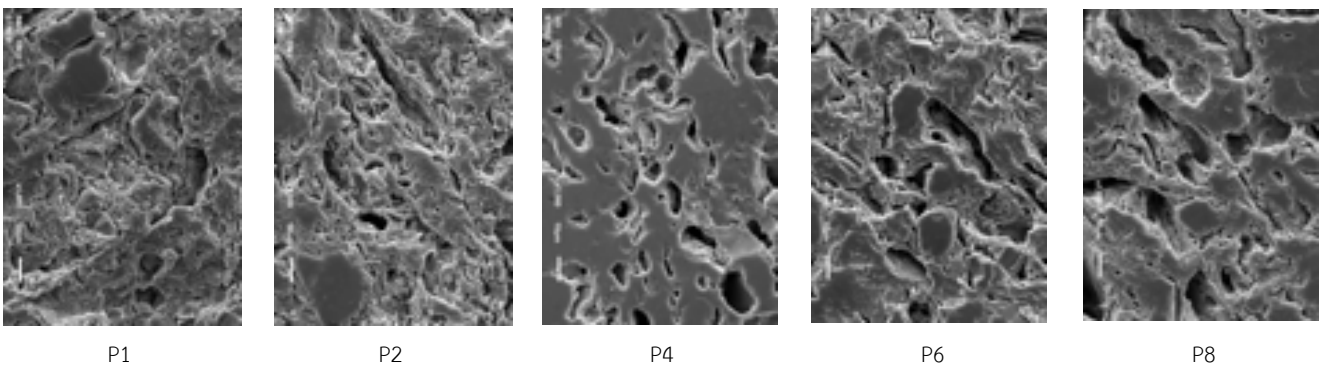
รูปที่ 5 แสดงสมบัติการดูดซึมน้ำ ของตัวอย่างดินแดงและดินแดงผสมสารเติม หลังเผา ที่อุณหภูมิ 800 900 1000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6 แสดงสมบัติความหนาแน่น ของตัวอย่างดินแดงและดินแดงผสมสารเติม หลังเผา ที่อุณหภูมิ 800 900 1000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 7 แสดงสมบัติความต้านแรงดัด ของตัวอย่างดินแดงและดินแดงผสมสารเติม
หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 900 1000 องศาเซลเซียส

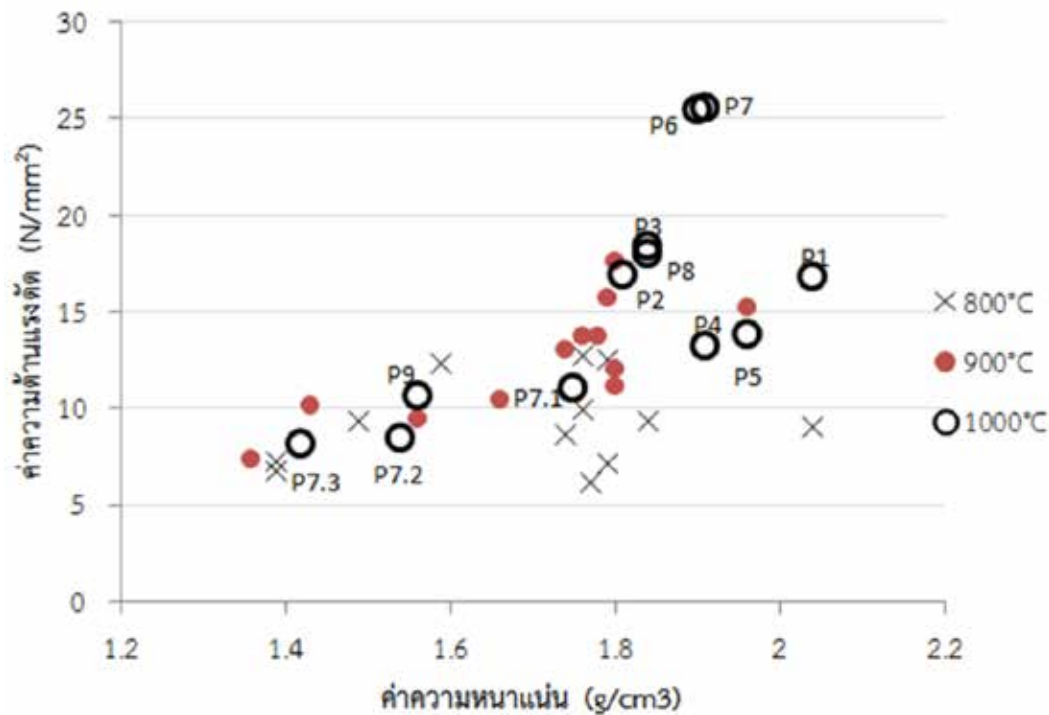


รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างดินแดงและดินแดงผสมสารเติม P1 P2 P4 P6 และ P8

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิการเผาไหม้มีผลให้ การดูดซึมน้ำลดลง การหดตัว ความหนาแน่นและความต้านแรงดัดเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างดินแดงที่ใช้สารเติม P4 P5 (เถ้าแกลบ) P6 P7 (ถ่านไม้) มีสมบัติการหดตัวสูงกว่าตัวอย่างดินแดงไม่เติมสาร P1 (ดินแดง) และตัวอย่างดินแดงที่ใช้สารเติม P2 P3 (แกลบดิบ) และ P8 (เยื่อกระดาษ) ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าสารเติมเพิ่มสมบัติการดูดซึมน้ำของดินแดง โดยตัวอย่างดินแดงที่ใช้สารเติม P8 (เยื่อกระดาษ) มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าตัวอย่างดินแดงที่ใช้สารเติม P2 P3 (แกลบดิบ) และ P4 P5 (เถ้าแกลบ) และ P6 P7 (ถ่านไม้) ทำให้ความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงเรียงลำดับตัวอย่างดินแดงที่ใช้สารเติมชนิดต่างๆ ดังนี้ P4 P5 (เถ้าแกลบ) P6 P7 (ถ่านไม้) > P2 P3 (แกลบดิบ) และ P8 (เยื่อกระดาษ) และทำให้ความต้านแรงดัดเรียงเพิ่มขึ้นเรียงลำดับตัวอย่างดินแดงที่ใช้สารเติมชนิดต่างๆ ดังนี้ P6 P7 (ถ่านไม้) > P2 P3 (แกลบดิบ) P8 (เยื่อกระดาษ) และ P1 (ดินแดง) > P4 P5 (เถ้าแกลบ) แสดงให้เห็นแนวโน้มของสารเติมที่ใช้ที่มี LOI สูงมีแนวโน้มทำให้เนื้อดินแดงมีความพรุนตัว ทำให้เนื้อดินแดงหลังเผามีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นลดลง โครงสร้างจุลภาคแสดงลักษณะของรูพรุนที่ปรากฏในเนื้อดินหลังเผามีลักษณะคล้ายคลึงกัน และสารเติมที่มีอัลคาไล อัลคาไลเอิร์ท สูงมีแนวโน้มทำให้เนื้อดินแดงหลังเผามีการดูดซึมน้ำลดลง ความหนาแน่นสูงขึ้น และความต้านแรงดัดเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติกายภาพหลังเผาของสารเติมที่ใช้ ที่ขนาด -50 เมช และ -100 เมช ของตัวอย่างดินแดงที่ใช้สารเติม P2-P3 P4-P5 P6-P7 พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติกายภาพไม่มากนัก แต่การเพิ่มปริมาณสารเติมในดินแดง P7.1-P7.3 (ถ่านไม้) และ P9 (เถ้าแกลบและถ่านไม้) จากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 10-20 นั้นมีผลให้การหดตัว การดูดซึมน้ำ เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นและความต้านแรงดัดลดลง แสดงให้เห็นว่าขนาดของสารเติม (-50 เมช และ -100) ที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อสมบัติกายภาพหลังเผามากนัก แต่การแปรปริมาณร้อยละ 10 – 20 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติกายภาพหลังเผาเป็นอย่างมาก

ดำเนินการเปรียบเทียบความต้านแรงดัดระหว่างตัวอย่างที่มีความหนาแน่นเท่ากันดังภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างดินแดงที่ใช้สารเติมชนิดถ่านไม้ P6 P7 ให้ค่าความต้านแรงดัดสูงกว่าดินแดงที่ไม่เติมสาร P1 โดยดินแดงที่ไม่เติมสาร P1 มีความหนาแน่น 1.96-2.04 g/cm³ เมื่อเติมสารชนิดถ่านไม้ร้อยละ 5 (P6 P7) หลังเผา 800-1000 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นจะลดลงเหลือ 1.76-1.91 g/cm³ ดินแดงที่ไม่เติมสาร P1 มีค่าความต้านแรงดัด 9.02-16.81 N/mm² เมื่อเติมสารชนิดถ่านไม้ร้อยละ 5 (P6 P7) หลังเผา 800-1000 องศาเซลเซียส มีความต้านแรงดัดเพิ่มขึ้นเป็น 12.55-25.51 N/mm²



รูปที่ 9 แสดงสมบัติความต้านแรงดัดและความหนาแน่นของตัวอย่างดินแดงผสมสารเติมชนิดต่างๆ

4. สรุป (Conclusion)

ผลการศึกษาวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสารเติมชนิดกลาบดิบ เถ้ากลาบ ถ่านไม้ เยื่อกระดาษ ในเนื้อดินแดงบ้านป่าตาล ตำบลสันผักหวาน อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ หลังเผาที่ 800 900 และ 1000 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มทำให้การหดตัว การดูดซึมน้ำ เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นลดลง ในขณะที่สมบัติความต้านแรงดัดขึ้นกับโครงสร้างทางจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมีของสารเติมที่ใช้ในแต่ละชนิด โดยผลการศึกษาวิจัยนี้สรุปได้ว่าสารเติมชนิดถ่านไม้ ซึ่งมี อัลคาไล อัลคาไลเอิร์ท และค่า LOI สูง เมื่อเติมในเนื้อดินแดงที่ร้อยละ 5 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เนื้อดินแดงที่ได้มีความหนาแน่นลดลง ความต้านแรงดัดเพิ่มขึ้น ทำให้เนื้อดินแดงมีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูงกว่าเนื้อดินแดงใช้ในการผลิตในปัจจุบัน ทำให้สะดวกในการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ นางสาวอุษณีย์ พันธูลาภ ที่ทดสอบองค์ประกอบเคมีของ ดิน กลาบดิบ เถ้ากลาบ และถ่านไม้ ด้วย X-ray fluorescence spectroscopy และขอขอบคุณ นางสาวเนตรนภา สุภนาม ที่ทดสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] ดินยัม บ้านป่าตาล [ออนไลน์]. [เข้าถึงวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2560]. เข้าถึงได้จาก: http://www.sunpukwan.go.th/index.php?_mod=b3RvcA&no=1
- [2] ลดา พันธุ์สุภมรณา และคณะ. การปรับปรุงสมบัติดินในพื้นที่จังหวัดมหาสารคามด้วยการเติมดินเชื้อ. *Bulletin of Applied Science*. 2015, 4(4), 9-17.
- [3] ลดา พันธุ์สุภมรณา และคณะ. การศึกษาสมบัติกายภาพของเซรามิกเนื้อฟูน เพื่อการพัฒนาเซรามิกที่มีกลิ่นหอม. *Bulletin of Applied Science*. 2013, 2(2), 9-16.
- [4] SCHEFFER, M. and P. COLOMBO. *Cellular Ceramics Structure, Manufacturing, Properties and Applications*, Weinheim : Wiley, 2005, pp 33.

กรณีศึกษาสถานภาพด้านความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการของโรงงานอุตสาหกรรมเคมีแห่งหนึ่ง Case study of safety status of laboratory workers in a chemical industrial plant

2

ปวีณา เครือนิล^{1*}, อัครินทร์ ไพบูลย์พานิช^{2**}, พิชญา บุตรขุนทอง^{2**}
Paweena Kreunin^{1*}, Akarin Paibulpanich^{2**}, Pitchaya Butkhunthong^{2**}

บทคัดย่อ

กรณีศึกษาครั้งนี้เป็นการสำรวจความคิดเห็นของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของโรงงานอุตสาหกรรมเคมีเอกชนแห่งหนึ่ง เกี่ยวกับสถานภาพด้านความปลอดภัย โดยเน้นไปที่การได้รับการฝึกอบรม การปฏิบัติงานของบุคลากร และระบบการจัดการความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นตัวอย่างการนำผลการสำรวจไปประกอบการพิจารณาแนวทางการพัฒนาปรับปรุงความปลอดภัยขององค์กร งานวิจัยนี้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยสอบถามความคิดเห็นเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของโรงงานจำนวน 205 คน และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์ข้อมูล สรุปได้ว่า เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยก่อนการทำงานในห้องปฏิบัติการ โดยได้รับความรู้ทั้งจากภายในและภายนอกองค์กร และยังมีการแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างบุคลากรในหน่วยงานเพื่อป้องกันอันตรายจากการปฏิบัติงาน นอกจากนี้ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีการนำความรู้ด้านการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment, PPE) และนำเอกสารข้อมูลความปลอดภัย (Safety Data Sheet, SDS) มาใช้ในการทำงาน และมีความเห็นว่าองค์กรมีระบบการจัดการความปลอดภัยที่ดี

อย่างไรก็ดี แม้เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จะผ่านการฝึกอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัย และคิดว่าองค์กรมีระบบการจัดการความปลอดภัยที่ดี แต่ยังมีเจ้าหน้าที่ได้รับอันตรายจากสารเคมี และเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลหรือสถานรักษาพยาบาล ข้อเท็จจริงนี้ สะท้อนให้เห็นว่า องค์กรยังต้องมีการพัฒนาระบบความปลอดภัยต่อไป โดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคิดว่า องค์กรควรมีการอบรมทบทวนให้ความรู้ และเสริมความเข้าใจเชิงลึกด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง เสริมสร้างวัฒนธรรมและความตระหนักด้านความปลอดภัยแก่บุคลากรโดยเฉพาะเรื่องสารเคมี มีการประเมินความเสี่ยงโดยอาจทำการสำรวจในทำนองเดียวกันนี้อยู่เป็นระยะๆ อีกทั้ง ควรมีการปรับปรุงแนวปฏิบัติเดิม ให้ความครอบคลุมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุ และเกิดการพัฒนาระบบการจัดการความปลอดภัยอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน

ทั้งนี้ หน่วยงานอื่นที่มีห้องปฏิบัติการที่มีลักษณะของการทำงานคล้ายคลึงกัน สามารถดำเนินการสำรวจในลักษณะเดียวกัน หรืออาจทำการสำรวจเชิงลึกเพิ่มเติม เพื่อนำผลที่ได้ไปประกอบการพิจารณาหาแนวทางการปรับปรุง พัฒนา และส่งเสริมความปลอดภัยในการทำงานในห้องปฏิบัติการของตนอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

Abstract

This case study quantitatively examines the safety status of laboratory staff of a private chemical factory, by focusing on the aspects of safety training, practices, and safety management system. Questionnaires are used as a data collection tool. The opinions of 205 staffs are collected. The statistical analysis used is frequency, percentage, and average using Microsoft Excel.

The results showed that the majority of laboratory personnel have been trained on safety before working in the laboratories and the safety knowledge is gained from both within and outside the organization. There is also an exchange of knowledge between staff in the agency. In addition, the workers have put knowledge of using Personal Protective Equipment (PPE) and Safety Data Sheet (SDS) into practice, and most of them agree that the organization has a good safety management system.

Even though the majority of laboratory personnel have been trained on safety and the organization has a good safety management system, chemical accidents did occur and there were cases of being admitted to hospital or medical facility. These facts show that the organization's safety system still needs further improvement. For example, the staffs of laboratory agree that the organization must have knowledge refresher trainings, continuously promote in-depth understanding on safety issues. Also the organization should promote cultural awareness on chemical operations, regular conduct risk assessments, and improve guidelines to achieve true safety.

This case study can be used as an example for other agencies to conduct surveys in a similar manner to improve and promote safety at work.

คำสำคัญ: ห้องปฏิบัติการ, ความปลอดภัย, โรงงานอุตสาหกรรมเคมี

Keywords: Laboratory, Safety, Chemical industrial plant

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

² จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

1. บทนำ (Introduction)

โรงงานอุตสาหกรรมเคมีเป็นโรงงาน ที่มีการใช้สารเคมีเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับชีวิตประจำวันในบ้านเรือน การเกษตร และอุตสาหกรรมต่างๆ มักจะมีห้องปฏิบัติการเพื่อการศึกษาวิจัยหรือทดสอบคุณภาพสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ โดยห้องปฏิบัติการเหล่านี้มักมีระบบจัดการความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพ รวมทั้งมีแนวปฏิบัติที่เหมาะสมในการทำงานแก่ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

อย่างไรก็ดี ที่ผ่านมามีอุบัติเหตุเกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการและข่าวการเสียชีวิตหลายกรณี มีการเผยแพร่ทราบกันทั่วโลก ตัวอย่างเช่น ปี ค.ศ. 2009 นางสาว Sheharbano “Sheri” Sangji นักวิจัยของ University of California at Los Angeles (UCLA) ได้ประสบเหตุไฟไหม้ร่างกายอย่างรุนแรงจากการใช้ของเหลว tert-butyllithium ที่ลุกติดไฟได้เองในอากาศ ข้อมูลจากหน่วยงานกำกับดูแลความปลอดภัย Cal/OSHA ของมลรัฐ ระบุสาเหตุหลักของอุบัติเหตุครั้งนี้ เกิดจากการที่นักวิจัยคนดังกล่าวไม่ได้เข้ารับการฝึกอบรมด้านความปลอดภัยในการทำงานในห้องปฏิบัติการ ก่อนการเข้าทำงานในห้องปฏิบัติการตามระเบียบของมหาวิทยาลัย มีวิธีการปฏิบัติทดลองที่ไม่ปลอดภัย ตลอดจนไม่ใช้แนวปฏิบัติด้านความปลอดภัยในการทำงาน เช่น การไม่ใช้อุปกรณ์ด้านความปลอดภัยขณะปฏิบัติงาน ได้แก่ เสื้อคลุมปฏิบัติการ การไม่ใช้ผ้าก๊วยซในกรณีรั่วไหลของสารเคมี รวมทั้งยังมีการจัดการของผู้ดูแลห้องปฏิบัติการที่ไม่เหมาะสม [1] เป็นต้น

นอกจากการเกิดอุบัติเหตุร้ายแรงแล้ว การจัดการด้านสภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการหรือพนักงานทั่วไปอย่างไม่รู้ตัวอีกด้วย เช่น Dematteo, R., et al. พบว่าพนักงานหญิงในโรงงานอุตสาหกรรมพลาสติกแห่งหนึ่ง ทำงานในสภาพแวดล้อมที่ต้องสัมผัสกับสารก่อมะเร็งเต้านม (Mammary carcinogens) ที่ยังเต็มไปด้วยฝุ่น คาร์บอน ที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงของการเป็นมะเร็งทรวงอกและต่อมไทรอยด์ในอัตราที่สูงกว่าคนทั่วไปอย่างมาก [2] นอกจากนี้ Eyayo ได้ประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานบริษัทกลั่นน้ำมันแห่งหนึ่งในประเทศไนจีเรีย โดยการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามและการสังเกตการณ์สภาพแวดล้อมพบว่า มีภัยคุกคามความปลอดภัยทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และทางจิตวิทยา ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานในระดับสูง [3]

จากการเกิดอุบัติเหตุและการพบภัยคุกคามทางสุขภาพในกรณีข้างต้น การให้ความรู้ด้านความปลอดภัยในการทำงานอย่างต่อเนื่อง การปฏิบัติตามแนวปฏิบัติ ตลอดจนการจัดการความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการจึงมีความสำคัญยิ่งในการป้องกันการเกิดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในการทำงาน ในปี พ.ศ. 2557 มหาวิทยาลัยมหิดล ได้จัดทำคู่มือความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ และแนะนำให้สถานปฏิบัติการจัดการโดยอาศัยหลัก 3E ได้แก่ การใช้ความรู้ทางวิศวกรรมในการออกแบบโครงสร้างห้องปฏิบัติการ (Engineering) การอบรมให้ความรู้เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ (Education) และการออกกฎข้อบังคับด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ (Enforcement) [4]

อย่างไรก็ตาม การมีคู่มือด้านความปลอดภัย ยังไม่สามารถรับประกันได้ว่าห้องปฏิบัติการจะมีการจัดการด้านความปลอดภัยที่ดี และจะไม่เกิดอันตราย ดังนั้นการศึกษาด้านความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจะช่วยให้ทราบถึงสถานภาพความปลอดภัยที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ทั้งนี้ ในประเทศไทยมีการศึกษาด้านความปลอดภัยอยู่บ้าง อาทิ ธรรมรักษ์ และคณะ ได้ศึกษาพฤติกรรมการความปลอดภัยในการปฏิบัติงานของพนักงานระดับปฏิบัติการฝ่ายผลิต โดยมีตัวอย่างเป็นพนักงานระดับปฏิบัติการฝ่ายผลิตของบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง [5] และวรุณี และคณะ ได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารตะกั่วในเลือด โดยเป็นกรณีศึกษาโรงงานผลิตท่อโพลีเอทิลีน จังหวัดสมุทรปราการ [6] แต่การศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาพนักงานปฏิบัติการทั่วไป ไม่ได้เจาะเฉพาะเจาะจงกลุ่มเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการโดยตรง

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงดำเนินการศึกษาความปลอดภัยในการทำงานของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของโรงงานอุตสาหกรรมเคมีเอกชนแห่งหนึ่งเพื่อเป็นกรณีศึกษา โดยสำรวจความคิดเห็นการได้รับการฝึกอบรมด้านความปลอดภัย การใช้เอกสารข้อมูลความปลอดภัยและอุปกรณ์ป้องกัน การได้รับอันตรายจากการทำงาน และการจัดการความเสี่ยงและตอบสนองต่อสถานการณ์ฉุกเฉิน มีตัวอย่างคือ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของโรงงานอุตสาหกรรมเคมีแห่งหนึ่ง ซึ่งผลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำข้อมูลที่ได้มาเป็นแนวทางในการทางการป้องกันอันตราย ปรับปรุง พัฒนา และส่งเสริมความปลอดภัยในการทำงานในห้องปฏิบัติการอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้ง ยังสามารถใช้เป็นตัวอย่างให้กับหน่วยงานอื่นในการทำการสำรวจในลักษณะเดียวกันต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

วิธีดำเนินการศึกษาในการทำวิจัย ประกอบไปด้วยการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research) ด้วยวิธีการศึกษาแบบสำรวจตัวอย่าง (Survey research) โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล การวิจัยดำเนินการระหว่างเดือน มิถุนายน 2558 – เมษายน 2559

2.1 ประชากรเป้าหมายและกรอบตัวอย่าง

การศึกษานี้มีประชากรเป้าหมาย คือ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของโรงงานอุตสาหกรรมเคมีแห่งหนึ่ง โดยขอสงวนชื่อองค์กรซึ่งเป็นการนำเลขกระดาดหิมพ์เขียน เลขกระดาดหนังสือพิมพ์ และเลขกล่องกระดาษมาสมกันในอัตราส่วน 1:1:1

2.2 การเลือกตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างคือเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการโรงงานอุตสาหกรรมเคมี โดยได้จัดส่งแบบสอบถามให้กับเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกคน ที่ปฏิบัติงานอยู่ในห้องปฏิบัติการ กรอกข้อมูล

ในการสำรวจครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% และสัดส่วนความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ 0.05 โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดตัวอย่าง คือ [7]

$$n = \frac{m}{1 + \frac{m-1}{N}} \text{ โดยที่ } m = \frac{Z^2 p(1-p)}{e^2}$$

Z คือค่ามาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเท่ากับ 1.96

p คือค่าสัดส่วนที่ประมาณไว้อยู่ที่ 0.85

e คือค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ซึ่งเท่ากับ 0.05 และ

N คือขนาดของประชากร ซึ่งประมาณไว้ที่ 500 คน

จากสูตรข้างต้น สามารถคำนวณจำนวนตัวอย่างที่ควรจัดเก็บได้เท่ากับ 141 ราย

2.3 การออกแบบแบบสอบถาม

แบบสอบถามประกอบด้วยข้อคำถามสามส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม แบบเลือกตอบ จำนวน 6 ข้อ (2) ข้อมูลความปลอดภัยในท้องปฏิบัติการ แบบเลือกตอบ จำนวน 26 ข้อ และ (3) ความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบการจัดการความปลอดภัย ซึ่งเป็นคำถามปลายเปิดจำนวน 2 ข้อ โดยตรวจสอบความใช้ได้ของชุดคำถามกับกลุ่มตัวอย่างและนำข้อคิดเห็นมาปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถาม ก่อนปรับปรุงและให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามอีกครั้ง ก่อนการนำแบบสอบถามไปใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างจริง

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย

2.5 การประมวลผลและสรุปผล

ข้อมูลสถิติได้นำมาใช้อธิบายความคิดเห็นของเจ้าหน้าที่ท้องปฏิบัติการขององค์กรในภาพรวม พร้อมทั้งจัดทำสรุปข้อเสนอแนะจากเจ้าหน้าที่ในการปรับปรุงด้านความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ ประเมินสถานการณ์ขององค์กรในปัจจุบัน ปัญหาอุปสรรค และเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาการทำงานอย่างปลอดภัยในท้องปฏิบัติการ

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

การประมวลผลแบบสอบถามตอบกลับมาจำนวนทั้งสิ้น 205 ฉบับ ด้วยการใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา เพื่อใช้อธิบายข้อมูล และนำเสนอผลในรูปแบบของตารางค่าความถี่ ร้อยละ และค่าเฉลี่ย สรุปได้ดังนี้

3.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากตารางที่ 1 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีจำนวนเพศชายและหญิงที่ใกล้เคียงกัน ส่วนใหญ่อายุเกิน 30 ปี มีประสบการณ์ในการทำงานในท้องปฏิบัติการมากกว่า 5 ปี และส่วนใหญ่ปฏิบัติงานในท้องปฏิบัติการมากกว่า 30 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

		ความถี่	ร้อยละ
เพศ	ชาย	105	51.7
	หญิง	98	48.3
	ไม่ตอบ	2	1.0
อายุ (ปี)	20 – 25	10	4.9
	26 – 30	68	33.5
	31 – 35	39	19.2
	36 – 50	80	39.4
	> 50	6	3.0
	ไม่ตอบ	2	1.0
ประสบการณ์ในการทำงานในท้องปฏิบัติการ (ปี)	< 1 ปี	1	0.5
	1 – 5 ปี	40	19.5
	> 5 ปี	62	30.2
	> 10 ปี	22	10.7
	> 15 ปี	49	23.9
	> 20 ปี	31	15.1
ชั่วโมงการทำงานในท้องปฏิบัติการ (ชั่วโมงต่อสัปดาห์)	1 - 10	21	10.4
	11 - 20	13	6.5
	21 - 30	6	3.0
	31 - 40	63	31.3
	41 - 50	85	42.3
	> 50	13	6.5
	ไม่ตอบ	4	2.0

3.2 ข้อมูลความปลอดภัยในการทำงานห้องปฏิบัติการ

ข้อมูลความปลอดภัยในการทำงานห้องปฏิบัติการแบ่งออกเป็นสี่ด้าน ได้แก่ (1) การได้รับการฝึกอบรมด้านความปลอดภัย (2) สถานภาพการนำข้อมูลจากการฝึกอบรมไปใช้ในการทำงาน (3) สถานภาพการได้รับอันตรายจากการทำงาน และ (4) สถานภาพทั่วไปเพิ่มเติมของระบบจัดการความปลอดภัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การได้รับการฝึกอบรมด้านความปลอดภัย

จากผลการสำรวจ ผู้ตอบแบบสอบถามได้เคยผ่านการฝึกอบรมที่เกี่ยวกับการทำงานอย่างปลอดภัยในห้องปฏิบัติการในหลายด้าน ดังตารางที่ 2 โดยส่วนใหญ่ผ่านการฝึกอบรมในการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment, PPE) ร้อยละ 84.4 ซึ่งเป็นมาตรการป้องกันตัวผู้ปฏิบัติงานเองจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ และยังมีการได้รับความรู้จากภายนอกองค์กร และมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างผู้ปฏิบัติงานตลอดจนได้รับการฝึกอบรมหรือได้รับความรู้ที่เกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการจากหลายแหล่งการเรียนรู้ทั้งภายในองค์กรและภายนอกองค์กร ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ร้อยละของผู้ผ่านการฝึกอบรมที่เกี่ยวกับการทำงานอย่างปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ (n = 205)

	ความถี่	ร้อยละ
การใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (PPE)	173	84.4
แนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ	142	69.3
การควบคุมและจัดการสารเคมีอันตราย	93	45.4
การกำจัดของเสียอันตราย	82	40.0
การออกแบบห้องปฏิบัติการเพื่อความปลอดภัย	21	10.2
อื่นๆ (ไม่ระบุหลักสูตร)	3	1.5

*หมายเหตุ: ข้อคำถามให้ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถเลือกตอบได้หลายข้อ

ตารางที่ 3 แหล่งการเรียนรู้ที่เกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ด้วยการฝึกอบรมหรือการถ่ายทอดความรู้จากผู้อื่น (n = 205)

แหล่งการเรียนรู้	ความถี่	ร้อยละ
หัวหน้าห้องปฏิบัติการ	136	66.3
เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ (จป.)	131	63.9
สถานฝึกอบรมของรัฐ วิทยาลัยสาขางาน หรือเอกชน	76	37.1
เพื่อนร่วมงาน	68	33.2
ไม่เคยได้รับการอบรมจากแหล่งที่ระบุ	12	5.9

*หมายเหตุ: ข้อคำถามให้ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถเลือกตอบได้หลายข้อ

นอกจากนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 179 ราย ได้เสนอหัวข้อการฝึกอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการเพิ่มเติม สรุปได้ดังตารางที่ 4 โดยหัวข้อที่มีความต้องการโดยเรียงจากมากไปหาน้อย ได้แก่ การจัดการสารเคมีและของเสียอันตราย การตอบโต้สถานการณ์ฉุกเฉิน และแนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ตามลำดับ

ตารางที่ 4 สรุปความต้องการด้านการฝึกอบรมในหัวข้อต่างๆ ที่เกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ (n = 179)

กลุ่มหัวข้อ	ความถี่	ร้อยละ
การจัดการสารเคมีและของเสียอันตราย	90	50.3
การตอบโต้สถานการณ์ฉุกเฉิน	29	16.2
แนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ	24	13.4
การใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล	19	10.6
การออกแบบห้องปฏิบัติการเพื่อความปลอดภัย	6	3.4
อื่นๆ	11	6.1

*หมายเหตุ: ร้อยละของความต้องการฝึกอบรมในแต่ละด้าน คำนวณโดยการนำ ความถี่ของคำตอบในแต่ละกลุ่มหัวข้อ หารด้วย จำนวนผู้ที่ตอบแบบสอบถาม (n = 179) แล้วคูณด้วย 100

2. สถานภาพการนำข้อมูลจากการฝึกอบรมไปใช้ในการทำงาน

จากตารางที่ 5 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment, PPE) นอกจากนี้ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเกือบทุกคนศึกษาเอกสารข้อมูลความปลอดภัย (Safety Data Sheet, SDS) ก่อนการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ แสดงถึงการนำความรู้ที่ได้รับไปใช้จริงในการทำงาน ซึ่งแนวปฏิบัติดังกล่าวมีความสำคัญในการป้องกันผู้ปฏิบัติงานจากการได้รับอันตรายจากสารเคมี หรืออันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้จากการทำงาน

ตารางที่ 5 การใช้ PPE ของเจ้าหน้าที่ในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

	ความถี่	ร้อยละ
ใช้ตลอดเวลา	126	61.5
ใช้ตามคำแนะนำ/ข้อบังคับของห้องปฏิบัติการ	48	23.4
ใช้บางครั้ง	30	14.6
ไม่เคยใช้เลย	1	0.5
ห้องปฏิบัติการไม่จำเป็นต้องใช้ PPE	0	0
ไม่ทราบ	0	0

3. สถานภาพการได้รับอันตรายจากการทำงาน

การประมวลผลข้อมูลสถานภาพการได้รับอันตรายจากการทำงานภายในห้องปฏิบัติการของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ พบว่ามีเจ้าหน้าที่เคยได้รับอันตรายจากการทำงานในห้องปฏิบัติการ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 จำนวนและร้อยละของเจ้าหน้าที่เคยได้รับอันตรายจากการทำงานในห้องปฏิบัติการ (n = 205)

	ความถี่	ร้อยละ
สูดดมสารเคมี	105	51.2
สัมผัสสารเคมีทางผิวหนัง	71	34.6
ของมีคม บาด/แทง/แตกทิ่มแทง ทำให้เลือดไหล	51	24.9
แผลที่เกิดจากความร้อน	50	24.4
ลื่น ไถล หกล้ม	24	11.7
ได้รับอันตรายจากสารเคมีระเบิด	1	0.5
สัตว์ทดลองข่วน กัด	1	0.5
อื่นๆ (ระบุว่าเป็นอันตรายจากการใช้แก๊สอัดภายใต้ความดันสูง)	1	0.5

*หมายเหตุ: ข้อคำถามให้ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถเลือกตอบได้หลายข้อ

จากตารางที่ 6 พบว่า อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับบุคลากรในห้องปฏิบัติการมากที่สุด คือ การสูดดมสารเคมี (ร้อยละ 50.7) รองลงมา คือ การสัมผัสสารเคมีทางผิวหนัง (ร้อยละ 34.1) ของมีคม บาด/แทง/แตกทิ่มแทง ทำให้เลือดไหล (ร้อยละ 24.9) แผลที่เกิดจากความร้อน (ร้อยละ 24.4) ตามลำดับ นอกจากนี้ มีกรณีที่เจ้าหน้าที่เคยเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลหรือสถานรักษาพยาบาล เพื่อรักษาโรคหรือบาดเจ็บโรคที่เกิดจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการทั้งหมดจำนวน 16 กรณี ซึ่ง 6 กรณีเกิดจากการได้รับสารเคมีผ่านช่องทางต่างๆ เช่น การสูดดม การรับสัมผัสทางผิวหนัง และ 3 กรณี มีอาการกล้ามเนื้ออักเสบเนื่องจากยกของหนัก อาการปวดหลังเนื่องจากทำงานแบบซ้ำๆ และอีก 7 กรณี มีอาการสายตาสายตาพร่ามัว แสบตา เวียนศีรษะ ผิวหนังพุพอง แต่ไม่ระบุสาเหตุ

ตารางที่ 7 ปัจจัยที่มีผลต่ออันตรายหรืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นได้ในการทำงานในห้องปฏิบัติการของตนเอง (1 = สำคัญมากที่สุด ไปจนถึง 5 = สำคัญน้อยที่สุด)

ปัจจัยที่มีผลต่ออันตราย	อันดับที่ 1	อันดับที่ 2	อันดับที่ 3	อันดับที่ 4	อันดับที่ 5	คะแนนถ่วงน้ำหนัก*
ความไม่ตระหนักของเพื่อนร่วมงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง	15.6%	21.0%	31.7%	20.0%	11.7%	20.587
ความสะพร่าเลินเล่อ	26.8%	30.2%	14.1%	13.7%	15.1%	22.640
การออกแบบห้องปฏิบัติการที่ไม่เหมาะสมหรือไม่เป็นไปตามหลักความปลอดภัย	16.6%	7.8%	16.6%	19.5%	39.0%	16.133
การติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์ไม่เหมาะสม	3.9%	22.9%	12.7%	36.1%	22.4%	16.253
บุคลากรในห้องปฏิบัติการขาดความรู้ความเข้าใจ	39.0%	17.1%	23.4%	7.8%	11.2%	24.027

*หมายเหตุ: คะแนนถ่วงน้ำหนัก คำนวณโดยสูตร (อันดับที่ 1 x 5 + อันดับที่ 2 x 4 + อันดับที่ 3 x 3 + อันดับที่ 4 x 2 + อันดับที่ 5 x 1) / 15

เมื่อเรียงลำดับปัจจัยที่มีผลต่ออันตรายหรืออุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้ในห้องปฏิบัติการของตนเอง ด้วยค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก ดังตารางที่ 7 พบว่า สาเหตุหลักในการเกิดอันตรายหรืออุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการ คือ บุคลากรในห้องปฏิบัติการขาดความรู้ความเข้าใจ ความสะพร่าเลินเล่อ และความไม่ตระหนักของเพื่อนร่วมงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่า มีการปฏิบัติงานตามล้าพัง ร้อยละ 42.4 ซึ่งถือเป็นการปฏิบัติที่ไม่ปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

4. สถานภาพทั่วไปเพิ่มเติมของระบบจัดการความปลอดภัย

จากการวิเคราะห์ความคิดเห็นเพิ่มเติมของเจ้าหน้าที่ จำนวน 61 ราย พบว่า มีการไม่ปฏิบัติตามคู่มือการทำงาน ซึ่งอาจเกิดจากความเร่งรีบของปริมาณงานที่มีมาก มีการจัดวางของอุปกรณ์เครื่องมือไม่ปลอดภัย มีการเลือก PPE ไม่เหมาะสม มีตัวอย่างพิเศษเข้ามาทดสอบในห้องปฏิบัติการที่นอกเหนือจากการออกแบบติดตั้งในตอนแรกเมื่อทดสอบตัวอย่างแล้วเกิดอุบัติเหตุ มีแก๊สรั่วไหลและผ่านเข้ามาในระบบเครื่องปรับอากาศทำให้เกิดอันตราย นอกจากนี้ ยังพบว่า บุคลากรขององค์กรบางส่วนขาดความตระหนักในด้านความปลอดภัย มีสาเหตุจากการที่องค์กรยังขาดการส่งเสริมหรือกระตุ้นวัฒนธรรมความปลอดภัย ขาดงบประมาณในการปรับปรุงระบบความปลอดภัย ไม่มีการประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น รวมทั้งอันตรายอาจเกิดจากบุคคลภายนอกที่ไม่ใช่พนักงานเข้ามาในห้องปฏิบัติการ

4. สรุป (Conclusion)

ในภาพรวม โรงงานอุตสาหกรรมเคมีแห่งนี้ ให้ความสำคัญในการป้องกันอันตรายเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการในการทำงาน โดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่คิดว่า มีระบบการจัดการการเรียนรู้ด้านการทำงานอย่างปลอดภัยในห้องปฏิบัติการที่ดี มีระบบการฝึกอบรมก่อนทำงาน การส่งบุคลากรออกไปฝึกอบรมภายนอก ตลอดจนมีการถ่ายทอดข้อมูลความรู้ภายในองค์กร นอกจากนี้ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีการนำเอาความรู้ไปปฏิบัติ ได้แก่ มีการใช้ PPE ในการทำงาน และมีการศึกษา SDS ของสารเคมีก่อนการทำงานกับสารเคมี ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อตัวผู้ปฏิบัติงานเอง

อย่างไรก็ดี แม้ผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่เห็นว่าองค์กรมีระบบจัดการความปลอดภัยที่ดี แต่ก็ยังเคยเกิดกรณีเจ้าหน้าที่ได้รับอันตรายจากสารเคมี และเข้ารับการรักษานในโรงพยาบาลหรือสถานพยาบาล ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการขาดความรู้ความเข้าใจ ความสะพร่าเลินเล่อ และความไม่ตระหนักของเพื่อนร่วมงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง มีการปฏิบัติงานตามล้าพัง ซึ่งถือเป็นการปฏิบัติที่ไม่ปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ และยังพบว่าองค์กรยังขาดการส่งเสริมหรือกระตุ้นวัฒนธรรมความปลอดภัย ขาดงบประมาณในการปรับปรุงระบบความปลอดภัย การไม่ประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น ข้อเท็จจริงนี้ สะท้อนให้เห็นว่า ระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการนั้นยังต้องการพัฒนาระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการเพิ่มขึ้น

ผลการสำรวจข้างต้น คณะผู้วิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะให้กับองค์กรดังนี้ (1) มีการอบรมทบทวนให้ความรู้ และควรเสริมความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับจากระบบการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง เช่น การจัดการสารเคมีและของเสียอันตราย การตอบโต้สถานการณ์ฉุกเฉิน และแนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ (2) เสริมสร้างวัฒนธรรมและความตระหนักด้านความปลอดภัยแก่บุคลากรในเรื่องสารเคมีเพื่อให้เกิดการปฏิบัติงานที่ปลอดภัยอย่างแท้จริง (3) มีการประเมินความเสี่ยงโดยอาจทำการสำรวจในทำนองเดียวกันนี้อยู่เป็นระยะๆ (4) มีการปรับปรุงแนวปฏิบัติงานเดิม ให้มีความครบถ้วน ครอบคลุม และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุหรือเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ที่เกือบเกิดเป็นอุบัติเหตุได้ รวมทั้งองค์กรสามารถนำข้อมูลไปประกอบการพิจารณาแนวทางการพัฒนาระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากเจ้าหน้าที่ผู้ซึ่งได้รับผลกระทบโดยตรงจากการทำงานในห้องปฏิบัติการนั้น จะช่วยให้ผู้บริหารองค์กรสามารถกำหนดความจำเป็นและความเร่งด่วนในการพัฒนาความปลอดภัยขององค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการสำรวจความคิดเห็นของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเป็นตัวอย่างอันดีในการส่งเสริมความปลอดภัย ด้วยการให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียขององค์กรมีส่วนร่วมในการขับเคลื่อนการพัฒนาความปลอดภัยในองค์กรอย่างต่อเนื่องและยั่งยืนต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ ดร.จันทร์เพ็ญ เมฆาภิรักษ์ และนางสาวปัทมา นพรัตน์ นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้คำแนะนำและแนวทางการดำเนินงาน ตลอดจนสนับสนุนทรัพยากรในการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] KEMSLEY, J.N. Learning from UCLA: Details of the experiment that led to a researcher's death prompt evaluations of academic safety practices. *Chemical & Engineering News*. 87(31), 29-31, 33-34. [online] 3 August 2009 [viewed 27 February 2016]. Available from: <http://cen.acs.org/articles/87/i31/Learning-UCLA.html>
- [2] DEMATTEO, R., et al. Chemical exposures of women workers in the plastics industry with particular reference to breast cancer and reproductive hazards. *New Solutions*. 2012. 22(4), 427-448.
- [3] EYAYO, F. Evaluation of occupational health hazards among oil industry workers: a case study of refinery workers. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 2014. 8(12), 22-53.
- [4] วงศ์วรุตม์ บุญญานูโกลม และ จุฬาลักษณ์ บางเหลือ. คู่มือความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ (*Manual of laboratory safety*) ห้องปฏิบัติการกลางสำหรับการเรียนการสอนและวิจัย โครงการจัดตั้งวิทยาเขตอานาจเจริญ มหาวิทยาลัยมหิดล. [ออนไลน์]. 2557. [อ้างถึงวันที่ 29 กันยายน 2559]. เข้าถึงจาก: http://www.am.mahidol.ac.th/web/images/research_dept/Manual%20of%20Laboratory%20Safety.pdf
- [5] ธรรมรักษ์ ศรีมารุต และคณะ. พฤติกรรมความปลอดภัยในการปฏิบัติงานของพนักงานระดับปฏิบัติการฝ่ายผลิต. [ออนไลน์]. 2555. [อ้างถึงวันที่ 29 กันยายน 2559]. เข้าถึงจาก: www.ssruir.ssru.ac.th/bitstream/ssruir/788/1/197-55.pdf
- [6] วารุณี พันธวงศ์, วารางคณา วิเศษมณี ลี, และ ภัทรพร ยุบลพันธ์. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารตะกั่วในเลือด กรณีศึกษา: โรงงานผลิตอะไหล่รถยนต์ จ.สมุทรปราการ. *การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6*, 422-430. [ออนไลน์]. 2558. [อ้างถึงวันที่ 29 กันยายน 2559]. เข้าถึงจาก: journalgrad.ssru.ac.th/index.php/5-01/article/download/137/232
- [7] COCHARN, W.G. 1963. *Sampling Techniques*, 2nd Ed., New York : John Wiley and Sons

ผลกระทบของการสั่นสะเทือนต่อเครื่องชั่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ที่มีความละเอียดและน้ำหนักชั่งแตกต่างกัน Vibration effect on laboratory balance with different readability and loading

3

จิตตกานต์ อินเทียน^{1*}, วีระชัย วาริยาตร์¹, สมโภชน์ บุญสนธิ¹, พลัปปึง นาคเกิด²
Jittakant Intiang^{1*}, Weerachai Variyart¹, Sompote Boonsanit¹, Phlapplueng Nakkead²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาผลกระทบการสั่นสะเทือนที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการอ่านค่าของเครื่องชั่งในห้องปฏิบัติการที่มีความละเอียดและน้ำหนักที่ชั่งแตกต่างกัน เพื่อจัดทำเป็นแนวทาง (guideline) สำหรับการติดตั้งเครื่องชั่งในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการสั่นสะเทือน ส่งผลให้ใช้งานเครื่องชั่งได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยทำการทดลองกับเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.01 g, 0.001 g, 0.0001 g, 0.00001 g และ 0.000001 g และที่ค่าน้ำหนักที่ชั่งแตกต่างกัน ระบบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยโต๊ะลดการสั่นสะเทือนสำหรับวางเครื่องชั่งเพื่อใช้ลดผลกระทบของการสั่นสะเทือนที่มาจากพื้นผิวห้อง ตัวสร้างการสั่นสะเทือน (Exciter) ใช้ป้อนสัญญาณการสั่นสะเทือน และหัว probe วัดความเร่ง (Accelerometer) เพื่อใช้วัดระดับการสั่นสะเทือน โดยทำการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเครื่องชั่ง (Hz) และค่าแอมพลิจูดการสั่น ที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการอ่านค่าของเครื่องชั่ง สำหรับเครื่องชั่งที่มีความละเอียดแตกต่างกัน พบว่าส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบในย่านความถี่สูง (มากกว่า 400 Hz) ยกเว้นเครื่องชั่งความละเอียด 0.01 g ที่ได้รับผลกระทบที่ค่าความถี่ 30 Hz ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับแหล่งกำเนิดแรงสั่นสะเทือนส่วนใหญ่ในห้องปฏิบัติการ เช่น มอเตอร์เครื่องปรับอากาศ ที่มีค่าความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 30 Hz ถึง 50 Hz และในส่วน of ค่าแอมพลิจูดของการสั่นมีค่าอยู่ที่ 0.3 m/s² ถึง 0.7 m/s² ในส่วนของเครื่องชั่งที่มีค่าน้ำหนักที่ชั่งแตกต่างกันพบว่าเครื่องชั่งส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบที่ค่าความถี่เท่ากันหรือแตกต่างกันไม่มาก ณ น้ำหนักชั่งใดๆ ในช่วงค่าความสามารถในการชั่งสูงสุดของเครื่องชั่ง ดังนั้นค่าน้ำหนักไม่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเครื่องชั่ง

Abstract

This research is aimed to find the vibration effect on the performance of laboratory balances with different readability and loading in order to propose the guideline for installing the balance in the environment avoiding the vibration effect for ultimate performance. The balances with different readability 0.01 g, 0.001 g, 0.0001 g, 0.00001 g, 0.000001 g and different loading value are investigated. The experimental setup is consisted of the anti-vibration table for installing the balance in order to exclude the vibration from the floor, the exciter used to generate the vibration, and the accelerometer used for detecting the vibration signal. The natural frequency (Hz) of the balance system and the amplitude of vibration which effect to the reading performance of the balances are measured. The results show that most balances (different readability) response to the high frequency (> 400 Hz) except the balance with 0.01 g readability that the natural frequency is 30 Hz which is low frequency the same as the source of vibration in the laboratory; motor of the air-conditioner ~30 Hz to 50 Hz. The amplitude of vibration is in the range of 0.3 m/s² to 0.7 m/s². Furthermore, the natural frequency of most balances are the same or slightly different at different loading in the range of maximum capacity. Therefore, the loading value is insignificant effect to the natural frequency of the balance system.

คำสำคัญ: การสั่นสะเทือน, ความถี่ธรรมชาติ, เครื่องชั่งน้ำหนัก, ค่าความละเอียด

Keywords: Vibration, Natural frequency, Electronic balance, Readability

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

² สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

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

1. บทนำ (Introduction)

เครื่องชั่งน้ำหนักเป็นเครื่องมือวัดพื้นฐานที่สำคัญและใช้งานกันอย่างแพร่หลายในเชิงพาณิชย์ งานวิทยาศาสตร์ ทางการแพทย์ และภาคอุตสาหกรรม ในปัจจุบันมีความต้องการใช้งานเครื่องชั่งที่มีความถูกต้องสูงเพิ่มขึ้น ซึ่งก็ได้รับการตอบสนองจากผู้ผลิตเครื่องชั่งโดยการผลิตเครื่องชั่งที่มีความถูกต้องสูงออกมา แต่พบว่าเมื่อผู้ใช้งานเครื่องชั่งได้นำเครื่องชั่งไปติดตั้งใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องชั่งไม่เป็นไปตามคุณลักษณะที่ต้องการ ซึ่งงานวิจัยของ Stanescu และ Micu (Stanescu and Micu, 2008) ได้กล่าวไว้ว่าการสั่นสะเทือนเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องชั่ง ซึ่งหากห้องปฏิบัติการไม่มีข้อมูลในส่วนของการวัดระดับความสั่นสะเทือนที่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องชั่ง ก็จะทำให้ห้องปฏิบัติการมีความเสี่ยงต่อการได้มาซึ่งผลการชั่งน้ำหนักที่ผิดพลาดได้

ปัจจุบันได้มีการผลิตโต๊ะสำหรับวางเครื่องชั่งเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนที่มากระทำกับตัวเครื่องชั่งออกจำหน่าย ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนให้กับห้องปฏิบัติการในการจัดหาโต๊ะสำหรับวางเครื่องชั่งที่เหมาะสม ดังนั้นหากมีการติดตั้งเครื่องชั่งในสภาวะแวดล้อมที่มีการสั่นสะเทือนไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องชั่ง ก็จะทำให้ทางห้องปฏิบัติการไม่ต้องลงทุนเพิ่มในส่วนของการจัดหาโต๊ะสำหรับวางเครื่องชั่งเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาผลกระทบของแรงสั่นสะเทือนที่มีต่อการใช้งานเครื่องชั่ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลและแนวทาง (guideline) สำหรับการเลือกหรือปรับปรุงลักษณะทางเทคนิคของสถานที่ติดตั้งเครื่องชั่งให้มีความเหมาะสม เพื่อลดผลกระทบของแรงสั่นสะเทือนที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องชั่ง เครื่องชั่งน้ำหนักที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นเครื่องชั่งแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถแบ่งออกตามความละเอียดของเครื่องชั่งได้ดังตารางที่ 1 (Weyhe, 1997)

ตารางที่ 1 ประเภทของเครื่องชั่งน้ำหนักห้องปฏิบัติการ (laboratory balances)

Readability	Designation	Usual max. capacity
0.1 µg	Ultra-microbalance	up to 5 g
1 µg	Microbalance	1 to 25 g
10 µg	Semi-microbalance	30 to 200 g
0.1 mg	Macro-balance or analytical balance	50 to 500 g
≥ 1 mg	Precision balance or scale	≥ 100 g

ได้มีการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการชั่ง เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การสั่นสะเทือน การแทรกสอดของสนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น โดยปัจจัยเหล่านี้ไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อเครื่องชั่งความถูกต้องสูงเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อเครื่องชั่งรถบรรทุกหรือเครื่องชั่งแบบสายพานได้เช่นเดียวกัน (Stanescu and Micu, 2008) ผลกระทบจากการสั่นสะเทือนถือเป็นปัจจัยหนึ่งในหลายๆปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของตัวเครื่องชั่ง โดยลักษณะของผลกระทบนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องชั่งและทิศทางของการสั่นที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ค่าเบี่ยงเบน (standard deviation) และค่าผิดพลาดทางระบบ (systematic errors) มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในการลดค่าความผิดพลาดนี้สามารถกระทำได้โดยการติดตั้งเครื่องชั่งบนโต๊ะวางเครื่องชั่งที่มีความเสถียรที่อยู่บนพื้นที่มีความเสถียรเช่นกัน (Schwartz, Borys and Scholz, 2007) ในปัจจุบันโต๊ะสำหรับวางเครื่องชั่งส่วนใหญ่จะมีแผ่นยางรองการสั่นสะเทือน (anti-vibration mounts) ติดตั้งอยู่ระหว่างส่วนบนที่ใช้สำหรับวางเครื่องชั่งและขาโต๊ะเครื่องชั่ง แต่อย่างไรก็ตามการใช้แผ่นยางรองการสั่นสะเทือนนี้ไม่ใช่วิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด วิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดก็คือการติดตั้งโต๊ะวางเครื่องชั่งในสภาวะแวดล้อมที่ปราศจากการสั่นสะเทือนนั่นเอง (Morris and Fen, 2003) ในส่วนของการสอบเทียบมวลได้มีการกล่าวถึงข้อกำหนดเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนสำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบมวลในแต่ละระดับชั้นไว้ดังแสดงในตารางที่ 2 (Gläser, 1997)

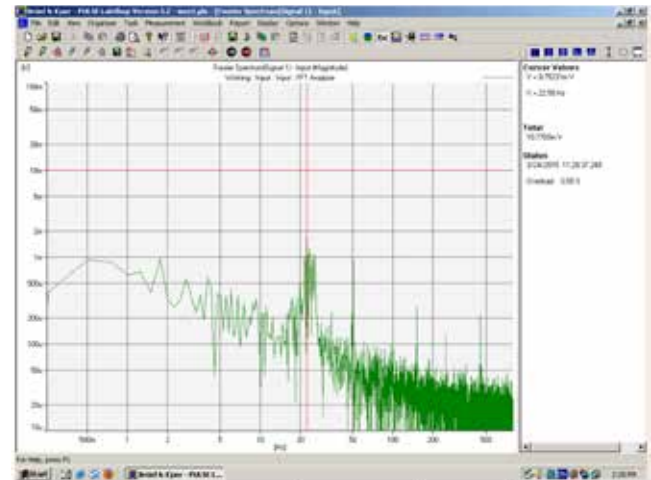
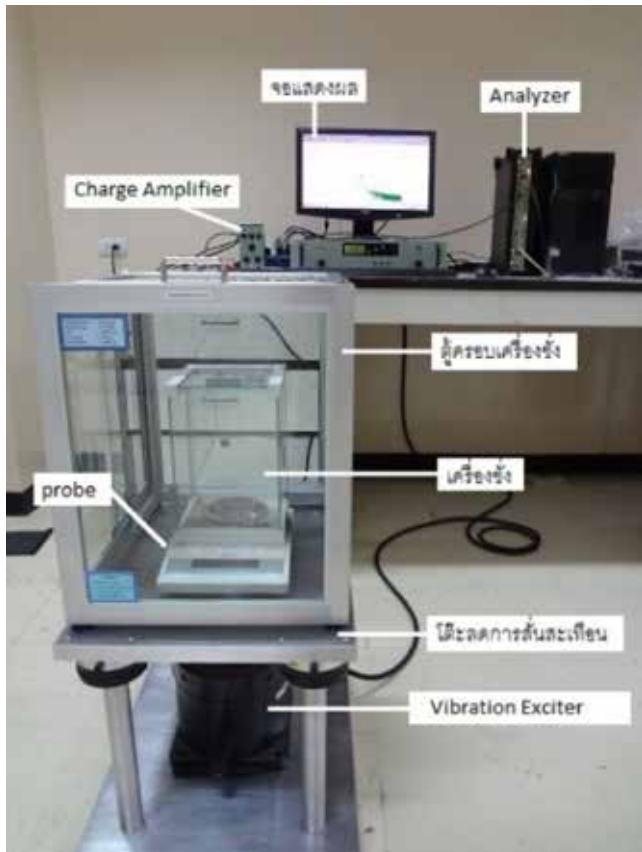
ตารางที่ 2 ข้อกำหนดทางด้าน การสั่นสะเทือนสำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบมวล

Acceleration (mm/s ²)	Classification				
	E1	E2	F1	F2	M1
< 3 Hz	5x10 ⁻⁴	1.5x10 ⁻³	5x10 ⁻³	1.5x10 ⁻²	5x10 ⁻²
3 Hz – 30 Hz	5x10 ⁻³	1.5x10 ⁻²	5x10 ⁻²	0.15	0.5
> 30 Hz	1.5x10 ⁻²	5x10 ⁻²	0.15	0.5	1.5

นอกจากนี้ในส่วนของการวัดค่าความแข็งก็ได้มีการกล่าวถึงข้อกำหนดของค่าการสั่นสะเทือนที่สามารถยอมรับได้สำหรับตัว Vickers hardness ไว้เช่นเดียวกัน (BS 6507-3:2005) และได้มีการศึกษาใหม่เพิ่มเติมเพื่อทำการปรับปรุง (Sanponpute and Meesaplak, 2010) และในส่วนของการวัดค่าความแข็งแบบ Rockwell Scale ก็ได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของการสั่นสะเทือนที่มีต่อการวัด เพื่อจัดทำเป็นแนวทาง (guideline) ออกมาเช่นเดียวกัน (Sanponpute and Meesaplak, 2009) แต่สำหรับเรื่องการสอบเทียบเครื่องชั่งหรือการใช้งานเครื่องชั่งในห้องปฏิบัติการไม่ได้มีการกล่าวถึงข้อกำหนดเกี่ยวกับการสั่นสะเทือน เพียงแต่กล่าวไว้ว่าควรหลีกเลี่ยงการใช้งานเครื่องชั่งในสภาวะที่มีการสั่นสะเทือนเท่านั้น (UKAS LAB14, 2015) ดังนั้นเพื่อให้ผู้ใช้งานเครื่องชั่งความถูกต้องสูงสามารถใช้งานเครื่องชั่งได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการจัดทำแนวทาง (guideline) สำหรับการติดตั้งเครื่องชั่งในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมโดยได้รับผลกระทบจากการสั่นสะเทือนน้อยที่สุด

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

ระบบที่ใช้ทดสอบผลกระทบของการสั่นสะเทือนต่อประสิทธิภาพของเครื่องซึ่ง ประกอบด้วยโต๊ะลดการสั่นสะเทือนที่ทำการติดตั้งตัวลดการสั่นสะเทือน (Mount Pneumatic) ไว้ที่ตำแหน่งขาโต๊ะ (รูปที่ 1) สัญญาณการสั่นสะเทือนจะถูกป้อนค่าผ่านโปรแกรม PULSELabShop Version 5.2 ไปยังตัว Analyzer จากนั้นทำการขยายสัญญาณด้วย power amplifier ส่งต่อไปยังตัว Exciter และถูกส่งผ่านแท่งอะลูมิเนียม slender rod ไปยังโต๊ะลดการสั่นสะเทือนที่ใช้สำหรับวางเครื่องซึ่ง โดยระดับการสั่นสะเทือนบนโต๊ะจะถูกตรวจวัดด้วย Accelerometer และส่งผ่านสัญญาณวัดให้กับ Charge Amplifier และตัว Analyzer ต่อเพื่อทำการวิเคราะห์ ระดับการสั่น โดยแสดงออกมาในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่และค่าแอมพลิจูดของการสั่น โดยที่แกน X แสดงค่าความถี่ และแกน Y แสดงค่าแอมพลิจูด (รูปที่ 2) ซึ่งบอกค่าระดับการสั่นสะเทือนว่ามีค่ามากที่สุด ณ ค่าความถี่ใด ขณะเดียวกันก็ทำการพิจารณาค่าความถี่ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเลขที่แสดง บนหน้าจอเครื่องซึ่งมากที่สุด



รูปที่ 2 กราฟแสดงระดับการสั่นสะเทือนที่ได้จากเครื่อง Analyzer

สำหรับในเรื่องของการสั่นสะเทือนจะมีตัวแปรอยู่ 2 ตัวที่ต้องนำมาพิจารณาร่วม คือ ค่าความถี่ และค่าแอมพลิจูดของแรงสั่นสะเทือน นอกจากนี้ วัตถุหรือระบบแต่ละระบบจะมีความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ภายในตัวอยู่แล้ว ซึ่งค่าความถี่นี้หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

รูปที่ 1 ระบบทดสอบผลกระทบของการสั่นสะเทือนต่อประสิทธิภาพของเครื่องซึ่ง

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_n}{m_n}} \quad (2.1)$$

โดยที่ f คือค่าความถี่

k คือค่าคงตัวของสปริง

m คือค่ามวลของระบบ

n คือโหมดของการสั่นสะเทือน (ในระบบการสั่นสะเทือนอาจมีโหมดการสั่นได้มากกว่า 1 โหมด)

ในการทดลองจะทำการพิจารณาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเครื่องซึ่งที่มีค่าความถี่ธรรมชาติและค่าน้ำหนักที่ซึ่งแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3 และทำการหาค่าแอมพลิจูดของการสั่นที่เครื่องซึ่งตอบสนองจนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าที่อ่านได้บนเครื่องซึ่ง เมื่อทำการป้อนค่าความถี่สำหรับเครื่องซึ่งแต่ละเครื่อง ขณะที่ไม่มีการวางน้ำหนัก

ตารางที่ 3 รายละเอียดเครื่องชั่งในงานวิจัย

ลำดับที่	ความละเอียดเครื่องชั่ง (g)	ค่าน้ำหนักที่ชั่ง (g)
1	0.01	0, 500, 2000, 5000
2	0.001	0, 100, 500, 1000
3	0.0001	0, 20, 100, 200
4	0.00001	0, 10, 50, 100
5	0.000001	0, 2, 10, 20

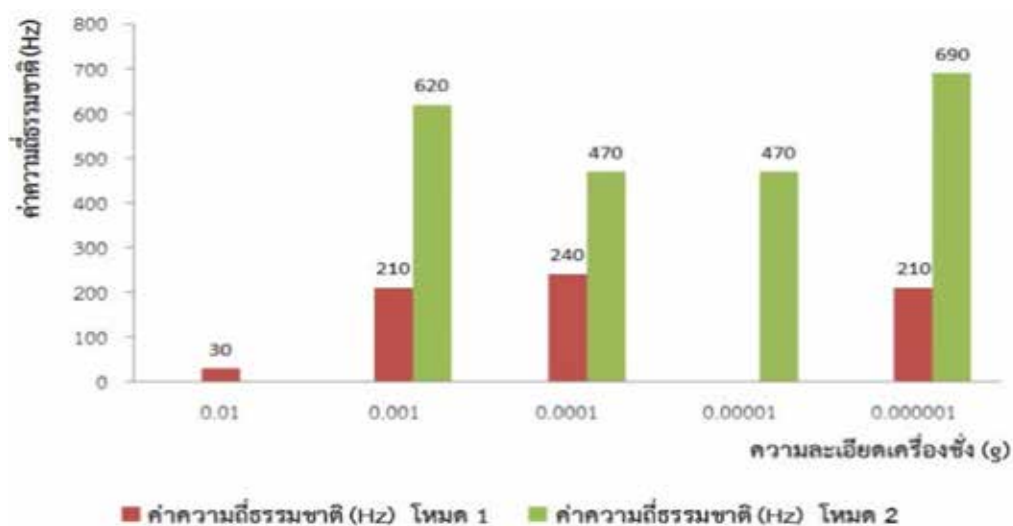
3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเครื่องชั่งที่มีค่าความละเอียดแตกต่างกัน

เครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการมีค่าความละเอียดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน จากการทดลองหาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเครื่องชั่งที่มีค่าความละเอียดแตกต่างกัน ขณะที่ไม่มีการวางน้ำหนัก ได้ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 และรูปที่ 3

ตารางที่ 4 ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเครื่องชั่งที่มีค่าความละเอียดแตกต่างกัน

ลำดับที่	ความละเอียดเครื่องชั่ง (g)	ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเครื่องชั่ง (Hz)	
		โหมด 1	โหมด 2
1	0.01	30	-
2	0.001	210	620
3	0.0001	240	470
4	0.00001	-	470
5	0.000001	210	690

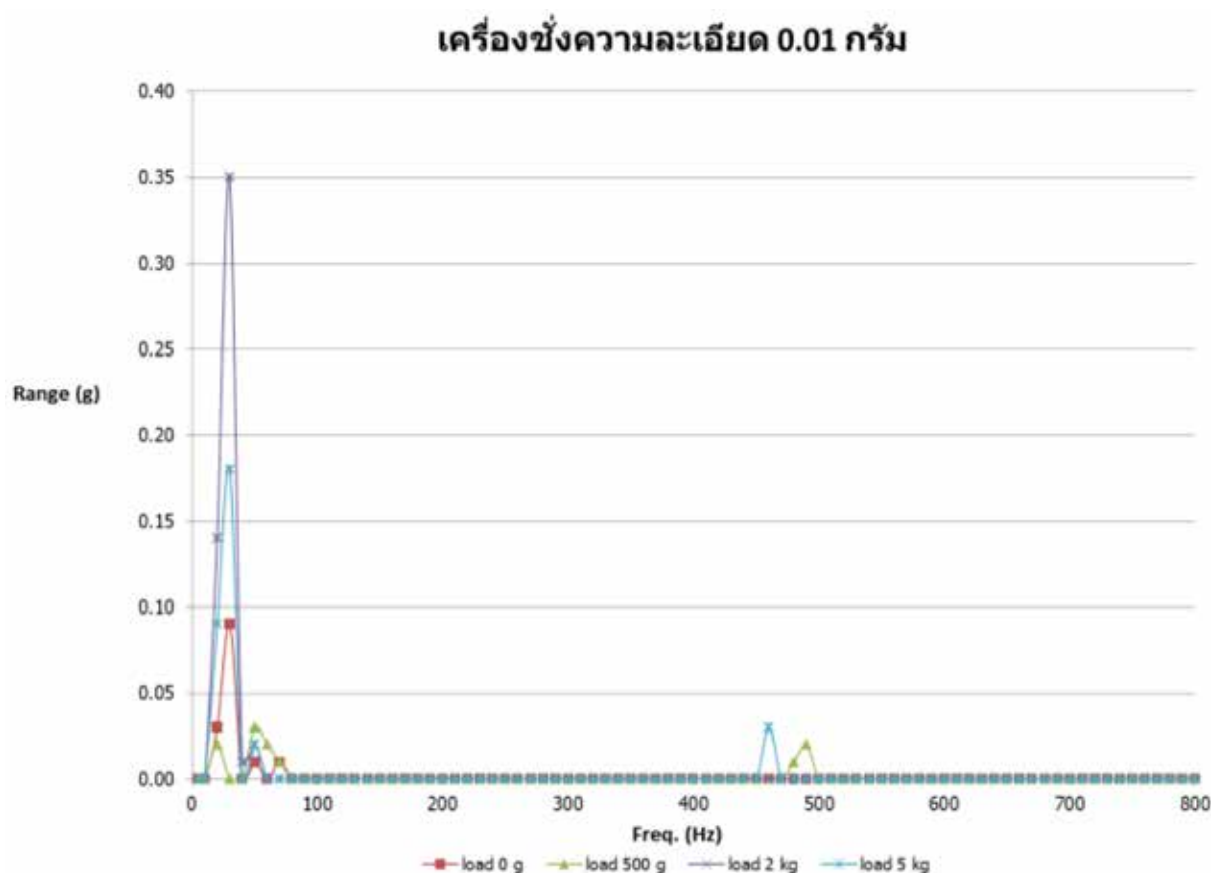


รูปที่ 3 ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเครื่องชั่งที่มีค่าความละเอียดแตกต่างกัน

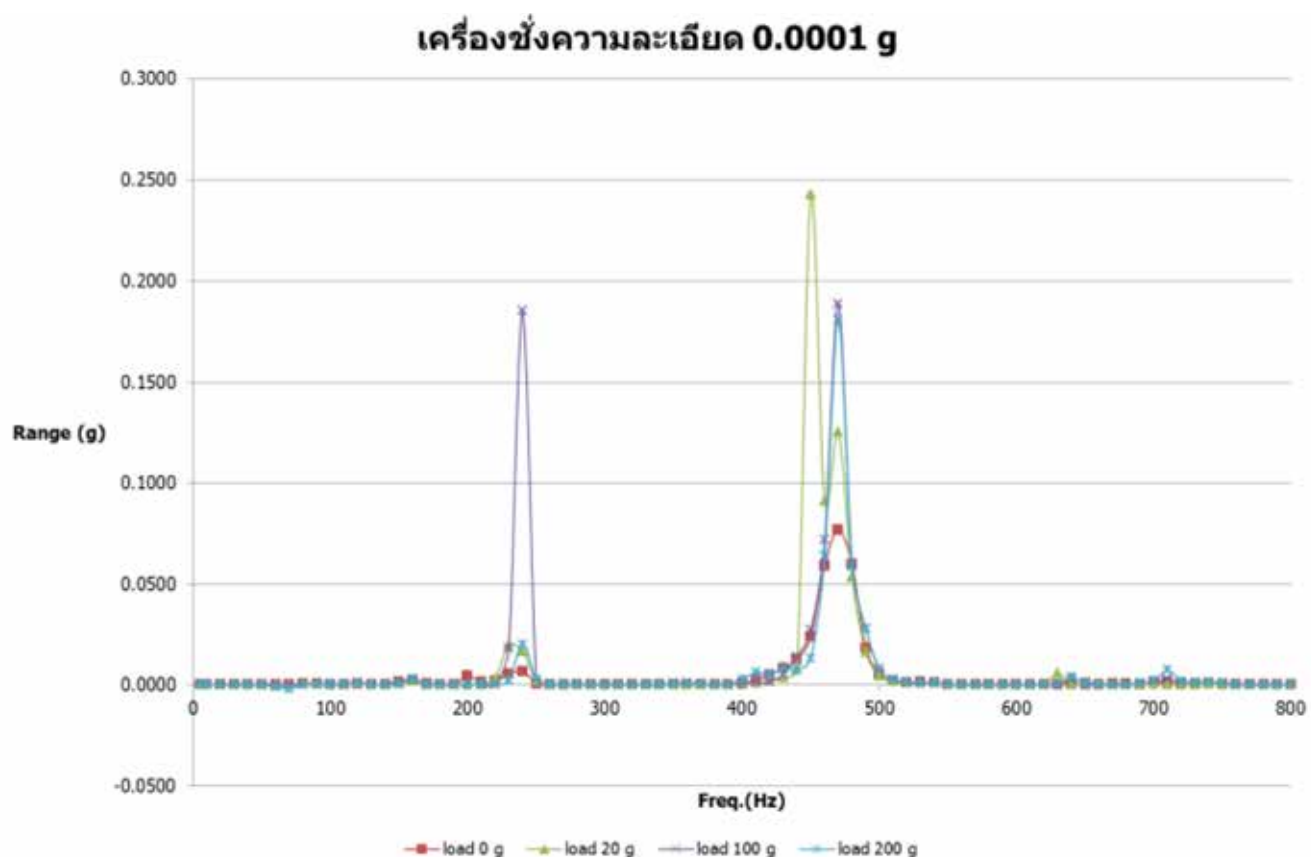
จากข้อมูลในตารางที่ 4 จะเห็นว่าเครื่องชั่งส่วนใหญ่มีค่าความถี่ธรรมชาติอยู่ในย่านความถี่สูง (> 100 Hz) ยกเว้นเครื่องชั่งความละเอียด 0.01 g ซึ่งมีค่าความถี่ธรรมชาติ 26 Hz ซึ่งอยู่ในย่านความถี่ต่ำ ดังนั้นเครื่องชั่งส่วนใหญ่ไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดที่มีค่าความถี่ต่ำ จึงเป็นไปได้ว่าผู้ผลิตส่วนใหญ่พยายามออกแบบเครื่องชั่งให้ตอบสนองต่อค่าความถี่สูง (ตั้งแต่ 200 Hz ขึ้นไป) เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากแหล่งกำเนิดที่มีค่าความถี่ต่ำ ยกเว้นเครื่อง 0.01g ที่มีค่าความถี่ธรรมชาติต่ำ ซึ่งทางผู้ผลิตอาจใช้วิธีการอื่นเพื่อลดผลกระทบ เช่น การเพิ่ม damping (ความถี่เดิม แต่ลดระดับแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือน ณ ค่าความถี่นี้)

3.2 ค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องชั่งที่มีค่าน้ำหนักที่ชั่งแตกต่างกัน

เครื่องชั่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับชั่งวัตถุเพื่อหาค่าน้ำหนัก ดังนั้นน้ำหนักที่วางบนเครื่องชั่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุที่นำมาชั่ง ในการทดลองนี้จะทดลองทำการหาค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องชั่งขณะที่มีการวางค่าน้ำหนักแตกต่างกัน โดยจะทำการสังเกตค่าความถี่ธรรมชาติตั้งแต่ไม่มีการวางน้ำหนักจนถึงค่าน้ำหนักสูงสุดที่เครื่องชั่งแต่ละเครื่องสามารถรับน้ำหนักได้ รูปที่ 4 และ 5 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่และค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักที่อ่านได้ ณ น้ำหนักต่างๆ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่และค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักที่อ่านได้ ณ น้ำหนักต่างๆ ของเครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่และการเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักที่อ่านได้ ณ น้ำหนักต่างๆ ของเครื่องชั่งความละเอียด 0.0001 กรัม

จากรูปที่ 4 และ 5 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าจะมีโหมดของการสั่นสะเทือนอยู่ 2 โหมด จากรูปที่ 4 ขณะที่ไม่มีภาระชั่งน้ำหนัก มีค่าความถี่ธรรมชาติค่าเดียว อยู่ที่ประมาณ 30 Hz แต่เมื่อมีการเพิ่มน้ำหนักเป็น 500 g ทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไป โดยมีค่าความถี่ธรรมชาติเกิดขึ้น 2 โหมด ซึ่งโหมดที่ 1 มีค่าประมาณ 50 Hz และโหมดที่ 2 มีค่าประมาณ 490 Hz รวมทั้งส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงค่าที่อ่านได้บนเครื่องชั่ง และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักที่ชั่ง ค่าความถี่ธรรมชาติก็มีการเปลี่ยนแปลงไปตามค่าน้ำหนักที่ชั่งดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องชั่งที่มีค่าน้ำหนักที่ชั่งแตกต่างกัน

ลำดับที่	ความละเอียดเครื่องชั่ง (g)	ค่าความถี่ธรรมชาติ (Hz) @ ค่าน้ำหนักต่างๆ		
		น้ำหนัก	โหมด 1	โหมด 2
1	0.01	0 g	30	-
		500 g	50	490
		2 kg	30	-
		5 kg	30	460
2	0.001	0 g	210	620
		100 g	210	620
		500 g	200	620
		1 kg	110	590

3	0.0001	0 g	240	470
		20 g	240	450
		100 g	240	470
		200 g	240	470
4	0.00001	0 g	-	470
		10 g	-	460
		50 g	460	700
		100 g	450	700
5	0.000001	0 g	210	690
		2 g	210	690
		10 g	210	690
		20 g	140	690

จากผลการทดลองในตารางที่ 5 พบว่าเครื่องซึ่งบางเครื่องมีค่าความถี่ธรรมชาติลดลงเมื่อน้ำหนักที่วางบนเครื่องซึ่งมีค่ามากขึ้นสอดคล้องกับสมการที่ 2.1 เนื่องจากค่าความถี่ธรรมชาติมีค่าผกผันกับค่ามวลของระบบ ในขณะที่เครื่องซึ่งบางเครื่องมีค่าความถี่ธรรมชาติเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยในช่วงค่าความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของแต่ละเครื่องซึ่ง ดังนั้นสามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่าค่าน้ำหนักที่ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเครื่องซึ่ง

3.3 ค่าแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือน

ผลการทดลองหาค่าการตอบสนองต่อแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนที่ส่งผลกระทบต่อการอ่านค่าน้ำหนักของเครื่องซึ่งโดยการป้อนค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเครื่องซึ่งแต่ละเครื่องขณะที่ไม่มีการวางน้ำหนักถูกแสดงในตารางที่ 6

จากผลการทดลองสามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่าเครื่องซึ่งส่วนใหญ่มีค่าความถี่ธรรมชาติอยู่ในย่านความถี่สูงและมีการตอบสนองต่อค่าแอมพลิจูดของการสั่นอยู่ในช่วง $0.3 \text{ m/s}^2 - 0.7 \text{ m/s}^2$ ซึ่งเครื่องซึ่งที่ดีควรมีการตอบสนองต่อค่าแอมพลิจูดค่าสูงเพื่อป้องกันผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องซึ่ง แต่ถ้าเครื่องซึ่งมีการตอบสนองที่ค่าแอมพลิจูดต่ำๆ ก็ควรพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนของระบบที่ใช้ลดระดับการสั่นของเครื่องซึ่ง

ตารางที่ 6 ค่าแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าที่อ่านได้สำหรับเครื่องซึ่งที่ความถี่แตกต่างกัน

ลำดับที่	ความถี่ของเครื่องซึ่ง (g)	ค่าความถี่ธรรมชาติ (Hz)		ค่าแอมพลิจูดการสั่น (m/s^2)
		โหมด 1	โหมด 2	
1	0.01	30	-	0.5
2	0.001	210	620	0.5
3	0.0001	240	470	0.7
4	0.00001	-	470	0.5
5	0.000001	210	690	0.3

4. สรุป (Conclusion)

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเครื่องซึ่งส่วนใหญ่ไม่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดความถี่ทั่วไปภายในห้องปฏิบัติการที่มีค่าความถี่อยู่ในย่านความถี่ต่ำ และค่าความถี่และน้ำหนักที่ซึ่งของเครื่องซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องซึ่ง ณ สถานะที่มีการสั่นสะเทือน อย่างไรก็ตามจากข้อมูลในตารางที่ 4 ทำให้ทราบสภาวะการสั่นสะเทือนสำหรับเครื่องซึ่งที่มีค่าความถี่แตกต่างกัน แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าเครื่องซึ่งที่มีค่าความถี่แตกต่างกันจะมีสภาวะการสั่นสะเทือนเหมือนกันทุกเครื่อง เนื่องจากมีเงื่อนไขหลากหลายที่ส่งผลกระทบต่อการอ่านค่าน้ำหนักของเครื่องซึ่ง ดังนั้นในทางปฏิบัติเครื่องซึ่งแต่ละเครื่องควรได้รับการตรวจสอบเพื่อหาสภาวะการสั่นสะเทือนเฉพาะตัวก่อนที่จะได้ทำการติดตั้งในสถานที่ที่เหมาะสม

ดังนั้นข้อมูลจากผลการทดลองสามารถซึ่งในเบื้องต้นถึงการออกแบบของผู้ผลิตได้ โดยผู้ผลิตส่วนใหญ่ออกแบบเครื่องซึ่งให้สามารถหลีกเลี่ยงผลกระทบของการสั่นสะเทือนโดยการออกแบบโครงสร้างที่มีความแข็งแรง (stiffness, k) สูงๆ โดยที่ค่าความแข็งแรง (stiffness) นี้หมายถึง สมบัติของวัสดุที่แสดงความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือต่อการเปลี่ยนรูปในขณะที่กำลังรับแรงกระทำนั้นๆอยู่ ซึ่งตามสมการ 2.1 เมื่อค่า k มีค่ามาก จะส่งผลให้ค่าความถี่ธรรมชาติมีค่าอยู่ในช่วงความถี่สูง แต่ถ้าโครงสร้างของเครื่องซึ่งไม่ได้ถูกออกแบบให้มีค่า k มาก ซึ่งทำให้เครื่องซึ่งมีค่าความถี่ธรรมชาติอยู่ในย่านความถี่ต่ำ ผู้ผลิตก็สามารถใช้ระบบการ damping เพิ่มเติมในการออกแบบเพื่อช่วยลดผลกระทบจากการสั่นสะเทือน โดยผลที่ได้จะให้ค่าความถี่ธรรมชาติเท่าเดิม แต่ค่าแอมพลิจูดของ

การสั่นมีค่าลดลง แต่หากเครื่องซึ่งมีการตอบสนองต่อค่าความถี่ธรรมชาติต่ำและค่าแอมพลิจูดของการสั่นสูงด้วย ผู้ใช้งานเครื่องซึ่งควรพิจารณาหาสถานที่ติดตั้งเครื่องซึ่งที่หลีกเลี่ยงค่าความถี่ต่ำเพื่อป้องกันผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือน

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณสมโภชน์ บุญสนิท กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้คำปรึกษา และขอขอบคุณ บริษัท ซาร์ทอเรียส (ประเทศไทย) จำกัด (Sartorius (Thailand) Co., Ltd.), บริษัท เมทเทิลเลอร์-ทอเลโด (ประเทศไทย) จำกัด (Mettler-Toledo (Thailand)) Co., Ltd.) และบริษัท โอเฮาส์ อินโดไชน่า จำกัด (OHAUS INDOCHINA LTD.) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องชั่งสำหรับใช้ในงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] STANESCU, M. and CA. MICU. Influencing factors for the measuring results. Error sources and some possibilities to reduce for those errors. *Fascicle of Management and Technological Engineering*. 2008, VII(XVII), 1077-1084.
- [2] WEYHE, S. *Weighing Technology in the Laboratory: Technology and Applications*. Goettingen : Sartorius, 1997, pp. 12-13.
- [3] SCHWARTZ, R., M. BORYS and F. SCHOLZ. *PTB-MA-80e : Guide to mass determination with high accuracy*. Braunschweig: PTB, 2007, pp. 25, 34-35.
- [4] MORRIS, EC. and KMK, FEN. *The Calibration of Weights and Balances*. Sydney : CSIRO, 2003, pp. 115.
- [5] GLÄSER, M. *PTB-MA-52: Advices for the calibration of mass standards*. Braunschweig : PTB, 1997, pp. 22.
- [6] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Metallic materials – Vickers hardness test: Calibration of reference blocks. *BS 6507 Part 3*. 2005, pp. 4.
- [7] SANPONPUTE, T. and A. MEESAPLAK. Vibration effect on Vickers hardness measurement. *IMEKO 2010 TC3, TC5 and TC22 Conferences Metrology in Modern Context*, November, 2010, pp. 145-149.
- [8] SANPONPUTE, T. and A. MEESAPLAK. Vibration effect on Rockwell scale hardness measurement. *XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology*, September, 2009, pp. 1006-1010.
- [9] UNITED KINGDOM ACCREDITATION SERVICE. Calibration of Weighing Machines. *UKAS LAB14*. 2015.
- [10] Non- automatic weighing instrument, Part 1: Metrology and technical requirements – Test, *OIML R 76-1*.

ผลกระทบของการเติมโคบอลต์ออกไซด์ และพราซีโอดิเมียมออกไซด์ต่อสมบัติ
การดูดกลืนแสงของแก้วกรองแสง
The effect of cobalt oxide (CoO) and praseodymium oxide (Pr_2O_3)
on the spectroscopic properties in filter glass

4

เอกรรฐ มีชูวาศ^{1*}, วณิดา แสงจันทร์^{1*}, อุสุมา นาคนิคัม^{1*}, กนิษฐ์ ตะปะสา^{1*}
Ekarat Meechoowas^{1*}, Wanida Sangchan^{1*}, Usuma Naknikham^{1*}, Kanit Tapasa^{1*}

บทคัดย่อ

แก้วกรองแสงสำหรับป้องกันสายตาจากการขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟ สามารถเตรียมได้จากการเติมธาตุที่มีคุณสมบัติการดูดกลืนแสง ในช่วงที่ตามองเห็น (Visible light) และอินฟราเรด (Infrared) จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่า แก้วกรองแสงสำหรับการขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟที่จำหน่ายในท้องตลาดมีการเติม โคบอลต์ออกไซด์ (CoO) และสารประกอบของธาตุหายาก (Rare earth) ดังนั้นจึงทำการทดลองเตรียมแก้วกรองแสงจากการเติมแก้วใสที่มีองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับแก้วที่ใช้ทำเลนส์ เติมด้วย โคบอลต์ออกไซด์ (CoO) ร้อยละ 0.02 0.04 และ 0.15 โดยน้ำหนัก ร่วมกับ พราซีโอดิเมียมออกไซด์ (Pr_2O_3) ร้อยละ 0.5 0.8 1.2 2.4 3.6 และ 4.8 โดยน้ำหนักต่อ 100 กรัมแก้ว เมื่อนำแก้วไปทดสอบค่าการส่องผ่านแสงด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer พบว่าสามารถดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเลต/ช่วงตามองเห็นและอินฟราเรด ได้ในตำแหน่งใกล้เคียงกับแก้วต้นแบบในช่วงความยาวคลื่น 250-2500 นาโนเมตร โดยแก้วที่มีโคบอลต์ออกไซด์ ร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก และ พราซีโอดิเมียมออกไซด์ ร้อยละ 4.8 โดยน้ำหนัก มีค่าการส่องผ่านแสงที่ความยาวคลื่น 594 นาโนเมตร ลดลงจากเดิมเหลือเพียงร้อยละ 10.7 และที่ความยาวคลื่น 1620 นาโนเมตร เหลือเพียงร้อยละ 59.3 ผลการทดลองนี้สามารถนำแก้วกรองแสงที่ได้มาพัฒนาเป็นอุปกรณ์กรองแสงสำหรับการขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟต่อไป

Abstract

Filter glass for eye protection from lamp working can be prepared by doping elements that absorb the visible and infrared light. In commercial filter glass studies, cobalt oxide and rare earth are usually doped in filter glass. In the study, the filter glass was made of clear glass with a composition as glass lens then doped with CoO 0.02 , 0.04, 0.15%wt and Pr_2O_3 0.5, 0.8, 1.2, 2.4, 3.6, 4.8 %wt per 100 grams glass respectively. The resulting glass was characterized by UV/Vis spectrophotometer. It showed that the glass could absorb UV/Vis and IR light in the range of 250-2500 nm similarly to the commercial one. Moreover, it was found that doping CoO 0.15 %wt and Pr_2O_3 4.8 %wt could reduce the transmittance to 10.7% at the wavelength of 594 nm and 59.3% at the wavelength of 1620 nm. These results presented that the studied filter glass could be developed as protection equipment for lamp working.

คำสำคัญ: แก้วกรองแสง, เลนส์, พราซีโอดิเมียม, การดูดกลืนแสง

Keywords: Filter glass, Lens, Praseodymium, Light absorption

¹ กลุ่มวัสดุอัจฉริยะและเทคโนโลยีเคลือบผิว, โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม, กรมวิทยาศาสตร์บริการ

* E-mail address: wanida.mr.tu@gmail.com usuma@dss.go.th kanit@dss.go.th

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

1. บทนำ (Introduction)

การขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟ คือการให้ความร้อนเนื้อแก้วจนเกิดการความอ่อนตัว ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างตามที่ต้องการด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น การเป่า การดัด เป็นต้น เมื่อแก้วได้รับความร้อนจะเกิดแสงสว่างมาก ต้องใช้แว่นตาที่ผลิตเฉพาะในการป้องกันแสง จากการพบเห็นและสอบถามผู้ประกอบการทางด้านแก้วในกลุ่มของ แก้วเป่า ลูกบิดแก้วและผลิตภัณฑ์แก้วอีก พบว่าหลายรายใช้แว่นตาที่ไม่เหมาะสม หรือใช้แว่นกันแดด ทำให้ไม่สามารถป้องกันรังสีจากเปลวไฟขณะทำงานได้ และมีเสียงสูงที่จะมีปัญหาด้านสายตามื่ออายุมากขึ้น จากการศึกษาข้อมูลพบว่า แว่นกันแดดสามารถดูดกลืนเฉพาะแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่ตามองเห็น ส่วนแว่นสำหรับงานเชื่อมมีสมบัติในการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต แสงที่ตามองเห็น และแสงอินฟราเรด [1] ประสิทธิภาพการปกป้องดวงตาของแว่นประเภทต่างๆ สรุปในตารางที่ 1 [2]

ตารางที่ 1 การปกป้องดวงตาของแว่นตาประเภทต่างๆ

สมบัติการป้องกันแสง	แว่นสำหรับการขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟ	แว่นสำหรับงานเชื่อม	แว่นกันแดด
แสงอัลตราไวโอเล็ต	✓	✓	✓
แสงที่ตามองเห็น	✓	✓	✓
แสงอินฟราเรด	✓	✓	-
แสงจากโซเดียม	✓	-	-

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า [3] การขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟและการหลอมแก้วทำให้เกิดแสงสว่างมากซึ่งประกอบไปด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตไปจนถึงแสงอินฟราเรด โดยพบแสงอัลตราไวโอเล็ตต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) จึงไม่เป็นอันตรายต่อดวงตา แต่แสงที่ตามองเห็นและแสงอินฟราเรดสูงกว่าค่ามาตรฐานก่อให้เกิดอันตรายต่อดวงตาหากได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน เช่น กระเจตตาอักเสบตาแห้งเรื้อรัง ต้อกระจก ต้อเนื้อ เป็นต้น เปลวไฟจากการทำลูกบิดแก้วมีความสว่างมากซึ่งประกอบไปด้วย แสงอัลตราไวโอเล็ต แสงที่ตามองเห็น และแสงอินฟราเรด มีเฉพาะแสงอัลตราไวโอเล็ตเท่านั้นที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ACGIH และยังมีแสงสีเหลืองส้มจากโซเดียมที่เป็นองค์ประกอบในแก้วที่เป็นอันตรายต่อดวงตาด้วย [4] และการปกป้องดวงตาที่ดีที่สุดคือ การสวมแว่นตาเฉพาะ หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันที่สามารถดูดกลืนแสงที่เป็นอันตรายต่อดวงตาในขณะทำงาน

จากการสำรวจกลุ่มผู้ประกอบการด้านแก้วที่ใช้ความร้อนในการขึ้นรูปทั่วประเทศมีกว่า 400 กิจการ พบว่าส่วนใหญ่มีการใช้แว่นกันแดดหรือแว่นสำหรับงานเชื่อมแทนแว่นสำหรับการขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟ จึงเป็นอันตรายและมีโอกาสเสี่ยงสูงในการได้รับอันตรายทางสายตาเนื่องจากแสงและรังสีเมื่อทำงานเป็นระยะเวลานาน แต่เนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันเหล่านี้มีราคาแพง คณะผู้วิจัยเห็นว่าการนำแก้วเลนส์มาพัฒนาให้มีคุณสมบัติการกรองแสง (filter glass) ในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการได้ จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ปกป้องสายตาราคาถูก ซึ่งให้คุณภาพการกรองแสงทัดเทียมกับเลนส์กรองแสงที่นำเข้าจากต่างประเทศได้

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาสูตรแก้วที่มีองค์ประกอบของธาตุที่สามารถดูดกลืนแสงที่เกิดขึ้นจากเปลวไฟและมีสมบัติในการป้องกันแสงที่เกิดจากโซเดียม แสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงอินฟราเรด ซึ่งสามารถเตรียมได้โดยการเติมธาตุที่มีคุณสมบัติดูดกลืนแสงในช่วงที่ต้องการลงไปในแก้วเลนส์ จากข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของเลนส์แก้วกรองแสงที่จำหน่ายในท้องตลาดพบว่า การเติม คอปเปอร์ (Cu) โคบอลต์ (Co) ร่วมกับ พาสซีโอไดเมียม (Pr) นีโอเบียม (Nb) หรือ ดิไธเมียม (Pr/Nb) [5-6] ลงในเนื้อแก้วเป็นการลดความเข้มแสงและกรองช่วงแสงที่เป็นอันตราย และสามารถนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์กรองแสงสำหรับการขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟได้

2. วิธีการวิจัยและผลการทดลอง (Experimental and Results)

2.1 การเตรียมแก้วใส

สูตรแก้วต้นแบบที่ใช้ในการวิจัย เป็นแก้วที่ใช้สำหรับทำเลนส์แว่นตา โดยนำแก้วต้นแบบมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยด้วยเครื่อง Wavelength-dispersive XRF spectrometer (S8 Tiger Bruker AXSX) ดังตารางที่ 2 และเมื่อทราบองค์ประกอบทางเคมีแล้วจึงนำสูตรแก้วดังกล่าวไปคำนวณเป็นปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมแก้ว แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 สูตรแก้วต้นแบบ

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนัก
SiO ₂	62.20
Na ₂ O	10.50
K ₂ O	9.06
CaO	0.07
MgO	2.60

ตารางที่ 2 ต่อ

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนัก
Al ₂ O ₃	2.76
TiO ₂	0.73
ZnO	11.54
Sb ₂ O ₃	0.47
SO ₃	0.07

สูตรแก้วใส

สูตรแก้วทดลองดังตารางที่ 3 วัตถุดิบหลักคือ ททราย (SiO_2) โซดาแอช (Na_2CO_3) หินปูน (CaCO_3) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) อะลูมินา (Al_2O_3) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) และพลวงออกไซด์ (Sb_2O_3) ทั้งหมดเป็นสารเคมีเกรดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (Lab grade) คำนวณสูตรแก้วเทียบเคียงกับแก้วต้นแบบ จากนั้นนำมาเตรียมเป็นแก้วใสโดยการหลอมในเตาไฟฟ้าด้วยเบ้าอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1500°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เทลงในแบบพิมพ์โลหะแล้วอบที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนทิ้งไว้เย็นตัวในเตาอบแก้ว หลังจากนั้นจึงนำไปหาค่าประกอบทางเคมี

ตารางที่ 3 สูตรวัตถุดิบแก้วใส

วัตถุดิบ	สูตร (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
ททราย (SiO_2)	54.28
โซดาแอช (Na_2CO_3)	15.63
โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3)	11.58
แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)	0.01
แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3)	4.78
อะลูมินา (Al_2O_3)	2.40
ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	10.09
ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2)	0.62
พลวงออกไซด์ (Sb_2O_3)	0.51

องค์ประกอบทางเคมีของแก้วใสแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าแก้วที่เตรียมได้จากการทดลองมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับแก้วอ้างอิงที่เป็นแก้วสำหรับ

ทำเลนส์ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำสูตรแก้วดังกล่าวไปใช้เป็นแก้วพื้นฐาน เพื่อเตรียมแก้วกรองแสง

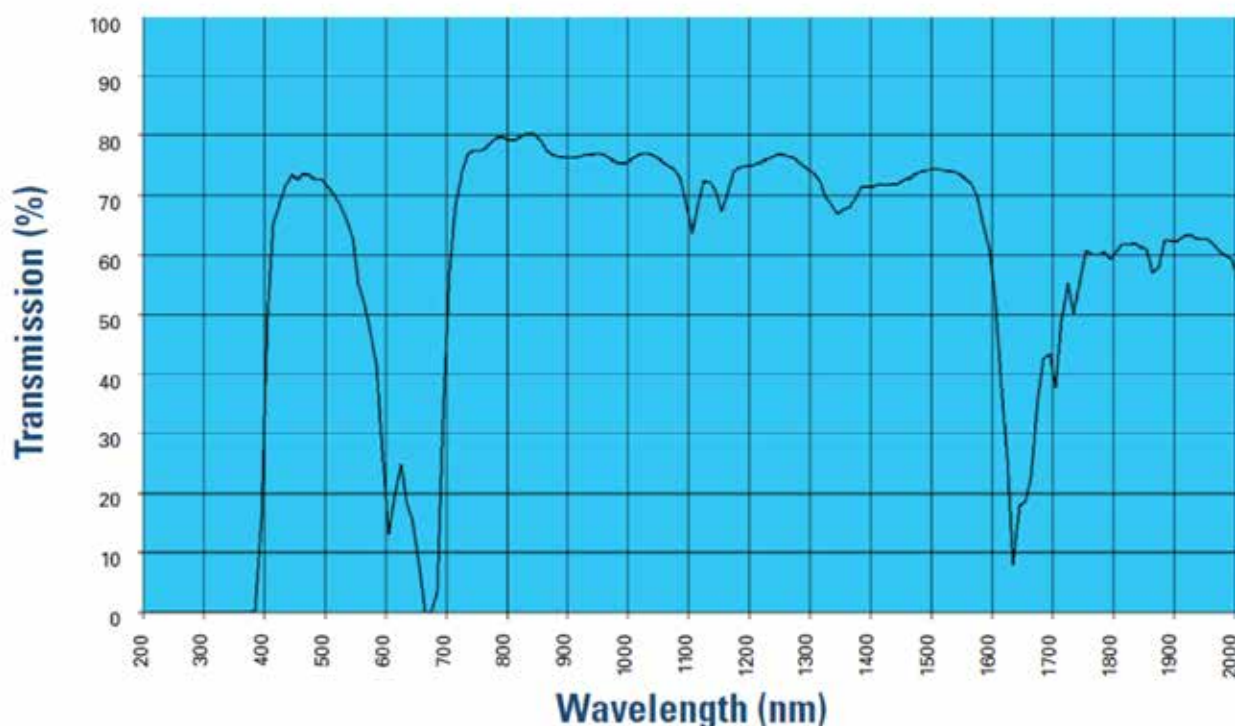
ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของแก้วใสที่เตรียมได้

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	แก้ว
SiO_2	63.10
Na_2O	10.70
K_2O	8.70
CaO	0.20
MgO	1.75
Al_2O_3	2.84
TiO_2	0.80
Fe_2O_3	0.03
ZnO	10.33
Sb_2O_3	0.50
SO_3	0.05

2.2 การเตรียมแก้วกรองแสง

2.2.1 ศึกษาผลกระทบของตัวเติมที่มีผลต่อค่าการส่องผ่านแสง

จากข้อมูลแก้วกรองแสงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดพบว่า แก้วกรองแสงที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟแสดงในรูปที่ 1 ที่แสดงเป็นค่าการส่องผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-2000 nm [7]



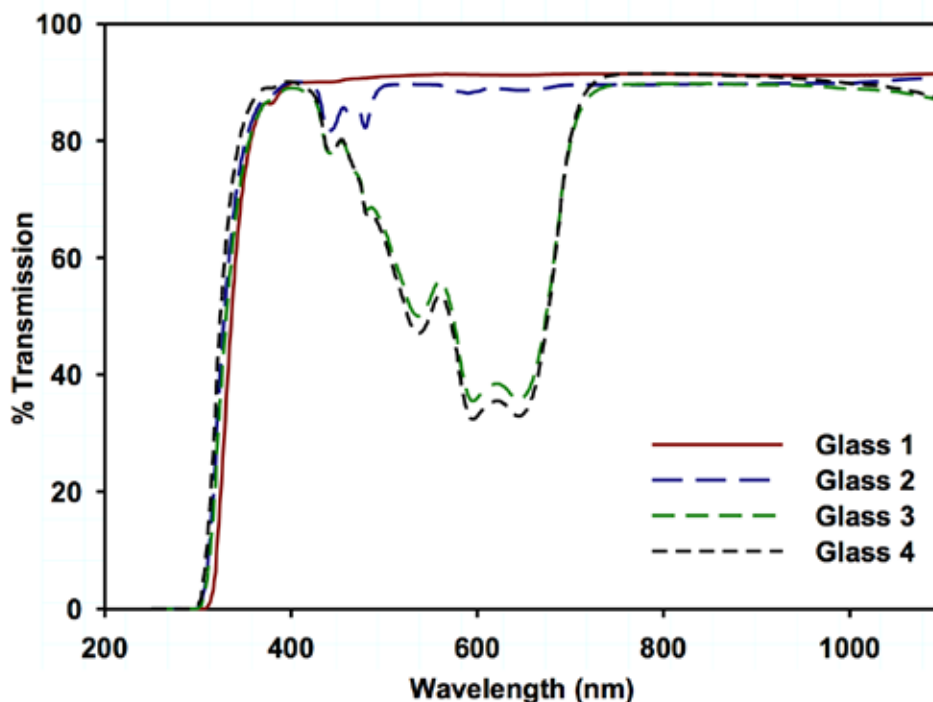
รูปที่ 1 กราฟการส่องผ่านแสงของแก้วกรองแสงอ้างอิงที่ใช้ในการขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟ

จากข้อมูลอ้างอิงพบว่าสารเติมที่ทำให้แก้วสามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงดังกล่าวคือ คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) โคบอลต์ออกไซด์ (CoO) และ พาสซีโอไดเมียมออกไซด์ (Pr₂O₃) ทำการทดลองเตรียมแก้วกรองแสงเบื้องต้นตามสูตรในตารางที่ 5 โดยการนำแก้วใสมาหลอมซ้ำร่วมกับสารเติมเพื่อให้ได้แก้วที่มีความใสปราศจากฟองโดยการหลอมที่อุณหภูมิ 1500°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงก่อนนำมาอบที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนทิ้งไว้เย็นตัวในเตาอบแก้ว หลังจากนั้นจึงนำมาขัดเพื่อทำการทดสอบค่าการส่องผ่านแสงด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer (Analytikjena Specord 250)

ตารางที่ 5 สูตรแก้วกรองแสงเบื้องต้น

วัตถุดิบ	Glass 1 (น้ำหนัก/g)	Glass 2 (น้ำหนัก/g)	Glass 3 (น้ำหนัก/g)	Glass 4 (น้ำหนัก/g)
แก้วใส	100	100	100	100
CuO	-	0.1	-	-
CoO	-	-	0.02	0.04
Pr ₂ O ₃	-	0.5	0.5	0.8

ผลกระทบของตัวเติมที่มีผลต่อการส่องผ่านแสง สูตรแก้วจากตารางที่ 5 แสดงในรูปที่ 2 โดย Glass 1 คือแก้วใส Glass 2 เป็นแก้วที่เติม คอปเปอร์ออกไซด์ และพาสซีโอไดเมียมออกไซด์ ส่วน Glass 3 และ Glass 4 เป็นแก้วที่เติม โคบอลต์ออกไซด์ และพาสซีโอไดเมียมออกไซด์ จะเห็นได้ว่าแก้วที่เติมด้วย คอปเปอร์ออกไซด์และพาสซีโอไดเมียมออกไซด์ มีค่าการดูดกลืนแสงต่ำเมื่อเทียบกับ แก้วที่เติมโคบอลต์ออกไซด์ และพาสซีโอไดเมียมออกไซด์ ที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วง 600 nm เช่นเดียวกับแก้วกรองแสงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้น โคบอลต์ออกไซด์ และพาสซีโอไดเมียมออกไซด์ จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้เตรียมแก้วกรองแสง



รูปที่ 2 กราฟการส่องผ่านแสงของ Glass 1-4 ที่ความยาวคลื่น 250 – 1100 nm

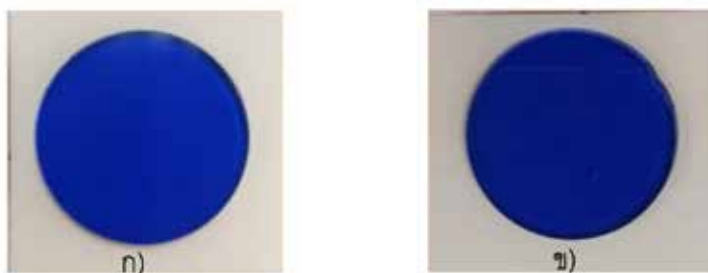
2.2.2 ทดลองเตรียมแก้วกรองแสง

เมื่อทราบผลกระทบของสารเติมที่มีผลต่อการส่องผ่านแสงแล้วจึงทำการเตรียมสูตรแก้วกรองแสงโดยใช้ โคบอลต์ออกไซด์ และพาสซีโอไดเมียมออกไซด์ โดยทำการปรับปริมาณพาสซีโอไดเมียมออกไซด์ให้สูงขึ้นเนื่องจากเป็นสารที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ต้องการดังตารางที่ 6 โดยทำการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับ 2.2.1 และเพื่อให้การทดลองสามารถเปรียบเทียบกับแก้วกรองแสงที่ใช้เป็นตัวอ้างอิงจึงนำแก้วมาทดสอบค่าการส่องผ่านแสงด้วยเครื่อง UV/Vis/NIR spectrophotometer (PerkinElmer Lambda 950)

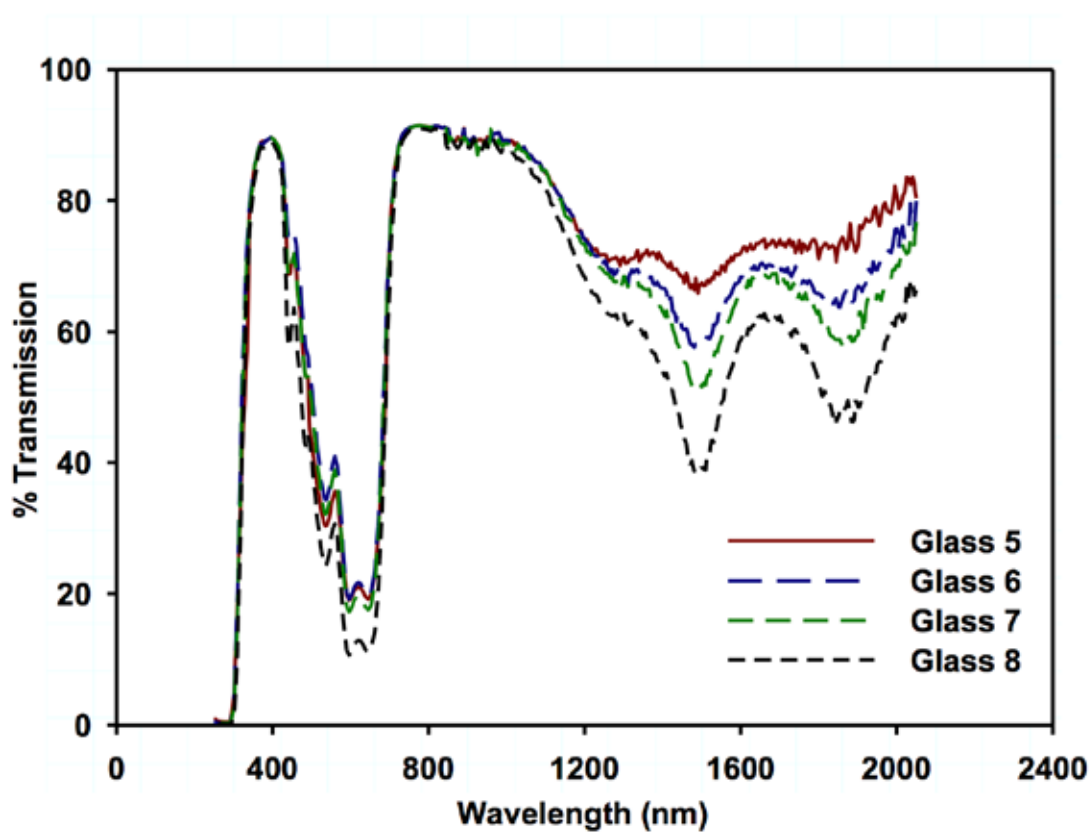
ตารางที่ 6 สูตรแก้วกรองแสง

วัตถุดิบ	Glass 5 (น้ำหนัก/g)	Glass 6 (น้ำหนัก/g)	Glass 7 (น้ำหนัก/g)	Glass 8 (น้ำหนัก/g)
แก้วใส	100	100	100	100
CoO	0.15	0.15	0.15	0.15
Pr ₂ O ₃	1.20	2.40	3.60	4.80

ผลการทดสอบค่าการส่องผ่านแสงของแก้ว เมื่อทำการทดลองเตรียมแก้วกรองแสง ลักษณะของแก้วกรองแสงตัวอย่างที่เตรียมได้ดังรูปที่ 3 และค่าการดูดกลืนแสงของแก้วจากสูตรแก้วในตารางที่ 6 แสดงในรูปที่ 4



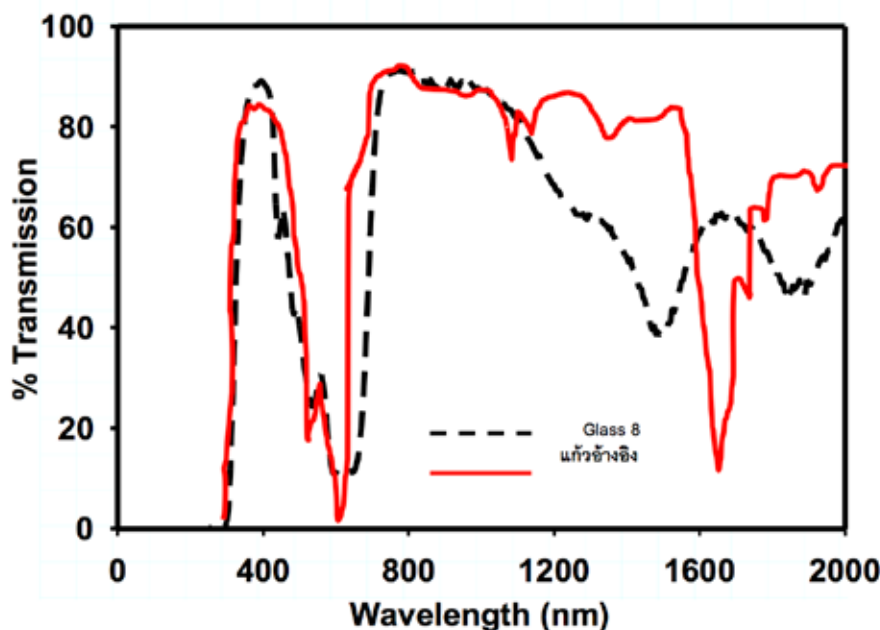
รูปที่ 3 แก้วกรองแสงที่ได้จากการทดลอง ก) Glass 6 ข) Glass 8



รูปที่ 4 กราฟการส่องผ่านแสงของ Glass 5-8 ที่ความยาวคลื่น 250 – 2000 nm

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณของพลาซีโอดีเมียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการได้มากขึ้น โดยกรองแสงจากโซเดียมที่ความยาวคลื่น 589 nm และแสงอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 1500-1600 nm

3. วิจารณ์ผล (Discussion)



รูปที่ 5 กราฟการส่องผ่านแสงของ Glass 8 เปรียบเทียบกับแก้วอ้างอิง

เมื่อเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่าง Glass 8 และ แก้วกรองแสงอ้างอิง ดังรูปที่ 5 ตำแหน่งในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 500-600 nm ใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงความยาวคลื่น 1500-1600 nm มีความแตกต่างกันเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากแก้วกรองแสงอ้างอิงมีการเติมสารตัวอื่นเพิ่มเติม ซึ่งอาจส่งผลให้การดูดกลืนแสงแตกต่างจากแก้วที่ได้จากการทดลอง

4. สรุป (Conclusion)

แก้วกรองแสงสำหรับป้องกันสายตาจากการขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟ สามารถเตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ โดยการเติมโคบอลต์ออกไซด์ และ พาสซีโอไดเมียมออกไซด์ ลงในแก้วใสซึ่งแก้วกรองแสงที่เตรียมได้มีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้เคียงกับแก้วกรองแสงอ้างอิงที่จำหน่ายในท้องตลาด และสูตรแก้วกรองแสงที่มีคุณสมบัติที่สุด มีปริมาณโคบอลต์ออกไซด์ ร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก และ พาสซีโอไดเมียมออกไซด์ ร้อยละ 4.8 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้ค่าการส่องผ่านแสงที่ความยาวคลื่น 594 นาโนเมตร ลดลงจากเดิมเหลือเพียงร้อยละ 10.7 และที่ความยาวคลื่น 1620 นาโนเมตร เหลือเพียงร้อยละ 59.3 ผลการทดลองนี้สามารถนำแก้วกรองแสงที่ได้มาพัฒนาเป็นอุปกรณ์กรองแสงสำหรับการขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

รายงานฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการสนับสนุน ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ เป็นส่วนหนึ่งในกิจกรรมการพัฒนาแก้วกรองแสงสำหรับผลิตแว่นตาสำหรับการขึ้นรูปแก้วด้วยเปลวไฟราคาประหยัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] *Light Hazard* [online]. [viewed 15 February 2017]. Available from: http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSuH8gc7nZxtU5x_SmxtBevUqe17zHvTSevTSeSSSSSS--&fn=Light%20Hazards%20Tech%20Bulletin%20GB.p
- [2] *Eyewear* [online]. [viewed 15 February 2017]. Available from: <https://www.arrowsprings.com/html/eyewear.html>
- [3] ORIOWO, O. M., B. R. CHOU and A. P. CULLEN. Eye exposure to optical radiation in the glassblowing industry: An investigation in Southern Ontario. *Canadian Journal of Public Health*. 2000, 91(6), 471 – 474.
- [4] MOSS, C. E. and N. C. BURTON. Health Hazard Evaluation Exposures During Glass Beadmaking. *Health Hazard Evaluation Report No. 98-0139-2769*. New York : The Society of Glass Beadmakers, 1999.
- [5] Hayakawa, J. *Optical properties of glass, Glass technology*. Osaka international training center. Japan international cooperation agency.
- [6] DOREMUS, R. H. *Glass science*. 2nd ed., New York : Wiley, 1994, 339 p.
- [7] *Uvex Lens Technology* [online]. [viewed 15 February 2017]. Available from: <https://www.scribd.com/document/295509204/Uvex-Lens-Technology-Brochure>

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารละลายเจือจางต่อการนับจำนวนเชื้อรา ที่ปนเปื้อนในเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ

Comparison of the efficiency of diluents on the enumeration of molds contaminated in spices and spice products

5

สุพรรณณี เทพอรุณรัตน์^{1*}, สุลาวดี เขียวชม^{2*}
Supanee Theparoonrat^{1*}, Sulawadee Keawchom^{2*}

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนเชื้อราในเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศเป็นปัญหาสำคัญของการพัฒนาคุณภาพอาหารไทย เครื่องเทศมีสมบัติยับยั้งการเจริญของเชื้อราทำให้การทดสอบเชื้อราได้ผลที่ไม่ถูกต้อง จึงได้พัฒนาวิธีทดสอบหาปริมาณเชื้อราในตัวอย่างเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ โดยการเปรียบเทียบสูตรสารละลายเจือจางสำหรับเชื้อราที่สามารถทำให้สมบัติยับยั้งการเจริญของเชื้อราของเครื่องเทศเป็นกลางได้ จำนวน 5 สูตร [F1 (Bacteriological peptone 1 g/L, Tween 80 30 mL/L, L-∞-Phosphatidylcholine : Lecithin 0.7 g/L), F2 (Bacteriological peptone 1 g/L, Tween 80 5 mL/L, L-∞-Phosphatidylcholine: Lecithin 7 g/L, Sodium thiosulfate 6 g/L, Sodium bisulfate 2.5 g/L), F3 (Fluid casein digest soya lecithin medium เติม polysorbate 20 40 mL/L), F4 (L-Histidine 1 g/L, Tween 80 30 mL/L, L-∞-Phosphatidylcholine 3 g/L) and F5 (D/E Neutralizing broth (Himedia))] ที่มีต่อการเจริญของโคลินีเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อ dichloran rose-bengal chloramphenicol agar (DRBC) โดยใช้ตัวอย่างเครื่องเทศ 12 ตัวอย่าง คือ พริกแห้ง (2 ตัวอย่าง) พริกไทย (2 ตัวอย่าง) กานพลู (2 ตัวอย่าง) ขมิ้นชัน (1 ตัวอย่าง) โป๊ยกั๊ก (2 ตัวอย่าง) ลูกผักชี (1 ตัวอย่าง) และอบเชย (2 ตัวอย่าง) และผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ 5 ตัวอย่าง คือ พริกแกงเขียวหวาน พริกแกงมัสมั่น พริกแกงเผ็ด พริกแกงเหลือง และพริกแกงกะหรี่ รวม 17 ตัวอย่าง พบว่าสารละลายเจือจางสูตร F4 หรือ F5 สามารถลดผลกระทบจากสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อราในเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศได้ดีที่สุด โดยให้ค่าเฉลี่ยจำนวนโคลินีเชื้อราสูงกว่าสารละลายเจือจาง 0.1% peptone (ตัวควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการใช้สารละลายเจือจางสูตร F4 หรือ F5 ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อ DRBC agar เป็นวิธีทดสอบที่เหมาะสมในการตรวจนับเชื้อราในเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ

Abstract

Fungal contamination of spices and spice products was critical problem for quality assurance of Thai food. Antifungal activity of spices caused underestimation on mold contamination. This study was aimed to improve the efficiency of enumeration of mold in spices and spice products. A total of 17 samples including 12 spices: dried chilli (2), pepper (2), clove (2), turmeric (1), Chinese star (2), coriander seeds (1), and cinnamon (2), and 5 spice products (green curry paste, mussaman curry paste, red curry paste, southern yellow curry paste, and Indian-style curry paste) were subsequently examined on five diluents containing neutralizing agent : F1 (Bacteriological peptone 1 g/L, Tween 80 30 mL/L, L-∞-Phosphatidylcholine : Lecithin 0.7 g/L), F2 (Bacteriological peptone 1 g/L, Tween 80 5 mL/L, L-∞-Phosphatidylcholine: Lecithin 7 g/L, Sodium thiosulfate 6 g/L, Sodium bisulfate 2.5 g/L), F3 (Fluid casein digest soya lecithin medium with polysorbate 20 40 mL/L), F4 (L-Histidine 1 g/L, Tween 80 30 mL/L, L-∞-Phosphatidylcholine 3 g/L) and F5 (D/E Neutralizing broth (Himedia)) The sample were cultured on plating culture media dichloran rose-bengal chloramphenicol agar (DRBC). The most effective diluents which inhibited antifungal properties of spices were F4 or F5, demonstrated by the average number of mold colonies of these formulas gave significantly higher than 0.1% peptone (control). In conclusion, the usage of F4 or F5 formulas as diluent incorporated with DRBC agar is an effective method for enumeration of mold in spices and spice products.

คำสำคัญ: เครื่องเทศ เชื้อรา สารละลายเจือจาง สารทำให้เป็นกลาง สมบัติด้านการเจริญของเชื้อรา

Keywords: Spice, Spice products, Mold, Diluents, Neutralizing agent, Antifungal activity

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

² การประปานครหลวง

* E-mail address: sk.chom27@gmail.com

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

1. บทนำ (Introduction)

อาหารไทยมีส่วนผสมที่หลากหลาย ทั้งเครื่องสมุนไพรนานาชนิด เครื่องเทศ รวมถึงเครื่องปรุงรสต่างๆ มีการผลิตปริมาณมาก ทั้งระดับสินค้าชุมชน (OTOP) หรือระดับอุตสาหกรรม แต่ก็มีปัญหาเรื่องการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะกลุ่มเชื้อรา โดยมักพบการปนเปื้อนในวัตถุดิบจำพวกเครื่องเทศ อย่างไรก็ตามเครื่องเทศหลายชนิดในเครื่องแกงและอาหารไทยสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ [1, 2] แต่เชื้อรามีความทนทานสูง และมีสปอร์ ทำให้เชื้อเหล่านี้มีโอกาสรอดสูงกว่าแบคทีเรีย ซึ่งในเวลาต่อมาหากสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไปในทางที่เอื้อต่อการเจริญของเชื้อรา หรือเครื่องเทศเก่าเก็บทำให้ความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง เชื้อราที่เหี่ยวหรือในอาหารก็จะเจริญ ทำให้อาหารเน่าเสีย และ/หรือสร้างสารพิษที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ [3, 4, 5] ดังนั้นการตรวจสอบการปนเปื้อนของเชื้อราในเครื่องเทศจึงมีความสำคัญมาก

ในปัจจุบันวิธีการทดสอบเชื้อราที่นิยมใช้กันทั่วไปอาจไม่เหมาะสม เพราะการทดสอบจะเป็นการเพาะเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง สารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ละลายออกจากเครื่องเทศและสมุนไพรในอาหารอาจไปละลายในอาหารเลี้ยงเชื้อในระดับความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ ทำให้การตรวจสอบหาปริมาณเชื้อราดังกล่าวได้น้อยกว่าความเป็นจริงหรืออาจตรวจไม่พบ ทั้งที่เชื้อราอาจยังมีเหลือรอดอยู่ แต่ไม่มีการเจริญให้เห็นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำให้การแปลผลการทดสอบผิดพลาด จากผลการทดสอบที่ได้ผู้ผลิตอาจประเมินว่ามีเชื้อราปริมาณน้อยหรือไม่มีในวัตถุดิบ จึงใช้กระบวนการแปรรูปอาหารที่ต่ำเกินไป (under-processing) ทำให้เชื้อยังมีเหลือรอดในผลิตภัณฑ์สุดท้าย และอาจเจริญทำให้อาหารเน่าเสีย หรือสร้างสารพิษในเวลาต่อมาเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อที่รอดชีวิต มาตรฐาน USP<61> Microbiological Examination of Nonsterile Products: Microbial Enumeration Tests [6] แนะนำให้มีการทำให้สมบัติด้านเชื้อจุลินทรีย์หมดไปก่อนนำไปทดสอบหาเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถกระทำได้โดย การเพิ่มปริมาณสารละลายเจือจางหรืออาหารเลี้ยงเชื้อ การเติมสาร neutralizing agents ในอาหารเลี้ยงเชื้อหรือสารละลายเจือจาง การกรอง และการใช้หลายวิธีข้างต้นร่วมกัน นอกจากนี้สารยับยั้งจุลินทรีย์ในเครื่องเทศบางชนิดยังเป็นสารกลุ่มที่ใช้ในเครื่องสำอาง หรือผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เช่น กลุ่ม phenolic compounds, aldehydes, alcohol, hydrocarbon, monoterpene เป็นต้น ซึ่งการทดสอบทางจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีการเติมสาร neutralizing agent เพื่อยับยั้งสมบัติการต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial activity) เช่นเดียวกัน

กรมวิทยาศาสตร์บริการโดยกลุ่มคุณภาพทางจุลชีววิทยาในอาหาร กองผลิตภัณฑ์อาหารและวัสดุสัมผัสอาหารจึงได้ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการทดสอบเชื้อราในเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์ เพื่อนำไปปรับปรุงวิธีทดสอบให้มีความแม่นยำถูกต้องเพิ่มขึ้น สามารถลดผลกระทบจากสมบัติการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (antimicrobial activity) ของเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ ช่วยในการพัฒนาสินค้าชุมชน (OTOP) กลุ่มเครื่องแกงและน้ำพริกสำเร็จรูป รวมถึงสินค้าอื่นๆที่มีการนำพืชสมุนไพรมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ผลการตรวจสอบคุณภาพสินค้าที่ได้ยังสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลเกี่ยวกับจุลชีววิทยาของอาหารในประเทศไทยที่จะนำไปใช้ในการกำหนดมาตรฐานด้านความปลอดภัยของอาหารเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้บริโภค นอกจากนี้ข้อมูลจากผลการวิจัยใช้ประกอบการพิจารณาปรับปรุงและให้ข้อคิดเห็นร่างมาตรฐานของประเทศและระหว่างประเทศ

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ตัวอย่าง

2.1.1 เครื่องเทศชนิดเดียวทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ พริกแห้ง (2 ตัวอย่าง) พริกไทย (2 ตัวอย่าง) กานพลู (2 ตัวอย่าง) ขมิ้นชัน (1 ตัวอย่าง) โป๊ยกั๊ก (2 ตัวอย่าง) ลูกผักชี (1 ตัวอย่าง) อบเชย (2 ตัวอย่าง) รวม 12 ตัวอย่าง จากตลาดในเขตกรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรสาคร และจังหวัดนครปฐม

2.1.2 ผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ 5 ตัวอย่าง ได้แก่ พริกแกงเขียวหวาน พริกแกงมัสมั่น พริกแกงเผ็ด พริกแกงเหลือง จากตลาดยิ่งเจริญ กรุงเทพมหานคร และพริกแกงกระหรี่ ตลาดบางเขน กรุงเทพมหานคร

2.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ สารเคมี สารละลาย และวิธีเตรียม

2.2.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ Dichloran Rose-Bengal Chloramphenicol Agar (Oxoid)

2.2.2 สารละลายเจือจาง 0.1% Peptone (Oxoid)

ละลาย Peptone Bacteriological 1 กรัม ในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดขนาด 1000 มิลลิลิตร ปริมาตร 470 มิลลิลิตร และขวดขนาด 150 มิลลิลิตร ปริมาตร 95 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที ค่า pH 7.1 ± 0.2

2.2.3 สารละลายเจือจาง สูตร 1 (F1)

ละลาย Bacteriological peptone (Oxoid) 1 กรัม Tween 80 for synthesis (Merck) 30 มิลลิลิตร และ L- α -Phosphatidylcholine (Sigma): Lecithin 0.7 กรัม ในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที ค่า pH 7.2 ± 0.2

2.2.4 สารละลายเจือจาง สูตร 2 (F2)

ละลาย Bacteriological peptone (Oxoid) 1 กรัม Tween 80 for synthesis (Merck) 5 มิลลิลิตร L- α -Phosphatidylcholine (Sigma): Lecithin 7 กรัม Sodium thiosulfate 6 กรัม Sodium bisulfate 2.5 กรัมในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที ค่า pH 7.6 ± 0.2

2.2.5 สารละลายเจือจาง สูตร 3 (Fluid Casein Digest Soya Lecithin Medium, Himedia) (F3)

ละลาย Fluid Casein Digest Soya Lecithin Medium 25.0 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาตร 960 มิลลิลิตร เติม Polysorbate 20 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที ค่า pH 7.3 ± 0.2

2.2.6 สารละลายเจือจาง สูตร 4 (F4)

ละลาย L-Histidine (Sigma) 1 กรัม Tween 80 for synthesis (Merck) 30 มิลลิลิตร L- α -Phosphatidylcholine (Sigma) 3 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาตร 970 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที ค่า pH 7.2 ± 0.2

2.2.7 สารละลายเจือจาง สูตร 5 (Dey-Engley Neutralizing broth, Himedia) (F5)

ละลาย D/E Neutralizing broth (Himedia) 39.02 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที ค่า pH 7.6 ± 0.2

2.3 การศึกษาสารละลายเชื้อราที่มีสมบัติยับยั้งความสามารถในการต้านการเจริญของเชื้อราของเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ

2.3.1 การเตรียมตัวอย่างเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ

ทำตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผสม (blender) ซั่งตัวอย่าง 50.0 ± 0.1 กรัม ใส่ในขวดที่บรรจุ 0.1% peptone water (ตัวควบคุม) ปริมาตร 450 มิลลิลิตร และขวดที่บรรจุสารละลายเชื้อราที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 5 สูตร คือ F1 F2 F3 F4 และ F5 ปริมาตร 450 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างให้กระจายทั่ว สารละลายตัวอย่างที่ได้ถือว่ามีความเจือจาง 10-1 (ตัวอย่างถูกเจือจาง 10 เท่า) เตรียมสารละลายตัวอย่างให้มีความเจือจางที่เหมาะสม โดยปิเปตตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10-1 จำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดที่มีสารละลายเชื้อราชนิดต่างๆ ปริมาตร 90 มิลลิลิตร จะได้ระดับความเจือจาง 10-2 เขย่าให้ตัวอย่างกระจายทั่วกันทั้งขวด สารละลายตัวอย่างที่ระดับความเจือจางอื่นๆ ทำเช่นเดียวกัน

2.3.2 การศึกษาผลกระทบของสารละลายที่มีสาร neutralizing agents ชนิดต่างๆต่อการยับยั้งความสามารถในการต้านการเจริญของเชื้อราในเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ

ตัวอย่างสารละลายเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศที่ระดับความเจือจางต่างๆ (ข้อ 2.3.1) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาให้เพาะเชื้อโดยวิธี spread plate ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ Dichloran Rose-Bengal Chloramphenicol Agar (DRBC agar) จำนวน 3 เพลท เพลทละ 0.3 0.3 และ 0.4 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นเกลี่ยให้สารละลายตัวอย่างกระจายทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้แท่งแก้ววอร์ม ทั้งไว้จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างซึมผ่านอาหารเลี้ยงเชื้อ (ประมาณ 10 นาที) ในแต่ละระดับความเจือจางทำ 3 ซ้ำ นำเพลทที่ได้วางซ้อนกันไม่เกิน 3 เพลท ไปบ่มที่อุณหภูมิ 25°C โดยไม่ต้องกลับเพลทนาน 5 วัน ถ้าไม่มีโคโลนีขึ้นบนเพลทให้นำไปบ่มต่ออีก 48 ± 2 ชั่วโมง จึงนำมานับจำนวน และคำนวณปริมาณเชื้อราที่พบในตัวอย่าง

2.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทดสอบเชื้อราของ neutralizing agents ในเชิงสถิติ

นำค่าจำนวนโคโลนีของเชื้อราที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ DRBC agar ร่วมกับสารละลายเชื้อราทั้ง 5 สูตร มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทดสอบเชื้อรากับสารละลายเชื้อราที่เป็นตัวควบคุม โดยกำหนดให้ผลการทดสอบจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อจำนวนโคโลนีเชื้อราที่มีปริมาณต่างกันมากกว่าหรือเท่ากับ $0.5 \log \text{CFU/g}$

3 ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การศึกษาสารละลายเชื้อราที่มีสมบัติ neutralizing agents ในการยับยั้งความสามารถในการต้านการเจริญของเชื้อราของเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศผลการศึกษาการใช้สารละลายเชื้อราที่เติมสาร neutralizing agents ที่แตกต่างกัน ทั้งหมด 6 สูตร คือ 0.1% peptone water (ตัวควบคุม) F1 F2 F3 F4 และ F5 เพื่อยับยั้งสมบัตินี้ในการเจริญของเชื้อรา (antifungal activity) ของเครื่องเทศ 7 ชนิด ได้แก่ อบเชย โป๊ยกั๊ก กานพลู ลูกผักชี ขมิ้นชัน พริก และพริกไทย ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าเครื่องเทศในกลุ่ม อบเชย กานพลู ขมิ้นชัน และพริกแห้ง สารละลายเชื้อราสูตร F4 และ F5 สามารถยับยั้งสมบัตินี้ antifungal activity ของเครื่องเทศได้ เนื่องจากพบจำนวนโคโลนีเชื้อราสูงกว่าสารละลายเชื้อรามาตรฐาน 0.1% peptone บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเดียวกัน โดยจะเห็นผลชัดเจนในตัวอย่างอบเชยทั้ง 2 แหล่ง (จังหวัดสมุทรสาครและนครปฐม) และพริกแห้งเม็ดเล็ก ตลาดอมรพันธ์ กรุงเทพมหานคร ที่ให้ค่าจำนวนโคโลนีเชื้อราที่นับได้แตกต่างจากสารละลายเชื้อรา 0.1% peptone มากกว่า $0.5 \log \text{CFU/g}$ ซึ่งถือว่าแตกต่างกันทางสถิติ

เครื่องเทศในกลุ่ม โป๊ยกั๊ก ลูกผักชี พริกไทย พบว่าสารละลายเชื้อราสูตร F3 F4 และ F5 ในการยับยั้งสมบัตินี้ antifungal activity ของพริกไทยได้ดีกว่าสูตรอื่น ในเครื่องเทศโป๊ยกั๊กพบว่าสารละลายเชื้อราสูตร F1 F4 และ F5 ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีเชื้อราที่นับได้แตกต่างจากสารละลายเชื้อรา 0.1% peptone ถึง $0.5 \log \text{CFU/g}$ ซึ่งถือว่าแตกต่างกันทางสถิติ ในลูกผักชีสารละลายเชื้อราสูตร F2 F3 และ F5 ยับยั้งสมบัตินี้ antifungal activity ของเครื่องเทศได้ดีกว่าสูตรอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลายเชื้อราสูตร F1 ให้ผลในการยับยั้งสมบัตินี้ antifungal activity ของเครื่องเทศได้เช่นกันในตัวอย่างกานพลูจากจังหวัดนครปฐม โป๊ยกั๊กจากจังหวัดสมุทรสาคร และพริกแห้งเม็ดใหญ่ แสดงว่าสามารถยับยั้งสมบัตินี้ antifungal activity ของเครื่องเทศได้เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายเชื้อรามาตรฐาน (0.1% peptone) แม้ว่าจะมีปริมาณสาร lecithin ต่ำกว่าสูตรอื่น ซึ่งมีปริมาณเพียง 0.7 กรัมต่อลิตร อาจเป็นเพราะมีปริมาณสาร polysorbate 80 ในสูตรสูงถึง 30 มิลลิลิตร จึงทำหน้าที่ทดแทนสาร lecithin ในการยับยั้งสมบัตินี้ antifungal activity ได้ จากผลการทดลองข้างต้นในตัวอย่างเครื่องเทศแต่ละชนิดจำนวนทั้งหมด 12 ตัวอย่าง พบว่าสารละลายเชื้อราสูตร F4 และ F5 นั้น สามารถใช้เป็นสาร neutralizer ในการทดสอบเชื้อราในเครื่องเทศได้เกือบทุกชนิดที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวอย่างเครื่องเทศที่มีส่วนประกอบหลักเป็นเครื่องเทศหลายชนิดและมีสาร antifungal activity หลายกลุ่มออกฤทธิ์ร่วมกัน จากการทดลองใช้ตัวอย่างเครื่องเทศทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ได้แก่ พริกแกงเขียวหวาน พริกแกงมัสมั่น พริกแกงเผ็ด พริกแกงเหลือง และพริกแกงกระหรี่ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าในพริกแกงมัสมั่น พริกแกงเผ็ด พริกแกงเหลือง และพริกแกงกระหรี่ สามารถใช้สารละลายเชื้อราสูตร F4 และ F5 ส่วนพริกแกงเขียวหวาน ใช้สารละลายเชื้อราสูตร F1 F2 และ F5 เป็นสารยับยั้งสมบัตินี้ antifungal activity ของเครื่องเทศได้ เนื่องจากสามารถนับจำนวนโคโลนีเชื้อราได้สูงกว่าสารละลายเชื้อรา 0.1 % peptone บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเดียวกัน

เครื่องเทศที่นำมาทดสอบมีส่วนประกอบของสาร antifungal activity ที่แตกต่างกัน ซึ่งระดับความรุนแรงของการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก็แตกต่างกันตามชนิดของสารที่เป็นส่วนประกอบ เครื่องเทศในกลุ่ม อบเชย กานพลู ขมิ้นชัน และพริกแห้ง มีสาร antifungal activity กลุ่มหลัก คือ phenolic compounds และ aldehydes เครื่องเทศในกลุ่ม โป๊ยกั๊ก ลูกผักชี พริกไทย ประกอบด้วยสาร antifungal activity ในกลุ่ม hydrocarbon และ terpenes ออกฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ต่ำกว่าสารในกลุ่ม phenolic compounds ซึ่งจากผลการทดลองสารละลายเชื้อราสูตร F4 และ F5 สามารถยับยั้งสมบัตินี้ antifungal activity ของเครื่องเทศได้ดี เป็นผลมาจากสาร neutralizer ทั้ง 2 สูตรที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย lecithin polysorbate 80 และ L-histidine มีสมบัตินี้ยับยั้งความเป็น antimicrobial activity หรือ antifungal activity ของสารในกลุ่ม phenolic compounds และ aldehydes ส่วนผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ สาร antifungal ส่วนใหญ่มาจากน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ในเครื่องเทศ เช่น พริกแห้งมีสาร capsaicin ข่ามีสาร D, L-10-acetoxycinnamic acid และ eugenol [7] ตะไคร้มีสาร monoterpenes compounds และ citral [8] กระเทียมมีสาร alliin ลูกผักชีมีสารกลุ่ม camphor cyclohexanol acetate (cis-2-tert.butyl-) limonene alpha-pinene [9] ยี่ห่วยมีสาร eugenol [10] พริกไทยมีสาร piperine [11] กานพลูมีสาร eugenol [12] อบเชยมีสาร cinnamic aldehyde และ eugenol ขมิ้นมีสาร curcuminoids [13] หัวหอมแดงมีสารหลักในกลุ่ม diallyl sulfide [14] และใบกระวานมีสาร cineole [15] ซึ่ง

สารเหล่านี้เป็นสารในกลุ่ม phenolic compounds aldehyde oxide และ hydrocarbon เป็นหลัก และสามารถลดสมบัติความเป็น antifungal activity ได้โดยการเติมสาร lecithin polysorbate 80 polysorbate 20 histidine และ sodium thiosulfate ในสารละลายเจือจางทั้ง 5 สูตร นอกจากนี้เครื่องเทศชนิดต่าง ๆ ที่เป็นส่วนผสมในเครื่องแกง ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ โดยเฉพาะเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* spp. ที่สร้างสาร aflatoxin (*A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *A. ochraceus*, *A. parasiticus*), *Alternaria alternata*, *Penicillium* (*P. chrysogenum*, *P. verrucosum*, *P. expansum*), *Fusarium* (*F. verticillioides*, *F. proliferatum*, *F. oxysporum*, *F. graminearum*, *F. culmorum* เป็นต้น) และเชื้อราที่ก่อโรคในพืช *Botrytis cinerea*, *Cladosporium cladosporioides*, *Sclerotinia sclerotiorum* เป็นต้น [16]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยหรือวิธีมาตรฐานที่ใช้สารในกลุ่ม tween 80, sodium thiosulfate, lecithin, L-histidine หรือสารละลายเจือจางสูตร F5 (D/E Neutralizing Broth: Dey-Engley Neutralizing Broth) เป็นสาร neutralizing agents ในการทดสอบหาจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์ที่มีสารยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด หรือ non-sterile products โดย Scott และคณะ [17] ได้ทดสอบความใช้ได้ของวิธีฟื้นฟูจุลินทรีย์จากสารฆ่าเชื้อ (Validation of microbial recovery from disinfectants) โดยใช้ diluting broth (AOAC), Dey-Engley Neutralizing Broth (DEB), Lethen (LET), NIH Thioglycollate Broth (NIH), Trypticase with Tween (TAT), and Trypticase Soy Broth with Polysorbate 80 and Lecithin (TPL) เป็นสาร neutralizing agents พบว่าสามารถฟื้นฟูเซลล์แบคทีเรียได้ถึงร้อยละ 75 และ Dey-Engley Neutralizing Broth เป็น neutralizing broth ที่ดีที่สุดสำหรับสารฆ่าเชื้อทุกประเภท วิธีมาตรฐาน ISO 21149: 2006 Cosmetics- Microbiology-Enumeration and detection of aerobic mesophilic bacteria [18] หรือ ISO 16212: 2008 Cosmetics-Microbiology-Enumeration of yeast and mould [19] ใช้สาร neutralizers ในกลุ่ม lecithin, L-histidine, polysorbate 80, saponin glycine, L-cysteine และ D/E Neutralizing Broth เป็นสารละลายเจือจางและ rinsing liquid ในเทคนิค membrane filtration เพื่อลดความรุนแรงของสารฆ่าเชื้อในเครื่องสำอาง

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีเชื้อราในเครื่องเทศ ทดสอบบนอาหารเลี้ยงเชื้อ DRBC agar ร่วมกับสารละลายเจือจางสูตร F1 F2 F3 F4 และ F5 เทียบกับสารละลายเจือจาง 0.1% peptone

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีเชื้อรา (log CFU/g)					
	0.1% peptone	F1	F2	F3	F4	F5
อบเชย จังหวัดสมุทรสาคร	2.54	2.97	2.98	3.27	3.90	3.45
อบเชย จังหวัดนครปฐม	2.56	2.14	2.05	2.93	2.86	3.01
โปยัก จังหวัดสมุทรสาคร	1.43	1.48	1.10	0.33	1.63	1.49
โปยัก จังหวัดนครปฐม	2.63	2.64	0	2.82	3.06	2.99
กานพลู จังหวัดสมุทรสาคร	3.26	2.85	0	2.96	3.20	3.23
กานพลู จังหวัดนครปฐม	2.81	3.12	2.30	3.11	2.97	2.92
ลูกผักชี จังหวัดสมุทรสาคร	4.05	4.23	4.59	4.32	4.14	4.29
ขมิ้นชัน ตลาดอมรพันธ์ กรุงเทพมหานคร	3.66	3.38	3.25	3.56	3.65	3.68
พริกแห้งเม็ดเล็ก ตลาดอมรพันธ์ กรุงเทพมหานคร	4.51	4.50	3.83	5.54	5.97	5.87
พริกแห้งเม็ดใหญ่ ตลาดบางเขน กรุงเทพมหานคร	4.89	4.83	3.25	4.88	4.88	4.58
พริกไทยดำแบบเม็ด ตลาดอมรพันธ์ กรุงเทพมหานคร	2.15	2.08	2.33	2.27	2.75	2.44
พริกไทยขาวแบบบดละเอียด ตลาดบางเขน กรุงเทพมหานคร	3.28	3.25	3.00	3.38	3.42	3.40

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีเชื้อราในพริกแกง ทดสอบบนอาหารเลี้ยงเชื้อ DRBC agar ร่วมกับสารละลายเจือจางสูตร F1 F2 F3 F4 และ F5 เทียบกับสารละลายเจือจาง 0.1% peptone

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีเชื้อรา (log CFU/g)					
	0.1% peptone	F1	F2	F3	F4	F5
พริกแกงเขียวหวาน ตลาดยิ่งเจริญ กรุงเทพมหานคร	1.66	1.66	1.78	0.97	1.03	1.89
พริกแกงมัสมั่น ตลาดยิ่งเจริญ กรุงเทพมหานคร	0.97	1.40	1.62	1.07	1.79	1.23
พริกแกงเผ็ด ตลาดยิ่งเจริญ กรุงเทพมหานคร	2.79	2.59	2.68	2.68	2.90	2.76
พริกแกงเหลือง ตลาดยิ่งเจริญ กรุงเทพมหานคร	2.70	2.66	2.76	2.72	2.73	2.77
พริกแกงกระหรี ตลาดบางเขน กรุงเทพมหานคร	1.26	0.67	0.77	1.30	1.56	1.40

การทดสอบเชื้อราในเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศนอกจากการเลือกใช้สารละลายเจือจางที่เหมาะสมแล้ว ก็ควรเลือกใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่ออกฤทธิ์ส่งเสริมกันในการทดสอบเชื้อรา และยังต้องอาศัยลักษณะโคโลนีเป็นปัจจัยหนึ่งในการตัดสินใจเลือกอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสม อาหารเลี้ยงเชื้อที่ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีเชื้อราสูงที่สุดในตัวอย่างเครื่องเทศบางชนิด แต่โคโลนีเชื้อรามีขนาดเล็ก จนสังเกตเห็นได้ยาก ทำให้ยากต่อการนับจำนวนเชื้อรา และต้องอาศัยความชำนาญและความรอบคอบในการตรวจนับมากยิ่งขึ้นเพื่อลดความผิดพลาด นอกจากนี้ควรศึกษาเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศอื่นๆ อีก เพื่อให้ได้วิธีการทดสอบเชื้อราที่เหมาะสมกับเครื่องเทศและอาหารไทยชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ควรศึกษาจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคที่สามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการใช้เครื่องเทศ เช่น แซลมอนเนลลา คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์, สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส และแบซิลลัส ซีเรียส เป็นต้น

4. สรุป (Conclusion)

การศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายเจือจางที่มี neutralizing agents ยับยั้งสมบัติ antifungal activity ของเครื่องเทศ ในการทดสอบเชื้อรา จำนวน 5 สูตร คือ F1 F2 F3 F4 และ F5 จากตัวอย่างเครื่องเทศ 7 ชนิด จำนวน 12 ตัวอย่าง คือ อบเชย (2) โป๊ยกั๊ก (2) กานพลู (2) ลูกผักชี (1) ขมิ้นชัน (1) พริกแห้ง (2) และพริกไทย (2) และเครื่องเทศที่ประกอบด้วยเครื่องเทศหลากหลายชนิด จำนวน 5 ตัวอย่าง คือ พริกแกงมัสมั่น พริกแกงเหลือง พริกแกงเผ็ด และพริกแกงกระหรี พบว่าการใช้สารละลายเจือจางสูตร F4 และ F5 ให้จำนวนโคโลนีเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อสูงที่สุด ดังนั้นสารละลายเจือจางสูตร F4 และ F5 มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารละลายเจือจางในการทดสอบเชื้อราในเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์เครื่องเทศที่ใช้ในการทดสอบได้เกือบทุกชนิด เนื่องจากมีองค์ประกอบหลักเป็นสาร L-histidine polysorbate 80 (Tween 80) และ lecithin, sodium thioglycollate, sodium thiosulfate และ sodium bisulfite ซึ่งมีสมบัติยับยั้งความเป็น antifungal activity

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยตลอดโครงการนี้ ขอขอบคุณผู้อำนวยการกองผลิตภัณฑ์อาหารและวัสดุสัมผัสอาหาร นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ของกลุ่มคุณภาพทางจุลชีววิทยาในอาหารทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมและผลักดันให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] เกรรินทร์ ภัทรณวดี จิตศิริ ทองสอน วรภา มหากาญจนกุล และ เพ็ญแข วันไชยธนวงศ์. ประสิทธิภาพสารต้านจุลินทรีย์ของสารสกัดเครื่องเทศต่อจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย. *เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 : สาขาอุตสาหกรรมเกษตร สาขา* *เศรษฐศาสตร์ สาขาบริหารธุรกิจ*. 2549, 297-307
- [2] Beuchat L.R. and D. A. Golden. Antimicrobials occurring naturally in foods. *Food Technology*. 1989, 43, 134-142.
- [3] ฐิตินันท์ บัวบาน. ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์ในเครื่องเทศและการเหลือรอดของจุลินทรีย์ในระหว่างการแปรรูปน้ำพริกตาแดงและการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2552.
- [4] ดวงจันทร์ สุขประเสริฐ และ วนิดา ยุธยาดี. สารพิษอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนในเครื่องเทศ. *วารสารสาขาวิชาอาหาร*. 2545, 4(2), 33-37.
- [5] อติพล ดิลกพิมพ์. *ราและอะฟลาทอกซินในน้ำพริกแกงและเครื่องเทศที่เป็นองค์ประกอบ*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2546.
- [6] USP. *Microbiological Examination of Nonsterile Products: Microbial Enumeration Tests* [online]. [viewed 11 February 2017]. Available from: <https://hmc.usp.org/sites/default/files/documents/HMC/GCs-Pdfs/c61.pdf>
- [7] JAYASHREE T. and C. SUBRAMANYAM. Antiaflatoxigenic activity of eugenol is due to inhibition of lipid peroxidation. *Letters Applied Microbiology*. 1999, 28, 179-183.
- [8] CRISTIANE B.S., S.S. GUTERRES, V. WEISHEIMER and E.S. ELFRIDES SCHAPOVAL. Antifungal activity of the lemongrass oil and citral against *Candida* spp. *The Brazilian Journal of Infectious Diseases*. 2008, 12(1), 63-66.
- [9] DARUGHE F., M. BARZEGAR and M. A. SAHARI. Antioxidant and antifungal activity of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil in cake. *International Food Research Journal*. 2012, 19(3), 1253-1260.

- [10] BHATT MEHUL K, M.B. SHANJAR, K. SALUJA AJAY, D. KISHOR AND A.D. CAPTAIN. Evaluation of anti-microbial activity of *Ocimum sanctum* methanolic extract. *Journal of Pharmaceutical and Scientific Innovation*. 2012, 39-41.
- [11] SHIVA RANI S.K., N.I SAXENA AND UDAYSREE. Antimicrobial activity of black pepper (*Piper nigrum* L.) *Global Journal of Pharmacology*. 2013, 7(1), 87-90.
- [12] TAJKARIMI, M.M., S.A. IBRAHIM AND D.O. CLIVER. Review antimicrobial herb and spice compounds in food. *Food Control*. 2010, 21, 1199-1218.
- [13] APISARIYAKUL A., N. VANITTANAKOM AND D. BUDDHASUKH. Antifungal activity of tumeric oil extracted from *Curcuma longa* (*Zingiberaceae*). *Journal of Ethnopharmacol*. 1995, 49, 163-169.
- [14] RATTANACHAIKUNSOPON P. AND PHUMKHACHORN P. Shallot (*Allium ascalonicum* L.) oil: diallyl sulfide content and antimicrobial activity against food-borne pathogenic bacteria. *African Journal of Microbiology Research*. 2009, 3, 747-750.
- [15] SEDEF N.E., N. KARAGOZLU, S. KARAKAYA AND S. SAHIN. Antioxidant and antimicrobial activities of essential oils extracted from *Laurus nobilis* L. leaves by using solvent-free microwave and hydrodistillation. *Food and Nutrition Sciences*. 2014, 5, 97-106.
- [16] KOCIĆ-TANACKOV S. D. AND G. R. DIMIĆ. Antifungal activity of essential oils in the control of food-borne fungi growth and mycotoxin biosynthesis in food. *Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education*. 2013, 838-849.
- [17] SCOTT V.W.S., W.P. DAVID, R. STEPHEN AND K.B. DANIEL. Validation of microbial recovery from disinfectants. *Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. 2002, 56(5), 255-266.
- [18] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 21149: 2006. *Cosmetics - Microbiology of Enumeration and detection of aerobic mesophilic bacteria*.
- [19] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 16212: 2008. *Cosmetics – Microbiology - Enumeration of yeast and mould*.

การศึกษาเบื้องต้นของประสิทธิภาพสารกรองสารหนู
จากดินขาวสำหรับน้ำเพื่อบริโภค
Preliminary study on efficiency of arsenic filter
from kaolin for water for consumption

6

อาภาพร สินธุสาร^{1*}, นงลักษณ์ บรรยงวิมลณัฐ¹, อังสนา ฉั่วสุวรรณ¹, แมธิ์ ครองพงษ์¹
Apaporn Sinthusarn^{1*}, Nongluk Bunyovimonnat¹, Aungsana Chuasuwan¹,
Mathee Krongpong¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นของการนำ “ดินขาว (Kaolin)” ซึ่งเป็นวัตถุดิบธรรมชาติที่มีจำนวนมากในหลายพื้นที่ของประเทศไทยมาประยุกต์ใช้เป็นสารกรองน้ำสำหรับกำจัดสารหนูทดแทนแอคทีเวตอะลูมินาซึ่งมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดินขาวมีโครงสร้างทางเคมีเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกต ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 39.5 : 46.5 : 14) มีคุณสมบัติเป็นสีขาวก่อนเผาและหลังเผา มีความทนไฟสูง ความแกร่งหลังเผาสูง เมื่อผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยความร้อนจะมีคุณสมบัติในการจับไอออนลบในน้ำได้ตามสภาพความเป็นกรด-เบส ของน้ำ ผลการศึกษาประสิทธิภาพของสารกรองจากดินขาวสำหรับดูดซับสารหนูในน้ำที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ พบว่า สารกรองสูตรที่ 1 (ดินขาว 100%) เผาด้วยเตาไฟฟ้าในสภาวะที่ 1 (ที่อุณหภูมิ 200 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 400 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 600 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ) มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูได้ดีที่สุด ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูจะขึ้นกับปริมาณและระดับความสูงของสารกรอง สารกรองที่ผลิตขึ้นสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้โดยการฟื้นฟูสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นอย่างละ 0.1 N. ตามลำดับ แต่สามารถฟื้นฟูสภาพได้ไม่เกิน 3 ครั้ง ตลอดอายุการใช้งานของสารกรองปริมาตร 3.5 ลิตร สามารถผลิตน้ำบริโภคตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค (สารหนูไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ได้จำนวน 400 ลิตร ดังนั้นการศึกษาเบื้องต้นนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิจัยดินขาวเพื่อผลิตเป็นสารกรองสารหนูจากธรรมชาติสำหรับใช้ในเครื่องกรองน้ำเพื่อบริโภคต่อไปได้

Abstract

This research is a preliminary study on “Kaolin”, a natural raw material, which is found in many parts of Thailand, in order to apply as a water filter for arsenic removal in water for consumption instead of activated alumina, which is quite expensive and must be imported from abroad. Chemical structure of Kaolin is aluminosilicate ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 39.5: 46.5: 14). Its properties are white before burning and after calcination, high fire resistance. When activated with heat, Kaolin has the ability to capture anions in water based on the pH value of the water. Results of the study on the efficiency of the filter were showed that the filter was suitable for the removal of arsenic in water prepared in the laboratory. The filter formula 1 (100% Kaolin), calcined at condition 1 (at 200 °C for 1 hour, 400 °C for 1 hour, and 600 °C for 3 hours, respectively) was the best condition for arsenic adsorption. The efficiency of arsenic adsorption depends on quantity and height of the adsorbent in the filter. The 3.5 liters of the produced filter can be regenerated with 0.1N. Sodium hydroxide, and 0.1N. Hydrochloric acid, respectively, up to 3 times, and this can produce water for consumption within the criteria of drinking water (arsenic not more than 0.01 mg/l) for 400 liters. Therefore this preliminary study can be a guideline for conducting research on using Kaolin to produce a natural filter for arsenic removal for potable water purifier in the future.

สำคัญ: สารกรองสารหนู ดินขาว น้ำเพื่อบริโภค

Keywords: Arsenic filter, Kaolin, Water for consumption

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

การแก้ไขปัญหาสารหนูปนเปื้อนในน้ำมีหลายวิธี เช่น วิธีดูดซับร่วมกับการตกตะกอน (Adsorption-Coprecipitation) โดยใช้ปูนขาว สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl₃) วิธีการดูดซับด้วยแอคทีเวตเตดอลูมินา (Activated alumina) หรือ แอคทีเวตเตดคาร์บอน (Activated carbon) วิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) และวิธีการกรองผ่านเยื่อกรองคุณภาพสูง (Reverse Osmosis) ซึ่งปัจจุบันการกรองผ่านเยื่อกรองคุณภาพสูงเป็นที่นิยมใช้ในการนำมาแก้ปัญหาดังกล่าว ในหลายประเทศทั่วโลก เนื่องจากสามารถกำจัดสารหนูในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบและการบำรุงรักษาที่สูง [1, 2] นอกจากนี้มีการใช้สารเคมีในการบำบัดสารหนูในน้ำ เช่น การกำจัดสารหนูประเภทอินทรีย์สารโดยใช้สารประกอบเซอร์โคเนียม (Zr compounds) ช่วยตกตะกอน [3] การใช้สารกรองที่มีส่วนประกอบของเฟอร์รัสคาร์บอนช่วยในการกำจัดสารหนู [4] การใช้โคลนสีแดงซึ่งมีเหล็กองค์ประกอบเป็นสารกรองในการกำจัดสารหนู [5] การใช้อนุภาคซีเรียมออกไซด์เป็นตัวบำบัดสารหนูในน้ำ [6] และการใช้เหล็กออกไซด์เคลือบบนอนุภาคคาร์บอนเพื่อกำจัดสารหนูในน้ำ [7]

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นของการนำ “ดินขาว” ซึ่งเป็นวัตถุดิบธรรมชาติที่มีจำนวนมากในหลายพื้นที่ของประเทศไทยมาประยุกต์ใช้เป็นสารกรองน้ำสำหรับกำจัดสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ ทดแทนแอคทีเวตเตดอลูมินาที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาแพง เนื่องจากดินขาว (Kaolin) เป็นดินที่เกิดจากแร่กาโอลินไนต์ (Kaolinite) ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกต ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 39.5 : 46.5 : 14) มีคุณสมบัติเป็นสีขาวก่อนเผาและหลังเผา ความทนไฟสูง ความแกร่งหลังเผาสูง มีองค์ประกอบหลักเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 33–39, ซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 36–49 และออกไซด์ของธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย [8] อะลูมิเนียมออกไซด์เมื่อผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยความร้อน (Activated) แล้วจะมีคุณสมบัติในการจับไอออนลบ (anion) ในน้ำได้ตามสภาพความเป็นกรด-เบสของน้ำ ได้ดังนี้ $\text{OH}^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{F}^- > \text{AsO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ ในช่วงความเป็นกรด-เบส 6-8 [9] จึงทำให้ดินขาวซึ่งมีส่วนประกอบหลักทางเคมีเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ สามารถนำมาผลิตเป็นสารกรองน้ำเพื่อกำจัดสารหนูปนเปื้อนได้ ซึ่งผู้วิจัยได้ทดลองนำดินขาวมาผลิตเป็นเม็ดสารกรองและเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม โดยนำสารกรองมาจำนวน 10 มิลลิกรัม ใส่ท่อกรองความสูง 10 เซนติเมตร ไหลผ่านด้วยสารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 100 มิลลิลิตร ปรากฏว่าน้ำที่ผ่านออกมาไม่พบสารหนูปนเปื้อน (วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS) แสดงว่าสารกรองที่ผลิตขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดสารหนูในน้ำได้

งานวิจัยนี้จึงศึกษาเบื้องต้นเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพของสารกรองจากดินขาวซึ่งได้จากสูตรการผลิตและสภาวะการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ รวมทั้งความสามารถในการปรับปรุงสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้ได้สารกรองสารหนูที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นสารกรองในเครื่องกรองน้ำสำหรับน้ำบริโภคต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัตถุดิบ / ตัวอย่างน้ำ

2.1.1 ดินขาวจังหวัดระนอง บริษัทอินดัสเทรียล มินเนรัล ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (IMD)

2.2 สารเคมี / สารละลาย/ชุดทดสอบ

2.2.1 สารละลายมาตรฐานสารหนู (H_3AsO_4 ในรูป Arsenate : As(V)) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร บริษัท Merck

2.2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ บริษัท Merck สำหรับเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N

2.2.3 กรดไฮโดรคลอริก บริษัท Merck สำหรับเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 N

2.2.4 ชุดทดสอบสารหนูความเข้มข้น 0, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร บริษัทไฮเออร์ เอ็นท์เตอร์ไพส์ จำกัด

2.3 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ

2.3.1 เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตสารกรอง

1) เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) รุ่น Elan DRC บริษัท Perkin-Elmer

Internal Standard (mix) : Bi, Ge, In, 6Li, Sc, Tb, Y

Calibration Curve As : 1, 5, 10, 20, 50, 100, 200 ไมโครกรัมต่อลิตร

QC : As Standard Solution 50 ไมโครกรัมต่อลิตร

2) เครื่องบดดิน บริษัท Retsch รุ่น 5657 HAAN ประเทศเยอรมัน

3) เครื่องผลิตสารกรอง (ผลิตขึ้นเอง)

4) ตู้อบลมร้อน บริษัท Qallenkamb รุ่น oven BS

5) เตาเผา บริษัท Thermolyne รุ่น Dubuque IOWA ประเทศอเมริกา

6) ตะแกรงร่อนเบอร์ 8 (Mesh No. 8) และเบอร์ 20 (Mesh No. 20)

2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับชุดเครื่องกรองน้ำ

1) คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร

2) ท่อกรองอะคริลิกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว

2.4 การผลิตสารกรอง

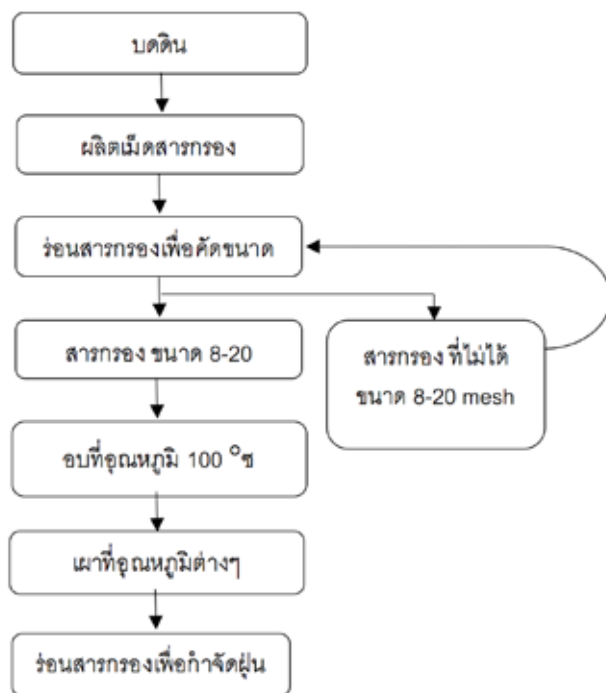
2.4.1 นำวัตถุดิบ (ดินขาวสูตรต่างๆ) ที่ผ่านการบดแล้ว เทลงในภาชนะของเครื่องผลิตสารกรอง จากนั้นเปิดสวิทซ์ให้เครื่องหมุน พร้อมฉีดน้ำกลั่นเพื่อให้ดินขาวจับตัวเป็นเม็ดสารกรองขนาดประมาณ 8-20 mesh

2.4.2 นำสารกรองมาร่อนผ่านตะแกรงระหว่างขนาด 8 กับ 20 mesh เพื่อคัดสารกรองให้ได้ขนาด 8-20 mesh

2.4.3 อบไล่ความชื้นสารกรองที่อุณหภูมิ 100° ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.4.4 เมาสารกรอง ที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ (ตารางที่ 1)

2.4.5 ร่อนสารกรองที่ผ่านการเผาในตะแกรงขนาด 20 mesh เพื่อกำจัดฝุ่น



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตสารกรองจากดินขาว



รูปที่ 2 สารกรองที่ผลิตได้



รูปที่ 3 ท่อกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร

2.5 ท่อกรองสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพสารกรอง

นำท่อกรองอะคริลิกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร เชื่อมต่อด้วยข้อต่อและสายยาง พร้อมด้วยวาล์วน้ำสำหรับเปิด-ปิด เพื่อเป็นชุดต้นแบบเครื่องกรองน้ำสำหรับทดสอบประสิทธิภาพสารกรอง ดังรูปที่ 3

2.6 การทดสอบประสิทธิภาพสารกรอง

2.6.1 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองที่อุณหภูมิการเผาต่าง ๆ กัน

นำสารกรองดินขาวเผาด้วยเตาไฟฟ้าที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ กัน ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู

ตารางที่ 1 สารกรองดินขาว เเผาด้วยเตาไฟฟ้าที่สภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ กัน

สภาวะที่	สภาวะการเผาด้วยเตาไฟฟ้า	
	อุณหภูมิ (° ซ)	เวลา (ชั่วโมง)
1	1) 200	1
	2) 400	1
	3) 600	3
2	500	3
3	600	3
4	700	3
5	800	3
6	900	3
7	1000	3

2.6.2 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาวผสมอะลูมิเนียมออกไซด์สูตรต่าง ๆ

นำสารกรองซึ่งผลิตจากการผสมดินขาวที่ผ่านการบดละเอียดผสมกับอะลูมิเนียมออกไซด์ ตามอัตราส่วนที่กำหนด จำนวน 7 สูตร ดังตารางที่ 2 และเผาด้วยเตาไฟฟ้าที่สภาวะที่ 1 โดยเผาที่อุณหภูมิ 200 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 600 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมงตามลำดับ จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู

ตารางที่ 2 สารกรองดินขาวผสมอะลูมิเนียมออกไซด์สูตรต่างๆ

สูตรสารกรองที่ : เผาด้วยเตาไฟฟ้าที่สภาวะที่ 1	อัตราส่วน (ร้อยละ)	
	ดินขาว	อะลูมิเนียมออกไซด์
1	100.0	0
2	97.5	2.5
3	95.0	5.0
4	92.5	7.5
5	90.0	10.0
6	85.0	15.0
7	80.0	20.0

2.6.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาวสูตรที่ 1 ที่ปริมาณ (ระดับความสูง) ของสารกรอง ต่าง ๆ กัน

นำสารกรองดินขาวสูตรที่ 1 เผาด้วยเตาไฟฟ้าสภาวะที่ 1 บรรจุใส่คอลัมน์แก้วที่ระดับความสูงต่างๆ กัน ดังตาราง ที่ 3 จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู

ตารางที่ 3 สารกรองดินขาวสูตรที่ 1 เผาด้วยเตาไฟฟ้า สภาวะที่ 1 บรรจุใส่คอลัมน์แก้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ที่ ระดับความสูง ต่าง ๆ กัน

ลำดับที่	ความสูงของสารกรอง (เซนติเมตร)	น้ำหนักสารกรอง (กรัม)
1	30	250
2	60	446
3	90	686

2.6.4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองกับท่อกรองเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร

นำสารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 ทดสอบการใช้งานร่วมกับท่อกรองเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู

2.6.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองภายหลังการฟื้นฟูสภาพ (regeneration) สารกรอง

นำสารกรองที่ผ่านการใช้งาน (ข้อ 2.7.4) มาศึกษาการฟื้นฟูสภาพโดยแช่สารกรองในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองที่อุณหภูมิการเผาต่าง ๆ กัน (ตารางที่ 1)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาว ซึ่งผ่านการเผาด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน โดยนำสารกรองที่เผาอุณหภูมิต่าง ๆ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในคอลัมน์แก้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และให้สารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 2 ลิตร ไหลผ่านที่อัตราการไหล 7.0 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรอง ทุกๆ 100 มิลลิลิตร และวิเคราะห์ปริมาณสารหนูที่ผ่านการกรอง ด้วยชุดทดสอบสารหนู โดยบันทึกข้อมูลปริมาณสารหนูที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร (เกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค กำหนดให้สารหนูต้องไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร [9]) แสดงในตารางที่ 4 พบว่า สารกรองดินขาว เผาด้วยสภาวะที่ 1 มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูได้ดีที่สุด ที่ปริมาตร 2.0 ลิตร

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาว เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ปริมาตรสารละลายมาตรฐานสารหนู ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)						
	สภาวะที่ 1	สภาวะที่ 2	สภาวะที่ 3	สภาวะที่ 4	สภาวะที่ 5	สภาวะที่ 6	สภาวะที่ 7
100	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
200	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
300	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
400	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
500	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2

ตารางที่ 4 (ต่อ)

600	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
700	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
800	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
900	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
1000	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
1100	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
1200	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
1300	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2
1400	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2
1500	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.3
1600	0	0.005	0	0.2	0.2	0.2	0.3
1700	0	0.01	0.005	0.2	0.2	0.3	0.3
1800	0.005	0.01	0.01	0.2	0.2	0.3	0.3
1900	0.005	0.01	0.05	0.2	0.2	0.3	0.3
2000	0.01	0.05	0.05	0.2	0.2	0.3	0.3

3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาวผสมอะลูมิเนียมออกไซด์สูตรต่าง ๆ (ตารางที่ 2)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองสูตรต่าง ๆ โดยนำสารกรองสูตรต่าง ๆ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในคอลัมน์แก้วเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และให้สารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.1, 1.0, 5.0, 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไหลผ่านที่อัตราการไหล 7.0 มิลลิลิตร ต่อนาที และวิเคราะห์ปริมาณสารหนูที่ผ่านการกรองด้วยเครื่อง ICP-MS พบว่า สารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูได้ดีที่สุดในทุกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนู แสดงในตารางที่ 5 ซึ่งผลการศึกษาโครงสร้างของสารกรองด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) พบว่า สารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 มีโครงสร้างผลึกเป็น Kaolinite : $\text{Al}_2(\text{OH})(\text{Si}_4\text{O}_{10})$, Quartz : SiO_2 , Muscovite : $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ และ Microcline : $\text{K}(\text{AlSi}_3)\text{O}_8$ แต่สารกรองสูตรอื่นๆ ไม่พบโครงสร้างผลึก Kaolinite จึงแสดงว่าสารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็น Kaolinite มีสามารถในการดูดซับสารหนู ($\text{Al}_2(\text{OH})(\text{Si}_4\text{O}_{10})$: As(V)) ได้สูงสุทธ้อยู่ที่ 98.50 ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนูก่อนผ่านสารกรอง 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงเลือกสารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 เป็นสารกรองในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาวผสมอะลูมิเนียมออกไซด์สูตรต่าง ๆ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน สารหนูก่อนผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร) / (ร้อยละของการดูดซับสารหนูของสารกรอง)						
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7
0.1	0.0015 (98.50)	0.0070 (93.00)	0.028 (72.00)	0.030 (70.00)	0.031 (69.00)	0.030 (70.00)	0.030 (70.00)
1.0	0.020 (98.00)	0.113 (88.70)	0.127 (87.30)	0.113 (84.70)	0.131 (86.90)	0.085 (91.50)	0.115 (88.50)
5.0	0.394 (92.12)	0.478 (90.44)	0.524 (89.52)	0.530 (89.40)	0.483 (90.34)	0.475 (90.50)	0.426 (91.48)
10.0	0.616 (93.84)	1.580 (84.20)	1.410 (85.90)	0.828 (91.72)	1.395 (86.05)	0.876 (91.24)	1.100 (89.00)

3.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองที่มีปริมาณ (ระดับความสูง) ต่าง ๆ กัน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองสูตรที่ 1 เปรียบด้วยสภาวะที่ 1 ที่ ระดับความสูง ต่าง ๆ กันโดยนำสารกรองใส่ในคอลัมน์แก้วเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร โดยกำหนดให้มีระดับความสูง 30, 60, 90 เซนติเมตร (ปริมาตรสารกรอง 0.5, 1.0, 1.5 ลิตร ตามลำดับ) และให้สารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร ไหลผ่านที่อัตราการไหล 250 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรองทุกๆ 1 ลิตร และวิเคราะห์ปริมาณสารหนูที่ผ่านการกรองด้วยชุดทดสอบสารหนู โดยบันทึกข้อมูลปริมาณสารหนูที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงใน

ตารางที่ 6 พบว่า สารกรองที่ระดับความสูง 90 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูได้ดีที่สุด แสดงว่า ระดับความสูงของสารกรองในคอลัมน์มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูในน้ำ

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองที่ระดับความสูงต่างกัน

ปริมาตรสารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ลิตร)	ความเข้มข้นสารหนูหลังผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร) / (ร้อยละของการดูดซับสารหนูของสารกรอง)		
	ความสูงสารกรอง 30 ซม.	ความสูงสารกรอง 60 ซม.	ความสูงสารกรอง 90 ซม.
1	0.1 (80.0)	0.03 (94.0)	0.005 (99.0)
2	0.1 (80.0)	0.03 (94.0)	0.005 (99.0)
3	0.5 (0.00)	0.05 (90.0)	0.01 (98.0)
4	0.5 (0.00)	0.05 (90.0)	0.03 (94.0)
5	0.5 (0.00)	0.05 (90.0)	0.03 (94.0)

3.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองโดยใช้ท่อกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 ปริมาตร 3.5 ลิตร บรรจุลงในท่อกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูงสารกรอง 120 เซนติเมตร และทำการทดสอบการใช้งานสารกรอง โดยให้สารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 ลิตร ไหลผ่านท่อสารกรอง ที่อัตราการไหล 800 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรองทุกๆ 10 ลิตร วิเคราะห์ปริมาณสารหนูที่ผ่านการกรองด้วยชุดทดสอบสารหนู โดยบันทึกข้อมูลปริมาณสารหนูที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงในตารางที่ 7 พบว่าสารกรองสามารถดูดซับสารหนูในน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคได้ไม่เกิน 40 ลิตร

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองโดยใช้ท่อกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร

ปริมาตรสารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร) / (ร้อยละของการดูดซับสารหนูของสารกรอง)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย + SD.
10	0 (0)	0 (0)	0 (0)
20	0 (0)	0 (0)	0 (0)
30	0.005 (99)	0 (0)	0.0025 + 0.0035 (99.5)
40	0.01 (98)	0.005 (99)	0.0075 + 0.0035 (98.5)
50	0.1 (80)	0.1 (80)	0.1 (80)

3.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองภายหลังการฟื้นฟูสภาพสารกรอง

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองภายหลังการฟื้นฟูสภาพสารกรอง โดยนำสารกรองที่ผ่านการใช้งาน (ข้อ 3.4) มาศึกษาการฟื้นฟูสภาพโดยแช่สารกรองในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ปริมาตร 2 ลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นแช่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N ปริมาตร 2 ลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำมาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูอีกครั้งโดยให้สารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ไหลผ่านที่อัตราการไหล 800 มิลลิลิตรต่อนาที และทดสอบปริมาณสารหนูในน้ำที่ผ่านการกรองด้วยชุดทดสอบสารหนู โดยทำการฟื้นฟูสภาพสารกรอง ต่อไปอีก 3 ครั้ง รวมทำการฟื้นฟูสภาพทั้งหมด 4 ครั้ง แสดงในตารางที่ 8 พบว่า สารกรองที่ผ่านการใช้แล้วสามารถนำมาฟื้นฟูสภาพได้เพียง 3 ครั้ง เนื่องจากการฟื้นฟูสภาพสารกรองใน

ครั้งที่ 4 สารกรองมีสภาพเป็นเม็ดแตกย่อย ไม่เหมาะสมสำหรับการนำกลับมาใช้งานได้อีก ดังนั้นสารกรองที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถฟื้นฟูสภาพได้จำนวน 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งของการฟื้นฟูสภาพสารกรองจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคได้ไม่เกิน 120 ลิตร รวมปริมาณน้ำที่ได้หลังจากผ่านสารกรองโดยมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคจำนวน 360 ลิตร

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองภายหลังการฟื้นฟูสภาพสารกรอง

ปริมาณสารละลายมาตรฐานสารหนู ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ฟื้นฟูสภาพ ครั้งที่ 1	ฟื้นฟูสภาพ ครั้งที่ 2	ฟื้นฟูสภาพ ครั้งที่ 3	ฟื้นฟูสภาพ ครั้งที่ 4
20	0	0	0	ไม่สามารถทดสอบได้ เนื่องจากสภาพสารกรอง เป็นเม็ดแตกย่อย ไม่เหมาะ สำหรับการนำกลับมาใช้
40	0	0	0	
60	0	0	0	
80	0	0	0	
100	0.005	0.005	0.005	
120	0.01	0.01	0.01	
140	0.03	0.03	0.03	

4. สรุป (Conclusion)

การศึกษาเบื้องต้นของประสิทธิภาพสารกรองจากดินขาวสำหรับดูดซับสารหนูในน้ำที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ พบว่า สารกรองสูตรที่ 1 (ดินขาว 100%) เหนียวเตาไฟฟ้าสภาวะที่ 1 (เผาที่อุณหภูมิ 200 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 400 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 600 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ) มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูได้ดีที่สุด โดยประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูจะขึ้นกับปริมาณ (ระดับความสูง) ของสารกรอง ซึ่งสารกรองที่ผลิตขึ้นสามารถฟื้นฟูสภาพเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ไม่เกิน 3 ครั้งโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นอย่างละ 0.1 N. ตามลำดับ และตลอดอายุการใช้งานของสารกรองปริมาตร 3.5 ลิตร สามารถผลิตน้ำบริโภคตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค (สารหนูไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ได้จำนวน 400 ลิตร ทั้งนี้อายุการใช้งานสารกรองอาจขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำดิบในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเป็นสารกรองในเครื่องกรองน้ำที่มีประสิทธิภาพพร้อมใช้งานได้ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ สำนักเทคโนโลยีชุมชนทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนการทํารวบรวมข้อมูลตามวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ยังให้คำปรึกษาแนะนำ และข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] AWWA RESEARCH FOUNDATION. *Adsorbent Treatment Technologies for Arsenic Removal*. 2005, 1-3.
- [2] NICOMEL, N.R. Technologies for Arsenic Removal from Water: Current Status and Future Perspectives. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2016, 13(1), 62.
- [3] HAMANO, S., *Method for treatment of water containing organic arsenic compounds and agents for precipitation of organic arsenic compounds*. Jpn. Kokai Tokyo Koho. 2008, 9.
- [4] GUO, H., *Preparation of high-performance arsenic-removing composite adsorbent and its application method in arsenic removal from drinking water*. Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu. 2008, 4.
- [5] LUAN, Z., et al. *Application of iron modified red mud as arsenic-removing adsorbent*. Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu. 2008, 5.
- [6] LE, B.T., et al. Study on preparation of cerium oxide nanoparticle mediated diatomaceous earth material and application for arsenic treatment in water. *Tap Chi Phan Tich Hoa, Ly Va Sinh Hoc*. 2011, 14(1), 12-17.
- [7] ADDO, N.S., et al. Removal of Trace Arsenic To Meet Drinking Water Standards Using Iron Oxide Coated Multiwall Carbon Nanotubes. *Journal of Chemical & Engineering Data*. 2011, 56(5), 2077-2083.
- [8] นวลอนงค์ ศรีพงษ์. การวิจัยและพัฒนาดินขาวเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*. มกราคม 2535, 40 (128), 21-23.
- [9] *Report of the AD HOC working group on the technological assessment of natural mineral water treatments on the evaluation of treatment by aluminium oxide for the removal of fluoride from mineral waters and spring waters*. 30 March 2006.
- [10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 257-2549. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค*.

การประเมินคุณภาพวัสดุและการศึกษาการละลายของธาตุจาก กระทะไฟฟ้าอะลูมิเนียม Evaluation of material quality and study of released elements from aluminium electric pan



ดวงกมล เขาวนศรีหมุด^{1*}, จิตวิไล เวฬุวนารักษ์¹, จิรพรรณ โรมา¹, นุจรินทร์ พลหงษ์¹
Duangkamol Chaosrimud^{1*}, Jitwilai Waluvanarak¹, Jirapan Roma¹, Nootjarin Phonhong¹

บทคัดย่อ

จากข้อสังเกตของประชาชนในสื่อออนไลน์และคำถามจากสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภคเรื่องการปนเปื้อนของสารอันตรายที่สามารถละลายออกมาจากการใช้กระทะไฟฟ้าขณะปรุงอาหารเนื่องจากสภาพผิวส่วนกระทะของกระทะไฟฟ้าอะลูมิเนียมเปลี่ยนไปหลังใช้ปรุงอาหาร ดังนั้น กรมวิทยาศาสตร์บริการได้สุ่มตัวอย่างกระทะไฟฟ้าประเภทอะลูมิเนียมจากตลาดในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 13 ตัวอย่าง ประกอบด้วย กระทะแบบ 1 จำนวน 9 ตัวอย่างและกระทะแบบ 2 จำนวน 4 ตัวอย่าง เพื่อประเมินคุณภาพของอะลูมิเนียมส่วนกระทะ และศึกษาการละลายของธาตุต่าง ๆ จากกระทะไฟฟ้า โดยใช้ตัวแทนอาหาร 4 ประเภท ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน น้ำประปา สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น ร้อยละ 1 และสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ในสภาวะต้มเดือด นาน 2 ชั่วโมง ผลการประเมินคุณภาพของอะลูมิเนียมส่วนกระทะพบว่าทุกตัวอย่างเป็นวัสดุประเภทอะลูมิเนียมโลหะผสม โดยร้อยละ 55 ของตัวอย่างกระทะไฟฟ้าแบบ 1 ไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน BS EN 602 ขณะที่กระทะแบบ 2 ผ่านเกณฑ์กำหนดทุกตัวอย่าง การศึกษาการละลายของธาตุต่างๆ จากกระทะไฟฟ้าอะลูมิเนียมทั้ง 2 แบบ พบอะลูมิเนียม เหล็ก แมกนีเซียม แมงกานีส และสังกะสี ละลายออกมาปนเปื้อนกับตัวแทนอาหารทั้ง 3 ประเภท (น้ำประปา สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และ สารละลายกรดซิตริก) โดยอะลูมิเนียมที่ละลายจากกระทะไฟฟ้าแบบ 1 ทุกตัวอย่างมีปริมาณสูงกว่าค่า specific released limit (SRL) ขณะที่กระทะไฟฟ้าแบบ 2 พบปริมาณอะลูมิเนียม ไม่เกินเกณฑ์ สำหรับเหล็ก แมกนีเซียม แมงกานีส และสังกะสีจากตัวอย่างทั้ง 2 แบบ มีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์กำหนด

Abstract

From observations of social media and a question from Office of Consumer Protection Board (OCPB) about contamination of toxic substances from aluminium electric pan because of a change of surface's appearance after using, Department of Science Service collected 13 aluminium electric pan samples (9 samples of type 1 and 4 samples of type 2) from local markets in Bangkok in order to evaluate material quality and study the released elements from electric pan by using 4 stimulants (DI water, tap water, 1% NaCl and 0.5% citric acid) at boiling condition for 2 hours. Results showed that material of all samples was aluminium alloy and 55 % of type 1 samples did not comply with BS EN 602 standard but all samples of type 2 complied with the standard. The study of released elements from the aluminium electronic pan samples presented that aluminium, iron, manganese, magnesium and zinc released from all samples by using 3 stimulants (tap water, 1% NaCl and 0.5% citric acid). In addition, concentration of released aluminium from all samples of type 1 was higher than specific released limit (SRL), while sample type 2 was less than the limit. In both types, concentrations of iron, magnesium, manganese and zinc were lower than the limit.

คำสำคัญ: กระทะไฟฟ้าอะลูมิเนียม คุณภาพของวัสดุ การละลายของธาตุ

Keywords: Aluminium electric pan, Material quality, Released element

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

กระทะไฟฟ้าประเภทอะลูมิเนียมเป็นเครื่องครัวอย่างหนึ่งที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เนื่องจากราคาถูก ใช้งานสะดวก รวดเร็ว และสามารถปรุงอาหารได้หลากหลาย อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตของประชาชนที่ปรากฏในสื่อออนไลน์และจากประเด็นคำถามของคณะกรรมการพิจารณาการพิจารณาการนำเข้าและบริโภคน้ำดื่มที่เป็นอันตรายแก่ผู้บริโภค สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค สำนักงานกฤษฎีกา เรื่องการปนเปื้อนของสารอันตรายที่สามารถละลายออกมาจากการใช้กระทะไฟฟ้าขณะปรุงอาหาร เนื่องจากสภาพผิวส่วนกระทะของกระทะไฟฟ้าอะลูมิเนียมเปลี่ยนไปหลังใช้ปรุงอาหารหรือแม้แต่การใช้ดื่มน้ำประปา

แม้ว่าผลิตภัณฑ์กระทะไฟฟ้า สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดให้ผลิตภัณฑ์นี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้มาตรฐานบังคับตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทะไฟฟ้า (มอก.1509 – 2547) [1] แต่มาตรฐานดังกล่าว ควบคุมความปลอดภัยเฉพาะด้านไฟฟ้าเท่านั้น ไม่มีการควบคุมความปลอดภัยด้านเคมีของวัสดุที่ใช้โดยเฉพาะส่วนที่สัมผัสกับอาหาร อย่างไรก็ตามมีการศึกษาโดย ดวงกมลและคณะ [2] เรื่องการละลายของโลหะต่าง ๆ ที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้มประเภทอะลูมิเนียม ในสภาวะต้มเดือดนาน 2 ชั่วโมง เมื่อใช้กรดอะซิติกความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นตัวแทนอาหารประเภทกรด พบว่ามีอะลูมิเนียม เหล็ก และสังกะสี ละลายออกมาปนเปื้อนกับอาหารและพบตะกั่วในบางตัวอย่าง โดยธาตุเหล่านี้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น และการศึกษาของ Weidenhamer J.D. และคณะ [3] ได้ทดสอบปริมาณโลหะหนักที่ละลายออกมาจากภาชนะอะลูมิเนียมซึ่งสุ่มเก็บจากประเทศต่าง ๆ พบอะลูมิเนียม และตะกั่ว ปริมาณสูง ละลายปนเปื้อนออกมา นอกจากนี้ยังพบสารหนูและแคดเมียมในบางตัวอย่างอีกด้วย

กองเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อุปโภค กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้สุ่มตัวอย่างกระทะไฟฟ้าประเภทอะลูมิเนียม จำนวน 13 ตัวอย่าง จากร้านค้าในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามนิยามของ มอก. 1509 ประกอบด้วย 1) กระทะที่ใช้ไฟฟ้าทำความร้อน โดยตัวทำความร้อนรวมอยู่กับตัวกระทะ การศึกษานี้เรียกว่า กระทะไฟฟ้าแบบ 1 จำนวน 9 ตัวอย่าง และ 2) กระทะที่มีแผ่นให้ความร้อนวางเฉพาะแยกออกจากตัวกระทะ คล้ายหม้อสุกี้ ในการศึกษาครั้งนี้เรียกว่า กระทะไฟฟ้าแบบ 2 จำนวน 4 ตัวอย่าง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์คือ เพื่อประเมินคุณภาพของอะลูมิเนียมส่วนกระทะ และศึกษาการละลายของโลหะต่าง ๆ จากกระทะไฟฟ้า โดยใช้ตัวแทนอาหาร 4 ประเภท ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน น้ำประปา สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น ร้อยละ 1 และสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 ในสภาวะต้มเดือด นาน 2 ชั่วโมง

คุณภาพของวัสดุอะลูมิเนียมส่วนกระทะประเมินโดยทดสอบองค์ประกอบทางเคมี แล้วเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดตาม BS EN 602 Aluminium and aluminium alloys – wrought products – chemical composition of semi-finished products used for the fabrication of articles for use in contact with foodstuff [4] ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวได้แบ่งวัสดุอะลูมิเนียมออกเป็น 2 ชนิด คือ อะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมโลหะผสม โดยมีเกณฑ์กำหนดของธาตุต่าง ๆ ตามตารางที่ 1 นอกจากนี้ยังได้ทดสอบปริมาณตะกั่วและแคดเมียมเพิ่มเติม เนื่องจากเป็นโลหะที่มีความเป็นพิษสูง

ตารางที่ 1 เกณฑ์กำหนดขององค์ประกอบทางเคมี สำหรับวัสดุอะลูมิเนียมที่ใช้สัมผัสอาหารตาม BS EN 602 [4]

ชนิดวัสดุ	ธาตุ	เกณฑ์กำหนด (%)
อะลูมิเนียม	Al	> 99
	Fe + Si	≤ 1.0
	Cu	≤ 0.1 (ถ้า Cr และ/หรือ Mn ≥ 0.05) ≤ 0.2 (ถ้า Cr < 0.05 และ Mn < 0.05)
	Cu, Mg, Mn, Ni, Zn, Ti	≤ 0.1 (แต่ละธาตุ)
อะลูมิเนียม	Al	ส่วนที่เหลือ
	โลหะผสม	สูงสุด 13.5
	Fe	สูงสุด 2.0
	Cu	สูงสุด 0.6
	Mn	สูงสุด 4.0
	Mg	สูงสุด 11.0
	Cr	สูงสุด 0.35
	Ni	สูงสุด 3.0
	Zn	สูงสุด 0.25

สำหรับการศึกษาการละลายของโลหะต่าง ๆ จากกระทะไฟฟ้า ใช้ตัวแทนอาหาร 4 ประเภท ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน น้ำประปาเป็นตัวแทนกรณีข้อสงสัยของประชาชน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นตัวแทนอาหารประเภทน้ำซุ๊ป และสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นตัวแทนอาหารประเภทกรด โดยตัวแทนอาหารแต่ละชนิดต้มเดือดในกระทะไฟฟ้าตัวอย่างนาน 2 ชั่วโมง

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างกระทะไฟฟ้าประเภทอะลูมิเนียมจำนวน 13 ตัวอย่าง ประกอบด้วย

2.1.1 กระทะไฟฟ้าแบบ 1 จำนวน 9 ตัวอย่าง ผิวกระทะเป็นโลหะมันวาวสีเงิน ดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 ตัวอย่าง I1



รูปที่ 2 ตัวอย่าง Hd

2.1.2 กระทะไฟฟ้าแบบ 2 จำนวน 4 ตัวอย่าง ลักษณะผิวกระทะเป็นโลหะเคลือบด้วยฟิล์มสีดำ เมื่อทดสอบโครงสร้างทางเคมีของฟิล์มสีดำด้วยเครื่อง FT-IR พบว่ามีโครงสร้างใกล้เคียงกับสารประกอบ polytetrafluoroethylene ดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 ตัวอย่าง M1



รูปที่ 4 ตัวอย่าง O1

2.2 การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของส่วนกระทะ แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 วิธี ตามชนิดของธาตุ ได้แก่

2.2.1 การทดสอบหาปริมาณ เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส โครเมียม ทองแดง สังกะสี และแมกนีเซียมตามมาตรฐาน ASTM B 209-14 [5]

- เตรียมตัวอย่างโดยเจาะตัวอย่างหม้อให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำมาชั่งตัวอย่างละ 0.5 กรัม ย่อยสลายด้วยสารละลายกรดผสมไฮโดรคลอริกและไนตริก อัตราส่วน 1: 1 บนแท่นให้ความร้อนจนเป็นสารละลายใส และทดสอบด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)

2.2.2 การทดสอบปริมาณซิลิคอนโดยวิธีตกตะกอนเป็น silicic acid ตาม VOGEL's Textbook of Quantitative Chemical Analysis [6]

- นำตัวอย่างหม้อที่เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วชั่งตัวอย่างละ 0.5 กรัม ย่อยสลายด้วยสารละลายกรดผสมไฮโดรคลอริกและไนตริก อัตราส่วน 1: 1 บนแท่นให้ความร้อนจนเป็นสารละลายใส จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกแล้วนำมาระเหยแห้ง จากนั้นละลายตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง แล้วกรองเอาตะกอนมาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ แล้วเติมกรดไฮโดรฟลูออริกละลายจนตะกอนหมด แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ได้เป็นน้ำหนักของซิลิคอนที่หายไป แล้วคำนวณเป็นปริมาณซิลิคอน

2.3 การทดสอบปริมาณโลหะที่ละลายจากกระทะไฟฟ้า ได้แก่ อะลูมิเนียม เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส โครเมียม ทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม ตะกั่ว และแคดเมียม ในสภาวะต้มเดือดนาน 2 ชั่วโมง เมื่อใช้ตัวแทนอาหารประเภทต่าง ๆ ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน น้ำประปา สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1 และสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 0.5

2.3.1 ทำความสะอาดตัวอย่างด้วยสารละลายดีเทอร์เจนต์ร้อน เพื่อกำจัดคราบสิ่งสกปรกและไขมัน จากนั้นล้างออกด้วยน้ำประปา และน้ำปราศจากไอออน

2.3.2 ต้มเดือดสารละลายตัวแทนอาหารแต่ละประเภทนาน 2 ชั่วโมง ในตัวอย่างกระทะไฟฟ้า โดยมีลำดับการต้มดังนี้ น้ำปราศจากไอออน น้ำประปา สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายกรดซิตริก ทั้งนี้หลังจากการต้มสารละลายตัวแทนอาหารแต่ละชนิด กระทะตัวอย่างต้องนำมาทำความสะอาดตามข้อ 2.3.1

2.3.3 นำสารละลายตัวแทนอาหารแต่ละประเภท มาย่อยสลายด้วยสารละลายกรดผสมไฮโดรคลอริกและไนตริก อัตราส่วน 1: 1 บนแท่นให้ความร้อนจนเป็นสารละลายใส

2.3.4 ทดสอบปริมาณโลหะในสารละลายตัวอย่าง ตามข้อ 2.2.1 โดยใช้วิธี Calibration method สร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ และใช้สารละลายอิตเทรียม (Yttrium, Y) ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารละลาย Internal standard

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของส่วนกระทะ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของส่วนกระทะและเกณฑ์กำหนดของแต่ละธาตุตาม BS EN 602

ประเภท	ชื่อตัวอย่าง	Al %	Si %	Fe %	Cu %	Mg %	Mn %	Ni %	Pb** %	Zn %	Cr %	Cd* mg/kg
กระทะไฟฟ้าแบบ 1	Ha1	97.3	1.4 ± 0.13	0.64 ± 0.02	0.44 ± 0.01	0.01 ± 0.001	0.13 ± 0.001	0.02 ± 0.001	0.02 ± 0.0004	0.01 ± 0.007	0.003 ± 0.001	ไม่พบ
	Ha2	96.8	1.6 ± 0.04	0.71 ± 0.01	0.45 ± 0.02	0.09 ± 0.001	0.13 ± 0.001	0.02 ± 0.001	0.01 ± 0.0004	0.13 ± 0.001	0.04 ± 0.001	ไม่พบ
	Ha3	96.5	1.7 ± 0.03	0.49 ± 0.01	0.49 ± 0.02	0.10 ± 0.001	0.08 ± 0.001	0.03 ± 0.001	0.16 ± 0.001	0.47 ± 0.004	0.01 ± 0.001	ไม่พบ
	I1	96.9	1.6 ± 0.10	0.54 ± 0.001	0.44 ± 0.01	0.07 ± 0.002	0.09 ± 0.002	0.03 ± 0.001	0.03 ± 0.001	0.28 ± 0.002	0.02 ± 0.001	ไม่พบ
	I2	96.9	1.6 ± 0.13	0.46 ± 0.004	0.50 ± 0.02	0.11 ± 0.002	0.08 ± 0.001	0.04 ± 0.001	0.03 ± 0.001	0.31 ± 0.002	0.01 ± 0.0003	ไม่พบ
	I3	96.6	1.5 ± 0.03	0.51 ± 0.01	0.49 ± 0.01	0.11 ± 0.006	0.09 ± 0.001	0.04 ± 0.001	0.02 ± 0.001	0.51 ± 0.002	0.09 ± 0.001	ไม่พบ
	IM1	97.0	1.5 ± 0.01	0.80 ± 0.01	0.39 ± 0.01	0.05 ± 0.001	0.10 ± 0.001	0.01 ± 0.001	0.01 ± 0.0003	0.10 ± 0.001	0.03 ± 0.001	ไม่พบ
	IM2	97.0	1.5 ± 0.03	0.82 ± 0.01	0.40 ± 0.01	0.05 ± 0.003	0.10 ± 0.003	0.01 ± 0.001	0.01 ± 0.0005	0.10 ± 0.004	0.04 ± 0.001	ไม่พบ
	HD	95.6	2.2 ± 0.03	0.61 ± 0.09	0.49 ± 0.03	0.08 ± 0.005	0.13 ± 0.002	0.03 ± 0.001	0.17 ± 0.001	0.69 ± 0.001	0.04 ± 0.001	ไม่พบ
กระทะไฟฟ้าแบบ 2	M1	98.6	0.12 ± 0.01	0.62 ± 0.09	0.04 ± 0.03	0.02 ± 0.001	0.60 ± 0.08	0.006 ± 0.001	0.001 ± 0.0003	0.02 ± 0.002	0.01 ± 0.001	ไม่พบ
	M2	98.6	0.15 ± 0.03	0.62 ± 0.02	0.03 ± 0.0001	0.01 ± 0.0004	0.60 ± 0.02	0.002 ± 0.001	ไม่พบ	0.02 ± 0.0001	0.01 ± 0.001	ไม่พบ
	O1	98.3	0.16 ± 0.02	0.48 ± 0.04	0.06 ± 0.001	0.13 ± 0.0005	0.81 ± 0.04	0.006 ± 0.001	0.002 ± 0.0002	0.03 ± 0.001	0.01 ± 0.0001	ไม่พบ
	O2	98.4	0.16 ± 0.01	0.48 ± 0.02	0.06 ± 0.001	0.13 ± 0.0001	0.79 ± 0.07	0.006 ± 0.001	0.003 ± 0.0001	0.003 ± 0.001	0.01 ± 0.0002	ไม่พบ
% ปริมาณสูงสุด		ส่วนที่เหลือ	13.5	2.0	0.6	11.0	4.0	3.0	-	0.25	0.35	-

หมายเหตุ จำนวนครั้งของการทดลอง n = 2

“ไม่พบ” หมายถึง มีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดการตรวจหา

* ขีดจำกัดการตรวจหาของแคดเมียม 0.2 มก./กก.

** ขีดจำกัดการตรวจหาของตะกั่ว 0.1 มก./กก.

จากผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของกระทะไฟฟ้าทั้งสองแบบเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดตาม BS EN 602 พบว่าวัสดุส่วนกระทะของกระทะไฟฟ้าทั้งสองแบบจัดเป็น อะลูมิเนียมโลหะผสม

กรณีตัวอย่างแบบ 1 พบปริมาณสังกะสีในตัวอย่าง Ha3 I1 I2 I3 และ HD ไม่ผ่านเกณฑ์กำหนด และพบตะกั่วในทุกตัวอย่าง โดยตัวอย่าง HD มีปริมาณตะกั่วสูงสุดเท่ากับ 0.17 % รองลงมาคือตัวอย่าง Ha3 เท่ากับ 0.16 % สำหรับตัวอย่างอื่น ๆ มีปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 0.01 – 0.03 %

กรณีตัวอย่างแบบ 2 ทุกตัวอย่างมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีผ่านเกณฑ์กำหนด และพบปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 0.001 – 0.003 % และทดสอบไม่พบตะกั่วในตัวอย่าง M2

3.2 ทดสอบปริมาณโลหะที่ละลายจากกระโหลกไฟฟ้าในตัวแทนอาหาร ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน น้ำประปา สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1 สารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุ (มก./ลิตร) ที่ละลายจากกระโหลกไฟฟ้าแบบที่ 1 เมื่อใช้ตัวแทนอาหารประเภทต่าง ๆ ที่สภาวะต้มเดือด นาน 2 ชั่วโมง

ธาตุ	Ha1				Ha2				Ha3			
	น้ำปราศจากไอออน	น้ำประปา	1% NaCl	0.5% citric acid	น้ำปราศจากไอออน	น้ำประปา	1% NaCl	0.5% citric acid	น้ำปราศจากไอออน	น้ำประปา	1% NaCl	0.5% citric acid
Al	ไม่พบ	24.8 ± 1.2	55 ± 1.6	113 ± 2.1	ไม่พบ	ไม่พบ	35 ± 1.5	65.1 ± 1.8	ไม่พบ	1.3 ± 0.7	33.8 ± 1.1	59.9 ± 2.1
Cd	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Cr	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Cu	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.008 ± 0.005	ไม่พบ
Fe	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	5.8 ± 1.2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	2.7 ± 0.15	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	3.8 ± 0.61
Mg	ไม่พบ	3.3 ± 1.0	ไม่พบ	1.1 ± 0.15	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.06 ± 0.19	ไม่พบ	7.3 ± 0.54	4.91 ± 0.52	2.7 ± 0.38
Mn	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.4 ± 0.04	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.18 ± 0.13	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.21 ± 0.10
Ni	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Pb	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.14 ±
Zn	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.40 ± 0.07	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.06 ± 0.05	ไม่พบ	1.1 ± 0.08	0.55 ± 0.12	0.80 ± 0.07
Al	ไม่พบ	46.1 ± 2.1	62.0 ± 1.9	177 ± 2.3	ไม่พบ	48 ± 2.2	59 ± 1.4	138 ± 2.5	1.3 ± 0.28	0.64 ± 0.04	33.3 ± 1.7	73.6 ± 2.3
Cd	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Cr	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Cu	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Fe	ไม่พบ	0.22 ± 0.07	3.0 ± 0.51	10.3 ± 0.69	0.09 ± 0.02	0.41 ± 0.05	2.5 ± 0.12	7.0 ± 1.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	5.9 ± 0.69
Mg	ไม่พบ	10.8 ± 0.50	1.0 ± 0.18	1.4 ± 0.14	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.56 ± 0.08	ไม่พบ	3.3 ± 0.42	1.04 ± 0.23	3.0 ± 0.42
Mn	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.52 ± 0.07	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.38 ± 0.02	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.31 ± 0.04
Ni	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Pb	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.54 ± 0.03	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.07 ± 0.01	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Zn	ไม่พบ	1.2 ± 0.21	ไม่พบ	1.3 ± 0.17	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.68 ± 0.03	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.74 ± 0.05

หมายเหตุ จำนวนครั้งของการทดลอง n = 2

“ไม่พบ” หมายถึง มีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดการตรวจหา

ขีดจำกัดการตรวจหา (มก./ลิตร) Al = 0.1, Cd = 0.001, Cr = 0.01, Cu = 0.01, Fe = 0.005, Mg = 0.01, Mn = 0.001, Ni = 0.05, Pb = 0.005, Zn = 0.005

ตารางที่ 4 ปริมาณโลหะ (มก./ลิตร) ที่ละลายจากกระทะไฟฟ้าแบบ 2 เมื่อใช้ตัวแทนอาหารประเภทต่าง ๆ ที่สภาวะต้มเดือด นาน 2 ชั่วโมง

ธาตุ	M1				M2				O1				O2			
	น้ำ ปราศจาก ไอออน	น้ำ ประปา	1% NaCl	0.5% citric acid	น้ำ ปราศจาก ไอออน	น้ำ ประปา	1% NaCl	0.5% citric acid	น้ำ ปราศจาก ไอออน	น้ำ ประปา	1% NaCl	0.5% citric acid	น้ำ ปราศจาก ไอออน	น้ำ ประปา	1% NaCl	0.5% citric acid
Al	ไม่พบ	0.37 ± 0.04	0.35 ± 0.07	0.56 ± 0.06	ไม่พบ	0.51 ± 0.05	ไม่พบ	0.14 ± 0.03	ไม่พบ	0.12 ± 0.04	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.10 ± 0.03	ไม่พบ	ไม่พบ
Cd	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Cr	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Cu	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Fe	ไม่พบ	0.24 ± 0.02	ไม่พบ	0.35 ± 0.04	ไม่พบ	0.56 ± 0.06	0.20 ± 0.01	0.48 ± 0.5	ไม่พบ	0.12 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.27 ± 0.02	ไม่พบ	0.12 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.21 ± 0.02
Mg	ไม่พบ	9.7 ± 0.9	1.2 ± 0.4	1.8 ± 0.3	ไม่พบ	5.0 ± 0.7	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	4.8 ± 0.4	0.31 ± 0.05	0.59 ± 0.08	ไม่พบ	5.2 ± 0.04	ไม่พบ	ไม่พบ
Mn	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.01 ± 0.004	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.01 ± 0.006	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Ni	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Pb	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Zn	ไม่พบ	0.62 ± 0.07	ไม่พบ	0.21 ± 0.03	ไม่พบ	0.16 ± 0.04	ไม่พบ	0.03 ± 0.006	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ จำนวนครั้งของการทดลอง n= 2

“ไม่พบ” หมายถึง มีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดการตรวจหา

ขีดจำกัดการตรวจหา (มก./ลิตร) Al = 0.1, Cd = 0.001, Cr = 0.01, Cu = 0.01, Fe = 0.005, Mg = 0.01, Mn = 0.001, Ni = 0.05, Pb = 0.005, Zn = 0.005

จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตัวอย่างกระทะไฟฟ้าแบบ 1 และแบบ 2 พบอะลูมิเนียม เหล็ก แมกนีเซียม แมงกานีส โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ละลายออกมาปนเปื้อนกับตัวแทนอาหารทั้ง 3 ประเภท คือ น้ำประปา สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายกรดซิตริก ขณะที่ไม่พบทุกธาตุเมื่อใช้น้ำปราศจากไอออน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของธาตุแต่ละชนิดที่ละลายจากตัวอย่างแบบ 1 และแบบ 2 พบว่าตัวอย่างแบบ 1 มีปริมาณสูงกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากผิวของกระทะแบบ 2 มีฟิล์มเคลือบอยู่จึงสามารถป้องกันการละลายของธาตุต่าง ๆ จากเนื้อของวัสดุได้ [3]

อะลูมิเนียม เป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุ จึงสามารถตรวจพบปริมาณอะลูมิเนียมที่สามารถละลายออกมาจากตัวอย่างทั้งแบบ 1 และแบบ 2 เมื่อใช้ตัวแทนอาหารทั้ง 3 ประเภท คือ น้ำประปา สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายกรดซิตริก โดยปริมาณอะลูมิเนียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ

เกณฑ์กำหนด Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) หรือปริมาณสารที่ร่างกายสามารถทนรับได้ต่อสัปดาห์แล้วไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ โดย WHO กำหนดให้ PTWI ของอะลูมิเนียมมีค่าเท่ากับ 2 มก./น้ำหนักตัว [7] ถ้าน้ำหนักตัวเท่ากับ 70 กก. นั่นคือใน 1 สัปดาห์จะสามารถรับปริมาณอะลูมิเนียมได้เท่ากับ 140 มก.หรือ 20 มก./วัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย หรือจาก Metals and alloys used in food contact materials and article. A practical guide for manufactures and regulators [8] กำหนด Specific released limit (SRL) ของอะลูมิเนียม เท่ากับ 5 มก./กก. (กรณีภาชนะที่สามารถเดิมตัวแทนอาหารได้ ใช้ปริมาตรของตัวแทนอาหาร 1 ลิตร เท่ากับน้ำหนักอาหาร 1 กก. เพื่อเปรียบเทียบได้) จากผลการทดสอบพบว่ากระทะไฟฟ้าแบบ 1 ทุกตัวอย่างมีปริมาณอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาในตัวแทน

อาหารทั้ง 3 ประเภท สูงกว่าเกณฑ์กำหนด ขณะที่กระทะไฟฟ้าแบบ 2 พบอะลูมิเนียมไม่เกินเกณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอะลูมิเนียมที่ละลายจากตัวอย่างกระทะไฟฟ้าทั้งสองประเภท พบว่าอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากกระทะ แบบ 1 มีปริมาณสูงกว่ากระทะแบบ 2 ประมาณ 300 เท่า (เปรียบเทียบอะลูมิเนียมปริมาณสูงสุดของกระทะแบบ 1 ตัวอย่าง I1 เท่ากับ 177 มก./ลิตร เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก และกระทะแบบ 2 ตัวอย่าง M1 เท่ากับ 0.56 มก./ลิตร เมื่อใช้ตัวแทนอาหารเดียวกัน)

สำหรับธาตุอื่นๆ ได้แก่ เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และแมกนีเซียม ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณสูงสุดของเหล็ก และสังกะสี เท่ากับ 10.3 และ 1.3 มก./ลิตร ตามลำดับ จากกระทะแบบ 1 ตัวอย่าง I1 และ ปริมาณสูงสุดของแมงกานีสเท่ากับ 0.77 มก./ลิตร จากกระทะแบบ 1 ตัวอย่าง HD อย่างไรก็ตามธาตุดังกล่าว มีปริมาณได้ไม่เกินเกณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนด SRL (เหล็ก เท่ากับ 40 มก./กก. สังกะสี เท่ากับ 5 มก./กก. และแมงกานีส เท่ากับ 1.8 มก./กก.) ขณะที่ตัวอย่างแบบ 2 มีปริมาณธาตุทั้ง 3 ชนิด ไม่เกินเกณฑ์กำหนดเช่นเดียวกัน กรณีแมกนีเซียมตาม practical guide ไม่มีการกำหนดค่า SRL เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นธาตุที่มีอยู่ทั่วไป ปริมาณแมกนีเซียมที่ละลายออกมาจากภาชนะ เมื่อเทียบกับที่มีในอาหารแล้วถือว่าน้อยมากจึงไม่จำเป็นต้องกำหนดค่าSRL

4. สรุป (Conclusion)

การประเมินคุณภาพของวัสดุส่วนกระทะ พบว่า ประมาณ 55 % (5 จาก 9 ตัวอย่าง) ตัวอย่างกระทะไฟฟ้าแบบ 1 ไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน BS EN 602 นอกจากนี้ยังพบปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 0.01 – 0.17 % ขณะที่กระทะไฟฟ้าแบบ 2 ผ่านเกณฑ์กำหนดทุกตัวอย่าง

การศึกษาการละลายของธาตุต่าง ๆ จากกระทะไฟฟ้าอะลูมิเนียมทั้ง 2 แบบ พบอะลูมิเนียม เหล็ก แมกนีเซียม แมงกานีส และสังกะสี ละลายออกมาปนเปื้อนกับตัวแทนอาหารทั้ง 3 ประเภท คือ น้ำประปา สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายกรดซิตริก โดยอะลูมิเนียมที่ละลายจากกระทะไฟฟ้าแบบ 1 ทุกตัวอย่างมีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์กำหนด ขณะที่กระทะไฟฟ้าแบบ 2 พบปริมาณธาตุต่าง ๆ ไม่เกินเกณฑ์ เนื่องจากมีฟิล์มเคลือบผิวซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการละลายออกมาของธาตุต่าง ๆ จากวัสดุ

ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษาครั้งนี้คือ มาตรฐานกระทะไฟฟ้าตามมอก.1509 – 2547 ที่ควบคุมความปลอดภัยเฉพาะด้านไฟฟ้าอาจยังไม่ครอบคลุมเพื่อสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมความปลอดภัยด้านเคมีของวัสดุที่ใช้โดยเฉพาะส่วนที่สัมผัสกับอาหารเพิ่มเติม

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ สํารวจและประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์สำหรับเด็กและเครื่องใช้ในครัวเรือนภายในประเทศ สนับสนุนโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก.1509-2547. มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทะไฟฟ้า.
- [2] ดวงมล เชาวันศรีหุต วรรณภา ตันยีนยงค์ และจิตติโล เวฬุวนารักษ์. เรื่องเล่าคนเข้าครัว: ภาชนะอะลูมิเนียมในบ้านเรา. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2556. 61(193), 14-17.
- [3] WEIDENHAMER JEFFREY D., et.al. Metal exposures from aluminium cookware: An unrecognized public health risk in developing countries, *Science of the Total Environment*. 2017, 579, 805-813.
- [4] BRITISH STANDARD INSTITUTION. BS EN 602, 2004. Aluminium and aluminium alloys - wrought products - chemical composition of semi-finished products used for the fabrication of articles for use in contact with foodstuff.
- [5] ASTM INTERNATIONAL. ASTM B209-14. Standard specification for aluminum and aluminum-alloy sheet and plate.
- [6] JEFFERY G.H., J. BASSETT, J. MENDHAM and R.C. DENNEY. Vogel's textbook of quantitative chemical analysis. 5th ed. New York : Wiley, 1989, pp. 486-490.
- [7] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Evaluations of the joint FAO/WHO Expert committee on food additives: Al [online]. [viewed 24 march 2017]. Available from: <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=298>
- [8] EUROPEAN DIRECTORATE FOR THE QUALITY OF MEDICINE & HEALTHCARE COUNCIL OF EUROPE. Metals and alloys used in food contact materials and article : A practical guide for manufactures and regulators. 2013.

ยางคอมปาวด์ที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก สำหรับทำความสะอาดแม่พิมพ์ยาง Natural rubber-based compound for rubber mold cleaning

8

กาจพันธ์ สกุลแก้ว¹, ประเสริฐ แซ่จู้¹
Kartpan Sakulkaew¹, Prasert Saeju^{1**}

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการทำผลิตภัณฑ์ยาง ในกระบวนการขึ้นรูปต้องใช้แม่พิมพ์ซึ่งเมื่อนำมาใช้งานเป็นระยะเวลาหนึ่งจะเกิดคราบสกปรกขึ้นที่พื้นผิว คราบสกปรกเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และต้นทุนในกระบวนการผลิต จึงจำเป็นต้องทำความสะอาดแม่พิมพ์ยาง ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การพ่นทราย การขัดด้วยแปรง การใช้คลื่นอัลตราโซนิก และการใช้น้ำยาเคมี เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีการทำความสะอาดแม่พิมพ์ด้วยเทคนิคดังกล่าว มีความยุ่งยาก เนื่องจากจะต้องถอดแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัดขึ้นรูป อีกทั้งยังมีความเสี่ยงในการทำให้เกิดความเสียหายกับแม่พิมพ์ได้ระหว่างการถอดประกอบ ติดตั้ง และการเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่ทำความสะอาด ในการศึกษาได้ศึกษาเทคนิคการทำความสะอาดแม่พิมพ์โดยไม่ต้องถอดแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัดขึ้นรูป โดยใช้ยางคอมปาวด์ที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก ร่วมกับสารทำความสะอาด พบว่าประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ นอกจากขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารทำความสะอาดในยางคอมปาวด์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น เช่น ชนิดของสารที่ทำให้ยางคงรูป ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการคงรูปด้วย

Abstract

In the rubber processing industry, forming requires the molds which always become fouled for a certain period of time. These stains affect the quality of the products and the manufacturing costs. Therefore, the mold cleaning process is required. A plethora of methods are employed; for example, sand blasting, wire brushing, ultrasonic cleaning, and chemical cleaning. However, all of the previously mentioned approaches lead to complications with regard to removal of the mold from the heating press of the molding machine. In addition, the mold surfaces are prone to damage during disassembly and transit to a specific area for cleaning. This study presents a technique for cleaning molds while they remain in the curing press using the natural rubber-based compound. The effect of different amounts of cleaning agent in the compound was investigated. Other than various loadings of cleaning agent, it is found that the effectiveness of the mold cleaning depends on several factors; for example, type of curing agent, curing time and temperature.

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ ความสกปรกที่พื้นผิวของแม่พิมพ์ ยางคอมปาวด์

Keywords: Natural rubber, Mold fouling, Rubber compound

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ยางเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือมีความยืดหยุ่นสูง สามารถยืดตัวได้หลายเท่าของความยาวเดิมโดยไม่ขาด รับและระบายพลังงานได้ดี ดังนั้นยางจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น การขนส่ง วิศวกรรม และการแพทย์ เป็นต้น ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เริ่มต้นจากการบดผสมยางดิบกับสารเคมียางชนิดต่างๆ เช่น สารกระตุ้นสารเร่ง ปฏิกิริยาโครงสร้าง (activator) สารเร่งปฏิกิริยาโครงสร้าง (accelerator) สารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agent) สารตัวเติม (filler) เป็นต้น ที่ได้จากการบดผสมกับสารเคมีเรียกว่า ยางคอมปาวด์ (compound rubber) ในการขึ้นรูปยางคอมปาวด์เป็นผลิตภัณฑ์ยางรูปแบบต่างๆ โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยใช้แม่พิมพ์ได้แก่ แม่พิมพ์แบบอัด แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด และแม่พิมพ์แบบฉีด (Vecchio 2003) Sommer และคณะ (1976) พบว่าแม่พิมพ์ยางเมื่อนำไปใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ในแต่ละครั้ง คราบสกปรกจะค่อยๆ ก่อตัวขึ้นที่พื้นผิวหน้าของแม่พิมพ์ ด้านที่สัมผัสกับยาง จนกระทั่งถึงความหนาในระดับหนึ่ง ถ้าหากว่านำแม่พิมพ์นี้ไปใช้อีกจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งปรากฏการณ์ที่ความสกปรก ก่อตัวขึ้นที่พื้นผิวหน้าของแม่พิมพ์และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการใช้งานของแม่พิมพ์เรียกว่า mold fouling นอกจากนั้น Sommer และคณะ (1976) ยังชี้ให้เห็นว่า มีปัจจัยหลายประการที่ทำให้เกิด mold fouling ได้แก่

- ชนิดของยางที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักในสูตรของยางคอมปาวด์ เช่น ยางคอมปาวด์ที่มียางธรรมชาติ หรือ ยาง SBR เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อนำยางคอมปาวด์เหล่านี้มาขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) เกิดเป็นแผ่นฟิล์มยึดเกาะที่พื้นผิวหน้าของแม่พิมพ์

- ชนิดของสารตัวเติม เช่น แคลเซียมซิลิเกต และ ซิลิกาชนิดตกตะกอน

- สารเคมีช่วยหล่อลื่นแม่พิมพ์ (mold-release agent)

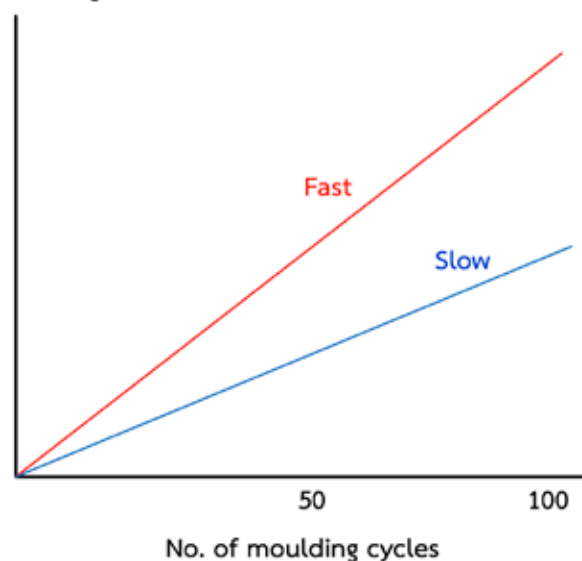
- คุณภาพของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

Menges และ Benfer (1988) ศึกษา mold fouling ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ยางคอมปาวด์ที่มียาง NBR เป็นองค์ประกอบหลัก และสารตัวเติมได้แก่ คาร์บอนแบล็ก จำนวน 50 phr และ เกลิน (kaolin) จำนวน 30 phr ขึ้นรูปยางคอมปาวด์ด้วยแม่พิมพ์แบบฉีด พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง mold fouling กับจำนวนครั้งที่แม่พิมพ์ ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการฉีดยางเข้าแม่พิมพ์ (ภาพที่ 1) และขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้งานของแม่พิมพ์ (ภาพที่ 2) และจากการวิเคราะห์พื้นผิวของแม่พิมพ์ด้วยเทคนิค electron probe micro-analysis พบว่า คราบสกปรกที่ติดเกาะอยู่บนพื้นผิวของแม่พิมพ์ประกอบด้วยธาตุหลัก ซิลิกอน อะลูมิเนียม กำมะถัน และ สังกะสี มีนัยสำคัญว่าธาตุที่พบเหล่านี้เกิดมาจากการสีก้อนของแม่พิมพ์ (ธาตุหลัก) จากยางคอมปาวด์ (ธาตุสังกะสี และธาตุกำมะถัน) และจากสารตัวเติมเกลิน (ธาตุซิลิกอนและธาตุอะลูมิเนียม) และ Baarle (2004) ศึกษาวิเคราะห์พื้นผิวของแม่พิมพ์ด้วย optical microscope กำลังขยาย 1000 เท่า และ Rontgen microanalysis (RMA) พบว่าคราบสกปรกที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของแม่พิมพ์เนื่องจากการใช้กำมะถันเป็นสารทำให้ยางคงรูป และใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นสารช่วยเร่งปฏิกิริยาโครงสร้างในยางคอมปาวด์ เกิดจากผลึกของซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) และได้เสนอกลไกการเกิดซิงค์ซัลไฟด์ ดังนี้



จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว พบว่าการเกิด mold fouling มีปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของยาง และชนิดของสารตัวเติมในสูตรยางคอมปาวด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ และค่าพารามิเตอร์สำหรับเครื่องขึ้นรูปยาง เป็นต้น

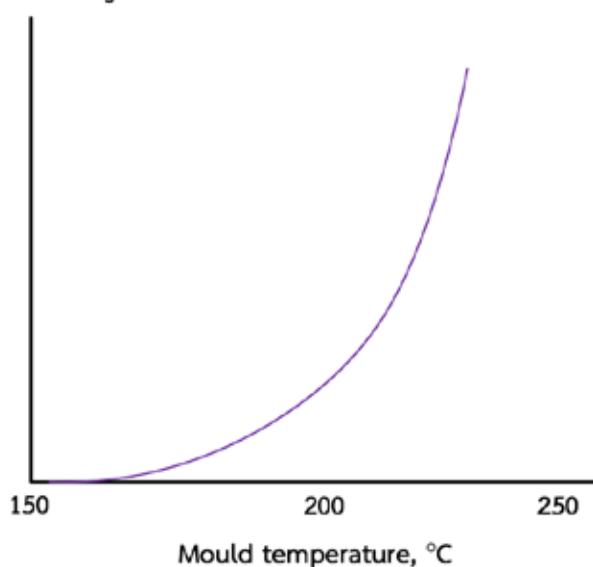
Mould fouling



รูปที่ 1: ความสัมพันธ์ระหว่าง mold fouling กับจำนวนครั้งในการใช้แม่พิมพ์ ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการฉีดยางเข้าแม่พิมพ์ (Menges และ Benfer 1998)

การทำความสะอาดพื้นผิวของแม่พิมพ์เพื่อกำจัดคราบสกปรก มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การพ่นทราย (sand blasting) การใช้คลื่นอัลตราโซนิก การใช้น้ำยาเคมี การใช้ fluidized bath เป็นต้น Sommer และคณะ (1976) ชี้ให้เห็นว่าการทำความสะอาดแม่พิมพ์ยางด้วยวิธีดังกล่าวจำเป็นต้องถอด และเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ออกจากเครื่องขึ้นรูป ซึ่งมีความเสี่ยงในการทำให้เกิดความเสียหายแก่แม่พิมพ์ ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและต้นทุนในกระบวนการผลิต พวกเขาจึงได้เสนอแนวความคิดใหม่ในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่เรียกว่า in-place cleaning โดยใช้ยางคอมปาวด์ที่มียาง EPDM เป็นองค์ประกอบหลัก และ aminohydroxy additive เพื่อทำความสะอาดแม่พิมพ์ขณะติดตั้งอยู่กับเครื่องอัดขึ้นรูป

Mould fouling



รูปที่ 2: ความสัมพันธ์ระหว่าง mold fouling กับอุณหภูมิที่ใช้งานของแม่พิมพ์ (Menges และ Benfer 1998)

ปัจจุบันแม้ว่าได้มีการผลิตยางคอมปาวด์สำหรับทำความสะอาดแม่พิมพ์ในเชิงพาณิชย์แล้วโดยใช้แนวคิดของ Sommer และคณะ ซึ่งมีอยู่หลายยี่ห้อ เช่น STRUKTOL MC-A, STRUKTOL MC-B, GLO-MOLD และ MoKlean เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ล้วนแต่ใช้ยางสังเคราะห์เป็นองค์ประกอบหลักในสูตรของยางคอมปาวด์ ซึ่งมีราคาสูง ส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น จึงเป็นไปได้ที่จะนำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นยางคอมปาวด์สำหรับทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อส่งเสริมการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศให้มากขึ้น และช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยางพาราด้วย ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้อย่างสูตรต่างๆ ดังตารางที่ 1 และแม่พิมพ์ทำด้วยเหล็กเกรด P20 ซึ่งเป็นเหล็กเกรดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาง

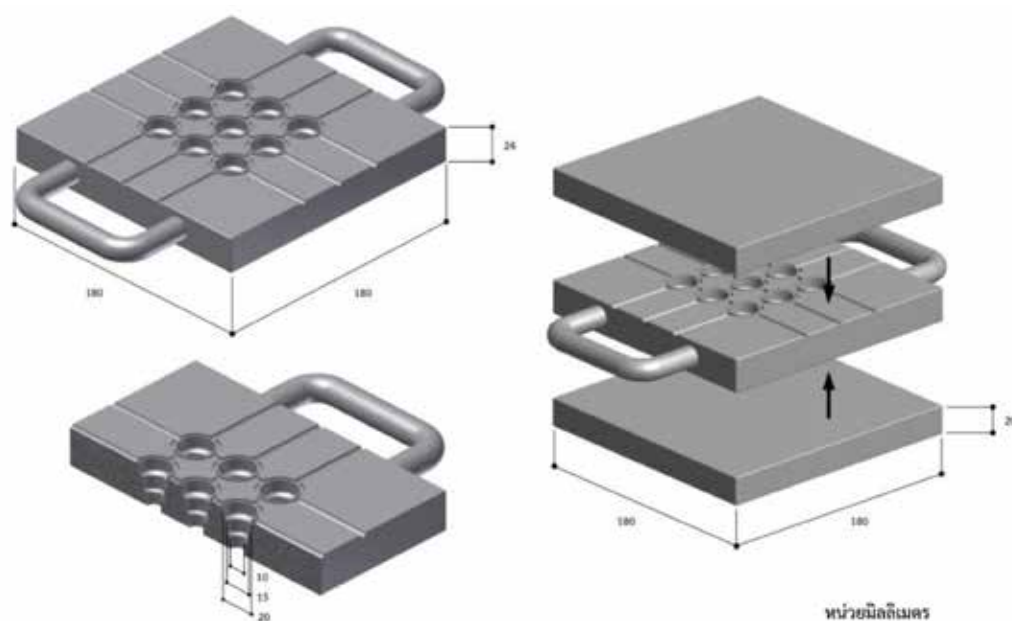
2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ยางและสารเคมี

- 2.1.1 ยางธรรมชาติ: STR 5L และยางแผ่นรมควันชั้น 3
- 2.1.2 สารตัวเติม: ซิลิกา (Hsil 233)
- 2.1.3 สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาคงรูป: ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) และกรดสเตียริก (stearic acid)
- 2.1.4 สารเร่งปฏิกิริยาคงรูป: บิวทิลเบนโซไทอะโซลซัลฟิไนด์ (N-tert.butyl-2-benzothiazole sulfenamide, TBBS)
- 2.1.5 สารช่วยในกระบวนการผลิต (processing aid): Polyethylene glycol 600 (PEG 600)
- 2.1.6 สาร cleaning agent: Monoethanolamine (MEA)
- 2.1.7 สารทำให้ยางคงรูป: กำมะถัน และ Dicumyl peroxide (DCP)
- 2.1.8 สารป้องกันยางเสื่อม: N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine (6PPD)

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.2.1 แม่พิมพ์ทำด้วยเหล็กชนิด P20 (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการศึกษาทดลองทำด้วยเหล็ก P20 ขนาด 9 หลุม

- 2.2.2 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mil) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร ความยาว 260 มิลลิเมตร ความจุ ประมาณ 0.4 กิโลกรัม
- 2.2.3 เครื่องอัดขึ้นรูป (compression molding machine) ขนาด 150 ตัน
- 2.2.4 เครื่องชั่ง มีความละเอียดในการอ่านค่า 0.01 กรัม
- 2.2.5 เครื่องหาอุณหภูมิและเวลาคงรูป Moving Die Rheometer (MDR) ของ Tech Pro รุ่น 11T202

ตารางที่ 1 สูตรของยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบ	ปริมาณยางและสารเคมียางที่ใช้ (phr = ส่วนใน 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก)						
	A	B	C	D	E	F	G
ยางธรรมชาติ STR 5L	100	100	100	100	100	100	-
ยางธรรมชาติ (ยางแผ่นรมควันชั้น 3)	-	-	-	-	-	-	100
ซิลิกา (Hisil 233)	30	30	30	30	30	30	-
ซิงค์ออกไซด์	3	3	3	3	3	3	15
กรดสเตียริก	2	2	2	2	2	2	10
PEG 600	15	15	15	15	15	15	-
MEA	5	10	15	5	10	15	-
TBBS	2	2	2	-	-	-	0.5
กำมะถัน	0.5	0.5	0.5	-	-	-	7.5
DCP	-	-	-	2	2	2	-
6PPD	-	-	-	-	-	-	3
Cure time (min)/temp (°C)	5/150	6/150	9/150	5/150	5/150	5/150	12/160

หมายเหตุ : 1. Cure time (min)/temp (°C) หมายถึง ระยะเวลาคงรูป (นาที่) ที่อุณหภูมิที่กำหนด เช่น 5/150 หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป 5 นาที่ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นต้น

2. ยางสูตร G คือ สูตรยางที่ทำให้แม่พิมพ์เกิดคราบสกปรก ใช้ระยะเวลาในการคงรูปนานและอุณหภูมิสูงกว่ากว่าสูตรอื่นๆ เนื่องจากต้องการให้ยางเกิดปฏิกิริยากับพื้นผิวของแม่พิมพ์นานขึ้น และเกิดคราบสกปรกที่สามารถควบคุมได้

2.3 การบดผสมยางกับสารเคมี

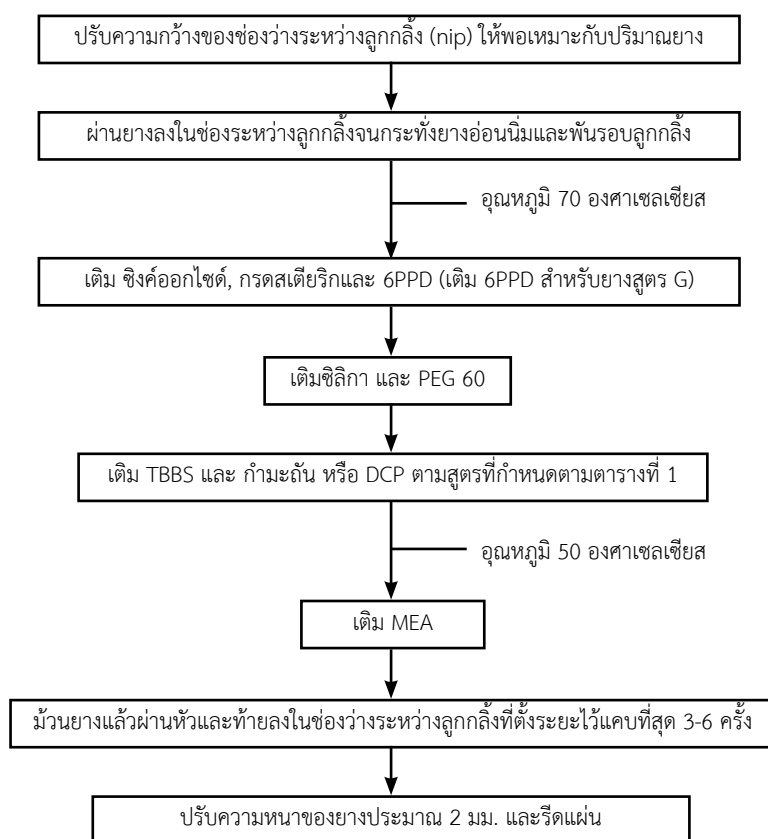
- ชั่งน้ำหนักยางดิบและสารตัวเติม ให้มีความละเอียด ± 1 กรัม
- ชั่งน้ำหนักสารเคมียาง ให้มีความละเอียด 0.1 กรัม
- ปรับอุณหภูมิของลูกกลิ้งของเครื่องบดผสมยางให้มีอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส แล้วบดยางให้ نرم จนกระทั่งยางพันรองลูกกลิ้งอย่างสม่ำเสมอ

ไม่มี ช่องว่าง และรอยขาดที่ผิวหน้าของยาง

- เติมซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริก (และสารป้องกันยางเสื่อมสำหรับยางสูตร G ในตารางที่ 1) ลงไปบดผสมจนเป็นเนื้อเดียวกับยางใช้เวลาประมาณ 3 นาที เติมสารตัวเติม ซิลิกา สลับกับ PEG 60 บดผสมประมาณ 5 นาที จากนั้นเติม TBBS ลงไป บดผสมประมาณ 2 นาที เติมกำมะถันหรือ DCP (ตามสูตรที่กำหนดในตารางที่ 1) แล้วปรับอุณหภูมิของยางที่พันอยู่รอบลูกกลิ้งให้มีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส แล้วเติม สาร MEA ลงไป บดผสมประมาณ 2 นาที ภายหลัง จากนั้นรีดยางเป็นแผ่น ให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร สำหรับนำไปทดสอบการคงรูป

- นำยางคอมปาวด์มาพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำยางคอมปาวด์น้ำหนักประมาณ 7 กรัม ไปทดสอบสมบัติการคงรูป ด้วยเครื่องหาอุณหภูมิและเวลาคงรูป Moving Die Rheometer (MDR) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และ 160 องศาเซลเซียส สำหรับยางสูตร G เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการคงรูป t_{90}

ขั้นตอนการบดผสมยางกับสารเคมี แสดงในรูปที่ 4

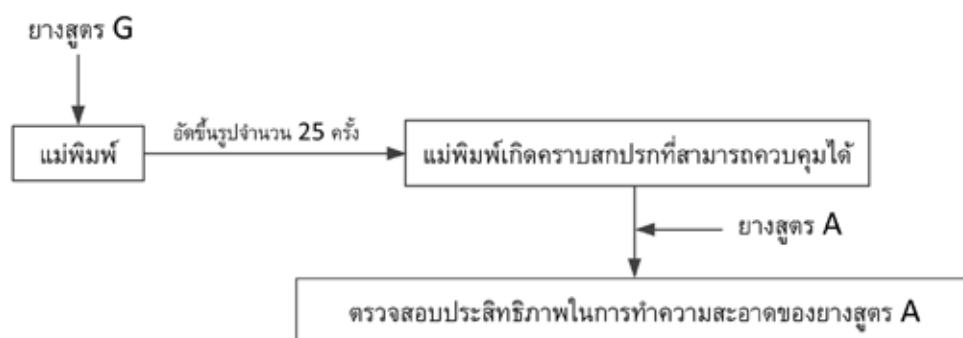


รูปที่ 4 ขั้นตอนการบดผสมยางกับสารเคมี

2.4 การขึ้นรูปและทำให้ยางคงรูป

นำยางคอมปาวด์ สูตร G ประมาณ 7 กรัม มาใส่ในแม่พิมพ์ที่ (รูปที่ 3) และนำไปทำให้คงรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่ระยะเวลาและอุณหภูมิที่กำหนดในตารางที่ 1 โดยทำการอัดขึ้นรูปจำนวน 25 ครั้ง เมื่อได้ครบสกรปรกตามที่กำหนดแล้ว นำยางสูตรทดลองต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 สูตรละประมาณ 7 กรัม มาศึกษาทดลอง ซึ่งขั้นตอนการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5

พื้นผิวของแม่พิมพ์ตรวจสอบโดยใช้กล้องถ่ายภาพ ที่มีกำลังขยายประมาณ 1.7 เท่า ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้สามารถเห็นความแตกต่างของสกรปรกที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

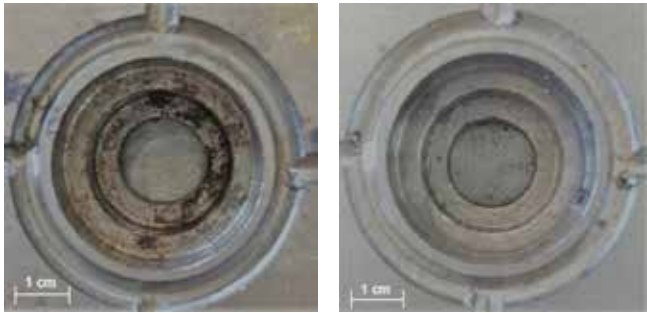


(หมายเหตุ ยางคอมปาวด์ทำความสะอาดแม่พิมพ์สูตรอื่นๆ ที่ใช้ในการทดลองใช้แนวทางการทดลองเช่นเดียวกับยางคอมปาวด์ตัวอย่างข้างต้น)

รูปที่ 5 ลำดับขั้นตอนในการขึ้นรูปยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

สูตรยางที่ใช้ในการศึกษาทดลองมีทั้งหมด 7 สูตร (ตารางที่ 1) โดยใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลัก สูตร A-F เป็นสูตรยางสำหรับทำความสะอาดแม่พิมพ์ สูตร G เป็นสูตรยางที่ใช้เกิดคราบสกปรกที่ผิวของแม่พิมพ์ที่สามารถควบคุมได้ โดยเพิ่มปริมาณของ ZnO เป็นจำนวน 5 เท่าจากสูตรยางปกติ (3 phr) และเพิ่มปริมาณกำมะถันเป็น 3 เท่าจากสูตรปกติ (2.5 phr) การใช้ปริมาณของสารเคมีที่เพิ่มขึ้นมากกว่าปกติทำให้เวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดคราบสกปรกที่ผิวของแม่พิมพ์เร็วขึ้นโดยคราบสกปรกที่ผิวของแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 เปรียบเทียบผลของยางสูตร G ที่ทำให้เกิดคราบสกปรกที่ผิวของแม่พิมพ์ (ก) ก่อนอัดขึ้นรูป (ข) ภายหลังจากการอัดขึ้นรูปจำนวน 25 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที

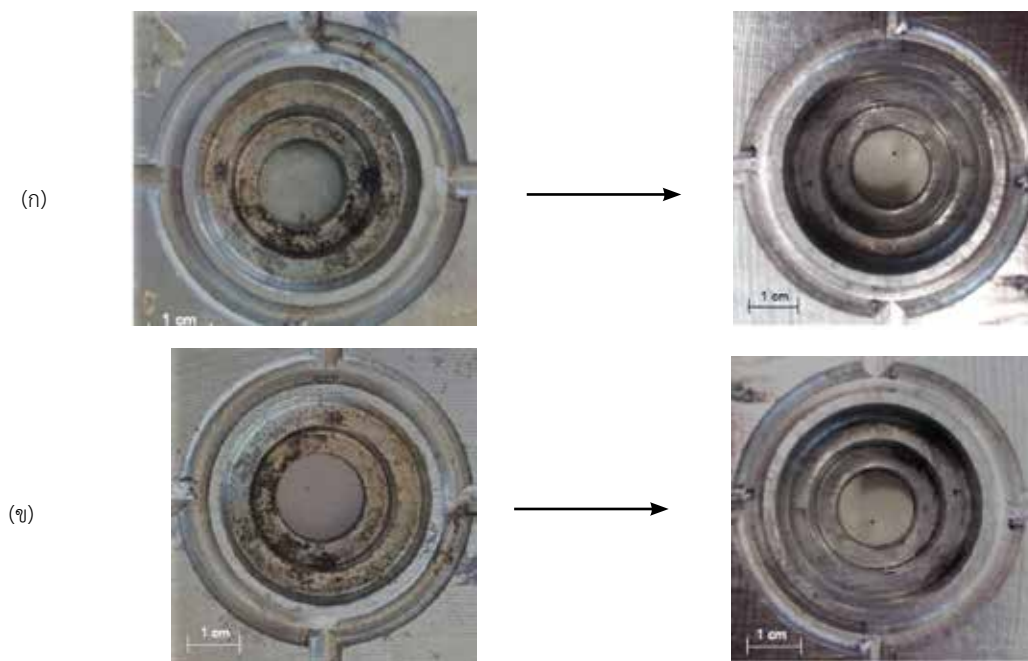
ผลการนำแม่พิมพ์ที่มีคราบสกปรกมาทำความสะอาด ด้วยสูตรยางทำความสะอาดแม่พิมพ์จำนวน 6 สูตร พบว่า

- ยางสูตร A B และ C เป็นสูตรยางทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่ใช้ระบบการคงรูปแบบกึ่งประสิทธิภาพ(semi-efficient vulcanization) โดยใช้อัตราส่วนของปริมาณกำมะถันต่อสารเร่งปฏิกิริยาตรงกับ 0.25 เพื่อให้ยางคงรูปที่ได้มีความทนต่อความร้อน และมีความทนต่อการฉีกขาดได้ดี ในการทดลองได้ปรับ

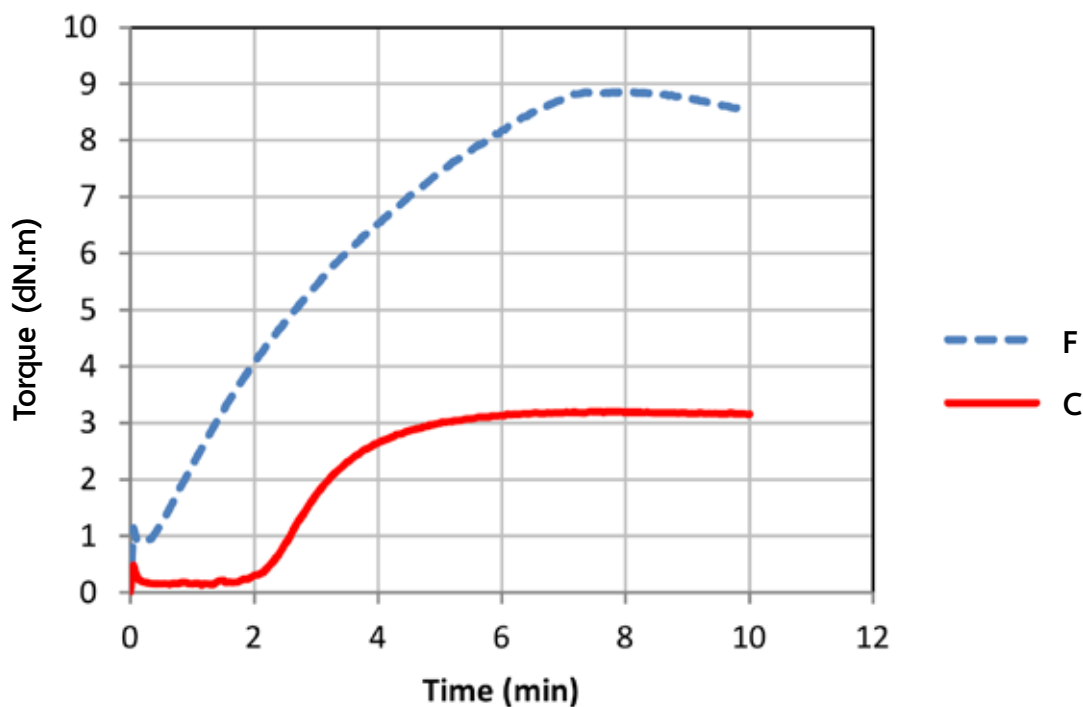
เปลี่ยนปริมาณของสารทำความสะอาด MEA ตั้งแต่ 5 phr 10 phr และ 15 phr ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ MEA ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดพื้นผิวของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น โดยยางสูตร C มีประสิทธิภาพดีกว่าสูตร B และ A ตามลำดับ (เมื่อใช้จำนวนครั้งในการทำความสะอาดที่เท่ากัน)

- ยางสูตร D และ F เป็นสูตรยางทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่ใช้สารเปอร์ออกไซด์เป็นสารวัลคาไนซ์ ทั้งสามสูตรใช้ปริมาณของเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1.0 phr และได้ปรับเปลี่ยนปริมาณของ MEA ตั้งแต่ 5 phr 10 phr และ 15 phr ผลที่ได้จากการทดลองให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน นั่นคือในระบบวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดพื้นผิวของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ MEA ที่เพิ่มขึ้น โดยยางสูตร F มีประสิทธิภาพดีกว่ายางสูตร E และ D ตามลำดับ

ดังนั้นระบบวัลคาไนซ์ทั้งสองระบบ สูตร A B และ C ใช้ระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันและสูตร D E และ F ใช้ระบบวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ ปริมาณของ MEA ที่ใช้มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ของยางที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ยางสูตร C และยางสูตร F พบว่ายางสูตร F มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดดีกว่ายางสูตร C เมื่อใช้จำนวนครั้งในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่เท่ากัน (รูปที่ 7) นอกจากนี้เมื่อศึกษาผลที่ได้จากการทดสอบลักษณะการคงรูปของยางทั้งสองสูตรด้วยเครื่อง cure meter พบว่าผลที่ได้ค่อนข้างแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 8) เมื่อเปรียบเทียบค่าทอร์กสูงสุดของยางทั้งสองสูตรพบว่า ยางสูตร C จะมีค่า ทอร์ก สูงสุดต่ำกว่ายางสูตร F ซึ่งเป็นไปได้ว่าระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันซึ่งเป็นระบบกึ่งประสิทธิภาพ และมี MEA อยู่ในสูตรของยางอาจจะส่งผลต่อระบบการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลของยาง ทำให้ความแข็งแรงของยางสูตร C มีค่าที่ต่ำกว่ายางสูตร F ซึ่งใช้ระบบวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการไหลของยางทั้งสองสูตร พบว่ายางสูตร C มีประสิทธิภาพในการไหลได้ดีกว่ายางสูตร F ซึ่งเป็นไปได้ว่าประสิทธิภาพในการไหลของยางอาจจะส่งผลต่อค่าทอร์กสูงสุดของยางในการฉีกขาดของการศึกษาทดลองครั้งนี้



รูปที่ 7 ผลที่ได้จากการทดลองในการใช้ยางทำความสะอาดแม่พิมพ์ จำนวน 5 ครั้ง (ก) ยางสูตร C (ข) ยางสูตร F



รูปที่ 8 เปรียบเทียบ curing curve ที่ 150 องศาเซลเซียส ของยางสูตร C และสูตร F

4. สรุป (Conclusion)

ปริมาณของ MEA ที่ใช้ในสูตรของยางทำความสะอาดแม่พิมพ์ด้วยยางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดพื้นผิวแม่พิมพ์ เมื่อใช้ปริมาณของ MEA ที่ 15 phr จะให้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดพื้นผิวแม่พิมพ์ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่ 5 phr และ 10 phr ตามลำดับ สำหรับระบบคงรูปในสูตรของยาง สูตรยางที่ใช้ระบบคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ ให้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดพื้นผิวแม่พิมพ์ได้ดีกว่าสูตรยางที่ใช้ระบบคงรูปด้วยกำมะถันนอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบ ได้แก่ ชนิดและปริมาณของคราบสกปรกที่เกิดขึ้น รวมทั้งจำนวนครั้งในการทำความสะอาดด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ คุณสายัณห์ สุกพงษ์พันธ์ กองวัสดุวิศวกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นที่ปรึกษาและออกแบบแม่พิมพ์สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] VECCHIO, R.J.D. Molding. In: VECCHIO, R.J.D., ed. *Fundamentals of Rubber Technology*. Akron : Technical Consulting Services. 2003, pp. 129-150.
- [2] SOMMER, J.G., H.N. GROVER and P.SUMAN. In-place cleaning of rubber curing molds. *Rubber Chem. Technol.* 1976, 49(5), 1129-1141.
- [3] MENGES, G. and W. BENFER. Mould fouling in injection moulding of elastomers. *Int. J. Polym. Sci. Technol.* 1988, 11, T/1-T/7.
- [4] BAARLE, B.V. Mold fouling during rubber vulcanization. *Rubber World*. 2004, 38, 25-29.

การพัฒนาแผ่นรองเผาจากวัสดุเหลือทิ้ง A Development of kiln shelf for firing ceramic from waste

วรรณดา ต.แสงจันทร์^{1*}, ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ¹, จุติภา บุญวิเศษ¹, สุทธิมา ศรีประเสริฐสุข¹
Wanna T.sangchantara^{1*}, Sansanee Rugthaicharoencheep¹, Jutipa Boonwiset¹, Sutthima Sriprasertsuk¹

บทคัดย่อ

เถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานน้ำตาล เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมี SiO_2 สูง และมี Al_2O_3 จึงนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นแทนดิน และอะลูมินา เพื่อทำแผ่นรองเผา โดยการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากส่วนผสมของเถ้าชานอ้อย ดินขาว อะลูมินา และแมกนีไซต์ เผาที่อุณหภูมิ 1250°C และ 1300 °C จากนั้นคัดเลือกสูตรที่เกิดคอร์เดียไรต์สูงสุด และไม่มีเฟสอื่นปนมา นำมาเตรียมชิ้นงาน โดยใช้ผงถ่าน ขนาดหยาบ (-35+50 เมช) หรือขนาดละเอียด (-200+325 เมช) เป็นตัวช่วยให้เกิดความพรุนในตัวในสัดส่วน 5 10 และ 15 ตามลำดับ บดส่วนผสมให้เข้ากัน เตรียมเป็นแกรนูลขนาด -35+50 เมช ขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ใช้แรงอัด 50 kg/cm² และ 180 kg/cm² เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1250°C พบว่าสูตรที่มีเถ้าชานอ้อยร้อยละ 46 ดินขาวร้อยละ 11 อะลูมินาร้อยละ 14 และแมกนีไซต์ร้อยละ 29 ผงถ่านละเอียด 10 ส่วน ใช้แรงอัด 50 kg/cm² ให้ค่าความหนาแน่นบัลค์ 1.94 g/cm³ รูพรุนปรากฏ ร้อยละ 29.9 ความแข็งแรง 22.2 MPa และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน 4.09 x10⁻⁶/°C ตามลำดับ จึงได้เลือกไปทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และนำไปทดสอบสมบัติเปรียบเทียบกับแผ่นรองเผาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด 3 ยี่ห้อ พบว่าแผ่นรองเผาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด มีค่าความหนาแน่นระหว่าง 1.84-2.20 g/cm³ ความพรุนตัวระหว่างร้อยละ 20.0-27.0 ความแข็งแรงระหว่าง 10.7-15.0 MPa และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน ระหว่าง 2.50-3.63 x10⁻⁶/°C

Abstract

Bagasse ash is waste material from sugar production. Bagasse ash is high in SiO_2 and some Al_2O_3 ; therefore it is used as starting material substitute for clay and alumina to produce ceramic kiln shelves. By synthesize cordierite from composition of bagasse ash, kaolin, alumina, and magnesite and fired at 1250 °C and 1300 °C. Then the composition exhibit the strongest cordierite and no other phase was selected to make the test samples. The 5, 10, and 15 portion of fine (-200+325 mesh) or course (-35+50 mesh) charcoal powder is added to the mixture to create pores in the final product. The mixture is then granulated size -35+50 mesh, and hydraulic pressed using 50 kg/cm² and 180 kg/cm² pressure. Green products are fired in electric kiln at temperature 1250°C. The results show that the formula with 46% ash, 11% kaolin, 14% alumina, 29% magnesite, and 10 portion of fine charcoal powder using 50 kg/cm² pressure exhibit 1.94 g/cm³ bulk density, 29.9% apparent porosity 22.2MPa MOR and 4.09 x10⁻⁶/°C COE. The pototype kiln shelf were prepared and tested the properties to compare with the commercial kiln shelves 3 brands. The properties of the commercial kiln shelves show 1.84-2.20 g/cm³ bulk density , 20.0-27.0 % apparent porosity , 10.7-15.0 MPa MOR and 2.50-3.63 x10⁻⁶/°C COE.

คำสำคัญ: เถ้าชานอ้อย, คอร์เดียไรต์, แผ่นรองเผา

Keywords: Bagasse ash, Cordierite, Kiln shelf

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

เถ้าขานอ้อยเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเผาไหม้ขานอ้อยหลังจากหีบน้ำอ้อย เพื่อผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงานของอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งในแต่ละปีจะมีเถ้าเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ประมาณ 500,000 ตันต่อปี จึงต้องใช้พื้นที่ในการจัดทิ้งเป็นบริเวณกว้าง ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการนำเถ้าขานอ้อยของโรงงานน้ำตาลมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า เถ้าขานอ้อยมีปริมาณ SiO_2 สูง นอกจากนั้นยังพบ Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , CaO , MgO , P_2O_5 และ Na_2O ตามลำดับ มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 1-20 ไมครอนเมื่อบดละเอียด

มีงานวิจัยศึกษาการนำเถ้าขานอ้อยไปใช้ประโยชน์เพื่อลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเถ้าขานอ้อยไปใช้ในงานวัสดุก่อสร้าง เช่น นำเถ้าขานอ้อยไปใช้ทดแทนควอตซ์ [1] และทดแทนดิน [2] ในการทำอิฐ และนำเถ้าขานอ้อยไปผสมกับดินเพื่อทำกระเบื้องหลังคา [3] นอกจากนั้นมีการนำเถ้าขานอ้อยไปสังเคราะห์เป็นคอร์เดียไรต์ [4] อีกด้วย

คอร์เดียไรต์เป็นสารประกอบของแมกนีเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกต มีสูตรเคมี คือ $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ซึ่งเกิดในธรรมชาติมีน้อยมาก แต่สามารถสังเคราะห์ได้จากแร่หรือวัตถุดิบที่มี MgO , Al_2O_3 และ SiO_2 เป็นองค์ประกอบ คอร์เดียไรต์เป็นสารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ คือ อยู่ระหว่าง $1.5\text{--}4.0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ทำให้มีสมบัติทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดี จึงนิยมนำคอร์เดียไรต์ไปใช้งานในสภาวะที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่เสมอ เช่น อุปกรณ์ในเตาเผา (kiln furniture) ตัวกรองไอเสียในรถยนต์ (catalytic converter) และแผงวงจรไฟฟ้า (electronic panel) เป็นต้น

อุปกรณ์ในเตาเผาเป็นวัสดุทนไฟ เช่น แผ่นรองเผา (shelf) ขาตั้ง (post) แซกเกอร์ (sagger) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวางชิ้นงานเซรามิกภายในเตาเผา และสามารถเคลื่อนย้ายได้ อุปกรณ์ในเตาเผาที่ใช้อยู่ในปัจจุบันโดยเฉพาะแผ่นรองเผามีลักษณะเนื้อแน่น (dense) เพื่อช่วยในเรื่องความแข็งแรง การที่แผ่นรองเผามีมวลมาก ทำให้มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการเผาชิ้นงานเซรามิก การใช้แผ่นรองเผาที่มีเนื้อแน่นมากก็จะยังใช้พลังงานในการเผาไหม้ เพราะวัสดุดังกล่าวจะดูดซับความร้อนไว้ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อน [5] ดังนั้น การทำให้แผ่นรองเผามีลักษณะพรุนจะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ การทำเซรามิกพรุนสามารถทำได้หลายเทคนิค เช่น Replica technique Foaming technique และการเติมสารอินทรีย์ [6] มีการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์พรุนโดยใช้ Coal powder เป็นสารช่วยให้เกิดความพรุนตัว [7]

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นรองเผาจากเถ้าขานอ้อย เพื่อช่วยลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์ โดยศึกษาหาส่วนผสมและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคอร์เดียไรต์พรุนสำหรับใช้ทำแผ่นรองเผาเซรามิก

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัตถุดิบที่ใช้

- เถ้าขานอ้อย (Bagasse Ash) จากบริษัทเกษตรไทยอุตสาหกรรมน้ำตาล จำกัด
- แมกนีไซต์ (MgCO_3) จากบริษัทเซอร์นิคอนเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
- ดินขาว ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ชนิด cerafast จากบริษัทอินดัสเตรียลมีนเนอรัลดีเวลอปเมนต์ จำกัด
- อะลูมินา (Al_2O_3) ชนิด A31 จากบริษัทไนโซ จำกัด
- ผงถ่าน (Activated Carbon) จากบริษัทคาร์โบกายจูรี่ จำกัด

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง แสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

องค์ประกอบ (Composition) (%)	เถ้าขานอ้อย (Bagasse ash)	แมกนีไซต์ (Magnesite)	ดินขาว (Kaolin)	อะลูมินา (Alumina)
SiO_2	71.12	-	47.2	0.02
Al_2O_3	8.96	0.05	37.3	99.6
CaO	7.81	0.55	0.1	-
Fe_2O_3	4.73	0.05	1.0	0.02
K_2O	2.61	-	1.7	-
MgO	1.58	41.88	0.06	-
P_2O_5	1.06	-	0.06	-
TiO_2	0.67	-	-	-
Na_2O	0.43	-	0.4	0.30
SO_3	0.28	-	-	-
MnO	0.26	-	-	-
ZrO_2	0.05	-	-	-

ตารางที่ 1 (ต่อ)

BaO	0.03	-	-	-
L.O.I.	0.43	54.81	13.0	0.10

2.2 ส่วนผสมที่ใช้ในการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์

เลือกใช้สูตรส่วนผสมจากงานวิจัย การสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากเถ้าขานอ้อย [4] โดยมีสูตรส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 2 นำเถ้าขานอ้อยบดไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช ซึ่งวัตถุดิบและส่วนผสมด้วยโครงไฟฟ้าเป็นเวลา 30 นาที นำส่วนผสมใส่เบ้าอะลูมินา และเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1250°C และ 1300°C อัตราแรงไฟ 2.5°C ต่อนาที ยืนไฟ 60 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์เฟสที่ได้

ตารางที่ 2 สูตรส่วนผสมในการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์

สูตร	วัตถุดิบ (กรัม)			
	เถ้าขานอ้อย	แมกนีไซต์	ดินขาว	อะลูมินา
A	57	16	13	14
B	51	21	13	15
C	46	29	11	14
D	42	23	19	16
E	38	23	24	15
F	44	16	26	14
G	42	21	23	14
H	46	19	21	14

2.3 วิธีเตรียมชิ้นทดสอบ

เลือกสูตรที่เกิดคอร์เดียไรต์สูงสุด และไม่มี Spinel Quartz และ Cristobalite เกิดขึ้น และใช้ผงถ่าน 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดหยาบ(-35+50 เมช) หรือ ขนาดละเอียด(-200+325 เมช) เป็นตัวช่วยให้เกิดความพรุนตัวโดยเติมในสัดส่วน 5 10 และ 15 ตามลำดับ และใช้ PVA เป็นตัวประสานเพื่อเพิ่มความเหนียวในการขึ้นรูปชิ้นทดสอบ สูตรส่วนผสมแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งวัตถุดิบตามสูตรและส่วนผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นนำไปทำเป็นแกรนูลขนาด -35+50 เมช และขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบในแบบพิมพ์โลหะขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 30 x 130 x 10 mm³ ด้วยวิธีอัด โดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก ใช้แรงอัด 50 kg/cm² และ 180 kg/cm² สำหรับสูตรส่วนผสมที่ใช้ผงถ่านละเอียดเท่านั้น นำชิ้นทดสอบที่ขึ้นรูปและอบแห้งแล้วไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1250°C ด้วยอัตราแรงไฟ 2.5°C ต่อนาที ยืนไฟ 60 นาที

ตารางที่ 3 สูตรส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบ

สูตร	วัตถุดิบ (กรัม)							แรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป (kg/cm ²)
	เถ้าขานอ้อย	แมกนีไซต์	ดินขาว	อะลูมินา	PVA(ml)	ผงถ่านละเอียด	ผงถ่านหยาบ	
CL0	46	29	11	14	12	-	-	50
CRL1						-	5	50
CRL2						-	10	50
CRL3						-	15	50
CFL1						5	-	50
CFL2						10	-	50
CFL3						15	-	50
CH0						-	-	180
CFH1						5	-	180
CFH2						10	-	180
CFH3						15	-	180

โดย CL0 : สูตรที่ไม่มีผงถ่าน และใช้แรงอัด 50 kg/cm²
 CRL : สูตรที่มีการเติมผงถ่านขนาดหยาบ และอัดด้วยแรงอัด 50 kg/cm²
 CFL : สูตรที่มีการเติมผงถ่านขนาดละเอียด และอัดด้วยแรงอัด 50 kg/cm²
 CHO : สูตรที่ไม่มีผงถ่าน และใช้แรงอัด 180 kg/cm²
 และ CFH : สูตรที่มีการเติมผงถ่านขนาดละเอียด และอัดด้วยแรงอัด 180 kg/cm²

2.4 การทดสอบสมบัติหลังเผา

นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาแล้วมาทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

2.4.1 วิเคราะห์เฟส โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (XRD) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8-Advance มี Cu เป็นตัวกำเนิดรังสี และ Ni เป็น filter โดยมีค่า 2θ ตั้งแต่ 5 ถึง 80 องศา ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการเผาอุณหภูมิ 1250°C และ 1300 °C บดให้เป็นผงละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

2.4.2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่นบด (Bulk density) และรูพรุนปรากฏ (Apparent porosity) โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 373-88 (Reapproved 2006)

2.4.3 ทดสอบค่าความแข็งแรง (Modulus of Rupture ,MOR) โดยใช้เครื่อง universal testing ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น Autograph AG-Xplus

2.4.4 ทดสอบการขยายตัวเมื่อร้อน (Thermal expansion coefficient,COE) โดยใช้เครื่อง Dilatometerยี่ห้อ NETZSCH รุ่น DIL 402 PC

2.5 การทดลองทำแผ่นรองเผาต้นแบบ และทดสอบสมบัติ

คัดเลือกสูตรที่มีความพรุนต่ำสูง ความแข็งแรงสูง และราคาต้นทุนวัตถุดิบต่ำสุด ทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ โดยเตรียมส่วนผสมจำนวน 20 กิโลกรัม หลังจากนั้นนำไปทำให้เป็นเม็ดแกรนูลขนาด -35+50 เมช และอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นรองเผาขนาด 240×120×15 mm³ ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ใช้แรงอัด 50 Kg/cm² นำชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปไปอบแห้งและเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ยืนไฟ 60 นาที และนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่นบด รูพรุนปรากฏ ค่าความแข็งแรง(MOR) และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (COE) เพื่อเปรียบเทียบกับแผ่นรองเผาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด 3 ยี่ห้อ

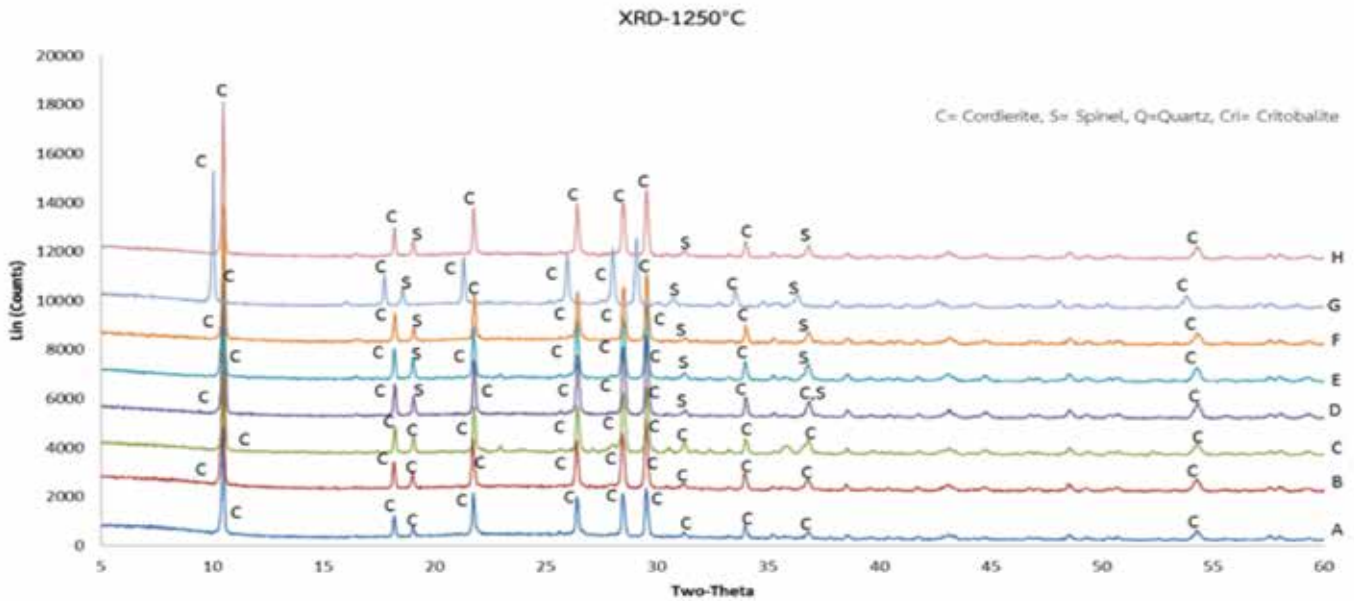
3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 ผลการทดลองสังเคราะห์คอร์เดียไรต์

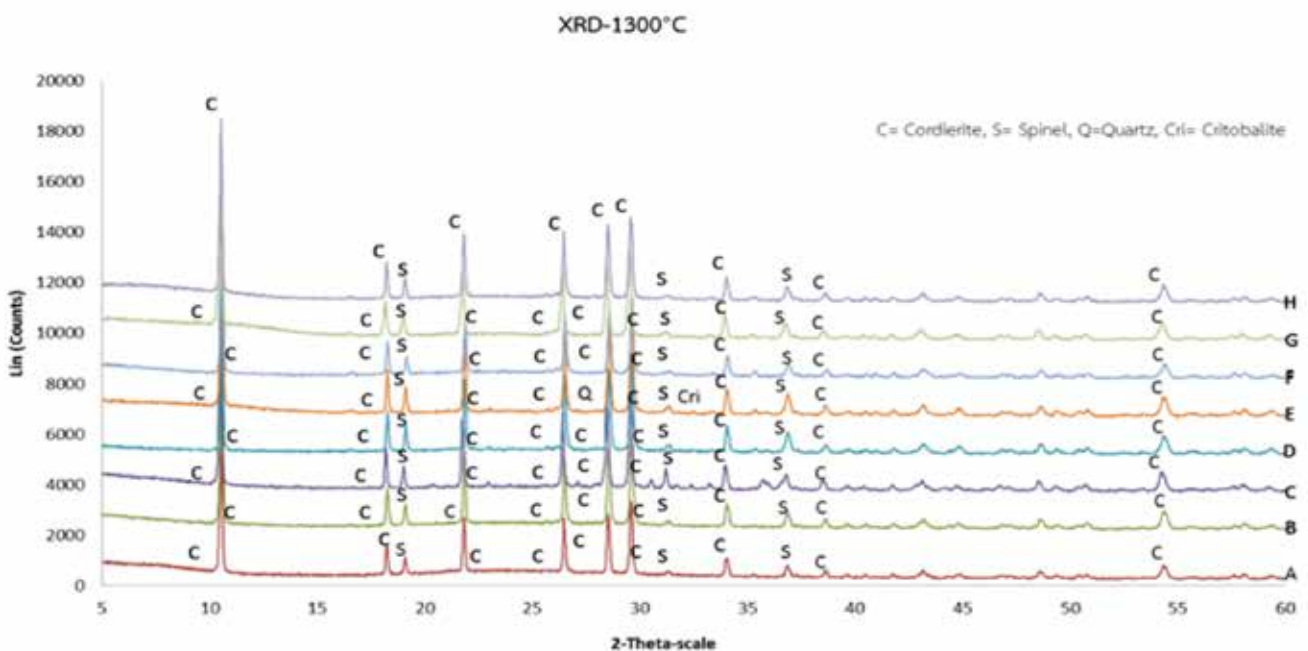
การทดลองสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากส่วนผสมของเถ้าขานอ้อย แมกนีไซต์ ดินขาว และอะลูมินา เผาที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300°C แสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 1,2 เมื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เฟสโดย XRD พบว่า ทุกสูตรสามารถเกิดคอร์เดียไรต์ ที่อุณหภูมิ 1250°C และ 1300°C และมีบางสูตรที่มีสปิเนล (Spinel) ควอตซ์ (Quartz) และคริสโตบาไรต์ (Cristobalite) ปนมาเล็กน้อย โดยสูตร C เกิดคอร์เดียไรต์ได้สูงสุด และไม่มี spinel ปนมาที่อุณหภูมิ 1250 °C จึงได้เลือกสูตร C ไปทดลองขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ

ตารางที่ 4 ตัวอย่างชิ้นทดสอบการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากส่วนผสมของเถ้าขานอ้อย แมกนีไซต์ ดินขาว และอะลูมินา เผาที่อุณหภูมิ 1250 °C และ 1300 °C

อุณหภูมิ (°C)	สูตร							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1250								
1300								



รูปที่ 1 XRD pattern ของสูตร A – H เผาที่อุณหภูมิ 1250 °C



รูปที่ 2 XRD pattern ของสูตร A – H เผาที่อุณหภูมิ 1300 °C

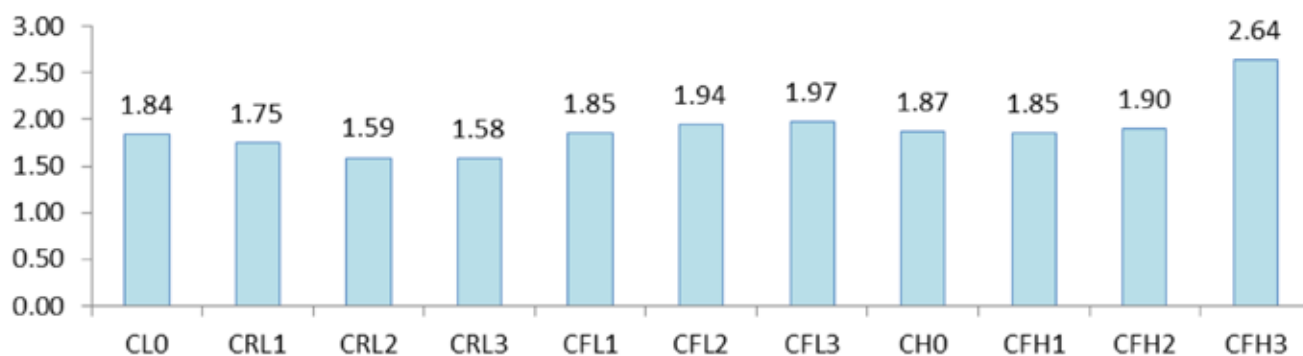
3.2 ผลการทดสอบสมบัติหลังเผาของชิ้นทดสอบ

ผลการทดสอบชิ้นตัวอย่างที่ขึ้นรูปโดยเติมผงถ่านขนาดหยาบ (-35+50 เมช) หรือขนาดละเอียด (-200+325 เมช) ใช้แรงอัด 50 kg/cm² และเติมผงถ่านขนาดละเอียด (-200+325 เมช) ใช้แรงอัด 180 kg/cm² แสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 3 พบว่า ที่แรงอัด 50 kg/cm² เมื่อใช้ผงถ่านหยาบในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนาแน่นลดลง รูพรุนปรากฏเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงถ่านถูกเผาไหม้เกิดเป็นก๊าซที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดเป็นรูพรุนและความแข็งแรงจะลดลงตามรูพรุนที่เพิ่มขึ้น [7] แต่การใช้ผงถ่านละเอียด จะทำให้ค่าความหนาแน่นและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น รูพรุนปรากฏลดลง เนื่องจากผงถ่านละเอียดมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จึงช่วยทำให้การเผาไหม้เกิดได้ดีขึ้น ส่วนผลการทดลองเมื่อใช้แรงอัด 180 kg/cm² และผงถ่านละเอียด พบว่า รูพรุนมีค่าใกล้เคียงกันถึงแม้จะเติมปริมาณผงถ่านละเอียดเพิ่มขึ้น ส่วนความหนาแน่นบด และความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณผงถ่านละเอียดเพิ่มขึ้น

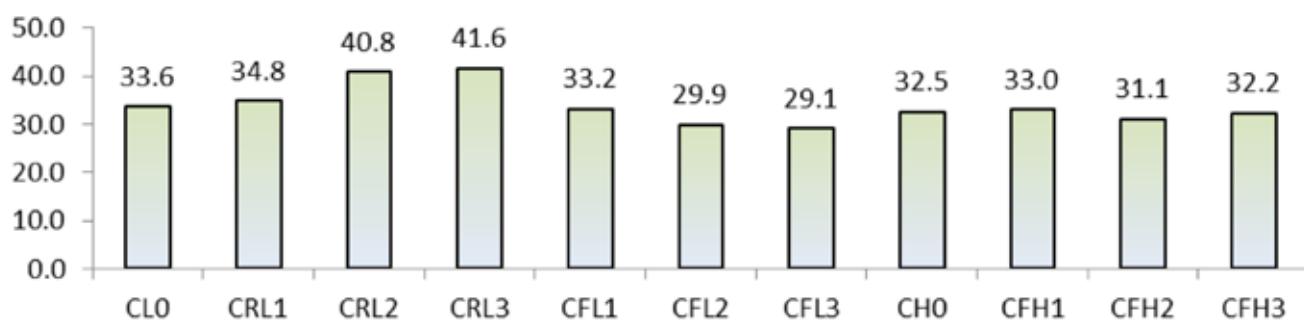
ตารางที่ 5 ค่าความหนาแน่นบด รุพรูปปรากฏ และความแข็งแรงของชิ้นงานทดสอบสูตรต่างๆ เเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C

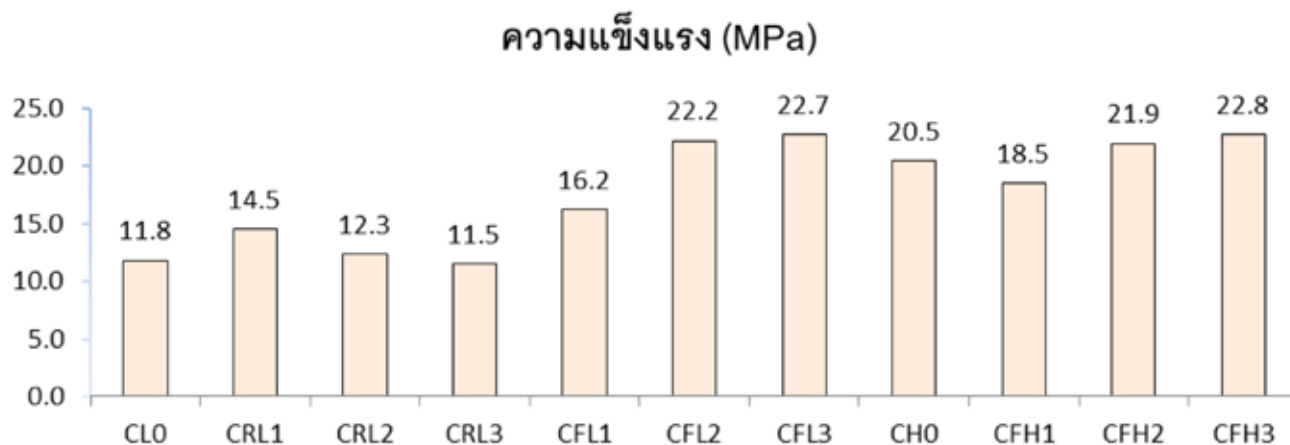
สูตร	ความหนาแน่นบด (g/cm^3)	รุพรูปปรากฏ (ร้อยละ)	ความแข็งแรง (MPa)
CL0	1.84	33.6	11.8
CRL1	1.75	34.8	14.5
CRL2	1.59	40.8	12.3
CRL3	1.58	41.6	11.5
CFL1	1.85	33.2	16.2
CFL2	1.94	29.9	22.2
CFL3	1.97	29.1	22.7
CH0	1.87	32.5	20.5
CFH1	1.85	33.0	18.5
CFH2	1.90	31.1	21.9
CFH3	2.64	32.2	22.8

ความหนาแน่น(g/cm^3)



รุพรูปปรากฏ(ร้อยละ)





รูปที่ 3 ค่าความหนาแน่นบัลค์ รูปพูนปรากฏ และความแข็งแรงของชิ้นงานทดสอบสูตรต่างๆ เลาที่อุณหภูมิ 1250 °C

3.3 ผลการทดลองทำแผ่นรองเผาต้นแบบและผลการทดสอบ

ในการผลิตคอร์เดียไรต์พูนสำหรับทำแผ่นรองเผาเซรามิก สมบัติที่พิจารณาเบื้องต้นได้แก่ รูปพูนปรากฏ และความแข็งแรง ดังนั้นเมื่อพิจารณาสมบัติของชิ้นทดสอบคอร์เดียไรต์พูนจากตารางที่ 5 พบว่าสูตร CFL2 CFL3 และ CFH3 มีรูปพูนปรากฏร้อยละ 29.9 29.1 และ 32.2 ตามลำดับ และมีความแข็งแรง 22.2 22.7 และ 22.8 MPa ตามลำดับซึ่งสูงกว่าสูตรอื่นๆ และเมื่อพิจารณาราคาวัตถุดิบในการผลิตพบว่าสูตร CFL2 ใช้ต้นทุนที่ต่ำกว่าสูตร CFL3 และ CFH3 (ภาคผนวก ก) ดังนั้นจึงได้คัดเลือกสูตร CFL2 มาทำแผ่นรองเผาต้นแบบ ผลการทดสอบแผ่นรองเผาต้นแบบเปรียบเทียบกับแผ่นรองเผาที่จำหน่ายในท้องตลาด แสดงในตารางที่ 6 พบว่า แผ่นรองเผาต้นแบบมีความพรุนตัวสูงกว่าแผ่นรองเผาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และมีความแข็งแรงสูงกว่า ซึ่งเป็นสมบัติที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน เนื่องจากต้องรับน้ำหนักชิ้นงานที่จะเผา และการที่มีความพรุนตัวสูงกว่า จะสามารถช่วยให้การดูดซับความร้อนไว้ที่แผ่นรองเผาน้อยกว่า ส่วนค่าการขยายตัวเมื่อร้อนของแผ่นรองเผาที่ทดลองสูงกว่าในท้องตลาดโดยมีค่า $4.09 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ส่วนของท้องตลาด A ท้องตลาด C และท้องตลาด B มีค่าการขยายตัวเท่ากับ 3.63 2.75 และ 2.50 ตามลำดับ และได้นำไปทดลองใช้งานเป็นแผ่นรองเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C จำนวน 5 รอบ จากการตรวจพินิจ ไม่พบแผ่นรองเผามีรอยแตกร้าวเสียหายเกิดขึ้น

ผลิตภัณฑ์ต้นแบบแผ่นรองเผาเซรามิก จากเก้าชานอ้อยแสดงใน รูปที่ 4



รูปที่ 4 ก) ชิ้นงานขึ้นรูปก่อนเผา



รูปที่ 4 ข) ชิ้นงานขึ้นรูปหลังเผา

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบแผ่นรองเผาต้นแบบเปรียบเทียบกับแผ่นรองเผาที่จำหน่ายในท้องตลาด

สูตร	สมบัติแผ่นรองเผาเนื้อคอร์เดียไรต์			
	ความหนาแน่นบัลค์ (g/cm ³)	รูปพูนปรากฏ (ร้อยละ)	ความแข็งแรง (MPa)	สัมประสิทธิ์การขยายตัว เมื่อร้อน (25-1,000 °C) $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
ท้องตลาด A	2.20	20.0	15.0	3.63
ท้องตลาด B	1.84	27.0	12.0	2.50
ท้องตลาด C	2.01	26.5	10.7	2.75
CFL2	1.94	29.9	22.2	4.09

4. สรุป (Conclusion)

การทดลองทำแผ่นรองเผาเซรามิกจากเถ้าขานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง สามารถเตรียมได้จากเถ้าขานอ้อย ร้อยละ 46 แมกนีไซต์ ร้อยละ 29 ดินขาวร้อยละ 11 และ อะลูมินา ร้อยละ 14 โดยใช้ผงถ่านละเอียดย 10 ส่วน ช่วยให้เกิดความพรุนตัว ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ดินแบบขนาด $240 \times 120 \times 15 \text{ mm}^3$ ด้วยวิธีการอัด โดยใช้เครื่องอัดไฮโดรลิก เเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ยืนไฟ 1 ชั่วโมง จะได้แผ่นรองเผาที่มีความหนาแน่น 1.94 g/cm^3 ความพรุนตัวร้อยละ 29.9 ความแข็งแรง 22.2 MPa สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน $4.09 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ จากงานวิจัยนี้ เถ้าขานอ้อยสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์คอร์เตียไรต์ เพื่อนำมาใช้ในการผลิตแผ่นรองเผาเซรามิกได้ ซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งไปใช้ให้เกิดประโยชน์

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและเจ้าหน้าที่ สำนักเทคโนโลยีชุมชนทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนการทํารววจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้ว โครงการพิสิสส์ และวิศวกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน บริษัทเกษตรไทยอุตสาหกรรมน้ำตาลจำกัด อนุเคราะห์เถ้าขานอ้อย และ บริษัท อิมเมอริส คลีน เพอร์นิเจอร์ จำกัด อนุเคราะห์การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ดินแบบ

(ภาคผนวก ก)

รวมสูตรแผ่นรองเผา	
สูตร	ราคา (บาท/kg)
CL0	23
CRL1	26
CRL2	28
CRL3	31
CFL1	26
CFL2	28
CFL3	31
CH0	23
CFH1	26
CFH2	28
CFH3	31

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] TEIXEIRA, S.R., A.E.DE SOUZA, G.T. DE ALMEIDA SANTOS, A. F. VILCHE PEÑA and Á.G. MIGUEL. Sugarcane Bagasse ash as a potential quartz replacement in red ceramic. *J. Am. Ceram. Soc.* 2008, 91(6), 1883–1887.
- [2] FARIA, K.C.P., R.F. GURGEL and J.N.F. HOLANDA. Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks, *Journal of Environmental Management*. 2012, 101(30), 7-12.
- [3] SOUZA, A.E., S.R. TEIXEIRA, G.T.A. SANTOS, F.B. COSTA and E. LONGO. Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials. *Journal of Environmental Management*. 2011, 92(10), 2774-2780.
- [4] วรณมา ต.แสงจันทร์ และคณะ. การสังเคราะห์คอร์เตียไรต์จากเถ้าขานอ้อย. *Bulletin of Applied Sciences*, 2014, 3(3), 9-14.
- [5] SCHEFFER, MICHAEL and PAOLO COLOMBO. *Cellular ceramics structure, manufacturing, properties and applications*. Weinheim : Wiley-VCH, 2005, pp. 158-175.
- [6] STUDART, ANDRÉ R., URS T. GONZENBACH, ELENA TERVOORT and LUDWIG J. GAUCKLER. Processing routes to macroporous ceramics: A review. *J. Am. Ceram. Soc.* 2006, 89(6), 1771–1789.
- [7] ZHANG FANG, CHANG-XING QI, SHENGJUN WANG, JIN-HUAI LIU and HONG CAO. A study on preparation of cordierite gradient pores porous ceramics from rectorite. *Solid State Sciences*. 2011, 13(5), 929-933.

การสำรวจความรู้ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวของ ผู้ทำงานในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมีของหน่วยงานราชการแห่งหนึ่ง

Survey of basic understanding of chemical laboratory workers' towards green laboratory management: a case study in a government sector

10

ปวีณา เครือนิล¹, อัครินทร์ ไพบูลย์พานิช^{2*}, อนันตณัฐ กันต์ชัยยุรัตน์^{2*},
ลัดดาวัลย์ เยียดยัด¹, ดวงกมล เชาวนศรีหมุด¹
Paweena Kreunin¹, Akarin Paibulpanich^{2*}, Anantanat Kantanyarat^{2*},
Laddawan Yeadyad¹, Duangkamol Chaosrimud¹

บทคัดย่อ

ห้องปฏิบัติการสีเขียวเป็นแนวคิดในการจัดทำห้องปฏิบัติการขององค์กรให้มีความปลอดภัยและยั่งยืน ด้วยการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งความรู้ความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวของบุคลากรภายในองค์กรเป็นองค์ประกอบที่สำคัญยิ่งต่อการขับเคลื่อนการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียว กรณีศึกษาเป็นการสำรวจบุคลากรที่ทำงานในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมีของหน่วยงานราชการแห่งหนึ่งเกี่ยวกับความรู้เบื้องต้นในภาพรวมเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียว การใช้สารเคมีและการจัดการทรัพยากรในห้องปฏิบัติการ และความคิดเห็นเกี่ยวกับการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียว ผลการสำรวจจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 262 คน พบว่า บุคลากรขององค์กรส่วนใหญ่มีความรู้ความเข้าใจเบื้องต้นในหลักการของห้องปฏิบัติการสีเขียว แต่ผลการประเมินโดยใช้ข้อคำถามที่เกี่ยวกับการใช้สารเคมีและการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ พบว่า บุคลากรยังมีพฤติกรรมที่ไม่สอดคล้องกับการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียวในบางด้าน โดยเฉพาะในด้านการจัดการสารเคมีเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียวขององค์กรดังกล่าว ควรผลักดันให้มีการเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวโดยเริ่มต้นด้วยเรื่องของการจัดการสารเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ มีความเข้าใจแนวปฏิบัติสีเขียวสำหรับการทำงานในห้องปฏิบัติการ และรณรงค์ให้มีการนำแนวปฏิบัติมาใช้ ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมให้บุคลากรมีพฤติกรรมที่เป็นสีเขียว ตลอดจนเป็นบุคลากรคุณภาพที่ช่วยในการขับเคลื่อนการพัฒนาห้องปฏิบัติการขององค์กรให้มีความยั่งยืนต่อไป

Abstract

Green laboratory is a concept that aims to manage laboratories to be safe and sustainable by using resource efficiently and being environmental friendly. To achieve such green practices in an organization, it is undeniable that knowledge and understanding of the human resources of the organization are vital to the development of green laboratories. In this case study, a survey of laboratory workers who work in a governmental unit was conducted to evaluate the basic understanding of the target group on green laboratory concept, the use and management of chemicals and resources in the laboratories, and their opinions toward green laboratory development. The result from the 262 respondents shows that, in general, the workers have basic understanding of principles of green laboratories. However, according to a set of questions regarding the use of chemical and resources in their laboratories, their behaviors seem not to comply with green laboratory practices in some aspects, especially, in managing of chemicals to reduce environmental impacts. Therefore, to develop green laboratories, the organization needs to provide knowledge and deeper understanding on the subject to workers, which may begin with how to manage chemical efficiently. Moreover, the organization shall promote the understanding of green laboratory guidelines and put green lab principles into practices. This in turn will create the human resources that are capable of managing green laboratory which will contribute to the laboratory sustainability of the organization.

คำสำคัญ: ห้องปฏิบัติการสีเขียว, ห้องปฏิบัติการที่ยั่งยืน, ห้องปฏิบัติการ

Keywords: Green laboratories, Sustainable laboratories, Laboratory

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

² ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

1. บทนำ (Introduction)

ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์โดยทั่วไปมีกระบวนการปฏิบัติงาน เช่น การทดสอบ สอบเทียบ วิจัย การเรียนการสอน ซึ่งมีการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และขั้นตอนปฏิบัติงาน ที่มีความเสี่ยงและผลจากความเสี่ยงนั้นอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการและผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะการได้รับสัมผัสสารอันตรายต่าง ๆ ผ่านทางการหายใจ ปาก ผิวหนัง และดวงตา ตัวอย่างอันตรายจากสารเคมี เช่น การระเบิด ไฟไหม้ กัดกร่อน และแผ่รังสี ซึ่งอุบัติเหตุ หรือเหตุการณ์เกือบเกิดอุบัติเหตุ เป็นเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ แต่ก็เคยเกิดขึ้นมาแล้ว ยกตัวอย่างเช่น ในปี ค.ศ. 1997 [1] มีอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับ Professor Karen Wetterhahn ผู้เชี่ยวชาญด้านพิษวิทยาโลหะหนัก ซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล ได้รับสารไดเมทิลเมอร์คิวรี (Dimethylmercury) ระหว่างการทำงานในห้องปฏิบัติการ และเสียชีวิตด้วยพิษของปรอท (Mercury) ที่พบในกระแสเลือดอันเป็นเหตุการณ์สำคัญที่ทำให้วงการวิทยาศาสตร์หันมาให้ความสนใจด้านความปลอดภัยในการทำงาน รวมถึงการใช้อุปกรณ์คุ้มครองส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment, PPE) แนวปฏิบัติที่ดีในการทำงานภายในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมี และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการจัดการด้านความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการให้มีประสิทธิภาพ จะช่วยป้องกันอุบัติเหตุและอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ ประเทศไทยมีมาตรฐานด้านระบบการจัดการด้านความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี ที่มีองค์ประกอบสำคัญ 7 ด้าน ได้แก่ 1) การแบ่งโครงสร้าง หน้าที่ ความรับผิดชอบ 2) การจัดการสารเคมี 3) การจัดการของเสีย 4) การจัดการลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ 5) การเตรียมความพร้อมและตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน 6) การจัดการเอกสาร และ 7) การให้ความรู้และการสร้างจิตสำนึก [2] ซึ่งการมีส่วนร่วมของผู้ปฏิบัติงานเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้ความสามารถ ความตระหนัก และประสบการณ์ที่เหมาะสมในการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย

การปฏิบัติงานในสถานที่ทำงานนั้น นอกจากการพิจารณาการมีระบบการจัดการด้านความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการและการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานแล้ว ควรพิจารณาถึงการจัดการภายในห้องปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพในทุกด้านเพื่อให้เกิด “ความยั่งยืน” แนวคิดความยั่งยืนของห้องปฏิบัติการเป็นที่สนใจขององค์กรชั้นนำในต่างประเทศ เริ่มต้นจากโครงการพัฒนาห้องปฏิบัติการ ของประเทศสหรัฐอเมริกา Labs21@ ซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับสากล ที่มุ่งพัฒนาห้องปฏิบัติการให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยการนำเสนอห้องปฏิบัติการที่มีกระบวนการทำงานและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการพัฒนาห้องปฏิบัติการให้มีการออกแบบที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นห้องปฏิบัติการที่ยั่งยืน หรือ Sustainable laboratories [3] ตัวอย่างการดำเนินการด้านห้องปฏิบัติการสีเขียวของ University of Pennsylvania Green Campus Partnership Sustainability Team ได้ออกแบบ Pen's Climate Action Plan ซึ่งเป็นคู่มือและรายการตรวจสอบประจำวัน เพื่อใช้เป็นแนวทางการจัดการห้องปฏิบัติการให้เป็นห้องปฏิบัติการสีเขียวของมหาวิทยาลัย โดยคู่มือนี้ประกอบไปด้วย 5 หัวข้อหลัก ได้แก่ การอนุรักษ์พลังงาน (Energy conservation) การอนุรักษ์น้ำ (Water conservation) การลดปริมาณของเสีย (Waste reduction) การเลือกซื้อ (Purchasing) สำนักงานสีเขียว (Green office) [4] การจัดการเรียนการสอนวิชา ENVIR 480 หรือ Sustainability Studio ของ The University of Washington ที่เน้นการวิจัย ผลิต และประเมินผลห้องปฏิบัติการสีเขียว ซึ่งนักศึกษาจะออกแบบและลงมือทำ project นำร่องที่สนับสนุน Green Labs program ของมหาวิทยาลัยอย่างยั่งยืน [5] นอกจากนี้ มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการอาคารอย่างยั่งยืน ที่ทั่วโลกให้การยอมรับและนำมาใช้เป็นเกณฑ์สากลในการออกแบบอาคารเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ หลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว หรือ Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ การเลือกสถานที่ที่ยั่งยืน (Sustainable site) การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Water efficiency) การใช้พลังงานและการรักษาสีเขียว (Energy & atmosphere) การใช้วัสดุและทรัพยากร (Materials & resources) คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor environment quality) และนวัตกรรมและกระบวนการออกแบบ (Innovation & design process) ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวได้นำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินห้องปฏิบัติการสีเขียวด้วยเช่นกัน [6]

เนื่องจากองค์ประกอบที่สำคัญต่อการขับเคลื่อนการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียวคือความรู้ความเข้าใจของทรัพยากรบุคคลขององค์กรในหลักการเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียว กรณีศึกษาจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะสำรวจความรู้ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวของบุคลากรห้องปฏิบัติการของหน่วยงานราชการแห่งหนึ่ง ที่ทำงานในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมี โดยงานวิจัยนี้แบ่งประเภทของสารเคมีตาม United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods ซึ่งประกอบด้วย 1) วัตถุระเบิด 2) แก๊ส 3) ของเหลวไวไฟ 4) ของแข็งไวไฟ 5) สารออกซิไดส์และเปอร์ออกไซด์ 6) สารพิษและสารติดเชื้อ 7) สารกัมมันตรังสี 8) สารกัดกร่อน และ 9) สารอื่น ๆ ทั้งนี้เพื่อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาทรัพยากรบุคคลในการจัดทำห้องปฏิบัติการสีเขียวขององค์กร โดยมุ่งเน้นด้านการใช้สารเคมีและทรัพยากรในห้องปฏิบัติการอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นหลักการสากลของการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว [3]

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงปริมาณ (Quantitative research) โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการดำเนินการโดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม 2558 ถึง เดือนมิถุนายน 2559

2.1 ประชากรเป้าหมาย

ประชากรเป้าหมายของการวิจัยครั้งนี้ คือ บุคลากรของหน่วยงานราชการแห่งหนึ่ง (ขอสงวนชื่อองค์กร) ที่ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมี ณ เวลาที่ดำเนินการสำรวจ ทั้งนี้ ขอใช้คำว่า “ห้องปฏิบัติการ” แทนคำว่า “ห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมี” และ “บุคลากรห้องปฏิบัติการ” แทนคำว่า “บุคลากรที่ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมี” เพื่อให้เกิดความกระชับในเนื้อความ

2.2 การเลือกตัวอย่าง

การเลือกตัวอย่างนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับกรอบตัวอย่างที่กำหนดไว้ จึงมีข้อคำถามในแบบสอบถามให้ผู้กรอกแบบสอบถามตอบกลับมาว่า “ปัจจุบันตนเองทำงานในห้องปฏิบัติการหรือไม่” และจะคัดแบบสอบถามเฉพาะผู้ตอบแบบสอบถามกรอกข้อมูลว่า “ใช่” เป็นบุคลากรห้องปฏิบัติการที่ทำงานในห้องปฏิบัติการภายในหน่วยงานในปัจจุบัน ณ เวลาที่สำรวจเท่านั้น

2.3 การออกแบบแบบสอบถาม

การออกแบบแบบสอบถามทำโดยการนำแบบสอบถามจากโครงการวิจัย เรื่อง การสำรวจทัศนคติของผู้ปฏิบัติงานในท้องปฏิบัติกรเคมี ต่อการจัดการท้องปฏิบัติการในประเทศไทย ซึ่งผ่านการทดสอบความใช้ได้แล้ว [7] มาคัดเลือกหัวข้อที่จะศึกษาเชิงลึก และปรับรายละเอียดเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้ แล้วจัดทำเป็นแบบสอบถามประกอบด้วยการศึกษาเกี่ยวกับสถานภาพปัจจุบันของผู้กรออกแบบสอบถาม ข้อมูลท้องปฏิบัติการของผู้กรออกแบบสอบถามรู้เบื้องต้นในภาพรวมเกี่ยวกับท้องปฏิบัติการสีเขียว การใช้สารเคมีและจัดการทรัพยากรในท้องปฏิบัติการ ความคิดเห็นเกี่ยวกับการพัฒนาท้องปฏิบัติสีเขียวจำนวนรวมทั้งหมด 28 ข้อ

2.4 การรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้จัดส่งแบบสอบถามไปยังองค์กรดังที่ระบุ เพื่อให้ทางองค์กรส่งแบบสอบถามต่อไปยังหน่วยงานที่มีท้องปฏิบัติการที่ใช้สารเคมี และได้ขอให้หน่วยงานนั้นจัดส่งแบบสอบถามให้ “บุคลากรที่ปฏิบัติงานในท้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมี” กรอกข้อมูล แล้วขอให้รวบรวมและนำเสนอแบบสอบถามตอบกลับคืนให้กับผู้วิจัย ซึ่งเมื่อผู้วิจัยรวบรวมแบบสอบถามได้ครบแล้วจึงนำมาลงรหัส และคีย์ข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft Excel

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ประกอบด้วย ค่าความถี่ ร้อยละ และค่าเฉลี่ย โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

แบบสอบถามที่ได้รับตอบกลับมีจำนวนทั้งสิ้น 291 ฉบับ จากจำนวนที่ส่งทั้งหมด 400 ฉบับ โดยเป็นข้อมูลที่ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นบุคลากรท้องปฏิบัติการซึ่งตรงกับประชากรเป้าหมาย จำนวน 262 ฉบับ ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผู้กรออกแบบสอบถาม และข้อมูลเกี่ยวกับท้องปฏิบัติงานของผู้กรออกแบบสอบถาม แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม (n = 262)

		ความถี่	ร้อยละ*
เจ้าหน้าที่ของหน่วยงานราชการ	ข้าราชการ	154	58.8
	พนักงานราชการ	59	22.5
	ลูกจ้างชั่วคราว	36	13.7
	ลูกจ้างประจำ	10	3.8
	ไม่ระบุ	3	1.2
ประสบการณ์การทำงานในท้องปฏิบัติการ	< 1 ปี	21	8.0
	1 – 5 ปี	76	29.0
	6 – 10 ปี	29	11.1
	11 – 15 ปี	26	9.9
	16 – 20 ปี	33	12.6
	> 20 ปี	73	27.9
	ไม่ระบุ	4	1.5

ตารางที่ 2 ข้อมูลท้องปฏิบัติการของผู้ตอบแบบสอบถาม (n = 262)

		ความถี่	ร้อยละ*
ภารกิจของท้องปฏิบัติการ (เลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)	วิเคราะห์ทดสอบ	198	75.6
	วิจัย	69	26.3
	ฝึกอบรม/ถ่ายทอด	34	13.0
	สอบเทียบ	29	11.1
	อื่นๆ	8	3.1

สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (เลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)	วัตถุระเบิด	32	12.2
	แก๊ส	144	55.0
	ของเหลวไวไฟ	128	48.9
	ของแข็งไวไฟ	39	14.9
	สารออกซิไดส์และเปอร์ออกไซด์	101	38.5
	สารพิษและสารติดเชื้อ	30	11.5
	สารกัมมันตรังสี	9	3.4
	สารกัดกร่อน	168	64.1
	สารอื่นๆ	24	9.2

หมายเหตุ *ภารกิจและสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีหลายประเภท ข้อคำถามจึงให้ผู้กรอกแบบสอบถามเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ ซึ่งการคำนวณร้อยละ โดยการนำความถี่ของการเลือกคำตอบนั้นๆ หารด้วยจำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม (n = 262) แล้วคูณด้วย 100

จากตารางที่ 1 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากเป็นผู้ที่มีประสบการณ์การทำงานในห้องปฏิบัติการมากกว่า 5 ปี (ร้อยละ 61.2) และปัจจุบัน (ณ ช่วงเวลาที่ทำการสำรวจ) ทำงานอยู่ในห้องปฏิบัติการที่มีภารกิจที่หลากหลาย และมีการใช้สารอันตรายจำนวนมาก จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่ามีการใช้สารกัดกร่อนมากที่สุด (ร้อยละ 64.1) การประมวลผลข้อมูลใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา โดยมุ่งเน้นประสบการณ์เกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียว สถานภาพการใช้สารเคมี และการจัดการทรัพยากรในห้องปฏิบัติการปัจจุบัน (ณ ช่วงเวลาที่ทำการสำรวจ) และความคิดเห็นในการพัฒนาห้องปฏิบัติการที่เป็นสีเขียว ของบุคลากรห้องปฏิบัติการของหน่วยงาน เพื่อศึกษาความรู้ความเข้าใจเบื้องต้นของบุคลากรเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียว ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

3.1 ความรู้เบื้องต้นในภาพรวมเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียว

ความรู้เบื้องต้นในภาพรวมเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาถึงประสบการณ์ของบุคลากรห้องปฏิบัติการต่อห้องปฏิบัติการสีเขียว ที่มีวัตถุประสงค์ในการจัดการให้ห้องปฏิบัติการมีความปลอดภัยและยั่งยืน โดยความยั่งยืนนั้นรวมถึงการมีระบบจัดการด้านพลังงานในห้องปฏิบัติการ ที่เป็นวิธีการประหยัดพลังงานซึ่งเป็นการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม [8] การประมวลผลข้อคำถามความรู้เบื้องต้นในภาพรวมเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวของกลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความรู้เบื้องต้นในภาพรวมเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวของกลุ่มตัวอย่าง (n = 262)

ประเด็นคำถาม		ความคิดเห็น (ร้อยละ)			ไม่ตอบ
		ใช่	ไม่ใช่	ไม่แน่ใจ	
1	ท่านเคยได้ยินคำว่า ห้องปฏิบัติการสีเขียว (Green Laboratory) หรือ ห้องปฏิบัติการปลอดภัยที่ยั่งยืน (Sustainable Laboratory)	168 (64.1)	29 (11.1)	61 (23.3)	4 (1.5)
2	ห้องปฏิบัติการสีเขียว หมายถึง ห้องปฏิบัติการที่มีการบริหารจัดการเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ทำงาน อาคารสถานที่ และผู้ที่เกี่ยวข้อง	233 (88.9)	5 (1.9)	23 (8.8)	1 (0.4)
3	ห้องปฏิบัติการสีเขียว หมายถึง ห้องปฏิบัติการที่มีการบริหารจัดการเพื่อประหยัดพลังงาน	194 (74.6)	23 (8.8)	43 (16.4)	2 (0.8)
4	ห้องปฏิบัติการสีเขียว หมายถึง ห้องปฏิบัติการที่มีการบริหารจัดการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	242 (92.4)	2 (0.8)	17 (6.5)	1 (0.4)
5	ท่านมีความรู้ความเข้าใจในการบริหารจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว	40 (15.3)	84 (32.0)	133 (50.8)	5 (1.9)
6	ห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 มีการจัดการห้องปฏิบัติการที่เป็นสีเขียว	97 (37.0)	55 (21.0)	109 (41.6)	1 (0.4)

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มบุคลากรห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีความรู้เบื้องต้นในภาพรวมเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวและวัตถุประสงค์ของห้องปฏิบัติการสีเขียว ดังจะเห็นได้จากร้อยละของบุคลากรที่ตอบว่า “ใช่” ในแต่ละข้อ ตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4 มีมากกว่าร้อยละ 50 อย่างไรก็ตาม ผลการตอบแบบสอบถามในข้อ 5 มีถึงร้อยละ 50.8 ตอบว่า “ไม่แน่ใจ” ว่าตนเองมีความรู้ความเข้าใจในการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว และอีกร้อยละ 32.0 ตอบว่า “ไม่มี” ความรู้ความเข้าใจในด้านดังกล่าวเลย ยิ่งไปกว่านั้น คำถามในข้อ 6 ที่ว่าห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 มีการจัดการห้องปฏิบัติการที่เป็นสีเขียว มีร้อยละ 37.0 ที่ตอบว่า “ใช่” และอีกร้อยละ 41.6 ตอบว่า “ไม่แน่ใจ” ซึ่งในความเป็นจริงแล้วมาตรฐาน ISO/IEC 17025 เป็นข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ ประกอบด้วยข้อกำหนดด้านการบริหาร (Management requirement) และข้อกำหนดด้านวิชาการ (Technical requirements) โดยเป็นการรับรองระบบการบริหารงานที่มีขอบข่ายเฉพาะที่เกี่ยวกับความสามารถห้องปฏิบัติการในการดำเนินการทดสอบและ/หรือสอบเทียบ ซึ่งไม่มีข้อกำหนดที่ว่าด้วยการจัดการห้องปฏิบัติการให้มีความเป็นสีเขียวแสดงว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ไม่รู้หรือไม่แน่ใจในความแตกต่างของ ISO/IEC 17025 และห้องปฏิบัติการสีเขียว

3.2 การใช้และการจัดการสารเคมีในห้องปฏิบัติการ

สารเคมีที่ใช้ในชีวิตประจำวันมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม ตั้งแต่การผลิต การใช้ และการทิ้งสารเคมี เภสัชภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมี หรือวัตถุดิบทราย รวมถึงการจัดการสารเคมีนั้นเป็นเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการจัดการสิ่งแวดล้อมของห้องปฏิบัติการสีเขียว ที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล [6] ดังนั้น การใช้และการจัดการสารเคมีในห้องปฏิบัติการสามารถสะท้อนความรู้ความเข้าใจของบุคลากรทำงานในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมีต่อห้องปฏิบัติการสีเขียวได้ โดยผลการสำรวจด้านการใช้และการจัดการสารเคมีในห้องปฏิบัติการสรุปได้ในตารางที่ 4

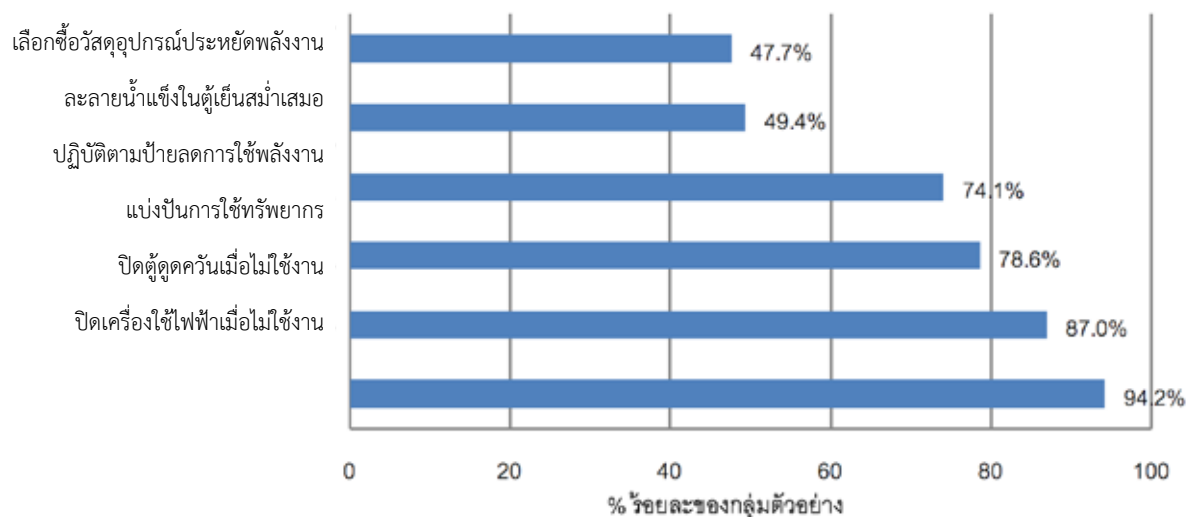
ตารางที่ 4 การใช้และการจัดการสารเคมีของกลุ่มตัวอย่าง (n = 262)

ประเด็นคำถาม	ความคิดเห็น (ร้อยละ)			ไม่ตอบ
	ใช่	ไม่ใช่	ไม่แน่ใจ	
1 ท่านคิดว่า ห้องปฏิบัติการที่มีการใช้สารเคมี เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม	210 (80.1)	27 (10.3)	23 (8.8)	2 (0.8)
2 ท่านวางแผนก่อนการสั่งซื้อสารเคมี เพื่อช่วยลดปริมาณการนำสารเคมีเข้ามาใช้ในห้องปฏิบัติการเกินความจำเป็น	188 (71.8)	29 (11.1)	41 (15.6)	4 (1.5)
3 ท่านใช้มาตรการควบคุมการสัมผัสสารเคมี โดยการเลือกใช้สารที่มีอันตรายน้อย	121 (46.2)	63 (24.0)	74 (28.2)	4 (1.5)
4 ท่านใช้กระบวนการ Chemical Reuse และ Recycle	91 (34.7)	101 (38.5)	64 (24.4)	6 (2.3)
5 ท่านแบ่งปันสารเคมีที่เหลือใช้หรือไม่ใช้แล้วให้กับหน่วยงานภายนอก	91 (34.7)	103 (39.3)	62 (23.7)	6 (2.3)
6 ท่านจัดการสารเคมีหรือตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้งาน และกำจัดของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการได้อย่างถูกวิธีทุกครั้ง	116 (44.3)	33 (12.6)	109 (41.6)	4 (1.5)
7 ท่านทราบกระบวนการในการปล่อยทิ้งของเหลวที่เป็นของเสีย ที่สามารถปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำได้	128 (48.9)	43 (16.4)	84 (32.1)	7 (2.7)
8 ท่านนำขวดสารเคมีที่ไม่ใช้แล้ว ส่งให้หน่วยงานที่รับขวดสารเคมีที่เป็นของเสียนำไป Recycle เป็นประจำ หรือกำจัดอย่างถูกต้อง	153 (58.4)	45 (17.2)	59 (22.5)	5 (1.9)

จากข้อมูลพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รับรู้ว่าการใช้สารเคมีสามารถก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม และการลดการใช้สารเคมีทุกวิธีทางเป็นเรื่องที่สำคัญ อย่างไรก็ตามจากประเด็นคำถามในข้อ 4-8 ซึ่งเป็นแนวปฏิบัติที่ช่วยลดสารอันตราย พบว่าบุคลากรยังมีพฤติกรรมที่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติดังกล่าวจำนวนน้อย ตั้งแต่ ร้อยละ 34.7 ถึงร้อยละ 58.4 ดังนั้น การมีมาตรการควบคุมควบคุมและจัดการสารเคมีนั้นจึงมีความสำคัญต่อความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ การใช้แนวทาง Green Chemistry เป็นที่ยอมรับว่าสามารถช่วยแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของโลกที่เกิดจากสารเคมี ซึ่งรวมถึงการเลือกใช้สารทางเลือกที่มีความเป็นอันตรายน้อย การป้องกันไม่ให้เกิดของเสียในกระบวนการทำงาน [9]

3.3 การจัดการทรัพยากรในห้องปฏิบัติการ

การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพนับเป็นแนวปฏิบัติสีเขียวอย่างหนึ่ง ทรัพยากรนั้นรวมถึง ไฟฟ้า น้ำ แก๊ส วัสดุอุปกรณ์ และอื่นๆ ที่ใช้ในสถานที่ทำงาน การประมวลผลชุดข้อมูลคำถามเกี่ยวกับการจัดการทรัพยากรในห้องปฏิบัติการของกลุ่มตัวอย่าง ดังรูปที่ 1



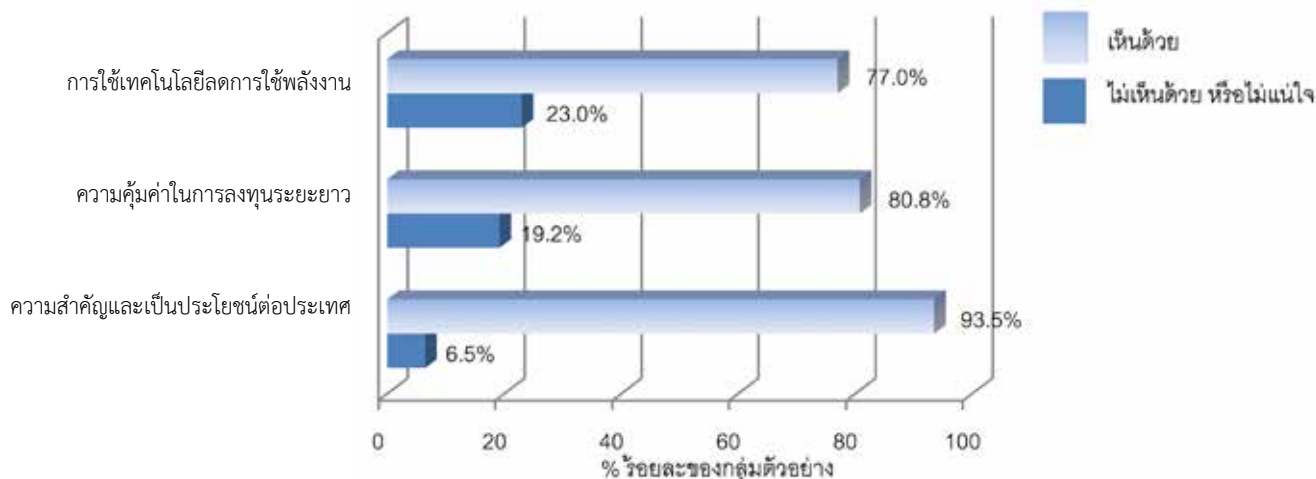
รูปที่ 1 ร้อยละของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้แนวปฏิบัติในการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

จากการประมวลผลชุดข้อมูลคำถามเกี่ยวกับการจัดการทรัพยากรในห้องปฏิบัติการ พบว่า บุคลากรส่วนใหญ่มีการใช้แนวปฏิบัติในการลดการใช้ทรัพยากร แต่ยังมีบางส่วนที่ไม่ได้ใช้แนวปฏิบัติดังกล่าว เช่น มีเพียง ร้อยละ 49.4% ละลายน้ำแข็งในตู้เย็นและตู้แช่แข็งอย่างสม่ำเสมอ เป็นต้น ซึ่งการปล่อยให้น้ำแข็งเกาะในตู้ทำความเย็นทำให้ตู้ทำงานหนักในการทำความเย็นและใช้ไฟฟ้ามากขึ้น

นอกจากนี้ ในประเด็นคำถามข้อหนึ่งถามความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามว่า “ห้องปฏิบัติการทั่วไปมีการใช้พลังงานน้ำและไฟฟ้าต่อตารางเมตรมากกว่าห้องทำงานประเภทอื่น” ผู้ตอบแบบสอบถาม 259 คน เห็นด้วยกับข้อคำถามดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับแหล่งอ้างอิงทางวิชาการที่กล่าวไว้ว่า โดยทั่วไปแล้วห้องปฏิบัติการจะใช้พลังงานมากกว่าห้องทำงานทั่วไป 5 เท่าหรือมากกว่า [8], [10]

3.4 ความคิดเห็นเกี่ยวกับการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียว

การประมวลผลความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับความสำคัญ ความคุ้มค่าในการลงทุนเทคโนโลยีในการพัฒนาห้องปฏิบัติการให้เป็นสีเขียว ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ร้อยละความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่เห็นด้วยในการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียว

กลุ่มตัวอย่างขององค์กรเห็นความสำคัญและประโยชน์ในการพัฒนาห้องปฏิบัติการของประเทศไปสู่การจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียว รวมทั้งยอมรับว่าห้องปฏิบัติการสีเขียวนั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบและปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้เทคโนโลยีที่ลดการใช้พลังงาน การใช้เทคโนโลยีใหม่เพื่อออกแบบมาเพื่อประหยัดพลังงาน ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ลดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมย่อมมีราคาที่สูงกว่าเทคโนโลยีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการปัจจุบัน กลุ่มตัวอย่างยอมรับว่าการลงทุนดังกล่าวมีความคุ้มค่าในระยะยาว ตัวอย่างเช่น ในประเทศไทย ห้องปฏิบัติการโดยทั่วไปจะใช้ตู้ดูดไอระเหยสารเคมีประเภท by-pass ซึ่งใช้ไฟฟ้าในการทำงานสูง อย่างไรก็ตาม แม้ตู้ดูดไอระเหยสารเคมีระบบ VAV (Variable Air Volume) จะมีต้นทุนที่สูงกว่า แต่ตู้ดังกล่าวสามารถลดการใช้ไฟฟ้าทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ โดยมีระยะเวลาคืนทุนภายใน 1 ปี [8] ซึ่งเป็นการลดการใช้ไฟฟ้าในระยะยาว ทั้งนี้ การลดการใช้พลังงานเป็นหนึ่งในแนวทางของห้องปฏิบัติการสีเขียว

4. สรุป (Results)

ในการศึกษาความรู้ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวในครั้งนี้ ตัวอย่างที่ศึกษา คือ บุคลากรของหน่วยงานราชการแห่งหนึ่ง ที่ ณ เวลาที่ทำการสำรวจ ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการที่มีใช้สารเคมี จากการสำรวจพบว่า บุคลากรส่วนใหญ่ใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายในการปฏิบัติงาน แต่ก็มีบางส่วนที่เข้าใจในหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียวที่มีองค์ประกอบของความปลอดภัยและยั่งยืนด้วยการประหยัดทรัพยากรและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนเห็นความสำคัญและประโยชน์ของการพัฒนาห้องปฏิบัติการสีเขียว ที่แม้จะมีการลงทุนสูงแต่มีความคุ้มค่าในระยะยาว นอกจากนี้ บุคลากรจำนวนมากมีการจัดการทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพในแง่ของการลดปริมาณการนำสารเคมีเข้ามาใช้เกินความจำเป็น

อย่างไรก็ดี แม้ว่าบุคลากรขององค์กรส่วนใหญ่มีความรู้เบื้องต้นในภาพรวมเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการสีเขียว ยังมีบางส่วนที่ไม่ได้นำแนวปฏิบัติมาใช้ทั้งหมด โดยเฉพาะด้านการจัดการสารเคมีเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงควรส่งเสริมให้บุคลากรใช้แนวปฏิบัติที่เป็นสีเขียวเพิ่มขึ้น เช่น การประยุกต์ใช้ 3Rs (Reduce, Reuse and Recycle) ในการใช้สารเคมีหรือทรัพยากรต่าง ๆ ในกระบวนการ นอกจากนี้ การแบ่งปันสารเคมีที่เหลือใช้ หรือไม่ใช้แล้วให้กับหน่วยงานภายนอกก็เป็นแนวปฏิบัติสีเขียว ที่ทำให้สารเคมีสามารถนำไปใช้งานได้อีก (Reuse) ซึ่งเป็นการลดการซื้อสารเคมีเข้ามาใช้ในประเทศ และลดของเสียที่เป็นสารเคมีที่ต้องกำจัด เพราะของเสียจากสารเคมีล้วนเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม การให้ความรู้เกี่ยวกับแนวปฏิบัติสีเขียวอื่น ๆ เช่น การซื้อเครื่องมือที่ประหยัดพลังงาน การบำรุงรักษาวัสดุอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอ จะช่วยให้มีการใช้ทรัพยากร เช่น ไฟฟ้า น้ำ และแก๊ส ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือการเปลี่ยนลักษณะหรือวิธีทำงานที่มีประสิทธิภาพ ที่สอดคล้องกับแนวคิดสีเขียว เป็นต้น

โดยสรุปแล้ว องค์กรควรส่งเสริมให้บุคลากรมีความรู้ความเข้าใจเชิงลึกในการบริหารจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียวเพิ่มขึ้น และควรส่งเสริมให้มีการนำแนวปฏิบัติมาใช้ ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมให้บุคลากรมีพฤติกรรมที่เป็นสีเขียว ตลอดจนเป็นบุคลากรคุณภาพที่ช่วยในการขับเคลื่อนการพัฒนาห้องปฏิบัติการขององค์กรให้มีความยั่งยืน

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ ดร.จันทร์เพ็ญ เมฆาภิรักษ์ ที่สนับสนุนให้ดำเนินการศึกษาระดับศึกษานี้ และนางสาวปัทมา นพรัตน์ ที่ให้คำแนะนำและแนวทางการดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] *Mercury Poisoning Fatality in Laboratory* [online]. 1997 [viewed 7 February 2017]. Available from: http://www.ehs.ucsb.edu/files/docs/lm/mercury_poisoning.pdf
- [2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. ฉบับที่ 4699 (พ.ศ. 2558) เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมระบบการจัดการด้านความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี เล่ม 1: ข้อกำหนด. ราชกิจจานุเบกษา 23 กันยายน 2558. เล่มที่ 132 ตอนพิเศษ 229 ง.
- [3] *International Institute for Sustainable Laboratories* [online]. 2017 [viewed 9 February 2017]. Available from: <http://www.i2sl.org/>
- [4] *Green Labs @ Penn* [Online]. 2012 [viewed 29 July 2015]. Available from: <http://www.upenn.edu/sustainability>
- [5] *ENVIR 480 Sustainability Studio. Green Labs, Autumn 2012. GREEN LABS UNIVERSITY OF WASHINGTON* [online]. 2012 [viewed 9 February 2017]. Available from: [https://green.uw.edu/sites/default/files/green_lab/FINAL%20DRAFT%20NEWSLETTER%20REDUCED%20SIZE%20\(2\).pdf](https://green.uw.edu/sites/default/files/green_lab/FINAL%20DRAFT%20NEWSLETTER%20REDUCED%20SIZE%20(2).pdf)
- [6] *Labs21 Environmental Performance Criteria 3.0* [online]. 2010 [viewed 7 February 2017]. Available from: http://www.i2sl.org/documents/toolkit/epc_3-0_508.pdf
- [7] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ. รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การสำรวจทัศนคติของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเคมี ต่อการจัดการห้องปฏิบัติการสีเขียวในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : กรม, 2559.
- [8] ประไพพิศ แจ่มสุกใส เทอร์โน. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร การออกแบบห้องปฏิบัติการเคมีเพื่อความปลอดภัย วันที่ 29 – 30 เมษายน 2557 ณ สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรุงเทพฯ : กรม, 2557.
- [9] ศุภวรรณ ตันตยานนท์. *Green Chemistry ทฤษฎีและการปฏิบัติ*. กรุงเทพฯ : เอสทีซี มีเดีย แอนด์ มาเก็ตติ้ง. 2554. 156 หน้า.
- [10] *My green lab* [online]. 2017 [viewed 8 February 2017]. Available from: <http://www.mygreenlab.org/>

บล็อกยางกำบังนิวตรอนและรังสีแกมมาจากยางธรรมชาติ

Neutron and gamma radiation shielding block from natural rubber

11

อรรสา อ่อนจันทร์¹, นิชาภา บัวสุวรรณ¹
Orasa Onjun¹, Nichapa Buasuwan¹

บทคัดย่อ

บล็อกยางกำบังนิวตรอนและรังสีแกมมาถูกพัฒนาขึ้นจากยางธรรมชาติผสมสารประกอบโบรอนและตะกั่วออกไซด์ โดยในการศึกษานี้เลือกศึกษาสารประกอบโบรอนสองประเภท คือ บอแรกซ์ (borax) และกรดบอริก (boric acid) ผลการศึกษาสมบัติการกำบังเทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutron) จากต้นกำเนิดรังสีอเมริกันเบรลเลียม (Am241/Be) พบว่าบล็อกยางกำบังรังสีที่เตรียมขึ้นจากสารประกอบโบรอนทั้งสองประเภทมีความสามารถในการกำบังนิวตรอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ประสิทธิภาพการกำบังนิวตรอนจะเพิ่มขึ้นตามความหนาและปริมาณของธาตุโบรอนในบล็อกยางกำบังรังสี ถึงแม้ว่ากรดบอริกจะมีปริมาณของร้อยละของธาตุโบรอนต่อหน่วยน้ำหนักมากกว่าบอแรกซ์ แต่บล็อกยางกำบังรังสีที่ผสมสารบอแรกซ์สามารถกำบังนิวตรอนได้ดีกว่าบล็อกยางที่เตรียมจากกรดบอริก นอกจากนี้ยังได้ศึกษาสมบัติการกำบังรังสีแกมมาที่เกิดจากการการชนของนิวตรอนกับอะตอมของโบรอนโดยการเติมสารประกอบตะกั่วลงไปในบล็อกยางกำบังรังสีที่เตรียมขึ้นอีกด้วย ผลจากการศึกษาการกำบังรังสีแกมมาโดยการเตรียมบล็อกยางธรรมชาติที่เติมทั้งสารประกอบโบรอนและตะกั่วพบว่า สามารถการกำบังรังสีแกมมาได้ในระดับที่เกณฑ์กำหนดด้านความปลอดภัยไว้ งานวิจัยยังได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของบล็อกยางกำบังรังสี ได้แก่ ความแข็ง ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด พบว่าวัสดุกำบังรังสีที่มีปริมาณสารประกอบโบรอนสูงชันจะมีค่าสมบัติทางกายภาพลดลง

Abstract

A neutron and gamma radiation shielding block was developed based on natural rubber mixed with boron compounds and lead oxide. In this study, two types of boron compounds, including borax and boric acid, were considered. This shielding block was exposed to the radiation from an ²⁴¹Am/Be radiation source. It was found that both types of the rubber shielding blocks can efficiently reduce thermal neutrons, where its efficiency increases with the thickness and boron concentration. Although the amount of boron per weight of boric acid was higher than that of borax, the radiation shield efficiency of the rubber shielding block mixed with borax was higher. In addition, lead was mixed into the rubber shielding block to absorb the gamma ray radiated from the neutron absorption. It was found that the rubber shielding block with boron compound and lead can efficiently absorb both neutron and gamma radiation. However, the decrease of physical properties of those rubber shielding blocks, including hardness, tensile strength, and elongation at break, were also found.

คำสำคัญ: วัสดุกำบังรังสี, ยางธรรมชาติ, โบรอน, ตะกั่ว

Keywords: Radiation shielding, Natural rubber, Boron, Lead

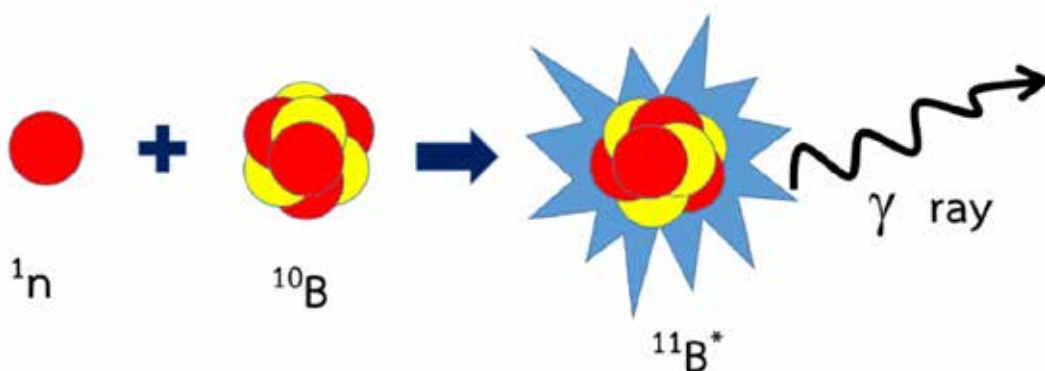
¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ด้านกำเนิดรังสีในงานด้านต่างๆ มากมาย เช่น ด้านการศึกษา ด้านการวิจัย ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรม และโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ ในปัจจุบันนี้ กิจกรรมเหล่านี้มีแนวโน้มเพิ่มมากยิ่งขึ้น อาทิ การใช้วัสดุกำบังรังสีในการแพทย์ในส่วนของการรักษาโรคมะเร็ง เครื่องเอกซเรย์ และอุปกรณ์กักเก็บรังสีในโรงพยาบาล เพื่อสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยสำหรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับรังสี การใช้วัสดุกำบังรังสี (radiation shield) เป็นมาตรการด้านความปลอดภัยที่ได้ผลอย่างดียิ่งและมีใช้กันอย่างแพร่หลาย ผลสัมฤทธิ์ในการลดปริมาณรังสีนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติและความหนาของวัสดุกำบังรังสีรวมถึงความเข้มของรังสี การกำบังรังสีที่กล่าวถึงครอบคลุมทั้งการแผ่รังสีของอนุภาคนิวตรอนและอิเล็กตรอน และการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูง ได้แก่ รังสีแกมมาและเอกซเรย์ จากการสำรวจพบว่าในปัจจุบันมีการใช้พอลิเอทิลีนหรือยางสังเคราะห์ผสมกับสารประกอบของโบรอนหรือลิเทียมในการผลิตวัสดุกำบังนิวตรอน และใช้ตะกั่วออกไซด์ในการผลิตวัสดุกำบังรังสีแกมมา แต่วัสดุกำบังรังสีเหล่านี้มีราคาค่อนข้างสูงและยังมีใช้อย่างไม่ทั่วถึงในกิจกรรมทางด้านรังสีในหลายๆ ด้าน

การพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุกำบังรังสีนี้เป็นสิ่งจำเป็นและมีประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการแพทย์ ด้านพลังงาน ด้านเกษตรและชีวภาพ นอกจากจะทำให้เกิดองค์ความรู้ด้านรังสีกับวัสดุแล้ว จะทำให้สามารถผลิตวัสดุกำบังที่มีความเหมาะสมและนำมาใช้ได้ตรงวัตถุประสงค์ของผู้ใช้มากขึ้น งานวิจัยนี้มีแนวความคิดที่นำยางธรรมชาติมาผสมกับสารประกอบของโบรอนเพื่อทำเป็นวัสดุกำบังนิวตรอนเนื่องจากภาคตัดขวางของการดูดกลืนนิวตรอนที่สูง (high neutron absorption cross section) [1-3] ของธาตุโบรอน ซึ่งประกอบด้วย 2 ไอโซโทป ได้แก่ โบรอน-10 (^{10}B) ประมาณร้อยละ 19.9 และโบรอน-11 (^{11}B) ประมาณร้อยละ 80.1 โบรอน-10 เป็นไอโซโทปที่มีภาคตัดขวางในการเกิดปฏิกิริยาจับนิวตรอน (neutron capture) ได้สูง สำหรับเทอร์มัลนิวตรอนเมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้วนิวเคลียสประกอบ (compound nucleus) จะมีการปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา ดังปฏิกิริยาในรูปที่ 1 ดังนั้น การติดตั้งระบบกำบังนิวตรอนที่ใช้วัสดุที่มีส่วนผสมของโบรอน จึงจำเป็นต้องเพิ่มการป้องกันรังสีแกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอนของโบรอนด้วย ทั้งนี้รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูงมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับรังสีเอกซ์ที่สามารถทะลุผ่านร่างกายได้ การกำบังรังสีแกมมาต้องใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ตะกั่วหรือยูเรเนียม เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตะกั่วออกไซด์เป็นสารกำบังรังสีแกมมา ซึ่งมีปรากฏอยู่ในงานวิจัยที่ผ่านมา [4-7] แต่การใช้ยางธรรมชาติเป็นวัสดุหลักสำหรับการทำวัสดุกำบังรังสีแกมมานั้นยังเป็นเรื่องที่ท้าทายและต้องศึกษาเพิ่มเติม ดังนั้นวัสดุกำบังรังสีจากยางธรรมชาติที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงนับเป็นนวัตกรรมใหม่ที่เป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางธรรมชาติและรองรับการใช้วัสดุกำบังรังสีในกิจกรรมต่างๆ ในอนาคต



รูปที่ 1 รังสีแกมมาที่เกิดจากการชนของนิวตรอนกับโบรอน

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ยางและสารเคมี

ยางและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตบล็อกยางกำบังรังสีแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ยางและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตบล็อกยางกำบังรังสี

ยางและสารเคมี	คุณสมบัติ	ชื่อเคมี
ยางแท่ง (STR 5L)	ยางดิบ	Polyisoprene
บอแรกซ์ ($\text{B}_4\text{H}_7 \cdot 2\text{Na} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	กำบังนิวตรอน	Sodium tetraborate (Borax)
กรดบอริก (H_3BO_3)	กำบังนิวตรอน	Boric acid
ตะกั่วออกไซด์ (PbO_2)	กำบังรังสีแกมมา	Lead Oxide
แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)	สารตัวเติม	Calcium carbonate
ไดเบนโซไทอะโซลไดซัลไฟด์ (MBTS)	สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป	2,2-Dithio-bis-benzothiazole
ไดฟีนิลกวานิดีน (DPG)	สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป	Diphenyl guanidine

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ซิงค์ ออกไซด์ (ZnO)	สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูป	Zinc oxide
กรดสเตียริก	สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูป	Stearic acid
สไตรีนต ฟีนอล (SPH)	สารด้านการออกซิเดชัน	2,4-di(O-Phenylethyl)-phenol
กำมะถัน	สารทำให้ยางคงรูป	Sulphur
พาราฟินิก ออยล์	สารช่วยให้ยางนุ่ม	Paraffinic oil
สีแดง	เพิ่มสีส้ม	Iron oxide

2.2 การเตรียมวัสดุกำบังรังสี

การผสมยางและสารเคมี กระทำในเครื่องบดผสมระบบปิด (internal mixer; YFM Serial No.0241) และเครื่องบดผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill; YFM Serial No.0242) ยางที่ได้หลังจากที่ผสมสารเคมีต่างๆ เรียบร้อยแล้วจะเรียกว่า ยางคอมพาวด์ จากนั้นนำยางคอมพาวด์ที่ได้มาวัดลักษณะการคงรูป เพื่อหาระยะเวลาการคงรูป (ระยะเวลาสกรอร์ช; ts2 และระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป; t'90) ที่อุณหภูมิ 160 °C ด้วยเครื่องวัดการคงรูปของยาง (moving die rheometer; TECH PRO/rheo TECH MD+ รุ่น 111202) แล้วจึงใช้เวลาการคงรูปที่ได้มาเป็นแนวทางในการเตรียมชิ้นทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยใช้แม่พิมพ์และเครื่องอัดไฮดรอลิกพร้อมแผ่นความร้อน (hydraulic press with heated plates; YFM Serial No.0138) ขั้นตอนการเตรียมบล็อกยางกำบังรังสีแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมบล็อกยางกำบังรังสี

การออกสูตรยางเป็นขั้นตอนสำคัญซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติได้ตามที่ต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากยางดิบที่ยังไม่ได้ผสมองค์ประกอบต่างๆ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ จึงจำเป็นต้องผสมองค์ประกอบลงไปในยางเพื่อช่วยให้ยางมีสมบัติเหมาะสมกับความต้องการ สูตรยางพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สูตรยางพื้นฐานเพื่อที่จะนำไปพัฒนาสูตรการผลิตวัสดุกำบังรังสี

ส่วนประกอบ	phr*
ยาง STR 5L	100
CaCO ₃	100
Borax หรือ Boric acid หรือ Lead Oxide	Variable
Paraffinic Oil	5
ZnO	5
Stearic Acid	3
SPH	1
MBTS	1
DPG	0.5
สี	2
Sulphur	2

หมายเหตุ* phr ย่อมาจาก part per hundred rubber เป็นการบอกปริมาณของสารในสูตรยางเทียบกับ 100 ส่วนของยาง

การศึกษาลักษณะของปริมาณสารกำบังรังสีทั้ง 3 ชนิด คือ บอแรกซ์ กรดบอริก และตะกั่วออกไซด์ ในสูตรยางต่อสมบัติการกำบังรังสีของบล็อกยางทำได้โดยการแปรปริมาณของสารกำบังรังสีในบล็อกยางกำบังรังสี ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การแปรปริมาณของสารกำบังรังสีในสูตรยางสำหรับเตรียมบล็อกยางกำบังรังสี

สูตรยาง	ปริมาณ (phr)		
	บอแรกซ์	กรดบอริก	ตะกั่วออกไซด์
RB00	-	-	-
SNB10	10	-	-
SNB20	20	-	-
SNB50	50	-	-
SNB100	100	-	-
SNBa10	-	10	-

ตารางที่ 3 (ต่อ)

SNBa20	-	20	-
SNBa50	-	50	-
SNBa100	-	100	-
SGL20	-	-	20
SGL50	-	-	50
SGL100	-	-	100
SNB100SGL100	100	-	100

2.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.3.1 ความแข็ง

วัดความแข็งตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน ISO 7619-1:2010 โดยเครื่อง Durometer type A ตัวอย่างเป็นยางที่ผ่านการคงรูปแล้ว ความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร โดยใช้เวลาสัมผัส 3 วินาที แล้วบันทึกผลการทดสอบ โดยทำการทดสอบพื้นที่แตกต่างกัน จำนวน 10 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

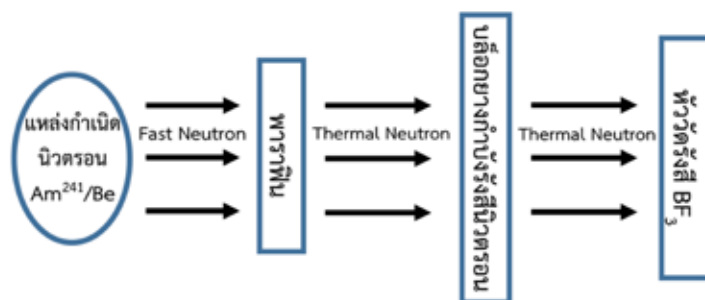
2.3.2 ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด

ทดสอบหาค่าความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดของชิ้นทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine Zwick, Z005 ขนาดของ load-cell 1 กิโลนิวตัน ชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบล ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 37:2011 ใช้ระยะ gauge length เท่ากับ 20 มิลลิเมตร ระยะของปากจับเท่ากับ 65 มิลลิเมตร และความเร็วในการเคลื่อนที่ของปากจับเท่ากับ 500 มิลลิเมตรต่อวินาที

2.4 การทดสอบการกำบังรังสี

2.4.1 การกำบังนิวตรอน

ทดสอบการกำบังนิวตรอนใช้เครื่องมือตามแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3 ที่มีต้นกำเนิดนิวตรอน Am^{241}/Be (Americium/Beryllium) ปลดปล่อยให้อนุภาคนิวตรอนเร็ว (fast neutron) ออกมา จากนั้นทำการหน่วงความเร็วของอนุภาคนิวตรอนด้วยพาราฟิน อนุภาคนิวตรอนจะเกิดการชนกับอะตอมไฮโดรเจนของพาราฟิน จะเกิด thermalized เป็นเทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutron) แล้วทำการวัดด้วยหัววัดนิวตรอน (BF_3 counter) ซึ่งจะต่อเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณ ที่ตั้งค่าความต่างศักย์เป็น 1,300 โวลต์ และใช้เวลาในการวัด 100 วินาที โดยการวัดแต่ละครั้งจะเพิ่มความหนาของวัสดุกำบังรังสีครั้งละ 1 เซนติเมตร ทำการวัด 3 ชั่วโมง โดยค่าที่วัดได้ต้องนำมาหักลบกับค่ารังสีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม (black ground) แล้วนำค่าจริงที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงชุดเครื่องมือทดสอบการกำบังนิวตรอน

2.4.2 การกำบังรังสีแกมมา

การทดสอบการกำบังรังสีแกมมาใช้เครื่องมือเดียวกับการวัดนิวตรอนแต่ทำการเปลี่ยนหัววัด โดยใช้หัววัดรังสีแกมมาแบบไกเกอร์ มุลเลอร์ เคาท์เตอร์ (Geiger-Muller counter, GM counter) โดยใช้ตะกั่วที่ถูกระดมเป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาทำการปรับค่าความต่างศักย์สูงเป็น 1,180 โวลต์ และใช้เวลาในการวัด 60 วินาที โดยการวัดแต่ละครั้งจะเพิ่มความหนาของวัสดุกำบังรังสีครั้งละ 1 เซนติเมตร ทำการวัด 3 ชั่วโมง โดยค่าที่วัดได้ต้องนำมาหักลบกับค่ารังสีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม (black ground) แล้วนำค่าจริงที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

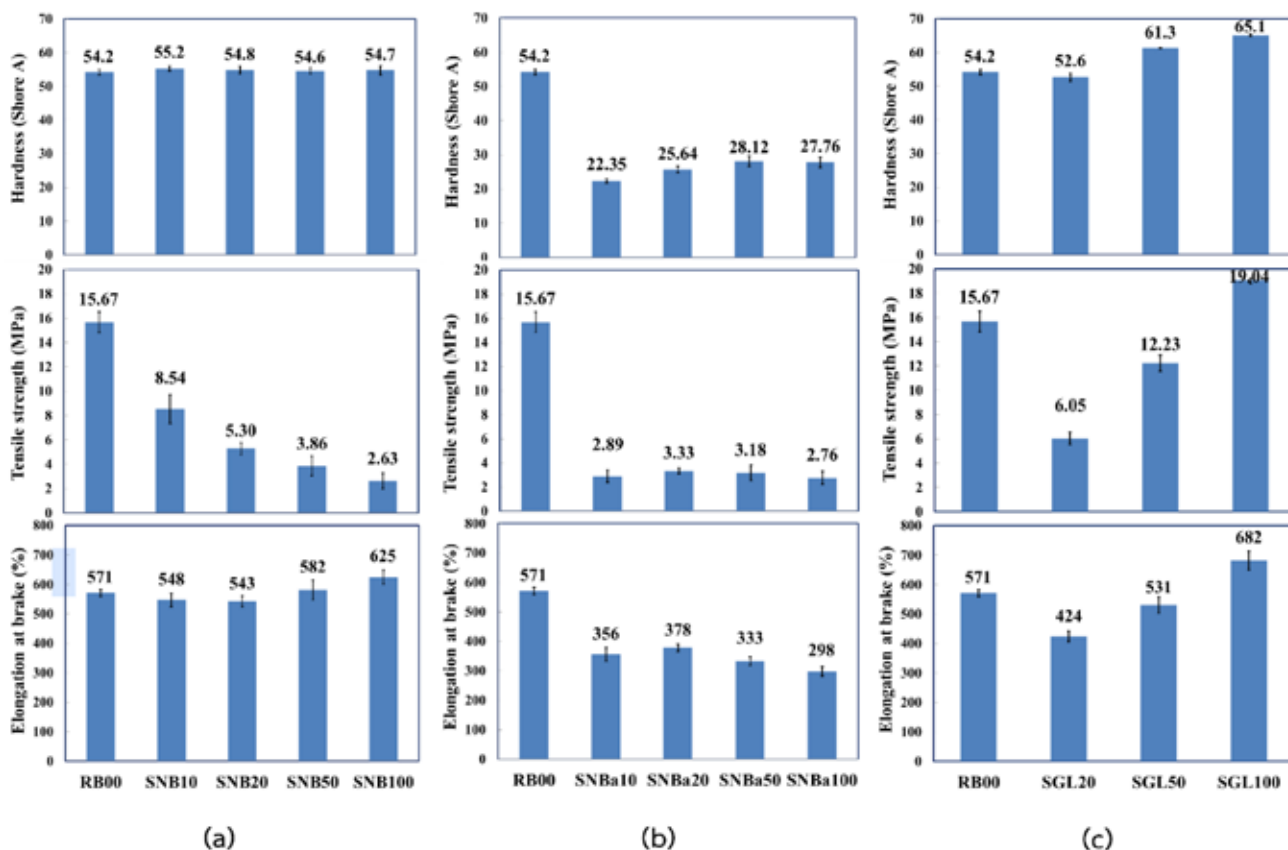
2.5 การกระจายตัวของอนุภาคในเนื้อยาง

การตรวจสอบการกระจายตัวของอนุภาคในเนื้อยางสามารถทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) รุ่น JEOL JSM-6610LV สัญญาณภาพที่ได้จากหัววัด Secondary Electron Image (SEI) ศักย์เร่งอิเล็กตรอนที่ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 30 เท่า และ 1000 เท่า

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 สมบัติทางกายภาพของบล็อกยางกำบังรังสี

ผลทดสอบความแข็ง ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด ของบล็อกยางกำบังรังสีของสูตรต่างๆ แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 สมบัติค่าความแข็ง ค่าความต้านแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของบล็อกยางก้ำบังรังสีที่ใช้สารก้ำบังรังสี (a) บอแร็กซ์ (b) กรดบอริก (c) ตะกั่วออกไซด์

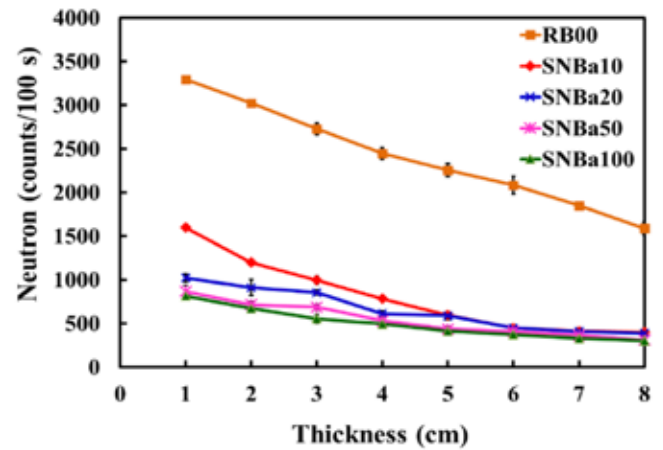
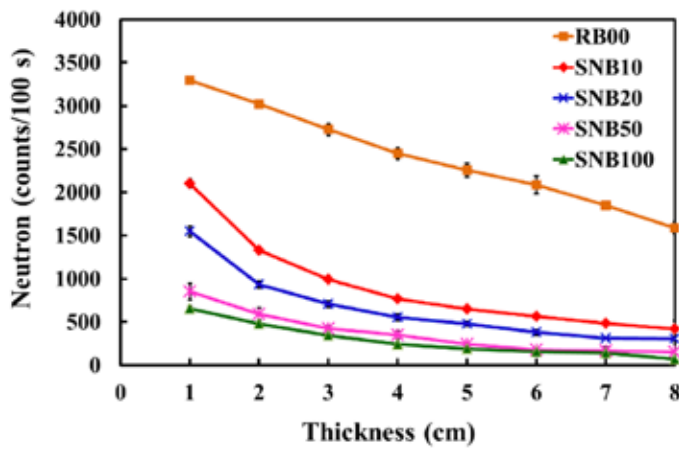
ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของบล็อกยางก้ำบังรังสีที่มีบอแร็กซ์เป็นสารก้ำบังนิวตรอนในปริมาณที่แตกต่างกัน (สูตร SNB10, SNB20, SNB50 และ SNB100) แสดงในรูปที่ 5 (a) พบว่าการเติมสารบอแร็กซ์ในบล็อกยางไม่ส่งผลให้ค่าความแข็งของยางเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ และค่าความแข็งระดับนี้วัสดุบล็อกยางสามารถทนทานต่อการเสียรูปเพียงพอสำหรับใช้เป็นบล็อกยางก้ำบังรังสี อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณบอแร็กซ์เพิ่มมากขึ้น ค่าความต้านแรงดึงลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับบล็อกยางสูตรที่ไม่มีสารก้ำบังรังสี (สูตร RB00) ในขณะที่ค่าความยืดเมื่อขาดลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณบอแร็กซ์ในบล็อกยางก้ำบังรังสีสูงขึ้น เมื่อพิจารณาสมบัติความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดที่ลดลงเมื่อเติมบอแร็กซ์ในปริมาณมากขึ้นแล้วพบว่าจะไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานของบล็อกยางก้ำบังรังสี เนื่องจากสมบัติแรงดึงดังกล่าวไม่ใช่ปัจจัยจำเป็นต่อการใช้งาน เนื่องจากลักษณะการใช้งานบล็อกยางก้ำบังรังสีไม่ถูกกระทำด้วยแรงดึงในทุกทิศทาง

รูปที่ 5 (b) แสดงสมบัติทางกายภาพของบล็อกยางก้ำบังรังสีที่มีกรดบอริกเป็นสารก้ำบังนิวตรอนในปริมาณที่แตกต่างกัน (สูตร SNBa10, SNBa20, SNBa50 และ SNBa100) ผลการทดสอบพบว่าเมื่อเติมกรดบอริกในสูตรยางส่งผลให้ค่าสมบัติทางกายภาพ คือ ความแข็ง ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการใส่สารตัวเติม (กรดบอริก) ส่งผลให้ปริมาณการเชื่อมขวาง (crosslink density) ในเฟสยางลดลง และถ้าเติมในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนเนื่องจากการเชื่อมขวางที่ไม่ต่อเนื่องของเฟสยาง

การเติมสารก้ำบังรังสีแกมมาชนิดตะกั่วออกไซด์ลงในสูตรยางส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของบล็อกยางดังแสดงในรูปที่ 5 (c) ซึ่งพบว่าค่าความแข็งของยางสูงขึ้นเมื่อปริมาณตะกั่วออกไซด์เพิ่มขึ้น ค่าความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดลดลงเมื่อเติมตะกั่วออกไซด์ในปริมาณ 20 phr (สูตร SGL20) อย่างไรก็ตามพบว่าสมบัติทั้งสามมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตะกั่วออกไซด์ในบล็อกยางก้ำบังรังสี ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณการเชื่อมขวางที่เกิดจากโลหะออกไซด์ (PbO_2) ปกติแล้วตะกั่วออกไซด์นอกจากจะทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมที่มีสมบัติก้ำบังรังสีแล้วยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้ยางคงรูปได้อีกด้วย

3.2 สมบัติการก้ำบังรังสี

สมบัติการก้ำบังนิวตรอนของบล็อกยางก้ำบังรังสีที่เติมบอแร็กซ์และกรดบอริกแสดงในรูปที่ 6 จากผลการวัด พบว่าบล็อกยางที่มีสารประกอบของธาตุโบรอน ทั้งที่เป็นบอแร็กซ์และกรดบอริกเป็นองค์ประกอบสามารถก้ำบังนิวตรอนได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบล็อกยางที่ไม่ได้เติมสารประกอบของธาตุโบรอน (RB00) เมื่อปริมาณของสารบอแร็กซ์และกรดบอริกในบล็อกยางเพิ่มขึ้นความสามารถในการก้ำบังนิวตรอนเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถเห็นได้จากค่านับวัด (count) ของนิวตรอนที่ในรูปที่ 6 (a) และ (b) ที่ลดลง ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าปริมาณของธาตุโบรอนที่มากขึ้นในบล็อกยาง ทำให้ความหนาแน่นของนิวเคลียสโบรอนที่สามารถดูดซับนิวตรอนได้เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นโอกาสที่จะถูกชนโดยนิวตรอนและจะดูดซับนิวตรอนไว้ก็สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการก้ำบังรังสีสูงขึ้นตามปริมาณธาตุโบรอนในเนื้อยางที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความหนาแน่นของบล็อกก้ำบังรังสีที่เพิ่มขึ้นสามารถก้ำบังรังสีได้ดีมากขึ้นซึ่งอธิบายได้ด้วยโอกาสการชนกันระหว่างนิวเคลียสของโบรอนกับนิวตรอนที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน จากผลของความสามารถในการป้องกันนิวตรอนสามารถสรุปได้ว่าการเติมสารบอแร็กซ์และกรดบอริกในปริมาณ 100 phr มีประสิทธิภาพการก้ำบังรังสีสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมสารก้ำบังรังสีปริมาณที่น้อยกว่า

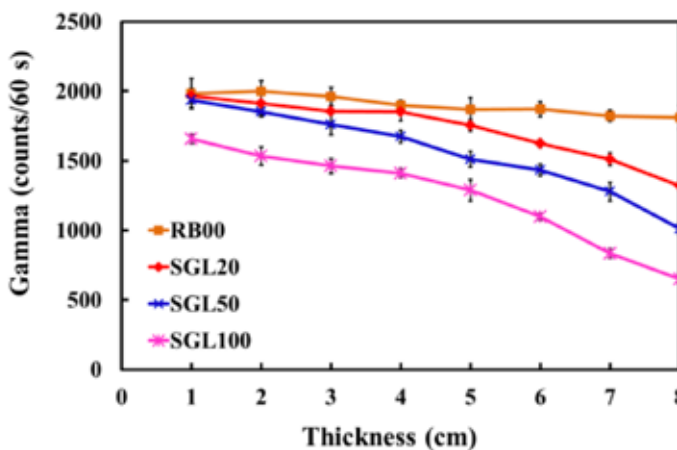


(a)

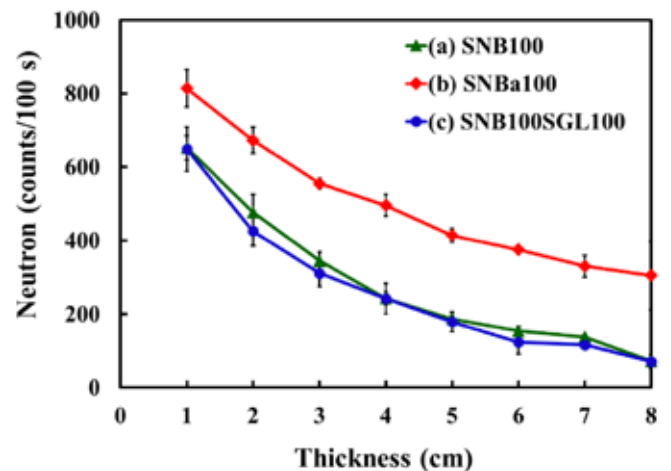
(b)

รูปที่ 6 สมบัติการกำบังนิวตรอนของบล็อกยางกำบังรังสีที่เติม (a) บอแรกซ์ (b) กรดบอริก

สมบัติการกำบังรังสีแกมมาของบล็อกยางกำบังรังสีที่เติมตะกั่วออกไซด์ในปริมาณต่าง ๆ (20, 50 และ 100 phr) แสดงในรูปที่ 7 ผลการนับวัดรังสีแกมมาแสดงให้เห็นชัดเจนว่าความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณตะกั่วออกไซด์ในบล็อกยางสูงขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า จากกราฟที่ได้จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความหนาของบล็อกยางที่ไม่มีส่วนผสมของตะกั่วความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาบล็อกยางที่เติมตะกั่วออกไซด์ลงไปทั้ง 3 สูตร (SGL20, SGL50 และ SGL100) จะเห็นว่าความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาของบล็อกยางกำบังรังสี



รูปที่ 7 สมบัติการกำบังรังสีแกมมาของบล็อกยางกำบังรังสีที่เติมตะกั่วออกไซด์

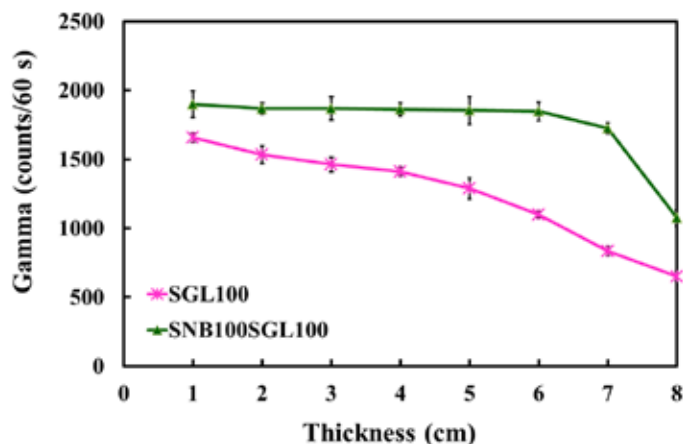


รูปที่ 8 การเปรียบเทียบความสามารถในการกำบังนิวตรอนของบล็อกยางกันรังสีที่เติม (a) บอแรกซ์-สูตร SNB100 (b) กรดบอริก-สูตร SNBa100 (c) บอแรกซ์ผสมตะกั่วออกไซด์-สูตร SNB100SGL100

การเปรียบเทียบความสามารถในการกำบังนิวตรอนของบล็อกยางกันรังสีที่เติมสารกำบังรังสีที่แตกต่างกันในปริมาณที่เท่ากัน นั่นคือ บอแรกซ์ (สูตร SNB100) กรดบอริก (สูตร SNBa100) และบอแรกซ์ผสมตะกั่วออกไซด์ (สูตร SNB100SGL100) แสดงในรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาผลจากค่านับวัด (count) ของนิวตรอนแล้วพบว่า เมื่อเติมสารบอแรกซ์ (SNB100) และ กรดบอริก (SNBa100) ในปริมาณที่เท่ากันลงในบล็อกยาง ความสามารถในการกำบังรังสีแตกต่างกัน โดยบล็อกยางกำบังรังสีที่เติมสารบอแรกซ์มีประสิทธิภาพสูงกว่า ถึงแม้ว่าปริมาณของธาตุโบรอนในกรดบอริก (H_3BO_3 มีธาตุโบรอน 18% โดยน้ำหนัก) จะค่าสูงกว่าในสารบอแรกซ์ ($B_4H_{10}Na \cdot 10H_2O$ มีธาตุโบรอน 12% โดยน้ำหนัก) ซึ่งตามทฤษฎีแล้วควรจะมีสามารถในการกำบังรังสีมากกว่า แต่ผลที่ได้จากการคำนวณวัดของนิวตรอนตามรูปที่ 7 กลับไม่เป็นไปตามทฤษฎี ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากโครงสร้างที่มีลักษณะพรุนของบล็อกยางที่เติมกรดบอริกซึ่งเกิดขึ้นขณะที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด โดยโครงสร้างที่มีลักษณะพรุนดังกล่าวทำให้ความหนาแน่นของธาตุโบรอนในบล็อกยางลดลงกว่าที่ควรจะเป็น ส่งผลให้ความสามารถในการกำบังนิวตรอนของบล็อกยางที่เติมกรดบอริกน้อยลงไปด้วย

เพื่อเป็นการตรวจสอบความสามารถในการกำบังนิวตรอนของบล็อกยางที่เติมบอแรกซ์ทั้งสูตรที่มีและไม่มีตะกั่วออกไซด์ (สูตร SNB100 และ SNB100SGL100) พบว่ามีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบตะกั่วออกไซด์ที่เติมลงไปในบล็อกยาง SNB100SGL100 ไม่ได้มีคุณสมบัติในการกำบังนิวตรอนโดยตรงจึงไม่ส่งผลในทางที่เพิ่มหรือลดความสามารถในการกำบังนิวตรอนอย่างมีนัยสำคัญ

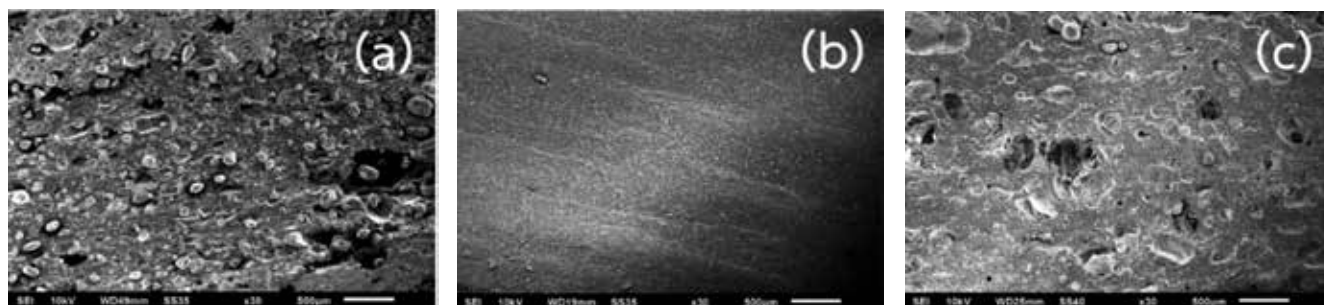
จากกราฟในรูปที่ 9 เห็นได้ชัดเจนว่าบล็อกยางที่มีส่วนประกอบของบอแรกซ์และตะกั่วออกไซด์มีพฤติกรรมที่แตกต่างออกไปจากสูตรที่ไม่มีบอแรกซ์ เมื่อพิจารณาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของสูตร SNB100SGL100 พบว่า ในช่วงแรกเมื่อค่าความหนาเพิ่มขึ้นความสามารถในการกำบังรังสีลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นจนถึงที่ความหนาประมาณ 6 เซนติเมตรค่าความสามารถในการกำบังรังสีจึงจะเพิ่มสูงขึ้น สังเกตจากค่านับวัดรังสีแกมมาที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าแหล่งกำเนิดรังสีชนิด Am^{241}/Be ปลดปล่อยทั้งนิวตรอนและรังสีแกมมา เมื่อนิวตรอนมากระทบกับธาตุโบรอนที่อยู่ในบล็อกยางทำให้เกิดรังสีแกมมาขึ้นอีกบางส่วนจึงทำให้ปริมาณรังสีแกมมารวมเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าวัดรังสีแกมมาหลังจากการลดทอนด้วยธาตุตะกั่วจึงมีปริมาณมากกว่าปกติจนถึงระดับความหนาประมาณ 6 เซนติเมตร ระดับการดูดซับนิวตรอนโดยธาตุโบรอนเริ่มคงที่ รังสีแกมมาที่ดูดซับโดยธาตุตะกั่วจึงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าจับวัดรังสีแกมมาที่ความหนาของบล็อกกันรังสี 6 เซนติเมตรลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามที่เห็นได้จากเส้นกราฟ จากการศึกษาครั้งนี้จึงได้ข้อสังเกตที่เป็นประโยชน์ว่าการผสมสารประกอบของโบรอนและตะกั่วเข้าด้วยกันในบล็อกกำบังรังสีอาจทำให้ประสิทธิภาพการกำบังรังสีไม่เท่าที่ควร เนื่องจากตะกั่วบางส่วนที่อยู่ด้านหน้าของการชนกันของนิวตรอนและโบรอนไม่ได้ทำหน้าที่กำบังรังสีแกมมาที่เกิดขึ้น



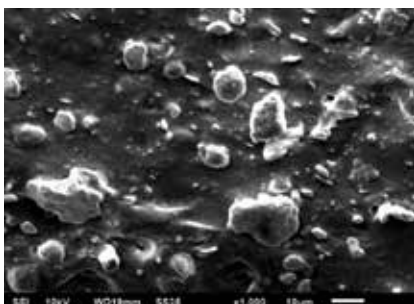
รูปที่ 9 สมบัติการกำบังรังสีแกมมาของบล็อกยางกำบังรังสีที่เติมตะกั่วออกไซด์สูตรที่ไม่มีและมีบอแรกซ์ (SNL100 และ SNB100SGL100)

3.3 การกระจายตัวของสารกำบังรังสีในเนื้อยาง

การกระจายตัวของสารกำบังรังสีในเนื้อยางเป็นอีกหนึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำบังรังสีของบล็อกยางกำบังรังสี การกระจายตัวที่สม่ำเสมอทั่วทั้งบล็อกยางส่งผลให้การกำบังรังสีดีขึ้นอย่างชัดเจน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษา ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 30 เท่า เพื่อพิสูจน์แสดงการกระจายตัวของสารกำบังรังสีในบล็อกยางกำบังรังสีที่เติมบอแรกซ์ (SNB100) ตะกั่วออกไซด์ (SGL100) และบอแรกซ์ผสมตะกั่วออกไซด์ (SNB100SGL100) ตามที่แสดงในรูปที่ 9 ภาพถ่าย SEM แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการกระจายตัวของบอแรกซ์ (a) และตะกั่วออกไซด์ (b) เป็นไปอย่างสม่ำเสมอในเนื้อยาง และพบว่าอนุภาคของบอแรกซ์จะมีขนาดใหญ่กว่าตะกั่วออกไซด์ ส่วนบล็อกยางที่เติมทั้งบอแรกซ์และตะกั่วออกไซด์ (c) มีการกระจายตัวของสารทั้งสองอย่างสม่ำเสมอโดยไม่เกิดการจับก้อนและไม่เกิดปฏิกิริยาต่อกันซึ่งสามารถเห็นได้ชัดจากรูปที่ 10 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1000 เท่า ที่แสดงการกระจายตัวของบอแรกซ์และตะกั่วออกไซด์ในบล็อกยางกำบังรังสีสูตร SNB100SGL100



รูปที่ 10 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 30 เท่า แสดงการกระจายตัวของสารกำบังรังสีในบล็อกยางกำบังรังสีที่เติม (a) บอแรกซ์-สูตร SNB100 (b) ตะกั่วออกไซด์-สูตร SGL100 (c) บอแรกซ์ผสมตะกั่วออกไซด์-สูตร SNB100SGL100



รูปที่ 11 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า แสดงการกระจายตัวของบอแรกซ์และตะกั่วออกไซด์ในบล็อกยางกำบังรังสีสูตร SNB100SGL100

4. สรุป (Conclusion)

งานวิจัยได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของบล็อกยางกำบังรังสีที่เตรียมขึ้นจากยางธรรมชาติและสารประกอบโบรอนและตะกั่ว ได้แก่ ความแข็งแรงดึงและความยืดเมื่อขาด พบว่าวัสดุกำบังรังสีที่มีปริมาณสารกำบังรังสีสูงขึ้นจะมีค่าสมบัติทางกายภาพลดลง แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานจริง บล็อกยางกำบังรังสีที่เตรียมขึ้นจากสารประกอบโบรอนทั้งสองประเภทคือ บอแรกซ์ และกรดบอริก มีความสามารถในการกำบังนิวตรอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ความสามารถในการกำบังนิวตรอนจะเพิ่มขึ้นตามความหนาและปริมาณของสารประกอบโบรอนในบล็อกยางกำบังรังสี ถึงแม้ว่ากรดบอริกจะมีปริมาณของร้อยละของอะตอมโบรอนต่อหน่วยน้ำหนักมากกว่าบอแรกซ์ แต่บล็อกยางกำบังรังสีที่ผสมสารบอแรกซ์สามารถกำบังนิวตรอนได้ดีกว่าบล็อกยางที่เตรียมจากกรดบอริก ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของบล็อกยางธรรมชาติผสมกรดบอริกมีความพรุนสูงทำให้ความหนาแน่นต่อปริมาตรของอะตอมโบรอนในบล็อกยางกำบังรังสีที่ผสมกรดบอริกลดลง นอกจากนั้นยังได้ศึกษาสมบัติการกำบังรังสีแกมมาที่เกิดจากการการชนของนิวตรอนกับอะตอมของโบรอนโดยการเติมสารประกอบตะกั่วออกไซด์ลงในบล็อกยางกำบังรังสีที่เตรียมขึ้น พบว่าความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณตะกั่วออกไซด์ในบล็อกยางสูงขึ้นและความหนาของบล็อกยางเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามผลจากการศึกษาการกำบังรังสีแกมมาโดยการเตรียมบล็อกยางธรรมชาติที่เติมทั้งสารประกอบโบรอนและตะกั่วพบว่าสามารถการกำบังรังสีแกมมาได้ แต่ประสิทธิภาพการกำบังรังสีไม่เท่าที่ควร เนื่องจากอนุภาคตะกั่วบางส่วนที่อยู่ด้านหลังของการชนกันของนิวตรอนและโบรอนไม่ได้ทำหน้าที่กำบังรังสีแกมมาที่เกิดขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณวิเชียร รตนธงชัย และ ดร.รพพน พิชา จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.) ที่ให้ความอนุเคราะห์การวัดสมบัติการกำบังนิวตรอนและรังสีแกมมาของบล็อกยางกำบังรังสีจากงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] CHILTON, A.B., J.K. SHULTIS and R.E. FAW. *Principles of Radiation Shielding*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1984.
- [2] SHULTIS, J.K. and R.E. FAW. *Radiation Shielding*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1996.
- [3] PRICE, B.T., C.C. HORTEN and K.T. SPINNERY. *Radiation Shielding*. Elmsford, NY : Pergamon, 1957.
- [4] Harada, Y. and H. Nakahara, INPADDOC, JP patent application, 1989, 1-146620 [in Japanese].
- [5] EL-KHATIB, A. M., M. KASSEM and A.A. EZZAT. *J. Polym. Mater.* 1990, 7(1).
- [6] MATSUDA, K., H. NISHIKOWA and H. HARADA. INPADDOC. *JP patent application*. 1988, 63-716 [in Japanese]
- [7] KRAUS, W.B., M.B. GLASGOW, M.Y. KIM, D.L. OLMUIER, R.L. KIEFER, R.A. ORWOLL and S.A. THIBEAULT. *Anon-205th ACS National Meeting*. Washington, USA, 273 Paper, Polymer 23, 1993.

การพัฒนาวัสดุอ้างอิงรับรองสำหรับวัดธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่ม

Development of Thailand Reference Material for determining trace elements in drinking water

12

อุษณา เทียงมณี^{1*}, เนตติกานต์ แก้วขอมดี¹, สุทธินันท์ แต่บรรพกุล¹, จริญญา ยะผา¹
Usana Thiengmanee^{1*}, Nattikarn Kaewkhomdee¹, Sutthinun Taebunpakul¹, Charun Yafa¹

บทคัดย่อ

วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified reference material, CRM) หรือชื่อทางการค้า คือ Thailand Reference Material (TRM) สำหรับวัดธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่ม ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ โดยวัสดุอ้างอิงรับรองนี้ถูกผลิตขึ้นภายใต้โครงการ the ASEAN Food Testing Laboratory Committee (AFTLC) การเตรียม TRM ทำโดยการเติมสารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และตะกั่ว (Pb) ลงในสารละลายน้ำที่มีความเป็นกรด จากนั้น ทำการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน และความเสถียร โดยกระบวนการผลิต TRM เป็นไปตามข้อกำหนด ISO 17034 - ISO guide 35 เพื่อให้ได้ CRM ที่มีคุณภาพ ค่าอ้างอิงและความไม่แน่นอนของการวัดของ TRM ถูกให้ค่าด้วยเทคนิค Exact-matching double isotope dilution mass spectrometry (IDMS) และจาก Measurement Traceability for Life Sciences Testing and Forensic Conformity Assessment Bodies (P113-A2LA) ระบุว่า ผลของการเข้าร่วมกิจกรรมการเปรียบเทียบผลการวัดที่จัดโดยคณะกรรมการมาตรฐานวิทยาศาสตร์ (เช่น SIM-QM-S2 SIM.QM-S7 และ CCQM-K89) สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการเป็นผู้ผลิตวัสดุอ้างอิงในภูมิภาคนี้

Abstract

Certified reference material of determining trace elements in drinking water has been developed. It is so called Thailand reference material (TRM) issued by the National Institute of Metrology (Thailand) has been initiatively produced under the project of the ASEAN Food Testing Laboratory Committee (AFTLC). The TRM production was prepared from spiking appropriate amount of standard solution containing Cadmium (Cd) Copper (Cu) Iron (Fe) Zinc (Zn) and Lead (Pb) into acidic aqueous solution. This regards using valid procedures for homogeneity and stability studies implemented according to the requirement stated in ISO 17034 - ISO Guide 35 to ensure the quality of CRM. Their property values of TRM were characterized by exact-matching double isotope dilution mass spectrometric (IDMS) technique and their associated uncertainties were then estimated from characterization, homogeneity and stability studies. Referred to Policy on Measurement Traceability for Life Sciences Testing and Forensic Conformity Assessment Bodies (P113-A2LA), results for measurement comparison activities of the International Committee for Weights and Measures (CIPM) participated, e.g., SIM.QM.S2 SIM.QM-S7 and CCQM-K89, could be considered to support for becoming a prospective reference material producer in this region.

คำสำคัญ: วัสดุอ้างอิง น้ำดื่ม ค่าอ้างอิง ค่าความไม่แน่นอนของการวัด

Keywords: Reference material, Drinking water, Reference values, Measurement uncertainty

¹ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

*Corresponding author Email address: usana@nimt.or.th

1. บทนำ (Introduction)

น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อร่างกายมนุษย์เป็นอันดับที่สองรองจากออกซิเจน และมีมากที่สุดในร่างกาย คือ 2 ใน 3 ของน้ำหนักตัว โดยน้ำเป็นองค์ประกอบของส่วนต่างๆ ของร่างกาย ได้แก่ เลือด น้ำเหลือง ตับ ไต เป็นต้น น้ำช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ ช่วยให้กระบวนการทางเคมีในร่างกายดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งช่วยในการลำเลียงสารต่างๆ ในร่างกาย มนุษย์จึงจำเป็นต้องบริโภคน้ำที่สะอาด และมีสารปนเปื้อนไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่มให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อให้กระบวนการผลิตน้ำดื่มมีความปลอดภัยและเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด อีกทั้งส่งเสริมและสนับสนุนกิจกรรมการวัดที่เกี่ยวข้องกับธาตุในน้ำดื่มอีกด้วย

การตรวจวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่มให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือนั้น จำเป็นต้องใช้วัสดุอ้างอิงที่ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับสากล วัสดุอ้างอิงเหล่านี้ส่วนใหญ่ผลิตมาจากสถาบันมาตรวิทยาที่มีชื่อเสียงระดับโลก ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติเล็งเห็นความสำคัญของการวัดที่ถูกต้องของธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่ม จึงดำเนินแผนการพัฒนาวัสดุอ้างอิงของการตรวจวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่ม เพื่อตอบสนองต่อความต้องการกิจกรรมการตรวจวัดนี้ และเสริมสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้บริโภค

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

สืบเนื่องจากการจัดกิจกรรมทดสอบความชำนาญการตรวจวิเคราะห์โลหะในน้ำ (PT BQSF ME 01-2015) ภายใต้โครงการ the ASEAN Food Testing Laboratory Committee (AFTLC) ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่าง 3 หน่วยงาน ได้แก่ Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (วพ.) และ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.)

2.1 กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (วพ.) เป็นหน่วยงานที่เตรียมตัวอย่าง และจัดกิจกรรมทดสอบความชำนาญการตรวจวิเคราะห์โลหะในน้ำ ตัวอย่างน้ำถูกเตรียมโดยการเติมสารละลายมาตรฐานของ Cadmium (Cd) Copper (Cu) Iron (Fe) Zinc (Zn) และ Lead (Pb) ในปริมาณที่ต้องการลงในน้ำปราศจากไอออน ปรับ pH ให้ต่ำกว่า 2 ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้ตัวอย่างน้ำประมาณ 8 ลิตร และทำการบรรจุลงในขวด HDPE ขวดละ 100 mL

2.2 ตัวอย่างน้ำทั้งหมดถูกส่งมายังกลุ่มงานวิเคราะห์หอนินทรีย์เคมี ฝ่ายมาตรวิทยาเคมีและชีวภาพ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) เพื่อเก็บรักษา ศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน ศึกษาเสถียรภาพ และให้คำรับรอง ของธาตุในน้ำ

2.3 กิจกรรมนี้เป็นความร่วมมือระหว่าง 3 หน่วยงาน ได้แก่ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (วพ.) มว. และ Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนงบประมาณ

ตัวอย่างน้ำภายหลังจากการจัดกิจกรรมทดสอบความชำนาญฯ นี้ กลุ่มงานวิเคราะห์หอนินทรีย์เคมี มว. ได้นำมาใช้ในการพัฒนาเพื่อเป็นวัสดุอ้างอิงรับรองสำหรับวัดธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่มต่อไป โดย มว. กำหนดค่า target measurement uncertainty ของวัสดุอ้างอิงนี้ พิจารณาจากเกณฑ์ความไม่แน่นอนของการวัดของวัสดุอ้างอิงที่ผลิตโดย BCR และความไม่แน่นอนของการวัดที่ทางสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติได้รับการรับรองตามระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025 รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระหว่าง uncertainty ของธาตุโลหะในวัสดุอ้างอิงที่เตรียมได้ และเกณฑ์แนะนำของ BCR matrix CRM

Measurand in environment (water)	Concentration range (mg/kg)	% uncertainty (k=2) of TRM	% uncertainty (k=2) according to recommended BCR Matrix CRM [7]	% uncertainty (k=2) according to NIMT accreditation ISO/IEC 17025
Cd	0.001-0.01	6.0	3.1-3.4	4.5-5.0
Cu	0.1-1	2.2	2.3-2.7	3.0-4.0
Pb	0.01-0.1	6.6	2.7-3.1	2.5-3.0
Zn	0.1-1	2.9	2.3-2.7	5.0-6.0

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 ผลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของปริมาณธาตุในน้ำดื่ม

ตัวอย่างน้ำถูกสุ่มมาจำนวน 11 ตัวอย่าง และทำการทดสอบรายการ Cd Cu Pb และ Zn โดยวิธี Isotope Dilution - Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometric (ID-ICP-MS) [1] ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะทดสอบแบบซ้ำ 2 ครั้ง (Duplicate) และทำการประเมินความเป็นเนื้อเดียวกันตามแนวทางของ ISO Guide 34-35 โดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า Cd Cu Pb และ Zn ในตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ดังผลการศึกษาที่แสดงในตารางที่ 2-5 ($F_{cal} < F_{crit}$)

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของ Cd ในน้ำดื่ม

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F cal	P-value	F crit
Between Groups	1.64832E-08	10	1.64832E-09	1.425020738	0.28441337	2.85362486
Within Groups	1.27237E-08	11	1.1567E-09			
Total	2.9207E-08	21				

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของ Cu ในน้ำดื่ม

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F cal	P-value	F crit
Between Groups	3.31928E-05	10	3.31928E-06	1.189439044	0.38809455	2.85362486
Within Groups	3.06969E-05	11	2.79063E-06			
Total	6.38897E-05	21				

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของ Pb ในน้ำดื่ม

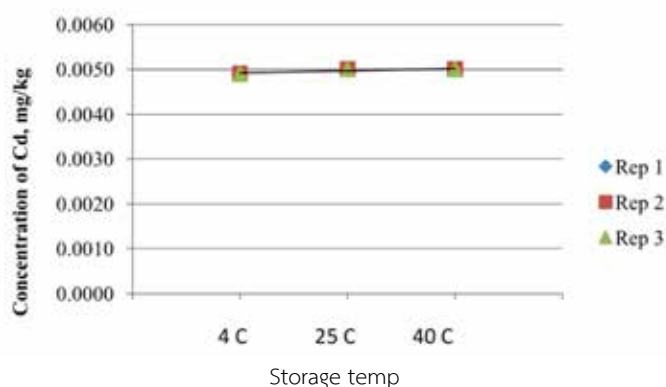
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F cal	P-value	F crit
Between Groups	3.2953E-07	10	3.2953E-08	0.729992407	0.68623673	2.85362486
Within Groups	4.96558E-07	11	4.51416E-08			
Total	8.26088E-07	21				

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของ Zn ในน้ำดื่ม

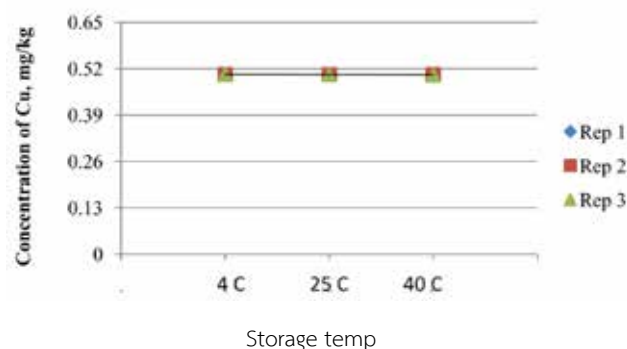
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F cal	P-value	F crit
Between Groups	0.000612028	10	6.12028E-05	2.004898213	0.13469116	2.85362486
Within Groups	0.000335793	11	3.05266E-05			
Total	0.000947821	21				

3.2 ผลการศึกษาความเสถียรระยะสั้น (Short-term stability) ของปริมาณธาตุในน้ำดื่ม

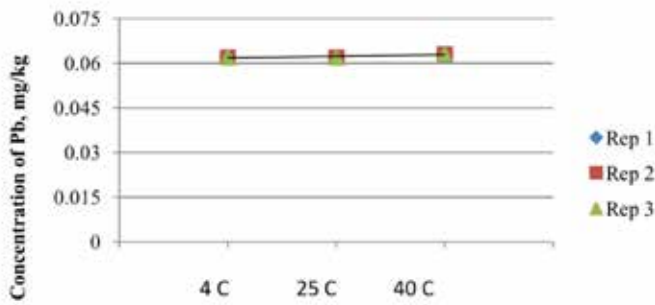
เพื่อจำลองสภาวะอุณหภูมิจากการขนส่ง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของโลหะ ในการศึกษาความเสถียรของตัวอย่างระยะสั้นนั้น ใช้ isochronous scheme โดยนำตัวอย่างน้ำเก็บที่อุณหภูมิ 4°C 25°C และ 40°C อุณหภูมิละ 3 ขวด เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมดพร้อมกัน ภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน (repeatability condition) ซึ่งจะสามารถลดผลกระทบที่อาจเกิดจากความไม่คงที่ของการตอบสนองของเครื่องมือ วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์ ผลการศึกษาความเสถียรระยะสั้นแสดงในรูปที่ 1-4 จากการประเมินทางสถิติ [2] พบว่า ผลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่า Cd Cu Pb และ Zn ในเมทริกซ์น้ำมีความเสถียรในช่วงระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ เนื่องจากเสถียรภาพของธาตุเหล่านี้ในตัวอย่างน้ำค่อนข้างสูง จึงขออนุมานจากกรณีศึกษาดังกล่าวถึงการมีเสถียรภาพของวัสดุอ้างอิงระยะสั้นที่ดี โดยสามารถละทิ้งความไม่แน่นอนนี้ได้



รูปที่ 1 ความเสถียรระยะสั้นของ Cd ที่ 4°C 25°C และ 40°C

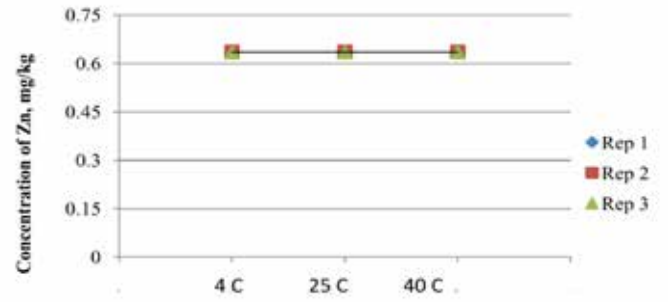


รูปที่ 2 ความเสถียรระยะสั้นของ Cu ที่ 4°C 25°C และ 40°C



Storage temp

รูปที่ 3 ความเสถียรระยะสั้นของ Pb ที่ 4°C 25°C และ 40°C

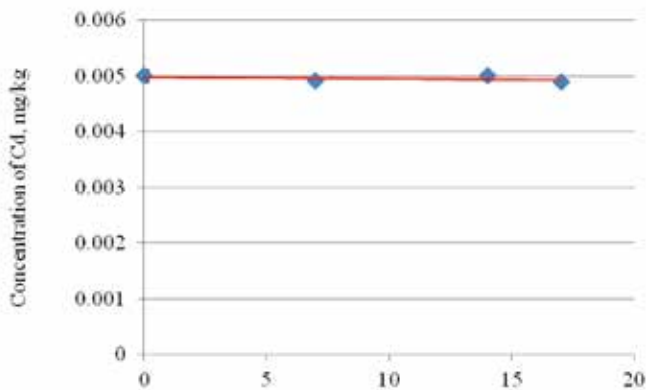


Storage temp

รูปที่ 4 ความเสถียรระยะสั้นของ Zn ที่ 4°C 25°C และ 40°C

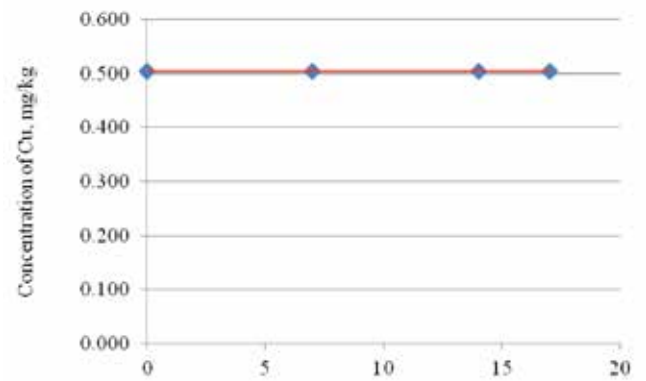
3.3 ผลการศึกษาความเสถียรระยะยาว (Long-term stability) ของปริมาณธาตุในน้ำดื่ม

การศึกษาความเสถียรระยะยาวของ Cd Cu Pb และ Zn ทำโดยสุ่มตัวอย่างน้ำที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C จำนวนครั้งละ 3 ชุดในเดือนที่ 0 7 14 และ 17 นำมาทดสอบ โดยพบว่าผลเป็นดังรูปที่ 5-8 ดังจะเห็นว่าความชันของกราฟไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 6) แสดงว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อระดับความเข้มข้นของธาตุที่ทดสอบในตัวอย่างน้ำ



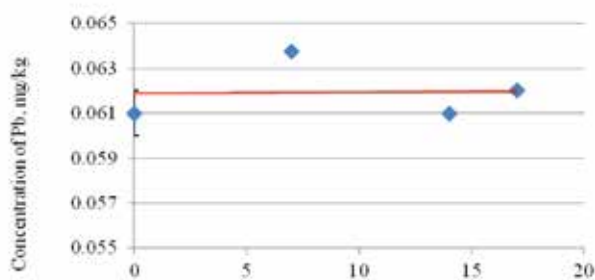
Storage time (months)

รูปที่ 5 ความเสถียรระยะยาวของ Cd ในตัวอย่างน้ำ



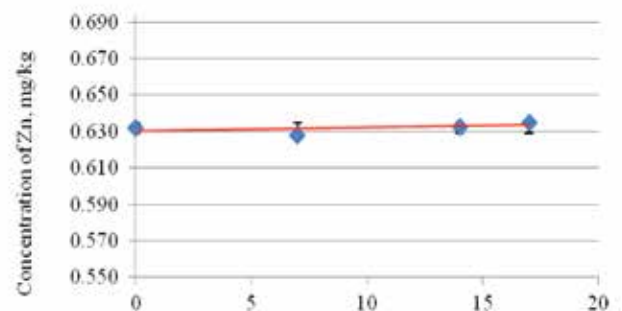
Storage time (months)

รูปที่ 6 ความเสถียรระยะยาวของ Cu ในตัวอย่างน้ำ



Storage time (months)

รูปที่ 7 ความเสถียรระยะยาวของ Pb ในตัวอย่างน้ำ



Storage time (months)

รูปที่ 8 ความเสถียรระยะยาวของ Zn ในตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์ความเสถียรระยะยาวของธาตุที่สนใจในตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ 4 °C

Elements	Cd	Cu	Pb	Zn
Statistical Parameters				
Slope (b), mg/kg	-2.98E-06	2.89E-06	3.37E-06	0.000205
Standard error of slope (S_b)	4.76E-06	4.65E-05	0.000121	0.000229
Degree of freedom	2	2	2	2
$t_{calc} = \frac{ b }{s_b}$	0.628	0.062	0.0278	0.896
$t_{crit} = t_{(0.05, 2)}$	4.30	4.30	4.30	4.30
Statistical significance at 95% CI	No	No	No	No

เมื่อทดสอบทางสถิติตามสมการที่ 1 และได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 6-7 สามารถสรุปได้ว่า วัสดุอ้างอิงสำหรับวัดปริมาณธาตุในน้ำดื่มมีความเสถียรในช่วงระยะเวลา 17 เดือน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4°C

$$|x_m - x_{CRM}| \leq 2 \cdot \sqrt{u_m^2 + u_{CRM}^2} \quad \text{สมการที่ 1}$$

x_m คือ ค่าที่วัดได้ จากการศึกษาระยะยาว long-term stability เมื่อเวลาผ่าน 17 เดือน

x_{CRM} คือ ค่าของ CRM ที่เตรียมขึ้น จากการให้ค่าอ้างอิง

u_m คือ ค่าความไม่แน่นอนที่วัดได้ จากการศึกษาระยะยาว long-term stability เมื่อเวลาผ่าน 17 เดือน

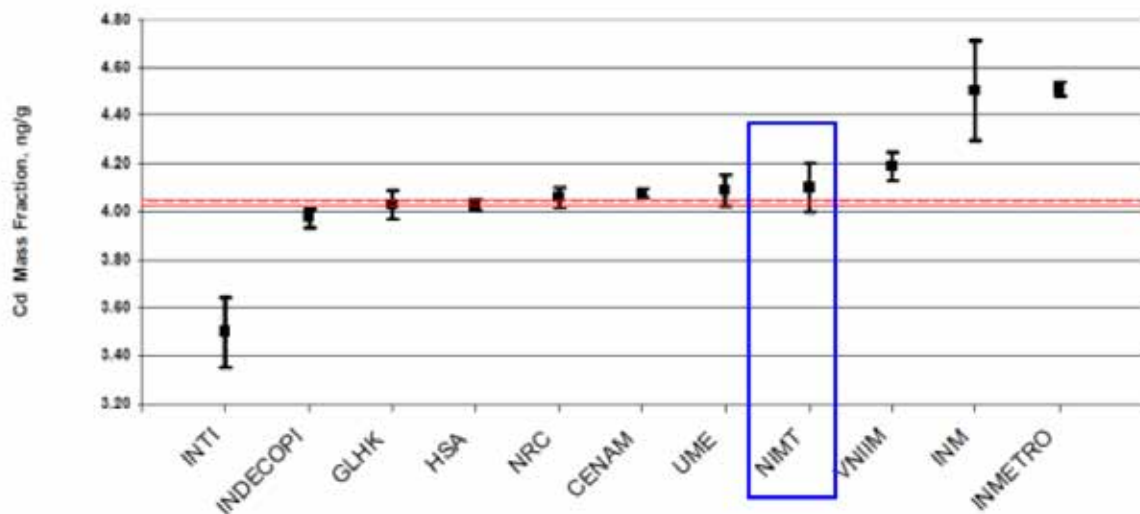
u_{CRM} คือ ค่าความไม่แน่นอนที่วัดได้ของ CRM ที่เตรียมขึ้น จากการให้ค่าอ้างอิง

ตารางที่ 7 ผลการประเมินความเสถียรระยะยาวของธาตุปริมาณน้อยในตัวอย่างน้ำที่เก็บไว้ที่ 4°C

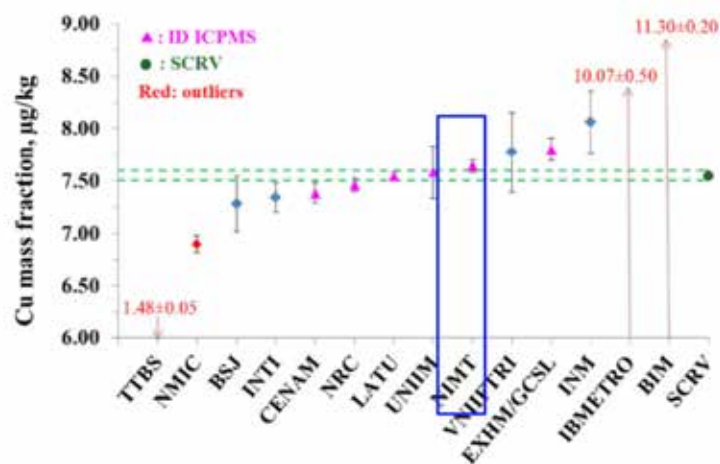
Elements	$ x_m - x_{CRM} $	$2 \cdot \sqrt{u_m^2 + u_{CRM}^2}$	Analysis	Conclusion
Cd	0.0001	0.0003	$\frac{ x_m - x_{CRM} }{2 \cdot \sqrt{u_m^2 + u_{CRM}^2}} \leq 1$	Stability observed
Cu	0	0.0172	$\frac{ x_m - x_{CRM} }{2 \cdot \sqrt{u_m^2 + u_{CRM}^2}} \leq 1$	Stability observed
Pb	0.001	0.0040	$\frac{ x_m - x_{CRM} }{2 \cdot \sqrt{u_m^2 + u_{CRM}^2}} \leq 1$	Stability observed
Zn	0.003	0.0248	$\frac{ x_m - x_{CRM} }{2 \cdot \sqrt{u_m^2 + u_{CRM}^2}} \leq 1$	Stability observed

3.4 การแสดงความสามารถการวัดธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่ม

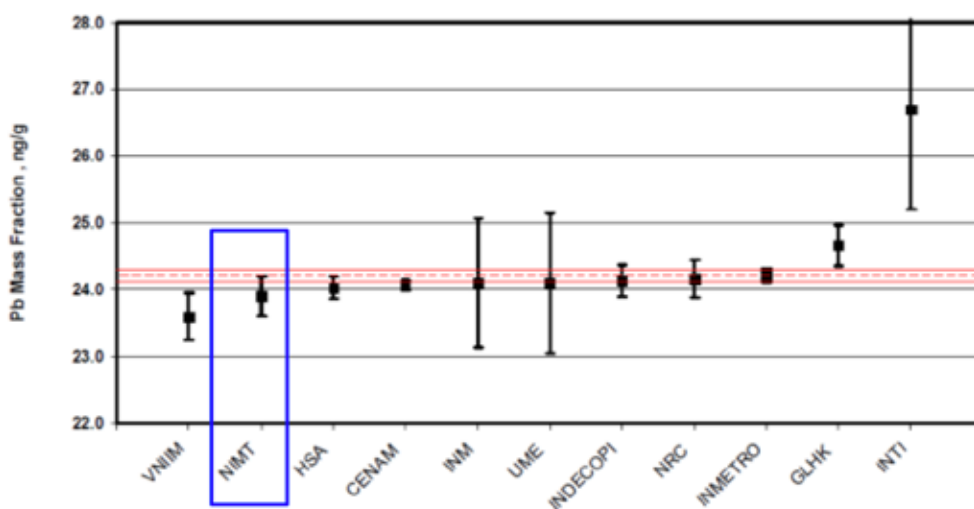
มว. ทำการเข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัดธาตุปริมาณน้อยในตัวอย่างที่หลากหลายเพื่อแสดงความสามารถด้านการวัดให้เป็นที่ยอมรับของนานาประเทศ เช่น SIM-QM-S2: Trace elements in drinking water [3] และ SIM.QM-S7: Supplementary Comparison for Trace Metals in Drinking Water [4] พบว่า ผลการวัดโดยภาพรวมเป็นที่น่าพอใจ และได้รับการยอมรับในระดับสากลจากการประกาศความสามารถทางด้านการวัด Calibration and Measurement Capability (CMC) บนเว็บไซต์ของ International Bureau of Weight and Measures (BIPM) สำหรับ Zn เนื่องจากไม่มีรายการเปรียบเทียบผลการวัด Zn ในตัวอย่างน้ำ จึงขอเทียบผลการทดสอบ Zn ในรายการ CCQM-K89: Trace and Essential Elements in *Herba Ecliptae* [5] มาแสดงแทน เนื่องจากเป็นที่รู้โดยทั่วกันว่า เมทริกซ์ในน้ำดื่มมีความซับซ้อนน้อยมากเมื่อเทียบกับเมทริกซ์อื่น หาก มว. สามารถแสดงความสามารถของ Zn ในเมทริกซ์สมุนไพร ย่อมมีความสามารถในการวัด Zn ในน้ำได้ โดยการวิเคราะห์ทั้งหมดใช้หลักการ Exact matching double IDMS ซึ่งเป็น primary method และวัดด้วยเครื่อง ICP-MS (รูปที่ 9-12) โดยอ้างอิง Measurement Traceability for Life Sciences Testing and Forensic Conformity Assessment Bodies (P113-A2LA) [6] ระบุว่า ผลของการเข้าร่วมกิจกรรมการเปรียบเทียบผลการวัดที่จัดโดยคณะกรรมการมาตรฐานวิทยาศาสตร์ (เช่น SIM-QM-S2 SIM.QM-S7 และ CCQM-K89) สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการเป็นผู้ผลิตวัสดุอ้างอิงของภูมิภาคได้



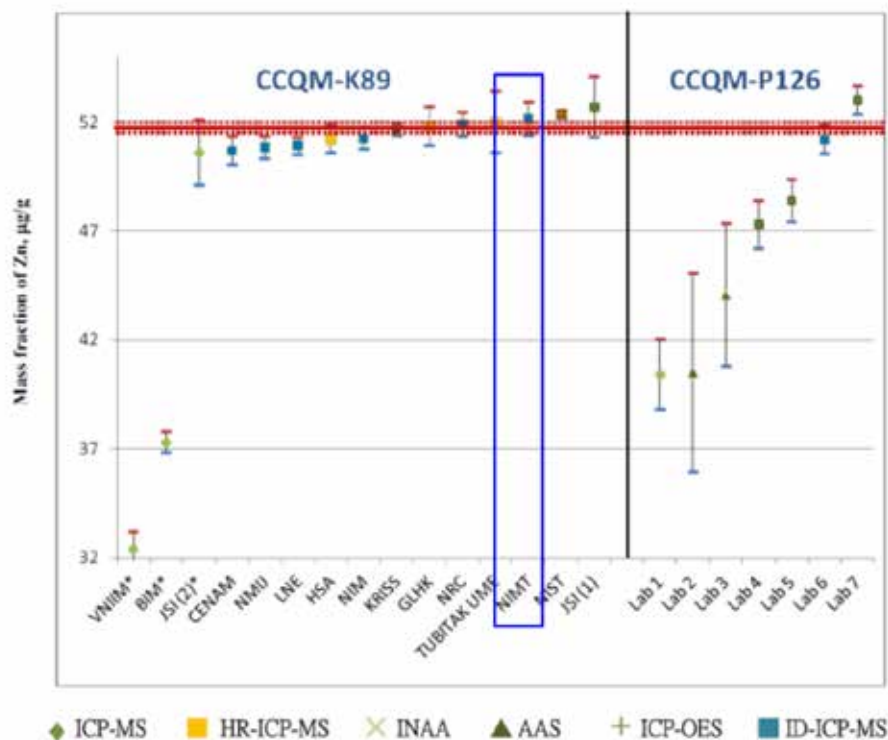
รูปที่ 9 ปริมาณ Cd ที่รายงานใน SIM-QM-S2 Error bar แสดงถึง standard uncertainty จุดประแสดงถึงค่าอ้างอิง (reference value) เส้นทึบแสดงถึง standard uncertainty ของค่าอ้างอิง



รูปที่ 10 ปริมาณ Cu ที่รายงานใน SIM.QM-S7 Error bar แสดงถึง standard uncertainty จุดกลมแสดงถึง Supplementary Comparison Reference Value (SCRV) เส้นประแสดงถึง standard uncertainty ของค่าอ้างอิง



รูปที่ 11 ปริมาณ Pb ที่รายงานใน SIM-QM-S2 Error bar แสดงถึง standard uncertainty จุดกลมแสดงถึง Key Comparison Reference Value (KCRV) เส้นประแสดงถึง standard uncertainty ของค่าอ้างอิง



รูปที่ 12 ปริมาณ Zn ที่รายงานใน CCQM-K89 Error bar แสดงถึง standard uncertainty เส้นทึบแสดงถึง Key Comparison Reference Value (KCRV) เส้นประแสดงถึง standard uncertainty ของค่าอ้างอิง

3.5 การให้ค่าอ้างอิงของธาตุในวัสดุอ้างอิงสำหรับวัดธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่ม

มว. ได้ใช้วิธีการเดียวกันนี้ในการหาปริมาณของธาตุ ได้แก่ Cd Cu Pb และ Zn ในวัสดุอ้างอิงเมทริกซ์น้ำดื่ม โดยผลเป็นดังตารางที่ 8 โดยค่าความไม่แน่นอนที่ปรากฏในใบรับรอง ประกอบด้วยความไม่แน่นอนของ characterization (u_{char}) homogeneity (u_{homo}) และ long-term stability (u_{lts})

ตารางที่ 8 ผลการให้ค่าอ้างอิงแก่วัสดุอ้างอิงสำหรับวัดปริมาณธาตุในน้ำดื่ม

Elements	Mass fraction, mg/kg	u_{char}	u_{homo}	u_{lts}	u_c	U_{CRM} (95% CI)
Cd	0.0050	0.0001	1.57E-05	5.71E-05	0.0001	0.0003
Cu	0.504	0.0050	5.14E-04	5.58E-04	0.0051	0.011
Pb	0.061	0.0013	9.81E-05	1.46E-03	0.002	0.004
Zn	0.632	0.0073	3.92E-03	2.75E-03	0.0087	0.018

u_{char} ได้จากการสุ่มตัวอย่างวัสดุอ้างอิงน้ำ จำนวน 11 ขวด แล้วทำการวัดด้วยเทคนิค Exact-matching double IDMS

u_{homo} ได้จากผลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน

เมื่อพบว่าวิธีการวัดให้ sufficient repeatability ความไม่แน่นอนจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จะประเมินได้จาก between-bottle variance โดยผลจาก within-bottle homogeneity effects ถือว่าน้อยมาก โดยสามารถประเมินได้ ดังสมการที่ 2 เช่นในกรณีของการวัดปริมาณ Cd Cu และ Zn

$$u_{homo} = S_{bb} = \sqrt{\frac{MS}{n_0}} \quad \text{สมการที่ 2}$$

แต่หากพบว่าวิธีการวัดให้ insufficient repeatability อิทธิพลของ repeatability standard deviation ต่อ S_{bb} (variation between units) จะสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 เช่นในกรณีของการวัดปริมาณ Pb

$$u_{homo} = S_{bb} = \sqrt{\frac{MS_{within}}{n}} \sqrt{\frac{2}{v_{MS_{within}}}}$$

สมการที่ 3

โดย MS_{within} เทียบเท่ากับ repeatability variance ของการวัดที่ใช้ในการศึกษา between-bottle homogeneity study

u_{lts} ได้จากผลการศึกษาความเสถียรในระยะยาว โดยใช้ trend analysis ดังสมการที่ 4

$$u_{lts} = s_b X_{ub}$$

สมการที่ 4

s_b = ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอย (Standard error of the slope)

X_{ub} = ระยะเวลาที่ให้ค่าอ้างอิง (Time)

เพื่อที่จะประมาณความไม่แน่นอนของค่าที่ได้รับการรับรองนี้ จึงได้มีการรวมค่าความไม่แน่นอนดังกล่าวไว้เข้าด้วยกัน ดังสมการแสดงไว้ข้างล่างนี้

$$u_c = \sqrt{u_{char}^2 + u_{homo}^2 + u_{lts}^2}$$

$$U_{CRM} = 2 \cdot u_c$$

ตัวอย่าง การคำนวณค่าอ้างอิงและความไม่แน่นอนของแคดเมียม

ค่าอ้างอิงได้จากค่าเฉลี่ยของการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างน้ำ 11 ขวด ด้วยเทคนิค IDMS มีค่าเท่ากับ = 0.0050 mg/kg

u_{char} มาจากการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัดโดยเทคนิค IDMS

$$u_{char} = 0.0001 \text{ mg/kg}$$

$$u_{homo} = S_{bb} = \sqrt{\frac{MS}{n_0}} = \sqrt{\frac{MS}{2}} \text{ (MS มาจากตารางที่ 1)}$$

$$u_{homo} = 1.57 \times 10^{-5} \text{ mg/kg}$$

$$u_{lts} = s_b X_{ub} \text{ (} s_b \text{ ได้จากตาราง Regression)}$$

Regression Statistics

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0.004980039	5.49423E-05	90.641237	0.0001217	0.004743641	0.0052164	0.004743641	0.00521644
X Variable 1	-2.98651E-06	4.75517E-06	-0.6280556	0.5941226	-2.34464E-05	1.747E-05	-2.34464E-05	1.7473E-05

$$u_{lts} = (4.76 \times 10^{-6}) \times 12 \text{ (} X_{ub} \text{ = ระยะเวลาที่ให้ค่าอ้างอิง 12 เดือน)}$$

$$u_{lts} = 5.71 \times 10^{-5} \text{ mg/kg}$$

$$u_c = \sqrt{0.0001^2 + 0.0000157^2 + 0.0000571^2}$$

$$u_c = 0.00012 \text{ mg/kg}$$

$$U_{CRM} = 2 \times 0.00012$$

$$U_{CRM} = 0.0003 \text{ mg/kg}$$

4. สรุป (Conclusion)

กลุ่มงานวิเคราะห์หอนินทรีย์เคมี ฝ่ายมาตรวิทยาเคมีและชีวภาพ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ร่วมกับกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ และ Physikalisch-Technische Bundesanstalt ผลิตรวดอ้างอิงสำหรับวัดธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่มจำนวน 657 หน่วย โดย มว. ทำการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน ความเสถียรของรูดอ้างอิง รวมถึงให้ค่าอ้างอิงของธาตุ 4 ชนิด ด้วยเทคนิค Exact-matching double IDMS ICP-MS และรายงานค่าอ้างอิงดังต่อไปนี้ Cd 0.0050 ± 0.0003 mg/kg, Cu 0.504 ± 0.011 mg/kg, Pb 0.061 ± 0.004 mg/kg และ Zn 0.632 ± 0.018 mg/kg ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่า uncertainty ของ TRM สำหรับธาตุ Cu และ Zn ที่เตรียมได้มีความสอดคล้องกับเกณฑ์แนะนำของ BCR matrix CRM ซึ่งมีความสมเหตุสมผล ในขณะที่สำหรับธาตุ Cd และ Pb มีค่า uncertainty ที่สูงกว่าเกณฑ์ในตารางที่ 1 เนื่องจากค่าอ้างอิงของ Cd และ Pb ในรูดอ้างอิงรับรองสำหรับวัดธาตุปริมาณน้อยในน้ำดื่มค่อนข้างต่ำ เมื่อรูดอ้างอิงรับรองนี้ทำให้มีการแกว่งของค่า แต่ uncertainty ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้รูดอุปสงค์ของการใช้งานรูดอ้างอิงนี้เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีทดสอบในการทวนสอบวิธี รวมถึงนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของห้องปฏิบัติการ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ผู้สนับสนุนงบประมาณ และกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (วพ.) สำหรับการเตรียมตัวอย่าง และจัดกิจกรรมทดสอบความชำนาญตรวจวิเคราะห์โลหะในน้ำ

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] MACKAY, L.G., et al. High accuracy analysis by isotope dilution mass spectrometry using an iterative exact matching technique. *Accred Qual. Assur.*, 2003, 8, 191-194.
- [2] INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION. ISO 17034:2016(en). *General requirements for the competence of reference material producers*.
- [3] INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION. ISO Guide 35:2006. *Reference materials - General and statistical principles for certification*.
- [4] SIM-QM-S2: *Supplemental trace elements in drinking water* (Final Report). 2011.
- [5] SIM-QM-S7: *Supplementary Comparison Trace Metals in Drinking Water* (Draft B Report). 2017.
- [6] CCQM-K89: *Trace and Essential Elements in Herba Ecliptae* (Final Report). 2013.
- [7] AMERICAN ASSOCIATION FOR LABORATORY ACCREDITATION (Document Revised 2016). P113-A2LA Policy on Measurement Traceability for Life Sciences Testing and Forensic Conformity Assessment Bodies (CABs).
- [8] WALKER, R. et.al. Low-Cost QC Laboratory Reference Materials Investigation of Cost-Effective Production Procedure, LGC/VAM/2001/09, LGC, London.

การพัฒนาวัตถุดิบแก้วกึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหลอมแก้ว

Development of semi-instant glass batch for increasing glass melting efficiency

13

กนิษฐ์ ตะปะสา¹, เอกธวัช มีชูวาศ¹
Kanit Tapasa¹, Ekarat Meechoowas¹

บทคัดย่อ

การลดพลังงานในการหลอมแก้วสามารถทำได้โดยการการปรับปรุงวัตถุดิบแก้วให้มีความสามารถในการหลอมตัวเป็นเนื้อแก้วที่เร็วขึ้น โดยการแทนที่ด้วยวัตถุดิบที่มีค่าเอนทัลปีต่ำ (low-enthalpy batch) หรือการใช้วัตถุดิบเดิมแต่เปลี่ยนสภาพโดยการผสมวัตถุดิบให้จับตัวเป็นเม็ดและให้ความร้อนขึ้นต้นแก้ววัตถุดิบ (pre-heating) ในที่นี้จะขอเรียกว่า “วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป” ซึ่งสามารถลดพลังงานในการหลอมได้เนื่องจากไม่ต้องใช้พลังงานในปฏิกิริยาขั้นต้น (pre-reaction) เพื่อไล่ความชื้นและ ก๊าซ CO₂ ในวัตถุดิบออก นอกจากนั้นระยะเวลาที่ใช้หลอมลดลง เนื่องจากผิวสัมผัสของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นและสมบัติการนำความร้อน (heat conductivity) ของวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปดีกว่าการใช้วัตถุดิบแก้วที่เป็นผง (loose powder) ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัตถุดิบจึงเร็วขึ้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการผลิตวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป โดยนำวัตถุดิบที่ผ่านการบดมาขึ้นรูปเป็นเม็ดแกรนูลโดยใช้ตัวประสาน (binder) ชนิด Na-CMC โดยหาความหนืดของตัวประสานที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ Na-CMC ที่เหมาะสมในการขึ้นรูป Na-CMC 25 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร และจากการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการหลอม พบว่าวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปหลอมได้เร็วกว่าวัตถุดิบแก้วแบบผง โดยขนาดเม็ดวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปที่ใหญ่มีแนวโน้มหลอมได้เร็วกว่าเม็ดเล็ก

Abstract

The energy reduction of glass melting can be carried out by modifying glass batch using low-enthalpy raw materials or transforming typical loose powder batches into preheated granule batches, which are herein called “Semi-Instant Glass Batch (SGB)”. The SGB can be melted faster than loose powder batches because the water and CO₂ in raw materials have already been eliminated. The surface areas of the SGB that contacts to heat also increases resulting in better heat conductivity, therefore the melting time decreases. The purpose of this work was to produce the SGB by granulation. The ground glass batch was granulated by using Na-CMC as binder agent, in which, the suitable viscosity was determined. It was found that the best ratio of agent/solution was 25 g/100ml water. The melting efficiency was studied by the Batch-Free-Time experiments. The results showed that the SGB performed the better melting efficiency than the loose powder batch and the bigger size of SGB effects on the better of melting efficiency.

คำสำคัญ: แกรนูล, วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป, การหลอมแก้ว

Keywords: Granule, Pelletized glass batch, Glass melting

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ในสถานการณ์ปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมแก้วของไทยกำลังประสบปัญหาด้านต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะผู้ประกอบการขนาด SME เนื่องจากมีต้นทุนด้านพลังงานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 20 ซึ่งวิธีการลดต้นทุนด้านพลังงานที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ การลดพลังงานที่ใช้หลอมวัตถุดิบแก้วในเตาหลอม ซึ่งสูงถึงร้อยละ 50 ของต้นทุนทั้งหมดของการผลิตแก้ว การปรับปรุงวัตถุดิบแก้วให้หลอมเร็วขึ้นโดยการนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ดและการนำไปให้ความร้อนก่อนนำไปร้อน ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า “วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป” สามารถลดพลังงานในการหลอมได้ร้อยละ 5-10 [1] เพราะผิวสัมผัสของวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัตถุดิบเกิดเร็วขึ้น และสมบัติการนำความร้อนของวัตถุดิบดีกว่าการใช้วัตถุดิบแก้วธรรมดาที่เป็นผง (loose powder) การให้ความร้อนก่อน (Preheating) ทำให้ไม่ต้องใช้พลังงานในปฏิกิริยาขั้นต้น (pre-reaction) เพื่อไล่ความชื้นและ ก๊าซ CO₂ ในวัตถุดิบออก ทำให้ระยะเวลาที่ใช้หลอมลดลง [2]

การพัฒนาวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปมีมาตั้งแต่ปี 1970 [1] แต่เนื่องจากต้นทุนพลังงานในช่วงเวลานั้นยังไม่สูงมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปยังไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับพลังงานที่ลดลง เพราะต้องมีการติดตั้งเครื่องจักรสำหรับการขึ้นรูปวัตถุดิบและการให้ความร้อนเพิ่มเติม จึงไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้กันในอดีต แต่ในภาวะปัจจุบันที่ราคาพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมาก การใช้วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปจึงเป็นที่น่าสนใจมากขึ้น สำหรับโรงงานแก้วประเทศไทย ยังไม่มีการนำวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปมาใช้ เนื่องจากไม่มีผู้ผลิต ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งราคาแพงทำให้โรงงานแก้วและกระจกไม่นำมาใช้

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Engelleitner [3] ได้เปรียบเทียบระยะเวลาการหลอมวัตถุดิบแก้วโซดาไลม์ กึ่งสำเร็จรูปที่เผา (calcined) ที่อุณหภูมิ 750 – 900 °C และไม่เผา วัตถุดิบแก้ว กึ่งสำเร็จรูปที่ศึกษาเป็นการเตรียมแบบ Briquetting โดยไม่ใช้ตัวประสาน มีความหนาแน่น 2.36 g/cm³ ผลการเปรียบเทียบพบว่า วัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปใช้เวลา 24-34 นาทีในการหลอมวัตถุดิบให้ถึงอุณหภูมิ 1315 – 1426°C แต่วัตถุดิบแก้วกึ่งสำเร็จรูปที่ไม่ได้เผาใช้เวลา 47 นาที และนำเสนอให้ใช้ความร้อนจากไอเสียของเตาหลอมมาเผาแก้วโซดาไลม์กึ่งสำเร็จรูปก่อน เพื่อการประหยัดพลังงาน

Byers และคณะ [4] จัดสิทธิบัตรผลงานของ เรื่องการพัฒนาวัตถุดิบแก้วอัดเม็ด (compacting glass batch) โดยปรับปรุงกระบวนการผลิตหลังการอัดขึ้นรูปวัตถุดิบแก้วเป็น briquettes เพื่อเพิ่มความแข็งแรง กระบวนการประกอบด้วยการขึ้นรูป วัตถุดิบแก้วตั้งต้น การผสมเกลืออัลคาไลน์ อาทิ โซเดียมคาร์บอเนต โพแทสเซียมคาร์บอเนต โซเดียมซิลิเกต น้ำ ร้อยละ 4-10 โดยน้ำหนัก

Cheng และ Deng [5] ศึกษาอิทธิพลของตัวประสาน CMC (Carboxyl methyl cellulose solution) ต่อพฤติกรรมการสลายตัวของวัตถุดิบแก้วโซดาไลม์เม็ด ซึ่งประกอบด้วย เฟลสปาร์ ร้อยละ 7.09 โดยน้ำหนัก โดโลไมต์ ร้อยละ 16.21 โดยน้ำหนัก หินปูน ร้อยละ 2.44 โดยน้ำหนัก ททรายแก้ว ร้อยละ 57.36 โดยน้ำหนัก โซดาแอช ร้อยละ 16.25 โดยน้ำหนัก และโซเดียมซิลิเกต ร้อยละ 0.65 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าตัวประสาน CMC สามารถเร่งการสลายตัว (decomposition) ของสารประกอบคาร์โบเนตและการเกิดซิลิเกตได้ และเมื่อให้ความร้อนแก้ววัตถุดิบแก้วก่อนกลบที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซิลิกาในวัตถุดิบแก้วแปรสภาพเป็นซิลิเกตในปริมาณร้อยละ 90

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาปัจจัยของการผลิตวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป ได้แก่ ความเข้มข้นของตัวประสานที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป ขนาดของเม็ดแกรนูลที่ขึ้นรูปได้ และความสามารถในการหลอมของวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูป โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. เตรียมสูตรวัตถุดิบแก้วที่ใช้หลอมแก้วศิลปะที่ขึ้นรูปด้วยการเป่า โดยนำวัตถุดิบแก้วตามสัดส่วนในตารางที่ 1 มาอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (อัตราส่วนลูกบดที่ใช้ในการบด ขนาดใหญ่ กลาง เล็ก : 60 20 20) จนวัตถุดิบมีขนาดอนุภาคประมาณ 120 µm แล้วนำวัตถุดิบไปขึ้นรูปเป็นเม็ดแกรนูลด้วยเครื่องงานหมุน โดยใช้ Na-CMC เป็นตัวประสาน (binder) ปริมาณไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนักพลงบนวัตถุดิบแก้วขณะอยู่บนจานหมุน

2. ทดลองหาปริมาณความเข้มข้นของ Na-CMC ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแกรนูล โดยการเปรียบเทียบความหนืด (ทดสอบด้วยเครื่อง Brookfield Viscometers) ของสารละลาย Na-CMC อัตราส่วน 10 15 20 25 และ 30 กรัมต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร ที่ทิ้งไว้ให้เซตตัวเป็นเวลา 1-13 วัน

3. นำเม็ดแกรนูลที่ขึ้นรูปแล้วไปขัดแยกขนาดด้วยตะแกรงที่มีขนาดเมช No. 7 (>2.41 มม.) No.10 (1.67–2.41 มม.) และ No. 14 (1.20–1.66 มม.) เพื่อหาสัดส่วนของแต่ละขนาด

4. นำเม็ดแกรนูลทั้งหมดไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปหลอมที่อุณหภูมิ 1250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการหลอมกับวัตถุดิบผงแก้ว

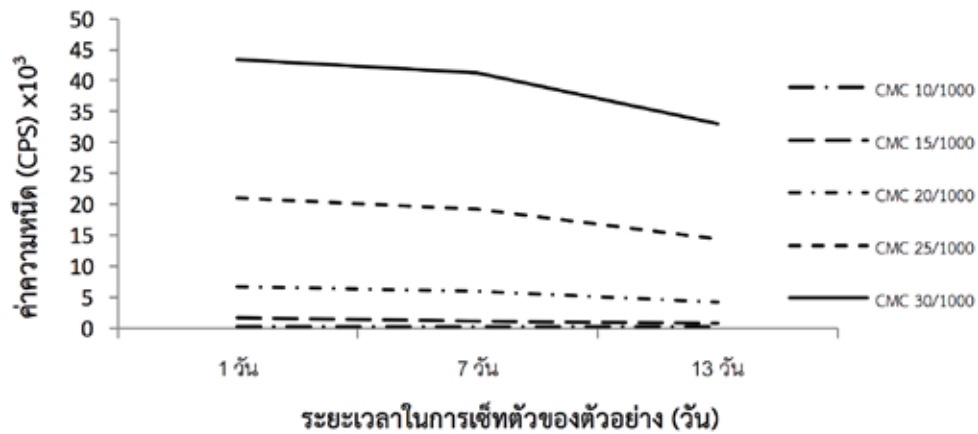
5. นำเม็ดแกรนูลทั้ง 3 ขนาดไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปหลอมที่อุณหภูมิ 1300°C เป็นเวลา 20 นาที เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการหลอมของเม็ดแกรนูลแต่ละขนาด

ตารางที่ 1 สูตรวัตถุดิบ 1

วัตถุดิบ	ปริมาณ (100 kg)
Sand (SiO ₂)	50
Sodium Carbonate (Na ₂ CO ₃)	22.5
Calcium Carbonate (CaCO ₃)	12
Sodium feldspar (NaAlSiO ₃)	8.5
Barium Carbonate (BaCO ₃)	2.5
Zinc Oxide (ZnO)	1.75
Antimony Oxide (Sb ₂ O ₃)	1
Potassium Carbonate (K ₂ CO ₃)	0.75

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของ Na-CMC ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแกรนูล (รูปที่ 1) พบว่า คือ Na-CMC 25 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร เหมาะสมที่สุดเนื่องจากสามารถขึ้นรูปได้ดี และไม่หนืดเกินไปจนไม่สามารถฉีดยกได้ รูปที่ 2 แสดงลักษณะของเม็ดแกรนูลที่ขึ้นรูปได้แยกตามขนาดเมช No. 7 10 และ 14 โดยมีสัดส่วนร้อยละ 4 10 และ 22 ตามลำดับ และร้อยละ 64 มีขนาดน้อยกว่า 1.2 มม. หรือมีลักษณะเป็นผง



รูปที่ 1 ผลการวัดค่าความหนืดของตัวประสาน



เมช No.14



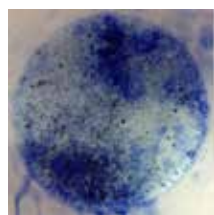
เมช No.10



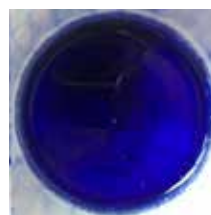
เมช No.7

รูปที่ 2 ขนาดเม็ดแกรนูลหลังการคัดแยกขนาด

จากการทดลองหลอมวัตถุดิบที่สำเร็จรูปที่ใช้ Na-CMC 25 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร เป็นตัวประสานและผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการหลอมที่อุณหภูมิ 1250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าวัตถุดิบที่สำเร็จรูปหลอมได้เร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อวัตถุดิบธรรมดาที่รูปที่ 3 และจากการทดลองเปรียบเทียบการหลอมของวัตถุดิบที่สำเร็จรูปที่ขนาดแตกต่างกัน พบว่าขนาดใหญ่นั้นมีแนวโน้มหลอมได้เร็วกว่าเม็ดเล็ก ดังรูปที่ 4

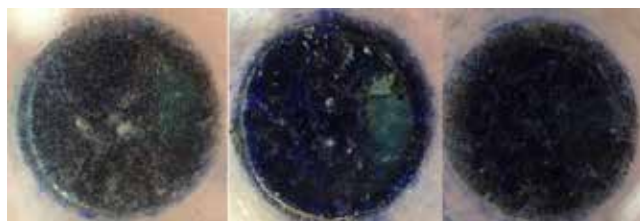


วัตถุดิบธรรมดา



วัตถุดิบที่สำเร็จรูป

รูปที่ 3 การหลอมวัตถุดิบธรรมดาเทียบกับวัตถุดิบที่สำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 1250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



เมช 14 (1.20–1.66 มม.) เมช 10 (1.67–2.41 มม.) เมช No. 7 (>2.41 มม.)

รูปที่ 4 ผลการหลอมเม็ดแกรนูลขนาดเมช No. 7 10 และ 14

4. สรุป (Conclusion)

พารามิเตอร์ที่ใช้ขึ้นรูปวัตถุดิบสำเร็จรูปในการทดลองนี้ คือ การผสมวัตถุดิบแก้วที่บดให้มอดูนาขนาดประมาณ 120 ไมครอน และใช้ Na-CMC ความเข้มข้น 25 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร เป็นตัวประสาน แล้วนำไปให้ความร้อนที่ 450°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลที่ได้คือสามารถหลอมตัวได้เร็วกว่าวัตถุดิบธรรมดาอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอุณหภูมิให้ความร้อนนี้เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของก๊าซเสียที่ปล่อยออกมาจากเตาหลอมแก้วสู่บรรยากาศ ดังนั้นถ้านำความร้อนทั้งนี้ไปให้ความร้อนกับเม็ดแกรนูลก่อนนำไปหลอมจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเตาหลอมได้

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนให้จัดทำโครงการการพัฒนาวัตถุดิบสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมแก้วเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหลอม ซึ่งผลงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการดังกล่าว

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] PINCUS, A. G. and D. H. DAVIES. *Batching in the glass industry*. New York : Books for Industry and the Glass Industry Magazine, 1981, pp.67-70.
- [2] BEERKENS, R. Analysis of elementary process steps in industrial glass melting tanks - Some ideas on innovations in industrial glass melting. *Ceramics – Silikaty*. 2008, 52(4), 206–217.
- [3] ENGELLEITNER, W.H. Pellets cut cost, improve quality. In: A.G. PINCUS and D. H. DAVIES. *Batching in the glass industry*. New York : Books for Industry and the Glass Industry Magazine, 1981, pp.67-70.
- [4] BALL CORPORATION. Rapid strength development in compacting glass batch materials. S.A. BYERS, J.R. MCKEE and M.C. GRIDLEY. Int. Cl. C03C 3/04. US Pat. 4,236,929. 1980-12-02.
- [5] CHENG, J, and Z, DENG. Decomposition kinetics of granulated glass batch. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2012, 358(23), 3294-3298.

การศึกษาแนวทางการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ
ทดสอบความต้านแรงกดกล่องกระดาษลูกฟูก
A study conducted proficiency testing of laboratory test
for the compression strength of corrugated fiberboard boxes

14

จิระศักดิ์ ชัยสินทิ¹, สุรเดช พานเพ็ง¹, ขวัญใจ สมบุญ¹, ภูวดี ตู้จินดา^{*}
Jierasak Chaisanit¹, Suradej Phanphang¹, Kwanjai Somboon¹, Poovadee Tuchinda¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสำรวจข้อมูลของการทดสอบของภาคอุตสาหกรรมบรรจุก่อนท์กล่องกระดาษลูกฟูก ในรายการทดสอบค่าความต้านแรงกดกล่อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดทำทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ โดยจัดเตรียมวัตถุตัวอย่างกล่องลูกฟูกและส่งให้ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมจำนวนทั้งหมด 26 ห้องปฏิบัติการ เก็บรวบรวมข้อมูลแล้ววิเคราะห์ผลด้วยสถิติ Robust z-score และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation, RSD) ตามมาตรฐาน ISO 13528 : 2015 พบว่ามีจำนวน 23 ห้องปฏิบัติการที่ผลเป็นที่น่าพอใจ ($|z| \leq 2.0$) มีจำนวน 2 ห้องปฏิบัติการที่ผลเป็นที่น่าสงสัย ($2 < |z| < 3$) และมีจำนวน 1 ห้องปฏิบัติการที่ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ ($|z| \geq 3$) เมื่อพิจารณาการกระจายแบบปกติของ z-score ของการทดสอบความชำนาญสามารถแยกห้องปฏิบัติการที่มีผลการทดสอบแตกต่างกันได้ทั้ง 3 เกณฑ์การยอมรับได้อย่างชัดเจน

ความสามารถในการทวนซ้ำของการวัดของแต่ละห้องปฏิบัติการด้วยวิธีวัด %RSD พบว่า มีจำนวน 17 ห้องปฏิบัติการผลการทดสอบผ่านเกณฑ์และพบว่ามีจำนวน 9 ห้องปฏิบัติการที่ไม่ผ่านเกณฑ์ โดยสาเหตุหลักเกิดจาก ไม่มีการควบคุมสภาวะการทดสอบ เครื่องมือมีอายุการใช้งานมากกว่า 15 ปีและห้องทดสอบไม่ได้รับการรับรองมาตรฐาน 17025 จึงใช้เป็นข้อแนะนำให้กับห้องปฏิบัติการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

Abstract

This project was researching test results in corrugated fiberboard boxes from industry. The objective of this project was to comply testing information on compression strength of corrugated fiberboard boxes to use as a guideline to conducted proficiency testing. The information was obtained by delivering the prepared samples to 26 industrial laboratories. The testing results were analyzed by robust z-score and relative standard deviation methods following ISO 13528: 2015. It was found that the testing results of 23 laboratories were satisfactory ($|z| \leq 2.0$), of 2 laboratories were questionable ($2 < |z| < 3$) and of 1 laboratory was unsatisfactory ($|z| \geq 3$). The normal distribution of z-score was considered well-established and the proficiency testing could use these 3 criterions.

The repeatability of these results was then analyzed with %RSD method. It was found that the results from 17 laboratories was acceptable and from 9 laboratories was unacceptable. This was because the laboratories were not under control conditions, the equipment was older than 15 years and laboratories were not certified ISO 17025. The laboratories were advised to improve on performances for the proficiency testing in the future.

คำสำคัญ: กล่องกระดาษลูกฟูก, ค่าความต้านแรงกดกล่อง, การทดสอบความชำนาญ

Keywords: Corrugated fiberboard box, Compression strength, Proficiency test

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

บรรจุภัณฑ์หรือการบรรจุหีบห่อ หมายถึง ศาสตร์และศิลป์ที่ใช้ในการบรรจุสินค้าโดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อคุ้มครองปกป้องสินค้าจากผู้ผลิตจนถึงมือลูกค้าอย่างปลอดภัยด้วยต้นทุนการผลิตที่เหมาะสม ดังนั้นอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์จึงเป็นส่วนสำคัญในการสนับสนุนอุตสาหกรรมภาคการผลิตเพื่อการบริโภคทั้งในประเทศและการส่งออก ซึ่งมีแนวโน้มในการเติบโตขึ้นอย่างสม่ำเสมอ บรรจุภัณฑ์มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อผลิตภัณฑ์ เริ่มตั้งแต่การรวมหน่วยของผลิตภัณฑ์เป็นหน่วยเดียว รักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ รวมทั้งทำให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการขนส่งอีกด้วย

กล่องกระดาษลูกฟูก เป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องกระดาษชนิดหนึ่งที่มีคุณลักษณะแข็งแรงมากเป็นที่นิยมใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์ เพราะนอกจากช่วยปกป้องผลิตภัณฑ์แล้ว ยังสามารถออกแบบได้ตามต้องการ ทั้งรูปลักษณ์ ขนาด และพิมพ์สีได้สวยงาม

ความต้านทานแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูก (Compression strength) คือ ความสามารถของกระดาษลูกฟูกในการต้านแรงกดที่กระทำบนกล่องจนกระดาษลูกฟูกนั้นเสียรูป หรือรับแรงกดต่อไปอีกไม่ได้ มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) หรือ กิโลกรัมแรง (kgf) คุณสมบัตินี้มีความสำคัญอย่างยิ่งโดยมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการเรียงซ้อน (ใช้คำนวณจำนวนชั้นของการเรียงซ้อนที่กล่องสามารถรองรับได้) ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงกดของกล่องลูกฟูก ได้แก่ ปริมาณความชื้นในอากาศ ระยะเวลาในการเก็บ รูปแบบในการเรียงซ้อน กล่อง จำนวนครั้งในการเคลื่อนย้าย ลักษณะของการขนถ่าย เป็นต้น ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 642 [1] และ TAPPI T804 [2]

ปัญหาที่มักเกิดขึ้นระหว่างบริษัทผู้ผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกกับลูกค้า คือ ความแตกต่างของผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงกดกล่องของสองบริษัทที่เป็นคู่ค้า เพราะแม้ว่าแต่ละห้องปฏิบัติการได้มีการสอบเทียบเครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดกล่องแล้ว ผลการทดสอบยังมีความแตกต่างระหว่างห้องปฏิบัติการได้ โดยอาจมีสาเหตุจากหลายประการ เช่น สภาพเครื่องทดสอบที่ผ่านการซ่อมแซมและปรับตั้ง สถานที่ตั้ง และอายุการใช้งาน เป็นต้น การแก้ปัญหาค่าความขัดแย้งของผลการทดสอบที่เกิดขึ้นทำได้โดยส่งตัวอย่างกล่องกระดาษลูกฟูกมาหน่วยงานกลางทำการทดสอบ เช่น ห้องปฏิบัติการวัสดุธรรมชาติและเส้นใย กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เป็นต้น เพื่อให้ในการตัดสินใจซื้อขายตามข้อตกลงในสัญญาการซื้อขาย

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ โดยการทดสอบความต้านทานแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูกในห้องปฏิบัติการทดสอบความต้านทานแรงกดกล่องกระดาษลูกฟูกในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ (Proficiency test) และเป็นการเฝ้าระวังสมรรถนะในการดำเนินการอย่างต่อเนื่องของห้องปฏิบัติการ ซึ่งงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะส่วนของแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูกเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการทดสอบอื่นๆ ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของกล่อง เช่น ค่าการทดสอบความต้านทานการตกกระแทก (Drop Resistance) การทดสอบการเรียงซ้อน (stacking test) เป็นต้น ไม่ได้มีการศึกษาในงานวิจัยนี้ เนื่องจากทางห้องปฏิบัติการทดสอบของ กลุ่มวัสดุธรรมชาติและเส้นใย กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ ไม่สามารถทำการทดสอบในรายการดังกล่าวส่วนปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูก เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น ยังไม่ได้ดำเนินการในงานวิจัยนี้

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัตถุประสงค์

กล่องกระดาษลูกฟูกจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษรายหนึ่ง ซึ่งกลุ่มวัสดุธรรมชาติและเส้นใยกำหนดให้เป็นตัวอย่างสำหรับการวิจัยครั้งนี้ เป็นกล่องกระดาษลูกฟูกแบบมาตรฐานธรรมดา (regular slot container, RSC) ชนิด 3 ชั้น มีขนาดเส้นรอบวงภายใน (inside diameter) เท่ากับ 420 mm x 318 mm x 207 mm (ยาว x กว้าง x สูง) โดยในการผลิตกล่องตัวอย่างนี้กำหนดให้กระดาษทั้ง 2 ชั้นเป็นรุ่นเดียวกัน ทั้งกระดาษทำผิวกล่อง (linerboard or facing) และกระดาษทำลูกฟูก (corrugating medium) โดยให้กระดาษทำผิวกล่องเป็นกระดาษสำหรับประกบกับกระดาษทำลูกฟูก ด้านนอกกล่องใช้กระดาษเกรด KI 185 GSM ซึ่งเป็นกระดาษทำผิวกล่องสีน้ำตาลอ่อนมีน้ำหนักมาตรฐาน 185 กรัมต่อตารางเมตร และด้านในกล่องใช้กระดาษเกรด KI 185 GSM เช่นเดียวกันกับด้านนอกกล่อง ส่วนกระดาษทำลูกฟูกใช้กระดาษเกรด CM 115 GSM ซึ่งเป็นกระดาษทำลูกฟูกสีน้ำตาลอ่อนมีน้ำหนักมาตรฐาน 115 กรัมต่อตารางเมตร อยู่ระหว่างกระดาษทำผิวกล่อง การผลิตกล่องทำให้แล้วเสร็จในครั้งเดียวทั้งชุดตัวอย่าง

2.2 วิธีการเตรียมวัตถุดิบ

2.2.1 เก็บตัวอย่างกล่องกระดาษลูกฟูกตามที่กำหนดไว้ โดยคัดตัวอย่างที่มีความบกพร่องออก แล้วขนย้ายตัวอย่างกล่องกระดาษมาที่ห้องปฏิบัติการวัสดุธรรมชาติและเส้นใย กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ วางกล่องกระดาษตัวอย่างไว้ในสภาวะควบคุมอุณหภูมิ $27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ เพื่อปรับสภาวะกล่องกระดาษตัวอย่าง

2.2.2 ดำเนินการสุ่มตัวอย่างกล่องกระดาษลูกฟูกแบบสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) จากตัวอย่างกล่องทั้งหมด ครั้งละ 1 ใบ จนได้ตัวอย่างกล่องรวม 10 ใบต่อชุดตัวอย่าง

2.2.3 จัดการมัดชุดตัวอย่างด้วยเชือกและห่อด้วยฟิล์มยืดที่มีความหนา 20 ไมโครเมตรให้รอบตัวอย่าง โดยให้มีจำนวนชั้นฟิล์มยืดไม่น้อยกว่า 5 ชั้น เพื่อให้มั่นใจว่าตัวอย่างได้รับการปกป้องจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากภายนอก รวมถึงสิ่งปนเปื้อนที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้าย

2.2.4 ทำการสุ่มชุดตัวอย่างให้แก่ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม โดยจัดทำป้ายหมายเลขเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก (1, 2, 3,...n) จำนวน 2 ชุดที่มีเลขเดียวกันแล้วติดหมายเลขชุดที่ 1 ลงบนชุดตัวอย่าง ให้ครบตามจำนวนชุดตัวอย่างกล่องทั้งหมด ส่วนหมายเลขชุดที่ 2 ให้มีฉลากแต่ละหมายเลขใส่คละรวมลงในภาชนะสำหรับการสุ่มจับฉลาก แล้วทำการสุ่มจับฉลากแบบสุ่มอย่างง่าย พร้อมติดป้ายหมายเลขถูกกำหนดเป็นด้านฝากล่องลงบนตัวอย่าง

2.2.5 จัดส่งชุดตัวอย่างกล่องกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการสุ่มตัวอย่างเรียบร้อยแล้วไปยังแต่ละห้องปฏิบัติการที่ร่วมการวิจัยแต่ละ 1 ชุด

2.3 วิธีการทดสอบ

2.3.1 เมื่อห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมสภาวะการทดสอบตามมาตรฐานกำหนด และห้องปฏิบัติการที่ไม่มีการควบคุมสภาวะการทดสอบได้รับชุดตัวอย่างแล้วให้นำฟิล์มที่ห่อตัวอย่างกล่องกระดาษออกและวางตัวอย่างกล่องกระดาษไว้ในแนวตั้ง เปิดฝาด้านบนและฝาด้านล่างในลักษณะตั้งฝาตรง เนื่องจากแต่ละห้องปฏิบัติการควบคุมสภาวะไม่เท่ากันจึงต้องปรับสภาวะตัวอย่างเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง จึงทำการปิดเทปกระดาษสำหรับปิดกล่องตลอดความยาวของกล่องทั้งฝาด้านบนและฝาด้านล่าง ข้อมูลการทดสอบทั้งหมดจะถูกนำมาพิจารณารวมกันแม้ว่าห้องปฏิบัติการมีสภาวะต่างกัน เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นเพียงการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของรายการความต้านทานแรงกดกล่องกระดาษลูกฟูก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการในรายการนี้ ซึ่งในอนาคตอาจมีการแยกข้อมูลการทดสอบตามสภาวะการทดสอบต่อไป

2.3.2 ทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงกดกล่องกระดาษลูกฟูกด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงกด โดยใช้วิธีทดสอบค่าความต้านทานแรงกดตามมาตรฐาน TAPPI T804 ซึ่งเครื่องทดสอบต้องผ่านการสอบเทียบโดยมีระยะเวลาการสอบเทียบครั้งล่าสุดไม่เกิน 1 ปี การทดสอบกำหนดให้ใช้ความเร็วในการกดของแท่นกดที่ 13.0 ± 2.5 มิลลิเมตรต่อวินาที

2.3.3 นำผลที่ได้จากการทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดสอบความชำนาญของค่าความ ด้านแรงกดกลองกระดาดลูกฟูกภายในประเทศ

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.1 การประเมินสมรรถนะ (evaluation of performance) โดย วิธีการประเมินผล ด้วย robust z-score เพื่อประเมินว่าผลทดสอบของห้องปฏิบัติการเบี่ยงเบนไปจากกลุ่มมากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ ที่ (1) [3] มีการคำนวณค่ากำหนด (assigned value) จากการคำนวณค่าเกณฑ์ ที่ยอมรับ (consensus value) ของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความ ด้านแรงกดกลองกระดาดลูกฟูกในห้องปฏิบัติการ ซึ่งคำนวณเป็น robust average และมีการคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชำนาญซึ่งคำนวณ เป็น robust standard deviation ที่นำมาจากวิธี Algorithm A ตาม ISO 13528:2015

$$z = \frac{x_i - x_{pt}}{\sigma_{pt}} \quad (1)$$

x_i = ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ
 x_{pt} = ค่ากำหนด (assigned value)
 σ_{pt} = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินการทดสอบความ
 ชำนาญ

ตารางที่ 1 เกณฑ์การยอมรับสำหรับการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ

การแสดงผลค่า Z-Score	เกณฑ์การยอมรับ
$ z \leq 2$	ผลเป็นที่น่าพอใจ (satisfactory)
$2 < z < 3$	ผลเป็นที่น่าสงสัย (questionable)
$ z \geq 3$	ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ (unsatisfactory)

การประเมินค่า z-score ใช้เกณฑ์การประเมินดังตารางที่ 1 ซึ่งถ้าผลของ $|z|$ score มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 3.0 จะแสดงด้วยอักษร “A” (action signal) ข้างตัวเลข แสดงว่าผลการทดสอบนั้นเป็น outlier (ผลการทดสอบของ ชุดนั้นที่ไม่เป็นไปตามสมาชิกอื่นๆ ในชุดนั้น) ต้องหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไข และถ้าผลของ $|z|$ มีค่ามากกว่า 2.0 แต่น้อยกว่า 3.0 จะแสดงด้วยอักษร “W” (warning signal) ข้างตัวเลข แสดงว่าผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องระวัง อาจ จะต้องทบทวนวิธีการทดสอบใหม่ หากห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบ ระหว่างห้องปฏิบัติการได้ผลการทดสอบที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ควรจะต้อง ดำเนินการสืบหาสาเหตุและปฏิบัติการแก้ไขทันที และถ้าผลของ $|z|$ มีค่าน้อย กว่าหรือเท่ากับ 2.0 จะแสดงด้วยอักษร “S” (satisfactory) แสดงว่าผลการ ทดสอบนั้นเป็นปกติ

2.4.2 ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน ในการประเมินความแม่นยำของ ผลการทดสอบซ้ำๆ ในห้องปฏิบัติการเดียวกัน เพื่อหาความทวนซ้ำได้ของการ วัด (repeatability) เป็นค่าที่แสดงความสามารถทวนซ้ำของเครื่องมือวัด โดย แสดงระดับความถูกต้องใกล้เคียงกันของการวัดที่ได้จากการวัดหลายครั้งในช่วง เวลาใกล้เคียงกัน โดยการวัดทั้งต้องอยู่ภายใต้วิธีการวัด ผู้ทดสอบและสภาวะ เดียวกันหรือครั้งที่และห้องปฏิบัติการเดียวกันภายในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งแสดง ถึงความแม่นยำ (precision) ของเครื่องมือวัดภายในแต่ละห้องปฏิบัติการโดย ทั่วไปจะแสดงด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (relative standard

deviation, RSD) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation, CV) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2) [3]

$$\%RSD = \frac{SD}{x_i} \times 100 \quad (2)$$

x_i = ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการ

SD = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การประเมินค่า % RSD ใช้เกณฑ์การประเมินจากมาตรฐาน Tappi T 804 เพื่อดูความสามารถในการทวนซ้ำของแต่ละห้องปฏิบัติการ ซึ่งถ้าผลของ % RSD มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.50 แสดงว่าผลการทดสอบนั้นมีระดับความแม่นยำ ของความสามารถในการทวนซ้ำของการวัดผ่านเกณฑ์หรือยอมรับได้ และถ้าผล การทดสอบมีค่า % RSD มากกว่า 3.50 แสดงว่าผลการทดสอบมีระดับความ แม่นยำของการทวนซ้ำได้ของการวัดไม่ผ่านเกณฑ์หรือยอมรับไม่ได้

2.4.3 ใช้แบบข้อสังเกตเพื่อจำแนกรายละเอียดร่วมกับ robust z-score และความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ โดยพิจารณารายละเอียดด้านเทคนิคของ ห้องปฏิบัติการของแต่ละแห่ง เพื่อได้ข้อมูลเพิ่มเติม ที่เป็นรายละเอียดซึ่งอาจเป็น สาเหตุของความผิดปกติของผลการทดสอบได้ เนื่องจากแต่ละห้องปฏิบัติการ มี ข้อจำกัดจากการบริหารจัดการหรือนโยบายและการลงทุนของแต่ละบริษัทแตก ต่างกันโดยกล่าวถึงข้อสังเกตห้องปฏิบัติการ 3 ข้อ (ข้อ 1-3) และข้อสังเกตของ เครื่องทดสอบ 3 ข้อ (ข้อ 4-6) ดังนี้

1. มีการควบคุมสภาวะการทดสอบ ใช่หรือไม่
2. ห้องทดสอบแยกจากหน่วยงานอื่น ใช่หรือไม่
3. ห้องทดสอบได้รับการรับรองมาตรฐาน 17025 ใช่หรือไม่
4. ความเร็วของแท่นกดถูกต้องตามมาตรฐาน ใช่หรือไม่
5. อายุการใช้งานของเครื่องทดสอบน้อยกว่า 15 ปี ใช่หรือไม่
6. ไม่มีการปรับแต่งเครื่องทดสอบ ใช่หรือไม่

การลงข้อมูลใช้เครื่องหมาย “√” หมายถึง “ใช่” และเครื่องหมาย “×” หมายถึง “ไม่ใช่” ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลจะใช้วิธีการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ของ ห้องปฏิบัติการที่โดยตรงและดูเอกสารการสอบเทียบเครื่องทดสอบความดันแรง กดกลองพร้อมกันด้วย

3. wallะวิจารณ์ (Result and Discussion)

3.1 ข้อมูลผลที่ได้จากการทดสอบค่าเฉลี่ยความดันแรงกดกลองแต่ละ บริษัทที่เข้าร่วมกิจกรรมโดยใช้ค่ากำหนดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดง ดังตารางที่ 2 และข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ robust z-score เพื่อประเมิน สมรรถนะของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม ดังตารางที่ 3 จากการประเมิน สมรรถนะของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมทั้งหมด 26 ห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 2 แสดงค่ากำหนดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินการ ทดสอบความชำนาญ

ตัวแปรทางสถิติ	ค่า
จำนวนชุดข้อมูล (no. of result)	26
ค่ากำหนด (assigned value), กิโลกรัมแรง	646.64
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบความชำนาญ, (kgf)	32.33

ตารางที่ 3 แสดงค่าความดันแรงกดกลองของห้องปฏิบัติการทดสอบที่เข้าร่วมกิจกรรม

ห้องปฏิบัติการที่	ค่าเฉลี่ย, กิโลกรัมแรง	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, กิโลกรัมแรง	z-score	เกณฑ์การยอมรับ
1	647.8	16.7	0.04 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
2	656.5	17.3	0.30 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
3	672.6	11.7	0.80 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
4	600.8	20.1	-1.42 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
5	665.6	9.5	0.59 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
6	709.5	25.0	1.94 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
7	604.5	12.4	-1.30 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
8	600.4	17.5	-1.43 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
9	653.4	33.0	0.21 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
10	722.7	13.3	2.35 W	ผลเป็นที่น่าสงสัย
11	615.7	21.7	-0.96 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
12	550.4	28.8	-2.98 W	ผลเป็นที่น่าสงสัย
13	619.2	13.1	-0.85 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
14	659.5	18.5	0.40 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
15	595.7	22.9	-1.58 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
16	522.7	33.9	-3.83 A	ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ
17	704.2	30.8	1.78 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
18	660.5	20.2	0.43 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
19	650.2	20.9	0.11 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ

ตารางที่ 3 (ต่อ)

20	652.6	20.8	0.18 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
21	619.4	17.8	-0.84 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
22	665.9	7.3	0.59 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
23	649.2	33.5	0.08 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
24	658.9	28.4	0.38 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
25	705.1	21.7	1.81 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ
26	671.5	17.6	0.77 S	ผลเป็นที่น่าพอใจ

หมายเหตุ 1. “A” หมายถึง “action signal” เมื่อ $|z| \geq 3.0$
 2. “W” หมายถึง “warning signal” เมื่อ $2.0 < |z| < 3.0$
 3. “S” หมายถึง “normal signal” เมื่อ $|z| \leq 2.0$



รูปที่ 1 แสดงค่า z-score กับห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 2 ที่แสดงเกณฑ์การประเมินค่า z-score เพื่อให้เห็นลักษณะของค่า z-score กับห้องปฏิบัติการทั้ง 26 ห้อง แสดงดังรูปที่ 1 จากการประเมินสมรรถนะด้วย z-score จากข้อมูลตารางที่ 2 และจากกราฟในรูปที่ 1 พบว่า มีจำนวน 23 ห้องปฏิบัติการมีผลเป็นที่น่าพอใจ ($|z| \leq 2.0$) คิดเป็นร้อยละ 88.5 เทียบกับจำนวนห้องปฏิบัติการทั้งหมด มีจำนวน 2 ห้องปฏิบัติการที่มีผลเป็นที่น่าสงสัย ($2.0 < |z| < 3.0$) คิดเป็นร้อยละ 7.7 เทียบกับจำนวนห้องปฏิบัติการทั้งหมด และมีจำนวน 1 ห้องปฏิบัติการที่มีผลไม่เป็นที่น่าพอใจ ($|z| \geq 3.0$) คิดเป็นร้อยละ 3.8 เทียบกับจำนวนห้องปฏิบัติการทั้งหมด

เมื่อพิจารณาการกระจายแบบปกติของ z-score สัดส่วนของพื้นที่ใต้โค้งระหว่าง $|z| \leq 2.0$ พบจำนวน 23 ห้องปฏิบัติการที่อยู่ในพื้นที่การกระจายนี้ สัดส่วนของพื้นที่ใต้โค้งระหว่าง $2.0 < |z| < 3.0$ พบจำนวน 2 ห้องปฏิบัติการที่อยู่ในพื้นที่การกระจายนี้ สัดส่วนของพื้นที่ใต้โค้งระหว่าง $|z| \geq 3.0$ พบเพียง 1 ห้องปฏิบัติการที่อยู่ในพื้นที่การกระจาย ดังนั้นการใช้ z-score ของการจัดทำการทดสอบความชำนาญสามารถแยกห้องปฏิบัติการที่มีผลการทดสอบแตกต่างกันได้ทั้ง 3 เกณฑ์การยอมรับได้อย่างชัดเจน

3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน ในการประเมินความแม่นยำของผลการทดสอบซ้ำๆ ในห้องปฏิบัติการเดียวกัน เพื่อหาค่าความสามารถในการทวนซ้ำของการวัด แสดงด้วยค่า % RSD ซึ่งลักษณะการประเมินนี้พิจารณาเฉพาะในส่วนของการทดสอบตัวอย่างซ้ำของห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะคงที่ เช่น ใช้เครื่องมือ ผู้ทดสอบและห้องปฏิบัติการเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงเกณฑ์การประเมินค่า % RSD กับเกณฑ์การยอมรับ

ห้องปฏิบัติการที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, กิโลกรัมแรง	% RSD	เกณฑ์การยอมรับ
1	16.7	2.57	ผ่านเกณฑ์
2	17.3	2.63	ผ่านเกณฑ์
3	11.7	1.74	ผ่านเกณฑ์
4	20.1	3.35	ผ่านเกณฑ์
5	9.5	1.43	ผ่านเกณฑ์
6	25.0	3.53	ไม่ผ่านเกณฑ์
7	12.4	2.05	ผ่านเกณฑ์
8	17.5	2.91	ผ่านเกณฑ์
9	33.0	5.05	ไม่ผ่านเกณฑ์
10	13.3	1.84	ผ่านเกณฑ์
11	21.7	3.53	ไม่ผ่านเกณฑ์
12	28.8	5.23	ไม่ผ่านเกณฑ์
13	13.1	2.12	ผ่านเกณฑ์
14	18.5	2.81	ผ่านเกณฑ์
15	22.9	3.84	ไม่ผ่านเกณฑ์
16	33.9	6.49	ไม่ผ่านเกณฑ์
17	30.8	4.38	ไม่ผ่านเกณฑ์
18	20.2	3.06	ผ่านเกณฑ์
19	20.9	3.22	ผ่านเกณฑ์
20	20.8	3.19	ผ่านเกณฑ์
21	17.8	2.87	ผ่านเกณฑ์
22	7.3	1.10	ผ่านเกณฑ์
23	33.5	5.15	ไม่ผ่านเกณฑ์
24	28.4	4.31	ไม่ผ่านเกณฑ์
25	21.7	3.08	ผ่านเกณฑ์
26	17.6	2.63	ผ่านเกณฑ์



รูปที่ 2 แสดงค่า % RSD กับห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4 แสดงเกณฑ์การประเมินค่า % RSD กับเกณฑ์การยอมรับมาเขียนกราฟ ดังรูปที่ 2 พบว่ามีจำนวน 17 ห้องปฏิบัติการซึ่งคิดเป็นร้อยละ 65.4 ที่มี %RSD น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.50 แสดงว่าห้องปฏิบัติการต่างๆ เหล่านี้มีผลการทดสอบผ่านเกณฑ์หรือยอมรับได้ และมีจำนวน 9 ห้องปฏิบัติการ คิดเป็นร้อยละ 34.6 มี %RSD มากกว่า 3.50 แสดงว่าห้องปฏิบัติการต่างๆ เหล่านี้ไม่ผ่านเกณฑ์หรือยอมรับไม่ได้ (ห้องปฏิบัติการที่ 6, 9, 11-12, 15-17 และ 23-24) ดังนั้นการควบคุมการทดสอบในปัจจุบันต่างๆ ที่ส่งผลต่อการกระจายของข้อมูลของการทดสอบ จะให้ความทนทานได้ของการวัดดีขึ้น การใช้เกณฑ์ตามมาตรฐาน TAPPI T 804 ในหัวข้อความแม่นยำ ร่วมกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ สามารถแยกห้องปฏิบัติการออกตามเกณฑ์ที่ปรากฏในมาตรฐานได้และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปสรุปผลร่วมกับข้อสังเกตได้

3.3 ผลการใช้แบบข้อสังเกตเพื่อจำแนกรายละเอียดร่วมกับ robust z-score และความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เพื่อพิจารณารายละเอียดด้านเทคนิคของห้องปฏิบัติการของแต่ละแห่ง ภายหลังที่มีการประเมินด้วยค่าสถิติ z-score และ % RSD แล้ว เพื่อให้สามารถจำแนกข้อมูลโดยใช้ “ข้อสังเกต” ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของห้องปฏิบัติการและเครื่องทดสอบความต้านแรงกดกลองแยกเป็นลักษณะของห้องปฏิบัติการ 3 ข้อ (คอลัมน์ 4-6) และของเครื่องทดสอบ 3 ข้อ (คอลัมน์ 7-9) รายละเอียดปรากฏในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่า z-score และ %RSD ร่วมกับข้อสังเกต

ห้องปฏิบัติการที่	Z-score	%RSD	ข้อสังเกต					
			มีการควบคุม สภาวะการ ทดสอบ	ห้องทดสอบ แยกจากหน่วย งานอื่น	ห้องทดสอบได้ รับการรับรอง มาตรฐาน 17025	ความเร็วของ แท่นกดถูกต้อง ตามมาตรฐาน	อายุการใช้งาน ของเครื่อง ทดสอบ < 15 ปี	ไม่มีการปรับ แต่งหรือซ่อม เครื่องทดสอบ
1	0.04 S	2.57	✓	✓	×	✓	✓	✓
2	0.30 S	2.63	✓	✓	×	✓	✓	✓
3	0.80 S	1.74	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	-1.42 S	3.35	×	✓	×	✓	×	✓
5	0.59 S	1.43	×	✓	×	✓	✓	✓
6	1.94 S	3.53	×	×	×	✓	×	✓
7	-1.30 S	2.05	×	✓	×	✓	×	✓
8	-1.43 S	2.91	×	×	×	✓	✓	✓
9	0.21 S	5.05	×	×	×	×	✓	✓
10	2.35 W	1.84	×	×	×	✓	✓	×
11	-0.96 S	3.53	×	✓	×	✓	×	×
12	-2.98 W	5.23	×	×	×	✓	×	×
13	-0.85 S	2.12	✓	✓	✓	✓	×	×
14	0.40 S	2.81	×	×	×	✓	✓	✓
15	-1.58 S	3.84	×	✓	×	✓	×	×
16	-3.83 A	6.49	×	×	×	✓	×	×
17	1.78 S	4.38	×	✓	×	✓	×	×
18	0.43 S	3.06	×	✓	×	✓	✓	×
19	0.11 S	3.22	×	✓	×	✓	✓	✓
20	0.18 S	3.19	✓	✓	✓	✓	×	✓
21	-0.84 S	2.87	×	✓	×	✓	×	✓
22	0.59 S	1.10	✓	✓	×	✓	✓	✓
23	0.08 S	5.15	×	×	×	✓	×	✓
24	0.38 S	4.31	×	×	×	✓	×	✓
25	1.81 S	3.08	×	✓	×	✓	×	✓
26	0.77 S	2.63	×	✓	×	✓	✓	×

หมายเหตุ 1. “✓” หมายถึง “ใช่” 2. “×” หมายถึง “ไม่ใช่”

ในตารางที่ 5 แสดงค่า z-score และ % RSD ร่วมกับข้อสังเกต เพื่อใช้พิจารณารายละเอียดเพิ่มเติม พบว่า ห้องปฏิบัติการที่มีค่า $|z| \leq 2.0$ และ % RSD อยู่ในเกณฑ์ไม่เกินร้อยละ 3.50 (ห้องปฏิบัติการที่ 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 25 และ 26) เมื่อดูจากจำนวนข้อสังเกตจะมีความผิดปกติ 2 ใน 6 ข้อ ห้องปฏิบัติการที่มีค่า $|z| \leq 2.0$ และ % RSD อยู่ในเกณฑ์เกินร้อยละ 3.50 (ห้องปฏิบัติการที่ 6, 9, 11, 15, 17, 23 และ 24) เมื่อดูจากจำนวนข้อสังเกตจะมีความผิดปกติ 3 ใน 6 ข้อ ห้องปฏิบัติการที่มีค่า $|z| > 2.0$ หรือ % RSD เกินร้อยละ 3.50 (ห้องปฏิบัติการที่ 10) เมื่อดูจากจำนวนข้อสังเกตจะมีความผิดปกติ 4 ใน 6 ข้อเช่นกัน ห้องปฏิบัติการที่มีค่า $|z| > 2.0$ ร่วมกับการพบค่า %RSD เกินร้อยละ 3.50 (ห้องปฏิบัติการที่ 12 และ 16) จะมีจำนวนข้อสังเกตที่ผิดปกติ 5 ใน 6 ข้อ สามารถแยกรายละเอียดเมื่อพิจารณาการใช้ ค่า z-score รวมกับ %RSD และข้อสังเกตได้ ดังนี้

3.3.1 เมื่อพิจารณาห้องปฏิบัติการที่ 12 ($z = -2.98W$, %RSD = 5.23) และ 16 ($z = -3.83 A$, %RSD = 6.49) มีค่า %RSD เกินเกณฑ์และพบข้อสังเกต “ไม่ใช่” 5 ข้อเหมือนกัน แต่ค่า z ทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกัน คือ ห้องปฏิบัติการ 12 แสดงผลเป็นที่น่าสงสัยและห้องปฏิบัติการที่ 16 แสดงผลเป็นไม่เป็นที่น่า

พอใจ เมื่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมพบว่าสาเหตุจากความแตกต่างของเครื่องทดสอบ พบว่าห้องปฏิบัติการที่ 12 เครื่องทดสอบมีการปรับแต่งที่แกนยึดแท่นกดบนให้เป็นแกนเดียวต่างจากห้องปฏิบัติการที่ 16 ที่ไม่มีการปรับแต่งดังกล่าว แต่เครื่องทดสอบของห้องปฏิบัติการที่ 16 มีสภาพของสปริงที่ยึดอยู่บนแท่นกดบนมีการอ่อนตัวมากและมีลักษณะยืดหยุ่นไม่เท่ากันทั้ง 4 ด้าน ดังนั้นเมื่อทดสอบความต้านแรงกดกลอง ทำให้กล่องตัวอย่างมีการยุบตัวไม่สม่ำเสมอ อันเป็นสาเหตุให้ค่า z มากกว่า 3

3.3.2 เมื่อพิจารณาห้องปฏิบัติการที่ 10 ($z=-2.35W$, %RSD =1.84) และ 12 ($z=-2.98W$, %RSD =5.23) ทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการมีค่า z แสดงผลการทดสอบเป็นที่น่าสนใจเหมือนกัน โดยมีข้อสังเกต “ไม่ใช่” เหมือนกัน 4 ประการ แต่พบว่าห้องปฏิบัติการที่ 12 มีค่า %RSD สูงกว่าเกณฑ์ ซึ่งห้องปฏิบัติการที่ 12 มีอายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี ต่างจากห้องปฏิบัติการที่ 10 มีอายุการใช้งานน้อยกว่า 15 ปี และเมื่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมพบว่าห้องปฏิบัติการที่ 12 มีการซ่อมชุดควบคุมการทดสอบและมีการปรับแต่งลักษณะของเครื่องทดสอบที่แกนยึดแท่นกดบนเป็นแบบแกนเดียวต่างจากห้องปฏิบัติการที่ 10 มีเฉพาะการซ่อมชุดควบคุมการทดสอบเท่านั้นซึ่งอาจเป็นสาเหตุค่า %RSD สูงขึ้น

3.3.3 มีจำนวน 9 ห้องปฏิบัติการที่มีค่า %RSD ไม่ผ่านเกณฑ์ (ห้องปฏิบัติการที่ 6, 9, 11-12, 15-17 และ 23-24) โดยมีค่า %RSD อยู่ระหว่าง 3.53-6.49 ซึ่ง 9 ห้องปฏิบัติการนี้มีข้อสังเกต “ไม่ใช่” เหมือนกัน 3 ข้อจากข้อสังเกตอยู่ 3-4 ข้อ คือ 1) ไม่มีการควบคุมสภาวะการทดสอบ 2) มีอายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี และ 3) ห้องทดสอบไม่ได้รับการรับรองมาตรฐาน 17025 นอกนั้นจะมีข้อสังเกตแตกต่างกันออกไป จึงกล่าวได้ว่าข้อสังเกตทั้งสองนี้ อาจเป็นสาเหตุทำให้ค่า %RSD ไม่ผ่านเกณฑ์และหากมีข้อสังเกตมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ข้อ แล้ว %RSD จะเกินเกณฑ์กำหนดและในกรณีที่ z มากกว่า 2 จะพบความเหมือนกันในข้อสังเกต 4 ข้อ คือ 1) ไม่มีการควบคุมสภาวะการทดสอบ 2) ห้องทดสอบไม่แยกจากหน่วยงานอื่น 3) ห้องทดสอบไม่ได้รับการรับรองมาตรฐาน 17025 และ 4) มีการปรับแต่งหรือซ่อมเครื่องทดสอบ แต่ต่างกันที่อายุการใช้งานของเครื่องทดสอบ

4. สรุป (Conclusion)

4.1 จากผล robust z -score แสดงความแตกต่างของชุดข้อมูลที่ดำเนินการรวม 26 ห้องปฏิบัติการ พบว่ามีจำนวน 23 ห้องปฏิบัติการที่ผลเป็นที่น่าพอใจ ($|z| \leq 2.0$) มีจำนวน 2 ห้องปฏิบัติการที่ผลเป็นที่น่าสงสัย ($2 < |z| < 3$) และมีจำนวน 1 ห้องปฏิบัติการที่ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ ($|z| \geq 3$) เมื่อพิจารณาการกระจายแบบปกติของ z -score ของการทดสอบความชำนาญสามารถแยกห้องปฏิบัติการที่มีผลการทดสอบแตกต่างกันได้ทั้ง 3 เกณฑ์การยอมรับได้อย่างชัดเจนและสามารถใช้พิจารณาร่วมกับสถิติอื่นได้ต่อไป

4.2 ผลการทำความทวนซ้ำได้ของการวัดของแต่ละห้องปฏิบัติการพบว่า มีจำนวน 17 ห้องปฏิบัติการที่ผลการทดสอบมี %RSD ผ่านเกณฑ์และพบว่ามีจำนวน 9 ห้องปฏิบัติการที่ไม่ผ่านเกณฑ์และจากการใช้แบบสังเกตพบว่า “ไม่ใช่” เหมือนกัน 3 ข้อจากข้อสังเกต 6 ข้อ คือ 1) ไม่มีการควบคุมสภาวะการทดสอบ 2) มีอายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี และ 3) ห้องทดสอบไม่ได้รับการรับรองมาตรฐาน 17025 ดังนั้นทั้งสามข้อนี้จึงเป็นสาเหตุค่า %RSD ไม่ผ่านเกณฑ์

4.3 สามารถนำข้อมูลจากการวิจัยนี้ใช้เป็นข้อมูล ในการทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการทดสอบความต้านแรงกดกลองกระดาษลูกฟูก และส่งเสริมความสามารถของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมให้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ รวมถึงให้มีการปรับปรุงการใช้ค่า assigned value และ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินการทดสอบความชำนาญ (σ_{PI}) โดยนำมาจากค่าของวัสดุอ้างอิง (reference materials; RM)

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณกลุ่มภาคอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก 26 ห้องปฏิบัติการที่ดำเนินการทดสอบเพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพัฒนางานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] ASTM INTERNATIONAL. ASTM D642-15, *Standard Test Method for Determining Compressive Resistance of Shipping Containers, Components, and Unit Loads*.
- [2] THE TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. TAPPI T 804, *Compression test of fiberboard shipping containers*.
- [3] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13528:2015, *Statistical Methods For Use In Proficiency Testing By Interlaboratory Comparison*.
- [4] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/IEC 17043:2010, *Conformity assessment - General requirements for proficiency testing*.

การผลิตกระดาษลูกฟูกเยื่อเวียนทำใหม่จากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า

The production of recycle corrugated paper from used corrugated container

15

ยุทธนาพงศ์ แดงเพ็ง¹, สุรเดช พานเพ็ง¹, ขวัญใจ สมบุญ¹, ภูวดิ์ ตูจินดา^{1*}

Yutthanapong Daengpeng¹, Suradej Phanphang¹, Kwanjai Somboon¹, Poovadee Tuchinda^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาสภาวะและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษเยื่อเวียนทำใหม่จากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสองประเภทคือ American Old Corrugated Container (AOCC) และ Local Old Corrugated Container (LOCC) จากการศึกษาพบว่า เยื่อที่ได้จาก AOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวมากกว่า เยื่อที่ได้จาก LOCC และมีสัดส่วนเส้นใยยาวใกล้เคียงกับเยื่อบริสุทธิ์ Unbleached Softwood Kraft Pulp (UBKP) ส่งผลให้ที่รอบการบิดเท่ากันเยื่อ AOCC ให้ค่าดัชนีความต้านแรงดึง ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด และดัชนีความต้านแรงกดวงแหวน สูงกว่าเยื่อ LOCC เมื่อนำเยื่อทั้งสองชนิดมาผสมในอัตราส่วนที่ต่างกันพบว่า อัตราส่วนผสมเยื่อ AOCC:LOCC ที่มีอัตราส่วนของเยื่อ AOCC มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป ให้ค่าดัชนีความต้านแรงดึงสูงกว่า 21.0 kN.m/kg, ดัชนีความต้านแรงฉีกขาดสูงกว่า 10.2 Nm²/kg และความต้านแรงกดวงแหวนสูงกว่า 115 N ดังนั้นจึงสามารถใช้เยื่อจาก AOCC ผสมกับเยื่อจาก LOCC มาผลิตกระดาษเยื่อเวียนทำใหม่แทนการผสมเยื่อบริสุทธิ์ เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต โดยที่สมบัติของกระดาษจากเยื่อเวียนทำใหม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งอุตสาหกรรมผลิตกล่องกระดาษ สามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อยอดเพื่อลดต้นทุนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

Abstract

The objective of this research project was to develop a condition and suitable mixing ratios between 2 widely used corrugated containers, which were American Old Corrugated Container (AOCC) and Local Old Corrugated Container (LOCC), in order to produce usable recycle paper. This studied was found that the pulp from AOCC contained higher ratio of long-fiber pulp than from LOCC and this ratio was also close to that of Unbleached Softwood Kraft Pulp (UBKP), which was a virgin pulp. At the same degree of refining, AOCC pulp provides the physical properties including tensile index tear index and ringcrush higher than LOCC pulp. The recycle paper produced from the mixture of AOCC and LOCC, where the ratio of AOCC to LOCC was greater than 50% had physical properties including tensile index over 21.0 kN.m/kg tear index over 10.2 Nm²/kg and ringcrush over 115 N. Therefore, it was possible to use a mixture of LOCC and AOCC to produce usable recycle paper, complied with the Thai Industrial Standard for corrugated paper which the industries could use the result to further develop into an industrial scale to reduce the use of virgin pulp and production cost in the future.

คำสำคัญ: เยื่อเวียนทำใหม่, กระดาษกล่องลูกฟูกเก่านำเข้าจากอเมริกา, กระดาษกล่องลูกฟูกเก่าภายในประเทศ

Keywords: Recycled pulp, American old corrugated container, Local old corrugated container

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันการค้าทั้งภายในและการส่งออกสินค้าของประเทศเติบโตขึ้น ทำให้ความจำเป็นต้องใช้ภาชนะบรรจุที่เป็นกล่องกระดาษมากขึ้น การผลิตกล่องกระดาษจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากการผลิตกล่องกระดาษจากเยื่อบริสุทธิ์เพียงอย่างเดียวจะส่งผลให้สูญเสียทรัพยากรมหาศาล ก่อให้เกิดขยะกระดาษ เป็นมลพิษทางสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้มาตรฐานฉลากเขียวของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยยังผลักดันให้ภาคอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษนำกระดาษเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วมาผลิตเป็นกระดาษใหม่อีกครั้ง โดยเยื่อกระดาษที่ผลิตจากกระดาษที่ผ่านการใช้งานแล้วเรียกว่าเยื่อเวียนทำใหม่หรือเยื่อรีไซเคิล ซึ่งลำดับขั้นตอนการผลิตแตกต่างกันไปตามลักษณะโรงงานหรือชนิดกระดาษที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยทั่วไปวัตถุดิบในการผลิตเยื่อเวียนทำใหม่แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก คือ กล่องกระดาษลูกฟูก กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษสำนักงาน และกระดาษอื่นๆ ซึ่งกระดาษแต่ละประเภทจะมีสมบัติและองค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไป เช่น สัดส่วนของเส้นใย และชนิดสารเติมแต่ง ในงานวิจัยของ Chen และคณะ (2016) พบว่า จำนวนครั้งในการรีไซเคิลมีผลต่อความยาวของเส้นใยและทำให้ความแข็งแรงของกระดาษเวียนทำใหม่ลดลง และค่าความแข็งแรงเชิงกลของกระดาษเวียนทำใหม่จะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการบำบัดเยื่อศึกษาโดย Biricik และ Atik (2012)

จากข้อจำกัดของโรงงานผู้ผลิตกระดาษจากการใช้เยื่อกระดาษเวียนทำใหม่มาผลิตเป็นกล่องกระดาษซึ่งมีหลายประการ จึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกระดาษที่ผลิตได้ เช่น เยื่อเวียนทำใหม่ได้มาจากกระดาษหลายประเภทมีสารปนเปื้อนค่อนข้างมาก และต่างชนิดกัน ไม่ทราบจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้การควบคุมคุณภาพกระดาษให้สม่ำเสมอทำได้ยาก กลุ่มโรงงานผู้ผลิตจึงได้นำปัญหานี้มาปรึกษา ทำให้กลุ่มผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการนำเยื่อเวียนทำใหม่มาผลิตเป็นกระดาษกล่องเพื่อทดแทนการใช้เยื่อบริสุทธิ์ จึงได้มีการวางแผนการทดลองโดยนำกล่องกระดาษเก่าสองชนิดคือ American Old Corrugated Container (AOCC) ซึ่งเป็นเศษกระดาษกล่องลูกฟูกเก่านำเข้าจากอเมริกาและ Local Old Corrugated Container (LOCC) ซึ่งเป็นเศษกระดาษกล่องลูกฟูกเก่าภายในประเทศได้ถูกใช้อย่างแพร่หลาย มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษกล่องจากเยื่อเวียนทำใหม่ โดยเริ่มจากการตรวจวัดสัดส่วนความยาวของเส้นใย อัตราส่วนผสมต่ออัตราการผลิตเยื่อ และทดสอบคุณสมบัติด้านการระบายน้ำของน้ำเยื่อ และความแข็งแรงเชิงกลของกระดาษเวียนทำใหม่ที่ได้

แม้งานวิจัยนี้เป็นปัญหาของโรงงานผู้ผลิตกล่องกระดาษจากเยื่อเวียนทำใหม่ แต่ในปัจจุบันเยื่อเวียนทำใหม่นี้มีการนำไปใช้ผลิตเป็นกระดาษอีกหลายชนิดนอกเหนือจากผลิตกล่อง และงานวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานด้านเชิงกลของกระดาษเวียนทำใหม่ไว้อย่างครอบคลุม ดังนั้นกลุ่มผู้วิจัยคาดหวังว่างานวิจัยนี้จะมีประโยชน์สำหรับโรงงานผลิตกระดาษทุกประเภทจากเยื่อเวียนทำใหม่ และสามารถนำไปต่อยอดปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบคือ กล่องกระดาษลูกฟูกสองประเภทคือ American Old Corrugated Container (AOCC) และ Local Old Corrugated Container (LOCC) ได้รับการอนุเคราะห์จากผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ในประเทศไทยจังหวัดราชบุรี ซึ่งกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าทั้งสองประเภทจำนวนอย่างละ 2 กิโลกรัม แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำกระดาษที่แช่แล้วแต่ละชนิดไปกระจายด้วยเครื่องกระจายเยื่อความเข้มข้นสูง (Hydra Pulper) ทำการแยกเยื่อด้วยเครื่อง Flat Screen หลังจากนั้นนำเยื่อเข้าเครื่องสไลด์แห้ง ตรวจสอบความชื้นจนได้เยื่อแต่ละชนิดที่มีความชื้นร้อยละ 80

2.2 การศึกษาความยาวของเส้นใย

นำเยื่อจากข้อ 2.1 มาศึกษาความยาวของเส้นใยของเยื่อจากกล่องแต่ละประเภทโดยใช้วิธีมาตรฐานของ Tappi T 233 cm-15 Fiber length of pulp by

classification โดยนำเยื่อแต่ละชนิดกระจายด้วยเครื่อง Tappi Standard Disintegrator และนำน้ำเยื่อแต่ละชนิดเข้าเครื่อง Fiber Classifier ปรับความดันน้ำและควบคุมอัตราการไหลของน้ำเยื่อตามที่กำหนดในมาตรฐานจนครบ 5 นาที แล้วทิ้งไว้อีก 10 นาที เก็บตัวอย่างเยื่อที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ต่างๆ ซึ่งน้ำหนักเยื่อที่ได้ในแต่ละ Fraction นำไปคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักเยื่อเริ่มต้น และแบ่งเยื่อจากแต่ละ Fraction ไปวัดขนาดของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์

2.3 การศึกษาผลการบดเยื่อ

2.3.1 นำเยื่อจากข้อ 2.1 มาศึกษาการบดเยื่อ โดยนำเยื่อแต่ละประเภทกระจายด้วยเครื่อง Tappi Standard Disintegrator เสร็จแล้วนำไปบดด้วยเครื่อง PFI-mill ที่ระดับการบด 0, 2000, 4000 และ 6000 รอบ

2.3.2 นำเยื่อที่บดแต่ละระดับหาค่าการอุ้มน้ำของเยื่อ (freeness) ด้วยวิธีมาตรฐานของ TAPPI T 227 om-04 Freeness Of Pulp

2.3.3 นำเยื่อที่บดแต่ละระดับทำแผ่นทดสอบขนาด 120 กรัมต่อตารางเมตร ด้วยวิธีมาตรฐาน TAPPI T 205 Handsheet forming

2.3.4 นำแผ่นทดสอบทั้งหมดไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ดังต่อไปนี้

- น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight) ตาม Tappi T 410 om-08
- ความหนา (Thickness) ตาม Tappi T 411 om-10
- ความต้านแรงดึง (Tensile strength) ตาม Tappi T 404 cm-92
- ความต้านแรงฉีกขาด (Tear strength) ตาม Tappi T 414 om-12
- ความต้านแรงวงแหวน (Ringcush) ตาม ISO 12192:2011

2.4 การศึกษาหาอัตราส่วนการผสม ระหว่าง AOCC กับ LOCC ที่เหมาะสม

2.4.1 นำเยื่อจากข้อ 2.1 ผสมตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนการผสมเยื่อจาก AOCC และ LOCC ในสภาวะต่างๆ

สภาวะการผสมเยื่อ			
สภาวะที่	อัตราส่วนการผสม วัตถุดิบ เยื่อจาก AOCC: เยื่อจาก LOCC	น้ำหนักบดแห้ง เยื่อจาก AOCC, กรัม	น้ำหนักบดแห้งเยื่อ จาก LOCC, กรัม
1	100 : 0	30	0
2	75 : 25	22.5	7.5
3	50 : 50	15	15
4	25 : 75	7.5	22.5
5	0 : 100	0	30

หมายเหตุ: ใช้เยื่อที่ไม่ผ่านการบดเนื่องจากอ้างอิงตามสภาวะของโรงงาน

2.4.2 นำเยื่อที่แต่ละสภาวะทำแผ่นทดสอบขนาด 120 กรัมต่อตารางเมตร ด้วยวิธีมาตรฐาน TAPPI T 205 Handsheet forming

2.4.3 นำแผ่นทดสอบทั้งหมดไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ดังต่อไปนี้

- น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight) ตาม Tappi T 410 om-08
- ความหนา (Thickness) ตาม Tappi T 411 om-10
- ความต้านแรงดึง (Tensile strength) ตาม Tappi T 404 cm-92
- ความต้านแรงฉีกขาด (Tear strength) ตาม Tappi T 414 om-12
- ความต้านแรงวงแหวน (Ringcush) ตาม ISO 12192:2011

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การศึกษาความยาวของเส้นใยของเยื่อแต่ละประเภท

ผลอัตราส่วนของแต่ละ fraction ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 48, 100 และ 150 คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักเยื่อเริ่มต้นแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าเยื่อทั้งสองประเภทส่วนใหญ่ค้างบนตะแกรง No. 48 (ร้อยละ 60 – 70)

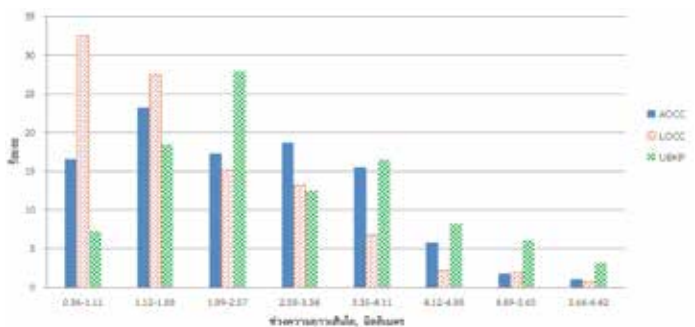
ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนของแต่ละ fraction ที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 48 100 และ 150 คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักเยื่อเริ่มต้น

ประเภทล่อง	AOCC		LOCC	
Fraction ที่ค้ำบนตะแกรง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
No. 48	71.4	72.7	62.8	61.5
No.48/100	6.2	6.2	12.7	14.5
No.100/150	5.0	5.0	6.0	6.3
Fine loss (No.150)	17.4	16.1	18.5	17.7

ความยาวของเส้นใยของเยื่อแต่ละประเภทแสดงตามตารางที่ 3 และรูปที่ 1 โดยมีการเปรียบเทียบค่ากับเยื่อ UBKP (Unbleached Softwood Kraft Pulp) ซึ่งเป็นเยื่อบริสุทธิ์

ตารางที่ 3 แสดงการกระจายของความยาวเส้นใยของเยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่า AOCC, LOCC และ เยื่อบริสุทธิ์ UBKP

ชนิดของเยื่อ	ช่วงความยาวเส้นใย, มิลลิเมตร							
	0.36-1.11	1.12-1.88	1.89-2.57	2.58-3.34	3.35-4.11	4.12-4.88	4.89-5.65	5.66-6.42
	ร้อยละ							
AOCC	16.6	23.2	17.3	18.7	15.5	5.8	1.8	1.1
LOCC	32.5	27.5	15.2	13.2	6.8	2.2	1.9	0.7
UBKP	7.2	18.4	27.9	12.5	16.5	8.2	6.1	3.2



รูปที่ 1 แสดงร้อยละการกระจายของเส้นใยแต่ละช่วงความยาว ของเยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่า AOCC, LOCC และเยื่อบริสุทธิ์ UBKP

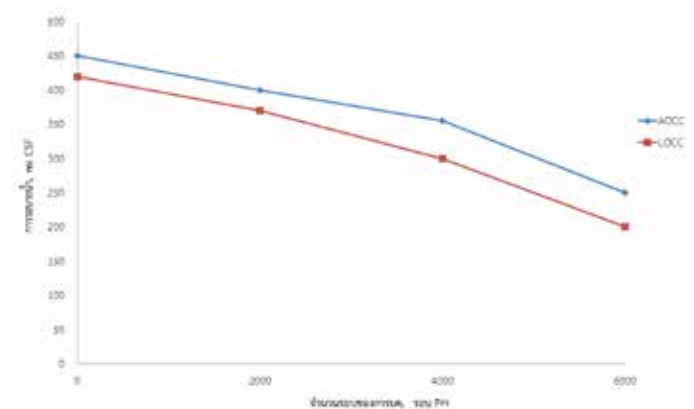
เมื่อใช้เกณฑ์แบ่งสัดส่วนเส้นใยยาวและสั้น พบว่าเยื่อ AOCC มีสัดส่วนเส้นใยที่มีความยาวในช่วง 2.58-6.42 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเส้นใยยาวร้อยละ 42.9 และเยื่อ LOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวร้อยละ 24.8 เมื่อเทียบกับสัดส่วนเส้นใยจากเยื่อบริสุทธิ์ UBKP ที่มีเส้นใยยาวอยู่ร้อยละ 46.5 พบว่าเยื่อ AOCC มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเยื่อ AOCC น่าจะใช้เป็นวัตถุดิบไปผสมกับเยื่อ LOCC แทนการใช้เยื่อบริสุทธิ์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษเวียนทำใหม่ได้

3.2 การศึกษาผลการบดเยื่อ

ผลการบดเยื่อต่อสมบัติทางกายภาพของเยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC แสดงในตารางที่ 4 และจากตารางที่ 4 สามารถแสดงในลักษณะของกราฟ โดยแยกแต่ละคุณสมบัติดังรูปที่ 2 ถึง 5

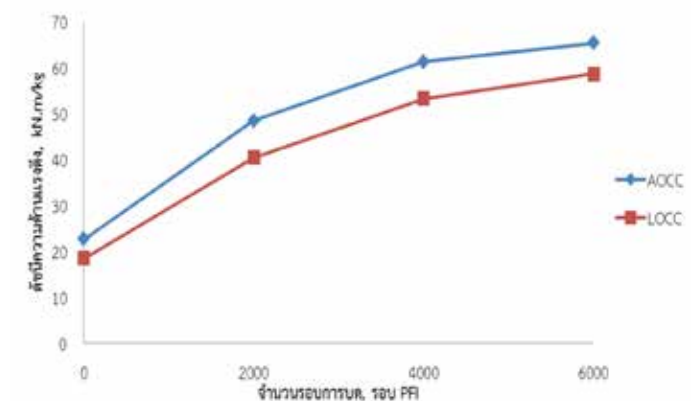
ตารางที่ 4 แสดงผลการบดเยื่อต่อสมบัติทางกายภาพของเยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC

จำนวนรอบในการบด, รอบ PFI	0		2000		4000		6000	
ประเภทของเยื่อ	AOCC	LOCC	AOCC	LOCC	AOCC	LOCC	AOCC	LOCC
การระบายน้ำ, ml CSF	450	420	400	370	355	300	250	200
ดัชนีความต้านแรงดึง, kN.m/kg	22.6	18.4	48.4	40.4	61.3	53.2	65.3	58.6
ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด, N.m2/kg	12.0	10.4	13.7	11.5	15.0	10.3	13.5	9.2
ความต้านแรงกดวงแหวน, N	113	80	147	101	159	117	177	125



รูปที่ 2 แสดงค่าการระบายน้ำของเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC ที่ระดับการบดต่างๆ

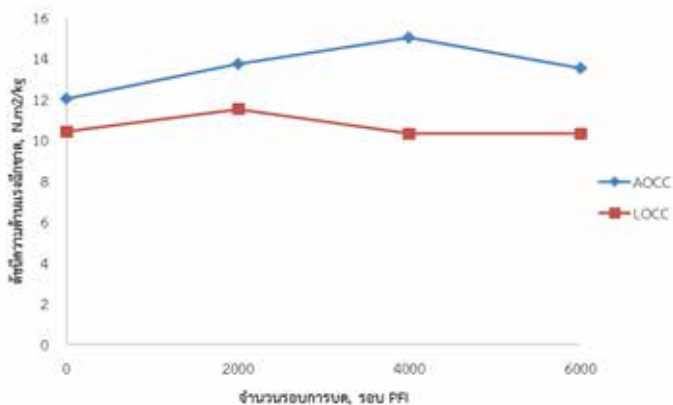
รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าที่จำนวนรอบการบดที่เท่ากัน ค่าการระบายน้ำของเยื่อ LOCC ลดลงมากกว่าเยื่อ AOCC เนื่องจากเยื่อ LOCC มีสัดส่วนเส้นใยสั้นมากกว่า ทำให้การบดเยื่อเป็นไปได้ง่ายกว่า เส้นใยจึงมีโอกาสแตกหักและเกิดเป็นเศษอนุภาคขนาดเล็กได้มากกว่าซึ่งจะไปขัดขวางการระบายน้ำ ทำให้ค่าการระบายน้ำลดลงรวดเร็วกว่าเยื่อ AOCC



รูปที่ 3 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC และ LOCC ที่ระดับการบดต่างๆ

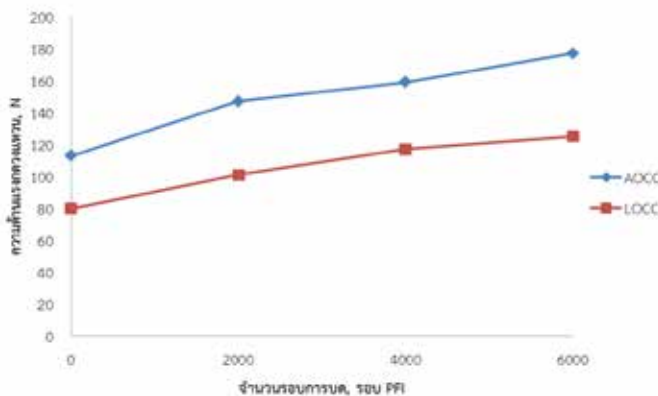
รูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มรอบการบดมากขึ้น แนวโน้มค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยเกิดการแตกแขนง ช่วยให้มีพื้นที่ในการสานตัวกันของเส้นใยเพิ่มขึ้น และดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC เพิ่มขึ้นสูงกว่าเยื่อ LOCC เนื่องจากเยื่อ AOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวสูง การบดช่วยเพิ่ม

การแตกแขนงเกิดเป็นไฟบริล แต่ไม่ทำลายความยาวของเส้นใย ต่างจากเยื่อ LOCC ที่สัดส่วนโดยมากเป็นเส้นใยสั้น แม้ว่ากระบวนการจะช่วยให้เกิดไฟบริลก็ตามแต่ก็ทำให้เส้นใยแตกหัก และสั้นลง ดังนั้นความต้านแรงดึงจึงเพิ่มขึ้นไม่เท่ากับเยื่อ AOCC



รูปที่ 4 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC และ LOCC ที่ระดับการบดต่างๆ

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มรอบบดมากขึ้นดัชนีความต้านแรงฉีกขาดจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกเนื่องจากเส้นใยสานตัวกันได้ดีขึ้น แต่เมื่อบดนานขึ้นค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดจะลดลง เนื่องจากความยาวของเส้นใยถูกตัดให้สั้นลงและค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC สูงกว่าเยื่อ LOCC เพราะมีสัดส่วนเส้นใยยาวมากกว่า เมื่อผ่านการบดเส้นใยจึงถูกตัดน้อยกว่า ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดจึงสูงกว่าแผ่นทดสอบจากเยื่อ LOCC



รูปที่ 5 แสดงค่าความต้านแรงกดวงแหวนของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC และ LOCC ที่ระดับการบดต่างๆ

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มรอบบดมากขึ้นค่าความต้านแรงกดวงแหวนของเยื่อจากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเส้นใยเกิดการแตกแขนง ช่วยให้เกิดการสานตัวกันระหว่างเส้นใยมากขึ้นและค่าความต้านแรงกดวงแหวนของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC เพิ่มขึ้นสูงกว่าเยื่อ LOCC เนื่องจากเยื่อ AOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวสูงกว่า การบดช่วยเพิ่มพื้นที่การสานตัวกันของเส้นใย แต่ไม่ทำลายความยาวของเส้นใย

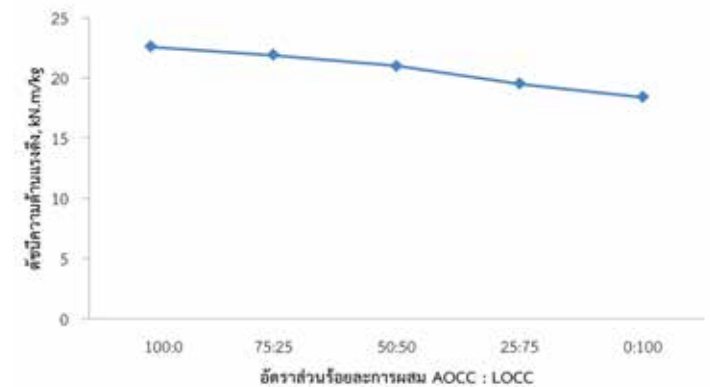
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มรอบการบดมากขึ้น คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อทั้งสองประเภทนั้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการบด พบว่าค่าความแข็งแรงมากพอที่จะขึ้นรูปเป็นกระดาษเวียนทำใหม่ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและลดขั้นตอนในการผลิตกระดาษเวียนทำใหม่ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เยื่อจากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าที่ไม่ผ่านการบดในการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมต่อไป

3.3 ศึกษาหาอัตราส่วนการผสมระหว่างกล่องลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษเยื่อเวียนทำใหม่จากการผสมระหว่างกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC ในอัตราส่วนต่างๆ แสดงในตารางที่ 5 และจากตารางที่ 5 สามารถแสดงในลักษณะของกราฟ โดยแยกแต่ละคุณสมบัติดังรูปที่ 6 ถึง 8

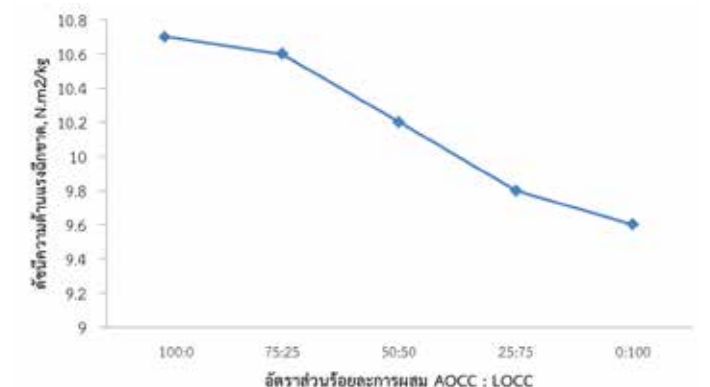
ตารางที่ 5 แสดงสมบัติทางกายภาพของกระดาษจากเยื่อเวียนทำใหม่จากการผสมระหว่างกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC ในอัตราส่วนต่างๆ

การทดสอบ	อัตราส่วนการผสม, ร้อยละ				
	AOCC: LOCC 100:0	AOCC: LOCC 75:25	AOCC: LOCC 50:50	AOCC: LOCC 25:75	AOCC: LOCC 0:100
ดัชนีความต้านแรงดึง, kN.m/kg	22.6	21.9	21.0	19.5	18.4
ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด, N.m²/kg	10.7	10.6	10.2	9.8	9.6
ความต้านแรงกดวงแหวน, N	123	120	115	95	80



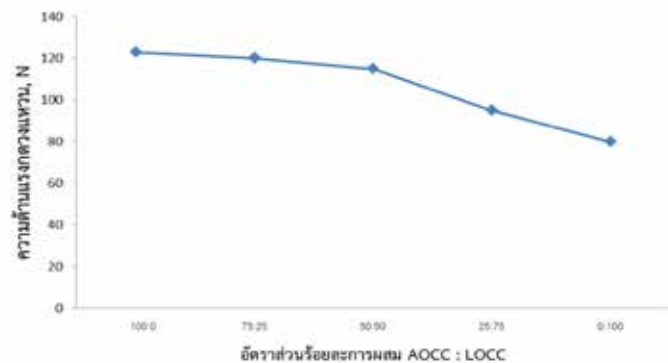
รูปที่ 6 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบจากเยื่อผสมระหว่าง AOCC และ LOCC ที่อัตราส่วนต่างๆ

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราส่วนของเยื่อ AOCC ลดลงจะทำให้ค่าดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้ เนื่องจากอัตราส่วนเส้นใยยาวลดลง



รูปที่ 7 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบจากเยื่อผสมระหว่าง AOCC และ LOCC ที่อัตราส่วนต่างๆ

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราส่วนของเยื่อ AOCC ลดลงจะทำให้ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอัตราส่วนเส้นใยยาวลดลง



รูปที่ 8 ความต้านแรงกดวงแหวนของแผ่นทดสอบจากเยื่อผสมระหว่าง AOCC และ LOCC ที่อัตราส่วนต่างๆ

รูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราส่วนของเยื่อ AOCC ลดลงจะทำให้ค่าความต้านแรงกดวงแหวนของแผ่นทดสอบมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอัตราส่วนเส้นใยยาวลดลงและเมื่ออัตราส่วนเยื่อ AOCC ลดต่ำกว่าร้อยละ 50 ค่าความต้านแรงกดวงแหวนจะลดลงต่ำกว่าค่าที่มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนด

4. สรุป (Conclusion)

4.1 เยื่อ AOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวมากกว่าเยื่อ LOCC และสัดส่วนเส้นใยยาวใกล้เคียงกับเยื่อ UBKP ซึ่งเป็นเยื่อบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงสามารถใช้เยื่อ AOCC เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษเวียนทำใหม่ แทนการใช้เยื่อบริสุทธิ์ได้

4.2 ผลจากการบดเยื่อที่ระดับต่างๆ จะทำให้ค่าระดับการระบายน้ำลดลง เนื่องจากการบดจะทำให้เส้นใยเกิดการแตกแขนง เพิ่มพื้นที่ในการสานตัวกันเป็นแผ่น และบางส่วนจะแตกหักเกิดเป็นอนุภาคขนาดเล็ก ดังนั้นที่ระดับการบดเยื่อจำนวนรอบเท่ากัน ค่าการระบายน้ำของเยื่อ LOCC จะลดลงมากกว่าเยื่อ AOCC เนื่องจากเยื่อ LOCC มีสัดส่วนเส้นใยสั้นมากกว่า ทำให้บดเยื่อได้ง่ายกว่า เส้นใยจึงมีโอกาสแตกหักและเกิดเป็นเศษอนุภาคขนาดเล็กได้มากกว่า ซึ่งจะไปขัดขวางการระบายน้ำ ทำให้ค่าการระบายน้ำลดลงเร็วกว่าเยื่อ AOCC ส่วนค่าดัชนีความแข็งแรงต่อการดึง, ความแข็งแรงต่อการฉีกขาด และความต้านแรงกดวงแหวนของแผ่นทดสอบที่ได้จากเยื่อ AOCC และ LOCC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่แผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC มีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบที่ได้จากเยื่อ LOCC ที่ระดับการบดเยื่อเท่ากัน เนื่องจากเยื่อ AOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวมากกว่า เมื่อผ่านการบดเยื่อที่ระดับเท่ากันเส้นใยที่เกิดการแตกแขนง ช่วยให้เกิดการสานตัวกันระหว่างเส้นใยดีขึ้น และยังคงความยาวของเส้นใยไว้ได้ จึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นทดสอบได้มากกว่า ในขณะที่ LOCC ส่วนใหญ่เป็นเส้นใยสั้น การบดทำให้เส้นใยแตกแขนง แต่จะเกิดการตัดเส้นใยในขณะเดียวกัน ค่าความแข็งแรงของแผ่นทดสอบจึงต่ำกว่าเยื่อ AOCC

4.3 ถึงแม้ว่าการบดเยื่อจะช่วยให้คุณสมบัติด้านความแข็งแรงสูงขึ้นก็ตาม แต่ในโรงงานผู้ผลิตกล่องจากเยื่อเวียนทำใหม่นี้ ใช้เยื่อที่ไม่ผ่านการบดเพื่อเป็นการลดต้นทุนของโรงงาน ดังนั้นจากการศึกษาในส่วนนี้พบว่า สามารถผลิตกระดาษเยื่อเวียนทำใหม่จากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC โดยอัตราส่วนผสมเยื่อกระดาษกล่องลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC จะต้องใช้อัตราส่วนของกระดาษกล่องลูกฟูกเก่า AOCC มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป จะได้กระดาษที่ผ่านมาตรฐานกระดาษทำลูกฟูกตาม มอก. 321-2530 ที่โรงงานใช้อยู่ซึ่งกำหนดเกณฑ์ให้ค่าความต้านแรงกดวงแหวนสำหรับกระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร ต้องไม่น้อยกว่า 95 นิวตัน โดยผลการทดลอง พบว่า ถ้าอัตราส่วนผสมเยื่อ AOCC: LOCC มีเยื่อ AOCC มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป จะมีค่าความต้านแรงกดวงแหวนมากกว่า 115 N ส่วนความแข็งแรง

ด้านการต้านแรงดึงและด้านแรงฉีกขาด ไม่มีการกำหนดในมาตรฐานของ มอก. สำหรับกระดาษทำลูกฟูก เนื่องจากกระดาษทำลูกฟูก ใช้ทำลอนตรงกลางจึงไม่ได้รับแรงดึงหรือแรงฉีกขาดโดยตรง โดยผลการทดลอง พบว่า ถ้าอัตราส่วนผสมเยื่อ AOCC: LOCC มีเยื่อ AOCC มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป จะมีค่าดัชนีความต้านแรงดึงมากกว่า 20 kN·m/kg และดัชนีความต้านแรงฉีกขาดมากกว่า 10 N·m²/kg ผลงานวิจัยครอบคลุมสำหรับการผลิตกระดาษชนิดอื่นๆ ด้วย ภาคอุตสาหกรรมสามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อยอดเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์กระดาษชนิดอื่นๆต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาษ. ใน: *เอกสารการอบรมเรื่องเทคโนโลยีการผลิตเยื่อและกระดาษ รุ่นที่ 2 15-17 มิถุนายน 2542*. กรุงเทพฯ: ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2542.
- [2] รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ และ ชีระชัย รัตนโรจน์มงคล. กระดาษรีไซเคิล. ใน: *เอกสารการอบรมเรื่อง เทคโนโลยีการผลิตเยื่อและกระดาษ รุ่นที่ 2 15-17 มิถุนายน 2542*. กรุงเทพฯ: ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2542.
- [3] สมชาติ รุ่งอินทร์. ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับงานวิเคราะห์ทดสอบเยื่อและกระดาษและคำอธิบายศัพท์ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทดสอบ. กรุงเทพฯ: ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2528.
- [4] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. T 233 cm-15: Fiber length of pulp by classification
- [5] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. TAPPI T 205 Handsheet forming
- [6] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. T 410 om-08: Grammage of Paper And Paperboard (weight per unit area)
- [7] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. T 411 om-10: Thickness (caliper) of Paper, Paperboard, And Combined Board
- [8] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. T 404 cm-92: Tensile Breaking Strength and Elongation of Paper and Paperboard (using Pendulum-type Tester)
- [9] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. T 414 om-12: Internal Tearing Resistance of Paper (Elmendorf-Type Method)
- [10] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 12192:2011, Paper and board -- Determination of compressive strength -- Ring crush method
- [11] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 321-2530. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษทำลูกฟูก
- [12] CHEN Y., J. WAN, Q. WU, Y. MA and M. HUANG. Effect of recycling on fundamental properties of hardwood and wheat straw pulp fibers, and of handsheets made thereof. *Cellulose chemistry and technology*, 2016, 50(9-10), 1061-1067.
- [13] BIRICIK Y. and C. ATIK. Effect of cellulase treatment of long fiber fraction on strength properties of recycled corrugated medium. *African Journal of Biotechnology*, 2012, 11(58), 12199-12205.

การเปรียบเทียบเทคนิคการกำหนดค่าอ้างอิงของเมลามีนในสารละลายตัวแทนอาหาร โดยวิธีการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนักและวิธีไฮเพอร์ฟอร์แมนลิควิด โครมาโทกราฟี Comparison of melamine determination as reference value in food simulant by gravimetric method and high performance liquid chromatography

16

จุฑาทิพย์ ลาภวิบูลย์สุข¹, พจมาน ทำจีน¹, สมภพ ลาภวิบูลย์สุข¹
Jutathip Lapviboonsuk¹, Pochaman Tagheen¹, Sompop Lapviboonsuk¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการกำหนดค่าอ้างอิงของเมลามีนในสารละลายตัวแทนอาหาร (กรดอะซิติก ร้อยละ 3) สำหรับกิจกรรมทดสอบความชำนาญ โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก (Gravimetric method) และวิธีไฮเพอร์ฟอร์แมนลิควิดโครมาโทกราฟี (HPLC) ดำเนินการตามวิธีมาตรฐาน DD CEN/TS 13130-27: 2005 ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ในการกำหนดค่าอ้างอิง ได้ทำการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียร พบว่า ตัวอย่างเป็นไปตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (ISO 13528: 2005) การกำหนดค่าอ้างอิงของเมลามีนด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนลิควิด โครมาโทกราฟี และวิธีการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก พบว่าตัวอย่างมีปริมาณเมลามีน 5.04 และ 5.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 0.30 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การเปรียบเทียบเทคนิคการกำหนดค่าอ้างอิงใช้ค่า E_n พบว่าทั้ง 2 วิธีให้ค่าปริมาณเมลามีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Abstract

This study aimed to compare the approaches used for assigning reference values for proficiency testing scheme in food simulant (acetic acid, 3% (w/v)) using gravimetric technique and high performance liquid chromatography (HPLC) as according to DD CEN/TS 13130-27: 2005. The PT samples used in this study were required to investigate for homogeneity and stability. These samples were examined and met the standard requirements (ISO 13528: 2005). The determinations of melamine content were performed by using HPLC and gravimetric method. From the experiment results, the amounts of melamine in food simulant were 5.04 and 5.00 mg/kg, respectively. Moreover, the uncertainties of measurement were also estimated and found that the expanded uncertainties at 95% confidence interval were 0.30 and 0.06 mg/kg, respectively. The comparison between the reference values of HPLC and gravimetric method was performed by using E_n value. The E_n value showed non-significant difference for both determination methods of melamine values.

คำสำคัญ: เมลามีน, สารละลายตัวแทนอาหาร, ไฮเพอร์ฟอร์แมนลิควิดโครมาโทกราฟี, การวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก

Keywords: Melamine, Food simulant, High-performance liquid chromatography, Gravimetric method

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

เมลามีน (melamine) เป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกโดยนำมาทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) ได้เป็นเมลามีนเรซิน (melamine resin) ซึ่งนำมาทำภาชนะเมลามีนสำหรับใช้บรรจุอาหารและได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากมีความสวยงาม น้ำหนักเบา ผิวเรียบเป็นมัน ตกไม่แตกและราคาไม่สูงมาก โดยทั่วไปเมลามีนเป็นสารประกอบที่ไม่มีพิษเมื่อพบในปริมาณน้อย แต่เมลามีนจะมีพิษสูงเมื่อจับตัวกับกรดไซยานูริก (cyanuric acid) เกิดเป็นเมลามีนไซยานูเรต ซึ่งเป็นผลึกที่ไม่ละลายน้ำ ก้อนผลึกเล็กๆนี้จะอุดตันท่อในไต ส่งผลให้เกิดนิ่วในไตทำให้ไม่สามารถผลิตปัสสาวะได้ ก่อให้เกิดมะเร็งที่กระเพาะปัสสาวะ ทำลายระบบสืบพันธุ์ และทำให้ไตวายเฉียบพลันเป็นผลให้เกิดการเสียชีวิตได้ [1]- [5]

องค์การอนามัยโลกจึงได้กำหนดค่า Tolerable Daily Intake (TDI) หรือค่าปนเปื้อนสูงสุดที่ร่างกายได้รับต่อวันโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของเมลามีนที่ 0.20 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม/วัน (WHO, 2009) ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดค่า TDI ที่ 0.63 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม/วัน และสหภาพยุโรปกำหนดค่า TDI ที่ 0.50 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม/วัน นอกจากนี้สหภาพยุโรปได้แก้ไขกฎระเบียบเกี่ยวกับการใช้สารเมลามีนให้สอดคล้องกับค่า TDI ดังกล่าว โดยเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2554 สหภาพยุโรปได้ออกกฎระเบียบ Commission Regulation (EU) No 1282/2011 ลงวันที่ 28 พฤศจิกายน 2554 แก้ไข Commission Regulation (EU) No. 10/2011 เรื่องกฎระเบียบว่าด้วยวัสดุพลาสติกและบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสอาหาร ว่าด้วยการลดข้อจำกัดการใช้สารวัสดุสัมผัสอาหาร หมายเลข 239 ชื่อ 2,4,6-triamino-1,3,5-triazine (เมลามีน) โดยลดค่า specific migration limit (SML) หรือค่าสูงสุดที่อนุญาตให้อาหารสัมผัสเมลามีนได้จาก 30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็น 2.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (2.5 mg/kg food) โดยมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 30 ธันวาคม 2554 และประเทศไทยได้มีประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 331 (2551) เรื่อง กำหนดอาหารที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือจำหน่าย และประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง กำหนดเงื่อนไขอาหารที่ตรวจพบสารเมลามีนและสารในกลุ่มเมลามีน โดยกำหนด นมผงไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และอาหารที่มีนมเป็นส่วนผสม ไม่เกิน 2.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จากการออกกฎระเบียบดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของอันตรายจากสารเมลามีนและส่งผลกระทบต่อผู้ส่งออกภาชนะบรรจุอาหารชนิดเมลามีนที่จะต้องผลิตสินค้าให้ได้ตามกฎระเบียบฉบับนี้

การทดสอบหาปริมาณสารเมลามีนจึงมีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมการส่งออก การดูแลและคุ้มครองความปลอดภัยของผู้บริโภค ดังนั้นผลการทดสอบที่ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือเท่านั้นที่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ การเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการด้วยกิจกรรมทดสอบความชำนาญ (Proficiency Testing; PT) ช่วยยืนยันถึงความถูกต้องและประสิทธิภาพของห้องปฏิบัติ นอกจากนี้การทดสอบความชำนาญยังเป็นแนวทางหนึ่งในการประกันคุณภาพผลการทดสอบทำให้เกิดความน่าเชื่อถือ และเกิดการยอมรับร่วมในผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการ รวมทั้งเป็นหนึ่งในข้อกำหนดของระบบคุณภาพของห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC17025 ซึ่งการกำหนดค่าอ้างอิงสำหรับกิจกรรมทดสอบความชำนาญ เป็นส่วนที่มีบทบาทสำคัญต่อการประเมินสมรรถนะห้องปฏิบัติการ โดยการประเมินดังกล่าวมีหลายรูปแบบ แต่วิธีที่ได้รับความนิยมคือการประเมินโดยใช้ z-score ดังสมการที่ 1 และมีเกณฑ์การประเมินดังตารางที่ 1

$$z\text{-score} = \frac{(x-X)}{\sigma_{pt}}$$

เมื่อ x คือผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ

X คือค่าอ้างอิง (Assigned value)

σ_{pt} คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินความชำนาญ

ตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์การประเมินสมรรถนะห้องปฏิบัติการโดย z-score

ค่า z-score	เกณฑ์การยอมรับ
$ z < 2$	ผลเป็นที่น่าพอใจ (Satisfactory)
$2 < z < 3$	ผลเป็นที่น่าสงสัย (Questionable)
$ z > 3$	ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ (Unsatisfactory)

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิธีการกำหนดค่าอ้างอิงของเมลามีนในสารละลายตัวแทนอาหารสำหรับเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการหรือกิจกรรมทดสอบความชำนาญ โดยศึกษาเปรียบเทียบ 2 วิธี ดังนี้ วิธีไฮเพอร์ฟอร์แมนลิควิด โครมาโทกราฟี และวิธีการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อการพัฒนาศักยภาพห้องปฏิบัติการของกลุ่มประเทศสมาชิกอาเซียนในกิจกรรม PT ของศูนย์บริหารจัดการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ

2. วิธีการทดลอง (Experimental)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1.1 เครื่องชั่งไฟฟ้า (electronic analytical balance) ชั่งได้ละเอียด 0.0001 กิโลกรัม ยี่ห้อ Sartorius รุ่น Combi3
- 2.1.2 เครื่องชั่งไฟฟ้า (electronic analytical balance) ชั่งได้ละเอียด 0.00001 กรัม ยี่ห้อ Mettler รุ่น XP 205 DR
- 2.1.3 เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Waters รุ่น Alliance e2695 และคอลัมน์ HPLC ชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 4.6 x 250 มิลลิเมตร บรรจุด้วย Spherisorb NH₂ ขนาดอนุภาค 5 ไมโครเมตร
- 2.1.4 ตู้อบ (oven) ยี่ห้อ BINDER รุ่น FED115
- 2.1.5 เครื่องทำน้ำบริสุทธิ์ (deionizer)
- 2.1.6 ชุดอุปกรณ์การกรองพร้อมแผ่นเมมเบรน (membrane filter) ชนิดไนลอน ขนาด 47 มิลลิเมตร 0.20 ไมโครเมตร
- 2.1.7 หัวกรอง (syringe filter) ชนิด PTFE หรือ PVDF ขนาด 13 มิลลิเมตร 0.20 ไมโครเมตร หรือหัวกรองชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน
- 2.1.8 หลอดฉีดยา (syringe) ขนาด 5 มิลลิลิตร
- 2.1.9 ขวดแก้วขนาดเล็ก (vial) ขนาด 2 มิลลิลิตร
- 2.1.10 เครื่องแก้วต่างๆ เช่น ปิเปตต์ ขวดแก้วปริมาตร บีกเกอร์ และกระบอกตวงขนาดต่างๆ
- 2.1.11 อ่างน้ำอัลตราโซนิก (ultrasonic water-bath)
- 2.1.12 อะลูมิเนียมฟอยล์

2.2 สารเคมี

- 2.2.1 อะซิโตรไนโตรลล์ ชั้นคุณภาพวิเคราะห์ HPLC
- 2.2.2 น้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง มีความต้านทานไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 18.2 MΩ·cm
- 2.2.3 โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต
- 2.2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 2.2.5 สารมาตรฐานเมลามีน ความบริสุทธิ์อย่างน้อยร้อยละ 99.0
- 2.2.6 กรดเกลือละลายชนิดความเข้มข้นร้อยละ 100 ชั้นคุณภาพวิเคราะห์

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างสำหรับกำหนดค่าอ้างอิง เตรียมโดยใช้สารละลายมาตรฐานเมลามีนที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เติมน้ำในสารละลายกรดอะซิติก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งทราบปริมาตรที่แน่นอนของทั้งสารมาตรฐานปริมาณ 40 กรัมและสารละลายกรดอะซิติกปริมาณ 8,000 กรัมด้วยการชั่งน้ำหนัก ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยการเขย่า แล้วแบ่งบรรจุในขวดพลาสติก ปิดสนิท เก็บที่อุณหภูมิห้อง

2.4 การตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) และความเสถียร (Stability)

ตัวอย่างสำหรับกำหนดค่าอ้างอิง ต้องดำเนินการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยการสุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ขวดและตรวจวัดปริมาณสารเมลามีนในสารละลายตัวแทนอาหาร (กรดอะซิติก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ตัวอย่างละ 2 ข้างแล้วประเมินโดยวิธีทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (S_s) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินความชำนาญ (σ_{pt}) ตาม ISO 13528: 2015 ดังสมการ

$$S_s \leq 0.3\sigma_{pt}$$

การตรวจสอบความเสถียรของตัวอย่าง ดำเนินการโดยสุ่มตัวอย่างจำนวน 5 ขวดและตรวจวัดปริมาณสารเมลามีนในสารละลายตัวแทนอาหาร (กรดอะซิติก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ซึ่งดำเนินการทดสอบในวันที่สิ้นสุดของโปรแกรมทดสอบความชำนาญ แล้วประเมินโดยวิธีทางสถิติตาม ISO 13528: 2015 ดังสมการ

$$|A-B| \leq 0.3\sigma_{pt}$$

เมื่อ A คือค่าเฉลี่ยปริมาณเมลามีนที่ได้จากการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน

B คือค่าเฉลี่ยปริมาณเมลามีนที่ได้จากการศึกษาความเสถียร

2.5 การกำหนดค่าอ้างอิงด้วยเทคนิค

ไฮเพอร์ฟอร์แมนลิกวิดโครมาโทกราฟี

ความเข้มข้นของสารเมลามีนคำนวณโดยใช้เครื่อง HPLC จากการเทียบกับสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน โดยการสร้างกราฟมาตรฐานจากสารละลายมาตรฐานเมลามีนในสารละลายตัวแทนอาหารที่ความเข้มข้นระหว่าง 0 ถึง 40 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรที่กรองผ่านตัวกรองชนิด PTFE ขนาด 0.2 ไมโครเมตร ลงในขวดแก้วขนาดเล็ก ฉีดเข้าเครื่อง HPLC ตามสภาวะเครื่อง HPLC ที่เหมาะสมในการทดสอบตาม DD CEN/TS 13130-27:2005 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 [6] ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาวะการทดสอบเมลามีนด้วยเครื่อง HPLC

รายการ	สภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง HPLC
คอลัมน์	ชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 250 x 4.6 มิลลิเมตรและการ์ดคอลัมน์ บรรจุด้วย Spherisorb NH2 ขนาดอนุภาค 5 ไมโครเมตร ยี่ห้อ Waters
อุณหภูมิคอลัมน์	40 องศาเซลเซียส
วัฏภาคเคลื่อนที่	อะซิโตรไนโตรล : สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 6.5 (75 : 25)
อัตราการไหล	1.0 มิลลิลิตรต่อนาที
ปริมาตรที่ฉีด	20 ไมโครลิตร
เครื่องตรวจวัด	เครื่องตรวจวัดชนิดยูวี (UV detector): ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร

2.6 การกำหนดค่าอ้างอิงโดยวิธีวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก (Gravimetric method)

ความเข้มข้นของสารเมลามีนคำนวณจากการชั่งน้ำหนักสารมาตรฐานและ

สารละลายตัวแทนอาหาร (กรดอะซิติก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 4 ตำแหน่งและได้รับการสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 แล้วคำนวณความเข้มข้นของเมลามีน

2.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของค่าอ้างอิง

การประมาณค่าความไม่แน่นอนของผลการวัด ใช้แนวทาง EURACHEM/CITAC Guide: 2012 [7] โดยแจกแจงแหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนในแผนภูมิแกว่งปลา แล้วคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของแต่ละแหล่ง ค่าความไม่แน่นอนรวมและค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.8 การเปรียบเทียบความแตกต่างของ 2 วิธี

การประเมินความแตกต่างของการกำหนดค่าอ้างอิงระหว่างวิธีไฮเพอร์ฟอร์แมนลิกวิด โครมาโทกราฟีและวิธีการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก โดยใช้การคำนวณจากค่า E_n score เป็นการนำค่าความไม่แน่นอนมารวมใช้ในการเปรียบเทียบกับ ซึ่งการเปรียบเทียบกับค่า t-test นั้นไม่ได้คำนึงถึงค่าความไม่แน่นอนของค่าอ้างอิง แต่ใช้การคำนวณจากค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การประเมินจากค่า E_n โดยพิจารณาถ้า $E_n \leq 1.0$ แสดงว่าการทดสอบจาก 2 วิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ [8-9] ดังสมการ

$$E_n = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2}}$$

เมื่อ x_1 คือค่าเฉลี่ยปริมาณเมลามีนที่ได้จากวิธีไฮเพอร์ฟอร์แมนลิกวิด โครมาโทกราฟี

x_2 คือค่าเฉลี่ยปริมาณเมลามีนที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก

u_1 คือค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากวิธีไฮเพอร์ฟอร์แมนลิกวิด โครมาโทกราฟี

u_2 คือค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก

นอกจากนี้การใช้ค่า E_n เป็นประโยชน์ต่อการประเมินผลการทดสอบความชำนาญ และความสามารถของผู้เข้าร่วมกิจกรรมฯ ที่มีผลการทดสอบใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง (assigned value) ภายใต้ค่าความไม่แน่นอนที่กำหนด

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 การตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียร

การประเมินความเหมาะสมของความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่าง พิจารณาจากการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินความชำนาญ ซึ่งได้ตั้งเป้าหมายไว้ที่ ร้อยละ 10 ของค่าอ้างอิง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างตัวอย่างต้องมีค่าไม่เกิน $0.3\sigma_{pt}$ โดยค่า σ_{pt} เป็นการกำหนดจากผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นตามมาตรฐาน ISO 13528: 2015 และมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่าง (เมลามีนในสารละลายกรดอะซิติก ร้อยละ 3)

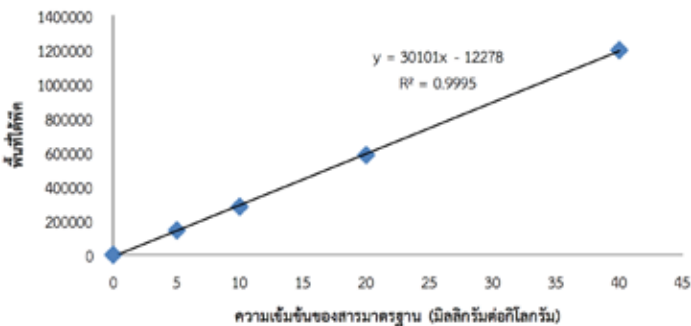
การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยของเมลามีน	5.04
	S_s	0.000
	σ_{pt}	0.50
	$0.3\sigma_{pt}$	0.15
	$S_s \leq \sigma_{pt}$	ตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

การประเมินความเสี่ยง โดยพิจารณาการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการวัดจากการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างกับผลการทดสอบความเสี่ยง ตาม ISO 13528: 2015 ซึ่งความแตกต่างต้องมีค่าไม่เกิน $0.3\sigma_{pt}$ ในช่วงเวลาทำการเตรียมตัวอย่างหรือวันที่สิ้นสุดของโปรแกรมทดสอบความชำนาญ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลความเสี่ยงของตัวอย่าง (เมลามีนในสารละลายกรดอะซิติก ร้อยละ 3)

การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยของเมลามีน (B)	5.10
	ค่าเฉลี่ยของเมลามีน (A)	5.04
	$ A-B $	0.06
	σ_{pt}	0.50
	$0.3\sigma_{pt}$	0.15
	$ A-B \leq 0.3\sigma_{pt}$	ตัวอย่างมีความเสี่ยง

3.2 การกำหนดค่าอ้างอิงด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนลิดิคโครมาโทกราฟี วิธีที่ได้ดำเนินการทดสอบความใช้ได้ของวิธี รวมทั้งได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025: 2005 และได้เข้าร่วมโปรแกรมทดสอบความชำนาญของ FAPAS โดยปริมาณเมลามีนคำนวณจากการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่สร้างระหว่างพื้นที่ใต้พีคและความเข้มข้นของสารมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 1 พบว่า ค่าอ้างอิงที่ทดสอบด้วยเทคนิค HPLC มีระดับความเข้มข้น 5.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



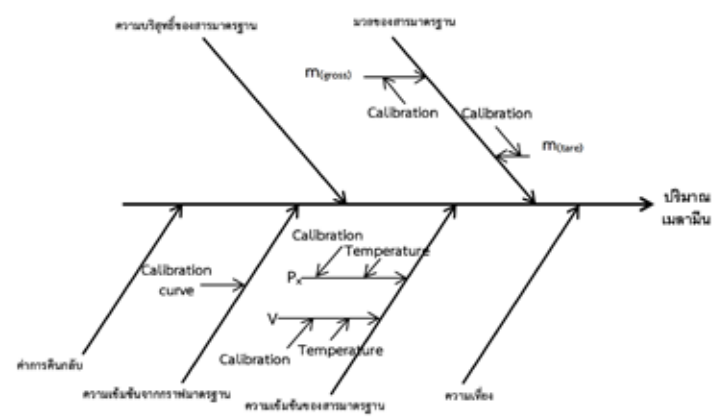
รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานของสารเมลามีน

3.3 การกำหนดค่าอ้างอิงโดยวิธีวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก (Gravimetric Method)

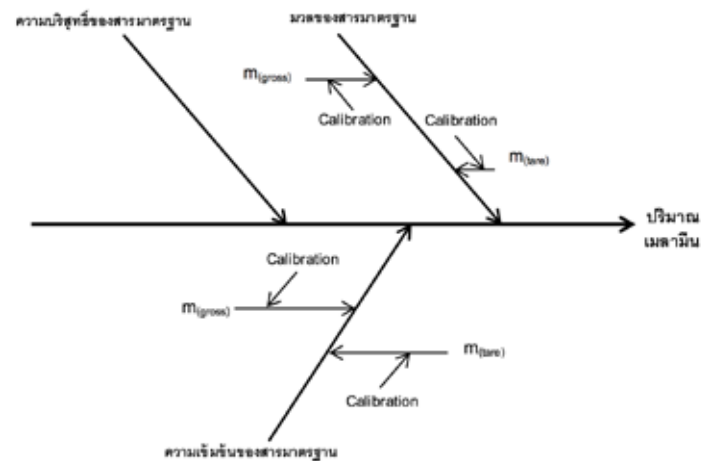
ปริมาณเมลามีนคำนวณจากการชั่งน้ำหนักของสารมาตรฐานและสารละลายตัวแทนอาหาร พบว่า ค่าอ้างอิงมีความเข้มข้น 5.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3.4 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของค่าอ้างอิง

การประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดตาม EURACHEM/CITAC Guide: 2012 โดยแจกแจงแหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนในรูปแบบภูมิภาคลาด แสดงดังรูปที่ 2 สำหรับการกำหนดค่าอ้างอิงด้วยเทคนิค HPLC พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 5.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าความไม่แน่นอนรวมเท่ากับ 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าความไม่แน่นอนขยายเท่ากับ 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



รูปที่ 2 แหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนโดยเทคนิค HPLC การประเมินค่าความไม่แน่นอนจากวิธีวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 5.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าความไม่แน่นอนรวมเท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและค่าความไม่แน่นอนขยายเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยแหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนแจกแจงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนโดยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก

3.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างของ 2 วิธี

การประเมินความแตกต่างของการกำหนดค่าอ้างอิงระหว่างวิธีไฮเพอร์ฟอร์แมนลิดิคโครมาโทกราฟีและวิธีวิเคราะห์ด้วยน้ำหนักพบว่า E_n มีค่าเท่ากับ 0.13 ดังนั้น $E_n \leq 1$ แสดงว่าการกำหนดค่าอ้างอิงทั้ง 2 วิธีให้ผลที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

4. สรุป (Conclusion)

การกำหนดค่าอ้างอิงของเมลามีนในสารละลายตัวแทนอาหาร เพื่อการเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการ โดยใช้เทคนิค HPLC ตามวิธีมาตรฐาน DD CEN/TS 13130-27: 2005 พบว่า ตัวอย่างมีปริมาณเมลามีน 5.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าความไม่แน่นอนขยายเท่ากับ 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างทดสอบความชำนาญ โดยการกำหนดค่าอ้างอิงของเมลามีนด้วยวิธี HPLC ให้ค่าที่สอดคล้องกับการกำหนดค่าอ้างอิงด้วยวิธีวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก ซึ่งพบว่า ตัวอย่างมีปริมาณเมลามีน 5.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าความไม่แน่นอนขยายเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การเปรียบเทียบเทคนิคการกำหนดค่าอ้างอิงดำเนินการโดยใช้ค่า E_n พบว่าทั้ง 2 วิธีให้ค่าปริมาณเมลามีนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ การตรวจวัดปริมาณเมลามีนต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องต่างๆ เช่น การเตรียมตัวอย่างที่ต้องมีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเสถียรที่เหมาะสมตาม ISO 13528: 2005 การใช้ตัวกรองที่มีความเหมาะสม (PTFE

หรือ PVDF) การเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ต้องมีการชั่งและเตรียมอย่างระมัดระวัง รวมทั้งการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่อาจจำเป็นต้องใช้เครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic bath) ช่วยในการละลาย นอกจากนี้การเลือกเทคนิคการตรวจวัดที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดค่าอ้างอิงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อผลการทดสอบที่ถูกต้อง การสอบกลับได้ไปที่ SI unit ของการวัดเป็นสิ่งที่สำคัญต่อความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบ ในที่นี้ดำเนินการสอบกลับได้โดยสารละลายมาตรฐานและการสอบเทียบเครื่องมือวัด

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION AND WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Toxicological and Health Aspects of Melamine and Cyanuric Acid*. Geneva: FAO/WHO, 2009, pp.1-74.
- [2] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION AND WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Codex Alimentarius Commission*. Agenda Item 5, CX/CF 10/4/5: FAO/WHO, March 2010, pp.1-25.
- [3] LAM, C-W., L. LAN, , X. CHE, S. TAM, S. S-Y. WONG, Y. CHEN, J. JIN, S-H. TAO, X-M. TANG, KY. YUEN, and, P K-H. TAM. Diagnosis and spectrum of melamine-related renal disease: Plausible mechanism of stone formation in humans. *Clinica Chimica Acta*, 2009, 402, 150-155.
- [4] TOLLESON, WH., G.W. DIACHENKO, and D. HELLER. *Background paper on the chemistry of melamine alone and in combination with related compounds*. Prepared for the WHO Meeting on Toxicological and Health Aspects of Melamine and Cyanuric Acid, in collaboration with FAO and supported by Health Canada, 1-4 December 2008.
- [5] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Melamine and Cyanuric acid: Toxicity, Preliminary Risk Assessment and Guidance on Levels in Food*. 30 October 2008.
- [6] DD CEN/TS 13130-27:2005. *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*.
- [7] EURACHEM / CITAC Guide CG 4: Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, 3rd ed. QUAM: 2012 P1
- [8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13528: 2005, *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons*.
- [9] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL. ISO 17043: 2010, *Conformity assessment – general requirements for proficiency testing*.

คำแนะนำในการส่งต้นฉบับ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Bulletin of Applied Sciences

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ยินดีรับบทความวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยบทความที่ส่งตีพิมพ์จะต้องไม่เคยตีพิมพ์หรืออยู่ในระหว่างการพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในวารสารอื่น บทความที่เสนอมานี้เพื่อตีพิมพ์อาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่บทความต้องมีทั้งสองภาษา ทั้งนี้บทความทุกเรื่องจะได้รับการพิจารณาตรวจแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง และกองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขต้นฉบับและพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง

ความรับผิดชอบ

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ ถือเป็นผลงานทางวิชาการ และเป็นความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่ใช่ความเห็นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือกองบรรณาธิการ ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน และบทความที่ตีพิมพ์ในเล่มนี้ไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 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

อรพรรณ ปิ่นประยูร^{1*}, กรรณิการ์ บุตรเอก^{2**}
Orawan Pinprayoon^{1*}, Kannika Butraek^{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 เอกสารอ้างอิงทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงหรือกล่าวถึงในบทความ
ตัวอย่าง

- [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), 81-89 .
- [2] CAI, D., CHI, C.F. and YOU, M. The legibility threshold of Chinese characters in three- type styles. Int. J. 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 พร้อมไฟล์ข้อมูลมาที่
กองบรรณาธิการวารสารวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (Bulletin of Applied Science) 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>

ดรรชนีคำสำคัญ
วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ปีที่ 6 ฉบับที่ 6 สิงหาคม 2560

ก		น	
กระดาศกล่องลูกฟูกเก่านำเข้าจากอเมริกา	108	น้ำดื่ม	88
กระดาศกล่องลูกฟูกเก่าภายในประเทศ	108	น้ำเพื่อบริโภค	44
กระทะไฟฟ้าอะลูมิเนียม	51	เนื้อดินเบา	9
กล่องกระดาศลูกฟูก	101	บ	
การดูดกลืนแสง	32	โบรอน	80
การทดสอบความชำนาญ	101	ผ	
การละลายของธาตุ	51	แผ่นรองเผา	65
การวิเคราะห์ด้วยน้ำหนัก	113	พ	
การสันสะเทือน	24	พาสีโอโดเมียม	32
การหลอมแก้ว	97	ม	
แกรนูล	97	เมลามีน	113
แก้วกรองแสง	32	ย	
ค		ยางคอมปาวด์	58
ความถี่ธรรมชาติ	24	ยางธรรมชาติ	58, 80
ความปลอดภัย	17	เยื่อเวียนทำใหม่	108
ความสกปรกที่พื้นผิวของแม่พิมพ์	58	ร	
คอร์เดียไรต์	65	โรงงานอุตสาหกรรมเคมี	17
ค่าความต้านแรงกดกล่อง	101	ล	
ค่าความไม่แน่นอนของการวัด	88	เลนส์	32
ค่าความละเอียด	24	ว	
ค่าอ้างอิง	88	วัตถุบิกังสำเร็จรูป	97
คุณภาพของวัสดุ	51	วัสดุกำบังรังสี	80
เครื่องชั่งน้ำหนัก	24	วัสดุอ้างอิง	88
เครื่องเทศ	38	ส	
เครื่องปั้นดินเผา	9	สมบัติด้านการเจริญของเชื้อรา	38
ช		สารกรองสารหนู	44
เชื้อรา	38	สารทำให้เป็นกลาง	38
ด		สารละลายเจือจาง	38
ดินขาว	44	สารละลายตัวแทนอาหาร	113
ดินแดง	9	ท	
ต		ห้องปฏิบัติการ	17, 73
ตะกั่ว	80	ห้องปฏิบัติการที่ยั่งยืน	73
ถ		ห้องปฏิบัติการสีเขียว	73
เถาขานอ้อย	65	ฮ	
		ไฮเพอร์ฟอร์แมนลิวติโครมาโทกราฟี	113

Keyword Index
Bulletin of Applied Sciences
Vol. 6 No. 6 August 2017

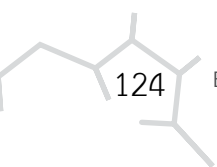
A		M	
Aluminium electric pan	51	Material quality	51
American old corrugated container	108	Measurement uncertainty	88
Antifungal activity	38	Melamine	113
Arsenic Filter	44	Mold	38
B		Mold fouling	58
Bagasse ash	65	N	
Boron	80	Natural frequency	24
C		Natural rubber	58, 80
Chemical industrial plant	17	Neutralizing agent	38
Compression strength	101	P	
Cordierite	65	Pelletized glass batch	97
Corrugated fiberboard box	101	Pottery	9
D		Praseodymium	32
Diluents	38	Proficiency test	101
Drinking water	88	R	
E		Radiation shielding	80
Electronic balance	24	Readability	24
F		Recycled pulp	108
Filter glass	32	Red clay	9
Food simulant	113	Reference material	88
G		Reference values	88
Glass melting	97	Released element	51
Granule	97	Rubber compound	58
Gravimetric method	113	S	
Green laboratories	73	Safety	17
H		Spice	38
High-performance liquid chromatography	113	Spice products	38
K		Sustainable laboratories	73
Kaolin	44	V	
Kiln shelf	65	Vibration	24
L		W	
Laboratory	17, 73	Water for Consumption	44
Lead	80		
Lens	32		
Light absorption	32		
Light weight body	9		
Local Old Corrugated Container	108		

ดรรชนีผู้แต่ง
วารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ปีที่ 6 ฉบับที่ 6 สิงหาคม 2560

ก		ย	
กนิษฐ์ ตะปะสา	32, 97	ยุทธนาพงศ์ แดงเพ็ง	108
กาจพันธ์ สุกุลแก้ว	58	ล	
ข		ลดา พันธุ์สุขุมธนา	9
ขวัญใจ สมบุญ	101, 108	ลัดดาวัลย์ เขียวดัด	73
จ		ว	
จรัญ ยะฝา	88	วนิดา แสงจันทร์	32
จิตตกานต์ อินทรีย์	24	วรรณดา ต.แสงจันทร์	9, 65
จิตวิไล เวฬุวนารักษ์	51	วีระชัย วาริยาตร์	24
จิรพรรณ โรมา	51	ศ	
จิระศักดิ์ ชัยสนิท	101	ศศิธร พลະบุญ	9
จุฑาทิพย์ ลาภวิบูลย์สุข	113	ศันศนีย์ รักไทยเจริญชีพ	9, 65
จุติภา บุญวิเศษ	65	ส	
ด		สมภพ ลาภวิบูลย์สุข	113
ดวงกมล เขาวนศรีหมุด	51, 73	สมโภชน์ บุญสนิท	24
น		สุทธินันท์ แต่บรรพกุล	88
นงลักษณ์ บรรยงวิมลณัฐ	44	สุทธิมา ศรีประเสริฐสุข	65
นิชาภา บัวสุวรรณ	80	สุพรรณิ เทพอรุณรัตน์	38
นุจรินทร์ พลหงษ์	51	สุรเดช พานเพ็ง	101, 108
เนตติกานต์ แก้วหอมดี	88	สุภาวดี เขียวขม	38
ป		อ	
ประเสริฐ แซ่จู่	58	อนันตณัฐ กันต์ธัญญรัตน์	73
ปวีณา เครือนิล	17, 73	อรสา อ่อนจันทร์	80
พ		อักรินทร์ ไพบูลย์พานิช	17, 73
พจมาน ท่าจีน	113	อังสนา ฉั่วสุวรรณ	44
พลับพลึง นาคเกิด	24	อาภาพร สินธุสาร	44
พิชญ์ญา บุตรขุนทอง	17	อุษณา เทียงมณี	88
ภ		อุสุมา นาคนิคาม	32
ภูวดี ตู๋จินดา	101, 108	เอกรัฐ มีชูวาศ	32, 97
ม			
เมธี ครองพงษ์	44		

Author Index
Bulletin of Applied Sciences
Vol. 6 No. 6 August 2017

A		O	
Akarin Paibulpanich	17, 73	Orasa Onjun	80
Anantanat Kantanyarat	73	P	
Apaporn Sinthusarn	44	Paweena Kreunin	17, 73
Aungsana Chuasuwan	44	Phlapphlueng Nakkead	24
C		Pitchaya Buthkhunthong	17
Charun Yafa	88	Pochaman Tagheen	113
D		Poovadee Tuchinda	101, 108
Duangkamol Chaosrimud	51, 73	Prasert Saeju	58
E		S	
Ekarat Meechoowas	32, 97	Sansanee Rugthaicharoencheep	9, 65
J		Sasithorn Pharaboon	9
Jierasak Chaisanit	101	Sompop Lapviboonsuk	113
Jirapan Roma	51	Sompote Boonsanit	24
Jittakant Intiang	24	Sulawadee Keawchom	38
Jitwilai Waluvararak	51	Supanee Theparoonrat	38
Jutathip Lapviboonsuk	113	Suradej Phanphang	101, 108
Jutipa Boonwiset	65	Sutthima Sriprasertsuk	65
K		Sutthinun Taebunpakul	88
Kanit Tapasa	32, 97	U	
Kartpan Sakulkaew	58	Usana Thiengmanee	88
Kwanjai Somboon	101, 108	Usuma Naknikham	32
L		W	
Lada Punsukumtana	9	Wanida Sangchan	32
Laddawan Yeadyad	73	Wanna T.sangchantara	9, 65
M		Weerachai Variyart	24
Mathee Krongpong	44	Y	
N		Yutthanapong Daengpeng	108
Nattikarn Kaewkhomdee	88		
Nichapa Buasuwan	80		
Nongluk Bunyovimonnat	44		
Nootjarin Phonhong	51		



กรมวิทยาศาสตร์บริการ

75/7 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท
เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

e-mail : bulletin@dss.go.th

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