



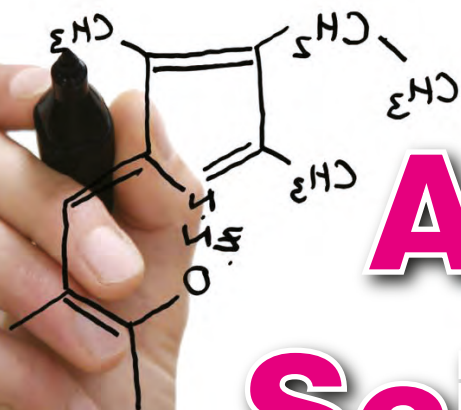
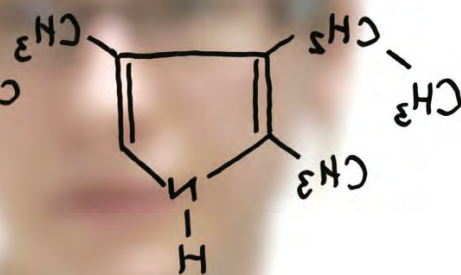
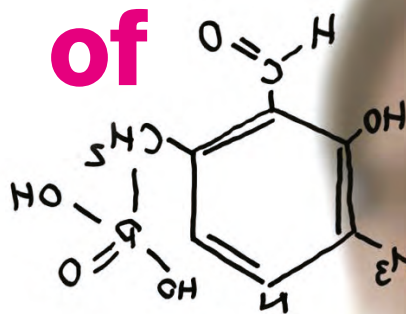
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 สิงหาคม 2557

Vol.3 No.3 August 2014

Bulletin of



Applied Sciences



วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
Bulletin of Applied Sciences

ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 สิงหาคม 2557

Vol. 3 No. 3 August 2014

ชื่อหนังสือ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ Bulletin of Applied Sciences

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นวารสารเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย ของนักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ ให้เป็นที่ประจักษ์แก่ภาคีรัฐ ภาคเอกชน นักวิชาการ ผู้ประกอบการและประชาชนทั่วไป
2. เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในทางวิชาการ การอ้างอิง และการประกอบกิจการภาคการผลิต และอุตสาหกรรม

เจ้าของ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษาด้านการบริหาร

นางสาวเสาวณี มุสิแดง

อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ

บรรณาธิการ

นางสุมาลี ทังพิทยกุล

รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกประจำฉบับ

รองศาสตราจารย์ ดร. จรัสศรี ลอประยูร

รองศาสตราจารย์ ดร. บุญส่ง คงคาทิพย์

รองศาสตราจารย์ ดร. พัทรี สุนทรนันท์

รองศาสตราจารย์ ดร. มงคล รายนาค

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อติยา ศิริภิญโญนันท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม ศรีหล่มสัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จงดี ธรรมเขต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุชาดา ไชยสวัสดิ์

ดร. นุชนาฏ ณ ระนอง

ดร. วันทนี พุกกะคุปต์

ดร. จรัญ ยะผา

นางสาวทิพวรรณ นิ่งน้อย

กองบรรณาธิการ

ดร. ลดา พันธุ์สุภมณฑา
ดร. จันท์เพ็ญ เมฆาอภิรักษ์
นางสาวนงนุช เมธิยนต์พิริยะ
ดร. เทพีวรรณ จิตรวัชรโกมล
นางดุขฎิ มั่นความดี
ดร. พจมาน ท่าจีน
ดร. สุภาพร ไคว่นฤมิตร
ดร.จิราภรณ์ บุราคร
นางวลัยพร ร่มรื่น

เลขานุการ

นางสาววิศรา แสงไฟโรจน์

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวจอย ผิวสะอาด
นางสาวพรทิพย์ เส้นสด

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

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

บทความใน “วารสารผลงานวิชาการของกรมวิทยาศาสตร์บริการ” ถือเป็นผลงานทางวิชาการ และเป็นความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่ใช่ความเห็นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือกองบรรณาธิการ ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน

พิมพ์ที่ : บริษัท วิสต้า อินเตอร์ปรีนท์ จำกัด 428/181 บลูลาภูน ถ.กาญจนาภิเษก แขวงดอกไม้ เขตประเวศ กรุงเทพฯ 10250

บรรณาธิการ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ Bulletin of Applied Sciences ฉบับนี้ เป็นฉบับที่ 3 โดยฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัย จำนวน 15 เรื่อง ที่มีความหลากหลายทางวิชาการ ซึ่งมุ่งหวังเพื่อช่วยส่งเสริมและสนับสนุนให้นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์กรมวิทยาศาสตร์บริการ เผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย ที่เป็นความรู้ใหม่ๆ ให้แก่นักวิชาการ ผู้ประกอบการ และผู้สนใจนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

กองบรรณาธิการ มีความตั้งใจที่จะพัฒนาคุณภาพวารสารอย่างต่อเนื่อง และใคร่ขอเชิญชวนให้ท่านผู้สนใจส่งบทความมาตีพิมพ์ที่วารสาร ผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ Bulletin of Applied Sciences ซึ่งบทความที่ได้รับการตีพิมพ์นั้นต้องผ่านการตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะศาสตร์ เพื่อให้ท่านผู้อ่านมั่นใจในมาตรฐานและคุณภาพของวารสาร โดยท่านสามารถส่งต้นฉบับตามคำแนะนำที่อยู่ท้ายเล่มวารสาร

สุมาลี ทังพิทยกุล
บรรณาธิการ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
Bulletin of Applied Sciences
ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 สิงหาคม 2557 ISSN 2286-7708

| สารบัญ |

การสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากเถ้าขาน้อย วรรณดา ต.แสงจันทร์ ปราวณี จันทร์ลา ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ และสุทธิมา ศรีประเสริฐสุข	9
การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการหดตัวเมื่อเผา ของอุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิแบบวงกลม ลดดา พันธุ์สุขุมธนา จันทรัตน์ วรสรรพวิทย์ ศิริวรรณ แซ่กู่ และฉัตรชัย บาลศรี	15
การศึกษาความทนทานต่อสารละลายของผิวแก้วภายในของขวดแก้วสำหรับเครื่องต้มบำรุงกำลัง อุสุมา นาคนิคม ไสรดา ชุนโชน และเทพีวรรณ จิตวัชรโกมล	24
การพัฒนาวิธีทดสอบตะกั่วในโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วโดยเทคนิคอินดักทีฟลีดเพิล พลาสมาออฟติคอลอิมิสชันสเปกโทรเมตรี วันดี ลือสายวงศ์ และ จิตวิไล เวฬุณารักษ์	32
การเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนการวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำ ที่ได้จากการประมาณ ค่าตามแนวทาง ISO/GUM และแนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี นิระนารถ แจ่มทอง	39
การสำรวจเบื้องต้น: ปัญหาของคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภคชุมชน สุภาพร ไคว่นฤมิตร อังสนา จั้วสุวรรณ พิษณุภา ราชธรรมมา อังคิรา พูลเกษม และ อรุณ คงแก้ว	49
การประเมินปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มในแหล่งน้ำผิวดิน เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เทพวิฑูรย์ ทองศรี สุรัตน์ เพชรเกษม และ กัญญา ม่วงแก้ว	59
การหาปริมาณสารในกลุ่ม PBBs และPBDEs ในชิ้นส่วนพลาสติก ของเครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ตามระเบียบ RoHS โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโทรเมตรี มานพ สิทธิเดช และ ณฐมนต์ ปัญญวัฒน์	68

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
Bulletin of Applied Sciences
ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 สิงหาคม 2557 ISSN 2286-7708

| สารบัญ |

การสำรวจเบื้องต้น: ปริมาณไขมันทรานส์ในอาหารทอด ขนมอบ ไขมันและน้ำมันสำหรับบริโภค นมและผลิตภัณฑ์นม กมลกาญจน์ จิณกาญจน์ บังอร บุญชู และ วิภาวรรณ ศรีมุข	80
การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดว่านน้ำในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคผลเน่าที่แยกได้จากผลลิ้นจี่ สุวรรณี แทนธานี จารวี สุขประเสริฐ สายจิต ดาวสุโข และ โสธญา รอดประเสริฐ	88
นวัตกรรมหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตจากยางธรรมชาติ ภัณฑิลา ภูมิระเปียบ และ อรสา อ่อนจันทร์	102
แนวทางแก้ไขการเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนทดสอบความต้านทานแรงดึงของวัสดุเทอร์โมพลาสติก ที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปโดยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง จริยาวิดี ศิริจันทร์	114
การศึกษานำร่องสถานภาพด้านความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ปวีณา เครือนิล สมบัติ คงวิทยา และ ณัฐกานต์ เกตุคุ้ม	120
ค่าความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรเนื่องจากปัจจัยของ ความแปรปรวนของแรงดึงผิวระหว่างของเหลวและแก้ว พจมาน ทำจิ้น	130
การเตรียมตัวอย่างสำหรับกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการของรายการโลหะหนักในน้ำ รัชดา เหมปฐวี และ วรณี อุโพบูรณ์	136

| CONTENTS |

Synthesis of cordierite from bagasse ash

Wanna T.saengchantara, Pranee Junlar , Sansanee Rugthaicharoencheep and
Sutthima Sriprasertsuk _____ 9

A comparative study of the firing shrinkage properties of the process temperature
control rings

Lada Punsukmtana , Chantarat Vorasapavit , Siriwan Saephoo and Chatchai Balsri _____ 15

The studies of hydrolytic resistance of inner surfaces of glass containers for energy drinks

Usuma Naknikham , Sorada Khunhon and Tepiwan Jitwatcharakomol _____ 24

Development of test method for determination of lead in lead-free solder using inductively
coupled plasma optical emission spectrometry

Wandee Luesaiwong and Jitwilai Waluvanaruk _____ 32

Comparison of measurement uncertainty between ISO/GUM and method validation
approach of mercury measurement in drinking water sample

Neeranart Chaengthong _____ 39

A preliminary survey : Problems of physical and chemical properties of community consumption
water quality

Supaporn Kownarumit , Aungsana Chuasuwan , Phitchayapa Ratchathumma Angwara Poolkasem and
Arun Kongkaew _____ 49

An assessment of coliform and fecal coliform bacteria levels in surface water resources of
Bangkok and vicinity area

Tepwitoon Thongsri , Surat Petchkasem and Kanya Muangkaew _____ 59

| CONTENTS |

Quantitative analysis of PBBs and PBDEs in plastic parts of electrical and electronics equipment according to RoHS regulation by gas chromatography/mass spectrometry Manop Sittidech and Nathalamon Panyawathanakit _____	68
A preliminary survey : Trans fat in fried food, bakery, edible fat and oil products and milk and milk products Kamolgan Jingan, Bangorn Boonshu and Wipawan Srimus _____	80
The study on efficiency of Acorus calamus L. extract against fruit rot fungi isolated from lychee Suwannee Thaenthanee , Jaravee Sukprasert , Saijit Daosukho and Soraya Rodprasert _____	88
Innovation of rubber cap for covering concrete block from natural rubber Pantila Poomrabeab and Orasa Onjun _____	102
Troubleshooting of defect formation in injection-moulded thermoplastic tensile specimens by optical microscopy technique Jariyavadee Sirichantra _____	114
Pilot study of laboratory safety status for laboratory workers Paweena Kreunin , Sombat Kongwithtaya and Natthakarn Ketkoom _____	120
Evaluation of measurement uncertainty for volumetric glassware calibration from the variation of surface tension between liquid and glass Pochaman Tagheen _____	130
Sample preparation for laboratory proficiency testing of heavy metals in water Rachada Hemapattawee and Wannee Aupaiboon _____	136

การสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากเถ้าขานอ้อย Synthesis of cordierite from bagasse ash

วรรณนา ต.แสงจันทร์¹, ปราณี จันทร์ลา¹, ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ¹
และสุทธิมา ศรีประเสริฐสุข¹

Wanna T.saengchantara¹, Pranee Junlar¹, Sansanee Rugthaicharoencheep¹,
and Sutthima Sriprasertsuk¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากเถ้าขานอ้อย คำนวณสูตรส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองจากตารางสามเหลี่ยมโดยแปรเปลี่ยนปริมาณ MgO ระหว่างร้อยละ 9-14 Al_2O_3 ระหว่างร้อยละ 30-38 และ SiO_2 ระหว่างร้อยละ 47-55 คำนวณเป็นสูตรวัตถุดิบโดยใช้เถ้าขานอ้อย แมกนีไซต์ ดินขาว และอะลูมินา นำไปเผาสังเคราะห์ให้เกิดคอร์เดียไรต์ที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 °C ตรวจสอบเฟสที่ได้หลังเผา โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์(XRD) จากนั้นคัดเลือกสูตรส่วนผสมที่มีคอร์เดียไรต์เกิดขึ้นปริมาณสูงสุด นำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ และเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C ศึกษาสมบัติทางกายภาพหลังเผา ได้แก่ การหดตัว การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ความแข็งแรง (Modulus of rupture) และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (Coefficient of thermal expansion) ผลการศึกษาทดลอง พบว่าสูตรส่วนผสมที่มี คอร์เดียไรต์ เกิดขึ้นปริมาณสูงสุด หลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C มีสมบัติทางกายภาพดังนี้ การหดตัว (Shrinkage) ร้อยละ 8.6 การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ร้อยละ 8.4 ความหนาแน่น (Bulk density) 2.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความแข็งแรง 48.9 เมกะพาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน $3.53 \times 10^{-6} / ^\circ C$

Abstract

This research presents the results of a cordierite synthesis from bagasse ash. The formulas were calculated using a tri-axial table by varying the amount of MgO , Al_2O_3 , and SiO_2 in the range of 9-17%, 30-38%, and 47-55%, respectively. The selected raw materials were mixed using bagasse ash, magnesite, kaolin, and alumina and fired at 1250 and 1300 °C to form a cordierite phase. The structures were analyzed using powder X-ray diffraction (XRD) method. A formula with the highest cordierite phase was selected to form samples and then fired at 1300 °C. The physical properties, i.e., firing shrinkage, water absorption, bulk density, modulus of rupture (MOR), and coefficient of thermal expansion (COE) were studied. The samples yielded firing shrinkage of 8.6%, water absorption of 8.4%, bulk density of 2.09 g/cm³, MOR of 48.9 MPa, and COE of $3.53 \times 10^{-6} / ^\circ C$. experimental body fired at 1200 °C was found its ability to absorb the liquid at a certain level and to release the fragrance.

คำสำคัญ : เถ้าขานอ้อย, คอร์เดียไรต์, วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม

Keywords : Bagasse Ash, Cordierite, Industrial Waste

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

คอร์เดียไรต์เป็นสารประกอบของแมกนีเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกต มีสูตรเคมี คือ $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ เป็นแร่ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ พบได้น้อยมาก แต่สามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบที่มีแมกนีเซียออกไซด์ (MgO) อะลูมินา (Al_2O_3) และ ซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบ เช่น แมกนีไซต์ (MgCO_3) ทัลค์ ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ดิน ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และอะลูมินา (Al_2O_3) โดยต้องเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1400°C เพื่อให้เกิดเป็นคอร์เดียไรต์ แต่หากมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของวัตถุดิบธรรมชาติบางชนิด ก็จะสามารถสังเคราะห์คอร์เดียไรต์ที่อุณหภูมิประมาณ $1200\text{--}1300^\circ\text{C}$ ได้ เนื่องจากในวัตถุดิบธรรมชาติมักมีสิ่งเจือปนซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น(1) คอร์เดียไรต์เป็นสารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ คือ อยู่ระหว่าง $1.5\text{--}4.0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ (2) ทำให้มีสมบัติทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดี จึงนิยมนำคอร์เดียไรต์ไปใช้งานในสภาวะที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่เสมอ เช่น อุปกรณ์ในเตาเผา ตัวกรองไอเสียในรถยนต์ และแผงวงจรไฟฟ้า เป็นต้น(3)

เถ้าขานอ้อยเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเผาไหม้ของขานอ้อยที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งในแต่ละปีมีเถ้าเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยมีจำนวนประมาณ 596,000 ตันต่อปี ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไปในอนาคต ปัจจุบันมีการนำเถ้าขานอ้อยไปใช้ประโยชน์เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่ได้จากอุตสาหกรรมน้ำตาล โดยนำไปผสมคอนกรีตใช้ในงานก่อสร้าง จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขานอ้อยเบื้องต้นโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ พบว่าเถ้าขานอ้อยมี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนั้นมี Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , P_2O_5 และ Na_2O ตามลำดับ

การศึกษาทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากเถ้าขานอ้อย โดยนำเถ้าขานอ้อยมาผสมกับแมกนีไซต์

ดินขาว และอะลูมินา เพื่อนำไปใช้งานในสภาวะที่ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน เช่น อุปกรณ์ในเตาเผา เป็นต้น งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

2. วิธีการทดลอง (Experimental)

ทำการคัดเลือกวัตถุดิบที่นำมาใช้ วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบโดยใช้เทคนิค WD-XRF จากนั้นคำนวณส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง เตรียมส่วนผสมและนำไปเผาสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300°C ทดสอบเฟสที่เกิดขึ้น ทำการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมทดลองขึ้นรูปเป็นแท่งทดสอบ นำไปเผานึ่งที่อุณหภูมิ 1300°C และ ทดสอบสมบัติทางกายภาพทางความร้อน และ ค่าความแข็งแรง

2.1 วัตถุดิบที่ใช้

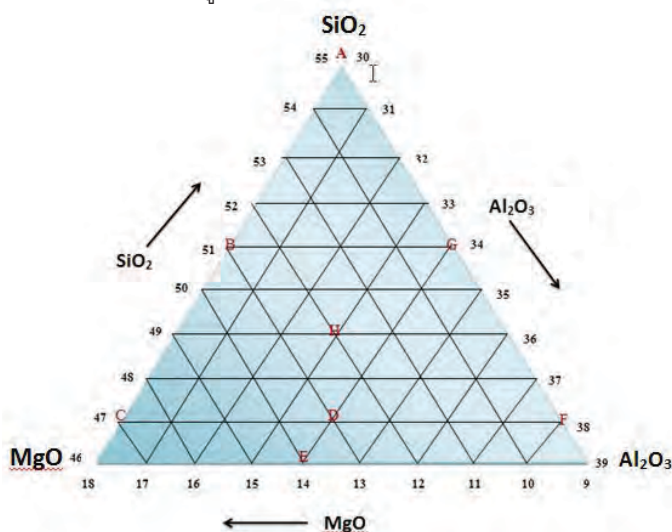
- เถ้าขานอ้อย (Bagasse Ash) จากบริษัท เกษตรไทยอุตสาหกรรมน้ำตาล จำกัด
- แมกนีไซต์ (MgCO_3) จากบริษัท เซอร์นิคอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
- ดินขาว (Kaolin) ชนิด cerafast จากบริษัท อินดัสเตรียลมีนเนอรัลดีเวลอปเมนต์ จำกัด
- อะลูมินา (Al_2O_3) ชนิด A31 จากบริษัท ไนโซ จำกัด องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง แสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

Composition (%)	Bagasse ash	Magnesite	Kaolin	Al ₂ O ₃
SiO ₂	71.12	-	47.2	0.02
Na ₂ O	0.43	-	0.4	0.30
MgO	1.58	41.88	0.06	-
Al ₂ O ₃	8.96	0.05	37.3	99.6
P ₂ O ₅	1.06	-	0.06	-
SO ₃	0.28	-	-	-
K ₂ O	2.61	-	1.7	-
CaO	7.81	0.55	0.1	-
TiO ₂	0.67	-	-	-
MnO	0.26	-	-	-
Fe ₂ O ₃	4.73	0.05	1.0	0.02
ZrO ₂	0.05	-	-	-
BaO	0.03	-	-	-
L.O.I.	0.43	54.81	13.0	0.10

2.2 คำนวณส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนผสมของคอร์เดียไรต์ที่ใช้ในการทดลอง คำนวณโดยใช้ตารางสามเหลี่ยม กำหนดให้ MgO มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 9-17, Al₂O₃ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 30-38 และ SiO₂ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 47-55 (4) แสดงดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตารางสามเหลี่ยมที่ใช้กำหนดส่วนผสมในการทดลอง

กำหนดจุดที่ใช้ในการทดลอง คือ A B C D E F G และ H ตามลำดับ โดยแต่ละจุดมีปริมาณร้อยละของ MgO Al₂O₃ และ SiO₂ แสดงในตารางที่ 2 และแทนที่ MgO Al₂O₃ และ SiO₂ ในแต่ละจุดด้วยวัตถุดิบ ได้แก่ เถ้าลอย แมกนีไซต์ ดินขาว และอะลูมินา แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณร้อยละของ MgO Al₂O₃ และ SiO₂ ที่ใช้ในการทดลอง

Sample	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
A	9	30	55
B	13	30	51
C	17	30	47
D	13	34	47
E	14	34	46
F	9	38	47
G	9	34	51
H	12	33	49

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

Sample	Bagasse ash	Magnesite	Kaolin	Alumina
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 วิธีทดลองสังเคราะห์คอร์เดียไรต์เบื้องต้น

นำเถ้าขาน้อยอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วร่อนเถ้าขาน้อยผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช จากนั้นผสมวัตถุดิบตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 3 บดส่วนผสมด้วยโม่ไฟฟ้าเป็นเวลา 30 นาที นำส่วนผสมใส่บ่ออะลูมินา และเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 °C อัตราเร่งไฟ 2.5 °C ต่อ นาที ยืนไฟ 60 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์เฟสที่ได้

2.4 วิธีเตรียมชิ้นทดสอบ

คัดเลือกสูตรส่วนผสมที่เหมาะสม คือ สูตรที่เกิดคอร์เดียไรต์สูงสุดและไม่มีควอตซ์เกิดขึ้น ทำเป็นเม็ดแกรนูลโดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช อัดขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบในแบบพิมพ์โลหะขนาด 30 มม.×60 มม.×10 มม. ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยใช้แรงอัด 180 กก.ต่อซม.² แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C ด้วยอัตราเร่งไฟ 2.5 °C ต่อนาที ยืนไฟ 60 นาที

2.5 การทดสอบสมบัติหลังเผา

นำตัวอย่างที่ผ่านการเผาแล้วมาวิเคราะห์ทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

2.5.1 วิเคราะห์เฟส โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8-Advance มี Cu เป็นตัวกำเนิดรังสี และ Ni เป็น filter โดยมีค่า 2θ ตั้งแต่ 5 ถึง 80 องศา ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 °C โดยบดส่วนผสมให้เป็นผงละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

2.5.2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การหดตัว การดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่น โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 373-88 (Reapproved 2006) ใช้ชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผานี้ที่อุณหภูมิ 1300 °C

2.5.3 ทดสอบสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนโดยใช้เครื่องไดลาโตมิเตอร์ (Dilatometer) ยี่ห้อ Netzsch รุ่น DIL 402 ใช้ชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผานี้ที่อุณหภูมิ 1300 °C นำมาตัดให้มีขนาด 0.5 มม.×40 มม.×0.5 มม. (กว้าง × ยาว × หนา)

2.5.4 ทดสอบค่าความแข็งแรง โดยใช้เครื่อง universal testing ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น Autograph AG-X plus ใช้ชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผานี้ที่อุณหภูมิ 1300 °C

2.6 การทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

คัดเลือกสูตรเนื้อคอร์เดียไรต์ที่มีคอร์เดียไรต์เกิดมากที่สุดโดยดูจากผลวิเคราะห์ส่วนผสมทางแร่วิทยา และมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำไปทดลองทำผลิตภัณฑ์แผ่นรองเผาขนาด 100 มม.×100 มม.×10 มม. (กว้าง×ยาว×หนา) โดยเครื่อง

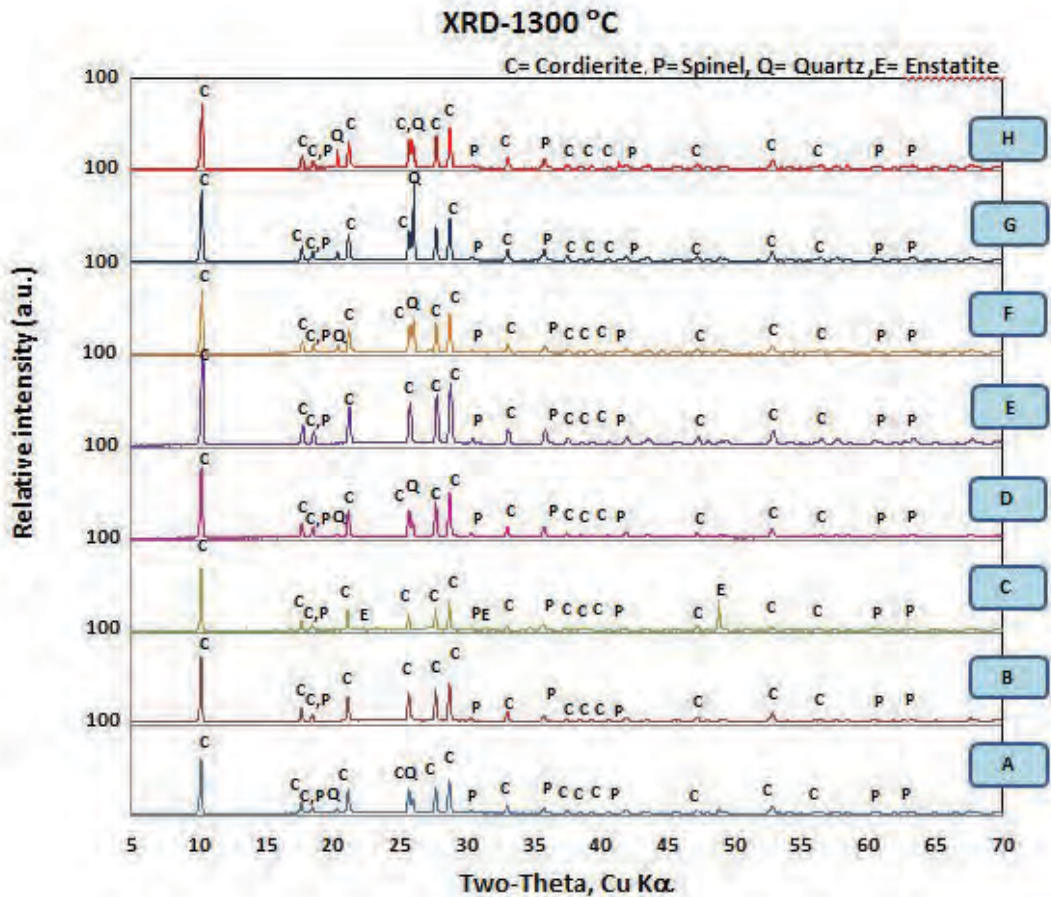
อัด Friction press เผาที่อุณหภูมิ 1300 °C อัตราเร่งไฟ 2.5 °C ต่อนาที ยืนไฟ 60 นาที

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล (Results and Discussion)

3.1 ผลการทดลองสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากส่วนผสมของเถ้าขานอ้อย แมกนีไซต์ ดินขาว และอะลูมินา เผาที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 °C เมื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เฟสโดย XRD พบว่า ที่อุณหภูมิ 1250 °C ทุกสูตรสามารถเกิดคอร์เดียไรต์โดยมีสปีเนล และควอตซ์เกิดขึ้นปนมาทุกสูตร ยกเว้นสูตร E และเมื่อเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1300 °C มีเพียงสูตร B และ E เท่านั้นที่ไม่มีควอตซ์เกิดขึ้น นอกจากนั้นสูตร C ยังมีเฟสของ Enstatite ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) เกิดขึ้น ทั้งที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 °C เนื่องจากสูตร C มีปริมาณ MgO สูงถึงร้อยละ 17 ซึ่ง MgO ที่มาจากแมกนีไซต์ และเถ้าขานอ้อย สามารถทำปฏิกิริยากับ SiO_2 กลายเป็น $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ได้ (5)

คัดเลือกสูตร B และ E ขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ เพื่อศึกษาสมบัติหลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C เนื่องจากทั้งสองสูตรไม่มีควอตซ์ปนมาหลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C เพราะการมีควอตซ์ในส่วนผสมจะทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกร้าวเสียหายเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน เนื่องจากควอตซ์จะเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างไปมาระหว่าง Low Quartz และ High Quartz ที่อุณหภูมิ 573 °C ทำให้มีการขยายปริมาตรเพิ่มขึ้น (6)

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ค่าความแข็งแรง และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของชิ้นทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C แสดงใน ตารางที่ 4 พบว่า สูตร B มีการหดตัว และความหนาแน่น มากกว่าสูตร E และการดูดซึมน้ำต่ำกว่า อาจเป็นเพราะ สูตร B มีการสุกตัวมากกว่า เนื่องจากส่วนผสมมีปริมาณเถ้าขานอ้อยมากกว่า ซึ่งในเถ้าขานอ้อยมีปริมาณค่าที่เป็นมลทินปนมาในปริมาณสูงทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ และสูตร E มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน ต่ำกว่าสูตร B อาจเนื่อง



รูปที่ 2 XRD patterns ของสูตร A - H เเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C

มาจากสูตร E มีคอร์เดียไรต์เกิดขึ้นมากกว่า และมีความพรุนตัวมากกว่า วัสดุที่มีความพรุนตัวมากกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่า (7)

ตารางที่ 4 สมบัติของสูตร B และสูตร E เเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C

Properties	Formula B	Formula E
Shrinkage,%	10.2	8.6
Water absorption,%	6.1	8.4
Bulk density,g/cm ³	2.12	2.09
Modulus of rupture, MPa	35	49
Coefficient of thermal expansion (25x900 °C), x10 ⁻⁶ /°C	3.89	3.53

3.2 ผลการทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ โดยคัดเลือกสูตรที่เกิดคอร์เดียไรต์สูงสุด คือ สูตร E มีส่วนผสมของเถ้าขาน้อยร้อยละ 38 แมกนีไซต์ร้อยละ 23 ดินขาวร้อยละ 24 และอะลูมินาร้อยละ 15 มาทดลองอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นรองเผา เเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C อัตราเร่งไฟ 2.5 °C ต่อนาที ยืนไฟ 60 นาที ผลิตภัณฑ์หลังเผาไม่เกิดการบิดเบี้ยว สามารถนำไปใช้เป็นแผ่นรองเผา แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผ่นรองเผาคอร์เดียไรต์เผาที่อุณหภูมิ 1300 °C

4. สรุป (Conclusion)

เก้าชานอ้อยสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์ได้ โดยนำมาผสมกับแมกนีไซต์ดินขาว และอะลูมินา ส่วนผสมที่ทำให้เกิดคอร์เดียไรต์สูงสุด คือ เก้าชานอ้อยร้อยละ 38 แมกนีไซต์ร้อยละ 23 ดินขาวร้อยละ 24 และอะลูมินาร้อยละ 15 เสาสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 1300 °C และขึ้นทดสอบมีการหดตัว (Shrinkage) ร้อยละ 8.6 การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ร้อยละ 8.4 ความหนาแน่น (Bulk density) 2.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความแข็งแรง 49 เมกะพาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน $3.53 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ สามารถนำไปทำอุปกรณ์ในเตาเผา เช่น แผ่นรองเผา เตาอุณหภูมิ 1300 °C ได้

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและเจ้าหน้าที่ สำนักเทคโนโลยีชุมชนทุกท่านที่ช่วยสนับสนุน การทำกิจกรรมวิจัย ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้ว โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบองค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบ และการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) SINGER, F. and Sonia S. SINGER. Industrial Ceramics, London : Chapman and Hall, 1979, pp. 482-487
- (2) EPPLER, Richard, A. and Douglas R. EPPLER, Glazes and Glass Coating, Westerville, USA : The American ceramic society, 1998, pp. 25-29
- (3) Low thermal expansion modified cordierite, US. Patent 4,403,017, Sep 6, 1983.
- (4) LEVIN, E.M, C.R. ROBBINS and H.F. MCMURDIE. Phase Diagrams for Ceramists, Ohio, USA : The American Ceramic Society, 1964, p. 246

(5) NORTON, F. Fine Ceramics: Technology and Applications, New York : McGraw-Hill, 1970, p. 273

(6) KINGERY, W.D. et.al. Introduction to Ceramics, 2nd edition, Singapore : John Wiley & Son, 1991, p.87

(7) SHUI, Z.H. et.al. Effect of porosity on the thermal expansion coefficient, Constr. Build. Mater. 24(9), 2010, pp. 1761-1767.

การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการหดตัวเมื่อเผา ของอุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิแบบวงกลม

A comparative study of the firing shrinkage properties of the process temperature control rings

ลดา พันธุ์สุนทรา¹, จันทรัตน์ วรสรรพวิทย¹, ศิริวรรณ แซ่ภู¹, ฉัตรชัย บาลศรี¹
Lada Punsukmtana¹, Chantararat Vorasapavit¹, Siriwan Saephoo¹, Chatchai Balsri¹
Wanna T.sangchantara¹, Pranee Junlar¹, Sansanee Rugthaicharoencheep¹,
and Sutthima Sriprasertsuk¹

บทคัดย่อ

อุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิแบบวงกลมได้พัฒนาจากสูตรที่ประกอบด้วย ทาลค์ม แมกนีเซียมคาร์บอเนต แบเรียมคาร์บอเนต เหล็กออกไซด์ ดินขาว และควอตซ์ เป็นองค์ประกอบ ขึ้นรูปอุปกรณ์ด้วยวิธีอัดแห้งให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. ความหนาแน่น 1.8 กรัม/ลบ.ซม. ตัวอย่างมีสมบัติการหดตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 960 °C, 1100 °C, 1140 °C และ 1200 °C อยู่ในช่วงร้อยละ 2.21-9.98 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00-0.06 งานวิจัยนี้ได้ใช้สถิติในการประมวลผลสมบัติของอุปกรณ์ที่พัฒนาเมื่อเผา พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีผลให้การหดตัวเมื่อเผาเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหดตัวเมื่อเผา งานวิจัยนี้ยังได้แสดงข้อมูลเปรียบเทียบสมบัติของอุปกรณ์ที่พัฒนามากับอุปกรณ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด ในค่าเฉลี่ยของการหดตัวเมื่อเผา ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหดตัวเมื่อเผา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการหดตัวเมื่อเผากับระดับอุณหภูมิ

Abstract

A process temperature control ring was developed from talc, magnesium carbonate, barium carbonate, iron oxide, kaolin, and quartz. The ring is formed by dry pressing method into a 2.5 cm diameter ring with the density 1.8 g/cm³. The ring had the firing shrinkage after fired at 960 °C, 1100 °C, 1140 °C, and 1200 °C varied in the range 2.21-9.98 % with the standard deviation varied in the range 0.00-0.06. In this study, the properties of the ring were statistical analyzed. It was found that an increasing temperature resulted in an increasing firing shrinkage but had no effect on the standard deviation values. The study also presented the comparative properties of the ring with the one available in the market in terms of the average firing shrinkage, the standard deviation and the change of the shrinkage with temperature.

คำสำคัญ : เซรามิก, เตาเผา, อุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิ

Keywords : Ceramic, Kiln, Process Temperature Control Rings

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

การเผาเป็นกระบวนการสุดท้ายของกระบวนการผลิตที่มีผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีคุณภาพหรือเสียหายได้ การเผาเซรามิกใช้อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 1200 องศาเซลเซียส มีการใช้เชื้อเพลิงประเภทต่างๆ เช่น ไม้ ไฟฟ้า แก๊ส ถ่านหิน เป็นต้น กระบวนการนี้จึงมีต้นทุนสูง และเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ ต้องมีการควบคุม อุณหภูมิ เวลา และบรรยากาศ ให้ผลิตภัณฑ์ที่เผาได้รับ heat work และบรรยากาศที่เหมาะสม ทำให้เนื้อดินและเคลือบสุกตัว เกิดความแข็งแรงและสวยงาม heat work เป็นผลของทั้งอุณหภูมิและเวลา การตรวจสอบระดับและความสม่ำเสมอของ heat work ที่เกิดภายในเตาเผาจึงเป็นสิ่งจำเป็น ปัจจุบันมีการใช้ Thermocouple ควบคู่กับอุปกรณ์ตรวจสอบซึ่งมีหลายประเภท และล้วนเป็นอุปกรณ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีอายุการใช้งาน 1 ครั้งต่อการเผาแต่ละครั้ง(1)

การใช้ Thermocouple ตรวจสอบการเผาเป็นการวัดอุณหภูมิ ไม่ได้วัด heat work ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ส่วนการใช้อุปกรณ์ประเภท pyrometric device จะสามารถตรวจสอบ heat work โดยใช้หลักการของการหดตัวหรือการเสียรูปเมื่อเกิดการสุกตัวของอุปกรณ์หลังเผา ระดับของการหดตัวหรือการสุกตัวของอุปกรณ์จะขึ้นกับระดับของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผารายงานผลเป็น temperature equivalent มีหลายประเภท ได้แก่ ring bar และ cone โดยอุปกรณ์ที่มี

ลักษณะเป็นวงกลมหรือวงแหวน ที่มีในท้องตลาดได้แก่ Bullers Rings(2-3), PTCR Rings(4), TempCHEKs(5) เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้ใช้สมบัติการหดตัวเมื่อเผาในการแปลผล มีเกรดต่างๆเพื่อให้สามารถตรวจสอบอุณหภูมิระดับต่างๆได้

งานวิจัยนี้ได้นำอุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิแบบวงกลมที่มีลักษณะแบน ที่ใช้สมบัติการหดตัวเมื่อเผาในการตรวจสอบ heat work ที่พัฒนาโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ(6) มาตรวจสอบสมบัติการหดตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับอุปกรณ์นำเข้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อพิสูจน์ศักยภาพในการนำมาใช้ในการตรวจสอบ heat work ในเตาเผาของกระบวนการผลิตเซรามิก

2. วิธีการวิจัย(Experimental)

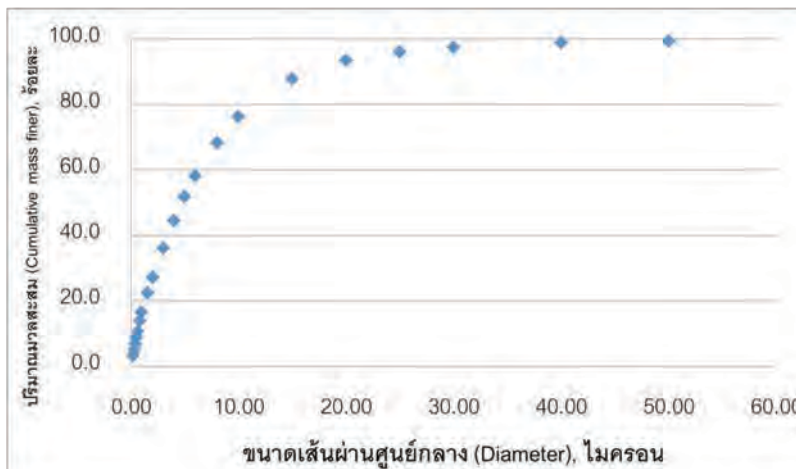
2.1. การผลิตอุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิแบบวงกลม

2.1.1. วัตถุดิบและสูตรส่วนผสมวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ฯได้แก่ ทัลคัม แมกนีเซียมคาร์บอเนต และแบเรียมคาร์บอเนต จากบริษัท ล็อกซ์เลย์ จำกัด เหล็กออกไซด์จากบริษัท ปะการัง เซรามิค ชัพพลาย จำกัด ดินขาวระนองเกรด cerafast และซิลิกาเกรดบริสุทธิ์ร้อยละ 99 (Pure 99 %) จากบริษัท อินดัสเตรียล มินเนอรัล ดิวิชั่นแมนท์ จำกัด องค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 1 และส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมอุปกรณ์ฯ (ตัวอย่าง S)แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 องค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบ และส่วนผสมของตัวอย่าง S

ร้อยละ	วัตถุดิบ	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	BaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	LOI
32.8	ทัลคัม	0.26	0.0	0.0	0.0	0.46	34.5	0.0	60.1	0.33	0.0
30.0	แมกนีเซียมคาร์บอเนต	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	42.9	0.0	0.0	0.0	54.9
3.0	แบเรียมคาร์บอเนต	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	99.0	0.0	0.0	0.7
3.0	ดินขาว	1.0	0.0	0.4	1.7	0.1	0.06	0.0	47.2	37.3	13.0
30.3	ซิลิกา	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	99.2	0.2	0.2
0.9	เหล็กออกไซด์	87.7	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.0	2.8	4.3	0.0

2.1.2. วิธีการเตรียมแกรนูลและการอัดขึ้นรูป
 บดส่วนผสมของวัตถุดิบปริมาณ 3 กิโลกรัม ที่ผสมน้ำในอัตราส่วน 45:55 ในหม้อบดขนาด 5 กิโลกรัมเป็นเวลา 8 ชั่วโมง โดยเติม STPP ร้อยละ 3 เป็นสารช่วยลอยกระจายตัว วัตถุดิบหลังบดมีการกระจายขนาดอนุภาคดังรูปที่ 1 และมีขนาดมัธยฐานที่ 4.76 ไมครอน เตรียมสลิปปริมาณ 60 กก. ผสมในเครื่องกวนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และใช้ Darvan ปรับความหนืดของสลิปให้ได้ถ.พ. 1.80 กรัม/ลบ.ซม. ความหนืด 45 cps ก่อนนำสลิปที่ได้มาเตรียมแกรนูลด้วยเครื่องเตรียมผงพ่นแห้ง(Okawara รุ่น FL-12 ประเทศญี่ปุ่น) ที่สภาวะ rotational speed 50 เฮิร์ตซ์ และ feed rate 50 รอบต่อนาที เตรียมให้ได้แกรนูลปริมาณ 40 กก. ได้แกรนูลทรงกลมดังรูปที่ 2 นำแกรนูลที่ได้มาขึ้นรูปโดยการอัดในเครื่องอัดไฮดรอลิคด้วยมือ ใช้แบบโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. น้ำหนักตัวอย่าง 4.48 กรัม แรงอัด 2100 psi ควบคุมอุณหภูมิที่ขึ้นรูปให้มีความหนาแน่น 1.80 ± 0.03 กรัม/ลบ.ซม.



รูปที่ 1 การกระจายขนาดอนุภาคของตัวอย่าง S

2.2. การเปรียบเทียบสมบัติการหดตัวเมื่อเผาของอุปกรณ์ที่พัฒนาและอุปกรณ์ที่มีในท้องตลาด
 สุ่มอุปกรณ์นำเข้าจากต่างประเทศที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมา 2 ตัวอย่าง ตัวอย่าง A มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มม. และตัวอย่าง B มีขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลางประมาณ 60 มม. ทดสอบสมบัติการหดตัวเมื่อเผา เปรียบเทียบผลระหว่างอุปกรณ์ที่จำหน่ายในท้องตลาดกับอุปกรณ์ที่พัฒนา ที่อุณหภูมิการเผา 960 °C 1100 °C 1140 °C และ 1200 °C ใช้สถิติในการประมวลผลเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดังกล่าวระหว่างตัวอย่าง A B และ S กับระดับอุณหภูมิการเผา

2.3. การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้สถิติ

2.3.1. ทดสอบระดับของอุณหภูมิมีผลต่อการหดตัวเมื่อเผาของตัวอย่างหรือไม่โดยใช้ One way ANOVA หากค่า F คำนวณ (F) มีค่ามากกว่าค่าวิกฤต F (F critical) แสดงว่าระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่อร้อยละการหดตัวเมื่อเผาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3.2. ทดสอบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหดตัวเมื่อเผาของตัวอย่าง A B และ S ขึ้นกับระดับอุณหภูมิการเผาที่เปลี่ยนแปลงหรือไม่ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหดตัวเมื่อเผากับระดับอุณหภูมิการเผาพิจารณาจากความ



รูปที่ 2 แกรนูลสำหรับอัด

สัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) หากค่า significance F มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่ขึ้นกับอุณหภูมิการเผาที่เปลี่ยนแปลงไปในรูปเชิงเส้น

2.3.3 ทดสอบความส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การหดตัวเมื่อเผาของตัวอย่าง A B และ S แตกต่างกันหรือไม่ ตัวอย่างใดมีค่าต่ำสุด โดยเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือค่าความแปรปรวนของการหดตัวเมื่อเผาระหว่างตัวอย่าง A และ B ระหว่างตัวอย่าง A และ S ระหว่างตัวอย่าง B และ S ด้วย F-test เมื่อ F คำนวน (F) มีค่ามากกว่าค่าวิกฤต F (F critical) แสดงว่าความแปรปรวนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3.4 ทดสอบค่าเฉลี่ยของการหดตัวเมื่อเผาของตัวอย่าง A B และ S ในแต่ละระดับอุณหภูมิแตกต่างกันหรือไม่ ตัวอย่างใดมีค่าสูงสุด โดยใช้ One way ANOVA หากค่า F คำนวน (F) มีค่ามากกว่าค่าวิกฤต F (F critical) แสดงว่าชนิดของตัวอย่างที่แตกต่างกันมีผลต่อร้อยละการหดตัวเมื่อเผาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการหดตัวเมื่อเผาระหว่างตัวอย่าง A และ B ระหว่างตัวอย่าง A และ S ระหว่างตัวอย่าง B และ S ด้วย t-test เมื่อค่า t คำนวน (t) มีค่ามากกว่าค่า t วิกฤต (t critical) แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

2.3.5 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าการหดตัวเมื่อเผากับระดับอุณหภูมิของแต่ละตัวอย่าง ตัวอย่างใดมีค่าสูง โดยเปรียบเทียบค่าความชันของกราฟระหว่างการหดตัวเมื่อเผากับระดับอุณหภูมิ ค่าความชันที่สูงแสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าการหดตัวเมื่อเผากับระดับอุณหภูมิสูง

2.4. วิธีทดสอบ

2.4.1. การเผาและการวัดอุณหภูมิเตาเผา ในการทดลองใช้เตาเผาไฟฟ้า ตัวอย่างจะถูกบรรจุในจ้อคอร์เดียไรต์ขนาด 20x25x15 ซม. เตาเผาที่อัตราการเผา 2 °C/นาทียื่นไฟ 1 ชั่วโมง การตรวจสอบอุณหภูมิภายในจ้อใช้ค่าที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานชนิด R ซึ่งประกอบด้วยพลาทินัมผสมโรเดียมร้อยละ 13 และพลาทินัมบริสุทธิ์ที่มีการสอบเทียบอุณหภูมิเรียบร้อยแล้ว ความคุมการวัดอุณหภูมิด้วยดาต้าล็อกเกอร์ จำนวน 8 จุดภายในจ้อ ผลการตรวจสอบอุณหภูมิภายในจ้อพบว่าอุณหภูมิในการเผาตัวอย่างมีความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ไม่มากกว่า 2 °C

2.4.2. การทดสอบการหดตัวเมื่อเผา ทดสอบการหดตัวเมื่อเผาโดยเปรียบเทียบขนาดก่อนและหลังเผาตามวิธีของ ASTM C326 — 09 Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ 7-10 รายการ/ตัวอย่าง ขึ้นกับขนาดตัวอย่างที่สามารถบรรจุได้ในจ้อ คำนวนร้อยละการหดตัวเมื่อเผาจากสมการ

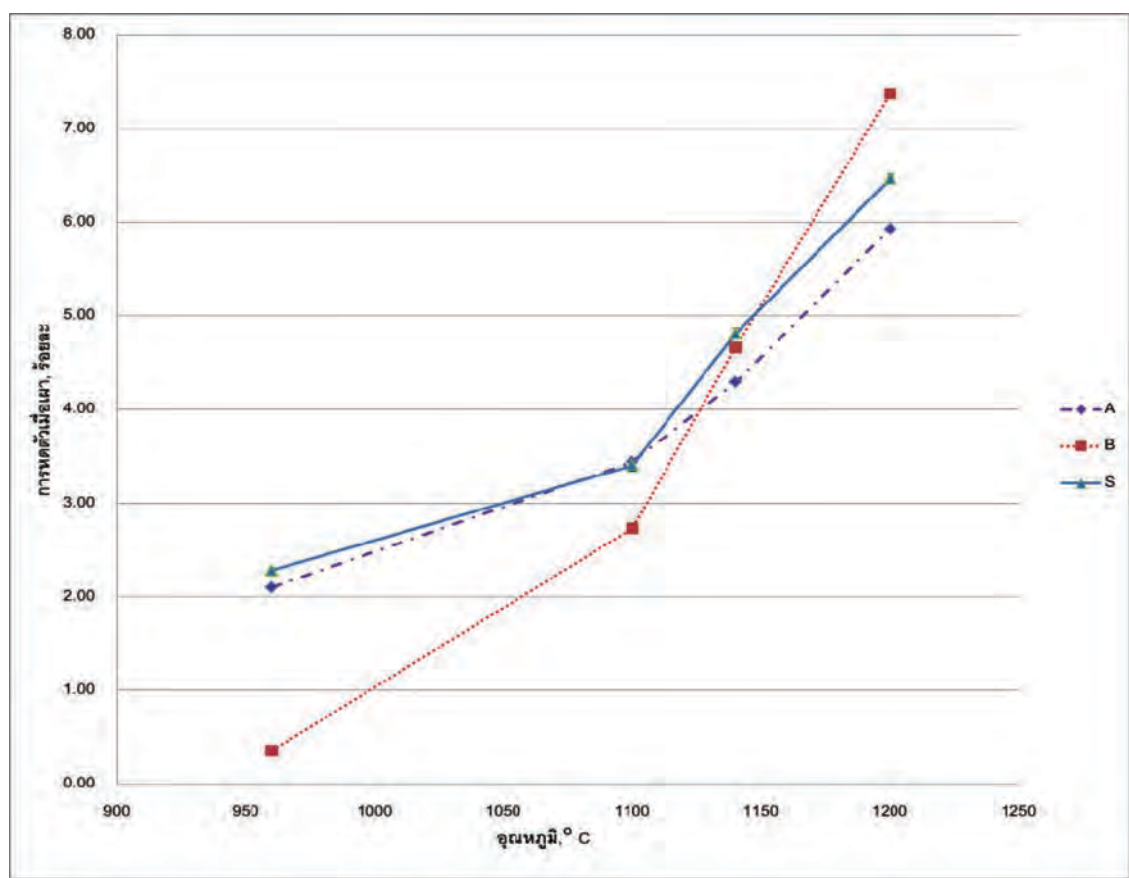
$$\text{การหดตัว, ร้อยละ} = \frac{\text{ความยาวเมื่อแห้ง} - \text{ความยาวเมื่อเผา}}{\text{ความยาวเมื่อแห้ง}} \times 100$$

3. ผลและวิจารณ์ผล (Results and discussion)

ผลการทดสอบการหดตัวเมื่อเผาของอุปกรณ์ที่มีในท้องตลาด(ตัวอย่าง A และ B) และอุปกรณ์ที่พัฒนา(ตัวอย่าง S) แสดงดังตารางที่ 2 รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ย(mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของการหดตัวเมื่อเผาของตัวอย่าง A มีค่าเฉลี่ยในช่วงร้อยละ 2.10-5.93 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วง 0.04-0.10 การหดตัวเมื่อเผาของตัวอย่าง B มีค่าเฉลี่ยในช่วงร้อยละ 0.35-7.38 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วง 0.04-0.11 การหดตัวเมื่อเผาของตัวอย่าง S มีค่าเฉลี่ยในช่วงร้อยละ 2.28-6.46 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วง 0.02-0.06 ผลการทดลองแสดงแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยการหดตัวเมื่อเผาเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นโดยตัวอย่าง A และ S มีสมบัติการหดตัวเมื่อเผาในช่วงอุณหภูมิ 960 °C- 1100 °C สูงกว่าตัวอย่าง B และที่อุณหภูมิ 1200 °C ตัวอย่าง A และ S มีสมบัติการหดตัวเมื่อเผาลดกว่าตัวอย่าง B การสรุปผลค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละตัวอย่างในแต่ละระดับอุณหภูมิมีความแตกต่างอย่างเป็นนัยสำคัญหรือไม่ หรือการเปรียบเทียบสมบัติของอุปกรณ์ที่พัฒนากับที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์ด้วยสถิติในการพิสูจน์ เพื่อสร้างความเชื่อถือในคุณภาพของอุปกรณ์ที่พัฒนา

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหดตัว เมื่อเผาของตัวอย่าง A B และ S ที่อุณหภูมิ 960 °C 1100 °C 1140 °C และ 1200 °C

อุณหภูมิ (°C)	A				B				S			
	960	1100	1140	1200	960	1100	1140	1200	960	1100	1140	1200
1	2.10	3.52	4.20	5.96	0.35	2.70	4.90	7.39	2.29	3.41	4.83	6.45
2	2.10	3.42	4.20	5.96	0.35	2.73	4.71	7.41	2.27	3.35	4.73	6.43
3	2.15	3.37	4.15	5.91	0.35	2.72	4.58	7.33	2.27	3.37	4.79	6.43
4	2.15	3.47	4.20	5.96	0.36	2.72	4.65	7.36	2.27	3.37	4.77	6.43
5	2.10	3.42	4.20	5.91	0.36	2.76	4.60	7.36	2.31	3.35	4.73	6.45
6	2.05	3.52	4.35	5.95	0.36	2.68	4.52	7.33	2.29	3.35	4.77	6.43
7	2.15	3.42	4.35	5.86	0.36	2.78	4.71	7.42	2.29	3.37	4.77	6.43
8	2.10	3.37	4.40	5.95	-	2.78	4.63	7.35	2.31	3.51	4.89	6.61
9	2.05	3.37	4.45	5.95	-	-	-	-	2.29	3.47	4.85	6.47
10	2.05	3.52	4.35	5.86	-	-	-	-	2.27	3.49	4.91	6.49
ค่าเฉลี่ย	2.10	3.44	4.29	5.93	0.35	2.73	4.66	7.37	2.28	3.41	4.81	6.46
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.04	0.06	0.10	0.04	0.01	0.04	0.11	0.04	0.02	0.06	0.06	0.06



รูปที่ 3 กราฟการหดตัวเมื่อเผาของตัวอย่าง A B และ S

ผลการทดสอบระดับของอุณหภูมิมีผลต่อการหดตัวของตัวอย่าง A B และ S โดยใช้ One way ANOVA สรุปผลการทดสอบดังตารางที่ 3 พบว่าทุกตัวอย่างมีค่า F มากกว่าค่า F critical แสดงว่าระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่อร้อยละการหดตัวของตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แปลว่าตัวอย่างหดตัวเมื่อเผาสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิการเผา การหดตัวนี้เป็นกระบวนการสุกตัว (vitrification) ที่เกิดเมื่อเผาเนื้อดินเกิดการหลอมเป็นเนื้อแก้วบางส่วนเชื่อมอนุภาคที่มีความทนไฟเข้าด้วยกัน เป็นผลให้ความพรุนตัวลดลง เกิดการหดตัวเพิ่มขึ้น(7,8)

ตารางที่ 4 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหดตัวเมื่อเผากับระดับอุณหภูมิการเผา ของตัวอย่าง A B และ S โดยใช้ correlation coefficient และ Regression analysis

Regression statistics	A	B	S
correlation coefficient, r	0.31	0.49	0.05
significance F	0.69	0.51	0.95

ทดสอบความแปรปรวนของการหดตัวเมื่อเผาระหว่างตัวอย่าง A B และ S ที่อุณหภูมิ 960 °C 1100 °C 1140 °C และ 1200 °C โดยใช้ F-test สรุปผลการทดสอบดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 พบว่าผลการทดสอบระหว่างตัวอย่าง A และ S กับระหว่างตัวอย่าง A และ B ที่ 960 °C

ตารางที่ 3 การทดสอบระดับของอุณหภูมิมีผลต่อการหดตัวของตัวอย่าง A B และ S โดยใช้ One way ANOVA

อุณหภูมิ (°C)	A			B			S		
	average	F	Fcrit	average	F	Fcrit	average	F	Fcrit
960	2.10	5815.05	2.87	0.35	16409.54	2.96	2.28	11887.26	2.87
1100	3.44			2.73			3.41		
1140	4.29			4.66			4.81		
1200	5.93			7.37			6.46		

ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหดตัวเมื่อเผากับระดับอุณหภูมิการเผา ของตัวอย่าง A B และ S ด้วยการพิจารณาค่า r และการวิเคราะห์การถดถอย แสดงดังตารางที่ 4 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าทุกตัวอย่างมีค่า r น้อย เข้าใกล้ 0 และมีค่า significance F มากกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าไม่พบความสัมพันธ์ของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับอุณหภูมิ แปลว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหดตัวเมื่อเผาของตัวอย่าง A B และ S ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิการเผาที่เปลี่ยนแปลงไปในรูปเชิงเส้น การที่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหดตัวเมื่อเผาไม่ขึ้นกับระดับอุณหภูมิการเผาจะช่วยให้ผลการตรวจสอบ heat work ในการเผามีความแม่นยำไม่แปรตามระดับอุณหภูมิ

มีค่า F มากกว่า F critical แสดงว่าความแปรปรวนระหว่างตัวอย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีค่า F มีค่าน้อยกว่า F critical แสดงว่าความแปรปรวนระหว่างตัวอย่าง A B และ S ไม่มีความแตกต่าง สรุปได้ว่าผลการทดสอบการหดตัวเมื่อเผาที่ 1100-1200 °C ของตัวอย่าง S มีความแปรปรวนอยู่ในระดับเดียวกับค่าของตัวอย่าง A และ B แต่ที่อุณหภูมิต่ำ 960 °C ความแปรปรวนของตัวอย่าง B และ S มีค่าต่ำกว่าของตัวอย่าง A อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5 การทดสอบความแปรปรวนของการหดตัวเมื่อเผาระหว่างตัวอย่าง A B และ S ที่อุณหภูมิ 960 °C 1100 °C 1140 °C และ 1200 °C โดยใช้ F-test

Sample	960°C						1100°C						1140°C						1200°C					
	A	S	A	B	B	S	A	S	A	B	B	S	A	S	A	B	B	S	A	S	A	B	B	S
Mean	2.10	2.28	2.10	0.35	0.35	2.28	3.44	3.41	3.44	2.73	2.73	3.41	4.29	4.81	4.29	4.66	4.66	4.81	5.93	6.46	5.93	7.37	7.37	6.46
Variance	0.00156	0.00023	0.00156	0.00007	0.00007	0.00023	0.00378	0.00380	0.00378	0.00129	0.00129	0.00380	0.01058	0.00386	0.01058	0.01307	0.01307	0.00386	0.00173	0.00308	0.00173	0.00124	0.00124	0.00308
Observations	10	10	10	7	7	10	10	10	10	8	8	10	10	10	10	8	8	10	10	10	10	8	8	10
F	6.70920		22.18642			3.30687		1.00465	2.92394			2.93753	2.73970			1.23482	3.38303		1.77991	1.39165				2.47701
F Critical one-tail	4.02599		5.52341			5.52341		4.02599	4.82322			4.82322	4.02599			4.19705	4.19705		4.02599	4.82322				4.82322

ตารางที่ 6 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ F-test

อุณหภูมิ (°C)	A และ S	A และ B	B และ S
960	ไม่เท่ากัน (S<A)	ไม่เท่ากัน (B<A)	เท่ากัน
1100	เท่ากัน	เท่ากัน	เท่ากัน
1140	เท่ากัน	เท่ากัน	เท่ากัน
1200	เท่ากัน	เท่ากัน	เท่ากัน

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการหดตัวเมื่อเผาระหว่างตัวอย่าง A B และ S ที่อุณหภูมิ 960 °C 1100 °C 1140 °C และ 1200 °C โดยใช้ One way ANOVA แสดงดังตารางที่ 7 พบว่าในแต่ละอุณหภูมิ ค่า F มีค่ามากกว่าค่า Fcritical แสดงว่าชนิดของตัวอย่างที่แตกต่างกันมีผลต่อร้อยละการหดตัวเมื่อเผาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการหดตัวเมื่อเผาระหว่างตัวอย่าง A และ B ระหว่างตัวอย่าง A และ S ระหว่างตัวอย่าง B และ S โดยใช้ t-test แสดงดังตาราง

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการหดตัวเมื่อเผาระหว่างตัวอย่าง A B และ S ที่อุณหภูมิ 960 °C 1100 °C 1140 °C และ 1200 °C โดยใช้ One way ANOVA

ตัวอย่าง	960°C			1100°C			1140°C			1200°C		
	average	F	Fcrit	average	F	Fcrit	average	F	Fcrit	average	F	Fcrit
A	2.10	12830.17	3.40	3.44	440.84	3.39	4.29	81.10	3.39	5.93	2247.71	3.39
B	0.35			2.73			4.66			7.37		
S	2.28			3.41			4.81			6.46		

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการหดตัวเมื่อเผาระหว่างตัวอย่าง A และ B ระหว่างตัวอย่าง A และ S และระหว่างตัวอย่าง B และ S ที่อุณหภูมิ 960 °C 1100 °C 1140 °C and 1200 °C โดยใช้ t-test

ตัวอย่าง	960°C						1100°C						1140°C						1200°C					
	A	S	A	B	B	S	A	S	A	B	B	S	A	S	A	B	B	S	A	S	A	B	B	S
Mean	2.10	2.28	2.10	0.35	0.35	2.28	3.44	3.41	3.44	2.73	2.73	3.41	4.29	4.81	4.29	4.66	4.66	4.81	5.93	6.46	5.93	7.37	7.37	6.46
Variance	0.00156	0.00023	0.00156	0.00007	0.00007	0.00023	0.00378	0.00380	0.00378	0.00129	0.00129	0.00380	0.01058	0.00386	0.01058	0.01307	0.01307	0.00386	0.00173	0.00308	0.00173	0.00124	0.00124	0.00308
Observations	10	10	10	7	7	10	10	10	10	8	8	10	10	10	10	8	8	10	10	10	10	8	8	10
Pooled Variance	-	-	-	-	-	0.00017	0.00379	0.00269	0.00270	0.00722	0.01167	0.00722	0.01167	0.00789	0.01167	0.00789	0.01167	0.00789	0.00240	0.00152	0.00240	0.00152	0.00227	0.00227
df	12		10			15	18		16		16		18		16		16		18		16		16	
t Stat	-13.62		135.63			302.49	1.23		28.72		-27.29		-13.72		-7.36		-3.42		-24.39		-78.19		40.20	
t Critical two-tail	2.18		2.23			2.13	2.10		2.12		2.12		2.10		2.12		2.12		2.10		2.12		2.12	

ตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการหดตัวเมื่อเผาระหว่างตัวอย่าง A และ B ระหว่างตัวอย่าง A และ S และระหว่างตัวอย่าง B และ S ที่อุณหภูมิ 960 °C 1100 °C 1140 °C and 1200 °C โดยใช้ t-test

อุณหภูมิ (°C)	A และ S	A และ B	B และ S
960	ไม่เท่ากัน (A<S)	ไม่เท่ากัน (B<A)	ไม่เท่ากัน (B<S)
1100	เท่ากัน	ไม่เท่ากัน (B<A)	ไม่เท่ากัน (B<S)
1140	ไม่เท่ากัน (A<S)	ไม่เท่ากัน (A<B)	ไม่เท่ากัน (B<S)
1200	ไม่เท่ากัน (A<S)	ไม่เท่ากัน (A<B)	ไม่เท่ากัน (S<B)

ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าการหดตัวเมื่อเผาที่ระดับอุณหภูมิโดยเปรียบเทียบค่าความชันของกราฟ (slope) จากสมการเชิงเส้นแสดงดังตารางที่ 10 ค่าความชันสูงแสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าการหดตัวเมื่อเผาที่ระดับอุณหภูมิสูง ตัวอย่าง B มีการเปลี่ยนแปลงของค่าการหดตัวเมื่อเผาที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่าตัวอย่าง A และ S ทุกช่วงอุณหภูมิการทดลอง ในขณะที่ ตัวอย่าง S และ A มีการเปลี่ยนแปลงของค่าการหดตัวเมื่อเผาที่ระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

อุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าการหดตัวเมื่อเผาที่ระดับอุณหภูมิสูง ผิดกับค่าการหดตัวเมื่อเผาสูงและค่าการหดตัวเมื่อเผาที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ จะทำให้ผลการตรวจสอบที่ระดับอุณหภูมิใกล้เคียงมีค่าที่แตกต่างกันและแม่นยำมากยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่จำหน่ายในท้องตลาด A และ B พบว่าตัวอย่าง S มีค่าการหดตัวเมื่อเผาสูงยกเว้นที่อุณหภูมิสูง (1200 °C) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในระดับเดียวกับตัวอย่างที่จำหน่ายในท้องตลาดและมีค่าต่ำที่อุณหภูมิต่ำ (960 °C) อีกทั้งมีค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าการหดตัวเมื่อเผาอยู่ในระดับเดียวกับตัวอย่างที่จำหน่ายในท้องตลาด A แต่มีค่าต่ำกว่าตัวอย่าง B

ตารางที่ 10 ค่าความชันของกราฟจากสมการเชิงเส้นของการหดตัวเมื่อเผาที่ระดับอุณหภูมิ ของตัวอย่าง A B และ S

ตัวอย่าง	ความชันของกราฟ
A	0.0151
B	0.0280
S	0.0166

4. สรุปผลการทดลอง (Conclusion)

อุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิแบบวงกลมที่พัฒนาขึ้นจากฟิล์ม แมกนีเซียมคาร์บอเนต แบเรียมคาร์บอเนต เหล็กออกไซด์ ดินขาว และควอตซ์ และขึ้นรูปด้วยวิธีอัดแห้ง มีสมบัติการหดตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 960 °C 1100 °C 1140 °C และ 1200 °C อยู่ในช่วงร้อยละ 2.21-9.98 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00-0.06 ผลการเปรียบเทียบสมบัติการหดตัวเมื่อเผาของอุปกรณ์ที่พัฒนากับอุปกรณ์ที่จำหน่ายในท้องตลาดด้วยวิธีทางสถิติแสดงให้เห็นว่า

1) อุปกรณ์ที่พัฒนาและจำหน่ายในท้องตลาดมีค่าการหดตัวเมื่อเผาเพิ่มขึ้นเมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

2) อุปกรณ์ที่พัฒนามีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหดตัวเมื่อเผาไม่ขึ้นกับระดับอุณหภูมิการเผาเช่นเดียวกับอุปกรณ์ที่จำหน่ายในท้องตลาดอุปกรณ์

3) อุปกรณ์ที่พัฒนามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความแปรปรวนอยู่ในระดับเดียวกับค่าของตัวอย่างอุปกรณ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด โดยที่อุณหภูมิต่ำ 960 °C ความแปรปรวนของอุปกรณ์ที่พัฒนามีค่าต่ำกว่าของอุปกรณ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด A อย่างเป็นนัยสำคัญ

4) อุปกรณ์ที่พัฒนามีค่าเฉลี่ยของการหดตัวเมื่อเผา เท่ากับอุปกรณ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด A ที่อุณหภูมิ 1100 °C และมีค่าสูงกว่าอุปกรณ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด A และ B อย่างเป็นนัยสำคัญ ที่อุณหภูมิ 960 °C และ 1140 °C แต่อุปกรณ์ที่พัฒนามีค่าเฉลี่ยของการหดตัวเมื่อเผาต่ำกว่าอุปกรณ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด B อย่างเป็นนัยสำคัญ ที่อุณหภูมิ 1200 °C

5) อุปกรณ์ที่พัฒนาที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าการหดตัวเมื่อเผาที่ระดับอุณหภูมิอยู่ในระดับใกล้เคียงกับอุปกรณ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด A แต่ต่ำกว่าตัวอย่าง B

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณนางสาวปรีดา จำปีเรือง ที่ดำเนินการเตรียมตัวอย่างและทดสอบเพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพัฒนางานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) ลดา พันธุ์สุขุมธนา. การตรวจสอบอุณหภูมิการเผา. วารสารเซรามิกส์, 2554, 15(36), 22-34
- (2) Using bullers rings in statistical process control [Online]. [Viewed 8 June 2014]. Available from: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8172>
- (3) Bullers™ pyrometric Rings [Online]. [Viewed 8 June 2014]. Available from : http://www.mantectechnicalceramics.com/sites/default/files/bullers_rings_brochure.pdf
- (4) Process temperature control rings (PTCR) [Online]. [Viewed 8 June 2014]. Available from: http://www.ferro.com/nr/rdonlyres/74f71fe1-407d-4a48-b386-24e90542a3fa/0/is04_e_ptcr.pdf
- (5) TempCHEKs [Online]. [Viewed 8 June 2014]. Available from: <http://www.ortonceramic.com/products/tempcheks/>
- (6) กรมวิทยาศาสตร์บริการ. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิสำหรับเตาเผาอุณหภูมิสูง (ระดับต้นแบบ). 2556.
- (7) REED, S. J. Introduction to the principles of ceramic processing. New York : John Wiley & Sons, 1989, pp.464-466
- (8) KINGERY, W.D., H. K. BOWEN, and Donald R. UHLMANN. Introduction to ceramics. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 1991, pp. 495-497, pp.507-508

การศึกษาความทนทานต่อสารละลายของผิวแก้ว ภายในของขวดแก้วสำหรับเครื่องดื่มบำรุงกำลัง The studies of hydrolytic resistance of inner surfaces of glass containers for energy drinks

อุสุมานาคนิคคาม^{1*}, โสรดา ขุนโหนด¹, เทพีวรรณ จิตวัชรโกมล¹
Usuma Naknikham^{1*}, Sorada Khunhon¹, Tepiwan Jitwacharakomol¹

บทคัดย่อ

ตลาดเครื่องดื่มบำรุงกำลังมีการเติบโตอย่างมากในปัจจุบัน ดังนั้นจึงความปลอดภัยของการใช้บรรจุภัณฑ์แก้ว ซึ่งอาจจะเกิดการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักและธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแก้ว เมื่อถูกทำลายโดยเครื่องดื่มที่บรรจุอยู่ภายใน การทำให้เนื้อแก้วมีความทนทานต่อสารละลายเพิ่มขึ้นสามารถลดการปนเปื้อนเนื่องจากธาตุดังกล่าวได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความทนทานต่อสารละลายของขวดแก้วสำหรับเครื่องดื่มบำรุงกำลังโดยการปรับปรุงผิวภายในด้วยสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 และ 5 ที่เวลา 30 60 และ 120 วินาที ทดสอบความทนทานต่อน้ำตามมาตรฐาน ISO 4802-1 พบว่าความทนทานต่อน้ำเพิ่มขึ้นหลังจากล้างผิวภายในขวดแก้วสีขาวด้วยกรดอะซิติก สภาวะที่เหมาะสมในการล้างผิวภายในขวดแก้วสีขาวคือใช้กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 30 วินาที นำขวดที่ผ่านการปรับปรุงและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวบรรจุบรรจุด้วยกรดซิตริกที่มีค่า pH 3.5 (ใกล้เคียงกับค่า pH ของเครื่องดื่มบำรุงกำลัง) เก็บภายใต้อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25-27 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 7 14 21 และ 28 วัน จากการตรวจสอบธาตุที่ถูกทำลายออกมาด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ไม่พบธาตุโลหะหนัก ได้แก่ As Cd Cr Pb Hg Se และ Sb และธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแก้ว ได้แก่ Ca และ K พบเฉพาะธาตุ Na ขวดทั้งสองแบบมีปริมาณธาตุโซเดียม (Na) ที่ถูกทำลายออกมาไม่แตกต่างกันเมื่อเก็บภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน แต่ขวดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณโซเดียมสูงกว่าขวดเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 21 ประมาณ 0.5 ppm แสดงว่าค่าความทนทานต่อสารละลายของผิวขวดลดลงกับอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงผิวภายในขวดแก้วโดยการล้างด้วยกรดอะซิติกไม่มีผลต่อการใช้งาน

Abstract

Nowadays, the market of the energy drinks is expanding quite substantially. From the safety point of view, the contamination of heavy elements and glass composition elements which might be dissolved by their solution is concerned. The glass with a high hydrolytic resistance property can decrease the contamination of those elements. The objective of this study was to improve the hydrolytic resistance of the energy drink glass containers by means of treating the inner surfaces with 1, 2, 3 and 5% of acetic acid. Hydrolytic tests were conducted in accordance with ISO 4802-1. It was found that the hydrolytic

resistance increased after the acid treating. The treatment condition of 3% of acetic acid for 30 second resulted in the highest hydrolytic resistance. The treated and un-treated bottles were filled up with citric acid solution at pH 3.5 (close to the pH of energy drink), kept at room temperature (about 25-27 °C) and 20 °C for 7, 14, 21 and 28 days soaking time. The leached elements were analyzed by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). The results showed that the amount of leached heavy metals, i.e. As Cd Cr Pb Hg Se Sb, and Ca K which were the compositions in glass, were not found. Only leached Na was found. The results also showed that the contents of leached sodium from the treated and un-treated bottles were not different at the same storage temperature. However, the amount of leached sodium element (Na) of the bottles kept at room temperature was higher than those kept at 20 °C. The highest content of leached sodium was found at 21 days soaking time. In summary, the hydrolytic resistance of glass surfaces for the solution at pH 3.5 was decreased when the temperature and the soaking time were increased. average firing shrinkage, the standard deviation and the change of the shrinkage with temperature.

คำสำคัญ : ความทนทานต่อสารเคมี, บรรจุภัณฑ์แก้ว, การทดสอบความทนทานต่อน้ำ

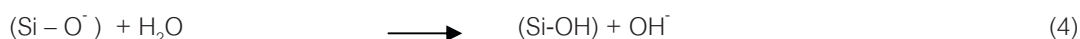
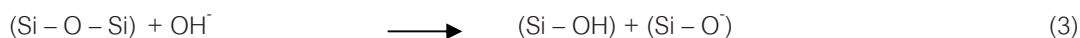
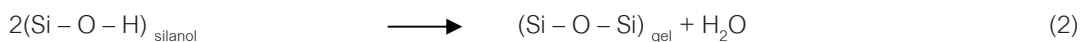
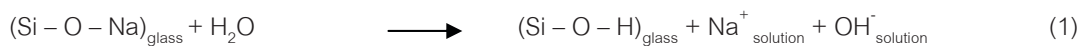
Keywords : Chemical Resistance, Glass Container, Hydrolytic test

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

แก้วเป็นวัสดุที่มีความเสถียรสูง ทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ดีกว่าวัสดุชนิดอื่น จึงนิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง และยารักษาโรค แก้วชนิดโซดาโลมเป็นแก้วที่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แต่ยังคงต้องคำนึงถึงเรื่องความปลอดภัย เพราะสามารถเกิดปฏิกิริยากับน้ำหรือสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบได้ง่าย ดังสมการ (1) – (4) กระบวนการเหล่านี้เกิดอย่างต่อเนื่องแต่ในอัตราที่ช้ามาก ๆ จนเหมือนไม่ได้เกิดขึ้น ปัจจัยในการเกิดปฏิกิริยาของแก้วกับสารละลายขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของสารละลาย (1) สมการการเกิดปฏิกิริยาของแก้วและน้ำ (2)



เครื่องดื่มบำรุงกำลังส่วนมากนิยมบรรจุในขวดแก้วขนาดเล็กซึ่งผลิตจากแก้วโซดาโลมและมีสีขาเพื่อป้องกันแสงไม่ให้เกิดปฏิกิริยาหรือทำลายองค์ประกอบบางอย่างในเครื่องดื่ม ภายใต้สภาวะการใช้งานที่ไม่เหมาะสม เช่น การใช้อุณหภูมิและความดันสูงในการฆ่าเชื้อ ความเป็นกรด – ด่างและความเข้มข้นของเครื่องดื่ม สิ้นค้าตกค้างบนชั้นวางเป็นเวลานาน การสัมผัสกับแสงแดด ในระหว่างการขนส่งหรือวางจำหน่าย เป็นต้น และองค์ประกอบทางเคมีของแก้วที่มีปริมาณโซเดียมสูงสาเหตุเหล่านี้มีผลทำให้ปฏิกิริยาเคมีที่ผิวแก้วเกิดได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าขวดแก้วที่มีสีให้ปริมาณสารที่ละลายออกมา เช่น Cr, Th, La, Zr, Nd, Ce, Pr, Nb, Ti, Fe, Co และ Er. สูงกว่าขวดแก้วใส (3)

ธีรศักดิ์ (4) ล้างผิวภายในของขวดแก้วด้วยกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3...6 ทำให้ปริมาณโซเดียมไอออน (Na^+) ที่ผิวแก้วลดลงได้ โดยเมื่อความ

เข้มข้นของกรดที่ใช้ล้างขวดแก้วเพิ่มขึ้นปริมาณ Na^+ ที่ผิวแก้วลดลง และสามารถลดปริมาณ Na^+ ที่ถูกละลายออกมาได้สูงสุดประมาณร้อยละ 20 ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะปรับปรุงความทนทานต่อสารละลายของผิวภายในของขวดเครื่องดื่มบำรุงกำลังโดยการล้างผิวภายในของขวดแก้วสำหรับเครื่องดื่มบำรุงกำลังด้วยสารละลายกรดอะซิติกโดยศึกษาผลกระทบเนื่องจากความเข้มข้นและระยะเวลาในการล้างขวดต่อความทนทานต่อน้ำ พร้อมทั้งศึกษาการทำละลายธาตุโลหะหนักและธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแก้ว

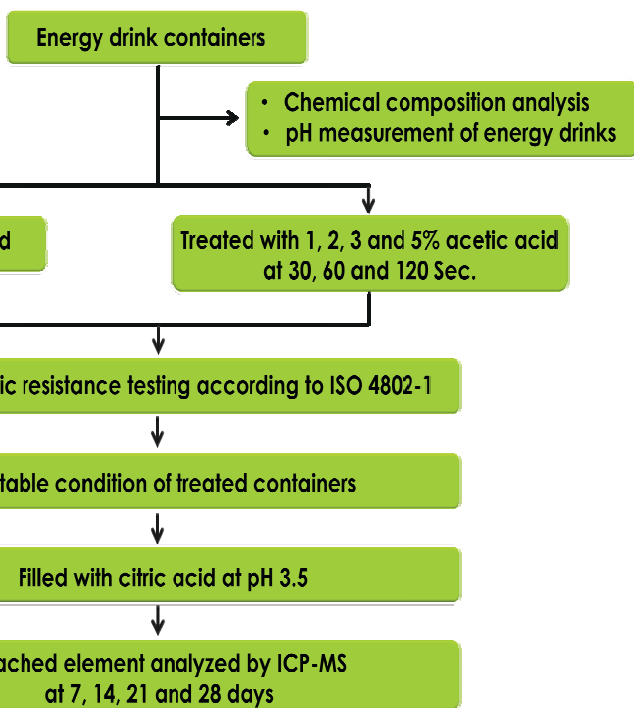
2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของขวดแก้วสำหรับบรรจุเครื่องดื่ม 2 ชนิด ได้แก่ ขวดแก้วสีใสและขวดแก้วสีขา (สำหรับบรรจุเครื่องดื่มบำรุงกำลัง) ด้วยเครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence ยี่ห้อ Bruker รุ่น Tiger) โดยการสุ่มตัวอย่างเครื่องดื่มบำรุงกำลังซึ่งบรรจุในขวดแก้วสีขาที่วางขายในท้องตลาด 3 ยี่ห้อ (ยี่ห้อ A B และ C) และขวดแก้วสีใสสำหรับบรรจุเครื่องดื่ม 1 ยี่ห้อ วัดค่า pH ของเครื่องดื่มบำรุงกำลังด้วยเครื่อง pH meter ค่า pH ที่ได้นี้ นำไปเตรียมสารละลายเพื่อศึกษาธาตุที่ถูกทำละลาย ข้อ 2.3

2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการล้างขวดแก้วสีขา โดยนำขวดแก้วสีขา ยี่ห้อ A ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมาล้างผิวภายในด้วยสารละลายกรดอะซิติก (ชนิด AR Grade ยี่ห้อ Merck) ความเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3 และ 5 ที่เวลา 30 60 และ 120 วินาที ล้างขวดให้สะ

อาดด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (DI Water) ทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปทดสอบความทนทานต่อน้ำของผิวภายในขวดตามมาตรฐาน ISO 4802-1 (5) เปรียบเทียบความทนทานต่อน้ำของขวดแก้วสีชา ที่ไม่ผ่านการล้างและผ่านการล้างผิวด้วยกรดที่ความเข้มข้นและเวลาที่ต่างกัน เพื่อเลือกใช้ความเข้มข้นของกรดและระยะเวลาที่เหมาะสมในการล้างขวดแก้วสีชา

2.3 ศึกษาธาตุที่ถูกทำละลายออกจากขวดแก้วสีชา นำขวดแก้วสีชา ที่ผ่านการล้างผิวและไม่ผ่านการล้างผิวด้วยกรดมาบรรจุสารละลายกรดซิตริก (ชนิด AR Grade ยี่ห้อ Merck) ที่ค่า pH 3.5 เก็บไว้ในตู้เย็นหมึหึ่ง (ประมาณ 25-27 องศาเซลเซียส) และในตู้แช่เย็นหมึหึ่ง 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน นำสารละลายมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7500 ce) สรุปวิธีการวิจัยดังแผนผังที่แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังการวิจัย

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของขวดแก้วสำหรับบรรจุเครื่องดื่ม

องค์ประกอบทางเคมีของขวดแก้วสำหรับบรรจุเครื่องดื่มที่นำมาศึกษาแสดงในตารางที่ 1 พบว่าขวดแก้วทั้ง 2 สีเป็นแก้วชนิดโซดาโลมและม้องค์ประกอบทางเคมีหลักไม่แตกต่างกัน มีเฉพาะ Na_2O , CaO , Cr_2O_3 และ MnO ที่แตกต่าง โดยขวดแก้วสีชาทั้ง 3 ยี่ห้อ (A B และ C) มี Na_2O สูงกว่าขวดแก้วสีใส ประมาณ 1.86 — 2.36 %Wt แต่มี CaO ต่ำกว่าประมาณ 2.52 — 2.75 %Wt นอกจากนี้ยังพบ Cr_2O_3 0.084 — 0.01 %Wt และ MnO 0.0037 — 0.0049 %Wt เฉพาะในขวดแก้วสีชา

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของขวดแก้วสำหรับบรรจุเครื่องดื่ม

องค์ประกอบทางเคมี	ขวดแก้วสีใส	ขวดแก้วสีชา, %Wt		
		ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B	ยี่ห้อ C
SiO_2	71.50	71.06	71.49	70.42
Na_2O	11.64	14.01	13.77	13.51
CaO	13.27	10.75	10.66	10.52
MgO	1.07	1.67	1.51	2.79
Al_2O_3	1.67	1.82	1.81	2.02
K_2O	0.27	0.17	0.26	0.21
P_2O_5	0.02	0.02	0.02	0.02
SO_3	0.18	0.04	0.05	0.04
TiO_2	0.08	0.09	0.08	0.07
Fe_2O_3	0.14	0.28	0.26	0.30
SrO	0.07	0.01	0.01	0.01
ZrO_2	0.03	0.02	0.02	0.02
BaO	0.04	-	-	-
Cr_2O_3	-	0.01	0.0084	0.0089
MnO	-	0.0049	0.0045	0.0037
PbO	0.01	0.007	0.0077	0.0075

3.2 ค่า pH ของเครื่องต้มบำรุงกำลัง

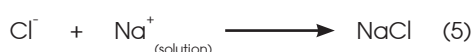
ค่า pH ของเครื่องต้มบำรุงกำลังที่นำทดสอบ 3 ยี่ห้อ มีค่า pH อยู่ระหว่าง 3.30 — 3.69 เฉลี่ยได้ 3.48 แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า pH ของเครื่องต้มบำรุงกำลัง

เครื่องต้มบำรุงกำลัง	ค่า pH
ยี่ห้อ A	3.45
ยี่ห้อ B	3.69
ยี่ห้อ C	3.30
เฉลี่ย	3.48

3.3 ความทนทานต่อน้ำของขวดแก้วสีชา

การทดสอบความทนทานต่อน้ำเป็นการทดสอบความสามารถในการละลายออกมาของโซเดียมจากผิวแก้ว งานวิจัยนี้ใช้มาตรฐาน ISO 4802-1 เนื่องจากการทดสอบความทนทานต่อน้ำของผิวภายในของขวดแก้ว โดยใช้น้ำสกัดธาตุกลุ่มต่างจากขวดแก้ว นำสารละลายที่ได้มาติเตตรกับสารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์เพื่อหาจุดยุติของสารละลายกรด HCl และธาตุกลุ่มต่างซึ่งอนุมานเป็น Na^+ ในสารละลายที่สกัดได้ทำปฏิกิริยากันโดยสมบรูณ์ดังสมการที่ 5



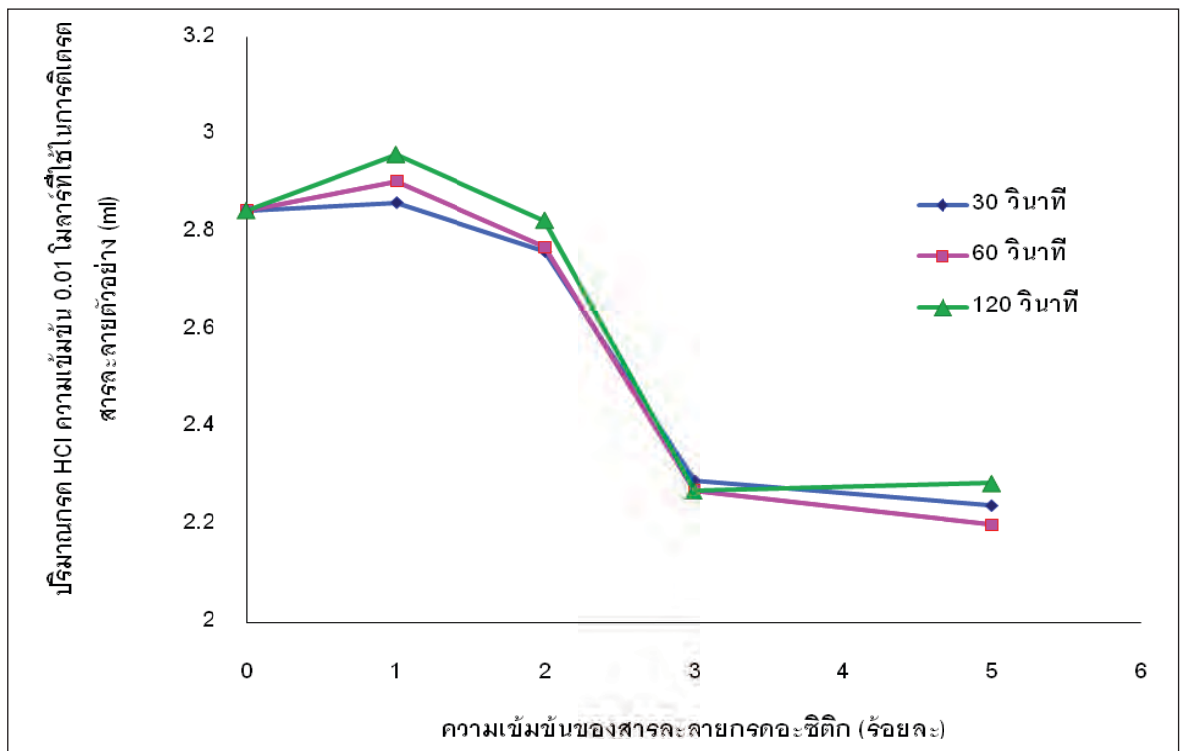
จากสมการ (5) Cl^- จากสารละลายกรด HCl ทำปฏิกิริยากับ Na^+ ในสารละลายตัวอย่างอัตราส่วน 1:1 ดังนั้นปริมาณสารละลายกรด HCl ที่ใช้ในการติเตตรตสารละลายที่สกัดได้จากขวดแก้วเป็นส่วนโดยตรงกับปริมาณของ Na^+ ในสารละลาย ขวดแก้วที่มี Na^+ ละลายออกมาน้อยจะมีการใช้สารละลายกรด HCl ในการติเตตรน้อย หมายถึงขวดแก้วมีความทนทานต่อน้ำสูงหรืออีกนัยหนึ่งคือแก้วมีความทนทานต่อสารละลายสูงขึ้น

ผลการทดสอบความทนทานต่อน้ำของขวดแก้วสีชาที่ยังไม่ผ่านการใช้งานเปรียบเทียบกับขวดที่ผ่านและไม่ผ่านการล้างผิวภายในด้วยสารละลายกรด

อะซิติกที่ความเข้มข้นและเวลาล้างต่างกัน แสดงในรูป 2 พบว่าขวดแก้วสีชาที่ไม่ผ่านการล้างและผ่านการล้างผิวด้วยสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 มีปริมาณธาตุ Na ที่ถูกทำละลายออกมาใกล้เคียงกัน แต่ขวดแก้วสีชาที่ล้างด้วยสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 มีปริมาณธาตุ Na ที่ถูกทำละลายออกมาน้อยกว่า แสดงว่าการกรดอะซิติกความเข้มข้นสูงสามารถล้างธาตุ Na ที่ผิวแก้วได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นต่ำ และขวดแก้วสีชาที่ล้างด้วยกรดความเข้มข้นร้อยละ 3 มีปริมาณธาตุ Na ที่ถูกทำละลายออกมาไม่แตกต่างจากการใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 5 ในทุกช่วงเวลา สรุปได้ว่าเวลาในการล้างผิวแก้วไม่มีผลต่อปริมาณธาตุ Na ที่ถูกล้างออกจากผิวแก้ว

ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 3 และเวลาที่น้อยที่สุดคือ 30 วินาที ในการล้างขวดแก้วสีชา

พิจารณาโครงสร้างแก้ว ธาตุ Na ซึ่งเป็นธาตุขนาดเล็กนิยมอยู่บริเวณผิวแก้วมากกว่าธาตุอัลคาไลน์อื่นๆและไม่เกิดพันธะกับซิลิกาเพียงแค่แทรกตัวอยู่ในโครงสร้างแก้วเท่านั้น (1) จึงสามารถกำจัดได้ง่าย จากงานวิจัยเห็นได้จากการใช้สารละลายกรดอะซิติกล้างผิวด้านในของขวดแก้วสีชาสามารถลดปริมาณธาตุ Na ที่ผิวแก้วได้ โดยขวดที่ผ่านการล้างผิวแล้วเมื่อทดสอบปริมาณ Na^+ ที่ถูกทำละลายออกจากผิวแก้วตามมาตรฐาน ISO 4802-1 พบว่ามีปริมาณของธาตุ Na ลดลงเทียบกับขวดที่ไม่ผ่านการล้างผิว ซึ่งบ่งชี้ด้วยปริมาณของสารละลายกรด HCl ที่ใช้ในการติเตตรตสารละลายที่สกัดได้จากขวดแก้วสีชาลดลง



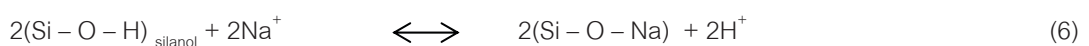
รูปที่ 2 การทดสอบความทนทานต่อน้ำของผิวภายในของขวดแก้วสีชา ตามมาตรฐาน ISO 4802-1

3.4 ธาตุที่ถูกทำละลายออกจากขวดแก้วสีชา

ขวดแก้วสีชาที่ไม่ผ่านการล้าง (un-treated) และผ่านการล้าง (Treated) ด้วยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 3 ถูกบรรจุด้วยสารละลายกรดอะซิติก pH 3.5 นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่ 20 องศาเซลเซียส ในเวลาต่างๆ ผลการวิเคราะห์ธาตุที่ถูกทำละลายในสารละลายกรดอะซิติกเปรียบเทียบระหว่างขวดแก้วสีชาที่ไม่ผ่านการล้าง (un-treated) และผ่านการล้าง (Treated) ด้วยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 3 ด้วยเครื่อง ICP- MS ไม่พบธาตุโลหะหนัก ได้แก่ As Cd Cr Pb Hg Se และ Sb และธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแก้ว ได้แก่ Ca และ K พบเฉพาะธาตุ Na โดยปริมาณของธาตุ Na ที่พบแสดงในรูป 3 สารละลายกรดอะซิติกที่บรรจุในขวดแก้วสีชาและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (RT) มีธาตุ Na ถูกทำละลายมากกว่าขวดแก้วสีชาที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณของธาตุ Na ที่ถูกทำละลายออก

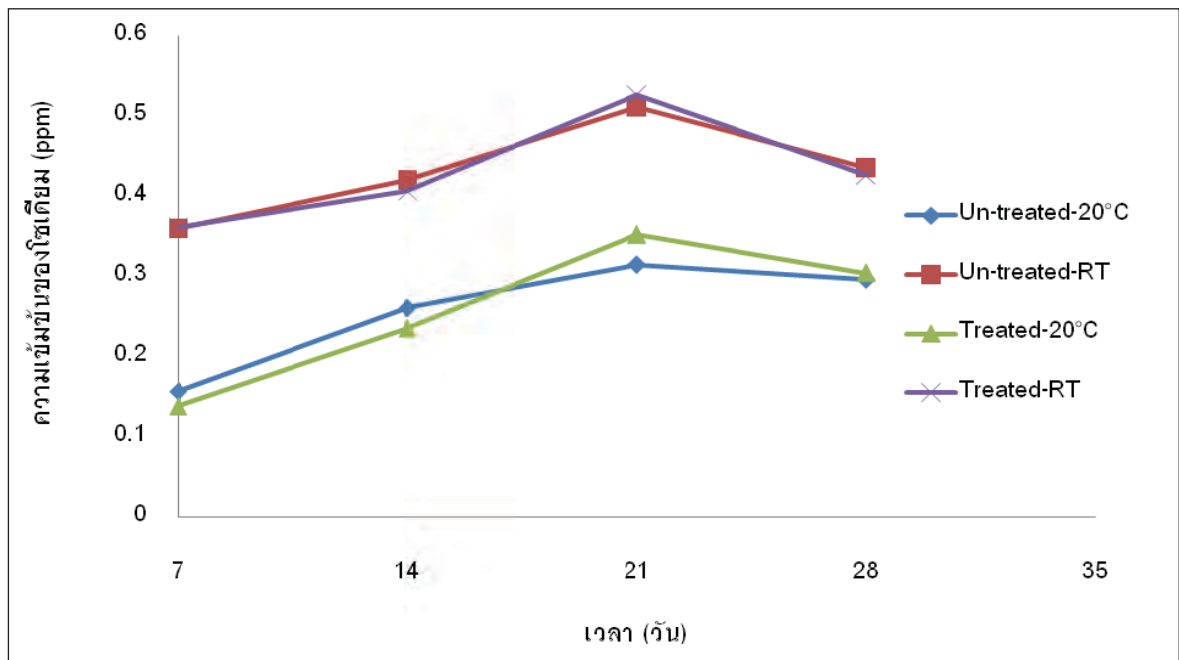
มาระหว่างขวดแก้วสีชาที่ไม่ผ่านการล้างและผ่านการล้างด้วยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 3 มีปริมาณธาตุ Na ที่ถูกทำละลายไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าธาตุ Na ถูกทำละลายได้มากที่สุดที่เวลา 21 วัน มีความเข้มข้นประมาณ 0.5 ppm หลังวันที่ 21 ไปแล้วปริมาณธาตุ Na ลดลงเล็กน้อย

กลไกการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง H^+ และ Na^+ บริเวณผิวแก้วเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาและเกิดเป็นชั้นเจลที่เรียกว่า Silanol บริเวณผิวแก้ว ชั้นเจลนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ต่อเนื่องตลอดเวลา ซึ่ง Na^+ ที่ผิวแก้วเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับ H^+ ของสารละลาย ทำให้สารละลายมี Na^+ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนไม่สามารถแพร่ออกมาได้อีก ดังรูป 3 ในช่วงระยะเวลา 7 — 21 วัน หลังจากนั้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนไปมาระหว่าง H^+ และ Na^+ ไปมาที่บริเวณนี้ซึ่งเป็นผลให้ปริมาณ Na^+ ลดลง กลไกการเกิดปฏิกิริยา แสดงในสมการ (6) (6)



จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ ขวดแก้วสีชาพบ Cr_2O_3 , MnO และ PbO แต่เมื่อศึกษา ธาตุที่ถูกทำละลายออกมาจากขวดแก้วสีชาที่ pH 3.5 พบเฉพาะธาตุ Na แต่ไม่พบธาตุโลหะหนัก แสดงว่าธาตุ โลหะหนักในโครงสร้างแก้วไม่ได้ถูกทำละลายออกมา เป็นเป็นในเครื่องดื่ม

มาของธาตุ Na ไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือค่าความทนทาน ต่อการละลายของผิวขวดคงเดิม แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 20 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิห้อง และระยะเวลาที่เก็บ ขวดนานขึ้น (0 – 21 วัน) พบการละลายของธาตุ Na เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงค่าความทนทานต่อการละลาย ของผิวขวดลดลงกับอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 การทดสอบความทนทานต่อน้ำของผิวภายในของขวดแก้วสีชา ตามมาตรฐาน ISO 4802-1

4. สรุป (Conclusion)

ขวดแก้วสำหรับบรรจุเครื่องดื่มทั้งขวดแก้วสีใส และขวดแก้วสีชา มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน แต่ ขวดแก้วสีชา มีปริมาณ Na_2O , Cr_2O_3 และ MnO สูงกว่า ทดสอบความทนทานต่อน้ำตามมาตรฐาน ISO 4802-1 พบว่าความทนทานต่อน้ำเพิ่มขึ้นหลังจากล้างผิวภายใน ขวดแก้วสีชาด้วยสารละลายกรดอะซิติก สภาวะที่เหมาะสม ในการล้างผิวภายในขวดแก้วคือใช้กรดอะซิติกความ เข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 30 วินาที

ที่อุณหภูมิเดียวกันคืออุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิห้อง พบว่าการล้างและไม่ล้างผิวภายใน ขวดแก้วสีชาด้วยสารละลายกรดอะซิติกแล้วบรรจุด้วย สารละลายกรดซิตริก pH 3.5 มีปริมาณการละลายออก

การปรับปรุงผิวแก้วด้วยการล้างด้วยกรดอะซิติก ครั้งนี้ไม่มีผลต่อการใช้งาน และมั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มบำรุงกำลัง (pH 3.5) ที่บรรจุในขวดแก้วสีชา มี ความปลอดภัยจากการปนเปื้อนของโลหะหนักและควร เก็บเครื่องดื่มบำรุงกำลังไว้ในตู้แช่ (20 องศาเซลเซียส) ตลอดเวลา การเก็บเครื่องดื่มบำรุงกำลังเป็นเวลานาน ปริมาณโซเดียมถูกทำละลายมากขึ้นแม้เก็บในตู้แช่ อาจ เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น และรสของเครื่องดื่ม

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ที่ให้ทุนวิจัยและบริษัท สยามกลาส อินดัสทรี (อยุธยา)
จำกัด ในการให้ความอนุเคราะห์ขวดแก้วสำหรับทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

(1) SHELBY, J. E. Introduction to glass science
and technology, 2nd ed., UK : The Royal Society of
Chemistry, 2005.

(2) เทพีวรรณ จิตวัชรโกมล. สาเหตุและการ
ป้องกันสนิมแก้วในอุตสาหกรรมแก้ว. วิทยานิพนธ์
วท.ม. (เทคโนโลยีวัสดุ). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายสำเนา. (2539).

(3) REIMANN, C., M. BIRKE and P. FILZMOSER.
Bottled drinking water: water contamination from
bottle materials (Glass, Hard PET, Soft PET), the
influence of colour and acidification [Online].
[Viewed 12 July 2012]. Available from: [http://www.
statistik.tuwien.ac.at/public/filz/papers/10APGEO.pdf](http://www.statistik.tuwien.ac.at/public/filz/papers/10APGEO.pdf).

(4) ธวัชศักดิ์ ตั้งกิจติมศักดิ์. การเพิ่มความทนทาน
ต่อสารเคมีของบรรจุภัณฑ์แก้วสำหรับเครื่องดื่ม
โครงการวิศวกรรมวัสดุ. วศ.บ. (วิศวกรรมวัสดุ). กรุงเทพฯ
: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.

(5) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR
STANDARDIZATION. ISO 4802-1: 2010, Glassware-
Hydrolytic resistance of the interior surfaces of
glass containers — Part 1: Determination by titra-
tion method and classification.

(6) CONRADT, R. Chemical durability of
glass [Online]. [Viewed 8 April 2013]. Available
from: [http://lib3.dss.go.th/fulltext/glass/WEB/web_
dr_kanit/CU_GLASS_COURSE_DURABILITY.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/glass/WEB/web_dr_kanit/CU_GLASS_COURSE_DURABILITY.pdf)

การพัฒนาวิธีทดสอบตะกั่วในโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่ว โดยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมาออปติคอลอีมิสชันสเปกโตรเมตรี Development of test method for determination of lead in lead-free solder using inductively coupled plasma optical emission spectrometry

วันดี ลือสายวงศ์^{1*}, จิตวิไล เวฬุวนารักษ์¹
Wandee Luesaiwong^{1*}, Jitwilai Waluvanaruk¹

บทคัดย่อ

โลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วเป็นวัสดุที่มีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้แทนโลหะบัดกรีแบบเดิมที่มีส่วนผสมหลักเป็นดีบุกและตะกั่วในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การนำโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วมาใช้งานจำเป็นต้องมีการทดสอบปริมาณสารอันตราย 6 ชนิดตามระเบียบ RoHS เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าโลหะบัดกรีดังกล่าวมีปริมาณสารปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด โดยในกรณีของตะกั่วต้องมีปริมาณไม่เกิน 1000 ส่วนในล้านส่วน สำหรับการทดสอบเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่า โลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วที่ใช้มีปริมาณสารปนเปื้อนไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดสามารถทดสอบตามวิธีมาตรฐาน International Standard IEC 62321-5: 2013-edition หรือ Japanese Industrial Standard JIS Z 3910: 2008 โดยวิธีทดสอบมาตรฐานทั้งสองใช้วิธีการย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสมเข้มข้นและให้ความร้อนด้วยแท่นให้ความร้อน ซึ่งการย่อยตัวอย่างลักษณะนี้ใช้ปริมาณกรดมากและอาจก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ การพัฒนาวิธีการย่อยตัวอย่างโดยใช้ระบบปิดเช่นเครื่องย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟจะทำให้สามารถลดปริมาณกรดที่ใช้และมลภาวะที่เกิดจากระบวนการย่อย การศึกษานี้มุ่งเน้นการปรับลดปริมาณกรดและทำการย่อยด้วยเครื่องย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ เมื่อได้สภาวะการย่อยตัวอย่างที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการตรวจสอบความเหมาะสมผลของวิธีสำหรับการหาปริมาณตะกั่วในโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วโดยอินดักทีฟพลาสมาออปติคอลอีมิสชันสเปกโตรมิเตอร์ โดยศึกษาคุณลักษณะเฉพาะต่างๆ ผลการตรวจสอบความเหมาะสมผลของวิธีทดสอบนี้พบว่าไม่มีผลกระทบจากเนื้อสาร ความลำเอียงและความเที่ยงมีค่าร้อยละของค่าคืนกลับและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และค่าความไม่แน่นอนขยายของตะกั่วในโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วโดยวิธีทดสอบนี้น้อยกว่าร้อยละ ± 15 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความไม่แน่นอนเป้าหมาย ดังนั้นวิธีทดสอบที่พัฒนาและตรวจสอบความเหมาะสมผลของวิธีนี้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งห้องปฏิบัติการสามารถนำไปใช้เพื่อให้บริการต่อไป

Abstract

Lead-free solder is material developed in order to replace original solder in electric and electronic industries which mainly contains tin and lead. To use lead-free solder, it is necessary to analyze six hazardous substances according to RoHS directive to ensure that the lead-free solder contains contaminants in products under the limits of this directive which, in case of lead, its content shall not be more than

1000 ppm. For analysis to ensure that lead-free solder used contains regulated substances under the limits, two standard test methods can be used which are International Standard IEC 62321-5: 2013-edition or Japanese Industrial Standard JIS Z 3910: 2008. Both standard methods employ wet digestion using concentrated acids and heating on hotplate. These digestion methods consume more acid content and can cause air pollutant. Development of new sample digestion using closed system such as microwave digestion can reduce amount of acids used and pollutant. This study focused on reducing mixed acids and digesting sample by microwave digestion. After obtaining optimized condition for sample digestion, the process of the method validation for the determination of lead content in lead-free solder using inductively coupled plasma optical emission spectrometer was conducted to proof of certain performance characteristics. From the study, it was found that there is no matrix effect. While bias and precision studies showed that the percentage of recovery and relative standard deviations were in good agreement with the criteria. Then data from the bias and the precision study could be used to estimate measurement of uncertainty of the method. The expanded uncertainty of lead in lead-free solder by this method was less than $\pm 15 \%$, at the confidence level of 95 %. The estimation of measurement uncertainty obtained was corresponding to the target uncertainty. Therefore, it can be concluded that this validated method was fit for intended use and laboratory can use this validated method to provide testing service for customers further.

คำสำคัญ : ความสมเหตุสมผลของวิธีทดสอบ, อินดักทีฟพลาสมาออปติคัลอิมิสชันสเปกโตรเมตรี, โลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่ว

Keywords : Method Validation, Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, Lead-Free Solder

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

จากการที่ตะกั่วถูกจัดให้เป็นหนึ่งในสารอันตราย 6 ชนิดตามระเบียบว่าด้วยการจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment) หรือที่รู้จักกันในชื่อระเบียบ RoHS ทำให้วงการอุตสาหกรรมที่ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกมีความตื่นตัวในการพัฒนาโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วเพื่อนำมาใช้งานทดแทนโลหะบัดกรีแบบเดิมที่มีส่วนผสมหลักเป็นดีบุกและตะกั่วซึ่งอาจมีอัตราส่วนโดยประมาณของดีบุกและตะกั่วคือ ดีบุกร้อยละ 63 และตะกั่วร้อยละ 37 หรืออัตราส่วนอื่นเช่น ดีบุกร้อยละ 45 - 50 พลวงร้อยละ 0.5 และส่วนที่เหลือคือ ตะกั่ว การพัฒนาโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วเพื่อใช้ในงานบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ แทนตะกั่วบัดกรีแบบเดิม ต้องพิจารณาถึงสมบัติทางกายภาพและสมรรถนะของสารที่นำมาใช้ทดแทน นอกจากนี้อาจต้องพิจารณาปัจจัยประกอบในเรื่องความเป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักของการใช้สารทดแทนตะกั่ว ปริมาณสำรองของสารทดแทนที่สามารถนำมาใช้ได้ และกระบวนการถลุงสารทดแทนที่ต้องไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมหรือใช้พลังงานมากกว่าการถลุงตะกั่ว ธาตุที่มีการพิจารณาเพื่อนำมาผสมกับดีบุกทดแทนการใช้ตะกั่วมีด้วยกันหลายธาตุเช่น เงิน (Ag), บิสมัท (Bi), ทองแดง (Cu), และพลวง (Sb) เป็นต้น ซึ่งโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วที่พัฒนาขึ้นมาต้องผ่านการทดสอบสมบัติทางกายภาพต่างๆ จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ธาตุเหล่านี้ผสมกับดีบุกแล้ว สมบัติทางไฟฟ้าและทางกายภาพสามารถยอมรับได้ และจุดหลอมเหลวมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปัจจัยประกอบในเรื่องความเป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ปริมาณสำรอง และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการถลุงธาตุเหล่านี้ พบว่าลำดับความเหมาะสมของธาตุที่สามารถใช้แทนตะกั่วคือ ทองแดง บิสมัท พลวง และเงิน ตามลำดับ

สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีปริมาณสารอันตรายไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (สำหรับตะกั่วคือ 1000 ส่วนในล้านส่วน) สามารถวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน International Standard IEC 62321-5: 2013-edition (1) หรือ Japanese Industrial Standard JIS Z 3910: 2008 (2) โดยวิธีทดสอบมาตรฐานวิธีแรกใช้วิธีการย่อยตัวอย่างด้วยกรดไฮโดรคลอริก และตามด้วยการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จนกว่าการย่อยจะสมบูรณ์ โดยให้ความร้อนด้วยแท่นให้ความร้อน ซึ่งการย่อยตัวอย่างตามวิธีนี้มีโอกาสเกิดการตกตะกอนของเงิน ทำให้ได้สารละลายตัวอย่างที่ไม่ใส ขณะที่วิธีทดสอบมาตรฐานวิธีที่สองมีวิธีการหาปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคต่างๆ โดยในส่วนของหาปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคอินดักทีฟลิคิฟเฟิลพลาสมาออฟติคอลลิมิสชันสเปกโทรเมตรี ใช้วิธีการย่อยตัวอย่างประมาณ 1 กรัมด้วยกรดผสมของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นและกรดไนตริกเข้มข้น 50 มิลลิลิตร และให้ความร้อนด้วยแท่นให้ความร้อน ซึ่งการย่อยตัวอย่างลักษณะนี้ใช้ปริมาณกรดมากและอาจก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ การพัฒนาวิธีการย่อยตัวอย่างโดยใช้ระบบปิดเช่นเครื่องย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ จะทำให้สามารถลดปริมาณกรดที่ใช้และมลภาวะที่เกิดจากกระบวนการย่อย การศึกษานี้จึงเน้นการปรับลดปริมาณกรดและทำการย่อยด้วยเครื่องย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ เมื่อได้สภาวะการย่อยตัวอย่างที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีสำหรับการหาปริมาณตะกั่วในโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วโดยอินดักทีฟลิคิฟเฟิลพลาสมาออฟติคอลลิมิสชันสเปกโทรเมตรี โดยศึกษาคุณลักษณะเฉพาะต่างๆ ที่สำคัญของเทคนิคนี้ ได้แก่ ความสัมพันธ์เชิงเส้น (linearity) ขีดจำกัดในการตรวจหา (limit of detection, LOD) ขีดจำกัดการวัดปริมาณ (limit of quantitation, LOQ) ช่วงการใช้งาน (working range) ความลำเอียง (bias) ความเที่ยง (precision) ผลกระทบจากเนื้อสาร (matrix effect) และการประมาณ

ค่าความไม่แน่นอน (3.4) ผลจากการตรวจสอบความ
ลำเอียงมีค่าคืนกลับอยู่ในช่วงร้อยละ 93.6 -100.9 และ
การตรวจสอบความเที่ยงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 2 ซึ่งค่าทั้งสองอยู่ในเกณฑ์ที่
กำหนด ข้อมูลจากการศึกษาความลำเอียงสามารถ
นำมาประเมินผลกระทบจากเนื้อสารพบว่าวิธีทดสอบ
นี้ไม่มีผลกระทบจากเนื้อสาร นอกจากนี้ข้อมูลจาก
การศึกษาความลำเอียงและความเที่ยงสามารถนำมา
ใช้ประมาณค่าความไม่แน่นอนของตะกั่วในโลหะบัดกรี
ชนิดไม่มีตะกั่วด้วยวิธีทดสอบนี้ด้วย(3) โดยค่าความไม่
แน่นอนขยายของตะกั่วในโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่ว
น้อยกว่าร้อยละ ± 15 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่ง
สอดคล้องกับค่าความไม่แน่นอนเป้าหมาย ซึ่งวิธีทดสอบที่
พัฒนาและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีแล้วพบ
ว่าเหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้งาน ห้องปฏิบัติการ
สามารถนำไปใช้เพื่อให้บริการทดสอบหาปริมาณตะกั่ว
ในโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วโดยอิงค่าที่ฟิลิปปินส์
พลาสมาออฟติคอลลิมิชั่นสเปกโทรมิเตอร์

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

2.1.1 เครื่อง Inductively Coupled Plasma
Optical Emission Spectrophotometer ยี่ห้อ Perkin
Elmer รุ่น Optima 5300 พร้อมอุปกรณ์

2.1.2 เครื่องย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบ
ไมโครเวฟยี่ห้อ Anton Paar รุ่น Multiwave 3000 พร้อม
อุปกรณ์

2.1.3 เครื่องชั่งยี่ห้อ Mettler รุ่น AX 304
ความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม

2.1.4 ขวดแก้ววัดปริมาตร เกรดเอ (volumetric
flask class A) ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.1.5 ปิเปตวัดปริมาตรเกรดเอ (volumetric
pipette class A) ขนาดต่างๆ

2.2 สารมาตรฐาน สารเคมี และอื่นๆ

2.2.1 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น

1000 $\pm$ 3 มิลลิกรัมต่อลิตรจาก Merck สอบกลับได้ไป
ยัง NIST SRM # 3128

2.2.2 สารละลายมาตรฐานตะกั่วระดับ
working standard ที่ความเข้มข้น 1.0, 3.0, 5.0, 7.0,
10.0 และ 12.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยการเจือจาง
สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ด้วยกรดไนตริกร้อยละ 1

2.2.3 สารละลายมาตรฐานอิตเทรียม (Yttrium
standard solution) ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2.4 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น
และกรดไนตริก (HNO₃) เข้มข้น ชนิด AR grade

2.2.5 น้ำปราศจากไอออน(deionized water)

2.2.6 แก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์ร้อยละไม่
น้อยกว่า 99.995

2.2.7 โลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วที่เป็นวัสดุ
อ้างอิง (RM 74XCA2) ที่มีปริมาณตะกั่วร้อยละ $0.0331 \pm$
0.0007

2.2.8 ตัวอย่าง เป็นโลหะบัดกรีชนิดไม่มี
ตะกั่วที่ประกอบด้วยธาตุหลักคือ ดีบุก เงิน (ประมาณ
ร้อยละ 4) และ ทองแดง (ประมาณร้อยละ 0.5) โดยมี
ลักษณะเป็นชิ้นงานโลหะสีเงินที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน
และนำมาทำให้ได้เศษกลึงที่มีปริมาณเพียงพอสำหรับ
การศึกษาต่างๆ

2.3 วิธีการทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่องอินดักทีฟ
คัพเพิลพลาสมาออฟติคอลลิมิชั่นสเปกโทรมิเตอร์

2.3.1 ชั่งเศษกลึงโลหะบัดกรีชนิดไม่มี
ตะกั่วประมาณ 0.25 กรัม ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่างของ
เครื่องย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ

2.3.2 เติมกรดผสม (HCl 6.5 มิลลิลิตร :
HNO₃ 3.5 มิลลิลิตร) ลงในหลอดย่อยตัวอย่าง รอจน
ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

2.3.3 นำหลอดย่อยตัวอย่างบรรจุในเครื่อง
ย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ และทำการย่อย
ตัวอย่างด้วยโปรแกรมดังแสดงในตารางที่ 1 โดยใช้
ความดันสูงสุด 60 บาร์ (อัตราความดัน 0.5 บาร์ต่อ
วินาที) และอุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส

2.3.4 หลังจากกระบวนการย่อยสิ้นสุดลง และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำหลอดย่อยตัวอย่างออก และถ่ายสารละลายตัวอย่างใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2.3.5 เติมกรดผสม 10 มิลลิลิตร และ สารละลายมาตรฐานอิทเทรียม 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน

2.3.6 กรองสารละลายตัวอย่างและ วิเคราะห์ด้วยเครื่องอินดักทีฟพลาสมาออปติ คัลอีมิสชันสเปกโทรมิเตอร์โดยใช้สารละลายมาตรฐาน อิทเทรียมเป็นสารมาตรฐานภายใน (internal standard) และสารละลายมาตรฐานตะกั่วเป็นสารมาตรฐาน ภายนอก (external standard) สำหรับการสร้างกราฟ มาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่วในตัวอย่าง สามารถ คำนวณจากสมการ

$$Pb \text{ (mg/kg)} = \frac{C \times D \times V}{wt. sp.}$$

เมื่อ C คือความเข้มข้นของตะกั่วในตัวอย่างลบ ความเข้มข้นของตะกั่วในแบลนด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

D คือแฟคเตอร์ของการเจือจาง

V คือปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

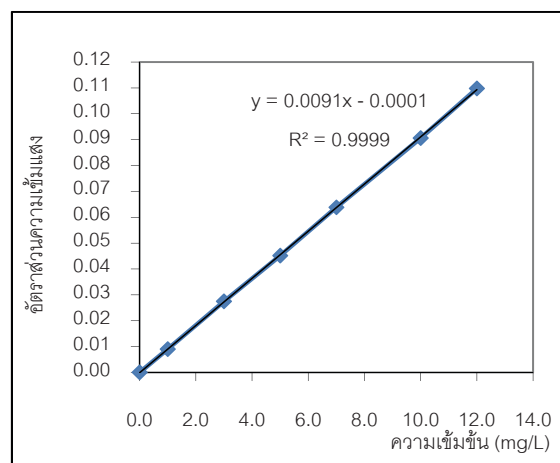
wt.sp. คือน้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ตารางที่ 1 โปรแกรมการย่อยตัวอย่างด้วยเครื่องย่อยสลายตัวอย่าง ด้วยระบบไมโครเวฟ

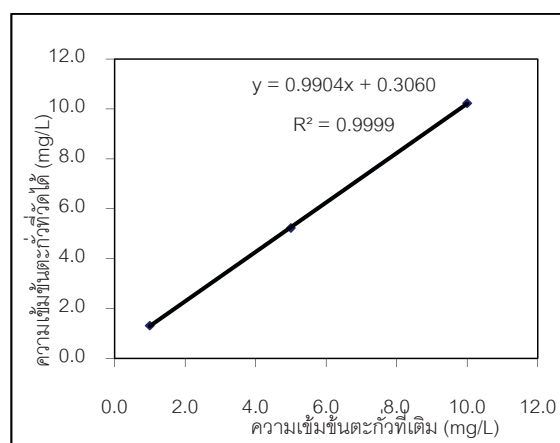
ขั้นที่	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	Ramping time(นาที)	Holding time(นาที)
1	800	5.0	-
2	800	-	25.0
3	0	-	25.0

ตารางที่ 2 คุณลักษณะเฉพาะของวิธีทดสอบ

พารามิเตอร์	
ความสัมพันธ์เชิงเส้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.0 - 12.0
ขีดจำกัดในการตรวจหา (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	3.0
ขีดจำกัดการวัดปริมาณ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	60.0
ช่วงการใช้งาน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	60.0 — 4000.0
ค่าคืนกลับ (ร้อยละ)	93.6 - 100.9
ความเที่ยง (ร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์)	2.0
ผลกระทบจากเนื้อสาร	ไม่มี
ค่าความไม่แน่นอนขยาย (ร้อยละ)	13.3



รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานของตะกั่ว



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาร มาตรฐานตะกั่วที่เติมกับความเข้มข้นของปริมาณตะกั่วที่วัดได้

ตารางที่ 3 แหล่งของค่าความไม่แน่นอนต่างๆ

แหล่งค่าความไม่แน่นอน	ค่าปริมาณ (x)	ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (u(x))	ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์ (u(x)/x)
น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	0.2548	0.0001	0.0004
ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	100	0.0408	0.0007
ปริมาตรเบลงค์ (มิลลิลิตร)	100	0.0408	0.0007
ความเที่ยง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	196.0	5.6712	0.0289
ตะกั่วในสารละลายตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.4943		0.0595
ชุดสารมาตรฐานที่ใช้สร้างกราฟ มาตรฐาน (แกน x)			0.0059

4. สรุป (Conclusion)

การศึกษานี้แสดงถึงการพัฒนาวิธีทดสอบปริมาณตะกั่วในโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วด้วยเครื่องอินดักทีฟพลาสมาออปติคัลอีมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ โดยการปรับเปลี่ยนวิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างจากวิธีมาตรฐานที่ใช้กระบวนการย่อยด้วยกรดบนแท่นให้ความร้อน มาใช้การย่อยตัวอย่างด้วยเครื่องย่อยสลายระบบไมโครเวฟที่เป็นระบบปิด ทำให้สามารถลดปริมาณกรดเข้มข้นที่ใช้และลดมลภาวะทางอากาศที่เกิดจากการย่อยด้วยกรดแบบปกติ เมื่อได้สภาวะการย่อยตัวอย่างแล้ว ได้ทำการตรวจสอบความเหมาะสมผลของวิธีทดสอบปริมาณตะกั่วในโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วที่ได้ปรับเปลี่ยน ผลจากการตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะต่างๆ ได้แก่ ความสัมพันธ์เชิงเส้น ซีดจำกัดในการตรวจหา ซีดจำกัดการวัดปริมาณ ช่วงการใช้งาน ความลำเอียง ความเที่ยง ผลกระทบจากเนื้อสาร และการประมาณค่าความไม่แน่นอน เป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด แสดงว่าวิธีทดสอบนี้เหมาะสมกับการใช้งานตามวัตถุประสงค์ ซึ่งผลการทดสอบปริมาณตะกั่วในโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วที่เป็นวัสดุอ้างอิงมีค่าร้อยละการคืนกลับอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ และค่าความไม่แน่นอนขยายอยู่ในเกณฑ์กำหนดค่าความไม่แน่นอนเป้าหมายสามารถใช้เป็นข้อมูลยืนยันได้อย่างดี จากข้อมูลทั้งหมดที่ศึกษาสามารถสรุปได้ว่าวิธีทดสอบที่ผ่านการ

ตรวจสอบความเหมาะสมผลนี้สามารถนำมาใช้ในงานทดสอบปริมาณตะกั่วในโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วเพื่อให้บริการแก่ลูกค้า

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณนางสาวนิระนารถ แจ่มทองสำหรับคำปรึกษาทางวิชาการ และขอขอบคุณนางสาวดวงกมล เขาวนศรีหมุดและนายวิระ สวนไธสง สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับเครื่อง ICP-OES รวมทั้งขอขอบคุณบริษัทไทยแลนด์สเมลต์ติ้งแอนด์รีไฟนิงจำกัดสำหรับการอนุเคราะห์ตัวอย่างโลหะบัดกรีชนิดไม่มีตะกั่วในการศึกษารั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 62321-5: 2013. Determination of certain substances in electrotechnical products — Part 5: Cadmium, lead and chromium in polymers and electronics and cadmium and lead in metals by AAS, AFS, ICP-OES and ICP-MS.
- (2) JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD. JIS Z 3910: 2008, Methods for chemical analysis of solder.
- (3) EURACHEM. Eurachem Guide: The Fitness for purpose of analytical methods, A Laboratory guide to method validation and related topics.

London : Laboratory of the government chemist,
1998.

[4] BARWICK, V. J., and S. L. R. ELLISON.
VAM Project 3.2.1 Development and Harmonisation
of Measurement Uncertainty Principles Part (d):
Protocol for uncertainty evaluation from validation
data, Version 5.1, January 2000.

[5] EURACHEM/ CITAC. Guide CG 4:
Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement,
3rd ed. London : Laboratory of the government
chemist, 2012.

[6] MILLER, J.C., and J.N. MILLER. Statistics
for analytical chemistry. 5th ed. England : Person
Education Limited, 2005.

การเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนการวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำ ที่ได้จากการประมาณค่าตามแนวทาง ISO/GUM และแนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี Comparison of measurement uncertainty between ISO/GUM and method validation approach of mercury measurement in drinking water sample

นีระนารถ แจ่มทอง¹
Neeranart Chaengthong¹

บทคัดย่อ

ผลการทดสอบทางเคมีต้องมีความน่าเชื่อถือทางมาตรวิทยาเคมี และต้องมีการรายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัด เนื่องจากค่าความไม่แน่นอนของการวัดมีความสำคัญต่อการตัดสินใจผลการทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ค่าผลทดสอบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์กำหนดที่ใช้ในการตัดสินใจ กำหนดมาตรฐานสากล ISO/IEC 17025:2005 จึงได้กำหนดให้ห้องปฏิบัติการต้องมีวิธีดำเนินการในการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัดเป็นแนวทางไว้สำหรับปฏิบัติ โดยต้องพิจารณาองค์ประกอบความไม่แน่นอนที่สำคัญทั้งหมดและใช้วิธีการคำนวณที่เหมาะสม บทความนี้จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของการวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำโดยเทคนิควิธี Flow Injection Atomic Absorption Spectrometry โดยใช้แนวทาง ISO/GUM และแนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี(method validation)

การศึกษาพบว่าแหล่งค่าความไม่แน่นอนตามแนวทาง ISO/GUM ได้แก่ ความเที่ยง ปริมาตรตัวอย่าง ปริมาตรเบลงค์ ความเข้มข้นของตัวอย่างที่วัดโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ส่วนแหล่งค่าความไม่แน่นอนตามแนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี ได้แก่ ความเที่ยงและความลำเอียง ค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่ได้ค่าเท่ากับ 8.5 % และ 11% ตามลำดับ การประมาณค่าความไม่แน่นอนที่กล่าวในบทความนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวิธีทดสอบที่มีการวัดโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

Abstract

Measurement results from chemical testing laboratories that can be internationally acceptable need to apply Metrology in Chemistry (MiC) which is an important science of measurement. The key principles of MiC includes metrological traceability, method validation and uncertainty of measurement which are the factors that laboratories need to demonstrate to comply with ISO/IEC 17025. This studies concerned with comparison of the estimation of measurement uncertainty of determination of mercury in drinking water by using ISO/GUM approach and method validation approach.

There were many sources of uncertainties when using ISO/GUM approach such as precision, volumes of samples, volumes of blank and concentration of samples. Meanwhile method validation approach had only precision and bias. It was found that the expanded uncertainties were 8.5 % and 11%, respectively. The estimation of measurement uncertainty in this paper can be applied to other measurement methods that using calibration curves.

คำสำคัญ : ค่าความแน่นอนการวัด, ปรอท, กราฟมาตรฐาน

Keywords : Measurement uncertainty, Mercury, Calibration curve

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ปรอทเป็นสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ เมื่อปรอทเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตทันทีและกระจายไปยังสมองและส่วนอื่น ๆ ของร่างกายได้อย่างรวดเร็ว หากร่างกายได้รับสารปรอทสะสมเป็นเวลานานจะทำให้มือและใบหน้าเกิดอาการบวมและเจ็บ บางคนอาจเกิดอาการเหน็บชาบางส่วนจนเป็นอัมพาตโรคที่เกิดจากปรอท เรียกว่า โรคมินามาตะ(1) มาตรฐานน้ำบริโภค มอก. 257-2549 (2) กำหนดให้มีปรอทได้ไม่เกิน 1 $\mu\text{g/L}$ การทดสอบหาปริมาณปรอทสามารถดำเนินการโดยใช้ Vapor generator ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประกอบด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer หรือใช้เทคนิค Flow Injection Atomic Absorption Spectrometry ซึ่งมีการเปลี่ยนไอออนปรอทให้เป็นปรอทที่สถานะเป็นก๊าซ แล้วตรวจวัดด้วยหลอดโฟโตมัลติไฟเออร์ อย่างไรก็ตามการรายงานผลการทดสอบต้องมีการรายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัดด้วย เพื่อให้ผลการวัดที่น่าเชื่อถือถูกต้องทางมาตริวิทยาเคมีเนื่องจากค่าความไม่แน่นอนของการวัดมีความสำคัญต่อการตัดสินใจผลการทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ค่าผลทดสอบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์กำหนดที่ใช้ในการตัดสินใจ กำหนดมาตรฐานสากล ISO/IEC 17025:2005 (3) จึงได้กำหนดให้ห้องปฏิบัติการต้องมีวิธีดำเนินการในการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัดเป็นแนวทางไว้สำหรับปฏิบัติ โดยต้องพิจารณาองค์ประกอบความไม่แน่นอนที่สำคัญทั้งหมดและใช้วิธีการคำนวณที่เหมาะสมบทความนี้จะกล่าวถึง การเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของการวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิค Flow Injection Atomic Absorption Spectrometry โดยใช้แนวทาง ISO/GUM (4) และแนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี(method validation) (5)

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วิธีทดสอบ

ประยุกต์ใช้วิธีทดสอบตาม Standard methods for the examination of water and wastewater.22nd ed. Washington, D.C. : American Public Health Association, 2012, Part 3500-Hg (6)

2.2 การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีทดสอบ (7)

คุณลักษณะเฉพาะของวิธีทดสอบที่ตรวจสอบเพื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าความไม่แน่นอนการวัด ได้แก่ ความลำเอียง (bias) และความเที่ยง (precision) การศึกษาความลำเอียงและความเที่ยงโดยใช้ spiked sample ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานปรอทลงในตัวอย่างน้ำที่ระดับความเข้มข้น 0.6, 5.0 และ 9.0 $\mu\text{g/L}$ ความเข้มข้นละ 10 ซ้ำในภาวะ repeatability และ intermediate repeatability ตามลำดับ แล้วคำนวณค่าคืนกลับ (recovery) ค่าคืนกลับเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (relative standard deviation)

2.3 การประมาณค่าความไม่แน่นอนการวัด (4)

2.3.1 หาแหล่งค่าความไม่แน่นอนการวัด (Identify sources of uncertainty) โดยใช้แผนภูมิแกงปลา

2.3.2 หาปริมาณค่าความไม่แน่นอน (Quantifying uncertainty) และคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม (Calculating the combined uncertainty : uc)

2.3.3 คำนวณค่าความไม่แน่นอนขยาย (Calculating the expanded uncertainty: U)

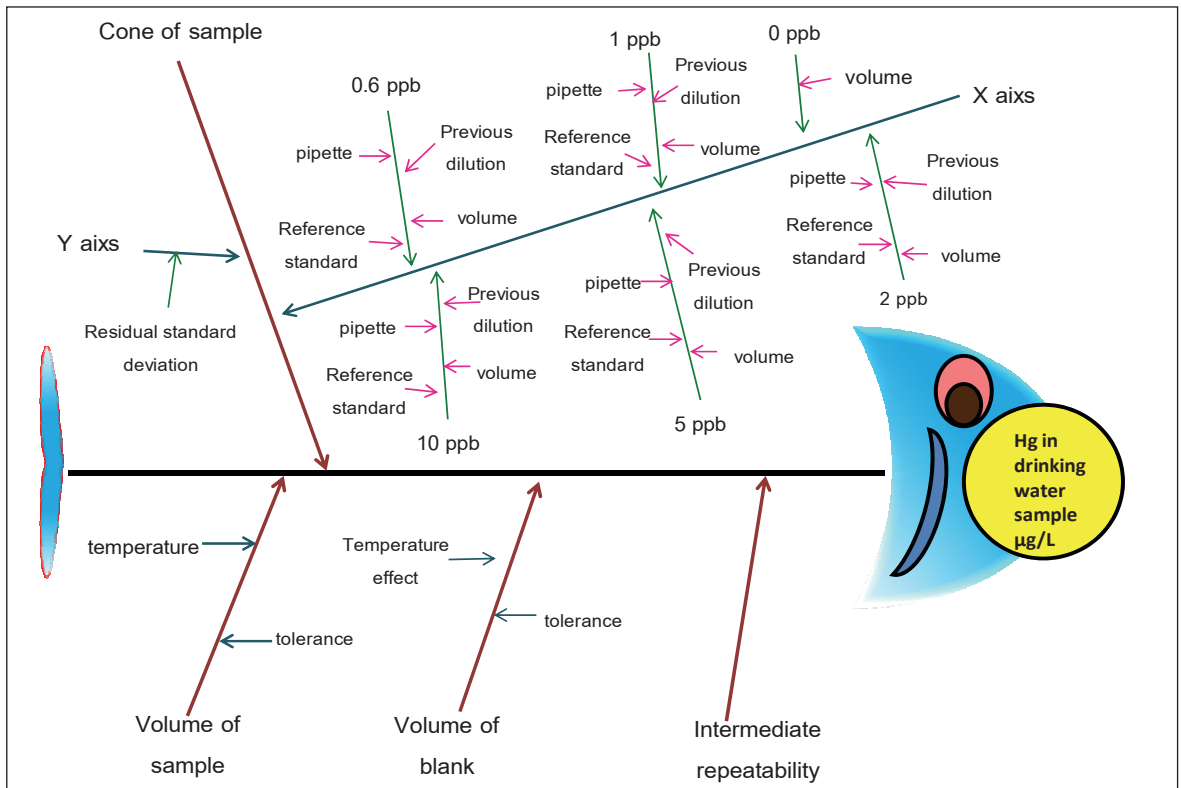
2.3.4 รายงานผลการทดสอบในรูป $\bar{X} \pm U$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีจำนวนเลขนัยสำคัญของค่าความไม่แน่นอนไม่เกินสองตำแหน่งและให้ปิดผลการทดสอบเฉลี่ยให้เท่ากับทศนิยมตำแหน่งสุดท้ายของค่าความไม่แน่นอน

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การประมาณค่าความไม่แน่นอนโดยใช้แนวทาง ISO/GUM (4)

3.1.1 แหล่งค่าความไม่แน่นอนการวัด

ปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำโดยใช้แนวทาง ISO/GUM
แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมิการแสดงผลค่าความไม่แน่นอนการวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำโดยใช้แนวทาง ISO/GUM (4)

3.1.2 หาปริมาณค่าความไม่แน่นอนและคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม จากแผนภูมิการแสดงผลรูปที่ 1 ค่าความไม่แน่นอนแต่ละแหล่งและค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน ได้แก่

1) การทำซ้ำ (Repeatability; u_{rep}) เป็นค่าความไม่แน่นอนชนิด A มาจากการตรวจสอบความเที่ยงของวิธีทดสอบ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 0.0342

- ความคลาดเคลื่อนของวัดปริมาตรขนาด 100 mL มีค่า ± 0.10 mL

$$\text{ความไม่แน่นอนมาตรฐาน} = 0.10 / \sqrt{6} = 0.0408 \text{ mL}$$

- ผลของอุณหภูมิมีค่า $= 2.1 \times 10^{-4} \times 10 \times 100 = 0.21$ mL

$$\text{ความไม่แน่นอนมาตรฐาน} = 0.21 / \sqrt{3} = 0.1212 \text{ mL}$$

ค่าความไม่แน่นอนรวมของวัดปริมาตรขนาด 100 mL ที่ใช้เตรียมตัวอย่างและแปลง

$$u_{V100sp} = u_{V100bl} = \pm \sqrt{0.0408^2 + 0.1212^2} = 0.1279 \text{ mL}$$

2) ปริมาตรแปลงและปริมาตรตัวอย่าง (u_{V100bl} , u_{V100sp})

ค่าความไม่แน่นอนนี้มาจากข้อวัดปริมาตรขนาด 100 mL มีค่าความไม่แน่นอนย่อย 3 แหล่ง คือ ความคลาดเคลื่อน ผลของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่สอบเทียบเครื่องแก้วกับอุณหภูมิที่นำเครื่องแก้วมาใช้ และการทำซ้ำแต่ค่านี้ได้รวมอยู่กับการทำซ้ำของการทดสอบแล้ว

1) ค่าความไม่แน่นอนของความเข้มข้นของปรอท แบ่งเป็น 2 แหล่ง ดังนี้

3.1) ความไม่แน่นอนแกน y จาก residual standard deviation ของกราฟมาตรฐาน: $u(c_0)$

สมการ Regression ของกราฟมาตรฐานเป็น $A_j = c_j B_1 + B_0$

เมื่อ A_j = ค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่ j ของสารละลายมาตรฐานลำดับที่ j

c_j = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานลำดับที่ j

B_1 = slope ของกราฟมาตรฐาน

B_0 = intercept ของกราฟมาตรฐาน

$$u(c_0) = \frac{S}{B_1} \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(c_0 - \bar{c})^2}{S_{xx}}}$$

เมื่อ S คือ residual standard deviation ซึ่งคำนวณจาก

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n [A_j - (B_0 + B_1 c_j)]^2}{n - 2}} \quad \text{และ} \quad S_{xx} = \sum_{j=1}^n (c_j - \bar{c})^2$$

p = จำนวนครั้งของการวัดเพื่อหาค่าความเข้มข้นของตัวอย่าง (c_0)

n = จำนวนครั้งของการวัดสารมาตรฐานเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน

c_0 = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่วัดได้

$\bar{c}$ = ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารมาตรฐานปรอทที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐาน

j = ตัวเลขแสดงหมายเลขของค่าที่วัดได้ของสารมาตรฐานที่ใช้สร้างกราฟ

การวัดสารละลายมาตรฐานปรอทที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานความเข้มข้น 0.0, 0.6, 1.0, 2.0, 5.0 และ 10.0 $\mu\text{g/L}$ วัดความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ จากการทดลองพบว่า $B_1 = 0.0193$, $B_0 = 0.00193$ คำนวณค่า S และค่า S_{xx} โดยแทนค่า A_j , c_j ทุกค่าในสูตร ได้ $S = 0.00143$ และ $S_{xx} = 166.24$ ถ้า $c_0 = 2.0 \mu\text{g/L}$ ดังนั้น

$$u(c_0) = \frac{0.00143}{0.0193} \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{18} + \frac{(2 - 3.10)^2}{166.24}} = 0.0457 \mu\text{g/L}$$

3.2) ความไม่แน่นอนแกน x จากการทำเจือจางสารละลายมาตรฐาน : u_{std}

การเจือจางสารละลายมาตรฐานต้องใช้ปิเปตและขวดวัดปริมาตร ซึ่งมีแหล่งค่าความไม่แน่นอนย่อย 3 แหล่ง คือ ความคลาดเคลื่อน ผลของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่สอบเทียบเครื่องแก้วกับอุณหภูมิที่นำเครื่องแก้วมาใช้ และการทำซ้ำ แต่การเจือจางสารละลายมาตรฐานทำในเวลาใกล้เคียงกันมาก ๆ และ

ภาวะเดียวกัน จึงสามารถตัดค่าความไม่แน่นอนจากอุณหภูมิออกไปได้

ในที่นี้ขอยกตัวอย่างการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้น 10 $\mu\text{g/L}$ (ลำดับการเจือจางแสดงในรูปที่ 2)

- สารละลายมาตรฐานปรอท 1000 mg/L มีความไม่แน่นอนมาตรฐาน = $2/\sqrt{3} = 1.1547$ mg/L

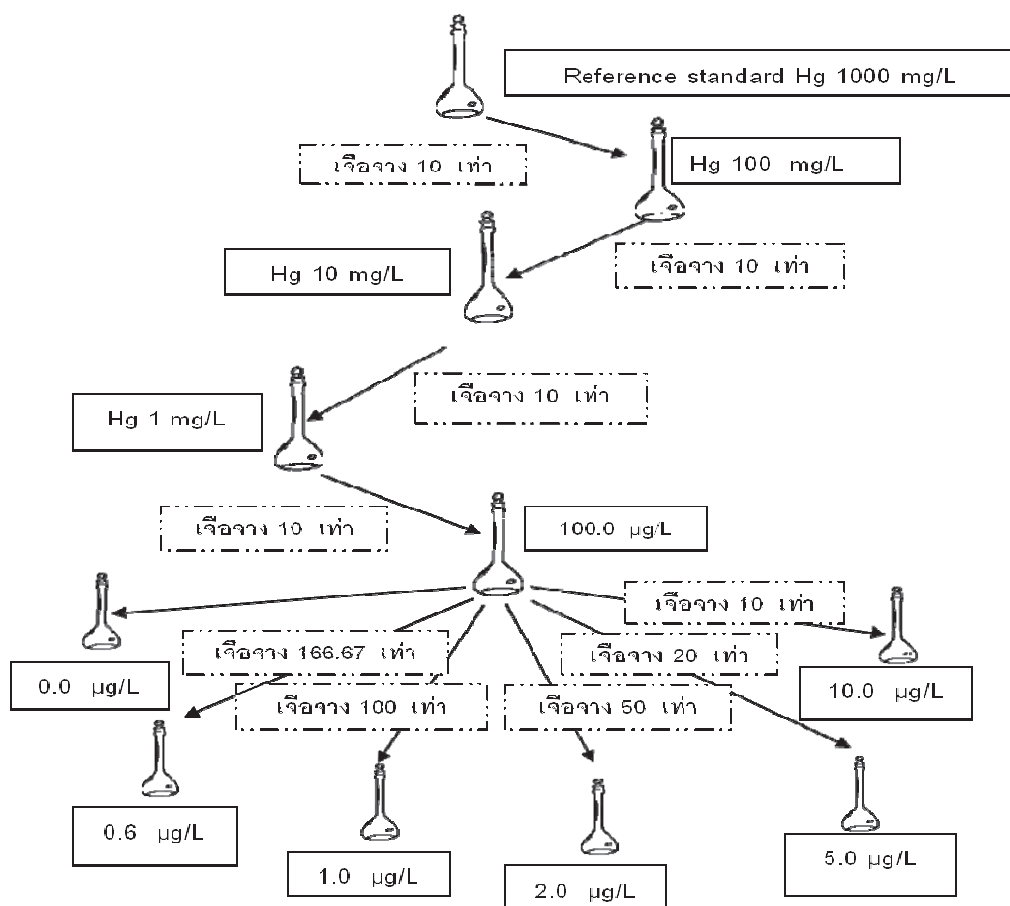
- การเตรียมสารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้น 10 µg/L มีการเจือจาง 10 เท่า 5 ครั้ง แหล่งค่าความไม่แน่นอนย่อยดังต่อไปนี้

ปิเปตขนาด 10 mL ความคลาดเคลื่อนมีค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน = $0.02/\sqrt{6} = 0.0082$ mL และการทำซ้ำมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.0058 mL

ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมของปิเปตขนาด 10 mL $u_{p10} = \sqrt{0.0082^2 + 0.0058^2} = 0.0100$ mL

ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL ความคลาดเคลื่อนมีค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน = $0.01/\sqrt{6} = 0.00408$ mL และการทำซ้ำมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.0108 mL

ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมของขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL $u_{v100} = \sqrt{0.00408^2 + 0.0108^2} = 0.0116$ mL



รูปที่ 2 ลำดับการเจือจางสารละลายมาตรฐานปรอทเพื่อใช้สร้างกราฟมาตรฐาน

ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมของการเจือจาง 10 เท่า

$$\frac{u_{\text{dil } 10}}{\text{dil } 10} = \sqrt{\left(\frac{u_{p10}}{10}\right)^2 + \left(\frac{u_{v100}}{100}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.0100}{10}\right)^2 + \left(\frac{0.0422}{100}\right)^2} = 0.00109$$

ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้น 10 µg/L

$$\frac{u_{C10\mu\text{g/L}}}{10} = \sqrt{\left(\frac{u_{C\text{stock}}}{C\text{stock}}\right)^2 + 5\left(\frac{u_{\text{dil}10}}{\text{dil}10}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1.1547}{1000}\right)^2 + 5 \times 0.00109^2} = 0.0027$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าความไม่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้น 0, 0.6, 1, 2 และ 5 µg/L ในรูป relative standard uncertainty มีค่าเท่ากับ 0.0004, 0.0078, 0.0076, 0.0047 และ 0.003 ตามลำดับ

ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม : u_{std} คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{u_{\text{std}}}{2.0} &= \sqrt{\left(\frac{u_{C0.6\text{ppb}}}{0.6}\right)^2 + \left(\frac{u_{C1.0\text{ppb}}}{1.0}\right)^2 + \left(\frac{u_{C2.0\text{ppb}}}{2.0}\right)^2 + \left(\frac{u_{C5.0\text{ppb}}}{5.0}\right)^2} \\ &\quad + \sqrt{\left(\frac{u_{C10.0\text{ppb}}}{10}\right)^2 + \left(\frac{u_{C0\text{ppb}}}{0}\right)^2} \\ &= \sqrt{0.0078^2 + 0.0076^2 + 0.0047^2 + 0.0030^2 + 0.0027^2 + 0.0004^2} = 0.013 \end{aligned}$$

3.1.3 คำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม และค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1) คำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

$$\begin{aligned} u_c &= C_0 \sqrt{\left(\frac{u_{\text{rep}}}{\bar{X}}\right)^2 + \left(\frac{u_{v100\text{bl}}}{V_{100\text{bl}}}\right)^2 + \left(\frac{u_{v100\text{sp}}}{V_{100\text{sp}}}\right)^2 + \left(\frac{u(C_0)}{C_0}\right)^2 + \left(\frac{u_{\text{std}}}{C_0}\right)^2} \\ &= 2 \sqrt{(0.0342)^2 + \left(\frac{0.1279}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.1279}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.0457}{2}\right)^2 + 0.013^2} \\ &= 0.0835 \text{ } \mu\text{g / L} \end{aligned}$$

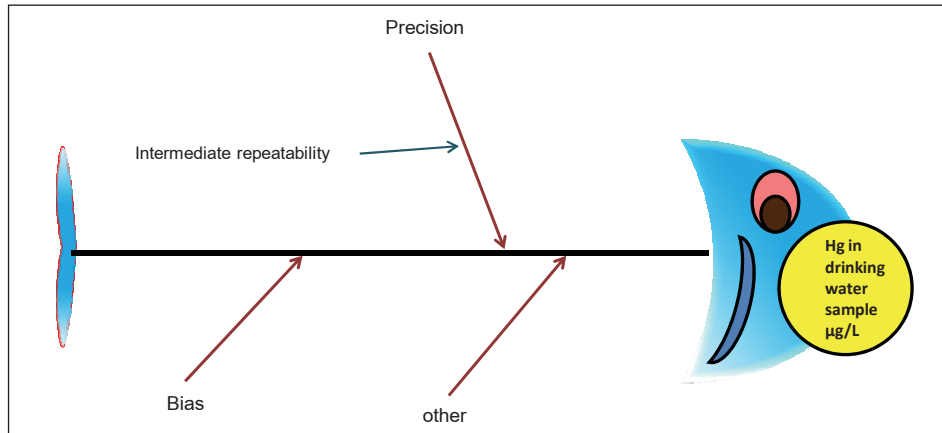
2) คำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$$U = k_{u_c} = 2 u_c = 2 \times 0.0835 = 0.1670 \text{ } \mu\text{g/L}$$

3.1.4 การรายงานผล ปรอท = $2.00 \pm 0.17 \text{ } \mu\text{g/L}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2 การประมาณค่าความไม่แน่นอนโดยใช้
แนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสม
ผลของวิธี (7)

3.2.1 แหล่งค่าความไม่แน่นอนการวัด
ปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำโดยใช้แนวทางการใช้ข้อมูล
จากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี แสดงใน
รูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิแก่งปลาแสดงแหล่งค่าความไม่แน่นอนการวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำ (5)
โดยใช้แนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี

3.2.2 การหาปริมาณค่าความไม่แน่นอน

จากแผนภูมิแก่งปลารูปที่ 3 ค่าความไม่แน่นอนแต่ละแหล่งและค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน ได้แก่

- 1) การทำซ้ำ : u_{rep} เป็นค่าความไม่แน่นอนชนิด A มาจากการตรวจสอบความเที่ยงของวิธีทดสอบ มีค่า
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เท่ากับ 0.0342
- 2) ความลำเอียง มี 2 แหล่ง คือ $u(\bar{R}_m)$ เป็นตัวแทนของวิธีทดสอบ พิจารณาจากค่าความเข้มข้น
ระดับกลางที่ใช้ศึกษาความลำเอียงของวิธีซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 µg/L และ $u(\bar{R}_s)$ เป็นตัวแทนของช่วงใช้งาน

$$- u(\bar{R}_m) \text{ คำนวณจาก } u(\bar{R}_m) = \bar{R}_m \times \sqrt{\left(\frac{s_{obs}^2}{n \times \bar{C}_{obs}^2} \right) + \left(\frac{u(C_{spike})}{C_{spike}} \right)^2}$$

$\bar{R}_m$ = ค่าคืนกลับเฉลี่ย

s_{obs} = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบซ้ำ spike sample ในภาวะ repeatability

n = จำนวนครั้งที่ทดสอบซ้ำ = 10

$u(C_{spike})$ = ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงใน spike sample

C_{spike} = ค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงใน spiked sample = 5.0 µg/L

$$\frac{u(C_{spike})}{C_{spike}} = \sqrt{\left(\frac{u(C_{std})}{C_{std}} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{\sqrt{3} \times 1000} \right)^2} = 0.00115$$

$$\bar{R}_m = \frac{\bar{C}_{obs}}{C_{spike}} = \frac{4.9747}{5.0} = 0.9884$$

$$u(\bar{R}_m) = 0.9884 \times \sqrt{\left(\frac{0.041^2}{10 \times 4.97^2}\right) + (0.00115)^2} = 0.00282$$

ตรวจสอบความมีนัยสำคัญของความลำเอียง ซึ่งต้องพิจารณาว่าค่าคืนกลับแตกต่างจาก 1 หรือไม่ โดยใช้ t- test

$$t_{\text{คำนวณ}} = \frac{|1 - \bar{R}_m|}{u(\bar{R}_m)} = \frac{|1 - 0.9884|}{0.00282} = 4.11$$

พิจารณาค่า $t_{\text{คำนวณ}}$ เทียบกับค่า coverage factor (k) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % มีค่าเท่ากับ 2 จะเห็นว่า $t_{\text{คำนวณ}}$ มีค่ามากกว่า 2 ดังนั้นค่าคืนกลับจึงแตกต่างจาก 1 อย่างมีนัยสำคัญ คำนวณ $u(\bar{R}_m)^{//}$ โดยนำค่าความลำเอียงไปรวมกับค่าความไม่แน่นอนของผลการวัด ดังนี้

$$\frac{u(\bar{R}_m)^{//}}{\bar{R}_m} = \sqrt{\left(\frac{1 - \bar{R}_m}{k}\right)^2 + u(\bar{R}_m)^2} = \sqrt{\left(\frac{1 - 0.9884}{2}\right)^2 + (0.00282)^2} = 0.0064$$

- $u(\bar{R}_s)$ หาได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคืนกลับเฉลี่ยของตัวอย่างตลอดช่วงใช้งาน

$$\frac{u(\bar{R}_s)}{\bar{R}_s} = \text{SD} = 0.0423 \text{ mg/L}$$

คำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมของความลำเอียง

$$\frac{u(R)}{R} = \sqrt{\left(\frac{u(\bar{R}_m)^{//}}{\bar{R}_m}\right)^2 + \left(\frac{u(\bar{R}_s)}{\bar{R}_s}\right)^2} = \sqrt{0.0064^2 + 0.0423^2} = 0.0428$$

3) ค่าความไม่แน่นอนแหล่งอื่น ๆ

การศึกษาความลำเอียงและความเที่ยงของวิธีทดสอบมีการใช้ปิเปตและขวดวัดปริมาตรขนาดต่าง ๆ แบบสุ่มในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ผลกระทบของเครื่องแก้ว

เชิงปริมาตรที่ใช้และภาวะแวดล้อมจึงได้รวมไว้กับค่าความไม่แน่นอนจากความลำเอียงและความเที่ยงแล้ว

3.2.3 คำนวณค่าความไม่แน่นอน

มาตรฐานรวมและค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1) คำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

$$\frac{u_c}{C} = \sqrt{\left(\frac{u(R)}{R}\right)^2 + \left(\frac{u_{\text{rep}}}{\bar{X}}\right)^2} = \sqrt{0.0428^2 + 0.0342^2} = 0.0548$$

$$u_c = 0.0548 \times 2.0 = 0.1096 \text{ } \mu\text{g} / \text{L}$$

2) คำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$$U = k u_c = 2 u_c = 2 \times 0.1096 = 0.2191 \text{ } \mu\text{g/L}$$

3.2.4 การรายงานผล ปรัช = $2.00 \pm 0.22 \text{ } \mu\text{g/L}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.3 การเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากแนวทาง ISO/GUM และแนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี

ตารางที่ 1 จะเห็นว่าแนวทาง ISO/GUM มีแหล่งค่าความไม่แน่นอนจำนวนมากที่ได้จากการพิจารณาขั้นตอนการทดสอบ เครื่องมือหลัก เครื่องแก้วเชิงปริมาตร รวมทั้งสารมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ ส่วนแนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีพิจารณาแหล่งค่าความไม่แน่นอนในภาพรวมโดยใช้ค่าความไม่แน่นอนจากการศึกษาความลำเอียงและความเที่ยงของวิธีทดสอบ ซึ่งได้มีการรวมผลกระทบจากเครื่องแก้วและภาวะแวดล้อมไว้แล้ว

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณค่าความไม่แน่นอนจากแนวทาง ISO/GUM และแนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี

แหล่งค่าความไม่แน่นอน	ค่าความไม่แน่นอนในรูป relative standard uncertainty	
	แนวทาง ISO/GUM	แนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี
ความเที่ยง (u_{pre})	0.0342	0.0342
ปริมาตรตัวอย่าง ($u_{Vsample}$)	0.00128	-
ปริมาตรเบลงค์ (u_{Vblank})	0.00128	-
$u(c_0)$	0.02285	
u_{std}	0.013	
ความลำเอียง ($u(\bar{R}_m)''$)	-	0.0064
ความลำเอียง ($u(\bar{R}_S)$)	-	0.0423
ค่าความไม่แน่นอนขยาย (U) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, $\mu\text{g/L}$	0.17	0.22
ผลการวัดปรอท, $\mu\text{g/L}$	2.0	2.0
คิดเป็นร้อยละ	8.5	11.0

4. สรุป (Conclusion)

การศึกษาพบว่าค่าความไม่แน่นอนการวัดปริมาณปรอทในน้ำที่ได้จากแนวทาง ISO/GUM มีค่าเท่ากับ 8.5 % ส่วนค่าความไม่แน่นอนการวัดที่ได้จากแนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธี เท่ากับ 11% แต่การประมาณค่าความไม่แน่นอนตามแนวทาง ISO/GUM มีแหล่งค่าความไม่แน่นอนที่ต้องพิจารณาจำนวนมากจึงต้องใช้เวลามากกว่าแนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีจึงอาจเป็นทางเลือกของห้องปฏิบัติการทดสอบได้เนื่องจากเป็นวิธีที่ดำเนินการได้ง่ายและสะดวกกว่าอย่างไรก็ตามการเลือกใช้แนวทางใดห้องปฏิบัติการ

ต้องพิจารณาความเหมาะสมแก่วัตถุประสงค์การใช้งานเป็นหลัก รวมทั้งพิจารณาค่าใช้จ่ายประกอบด้วย (4) การประมาณค่าความไม่แน่นอนที่กล่าวในบทความนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวิธีทดสอบที่มีการวัดโดย

เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน เช่น การทดสอบด้วย UV-VIS, FAAS, GFASS, ICP-OES, ICP-MS

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในกลุ่มน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภคและอุตสาหกรรม โครงการเคมี และเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ช่วยเหลือเป็นกำลังใจให้การดำเนินงานในครั้งนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

(1) มลพิษจากโลหะหนัก. [Online]. (อ้างถึง วันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2557). เข้าถึงจาก: http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter2/chapter2_airpolution11.htm.

(2) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม : มอก. 257-2549. น้ำบริโภค.

(3) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION/ INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ISO/IEC 17025 : 2005, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

(4) EURACHEM/ CITAC. Guide CG4 : quantifying uncertainty in analytical measurement, 3rd ed. [Online]. 2012. [Viewed 18 April 2014]. Available from: <http://www.eurachem.org>.

(5) BARWICK, V.J., and S.L.R. ELLISON. VAM Project 3.2.1 development and harmonisation of measurement uncertainty principles. Part(d) : protocol for uncertainty evaluation from validation data. Version 5.1.2000. [Viewed 18 April 2014]. Available from: http://www.sadcmef.org/waterpt/disc%20measurement%20uncertainty/at01_VAM_uncertainty.pdf

(6) AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, and WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington, D.C. : American Public Health Association, 2012, Part 3500-Hg.

(7) EURACHEM. Guide: the fitness for purpose of analytical methods, a laboratories guide for method validation and related topics. [Online]. 1998 - [18 April 2014]. Available from: <http://www.eurachem.org>.

การสำรวจเบื้องต้น: ปัญหาของคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ของคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภคชุมชน A preliminary survey: Problems of physical and chemical properties of community consumption water quality

สุภาพร โค้วณฤมิตร¹, อังสนา ฉั่วสุวรรณ¹, พิษณุภา ราชธรรมมา¹, อังคัรวรา พูลเกษม¹, อรุณ คงแก้ว¹
Supaporn Kownarumit¹, Aungsana Chuasuwan¹, Phitchayapa Ratchathumma¹, Angwara Poolkasem¹,
Arun Kongkaew¹

บทคัดย่อ

การสำรวจปัญหาเบื้องต้นของคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภคในชุมชนจากจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทย จำนวน 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดแพร่ จังหวัดหนองบัวลำภู จังหวัดนครพนม จังหวัดบึงกาฬ และ จังหวัดสกลนคร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภค เพื่อทดสอบคุณภาพน้ำตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ.2524) และฉบับที่ 135 (พ.ศ.2534) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ให้เป็นเกณฑ์ในการจดทะเบียนน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่วางจำหน่ายในประเทศไทย วัดดูประสงค์ของการตรวจสอบคุณภาพน้ำในครั้งนี้เพื่อสำรวจปัญหาคุณภาพน้ำดิบ (น้ำบ่อ น้ำบาดาล น้ำจากบ่อน้ำตื้น และน้ำแม่น้ำ) คุณภาพน้ำประปาทั้งประปาผิวดินและประปาบาดาล เฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี โดยมีรายการทดสอบ จำนวน 26 รายการ เพื่อใช้ข้อมูลเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพน้ำให้บริโภคได้ รวมถึงเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกซื้อเครื่องกรองน้ำดื่มให้เหมาะสมกับคุณภาพแหล่งน้ำ และเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่มว่ามีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคหรือไม่ จากผลการสำรวจคุณภาพของตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภค พบว่า ตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำฝนซึ่งเป็นแหล่งน้ำบริโภคในชีวิตประจำวันของชุมชน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคทุกตัวอย่าง แต่น้ำผ่านเครื่องกรองซึ่งชุมชนใช้เป็นน้ำอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวัน ส่วนใหญ่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค ส่วนน้ำประปาและน้ำดิบ ส่วนใหญ่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค อย่างไรก็ตามน้ำเหล่านี้ชุมชนมิได้นำมาบริโภคโดยตรง ปัญหาของน้ำอุปโภคบริโภคชุมชนที่พบในการสำรวจครั้งนี้ มีจำนวน 14 รายการ ได้แก่ สี กลิ่น ความขุ่น ค่าความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด ซัลเฟต คลอไรด์ ไนเตรต เหล็ก แมงกานีส แคลเซียม อะลูมิเนียม และเงิน

Abstract

Problems of physical and chemical quality of consumption water in requested communities in Thailand were a preliminary survey. The consumption water samples of the communities in Phrae, Nong Bua Lam Phu, Nakhon Phanom, Bungkarn and Songkha province were collected for testing the physical and chemical properties (26 items) of the water according to Thai drinking water standards: Notification No. 61 (2524) and No. 135 (2534). The standards were approved by the Food and Drug Administration (FDA), used as the regulation for bottled drinking water that is available in Thailand. The purpose of the survey was to explore the quality problems of raw water (well water, deep well water, shallow well water

and river water), also the tap water from both groundwater and deep well water. The obtained information will be used as guidance for improvement of the water quality to meet the standard of consumption water, as well as for choosing a proper drinking water filter system to fit the existing water source quality. Results showed that all the bottled drinking water and rain water consuming in the community daily lives were met the quality standards. Most of the tap water, and raw water did not meet the drinking water standard; however, these types of water were not consumed directly. The problems of community consumption water quality found in this survey comprised 14 items, namely color, odor, turbidity, pH, total solids, total hardness, sulfate, chloride, barium, nitrate, iron, manganese, aluminium and silver. concerned with comparison of the estimation of measurement uncertainty of determination of mercury in drinking water by using ISO/GUM approach and method validation approach.

There were many sources of uncertainties when using ISO/GUM approach such as precision, volumes of samples, volumes of blank and concentration of samples. Meanwhile method validation approach had only precision and bias. It was found that the expanded uncertainties were 8.5 % and 11%, respectively. The estimation of measurement uncertainty in this paper can be applied to other measurement methods that using calibration curves.

คำสำคัญ : การสำรวจเบื้องต้น, คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี, น้ำอุปโภคบริโภค, แหล่งน้ำชุมชน

Keywords : Preliminary water survey, physical and chemical water quality, consumption water

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

จากการสำรวจของสำนักงานสถิติแห่งชาติ (1, 2) พบว่าคนไทยมีน้ำอุปโภคบริโภคมาจากน้ำ 4 ประเภท ได้แก่ น้ำดื่มบรรจุขวด น้ำฝน น้ำประปา และน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น น้ำบ่อ น้ำบาดาล น้ำจากแม่น้ำ ซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยต่อวันเพิ่มจาก 36 ลิตรต่อวัน ในปี 2549 เป็น 48 ลิตรต่อวัน ในปี 2555 น้ำอุปโภคบริโภคมีสิ่งต่าง ๆ ละลายหรือเจือปนอยู่มากมาย ทั้งมองเห็นและไม่เห็นด้วยตาเปล่า สิ่งเจือปนในน้ำอาจมีคุณประโยชน์หรือเป็นโทษต่อผู้บริโภคได้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณ น้ำที่มองด้วยตาเปล่าว่าใสอาจมีสารบางชนิดอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ จึงต้องทำการตรวจสอบคุณภาพของน้ำเหล่านี้ก่อนที่จะบริโภค หากคุณภาพน้ำไม่เป็นไปตามมาตรฐานควรทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการใช้สารเคมีบางตัว หรือผ่านเครื่องกรองน้ำที่เหมาะสมให้คุณภาพน้ำได้มาตรฐานน้ำบริโภคก่อนนำไปบริโภค มาตรฐานน้ำบริโภคของประเทศไทยมีหลายมาตรฐาน แต่มาตรฐานที่นิยมและจำเป็นต้องขอเครื่องหมาย อย. ถ้าจะผลิตน้ำดื่มเพื่อจำหน่าย ได้แก่ มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท (3) ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ซึ่งได้แก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) (4) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ควบคุมคุณภาพน้ำทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเกี่ยวกับจุลินทรีย์ ในบทความนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการตรวจสอบทางกายภาพและเคมี จำนวน 26 รายการ ได้แก่ สี กลิ่น ความขุ่น ค่าความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด ฟลูออไรด์ คลอไรด์ ไนเตรต เหล็ก แมงกานีส

สังกะสี ทองแดง สารหนู แร่เยียม แคดเมียม โครเมียม โปรท ฟีนอล ซีลีเนียม เงิน ซัลเฟต อะลูมิเนียม อัลซิลเบนซีนซัลโฟเนต โซดาไนต์ และตะกั่วการผลิตน้ำจะมีคุณภาพได้มาตรฐานหรือไม่ นอกจากเทคนิคของกระบวนการผลิตแล้ว ยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น คุณภาพของน้ำดิบก่อนผ่านเครื่องกรองน้ำ การดูแลบำรุงรักษาระบบกรองน้ำ และการที่จะทราบคุณภาพน้ำบริโภคว่าได้มาตรฐานหรือไม่ต้องตรวจสอบคุณภาพน้ำเท่านั้น (5) ดังนั้นจากปัญหาและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับประชาชน และปัจจัยที่มีผลทำให้น้ำบริโภคไม่ได้มาตรฐาน กลุ่มทดสอบน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรม โครงการเคมี และสำนักเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการจึงทำการสำรวจและตรวจสอบคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภคของชุมชน โดยใช้มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 และฉบับที่ 135 (ตารางที่ 1) เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการสำรวจครั้งนี้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้และดูแลรักษาระบบกรองน้ำและพัฒนากระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ รวมทั้งแนะนำและให้ความรู้ประชาชนในด้านคุณภาพน้ำบริโภค และหาแนวทางแก้ไขในเรื่องสารปนเปื้อนในน้ำที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนเพื่อให้ประชาชนมั่นใจว่าได้ดื่มน้ำสะอาดและได้มาตรฐาน ทำให้คุณภาพชีวิตดีขึ้นรวมทั้งประหยัดงบประมาณในการรักษาพยาบาลของรัฐได้

ตารางที่ 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (3) และฉบับที่ 135 (4) เฉพาะรายการทางกายภาพและเคมี

ลำดับที่	รายการทดสอบ	เกณฑ์มาตรฐาน	
1	สี	ไม่เกิน 20	แพลตินัมโคบอลต์ยูนิต*
2	กลิ่น	ไม่มีกลิ่น ไม่รวมกลิ่นคลอรีน	
3	ความขุ่น	ไม่เกิน 5.0	เอ็น ที ยู**
4	ความเป็นกรด-เบส ที่ 25 °ซ	6.5-8.5	
5	ปริมาณสารทั้งหมด (Total solids)	ไม่เกิน 500	มิลลิกรัมต่อลิตร
6	เหล็ก (Fe)	ไม่เกิน 0.3	มิลลิกรัมต่อลิตร
7	แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 0.05	มิลลิกรัมต่อลิตร
8	ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
9	สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
10	ความกระด้างทั้งหมด (คำนวณเป็นCaCO ₃)	ไม่เกิน 100	มิลลิกรัมต่อลิตร
11	ซัลเฟต (SO ₄)	ไม่เกิน 250	มิลลิกรัมต่อลิตร
12	คลอไรด์ (Cl)	ไม่เกิน 250 ในรูป Cl ₂	มิลลิกรัมต่อลิตร
13	ฟลูออไรด์ (F)	ไม่เกิน 1.5 ในรูป F ₂	มิลลิกรัมต่อลิตร
14	ไนเตรต (คำนวณเป็น N)	ไม่เกิน 4.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
15	อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต	ไม่เกิน 0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
16	สารประกอบฟีนอล	ไม่เกิน 0.001	มิลลิกรัมต่อลิตร
17	ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.002	มิลลิกรัมต่อลิตร
18	ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.05	มิลลิกรัมต่อลิตร
19	สารหนู (As)	ไม่เกิน 0.05	มิลลิกรัมต่อลิตร
20	แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.005	มิลลิกรัมต่อลิตร
21	ซีลีเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.01	มิลลิกรัมต่อลิตร
22	โครเมียม (Cr)	ไม่เกิน 0.05	มิลลิกรัมต่อลิตร
23	แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
24	ไซยาไนด์ (CN)	ไม่เกิน 0.1	มิลลิกรัมต่อลิตร
25	อะลูมิเนียม (Al)	ไม่เกิน 0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
26	เงิน (Ag)	ไม่เกิน 0.05	มิลลิกรัมต่อลิตร

หมายเหตุ *แพลตินัมโคบอลต์ยูนิต หมายถึง หน่วยวัดระดับความเข้มสีของน้ำ โดยเปรียบเทียบกับสีของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมคลอโรแพลตินเนตกับโคบอลต์ (II) คลอไรด์

**เอ็น ที ยู (Nephelometric turbidity unit, NTU) หมายถึง หน่วยวัดความขุ่นในน้ำโดยวิธีเนฟิโลเมตริ

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 พื้นที่ในการสำรวจ

พื้นที่ในการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการสำรวจเบื้องต้นในครั้งนี้เป็นชุมชนในจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดแพร่ จังหวัดหนองบัวลำภู จังหวัดนครพนม จังหวัดบึงกาฬ และ จังหวัดสงขลา

2.2 ตัวอย่างน้ำ

2.2.1 ตัวอย่างน้ำ ได้แก่ น้ำดิบ (น้ำบ่อน้ำบาดาล น้ำจากบ่อน้ำตื้น และน้ำแม่น้ำ) น้ำประปา (ประปาผิวดินและประปาบาดาล) น้ำฝน น้ำผ่านเครื่องกรองน้ำ และน้ำดื่มบรรจุขวด เก็บในขวดพลาสติกที่ล้างด้วยกรดไนตริก (1+1) และน้ำบริสุทธิ์ จากนั้นก่อนเก็บตัวอย่างก่อกวนด้วยน้ำตัวอย่าง 2-3 ครั้งก่อนเก็บน้ำตัวอย่างให้เต็มภาชนะขนาดประมาณ 5 ลิตร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภค ตามสถานที่ วันเดือนปี และจำนวนตัวอย่าง ดังแสดงใน ตารางที่ 2 และรูปการเก็บตัวอย่างน้ำ แสดงใน รูปที่ 1-2

ตารางที่ 2 วันเดือนปีและสถานที่ที่ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภค และจำนวนตัวอย่าง

ครั้งที่	วันเดือนปี	จังหวัด	จำนวนตัวอย่าง
1	18 มกราคม 2556	หนองบัวลำภู	22
2	22 มีนาคม 2556	แพร่	18
3	6 เมษายน 2556	บึงกาฬ	23
4	18 พฤษภาคม 2556	สงขลา	21
5	10 มิถุนายน 2556	นครพนม	20



รูปที่ 1 การเก็บตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภคจากแหล่งน้ำต่างๆ



รูปที่ 2 ตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภคสำหรับการทดสอบทางกายภาพและเคมี

2.3 วิธีการทดสอบ

ทดสอบตาม Standard methods for the examination of water and wastewater, 22nd edition, 2012 (6) รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วิธีทดสอบ/เครื่องมือ ที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพน้ำอุปโภคบริโภค

ลำดับที่	รายการทดสอบ	วิธีการทดสอบ/เครื่องมือ
1	สี แพลตินัมโคบอลต์ยูนิต	Colorimeter
2	กลิ่น	Sniffing
3	ความขุ่น	Nephelometric method
4	ความเป็นกรด-เบส ที่ 25 องศาเซลเซียส	pH meter
5	ปริมาณสารทั้งหมด (Total solids)	Dried at 103-105 °C
6	เหล็ก (Fe)	Flame atomic absorption spectrophoto- metric method
7	ความกระด้างทั้งหมด (คำนวณเป็นCaCO ₃)	EDTA titrimetric method
8	ซัลเฟต (SO ₄)	Turbidimetric method
9	คลอไรด์ (Cl)	Argentometric method
10	ฟลูออไรด์ (F)	Ion selective electrode
11	ไนเตรต (คำนวณเป็น N)	Ion chromatographic method
12	อัลคิลเบนซีนซิลโฟเนต	UV-VIS Spectrophotometric method
13	สารประกอบฟีนอล	UV-VIS Spectrophotometric method
14	ปรอท (Hg)	Mercury analyzer
15	โลหะหนัก (แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม ซีลีเนียม โคโรเนียม แบเรียม อะลูมิเนียม และเงิน)	Inductively coupled plasma-mass spec- trophotometric method
16	ไซยาไนด์ (CN)	Flow injection analyzer for cyanide

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 ผลการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภค

จากการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภค จังหวัดแพร่ จังหวัด

หนองบัวลำภู จังหวัดนครพนม จังหวัดบึงกาฬ และ
จังหวัดสงขลา (ผลสรุปแสดงดัง ตารางที่ 4, 5, 6, 7
และ 8 ตามลำดับ)

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภค จังหวัดแพร่

ประเภทตัวอย่างน้ำ	จำนวน ตัวอย่าง	ผลการทดสอบตามมาตรฐาน ฐานน้ำบริโภค		รายการที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	
1. น้ำดื่มบรรจุขวด	1	1	-	-
2. น้ำผ่านเครื่องกรองน้ำ	5	2	3	ความขุ่น ความกระด้างทั้งหมด เหล็ก และไนเตรต
3. น้ำประปา	7	-	7	สี ความขุ่น เหล็ก แมงกานีส และความกระด้างทั้งหมด
4. น้ำดิบ	5	-	5	สี ความขุ่น ความกระด้างทั้งหมด เหล็ก แมงกานีส ไนเตรต และอะลูมิเนียม

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภค จังหวัดหนองบัวลำภูบึงกาฬ

ประเภทตัวอย่างน้ำ	จำนวน ตัวอย่าง	ผลการทดสอบตามมาตรฐาน ฐานน้ำบริโภค		รายการที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	
1. น้ำดื่มบรรจุขวด/น้ำฝน	2	2	-	-
2. น้ำผ่านเครื่องกรองน้ำ	6	2	4	ความขุ่น ความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด และซิลเฟต
3. น้ำประปา	7	-	7	ความขุ่น ความเป็นกรด-เบส แมงกานีส ความกระด้างทั้งหมด แบริยม อะลูมิเนียม และเงิน
4. น้ำดิบ	7	-	7	กลิ่น สี ความขุ่น ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด เหล็ก แมงกานีส แบริยม และซิลเฟต

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภค จังหวัดบึงกาฬ

ประเภทตัวอย่างน้ำ	จำนวน ตัวอย่าง	ผลการทดสอบตามมาตรฐาน ฐานน้ำบริโภค		รายการที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	
1. น้ำผ่านเครื่องกรองน้ำ	9	6	3	ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ และซิลเฟต
2. น้ำประปา	10	3	7	สี ความขุ่น ความเป็นกรด-เบส เหล็ก แมงกานีส ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ อะลูมิเนียม และซิลเฟต
3. น้ำดิบ	4	2	2	ความกระด้างทั้งหมด

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภค จังหวัดสงขลา

ประเภทตัวอย่างน้ำ	จำนวน ตัวอย่าง	ผลการทดสอบตามมาตรฐาน ฐานน้ำบริโภค		รายการที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	
1. น้ำผ่านเครื่องกรองน้ำ	12	1	11	ความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมด แมงกานีส ความกระด้างทั้งหมด และซิลเฟต
2. น้ำประปา	7	-	7	สี ความขุ่น ความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมด เหล็ก แมงกานีส ความกระด้างทั้งหมด อะลูมิเนียม และซิลเฟต
3. น้ำดิบ	2	--	2	ความเป็นกรด-เบส ความขุ่น เหล็ก แมงกานีส ความกระด้างทั้งหมด และซิลเฟต

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภค จังหวัดนครพนม

ประเภทตัวอย่างน้ำ	จำนวน ตัวอย่าง	ผลการทดสอบตามมาตรฐานน้ำบริโภค		รายการที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	
1. น้ำดื่มจากเครื่องหยอดเหรียญ	4	1	3	ปริมาณสารทั้งหมด และความกระด้างทั้งหมด
2. น้ำผ่านเครื่องกรองน้ำ	6	3	3	ปริมาณสารทั้งหมด และซัลเฟต
3. น้ำประปา	8	1	7	ความขุ่น ความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมด เหล็ก แมงกานีส ความกระด้างทั้งหมด เงิน และซัลเฟต
4. น้ำดิบ	2	--	2	ความกระด้างทั้งหมด

ตารางที่ 9 ผลสรุปคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำอุปโภคบริโภค รวมทั้ง 5 จังหวัด

ประเภทตัวอย่างน้ำ	จำนวน ตัวอย่าง	ผลการทดสอบ		รายการที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	
1. น้ำดื่มบรรจุขวด/น้ำฝน	3	3	-	-
2. น้ำผ่านเครื่องกรองน้ำ/ น้ำดื่มจากเครื่องหยอดเหรียญ	42	15	27	ความขุ่น ความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ เหล็ก แมงกานีส ไนเตรต และซัลเฟต
3. น้ำประปา	39	4	35	สี ความขุ่น ความเป็นกรด-เบส เหล็ก แมงกานีส ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ ซัลเฟต แบเรียม อะลูมิเนียม และเงิน
4. น้ำดิบ	20	2	18	กลิ่น สี ความขุ่น ความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด เหล็ก แมงกานีส ไนเตรต แบเรียม ซัลเฟต และอะลูมิเนียม
รวมน้ำอุปโภคบริโภคทุกประเภท	104	24	80	กลิ่น สี ความขุ่น ความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ เหล็ก แมงกานีส ไนเตรต แบเรียม ซัลเฟต อะลูมิเนียม และเงิน

จาก ตารางที่ 9 ผลสรุปคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำอุปโภคบริโภค รวมทั้ง 5 จังหวัด จำนวน 104 ตัวอย่าง พบว่า

1. น้ำดื่มบรรจุในภาชนะบรรจุปิดสนิท (ผลิตโดยบริษัทเอกชนและมีเครื่องหมาย อย.) และน้ำฝน ซึ่งเป็นน้ำที่ชุมชนใช้ในการบริโภคประจำวัน มีคุณภาพทางกายภาพและเคมีผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกตัวอย่าง

2. น้ำผ่านเครื่องกรองน้ำรวมน้ำตู้หยอดเหรียญ

เป็นน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเทคนิคต่างๆ เพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภค ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 15 ตัวอย่าง และไม่ผ่านเกณฑ์ 27 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงควรหาสาเหตุที่ทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เช่น เครื่องกรองน้ำอาจมีระบบที่ไม่เหมาะสมกับคุณภาพน้ำก่อนเข้าเครื่องกรองน้ำ ไม่มีการดูแลบำรุงรักษาเครื่องกรองน้ำ หรือมีการบำรุงรักษาแต่ยังไม่เหมาะสม

3. น้ำประปาเป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเบื้องต้นชุมชนส่วนใหญ่มิได้นำมาบริโภคโดยตรงผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 4 ตัวอย่าง ไม่ผ่านเกณฑ์ทั้ง 35 ตัวอย่าง ทั้งนี้ระบบประปาอาจยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับผลิตเป็นน้ำเพื่อบริโภค หรือการบำรุงรักษาระบบอาจยังไม่เหมาะสม

4. น้ำดิบเป็นน้ำธรรมชาติที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพชุมชนมิได้ใช้บริโภคโดยตรง ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 2 ตัวอย่าง ไม่ผ่านเกณฑ์ 18 ตัวอย่าง โดยน้ำดิบที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 2 ตัวอย่าง เป็นน้ำบาดาลที่ใช้เป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับระบบประปาหมู่บ้าน โดยทั่วไปน้ำบาดาลซึ่งเป็นน้ำผิวดินที่ซึมลงไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างหรือโพรงของชั้นหินใต้ดินจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ดี คือ มีความใส ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ทั้งนี้เนื่องจากชั้นของดิน กรวดและทรายจะเป็นตัวกรองที่สกัดกั้นความขุ่นของเชื้อจุลินทรีย์ไว้ขณะที่น้ำซึมผ่านลงไป แต่คุณสมบัติทางเคมีจะมีปริมาณไม่แน่นอนเนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี ในขณะที่ซึมผ่านลงไปก็จะละลายเอาแร่ธาตุและสารในชั้นดินและหินปะปนลงไปใต้น้ำบาดาลด้วย น้ำบาดาลแต่ละแหล่งจึงมีคุณภาพแตกต่างกัน (7)

5. น้ำอุปโภคบริโภคที่สุ่มมาจาก 5 จังหวัด มีทั้งหมด 104 ตัวอย่าง ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 24 ตัวอย่าง ไม่ผ่านเกณฑ์ 80 ตัวอย่าง โดยมีรายการไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตาม จำนวน 14 รายการ ได้แก่ กลิ่น สี ความขุ่น ความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ เหล็ก แมงกานีส ไนเตรต แอมโมเนียม และเงิน

4. สรุป (Conclusions)

การทดสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำอุปโภคบริโภคที่สุ่มเก็บมาจากชุมชนต่างๆ ในจังหวัดแพร่ จังหวัดหนองบัวลำภู จังหวัดนครพนม จังหวัดบึงกาฬ และ จังหวัดสงขลา พบว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำฝนซึ่งเป็นแหล่งน้ำบริโภคในชีวิต

ประจำวันของชุมชน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคทุกตัวอย่าง น้ำผ่านเครื่องกรองซึ่งชุมชนใช้เป็นน้ำอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวันแต่คุณภาพน้ำส่วนใหญ่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค ส่วนน้ำประปาทั้งประปาผิวดินและน้ำประปาบาดาล และน้ำดิบ (น้ำบ่อ น้ำบาดาล น้ำจากบ่อน้ำตื้น และน้ำแม่น้ำ) ส่วนใหญ่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค ทั้งนี้แหล่งน้ำชุมชนมิได้นำมาบริโภคโดยตรง แต่ในการสำรวจนี้ต้องการทราบคุณภาพน้ำเหล่านี้เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกกระบวนการ/เทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เป็นน้ำบริโภค ปัญหาของคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำอุปโภคบริโภคชุมชนที่พบในการสำรวจครั้งนี้ มีจำนวน 14 รายการ ได้แก่ สี กลิ่น ความขุ่น ค่าความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ คลอไรด์ ไนเตรต เหล็ก แมงกานีส แอมโมเนียม และเงิน

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) สำนักงานสถิติแห่งชาติ. กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. น้ำ....สิ่งสำคัญ แต่คนมักมองข้าม.(ออนไลน์) 2552. (วันที่อ้างถึง 13 สิงหาคม 2556). เข้าถึงจาก: http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/citizen/news/news_water.jsp.
- (2) สำนักงานสถิติแห่งชาติ. กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. โลกนี้...มีน้ำให้ใช้ไม่มาก.(ออนไลน์) 2555. (วันที่อ้างถึง 13 สิงหาคม 2556). เข้าถึงจาก: http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/citizen/news/news_57.jsp.
- (3) สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524). เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท. ราชกิจจานุเบกษา. 24 กันยายน 2524. 98 ร.จ. 52 ตอนที่ 157 (ฉบับพิเศษ).

(4) สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534). เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท (ฉบับที่ 2). ราชกิจจานุเบกษา. 2 เมษายน 2534. 107 ร.จ.3041 ตอนที่ 61.

(5) ชัยวัฒน์ ธานีรัตน์. ประปาหมู่บ้านปัญหาคุณภาพน้ำ. สารานุกรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ เดือนพฤศจิกายน 2549 (ออนไลน์). (วันที่อ้างถึง 13 สิงหาคม 2556). เข้าถึงจาก: http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/ct_11_2549_water_supply.pdf.

(6) AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22nd ed. Maryland: American Public Health Association, 2012.

(7) สุกัญญา อรุณสง. ฝ่ายวิเคราะห์น้ำ กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรน้ำ. ความแตกต่างระหว่างน้ำบาดาล น้ำผิวดิน และน้ำประปา (ออนไลน์). (วันที่อ้างถึง 6 มิถุนายน 2557) เข้าถึงจาก: <http://www.dgr.go.th/water2006/technique18.html>.

การประเมินปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มในแหล่งน้ำผิวดิน เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

An assessment of coliform and fecal coliform bacteria levels in surface water resources of Bangkok and vicinity area

เทพวิฑูรย์ ทองศรี^{1*}, สุรัตน์ เพชรเกษม¹ และ กัญญา ม่วงแก้ว¹
Tepwitoon Thongsri^{1*}, Surat Petchkasem¹, Kanya Muangkaew¹

บทคัดย่อ

การตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์ม ในแหล่งน้ำผิวดินเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อประเมินความสะอาดและความปลอดภัยของแหล่งน้ำในช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายน 2555 โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำจาก แม่น้ำเจ้าพระยา ลำคลอง และแหล่งน้ำ จำนวน 64 ตัวอย่าง ทดสอบตามวิธี Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group และประเมินปริมาณโคลิฟอร์มเป็นค่า Most Probable Number (MPN) index ต่อน้ำ 100 มล. ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มด้วยวิธี MPN พบว่า การปนเปื้อนของแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มมีค่า MPN index ต่อน้ำ 100 มล. อยู่ระหว่าง <1.8 ถึง 1.6×10^7 เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินในประเทศไทย พบว่า ตัวอย่างร้อยละ 15.6 มีปริมาณโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ประเภทที่ 2 และตัวอย่างร้อยละ 39 มีปริมาณโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 งานวิจัยนี้บ่งชี้ภาพรวมคุณภาพของแหล่งน้ำผิวดินเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่สุ่มเก็บตัวอย่างศึกษาว่าอาจจะมีการปนเปื้อนของเชื้อโรคในระบบทางเดินอาหารต้องผ่านการฆ่าเชื้อและปรับปรุงคุณภาพน้ำ ก่อนนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภค

Abstract

Coliforms and fecal coliform bacteria of surface water resources in Bangkok and vicinity areas were measured and assessed regarding pathogen contamination. 64 samples were taken from the Chao Phraya River, canals, and reservoirs during June to September, 2012. Coliforms and fecal coliform bacteria were enumerated by multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group and estimated coliform concentration as MPN index/100 mL. Results indicated that the level of coliform and fecal coliform bacteria measured by MPN was in the range of MPN index/100 ml <1.8 to 1.6×10^7 . It was found that 15.6 % of total samples, coliforms and fecal coliforms level was exceeded surface water quality standard class 2. Furthermore, 39 % of total samples, coliforms and fecal coliforms level was exceeded surface water Class 3. Results revealed the overall sanitary quality of selected surface water resources in Bangkok and vicinity areas that the source water may have been contaminated by gastrointestinal pathogens and must be treated and be improved for consuming purposes.

คำสำคัญ : แบคทีเรียโคลิฟอร์ม, ฟีคัลโคลิฟอร์ม, คุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน

Keywords : Coliform Bacteria, Fecal Coliform, Surface Water Quality

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ปริมาณแบคทีเรีย สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความสะอาดและการปนเปื้อนของของเสียจากมนุษย์และสัตว์ โดยเฉพาะแบคทีเรียโคลิฟอร์ม (Total coliform bacteria, TCB) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มักพบในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ สัตว์ และสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ (1) นอกจากนั้นยังพบได้ในดินและพืช (2)

แบคทีเรียโคลิฟอร์ม ประกอบด้วย แบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ ฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal coliform bacteria, FCB) และ นอน-ฟีคัลโคลิฟอร์ม (Non-fecal coliform bacteria) ฟีคัลโคลิฟอร์ม เป็นโคลิฟอร์มที่พบได้เฉพาะในระบบทางเดินอาหารและสิ่งขับถ่าย อุจจาระของสัตว์เลื้อยคืบ ได้แก่ แบคทีเรียสกุล *Escherichia* ขณะที่นอน-ฟีคัลโคลิฟอร์ม เป็นโคลิฟอร์มที่พบในดิน และพืช ได้แก่ แบคทีเรียสกุล *Enterobacter* และ *Citrobacter* (2)

การตรวจสอบการปนเปื้อนของแบคทีเรียในแหล่งน้ำผิวดิน จะตรวจวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์ม ซึ่งปริมาณของแบคทีเรียโคลิฟอร์ม จะเป็นดัชนีบ่งชี้ความสะอาดของแหล่งน้ำนั้น และ FCB พบได้เฉพาะในอุจจาระของสัตว์เลื้อยคืบเท่านั้น ดังนั้น FCB สามารถเป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนของสิ่งปนเปื้อนจากมนุษย์และสัตว์ในแหล่งน้ำ สำหรับ *Escherichia coli* (*E. coli*) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของ FCB นั้น เป็นแบคทีเรียตัวชี้วัดที่ดีของมลพิษที่เกิดจากสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์และความเสี่ยงของการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหารในแหล่งน้ำผิวดิน (2) มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2537 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งผิวดิน (3) ได้ให้คำจำกัดความของแหล่งน้ำผิวดินไว้ โดย แหล่งน้ำผิวดิน หมายถึง แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และแหล่งน้ำสาธารณะอื่นๆ ที่อยู่ภายในผืนแผ่นดิน รวมถึงแหล่งสาธารณะที่อยู่ภายในผืนแผ่นดินบนเกาะด้วย แต่ไม่รวมถึงน้ำบาดาล และในกรณี

ที่แหล่งน้ำนั้นอยู่ติดกับทะเลให้หมายความถึงแหล่งน้ำที่อยู่ภายในปากแม่น้ำหรือปากทะเลสาบ ปากแม่น้ำและปากทะเลสาบให้ถือแนวเขตตามที่กรมเจ้าท่ากำหนด

ทั้งนี้ประกาศดังกล่าว ได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภคโดยไม่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน การอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ โดยกำหนดค่า MPN แบคทีเรียโคลิฟอร์มไม่เกินกว่า 5,000 ต่อ 100 มล. และแบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์ม มีค่า MPN ไม่เกินกว่า 1,000 ต่อ 100 มล. แหล่งน้ำประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภคโดยไม่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน โดยกำหนดค่า MPN ของแบคทีเรียโคลิฟอร์มไม่เกินกว่า 20,000 ต่อ 100 มล. และแบคทีเรียฟีคัล-โคลิฟอร์ม มีค่าไม่เกินกว่า 4,000 ต่อ 100 มล.(3)

การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสะอาดและความปลอดภัยของแหล่งน้ำผิวดินตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเทศไทย (3) และตรวจสอบมลพิษจากสิ่งปนเปื้อนในแหล่งรับน้ำ คลองระบายน้ำทั่วไปด้วย

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

ดำเนินการตรวจคุณภาพน้ำด้วยวิธีทางจุลชีววิทยาในแหล่งน้ำผิวดินพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายน 2555 เพื่อประเมินความสะอาดและความปลอดภัยของแหล่งน้ำ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา จำนวน 16 จุด ลำคลอง 34 จุด และแหล่งน้ำผิวดินอื่น ๆ 6 จุด รวมทั้งสิ้น 64 ตัวอย่าง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แหล่งน้ำผิวดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลและจุดเก็บตัวอย่าง

แหล่ง ผิวดิน	จุดเก็บตัวอย่าง
แม่น้ำเจ้าพระยา 16 จุด	บ่อมพระสุเมรุ พุทธสถานเชิงท่าหน้าโบสถ์ ท่าหน่ กทมชลประทาน-สามเสน ท่าเรือเทเวศร์ สะพานพระราม 7 สะพานช้างอี ศูนย์ดับเพลิงพระนั่งเกล้า ท่าเรือเอเชียทีค ท่าพระจันทร์ ท่าเตียน สะพานพุทธ สะพานพระราม 8 ท่าเรือสาทร สะพานกรุงเทพฯ ตลาดน้อย
ลำคลอง 20 คลอง 34 จุด	คลองประปา 3 จุด ได้แก่ เดอะมอลล์-งามวงศ์วาน โรงกรอง สามเสน และสมาคมวิศวกรรม สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย คลองบางซื่อ 5 จุด ได้แก่ ถนนพหลโยธิน ถนนวิภาวดี ถนนแจ้งวัฒนะ ถนนพระราม 5 และถนนรัชดาภิเษก คลองเปรมประชากร 3 จุด ได้แก่ สถานีอุโมงค์ วัดเทวสุนทร และวัดเบญจมบพิตร คลองสามเสน 3 จุด ได้แก่ ถนนพิชัย ถนนพระราม 5 และถนนสวรรคโลก คลองลาดพร้าว 3 จุด ได้แก่ วัดลาดพร้าว ซอยเสนานิคม และถนนเกษตร-นวมินทร์ คลองบางเขน 2 จุด ได้แก่ ถนนประชาชื่นและถนนกรุงเทพฯ-นนท์ คลองผดุงกรุงเกษม คลองแสนแสบ-รามคำแหง คลองบางบัว คลองหน้าสโมสรรถาวร คลองไล่ไก่-อุดมสุข คลองหน้าหมู่บ้านเอื้ออาทร-นนทบุรี คลอง 3 ลำลูกกา คลอง 4 คลอง 5 ศูนย์เทคโนโลยี คลอง 6 คลอง 7 คลอง 8 คลอง 9 คลอง 10 และคลองมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์-ศูนย์รังสิต
แหล่งผิวดินอื่นๆ 6 แหล่ง 14 จุด	สระ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สระเก็บ พระราม 9 จุดที่ 1-9 บึงบางบอนสวนหลวง ร.9 โครงการแก้มลิงบึงพระราม 9 ถนนประดิษฐ์มนูธรรม บึงวัดพระศรีมหาธาตุ และทะเลสาบเมืองทองธานี

การเก็บตัวอย่างโดยเก็บน้ำปริมาณ 200 มล.ในขวดแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วขนาด 250 มล. จุดเก็บตัวอย่างอยู่ที่ระดับความลึก 30 ซม. (3) ณ จุดที่ห่างจากฝั่งประมาณ 50 ซม. จากนั้นรักษาสภาพตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ดำเนินการทดสอบทันทีเมื่อตัวอย่างเดินทางถึงห้องปฏิบัติการ หากตัวอย่างน้ำที่มีความสกปรกจำเป็นต้องมีการเจือจางตัวอย่างเป็นลำดับขั้น จนถึงระดับ 1 : 10,000 ด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (4)

การวิเคราะห์ปริมาณ TCB และ FCB ใช้วิธี Multiple tubes fermentation (3) ระบบ 5 หลอด

ตรวจวิเคราะห์ TCB ขึ้นแรกด้วยอาหาร Lauryl tryptose broth (LTB) broth บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส 24-28 ชั่วโมง ตรวจจสอบผลบวกหลอดที่มีการเจริญ (ขุ่น) และมีฟองก๊าซในหลอดเดอรัลแรม จากนั้นนำหลอดที่ให้ผลบวกขึ้นแรกมาวิเคราะห์ขึ้นยืนด้วยอาหาร Brilliant Green Lactose Bile (BGLB) broth บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-28 ชั่วโมง ตรวจผลบวกหลอดที่มีการเจริญและมีฟองก๊าซ คำนวณค่าโคลิฟอร์มทั้งหมดในรูปของ MPN index/100 มล. จากหลอดที่ให้ผลบวกในขึ้นยืนจากตาราง MPN (3) และวิเคราะห์ขึ้นสมบูรณ์หลอดที่ให้ผลบวกในขึ้นยืน

โดยถ่ายเชื้อลงในอาหารแข็ง Endo หรือ Eosin methylene blue agar บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส 24 ± 2 ชั่วโมง โคโลนีที่ให้ผลบวกจะมีสีม่วงแดง สีเข้มและเป็นมันวาวคล้ายโลหะ หรือมีสีชมพูเข้ม ถ่ายเชื้อจากโคโลนีที่ให้ผลบวกลงในอาหารเหลว LTB และถ่ายเชื้อลงในอาหารแข็ง NA บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง ถ้ามีก๊าซเกิดขึ้นในหลอดอาหาร LTB และเชื้อจากอาหารแข็ง NA เมื่อย้อมสีแกรมติดสีแกรมลบ มีลักษณะเป็นท่อน ไม่มีสปอร์ ป่งขั้วแบคทีเรียในน้ำตัวอย่างนั้นเป็นโคลิฟอร์ม

การตรวจวิเคราะห์ FCB ทำโดยถ่ายเชื้อจากอาหารเหลวในหลอดที่ให้ผลบวกจากการตรวจ TCB ขึ้นแรงลงในอาหารเหลว Escherichia coli (EC) broth และบ่มที่ 44.5 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง ถ้าหลอดที่เกิดก๊าซภายใน 24 ชั่วโมง หมายถึงผลทดสอบให้ผลบวก ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็น FCB ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำตัวอย่างที่ถูกขับถ่ายออกมากับอุจจาระของคนและสัตว์เลื้อยคลาน แล้วคำนวณค่า FCB ในรูปของ MPN index ต่อน้ำ 100 มล. จากหลอดที่ให้ผลบวกจากตาราง MPN (5)

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย พบว่าปริมาณ TCB และ FCB สูงสุดพบที่คลองเปรมประชากร หน้าวัดเบญจมบพิตร มีค่า MPN index ต่อน้ำ 100 มล. 1.6×10^7 ขณะที่ ปริมาณ TCB และ FCB ต่ำสุดตรวจวัดได้ที่สระเก็บน้ำพระราม 9 จุดที่ 6 มีค่า MPN index ของ TCB และ FCB ต่อ 100 มล. < 1.8 (ตารางที่ 2)

เมื่อพิจารณาคูณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาทั้งหมด 16 จุด พบว่า TCB มีค่า MPN index ต่อ 100 มล. อยู่ระหว่าง 2.4×10^3 - 9.2×10^4 และ FCB มีค่า MPN index ต่อ 100 มล. ระหว่าง 2.2×10^3 - 9.2×10^4 นอกจากนั้นพบว่า จุดเก็บตัวอย่าง 6 จุด มีปริมาณ TCB และ FCB เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 คือ จุดเก็บตัวอย่างกรมชลประทาน-สามเสน สะพานพระราม 7 ศูนย์ดับเพลิงพระนั่งเกล้า ท่าเรือเอเชียทีค ท่าเรือสาร และ

ตลาดน้อย ขณะที่จุดเก็บตัวอย่าง 3 จุด มีปริมาณ TCB และ FCB เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 คือ จุดเก็บตัวอย่างพุทธสถานเชิงท่าหน้าโบสถ์ ท่าเรือเทเวศร์ และสะพานซังฮี้ ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่เหลือ 7 จุด มีปริมาณ FCB เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 (ตารางที่ 2)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในลำคลอง 8 คลอง ในเขตกรุงเทพมหานครที่เก็บตัวอย่างน้ำจาก 21 ตัวอย่างพบว่า คลองประปา ที่จุดเก็บตัวอย่างเดอะมอลล์-งามวงศ์วาน และโรงกรองน้ำสามเสน มีปริมาณ TCB และ FCB ไม่เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ขณะที่คลองประปา จุดเก็บตัวอย่างสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม พบว่า ปริมาณ FCB เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 สำหรับคลองบางซื่อ คลองเปรมประชากร คลองสามเสน คลองลาดพร้าว คลองบางเขน คลองผดุงกรุงเกษม และคลองแสนแสบ-รามคำแหงนั้นพบว่า มีปริมาณ TCB และ FCB เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ในทุกจุดเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ 2) แหล่งน้ำผิวดินอื่นๆ รวมถึงแหล่งรับน้ำและคลองระบายน้ำ คณะผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่าง 27 จุด พบว่า TCB มีค่า MPN index ต่อ 100 มล. ระหว่าง $20 - 5.4 \times 10^6$ ขณะที่ FCB มีค่า MPN index ต่อ 100 มล. อยู่ในช่วง $< 18 - 5.4 \times 10^6$ โดยคลอง 3 ลำลูกกา คลอง 6 คลอง 7 และโครงการแก้มลิงบึงพระราม 9 ถนนประดิษฐ์มนูธรรม มีปริมาณ TCB และ FCB เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 สำหรับจุดเก็บตัวอย่างสระเก็บน้ำพระราม 9 จุดที่ 7 คลอง 4 บึงวัดพระศรีมหาธาตุ และทะเลสาบเมืองทองธานี มีปริมาณ FCB เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2

ขณะที่จุดเก็บตัวอย่างคลองบางบัว คลองหน้าสโมสรตำรวจ คลองไล่ไก่-อุดมสุข และคลองหมุ่มบ้านเอื้ออาทร-นนทบุรี มีปริมาณ TCB และ FCB เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟิคัลโคลิฟอร์มในแหล่งน้ำผิวดินเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
มิถุนายน — กันยายน 2555 โดยวิธี MPN

จุดเก็บตัวอย่าง	โคลิฟอร์ม MPN index ต่อน้ำ 100 มล.	ฟิคัลโคลิฟอร์ม MPN index ต่อน้ำ 100 มล.
1. แม่น้ำเจ้าพระยา		
1.1 ป้อมพระสุเมรุ ²	2.8×10^3	2.2×10^3
1.2 พุทธสถานเชิงท่าหน้าโบสถ์ ^{3,1}	9.2×10^4	9.2×10^4
1.3 ท่าบ้านนท์ ²	2.2×10^3	2.2×10^3
1.4 กรมชลประทาน สามเสน ¹	9.2×10^3	5.4×10^3
1.5 ท่าเรือเทเวศน์ ^{3,1}	1.6×10^4	9.2×10^3
1.6 สะพานพระราม 7 ¹	9.2×10^3	9.2×10^3
1.7 สะพานช้างอี ^{3,1}	1.6×10^4	1.6×10^4
1.8 ศูนย์ดับเพลิงพระนั่งเกล้า ¹	9.2×10^3	9.2×10^3
1.9 ท่าเรือเอเชียทีค ¹	5.4×10^3	5.4×10^3
1.10 ท่าพระจันทร์ ²	3.5×10^3	3.5×10^3
1.11 ท่าเตียน ²	3.5×10^3	3.5×10^3
1.12 สะพานพุทธ ²	2.4×10^3	2.4×10^3
1.13 สะพานพระราม 8 ²	3.5×10^3	3.5×10^3
1.14 ท่าเรือสาทร ¹	5.4×10^3	3.5×10^3
1.15 สะพานกรุงเทพฯ ²	3.5×10^3	2.4×10^3
1.16 ตลาดน้อย ¹	9.2×10^3	9.2×10^3
2. คลองประปา		
2.1 เดอะมอลล์ งามวงศ์วาน	1.7×10^2	1.4×10^2
2.2 โรงกรองน้ำสามเสน	3.0×10^2	2.3×10^2
2.3 สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ²	1.3×10^3	1.1×10^3
3. คลองบางซื่อ		
3.1 ถนนพหลโยธิน ^{3,1}	5.4×10^4	5.4×10^4
3.2 ถนนวิภาวดี ^{3,1}	2.4×10^5	2.4×10^5
3.3 ถนนแจ้งวัฒนะ ^{3,1}	5.4×10^4	5.4×10^4
3.4 ถนนพระราม 5 ^{3,1}	3.5×10^5	3.5×10^5
3.5 ถนนรัชดาภิเษก ^{3,1}	1.7×10^6	1.7×10^6
4. คลองเปรมประชากร		
4.1 สถานีอุโมงค์น้ำ ^{3,1}	2.4×10^5	2.4×10^5
4.2 วัดเทวสุนทร ^{3,1}	3.5×10^5	7.9×10^4

ตารางที่ 2 (ต่อ) ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟิคัลโคลิฟอร์มในแหล่งน้ำผิวดินเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
มิถุนายน — กันยายน 2555 โดยวิธี MPN

จุดเก็บตัวอย่าง	โคลิฟอร์ม MPN index ต่อน้ำ 100 มล.	ฟิคัลโคลิฟอร์ม MPN index ต่อน้ำ 100 มล.
4.3 วัดเบญจมบพิตร ^{3,1}	1.6 x 10 ⁷	1.6 x 10 ⁷
5. คลองสามเสน		
5.1 ถนนพิชัย ^{3,1}	9.2 x 10 ⁵	9.2 x 10 ⁵
5.2 ถนนพระราม 5 ^{3,1}	2.8 x 10 ⁵	2.8 x 10 ⁵
5.3 ถนนสวรรคโลก ^{3,1}	3.5 x 10 ⁵	4.0 x 10 ⁴
6. คลองลาดพร้าว		
6.1 วัดลาดพร้าว ^{3,1}	3.5 x 10 ⁵	1.7 x 10 ⁵
6.2 ซอยเสนานิคม ^{3,1}	1.6 x 10 ⁶	9.2 x 10 ⁵
6.3 ถนนเกษตร-นวมินทร์ ^{3,1}	1.3 x 10 ⁶	1.6 x 10 ⁶
7. คลองบางเขน		
7.1 ถนนประชาชื่น ^{3,1}	5.4 x 10 ⁵	5.4 x 10 ⁵
7.2 ถนนกรุงเทพฯ-นนท์ ^{3,1}	5.4 x 10 ⁵	5.4 x 10 ⁵
8. คลองผดุงกรุงเกษม ^{3,1}	1.7 x 10 ⁶	1.7 x 10 ⁶
9. คลองแสนแสบ รามคำแหง ^{3,1}	1.6 x 10 ⁶	3.5 x 10 ⁴
10. คลองบางบัว ^{3,1}	2.4 x 10 ⁵	2.4 x 10 ⁵
11. คลองหน้าสโมสรตำรวจ ^{3,1}	2.2 x 10 ⁶	2.2 x 10 ⁶
12. คลองไล่ไก่ อุดมสุข ^{3,1}	5.4 x 10 ⁶	5.4 x 10 ⁶
13. คลองหน้าหมู่บ้านเอื้ออาทร นนทบุรี ^{3,1}	2.4 x 10 ⁵	2.4 x 10 ⁵
14. คลอง 3 ลำลูกกา ¹	7.0 x 10 ³	7.0 x 10 ³
15. คลอง 4 ²	1.3 x 10 ³	1.3 x 10 ³
16. คลอง 5 ศูนย์เทคโนโลยี	7.9 x 10 ²	7.9 x 10 ²
17. คลอง 6 ¹	1.6 x 10 ⁴	3.5 x 10 ³
18. คลอง 7 ¹	1.6 x 10 ⁴	3.5 x 10 ³
19. คลอง 8	3.4 x 10 ²	3.4 x 10 ²
20. คลอง 9	7.9 x 10 ²	3.3 x 10 ²
21. คลอง 10	2.3 x 10 ²	2.3 x 10 ²
22. คลองมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต	2.3 x 10 ²	78
23. สระเก็บน้ำพระราม 9		
23.1 จุดที่ 1	79	22
23.2 จุดที่ 2	33	13

ตารางที่ 2 (ต่อ) ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟิคัลโคลิฟอร์มในแหล่งน้ำผิวดินเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
มิถุนายน — กันยายน 2555 โดยวิธี MPN

จุดเก็บตัวอย่าง	โคลิฟอร์ม MPN index ต่อน้ำ 100 มล.	ฟิคัลโคลิฟอร์ม MPN index ต่อน้ำ 100 มล.
23.3 จุดที่ 3	13	13
23.4 จุดที่ 4	7.8	7.8
23.5 จุดที่ 5	9.3	9.3
23.6 จุดที่ 6	<1.8	<1.8
23.7 จุดที่ 7 ²	3.5×10^3	3.5×10^3
23.8 จุดที่ 8	17	17
23.9 จุดที่ 9	20	<18
24. โครงการแก้มลิงบึงพระราม 9 ถนนประดิษฐ์มนูธรรม ¹	5.4×10^4	2.4×10^3
25. บึงบางบอน สวนหลวง ร. 9	20	20
26. สระน้ำจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	7.9×10^2	7.9×10^2
27. บึงวัดพระศรีมหาธาตุ ²	3.5×10^3	3.5×10^3
28. ทะเลสาบเมืองทองธานี ²	2.2×10^3	2.2×10^3

หมายเหตุ

1 ปริมาณ TCB และ FCB เกินค่ามาตรฐานคุณภาพ
น้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 (3)

2 ปริมาณ FCB เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใน
แหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 (3)

3 ปริมาณ TCB และ FCB เกินค่ามาตรฐานคุณภาพ
น้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 (3)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางแบคทีเรียบ่งชี้
ให้เห็นว่า แหล่งน้ำผิวดินในเขตกรุงเทพมหานครและ
ปริมณฑลมีการปนเปื้อน เป็นไปในทำนองเดียวกันกับ
การศึกษาของ Bhardwaj, 2005(6) ซึ่งตรวจติดตามคุณภาพ
น้ำแหล่งน้ำในประเทศอินเดีย พบว่า แม่น้ำสายหลักใน
อินเดียมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์และแหล่งน้ำผิวดินเกือบ
ทุกแห่งปนเปื้อนแบคทีเรียโคลิฟอร์ม ทำให้ไม่เหมาะต่อ
การอุปโภคบริโภคหากปราศจากการฆ่าเชื้ออย่างถูกต้องวิธี

การปนเปื้อนของแหล่งน้ำผิวดินในเขตเมืองใหญ่
อาจมีสาเหตุมาจากแหล่งที่มีจุดกำเนิดแน่นอน “point
sources” ได้แก่ ท่อระบายน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียจาก
บ้านเรือนและอุตสาหกรรม หรือแหล่งที่มีจุดกำเนิดไม่

แน่นอน “nonpoint sources.” เช่น น้ำฝน น้ำท่วม ของ
เสียจากการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ รวมทั้งน้ำ
จากการใช้ประโยชน์ที่ดิน เกษตรกรรม เหมือนแคว เป็นต้น
(5,7) จะเห็นได้จากปริมาณ TCB และ FCB ในหลาย
จุดที่ศึกษามีค่าเกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภท
ที่ 2 และประเภทที่ 3 และยังพบว่าค่าคลอโรฟัลลา
ในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ในพื้นที่ชุมชน มีปริมาณ
TCB และ FCB สูงกว่าแหล่งน้ำนอกเขตชุมชน (สระเก็บ
น้ำพระราม 9 จุดที่ 1-6,8 และ 9 คลอโรฟัลลา 8-10) นอกจากนี้
การตรวจพบฟิคัลโคลิฟอร์มซึ่งเป็นแบคทีเรียชี้วัดการปน
เปื้อนของอุจจาระจากคนและสัตว์และอาจจะมี ความ
เสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคในระบบทางเดิน
อาหาร (8,9) ซึ่งนำไปสู่สาเหตุของการเกิดโรคและการ
เจ็บป่วยหากประชาชนในพื้นที่นำน้ำดังกล่าวไปอุปโภค
บริโภค

Maitera and Ismaila, 2011 (10) ได้ศึกษาและ
ประเมินคุณภาพน้ำทางแบคทีเรียของแม่น้ำ Gongola ใน
รัฐ Adamawa ไนจีเรีย พบว่าปริมาณ TCB ที่พบในช่วง
เดือนกุมภาพันธ์-เมษายน 2007 (ฤดูแล้ง) มีค่าต่ำกว่า

ปริมาณ TCB ที่พบในช่วงเดือน สิงหาคม-ตุลาคม (ฤดูฝน) ในปีเดียวกัน ขณะที่การตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟิคัลโคลิฟอร์ม ในแหล่งน้ำผิวดินเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลครั้งนี้ ตรวจประเมินปริมาณ TCB และ FCB ในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-กันยายน) เท่านั้น หากได้ดำเนินการในฤดูแล้งจะได้ข้อมูลครบทุกฤดูและสามารถนำไปประเมินผลในภาพรวมทั้งปีและเป็นข้อมูลพื้นฐานที่นำไปสู่การบริหารจัดการด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขของประเทศได้

ทั้งนี้การประเมินคุณภาพน้ำเพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและผลกระทบต่อระบบนิเวศ นอกจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางแบคทีเรียแล้ว จำเป็นต้องมีการตรวจติดตามคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ค่าความขุ่น ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้าของแข็งแขวนลอย, alkalinity, โลหะหนัก COD, BOD, DO และพารามิเตอร์อื่น ๆ ด้วย (2) เพื่อประโยชน์สูงสุดในการจัดการแหล่งน้ำต่อไป

4. สรุป (Conclusion)

ผลการศึกษาและประเมินคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินทางแบคทีเรียในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลโดยการเปรียบเทียบผลการสำรวจปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟิคัลโคลิฟอร์ม กับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และประเภทที่ 3 พบว่า ร้อยละ 15.6 ของตัวอย่าง มีปริมาณ TCB และ FCB เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ประเภทที่ 2 ซึ่งหากมีการนำไปใช้เพื่อการอุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน และต้องมีการเตือนสำหรับการใช้ประโยชน์เพื่อการอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ เนื่องจากแบคทีเรียโคลิฟอร์มเป็นแบคทีเรียชี้วัดความเสี่ยงการปนเปื้อนเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร

ขณะที่ร้อยละ 39 ของตัวอย่าง มีปริมาณ TCB และ FCB เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภท

ที่ 3 ซึ่งเป็นน้ำเพื่อการเกษตรและหากมีการนำไปใช้อุปโภคบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

จะเห็นได้ว่า ร้อยละ 54.6 ของตัวอย่างที่ศึกษา มีปริมาณ TCB และ FCB เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ/หรือ ประเภทที่ 3 ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีมาตรการในการกำกับดูแลและการตรวจติดตามเพื่อป้องกันและลดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคได้

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้บริหารกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ไว้ ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) ELERIA, A. and R. M., VOGEL. Predicting fecal coliform bacteria levels in the Charles River, Massachusetts, USA. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA). 2005, 41(5), 1195-1209.
- (2) ASHBOLT, N.J., Willie O.K., GRABOW., and M. SNOZZI. Indicators of microbial water quality. In: Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Lorna FEWTRELL and Jamie BARTRAM, eds. London: IWA Publishing, 2001, pp. 289-316.
- (3) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติพ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งผิวดิน. (2537, 24 กุมภาพันธ์). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง.

- (4) AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION., WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd ed. Washington, D.C.: APHA, 2012, pp. 66-75.
- (5) ABRAHAM, W.R. Megacities as sources for pathogenic bacteria in rivers and their fate downstream. International Journal of Microbiology [online]. 2011, [viewed 16 April 2014]. Available from: <http://www.hindawi.com/journals/ijmicro/2011/798292/>
- (6) BHARDWAJ, R.M. Water quality monitoring in India-Achievement and constraints. In: IWG-Env, International Work Session on Water Statistics, Vienna, June 20-22. 2005. [online]. [viewed 16 April 2014]. Available from: https://unstats.un.org/unsd/ENVIRONMENT/envpdf/pap_wasess5a2india.pdf
- (7) WIECKOWICZ, R., K. SANDERS., and J.R. ZEISLER. Fecal and total coliform TMDL for choctawhatchee river WBID 49F. [online]. 2005. [viewed 16 April 2014]. Available from: http://www.epa.gov/waters/tmdl/docs/choctawhatchee_river_fctc_tmdl.pdf
- (8) BAUER, H. Monitoring water quality and fecal coliform bacteria in the Upper Susquehanna River, summer 2010. [online]. 2010. [viewed 16 April 2014]. Available from: <http://www.oneonta.edu/academics/biofld/PUBS/ANNUAL/2010/7%20Upper%20Susquehanna%20River%20Water%20Quality%20Monitoring%202010.pdf>
- (9) KATZ, R. Monitoring water quality and fecal coliform bacteria in the Upper Susquehanna River, summer 2012. [online]. 2012. [viewed 16 April 2014]. Available from: http://www.oneonta.edu/academics/biofld/PUBS/ANNUAL/2012/08%20Upper_Susquehanna_River_Water_Quality_Monitoring%5B1%5D.pdf
- (10) MAITERA, N. O. and Y. I. SUDI. An assessment of total coliform levels of some portions of River Gongola in Adamawa State, Nigeria. Advances in Applied Science Research, 2011, 2 (3), 191-197.

การหาปริมาณสารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs ในชิ้นส่วนพลาสติก
ของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ตามระเบียบ RoHS
โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี
Quantitative analysis of PBBs and PBDEs in plastic parts of electrical
and electronics equipment according to RoHS regulation
by gas chromatography/mass spectrometry

มานพ ลิทธิเดช¹, ณฐลมนต์ ปัญญวัฒน์กิจ¹
Manop Sittidech¹, Nathalamon Panyawathanakit¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาพัฒนาวิธีทดสอบหาปริมาณสารในกลุ่ม พอลิโบรมิเนเตดไบฟีนิล(PBBs) และพอลิโบรมิเนเตดไดฟีนิลอีเทอร์(PBDEs)ในพลาสติกชนิดต่างๆประกอบด้วยอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีนพอลิโพรพิลีนพอลิเอทิลีนไฮอิมแพ็คพอลิสไตรีนและ พอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตโดยการสกัดตัวอย่างพลาสติกด้วยวิธีตัวทำละลายแบบชอกเล็ท แล้วตรวจวัดปริมาณสารด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี พบว่าวิธีทดสอบนี้สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs ในชิ้นส่วนพลาสติกชนิดต่างๆโดยมีช่วงความเข้มข้นของสารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs ดังต่อไปนี้คือ โมโนโบรมิเนเตดไบฟีนิล ถึงเดคาโบรมิเนเตดไบฟีนิล, โมโนโบรมิเนเตดไดฟีนิลอีเทอร์ ถึงโนนาโบรมิเนเตดไดฟีนิลอีเทอร์ ในช่วงความเข้มข้น100 ถึง 1,750 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ เดคาโบรมิเนเตดไดฟีนิลอีเทอร์ในช่วงความเข้มข้น100 ถึง 8,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมขีดจำกัดการตรวจพบอยู่ในช่วง 3.9-25.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขีดจำกัดการวัดปริมาณอยู่ในช่วง 13.1-85.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมความเที่ยงระบุนี้อยู่ระหว่าง 1.8-10.2 ยกเว้นกรณี เดคาโบรมิเนเตดไบฟีนิล (BB-209)ที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุด (100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เท่ากับ 17.0 ความแม่นยำระบุนี้อยู่ระหว่างการคืนกลับอยู่ระหว่าง 80.9—116.8 ยกเว้นกรณี เด็ดตราโบรมิเนเตดไดฟีนิลอีเทอร์(BDE-047)ที่ความเข้มข้นต่ำสุด (100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)เท่ากับ 130.1 ดังนั้นวิธีทดสอบนี้มีค่าความแม่นยำและความเที่ยงเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับของวิธีทดสอบมาตรฐานสากล IEC 62321: 2008ที่ได้กำหนดให้ค่าความแม่นยำของวิธีทดสอบต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 70—130 และค่าความเที่ยงของวิธีทดสอบที่ระบุในรูปร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 20

Abstract

A test method has been developed in this research for quantitative analysis of polybrominated biphenyls (PBBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in various plastics, including acrylonitrile-butadiene—styrene, polypropylene, polyethylene, high-impact polystyrene and polyethylene terephthalate plastics based on the solvent extraction of the sample with soxhlet extraction technique and detection by gas chromatography/mass spectrometry. It was found that the test method was able to quantitate mono-brominated - decabrominated biphenyl and monobrominated diphenyl ether—nonabrominated

diphenyl ether between 100–1,750 mg/kg and decabrominated diphenyl ether between 100–8,000 mg/kg. The limit of detection (LOD) was between 3.9–25.5mg/kg. The limit of quantitation (LOQ) was between 13.1–85.0 mg/kg. The precision of the method expressed as percentage relative standard deviation was between 1.8 and 10.2, except 17.0 for BB-209 at lowest concentration (100 mg/kg). The accuracy of the method expressed as percentage recovery was between 80.9 and 116.8, except 130.1 for BDE-047 at lowest concentration (100 mg/kg). The obtained accuracy and precision of the method therefore meet the required accuracy expressed as % recovery which is between 70–130% and the required precision expressed as percentage relative standard deviation which is less than 20%RSD of the IEC 62321:2008 international standard method.

คำสำคัญ : PBBs, PBDEs, พลาสติก, แก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี

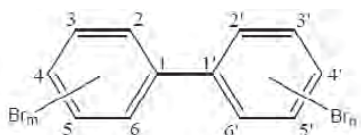
Keywords : PBBs, PBDEs, plastic, gas chromatography/ mass spectrometry

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

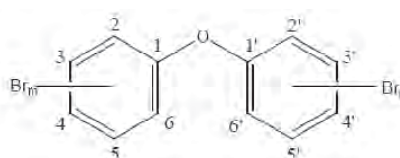
*Corresponding author E-mail address : smanop@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

สารในกลุ่ม พอลิโบรมิเนเตดไบฟีนิล (poly-brominated biphenyls, PBBs) และสารในกลุ่มพอลิโบรมิเนเตดไดฟีนิลอีเทอร์ (polybrominated diphenyl ethers, PBDEs) เป็นสารหน่วงการติดไฟ (flame retardants) ต้องห้ามในชิ้นส่วนพลาสติกของผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ตามกฎหมายระเบียบด้วยเรื่องของการจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Restriction of the Use of Certain Hazardous Substance on Electrical and Electronic Equipment หรือ RoHS: Directive 2002/95/EC) (1) เพื่อเป็นสารเติมแต่ง (additive) ในวัสดุพลาสติก วัสดุก่อสร้าง ภาชนะบรรจุ และชิ้นส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ และโทรทัศน์ เป็นต้น(2) เพื่อลดความเสี่ยงจากการติดไฟกฎระเบียบ RoHS ได้จำกัดและควบคุมการใช้สารหน่วงการติดไฟในกลุ่ม PBBs ต้องไม่เกินร้อยละ 0.1 และสารในกลุ่ม PBDEs ต้องไม่เกินร้อยละ 0.1 เนื่องจากเป็นสารที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับสารในกลุ่ม polychlorinated biphenyls (PCBs) และ dioxins ซึ่งมีความเป็นพิษสูงมากและละลายได้ดีในไขมันจึงทำให้เกิดการสะสมสารอันตรายเหล่านี้ในร่างกาย อีกทั้งเป็นสารประกอบที่มีความเสถียรสูงมาก สลายตัวยาก ทำให้เกิดการตกค้างและสะสมอยู่ในร่างกายและสิ่งแวดล้อมนอกจากนี้เนื่องจาก PBBs และ PBDEs เป็นสารเติมแต่งที่ไม่ได้เชื่อมด้วยพันธะทางเคมีกับพลาสติก จึงถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย



Polybrominated biphenyl (PBBs)



Polybrominated diphenyl ether (PBDEs)

$$\text{เมื่อ } m + n = 1 - 10$$

รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมี ของ PBBs และ PBDEs

PBBs และ PBDEs เป็นกลุ่มของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโบรมีนตั้งแต่ 1 ถึง 10 อะตอมเกาะอยู่กับโครงสร้างของ biphenyl และ diphenyl ring ที่ตำแหน่งต่างๆตามการเรียกชื่อสารในระบบ IUPAC ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำให้มีสารประกอบ PBBs และ PBDEs ที่เป็นไปได้มากถึง 209 สารประกอบสำหรับสารในแต่ละกลุ่ม

การวิเคราะห์ปริมาณสารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs ในชิ้นส่วนพลาสติกชนิดต่างๆ ได้แก่ polyethylene (PE), polypropylene (PP), acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS), high-impact polystyrene (HIPS) และ polyethylene terephthalate (PET) โดยทั่วไปใช้วิธีการสกัดสารดังกล่าวด้วยตัวทำละลายอินทรีย์(3) และวิเคราะห์หาปริมาณสารด้วยเทคนิค แก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี(3-7) วิธีวิเคราะห์อื่นๆเช่น การละลายพลาสติกด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถละลายพลาสติกชนิดนั้นๆ และตกตะกอนพลาสติกด้วยตัวทำละลายอีกชนิดที่จะทำให้พลาสติกชนิดนั้นเกิดการตกตะกอน(5,6) เทคนิคการวิเคราะห์ที่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบ PBBs และ PBDEs ประกอบด้วยเทคนิค energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) (2,8) และเทคนิคอินฟราเรดเปกโทรสโกปีสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเบื้องต้น (screening analysis) ไม่สามารถให้ข้อมูลปริมาณทดสอบแยกออกเป็นแต่ละไอโซเมอร์ได้และมีสภาพความไวในการตรวจวัดสารไม่สูง(2,8)เทคนิค GC/MS เป็นวิธีวิเคราะห์ PBBs และ PBDEs ที่ใช้แพร่หลายสำหรับตัวอย่าง ที่เป็นชิ้นส่วน

พลาสติกของผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า อาหาร และ สิ่งแวดล้อม (3-7, 9-15) อย่างไรก็ตามพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์สารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs คือ ปัญหาการสลายตัว Björklund และคณะ (10) ได้ระบุว่าระบบนำตัวอย่างเข้าและระบบการแยกสารในส่วน ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมีผลต่อการวิเคราะห์หา ปริมาณ PBDEs โดยเทคนิค GC/MS มาก โดยพบว่า การเลือกใช้อคอลัมน์ ชนิดของ retention gap, press-fit connector, stationary phase ความยาวของคอลัมน์ และเทคนิคการฉีดมีผลต่อความแม่นยำและความเที่ยง ของการทดสอบ PBDEs มาก การใช้ programmable temperature vaporizer (PTV) injector ภายใต้สภาวะ ที่เหมาะสมสามารถช่วยแก้ปัญหาสลายตัวของสารดังกล่าวได้(10)เนื่องจากสารในกลุ่ม PBDE มีมากถึง 209 ชนิด เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการแยก Korytár และ คณะ(16)ได้ใช้เทคนิคการแยกแบบสองมิติซึ่งมีชื่อว่า comprehensive two-dimensional gas chromatography โดยใช้เครื่องตรวจวัดทั้งชนิดจับอิเล็กตรอน (electron capture detector) และ time-of-flight MS ในการแยกและตรวจวัดสารในกลุ่ม PBDEs จำนวน 125 ชนิด Boer (9) ได้ตีพิมพ์บทความที่ได้รวบรวมงาน ศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สารที่ก่อมลพิษ ชนิดฮาลोजีนได้ระบุว่า การวิเคราะห์สารในกลุ่ม PBBs มีความยากมากกว่าการวิเคราะห์ PCBs เนื่องจาก PBBs ถูกดูดซับโดยแก้วได้มากกว่า PCBs และ PBBs มีความ เสถียรน้อยกว่า

จากข้อมูลการส่งออกผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยพบว่า มีรายได้สูงถึง ระดับหมื่นล้านบาทต่อปี ดังนั้นระเบียบ RoHS จะส่ง ผลกระทบต่อผู้ประกอบการไทยโดยเฉพาะผู้ประกอบการ ขนาดกลางและขนาดเล็ก ผู้ประกอบการจำเป็นต้อง พึ่งห้องปฏิบัติการที่มีขีดความสามารถในการทดสอบ สารอันตรายดังกล่าว เพื่อการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ กลุ่มสารอินทรีย์เคมีในผลิตภัณฑ์อุปโภค โครงการเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ มีหน้าที่ให้บริการวิเคราะห์

ทดสอบสารอินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อุปโภคชนิดต่างๆ ได้ ครอบคลุมถึงภารกิจที่จะตอบสนองความต้องการของ ประเทศ จึงได้ศึกษาพัฒนาวิธีทดสอบหาปริมาณสารใน กลุ่ม PBBs และ PBDEs ในชิ้นส่วนพลาสติกด้วยเทคนิค แก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ

2.1.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีรุ่น 6890N Network GC System บริษัท Agilent เชื่อมต่อกับเครื่อง แมสสเปกโตรมิเตอร์ชนิด Quadrupole รุ่น 5975 Inert Mass Selective Detector บริษัท Agilent Technologies ติดตั้งด้วยคอลัมน์ GC ชนิด capillary ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร เคลือบด้วย เฟสอยู่กับที่ชนิด 5% phenyl polysiloxane (DB-5MS) ที่ มีความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร

2.1.2 เครื่องตัดตัวอย่าง รุ่น SM 2000 บริษัท RETSCH

2.1.3 เครื่องบดละเอียดรุ่น ZM 200 บริษัท RETSCH

2.1.4 เครื่อง Soxhlet extraction system ประกอบด้วย Soxhlet Extractor ขวดกลั่นขนาด 100 มิลลิลิตร Condenser และ Cellulose thimble ขนาด 30 มิลลิลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร สูง 80 มิลลิเมตร

2.2 สารเคมี

2.2.1 สารมาตรฐานในสภาพของแข็งและ สารละลาย PBBs และ PBDEs ชั้นคุณภาพวัสดุอ้างอิง รับรองของบริษัท AccuStandard, Inc. U.S.A.

2.2.2 4,4'-Dibromodifluorobiphenyl (DBOBF) ความเข้มข้น 98.8 ± 4.0 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร ชั้นคุณภาพวัสดุอ้างอิงรับรองของบริษัท AccuStandard, Inc. U.S.A.

2.2.3 IRMM 310 Polyethylene terephthalate ชั้นคุณภาพวัสดุอ้างอิงรับรองของสถาบัน

IRMM, Belgium

2.2.4 ERM-EC590 Polyethylene ชั้น
คุณภาพวัสดุอ้างอิงรับรองของสถาบัน IRMM,Belgium

2.2.5 ERM-EC591 Polypropylene ชั้น
คุณภาพวัสดุอ้างอิงรับรองของสถาบันIRMM, Belgium

2.3 วัตถุประสงค์

ตัวอย่างที่นำมาใช้ในการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณเป็นตัวอย่างพลาสติกอะคริลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีนพอลิโพรพิลีนพอลิเอทธิลีนไฮอิมแพคพอลิสไตรีนและ พอลิเอทธิลีนเทอเลฟทาเลต ที่ปราศจากสารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs

2.4 การเตรียมตัวอย่างโดยการสกัดตัวอย่างพลาสติกด้วยวิธีตัวทำละลายแบบชอกเลต

ตัดตัวอย่างให้มีขนาดเล็กกว่า 2 เซนติเมตรด้วยเครื่องตัดหยาบ บดตัวอย่างให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียดโดยผ่าน Ring sieve ขนาด 750 ไมโครเมตร แล้วชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วประมาณ 0.1 กรัมใส่ลงใน ทิมเบลและปิดตัวอย่างด้วย glass wool เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างลอยขณะทำการสกัดดูดสารละลาย 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร DBOFB ปริมาตร 200ไมโครลิตรลงในทิมเบล เติมหลูอิน60 มิลลิลิตร และ ใส่ pumice stoneลงในขวดกลั่นประมาณ 8-10 ชิ้น นำทิมเบล มาใส่ในSoxhlet extractor แล้วต่อเข้ากับขวดแก้วกันกลมที่บรรจุตัวทำละลาย แล้วนำต่อเข้ากับส่วนควบแน่นสกัดเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมงโดยให้แต่ละรอบของการสกัดใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที ปลอ่ยให้สารที่สกัดได้เย็นแล้วถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยเทผ่านกรวยแก้วล้างขวดกลั่นด้วยโทลูอินครั้งละประมาณ 5 มิลลิลิตร 3-5 ครั้งหรือมากกว่าตามความเหมาะสม และ เติมหเมทานอลปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในสารละลายตัวอย่างเพื่อให้ตัวอย่างพลาสติกที่อาจละลายมาในขั้นตอนการสกัดเกิดการตกตะกอนแยกตัวออกจากสารละลาย ปลอ่ยให้สารละลายอยู่ในสมดุลกับอุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างไปปั่นแยกหรือกรองผ่าน

แผ่นกรองความละเอียดประมาณ 0.45 ไมโครเมตร เพื่อแยกพลาสติกที่ตกตะกอนอยู่ในสารละลายตัวอย่าง ใช้ไมโครซีริงค์ ขนาด 1000 ไมโครลิตรดูดสารละลายตัวอย่าง 100ไมโครลิตรใส่ลงในขวดใส่ตัวอย่าง ขนาด 2 มิลลิลิตรและเติมสารละลาย PCB 209 เข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร แล้วผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ Vortex mixer จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ PBBs และ PBDEs โดย GC/MS

2.5 การทดสอบตัวอย่างโดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี

การทดสอบหาปริมาณสารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs ใช้สภาวะของเครื่อง GC/MS ดังนี้

1) Injector ชนิดProgrammable-Temperature Vaporizer (PTV) โปรแกรมอุณหภูมิจาก 250 องศาเซลเซียส ไปเป็น 300 องศาเซลเซียส (0.01 นาที) ด้วยอัตรา 300 องศาเซลเซียสต่อนาทีและคงอุณหภูมิไว้ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14.5 นาทีPurge flow 50 มิลลิลิตรต่อนาทีpurge time 1.0 นาทีอัตราการไหลของ Heliumซึ่งใช้เป็นแก๊สพา1.3 มิลลิลิตรต่อนาทีโดยใช้อัตราการไหลคงที่

2) Oven โปรแกรมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาทีแล้วเพิ่มอุณหภูมิ ด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสไปที่อุณหภูมิ325องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 3 นาที

3) คอลัมน์ : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ความยาว 15 เมตร ผ่นภายในเคลือบด้วยเฟสคงที่ชนิด DB5MS (5% Phenyl + 95 % dimethyl polysiloxane)มีความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมครอน สามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุด 325 องศาเซลเซียส

4) อุณหภูมิของ MS Transfer line 300 องศาเซลเซียส

5) Detector(quadrupole mass spectrometer) โดยมีสภาวะ Ion source temperature (MS Source) 300 องศาเซลเซียส MS Quadrupole 180 องศาเซลเซียส

และ Ionisation method : electron ionization (EI) 70 eV วิเคราะห์สารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs ใน selected ion monitoring (SIM) mode และใช้มวลอ้างอิง (reference mass) สำหรับการตรวจวัดสารในกลุ่ม PBBs ดังแสดงในตารางที่ 1 มวลอ้างอิงสำหรับการตรวจวัดสารในกลุ่ม PBDEs ดังแสดงในตารางที่ 2 และมวลอ้างอิงสำหรับการตรวจวัด PCB-209 ซึ่งใช้เป็น internal standard และ DBOFB สำหรับใช้เป็น surrogate standard ดังแสดงในตารางที่ 3 ให้เลือกใช้ไอออนที่เขียนด้วยอักษรตัวหนาสำหรับการหาปริมาณ (quantitation ion) และใช้ไอออนที่เหลืออีก 1-2 ไอออนเพื่อใช้ยืนยันเชิงคุณภาพ (qualification ion) สำหรับพบ PBB หรือ PBDE นั้นๆ โดยมีไอออนที่ขีดเส้นใต้เป็นไอออนหลักที่ใช้ยืนยันเชิงคุณภาพ (identification ion) สำหรับพบ PBB หรือ PBDE นั้นๆ

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การตรวจสอบสมรรถนะของเครื่อง GC/MS ได้ตรวจสอบเพื่อยืนยันระบบ GC/MS สภาวะ GC/MS ที่เหมาะสมและไม่ทำให้สาร PBBs และ PBDEs ที่มีมวลโมเลกุลสูงโดยเฉพาะ decabrominated diphenyl ether (BDE209) สลายตัว โดยการหาปริมาณ BDE-206 ที่มีอยู่ใน BDE-209 ที่เข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยปกติจะตรวจสอบอย่างน้อย 1 ครั้งต่อปี หรือกรณีที่เครื่องมีสภาวะของการทดสอบเปลี่ยนไป หรือมีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลทดสอบ (8) มีเกณฑ์การยอมรับ คือ ต้องมีร้อยละของปริมาณ octa-BDE206 ต่อปริมาณรวมของ octa-BDE206 และ deca-BDE209 หรือที่เรียกว่าค่า PR-206 ไม่เกิน 4.0 จึงจะถือว่ามีความเหมาะสมสำหรับการทดสอบ PBBs และ PBDEs ในตัวอย่างได้ พบว่าได้ค่า PR-206 เท่ากับ 1.76 จึงถือว่าผ่านเกณฑ์การยอมรับ

ตารางที่ 1 มวลสารอ้างอิงสำหรับการตรวจวัดสารในกลุ่ม PBBs

ชนิดของ PBB		Ion(m/z) for the detection in SIM mode	
Mono-BB	231.9	233.9	
Di-BB	309.8	311.8	313.8
Tri-BB	387.8	389.8	391.8
Tetra-BB	307.8	309.8	467.7
Penta-BB	385.7	387.7	545.6
Hexa-BB	465.6	467.6	627.5
Hepta-BB	543.6	545.6	705.4
Octa-BB	623.5	625.5	627.5
Nona-BB	701.4	703.4	705.4
Deca-BB	781.3	783.3	785.3

ตารางที่ 2 มวลสารอ้างอิงสำหรับการตรวจวัดสารในกลุ่ม PBDEs

ชนิดของ PBDE		Ion(m/z) for the detection in SIM mode	
Mono-BDE	247.9	249.9	
Di- BDE	325.8	327.8	329.8
Tri- BDE	403.8	405.8	407.8
Tetra- BDE	323.8	325.8	483.7
Penta- BDE	401.7	403.7	561.6
Hexa- BDE	481.6	483.6	643.5
Hepta- BDE	559.6	561.6	721.4
Octa- BDE	639.5	641.5	643.5
Nona- BDE	717.4	719.4	721.4
Deca- BDE	797.3	799.3	959.1

Notation: Bold: Quantification ions ; Underline : Identification ions

ตารางที่ 3 มวลสารอ้างอิงสำหรับตรวจวัดสาร PCB-209 (internal standard) และ DBOFB (surrogate standard)

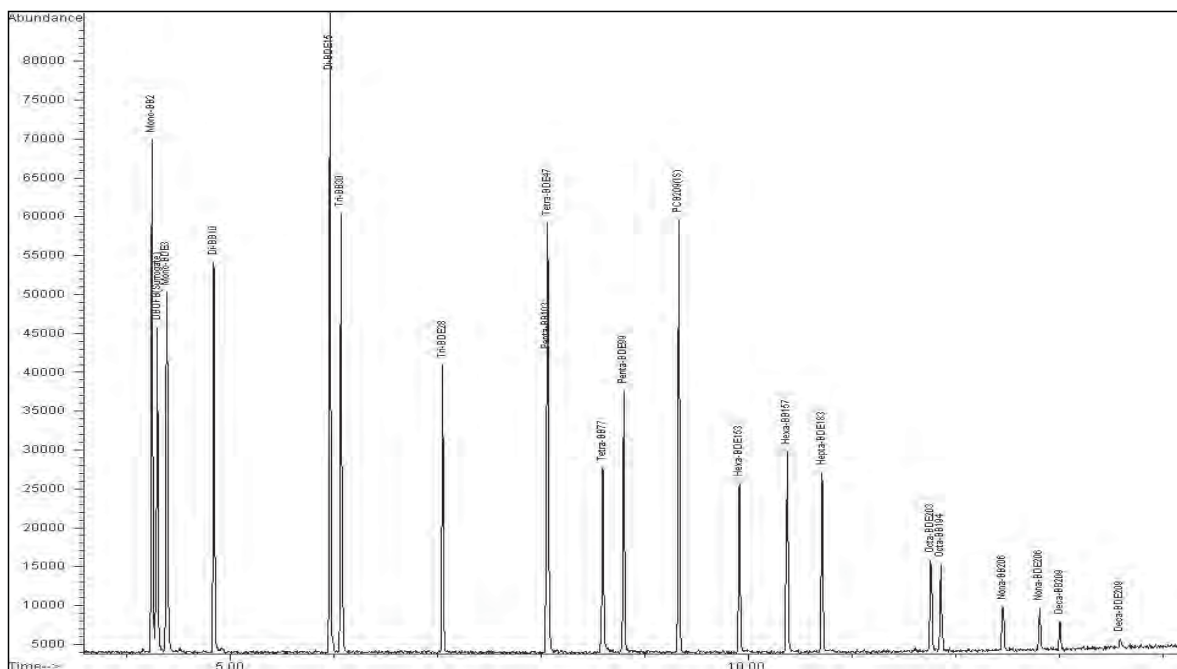
Compound	Ion(m/z) for the detection in SIM mode		
PCB-209 (IS)	497.7		
DBOFB (surrogate)	456.0	<u>458.0</u>	

Notation: Bold: Quantification ions ; Underline : Identification ions

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง GC/MS ได้ลักษณะโครมาโทแกรม GC-EI-MS ในโหมดสแกน SIM (selected ion monitoring) ของสารมาตรฐาน PBDEs และ PBBs ที่ความเข้มข้นต่ำสุด คือ 100 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร (ppb) ดังแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นว่าได้โครมาโทแกรมซึ่งมีพีคของสารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs แต่ละ

ชนิดที่แคบ แหลวมคม และแยกออกจากกันได้ดี มีความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์หาปริมาณของสารแต่ละชนิด ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดคือ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรนี้ตรงกับความเข้มข้นในพลาสติก 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อใช้น้ำหนักตัวอย่างพลาสติก 0.1 กรัมและมีปริมาตรสุดท้ายของสารละลายภายหลังการสกัดเป็น 100 มิลลิลิตร

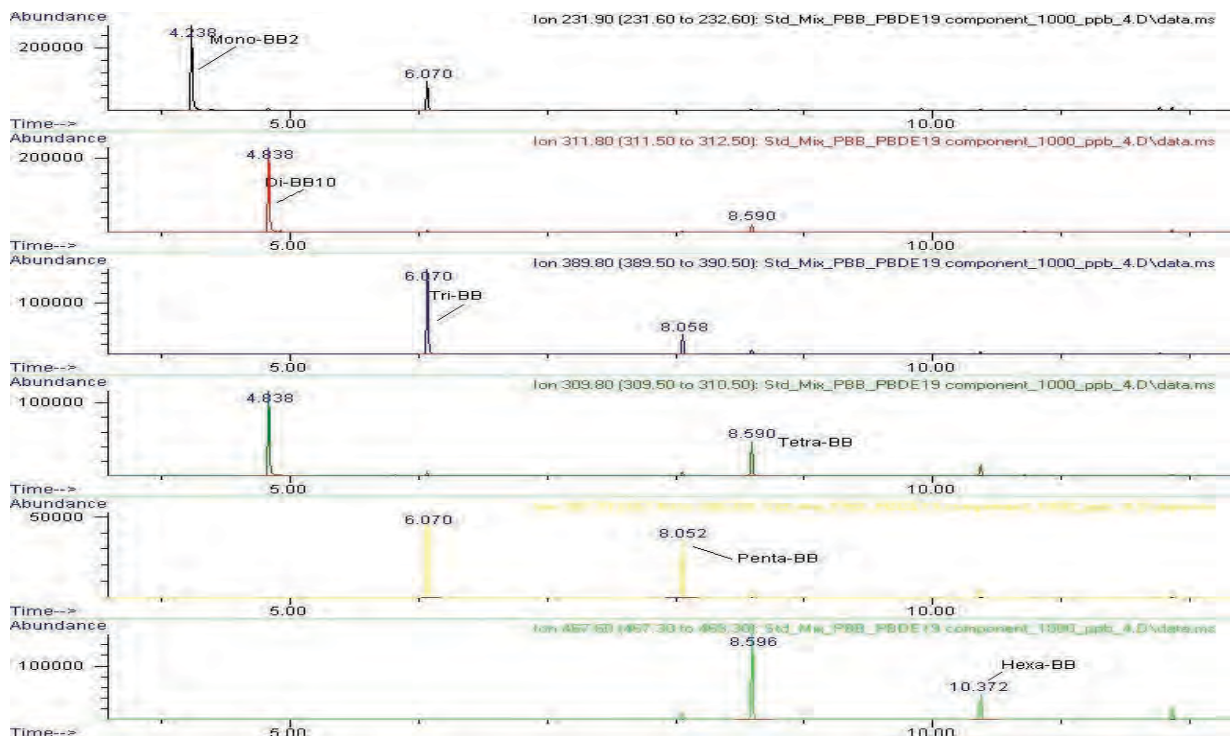
ตามลำดับจากการแยกภายใต้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับแก๊สโครมาโทกราฟีดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 จะเห็นว่าสามารถแยกสาร PBBs และ PBDEs รวมได้ทั้งหมด 19 ชนิด และสาร PCB 209 ที่ใช้เป็นสารมาตรฐานภายใน (internal standard) รวมทั้ง DBOFB (สารมาตรฐาน Surrogate สำหรับตรวจสอบการคืนกลับ) ให้ออกจากกันได้เป็นอย่างดี ยกเว้น penta-BB และ tetra-BDE



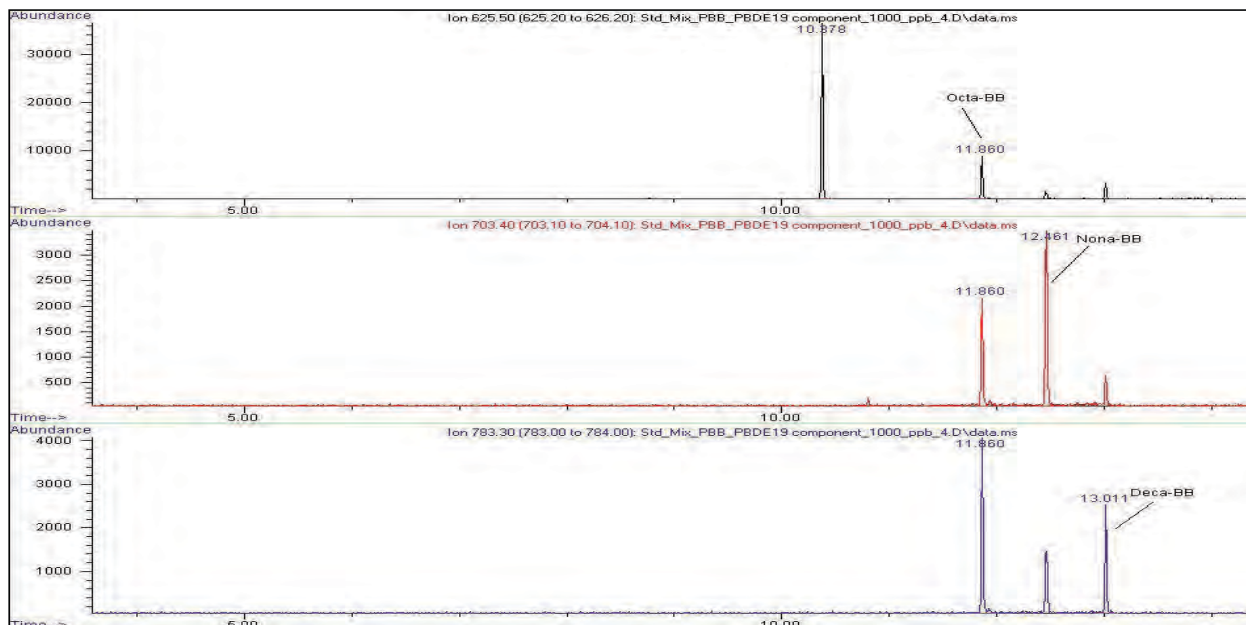
รูปที่ 2 โครมาโทแกรมของ GC-EI-MS ในโหมดสแกน SIM ของสารมาตรฐาน PBBs และ PBDEs ที่ 100 ng/ml

รูปที่ 3 และ 4 แสดงแมสโครมาโทแกรมของไอออนที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะสำหรับสาร PBBs และ PBDEs โดยไอออนที่มีค่ามวลต่อประจุ (m/z) 231.9, 311.8, 389.8, 309.8, 387.7, 467.6, 625.5, 703.4 และ 783.3 สำหรับการตรวจวัด PBBs ที่ประกอบด้วย mono-BB, di-BB, tri-BB, tetra-BB, penta-BB, hexa-BB, octa-BB, nona-BB และ deca-BB ตามลำดับ ส่วนไอออนที่มีค่ามวลต่อประจุ (m/z) 247.9, 327.8, 405.8, 325.8, 403.7, 483.6, 561.6, 641.5, 719.4 และ 799.3 ตามลำดับ เป็นไอออนสำหรับการตรวจวัด PBDEs ที่ประกอบด้วย mono-BDE, di-BDE, tri-BDE, tetra-BDE, penta-BDE, hexa-BDE, hepta-BDE, octa-BDE, nona-BDE และ deca-BDE

ปรากฏพีคในโครมาโทแกรมที่ซ้อนทับกันสนิทโดยมี Retention time เท่ากับ 8.052 นาทีและ 8.071 นาทีตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 6 ตามลำดับ แต่เนื่องจากการใช้พื้นที่ใต้พีคของไอออนที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะกับสารในแต่ละชนิดจึงทำให้การหาปริมาณโดยเทคนิคการตรวจวัดสารด้วยแมสสเปกโตรเมตรีสามารถทำได้ถึงแม้ว่าในบางกรณีพีคจะซ้อนทับกันก็ตาม จะเห็นว่า การตรวจวัดสารด้วยเทคนิค GC/MS มีความจำเพาะในการวัดสูงเมื่อเทียบกับเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีตามลำพัง



รูปที่ 3 แมสโครมาโทแกรมของไอออนที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ (231.9, 311.8, 389.8, 309.8, 387.7 และ 467.6 m/z) สำหรับตรวจวัดสาร mono-BB, di-BB, tri-BB, tetra-BB, penta-BB และ hexa-BB ตามลำดับ

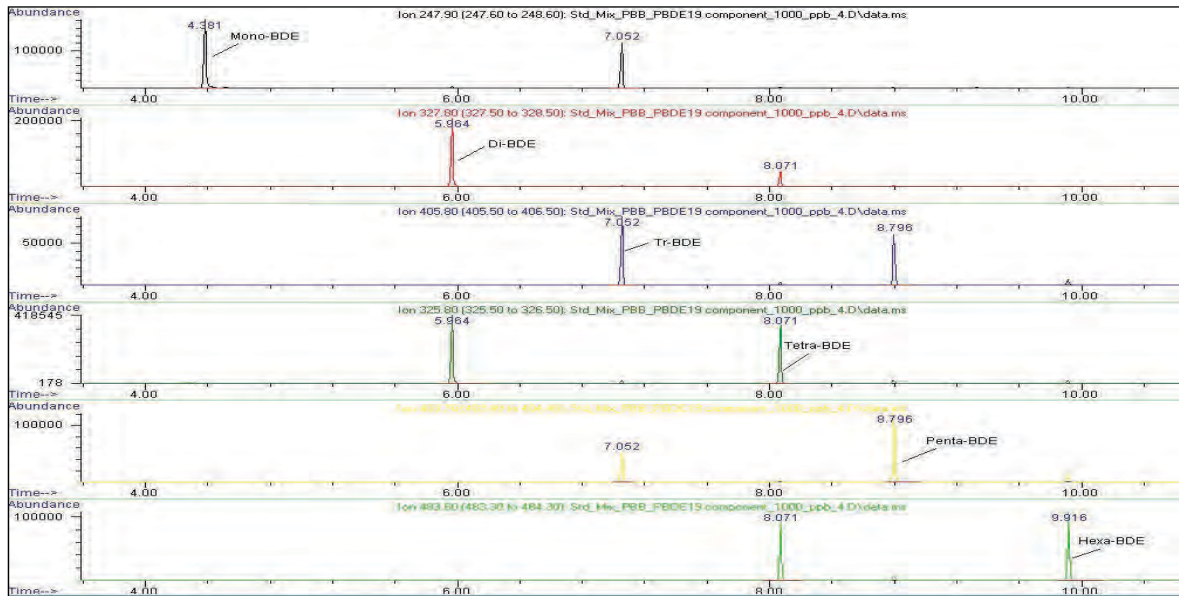


รูปที่ 4 แมสโครมาโทแกรมของไอออนที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ (625.5, 703.4 และ 783.3 m/z) สำหรับตรวจวัดสาร octa-BB, nona-BB และ deca-BB ตามลำดับ

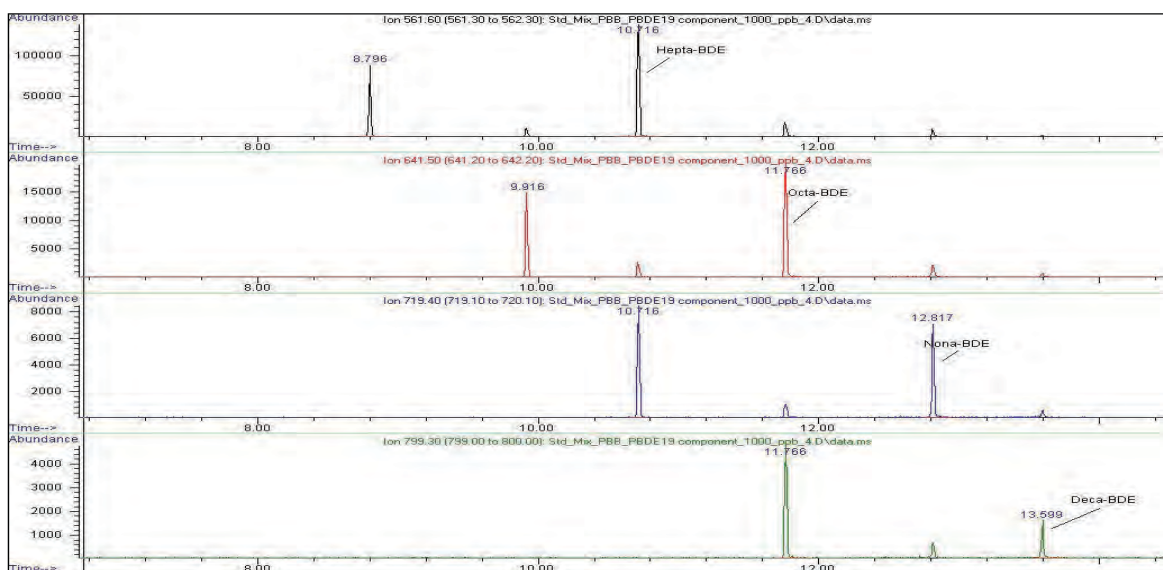
3.2 การศึกษาความเป็นเส้นตรง(Linearity) ของกราฟมาตรฐาน

การศึกษาความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานโดยเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารแต่ละชนิดในกลุ่ม PBBs และ PBDEs ช่วงความเข้มข้น 50–850 นาโนกรัมต่อมิลลิกรัม (ppb) และทดสอบ 3 ซ้ำในแต่ละระดับของความเข้มข้นพบว่า

กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ PBB และ PBDE แต่ละชนิด ดังตัวอย่างกราฟมาตรฐานของ monobrominated biphenyl (รูปที่ 7-1), decabromobiphenyl (รูปที่ 7-2), monobrominated diphenyl ether (รูปที่ 8-1) และ decabrominated diphenyl ether (รูปที่ 8-2) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ≥ 0.995 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับ



รูปที่ 5 แมสโครมาโทแกรมของไอออนที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ (247.9, 327.8, 405.8, 325.8, 403.7 และ 483.6 m/z) สำหรับตรวจวัดสาร octa-BB, nona-BB และ deca-BB ตามลำดับ

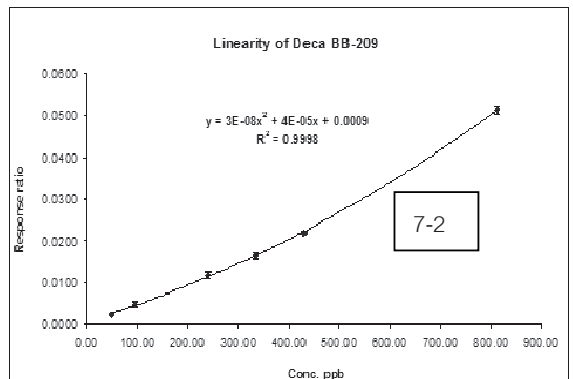
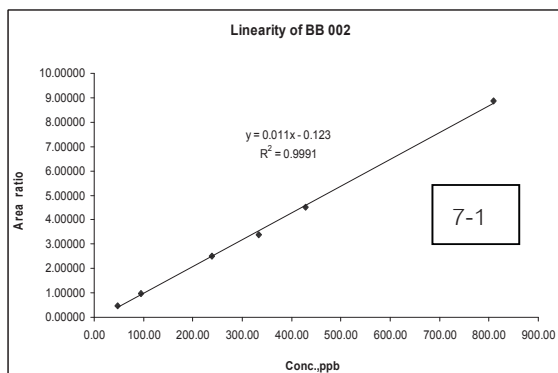


รูปที่ 6 แมสโครมาโทแกรมของไอออนที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ (561.6, 641.5, 719.4 และ 799.3 m/z) สำหรับตรวจวัดสาร octa-BB, nona-BB และ deca-BB ตามลำดับ

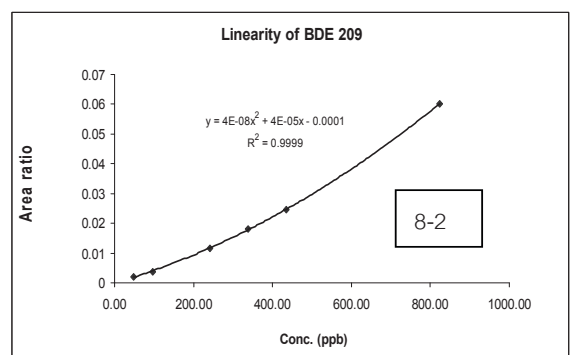
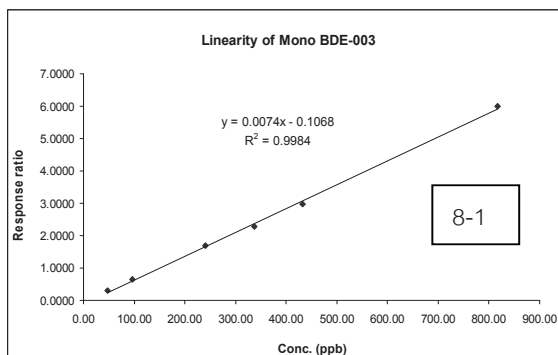
3.3 การศึกษาขีดจำกัดการตรวจพบและขีดจำกัดการวัดปริมาณของวิธีทดสอบ

การศึกษาขีดจำกัดการตรวจพบ(LOD) และขีดจำกัดการวัดปริมาณ(LOQ) ของวิธีทดสอบโดยการเติม (spike) สารมาตรฐานแต่ละชนิดในกลุ่ม PBBs และ PBDEs ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ Monobromo- ถึง Deca-bromo- ลงในพลาสติกชนิด ABS ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของพลาสติก และพลาสติกชนิดไม่มีสารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs ที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดของขอบข่ายการทดสอบ คือ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 10 ซ้ำ

จากการศึกษา LOD และ LOQ ของวิธีทดสอบพบว่าค่า LOD อยู่ในช่วง 3.93 ถึง 25.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและค่า LOQ อยู่ในช่วง 13.1 ถึง 85.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจะเห็นว่าค่า LOD และ LOQ ของ PBB และ PBDE แต่ละชนิดสอดคล้องกับระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ตามขอบข่าย คือที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุด 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าการคืนกลับที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดตามขอบข่าย คือ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ระหว่าง 50-150 % ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับของวิธีมาตรฐาน (8)



รูปที่ 7 กราฟมาตรฐานสำหรับการทดสอบ monobrominated biphenyl โดยใช้ mono-BB002 เป็นสารมาตรฐาน (7-1) และ decabrominated biphenyl โดยใช้ deca-BB209 เป็นสารมาตรฐาน (7-2)



รูปที่ 8 กราฟมาตรฐานสำหรับการทดสอบ monobrominated diphenyl ether โดยใช้ mono-BB003 เป็นสารมาตรฐาน (8-1) และ decabrominated diphenylether โดยใช้ Deca-BDE209 เป็นสารมาตรฐาน (8-2)

3.4 การศึกษาความแม่นยำของวิธีทดสอบ

การศึกษาความแม่นยำของวิธีทดสอบ โดยการเติมสารมาตรฐานลงในพลาสติก ชนิด อะครีโลไนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีนพอลิโพรพิลีนพอลิเอทิลีนไฮมแพ็ค พอลิสไตรีนและ พอลิเอทิลีนเทรฟทาเลทที่ความเข้ม

ชั้นต่างๆ 3 ความเข้มข้น (ต่ำ กลาง สูง) โดยใช้ tetra-BDE047, penta-BDE099, deca-BDE209 และ deca-BB209 เป็นตัวแทนของสารในกลุ่ม PBDEs และ PBBs ตามลำดับ พบว่าค่าความแม่นยำระบุในรูป % การคืนกลับของการทดสอบสารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs ที่ใช้เป็น

ตัวแทน ในพลาสติกชนิด อะคริโคโนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีนพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีนไฮอิมแพ็คพอลิสไตรีนและ พอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตที่ความเข้มข้นระดับกลางถึงความเข้มข้นระดับสูง อยู่ในช่วง 80.9-116.8 % อยู่ในช่วง 70-130 % และที่ความเข้มข้นต่ำสุด คือ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในช่วง 90.5-116.8 ยกเว้น Tetra-BDE047 มีค่า % การคืนกลับ เท่ากับ 130.1 ซึ่งยังอยู่ในช่วง 50-150 % สำหรับความเข้มข้นต่ำสุด ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีทดสอบจึงเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับของวิธีมาตรฐาน (8)

3.5 การศึกษาความเที่ยงของวิธีทดสอบ

การศึกษาคความเที่ยงของวิธีทดสอบด้วยวิธีการเติมสารมาตรฐานลงในตัวอย่างพลาสติกชนิดอะคริโคโนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีนพอลิโพรพิลีนพอลิเอทิลีนไฮอิมแพ็คพอลิสไตรีนและ พอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตที่ปราศจาก PBBs และ PBDEs ที่ความเข้มข้นต่างๆ 3 ความเข้มข้น (ต่ำ กลาง สูง) โดยใช้ tetra-BDE047, penta-BDE099, deca-BDE209 และ deca-BB209 เป็นตัวแทนของสารในกลุ่ม PBDEs และ PBBs ตามลำดับให้ครอบคลุมขอบข่ายที่ต้องการทดสอบ ได้ผลการทดสอบความเที่ยง ระบุอยู่ในรูป % RSD อยู่ในช่วง 1.83 ถึง 10.24 ยกเว้นกรณีของ deca-BB209 ที่ความเข้มข้นต่ำ (100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีค่าความเที่ยงระบุในรูป % RSD เท่ากับ 17.0 อย่างไรก็ตามยังคงมี % RSD น้อยกว่า 20 ดังนั้นจึงถือว่าค่าความเที่ยงของวิธีทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับของวิธีมาตรฐานสากล (8)

4. สรุป (Conclusions)

การทดสอบหาปริมาณสารในกลุ่มพอลิโบรมิเนเต็ดไดฟีนิลอีเทอร์ (PBDEs) และสารในกลุ่ม พอลิโบรมิเนเต็ดไบฟีนิล (PBBs) ในพลาสติกชนิดอะคริโคโนไทรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีนพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีนไฮอิมแพ็คพอลิสไตรีนและ พอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรีพบว่ากราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารแต่ละชนิด

ในกลุ่ม PBBs และ PBDEs มีช่วงความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 50-850 นาโนกรัมต่อมิลลิกรัมมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) คือ 0.995 ซึ่งจำกัดการวัดปริมาณของวิธีทดสอบอยู่ในช่วง 13.1 ถึง 85.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าความแม่นยำ ระบุในรูปของ % การคืนกลับ อยู่ในช่วง 70-130 % และความเที่ยงของการทดสอบระบุในรูป % RSD อยู่ในช่วง 1.8 ถึง 10.2 ยกเว้นกรณีของ Deca-BB209 ที่มีค่า % RSD ที่ความเข้มข้นต่ำ (100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เท่ากับ 17.0 ซึ่งยังคงน้อยกว่าร้อยละ 20 ดังนั้นวิธีทดสอบนี้มีค่าความแม่นยำและความเที่ยงเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับของวิธีทดสอบมาตรฐานสากล IEC 62321: 2008

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) Directive on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS) 2002/95/EC. Official Journal of the European Union, 2003.
- (2) SCHLUMMER, M., et al. Characterization of polymer fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE) and implications for waste management, Chemosphere, 2007, 67(9), 1866-1876.
- (3) ALTWAIG, A., M. WOLF., and R. van ELDIK. Extraction of brominated flame retardants from polymeric waste material using different solvents and supercritical carbon dioxide, Analytica Chimica Acta, 2003, 491(1), 111-123.
- (4) HUBER, S., and K. BALLSCHMITER, Characterization of five technical mixtures of brominated flame retardants, Fresenius Journal of Analytical

Chemistry, 2001, 371, 882-890.

[5] IEC 62321: 2008, Edition 1.0, International Standard: Electrotechnical products- Determination of levels of six regulated substances (lead, mercury, cadmium, hexavalent chromium, polybrominated biphenyls, polybrominated diphenyl ethers), 2008.

[6] KEMMLEIN, S., D. HERZKE., and R. J. LAW. Brominated flame retardants in the European chemicals policy of REACH — Regulation and determination in material, *Journal of Chromatography A*, 2009, 1216(3), 320-333.

[7] WU, H. Q., et al. Determination of polybrominated diphenyl ethers and polybrominated biphenyls in electrical and electronic equipment by gas chromatography-mass spectrometry, *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2007, 35(3), 325-329.

[8] EBERT, J., and M. BAHADIR, Formation of PBDD/F from flame-retarded plastic materials under thermal stress, *Environment International*, 2003, 29(6), 711-716.

[9] BOER, J. C. P. Capillary gas chromatography for the determination of halogenated micro-contaminants, *Journal of Chromatography A*, 1999, 843, 179-198.

[10] BJÖRKLUND, J., et al. Influence of the Injection Technique and the column system on gas chromatographic determination of polybrominated diphenyl ethers, *Journal of Chromatography A*, 2004, 1041(1-2), 201-210.

[11] COVACI, A., et al. Recent developments in the analysis of brominated natural compounds, *Journal of Chromatography A*, 2007, 1153(1-2), 145-171.

[12] SCHLUMMER, M., et al. Characterisation of polymer fractions from waste electrical and

electronic equipment (WEEE) and implications for waste management, *Chemosphere*, 2007, 67(9), 1866-1876.

[13] SCHLUMMER, M., et al. Analysis of flame retardant additives in polymer fractions of waste of electric and electronic equipment (WEEE) by means of HPLC-UV/MS and GPC-HPLC-UV, *Journal of Chromatography*, 2005, 1064(1), 39-51.

[14] STAPLETON, H. M. Instrumental methods and challenges in quantifying polybrominated diphenyl ethers in environmental extracts: a review, *Analytical Bioanalytical Chemistry*, 2006, 386(4), 807-817.

[15] VONDERHEIDE, A. P. A review of the challenges in the chemical analysis of the polybrominated diphenyl ethers, *Microchemical Journal*, 2009, 92(1), 49-57.

[16] KORYTÄR, P., et al. Comprehensive two-dimensional gas chromatography of polybrominated diphenyl ethers, *Journal of Chromatography A*, 2005, 1100(2), 200-207.

การสำรวจเบื้องต้น: ปริมาณไขมันทรานส์ในอาหารทอด ขนมอบ

ไขมันและน้ำมัน สำหรับบริโภคนมและผลิตภัณฑ์นม

A preliminary survey: trans fat in fried food, bakery, edible fat and oil products and milk and milk products

กมลกาญจน์ จัญญากัญจน์¹, บังอร บุญชู¹, วิภาวรรณ ศรีมุข¹
Kamolgan Jingan¹, Bangorn Boonshu¹, Wipawan Srimus¹

บทคัดย่อ

การสำรวจปริมาณไขมันทรานส์ในอาหารเบื้องต้นนี้ เพื่อหาแหล่งอาหารที่มีไขมันทรานส์และเผยแพร่แก่ผู้บริโภคให้ตระหนักถึงการเลือกอาหารที่เหมาะสม การวิจัยได้สุ่มตัวอย่างจำนวน 110 ตัวอย่างของอาหารที่มีไขมัน จำนวน 4 กลุ่ม ได้แก่ อาหารทอด ขนมอบ ไขมันและน้ำมันสำหรับบริโภค นมและผลิตภัณฑ์นม และทดสอบไขมัน ทรานส์ด้วยเทคนิคแก๊ส

โครมาโทกราฟีที่มีตัวตรวจวัดชนิดฟเลมไอออไนเซชัน (Gas Chromatography-Flame Ionization Detector, GC-FID) ผลทดสอบพบว่าอาหารแต่ละกลุ่มมีไขมันทรานส์สูงสุดดังนี้ โดนัทพบร้อยละ 6.20 คิดเป็น 3.41 กรัมต่อหน่วยบริโภค เวเฟอร์พบร้อยละ 5.18 คิดเป็น 0.64 กรัมต่อหน่วยบริโภค ครีมเทียมพบร้อยละ 7.72 คิดเป็น 0.25 กรัมต่อหน่วยบริโภค นมพร้อมดื่ม นมผง และไอศกรีมนม พบในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 0.63 ซึ่งไม่เกิน 0.32 กรัมต่อหน่วยบริโภค ชนิดของกรดไขมันทรานส์ที่พบปริมาณสูงสุด คือ trans-Octadecenoic acid (C18:1t) และ trans-Linolelaidic acid (C18:2 t) ร้อยละ 77.86 และ 16.56 ของกรดไขมันทรานส์ทั้งหมด ตามลำดับ

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นสามารถนำมาใช้เป็นข้อเสนอแนะสำหรับผู้บริโภค ในการหลีกเลี่ยงอาหารที่มีไขมัน ทรานส์สูงหรืออาหารที่ใช้ไขมันชนิดผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วน เช่นโดนัท เวเฟอร์ ครีมเทียมและเนยเทียมมากรินเพื่อลดความเสี่ยงการเสียชีวิตและเจ็บป่วยจากโรคหัวใจขาดเลือด หัวใจวายเฉียบพลัน

Abstract

This preliminary survey aimed to determine dietary sources of trans fat and to raise consumer awareness on selecting the proper dietary food. The research focused on the investigation of total trans fat content in high-fat foods, which can be divided into four categories of fried foods, bakery, edible fat and oil products and milk and dairy products. One hundred and ten samples were sampled and analyzed by a gas chromatography/flame ionization detector (GC/FID). The highest amounts of trans fat in each food categories were obtained as follow: 6.20 percent in donut or 3.41 grams per serving size, 5.18 percent in wafers or 0.64 grams per serving size, 7.72 percent in non-dairy creamer or 0.25 grams per serving size and in the range of 0.01 to 0.63 percent in milk, milk powder and milk ice-cream which is less than 0.32 grams per serving size. The main trans fatty acids found in these foods are trans-octadecenoic acid (C 18:1 t) (77.86%) and trans-linolelaidic acid (C18:2 t) (16.56%).

The recommendation to consumers based on this information may help decrease the risk of death and illness from coronary heart disease and sudden heart attack by avoiding high trans fat foods or partially hydrogenated oil such as donuts, wafers, non-dairy creamer and margarine. Pathogens and must be treated and be improved for consuming purposes.

คำสำคัญ : ไขมันทรานส์, กรดไขมัน, ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเจนบางส่วน

Keywords : Trans fat ,Fatty acid , Partially hydrogenated oil

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ไขมันทรานส์ส่งผลร้ายและก่อโทษต่อร่างกาย คล้ายคลึงกับการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันอิ่มตัว ไขมันทรานส์ทำให้ไขมันชนิดไม่ดี Low density lipoprotein-cholesterol (LDL) หรือ คอเลสเตอรอลชนิดไม่ดีเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ นอกจากนี้เนื้อเยื่อของระบบประสาทประกอบด้วยไขมันเป็นหลัก โดยที่ “ไมเอลิน (myelin)” ซึ่งเป็นสารเคลือบเส้นใยประสาท ประกอบด้วยโปรตีน ร้อยละ 30 และไขมันร้อยละ 70 ที่เป็นไขมันชนิดกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว รายงานผลศึกษาพบว่าไขมันทรานส์มีผลต่อความสามารถในการสื่อสารในระบบประสาทของสมอง และการที่ไขมันชนิดดีถูกทำลาย ระบบการทำงานจึงบกพร่องจากการที่สูญเสียกรดไขมัน ทำให้มีอาการของโรคพาร์กินสันและอัลไซเมอร์ (1)(2)

จากคำนิยามของ Codex Guidelines on Nutrition Labelling ระบุว่าไขมันทรานส์หมายถึงกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียวและหลายตำแหน่งทุกชนิดที่มีการเรียงตัวเป็นแบบทรานส์ที่ไม่ใช่ลักษณะคอนจูเกต (3) โครงสร้างกรดไขมันที่พบในธรรมชาติมีการเรียงตัวของไฮโดรเจนในทิศเดียวกันเป็นซิส (cis-configuration) แต่กรดไขมันทรานส์จะมีการเรียงตัวในด้านตรงข้ามกัน ดังภาพที่ 1



cis configuration trans configuration

ภาพที่ 1 การจัดเรียงตัวของโครงสร้างกรดไขมันแบบ cis และ trans
ที่มา <http://www.scientificpsychic.com/fitness>

จากข้อมูลที่ผ่านมา กรดไขมันทรานส์ที่พบเกิดจากการย่อยกรดไขมันของแบคทีเรียที่มีอยู่ในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งจะพบกรดไขมันกลุ่มกรดไลโนลิค (C18:2t) ต่อมามีการพัฒนากระบวนการผลิตอาหารให้มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีให้ได้ตามคุณลักษณะที่ต้องการจึงเกิดกระบวนการไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation) ในน้ำมัน เป็นการเติมไฮโดรเจนในน้ำมันพืชให้

มีโครงสร้างทางกายภาพที่แข็งขึ้น ทำให้กรดไขมันตามธรรมชาติที่อยู่ในรูป cis เปลี่ยนเป็น trans (2) นอกจากนี้ กรดไขมัน ทรานส์ยังเกิดขึ้นได้เล็กน้อยจากการให้ความร้อนในกระบวนการผลิต (4)

ในเดือนธันวาคมปี พ.ศ. 2556 สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา ได้จัดให้ไขมันทรานส์เป็นส่วนประกอบของอาหารที่ไม่ปลอดภัยอีกต่อไป และห้ามไม่ให้ใช้ไขมันทรานส์ในกระบวนการผลิตอาหารของสหรัฐอเมริกาภายในเดือนมีนาคม พ.ศ.2557 (5) ไขมันทรานส์ในที่นี้คือไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชันที่มีกรดไขมันทรานส์ในปริมาณมากเท่านั้น ไม่รวมถึงไขมันทรานส์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งเป็นเพียงส่วนน้อยและควบคุมการเกิดขึ้นได้ยาก

สหรัฐอเมริกาได้มีการรณรงค์ในรูปแบบต่างๆ ในเรื่องไขมันทรานส์ต่อผู้บริโภค ได้แก่ กำหนดให้มีการระบุปริมาณไขมันทรานส์ลงในฉลากโภชนาการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 มีการแนะนำปริมาณที่ควรบริโภคไขมันทรานส์ต่อวันไม่เกินวันละ 2 กรัม รวมทั้งการออกข้อแนะนำสำหรับร้านอาหารในบางรัฐเพื่อลดการใช้ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน จึงทำให้อัตราการบริโภคไขมันทรานส์ของประชากรในสหรัฐอเมริกาลดลงจากปี พ.ศ. 2546 ที่บริโภคไขมันทรานส์วันละ 4.6 กรัมเหลือเพียงวันละประมาณ 1 กรัมในปี พ.ศ. 2556 (6)

สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีข้อบังคับในการกำหนดหรือข้อแนะนำในการบริโภค โดยการแสดงปริมาณไขมันทรานส์บนฉลากให้เป็นไปโดยสมัครใจในปีพ.ศ.2550 มีการสำรวจปริมาณไขมันทรานส์ในอาหารโดยกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบโดนัทบาวาเรียนมีปริมาณไขมันทรานส์ร้อยละ 0.67 มันฝรั่งทอดร้อยละ 0.33 เด็กเนยร้อยละ 0.40 และมาการีนมีปริมาณไขมันทรานส์ร้อยละ 1.24 ถึง 2.75 ซึ่งเป็นการทดสอบปริมาณไขมันทรานส์โดยใช้เทคนิค GC-FID และ Capillary Column ที่มีความยาว 30 เมตร (7) Pierluigi Delmonte & Jeanne I. Rader ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการทดสอบไขมันทรานส์ด้วยเทคนิคต่างๆ และสรุป

ว่าปัจจุบันการทดสอบไขมันทรานส์ตามวิธีมาตรฐานส่วนใหญ่ใช้เทคนิค GC-FID มี Capillary Column ที่มีความยาว 100 เมตรเป็นวิธีที่เหมาะสมเพียงพอสำหรับการทดสอบปริมาณกรดไขมันทรานส์ที่ครอบคลุมการปิ้งซีในฉลากโภชนาการของสหรัฐอเมริกาและแคนาดาที่กำหนดปริมาณที่แสดงว่าไม่พบไขมันทรานส์ บนฉลากโภชนาการคือปริมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อหน่วยบริโภค (8) การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการสำรวจปริมาณไขมันทรานส์ในอาหารที่บริโภคภายในประเทศเบื้องต้น เพื่อสำรวจว่าในกลุ่มตัวอย่างอาหารสี่กลุ่มที่ประชากรในประเทศบริโคนั้น มีปริมาณไขมันทรานส์มากน้อยเพียงใด แม้ไม่ได้ครอบคลุมในทุกกลุ่มตัวอย่างอาหาร แต่สามารถใช้เป็นข้อมูลเผยแพร่ที่เป็นประโยชน์เพื่อให้เกิดความตระหนักในการเลือกซื้อ การบริโภค และการผลิตของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารเบื้องต้นจากร้านค้าทั่วไป ร้านอาหาร ห้างสรรพสินค้าและตัวอย่างวิจัยร่วมกับหน่วยงานอื่น 4 ประเภท แบ่งเป็น ประเภทอาหารทอด ได้แก่ มันฝรั่งทอด โดนัท ปาท่องโก๋ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ประเภทขนมอบ ได้แก่ คิววของค์แครกเกอร์ บิสกิตเวเฟอร์ ประเภทไขมันและน้ำมันบริโภค ได้แก่ น้ำมันรำ น้ำมันปาล์ม มاکารีน ครีมเทียม ประเภทนมและผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ นมพร้อมดื่ม นมผง ไอศกรีมนม

ดำเนินการทดสอบตามวิธีทดสอบมาตรฐาน AOAC (2010) 966.06 โดยชั่งตัวอย่างให้มีไขมันประมาณ 100 - 200 มิลลิกรัม (โดยประมาณจากปริมาณไขมันทั้งหมดที่มีในตัวอย่าง เช่น เวเฟอร์มีปริมาณไขมันทั้งหมดร้อยละ 30 ให้ชั่งตัวอย่างเพื่อทดสอบกรดไขมันทรานส์ประมาณ 0.5 กรัม จะทำให้ได้ตัวอย่างที่มีไขมันประมาณ 150 มิลลิกรัม) เติมกรดไตรอันดีคาโนอิก (C 11:0) เป็น Internal Standard ตัวอย่างประเภทนมและผลิตภัณฑ์นม เติมแอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ ส่วนตัวอย่างอาหารอื่นให้เติมน้ำละลายกรดไฮโดรคลอริก

เพื่อย่อยตัวอย่าง จากนั้นสกัดไขมันออกจากตัวอย่างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ออกจนเหลือแต่ไขมันด้วยก๊าซไนโตรเจน ส่วนตัวอย่างน้ำมันให้ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5-0.1 กรัมโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการย่อยและสกัด จากนั้นทำให้ไขมันเป็นกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ด้วยโบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอล และฉีดเข้า Capillary Column ความยาว 100 เมตร ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่มีตัวตรวจวัดชนิดฟเลมไอออไนเซชัน โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดสอบเทียบกับกรดไขมันชนิดทรานส์ 9 ชนิด ได้แก่ 1) Myristelaidic acid (C 14:1t), 2) trans-pentadecenoic acid (C 15:1t), 3) Palmitelaidic acid (C 16:1t), 4) trans-heptadecenoic acid (C 17:1t), 5) trans-Octadecenoic acid (C 18:1t (รวม C 18:1t6 , C 18:1t9 ,C 18:1 t11)), 6) Linolelaidic acid (C 18:2t (รวม C 18:2 t9,t12, C 18:2 c9,t12, C 18:2 t9,c12)), 7) Linolenelaidic acid (C 18:3 t (รวม C 18:3 t9,t12,t15, C 18:3 t9,c12,t15, C 18:3 c9,t12,t15, C 18:3 c9,c12,t15, C 18:3 c9,t12,c15, C 18:3 t9,c12,c15)), 8) trans-Eicosenoic acid (C 20:1t), 9) Brassidic acid (C 22:1t)

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

ผลการทดสอบปริมาณไขมันทรานส์ในตัวอย่างอาหารแยกตามชนิดของกรดไขมันชนิดทรานส์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการสามารถทดสอบได้ และผลรวมของไขมันทรานส์ทั้งหมดที่พบในตัวอย่างคิดเป็น ค่าเฉลี่ยและค่าต่ำสุดและสูงสุดที่พบในแต่ละชนิดของอาหาร โดยรายงานเป็นปริมาณต่อ 100 กรัมตัวอย่างหรือต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่างแสดง ดังตารางที่ 1 พบว่าเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม มاکารีนพบปริมาณไขมันทรานส์เฉลี่ยจาก 5 ตัวอย่างที่ตรวจสอบสูงที่สุดคือร้อยละ 1.98 โดยพบกรดไขมันทรานส์ชนิด C18:1t ร้อยละ 1.52 ชนิด C18:2t ร้อยละ 0.33 และใน 5 ตัวอย่างนี้มีตัวอย่างที่พบปริมาณไขมันทรานส์สูงที่สุด

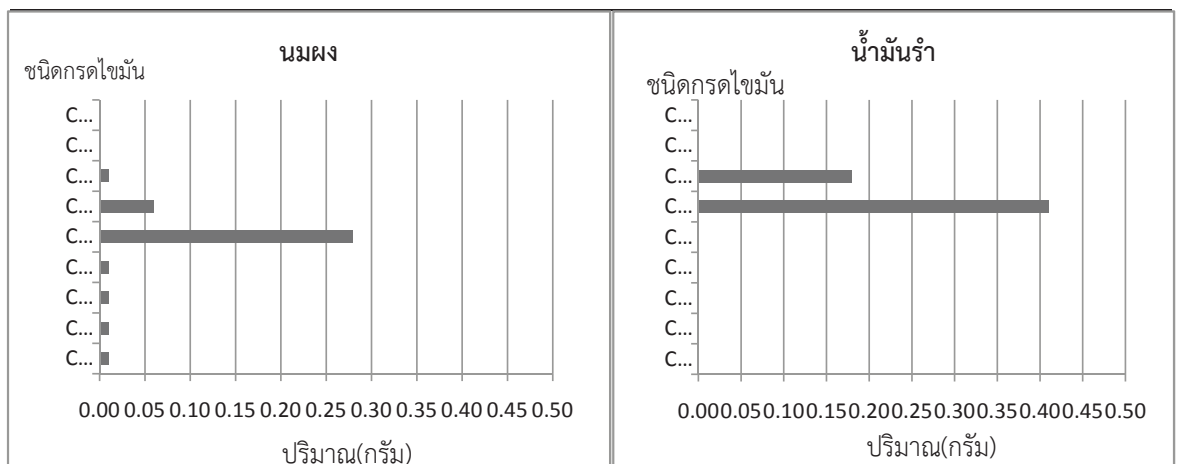
ถึงร้อยละ 7.30 ซึ่งใกล้เคียงกับตัวอย่างครีมเทียมโดยมี 1 ตัวอย่างที่ตรวจพบปริมาณไขมันทรานส์สูงถึงร้อยละ 7.72

ประสิทธิภาพการทดสอบกรดไขมันทรานส์ ได้หลายชนิดจากการทดสอบนี้ขึ้นอยู่กับการแยกด้วย เครื่อง GC-FID ที่ใช้คอลัมน์ ที่มีความยาว 100 เมตร ทำให้สามารถแยกชนิดของกรดไขมันได้ละเอียดถึงกว่า 70 ไอโซเมอร์และเป็นกรดไขมันทรานส์กว่า 10 ไอโซเมอร์ จากกราฟแสดงชนิดกรดไขมันทรานส์ในอาหารแต่ละ ชนิดในภาพที่ 2 พบว่าตัวอย่างนมผง พบกรดไขมัน ทรานส์ถึง 7 ชนิดโดยมีกรดไขมัน C 18:1t มากที่สุดรอง ลงมาคือ C 18:2t

ในตัวอย่างน้ำมันรำข้าวไม่พบกรดไขมัน C 18:1t แต่พบกรดไขมัน C 18:2t มากที่สุด หากการทดสอบไม่

ครอบคลุมชนิดของกรดไขมันทรานส์ อาจให้ผลการ ทดลองที่ผิดพลาดได้ ส่วนในภาพที่ 3 แสดงชนิดและ ปริมาณ (กรัม) ของกรดไขมันทรานส์ในตัวอย่างมากรีน 3 ตัวอย่าง ถึงแม้ว่าจะเป็นตัวอย่างชนิดเดียวกันแต่ มีวัตถุดิบที่เป็นน้ำมันพืชต่างชนิดกัน กระบวนการผลิต ต่างกัน ทำให้พบชนิดและปริมาณของกรดไขมันทรานส์ ที่แตกต่างกันในโดยในตัวอย่างที่ 1 ไม่พบกรดไขมัน ทรานส์ C 18:1t พบเพียงกรดไขมันทรานส์ C 18:2t แต่ ในตัวอย่างที่ 2 พบกรดไขมันทรานส์ C 18:1t มากที่สุด รองลงมาคือ C 18:2t ส่วนในตัวอย่างที่ 3 พบเพียงกรด ไขมันทรานส์ C 18:1t

ภาพที่ 2 ชนิดและปริมาณ(กรัม)ของกรดไขมันทรานส์ ที่พบในตัวอย่างนมผงและน้ำมันรำ

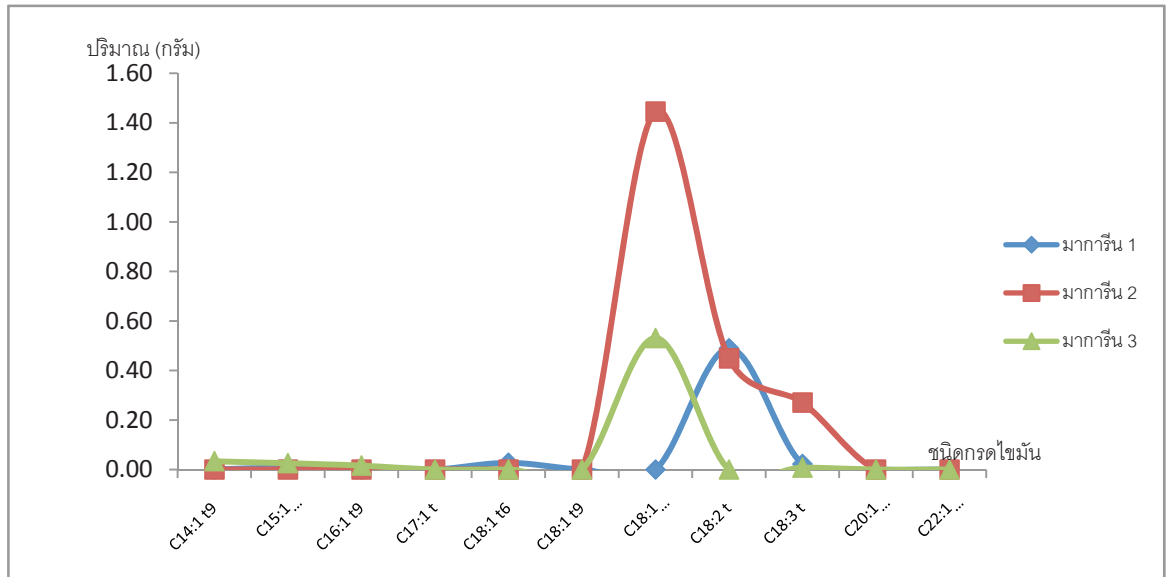


ตารางที่ 1 ปริมาณกรดไขมันทรานส์แต่ละชนิด(ค่าเฉลี่ยและช่วงที่พบ) ที่พบในตัวอย่างอาหาร

ผลิตภัณฑ์/ปริมาณ	จำนวนตัวอย่าง	ปริมาณค่าเฉลี่ย (ช่วงที่พบ) (กรัม)									
		C 14:1t	C 15:1t	C 16:1t	C 17:1t	C 18:1t	C 18:2t	C 18:3t	C 20:1t	C 22:1t	ไขมันทรานส์รวม
อาหารทอด											
มันฝรั่งทอด (ต่อ 100 กรัม)	3	ND	ND	<0.01 (ND-0.02)	ND	<0.01 (ND-0.02)	0.03 (ND-0.05)	0.02 (ND-0.04)	ND	ND	0.06 (0.05-0.07)
โดนัท (ต่อ 100 กรัม)	7	ND	ND	ND	ND	1.36 (ND-6.04)	0.06 (ND-0.16)	<0.01 (ND-0.03)	ND	ND	1.43 (0.03-6.20)
ปาท่องโก๋ (ต่อ 100 กรัม)	4	ND	ND	ND	ND	0.04 (0.02-0.06)	0.08 (0.04-0.14)	0.03 (0.01-0.05)	ND	ND	0.15 (0.10-0.24)
เส้นขนมปังสำเร็จรูป (ต่อ 100 กรัม)	8	ND	ND	ND	ND	ND	0.05 (0.02-0.11)	ND	ND	ND	0.06 (0.02-0.11)
เบเกอรี่											
ครัวซองต์ (ต่อ 100 กรัม)	7	0.02 (ND-0.05)	0.02 (0.02-0.06)	<0.01 (ND-0.02)	<0.01 (ND-0.01)	0.81 (0.24-2.83)	0.10 (0.04-0.18)	<0.01 (ND-0.03)	ND	ND	0.97 (0.37-3.04)
แครกเกอร์ (ต่อ 100 กรัม)	6	ND	ND	ND	ND	<0.01 (ND-0.01)	0.02 (ND-0.06)	ND	ND	ND	0.02 (ND-0.06)
บิสกิต (ต่อ 100 กรัม)	4	ND	ND	ND	ND	ND	0.04 (0.02-0.05)	ND	ND	ND	0.04 (0.02-0.05)
เวเฟอร์ (ต่อ 100 กรัม)	5	ND	ND	ND	ND	2.31 (ND-4.95)	0.14 (0.04-0.32)	0.02 (ND-0.09)	ND	ND	2.13 (0.04-5.18)
ไขมัน											
น้ำมันรำ (ต่อ 100 มิลลิลิตร)	35	ND	ND	ND	ND	ND	0.41 (ND-1.50)	0.18 (ND-0.60)	ND	ND	0.59 (ND-1.90)
น้ำมันปาล์ม (ต่อ 100 มิลลิลิตร)	6	ND	ND	ND	ND	ND	0.44 (0.11-1.09)	0.01 (ND-0.06)	ND	ND	0.45 (0.11-1.15)
มาการีน (ต่อ 100 กรัม)	5	0.01 (ND-0.03)	0.01 (ND-0.03)	<0.01 (ND-0.01)	ND	1.52 (0.02-6.72)	0.33 (ND-0.49)	0.10 (ND-0.29)	ND	ND	1.98 (0.61-7.30)
ครีมเทียม (ต่อ 100 กรัม)	5	ND	ND	ND	ND	1.58 (ND-6.40)	0.02 (ND-0.09)	0.03 (ND-0.17)	ND	ND	1.63 (ND-7.72)
นมและผลิตภัณฑ์นม											
นมพร่องมันเนย (ต่อ 100 มิลลิลิตร)	3	ND	ND	ND	ND	0.09 (ND-0.14)	0.02 (0.01-0.02)	ND	ND	ND	0.11 (0.01-0.16)
นมผง (ต่อ 100 กรัม)	8	0.01 (ND-0.04)	0.01 (ND-0.03)	<0.01 (ND-0.02)	<0.01 (ND-0.03)	0.28 (ND-0.49)	0.06 (0.04-0.09)	<0.01 (ND-0.06)	ND	ND	0.39 (0.04-0.63)
ไอศกรีมเนย (ต่อ 100 กรัม)	4	0.03 (0.02-0.03)	0.03 (0.03-0.03)	ND	ND	0.22 (0.21-0.25)	ND	0.02 (0.02-0.02)	ND	ND	0.30 (0.29-0.34)

ND= ปริมาณต่ำสุดที่ทดสอบได้สำหรับตัวอย่างไขมัน น้อยกว่า 0.05 กรัม สำหรับตัวอย่างอาหารอื่นๆ น้อยกว่า 0.01 กรัม

ภาพที่ 3 ชนิดและปริมาณ (กรัม) ของกรดไขมันทรานส์ในตัวอย่างมากรีน 3 ตัวอย่าง



ตารางที่ 2 แหล่งที่พบและสัดส่วนของกรดไขมันทรานส์

ชนิดกรดไขมัน	แหล่งของไขมันทรานส์	ร้อยละของไขมันทรานส์ทั้งหมด
C 14:1t9	ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วน	0.47
C 15:1t10	ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วน	0.66
C 16:1t9	ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วน	0.38
C 17:1t	ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วน	0.19
C 18:1t	ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วนไขมันจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง	77.86
C 18:2t	ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วนไขมันจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง กระบวนการผลิต(ความร้อน)	16.56
C 18:3 t	ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วน	0.57

เมื่อนำข้อมูลปริมาณไขมันทรานส์ที่จัดกลุ่มตามแหล่งที่มาของกรดไขมันทรานส์แต่ละชนิดในตารางที่ 2 พบว่ากรดไขมันทรานส์ที่พบส่วนใหญ่อยู่ในอาหารที่มีการใช้ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วนเป็นวัตถุดิบ ยกเว้นกรดไขมัน C 20:1t11 และ C 22:1t13 ที่ไม่พบในตัวอย่างอาหารใดเลย ทั้งนี้เนื่องจากกรดไขมันที่มีอยู่ในไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันสายสั้นเช่น C 18:1 ,C 18:2 ส่วนในตัวอย่างน้ำมันซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชัน

ที่พบกรดไขมันทรานส์นั้นเนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำมันมีการใช้ความร้อนซึ่งจากกระบวนการดัง

กล่าวอาจทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเปลี่ยนแปลงไปทำให้เกิดเป็นกรดไขมันทรานส์ได้เล็กน้อยแม้กรดไขมันทรานส์ชนิด C 18:1t จะพบเป็นส่วนใหญ่ของไขมันทรานส์ทั้งหมดแต่กรดไขมันทรานส์ชนิดอื่นก็พบมากกว่าร้อยละ 20 ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันทรานส์ในอาหารควรวิเคราะห์ให้ครอบคลุมกรดไขมันทรานส์ชนิดอื่นๆ ด้วย

เมื่อนำผลการทดสอบปริมาณไขมันทรานส์โดยเลือกค่าที่พบสูงสุดในอาหารแต่ละชนิดมาแสดงในปริมาณต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (9) ซึ่งเป็นปริมาณอาหารที่คนไทยปกติทั่วไปรับประทานได้หมดใน 1 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 3 โดยเปรียบเทียบกับปริมาณที่แนะนำของ

สมาคมแพทย์โรคหัวใจแห่งอเมริกา (2) ที่ระบุว่าไม่ควรบริโภคเกินวันละ 2 กรัมต่อวัน พบว่ามีอาหารที่เกินปริมาณที่แนะนำเพียงอย่างเดียวคือ โดนัท เพราะบริโภคเพียงชิ้นเดียวก็ได้รับไขมันทรานส์สูงถึง 3.41 กรัม (ในตัวอย่างที่พบสูงสุดจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดของโดนัทที่ใช้ทดสอบ) รองลงมาคือ ครัวซองค์ เวเฟอร์ และมาการีน หากบริโภคเกิน 1 หน่วยบริโภคจะได้รับไขมันทรานส์เกินปริมาณที่แนะนำได้ส่วนตัวอย่างอาหารอื่นๆ ที่สำรวจในครั้งนี้พบปริมาณไขมันทรานส์ที่ยังไม่เกินปริมาณที่แนะนำ

ตารางที่ 3 ปริมาณไขมันทรานส์ที่พบต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

ผลิตภัณฑ์/ปริมาณ	ปริมาณ 1 หน่วยบริโภค	ปริมาณไขมันทรานส์ในตัวอย่างที่ พบสูงสุด (กรัม) ต่อ 1 หน่วยบริโภค	ปริมาณไขมันทรานส์เฉลี่ยจากจำนวน ตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ (กรัม) ต่อ 1 หน่วยบริโภค
มันฝรั่งทอด (กรัม)	30	0.02	0.02
โดนัท (กรัม)	55	3.41	0.79
ปาต่องโก๋ (กรัม)	55	0.13	0.08
เส้นบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป (กรัม)	50	0.06	0.03
ครัวซองค์ (กรัม)	55	1.67	0.53
แครกเกอร์ (กรัม)	30	0.02	0.01
บิสกิต (กรัม)	30	0.02	0.01
เวเฟอร์ (กรัม)	30	1.55	0.64
น้ำมันรำ (มิลลิลิตร)	15	0.29	0.09
น้ำมันปาล์ม (มิลลิลิตร)	15	0.17	0.07
มาการีน (กรัม)	14	1.02	0.28
ครีมเทียม (กรัม)	3	0.23	0.05
นมพร้อมดื่ม (มิลลิลิตร)	200	0.32	0.22
นมผง (กรัม)	50	0.32	0.20
ไอศกรีมนม (กรัม)	80	0.27	0.24

4. สรุป (Conclusions)

1. อาหารที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศยังพบปริมาณไขมันทรานส์ที่ค่อนข้างสูง ผู้บริโภคได้รับไขมันทรานส์เกิน 2 กรัมต่อหน่วยบริโภคในหลายตัวอย่าง โดยเฉพาะขนมที่เด็กๆ นิยมบริโภค และหากบริโภคมากกว่า 1 หน่วยบริโภคก็จะยิ่งได้รับไขมัน ทรานส์มากขึ้นอีกและเมื่อสะสมจากอาหารหลายๆ ชนิดก็จะทำให้มากเกินปริมาณที่แนะนำได้ แต่ในตัวอย่างที่มีความเสี่ยงสูงเช่นมาการีนบางตัวอย่างพบไขมันทรานส์ เพียง

ร้อยละ 0.61 เท่านั้น แสดงว่าเราเลือกที่จะบริโภคอาหารปลอดภัยได้ถ้ามีฉลากแสดงข้อมูลที่เหมาะสม

2. หน่วยงานภาครัฐควรเพิ่มความตระหนักหรือกำหนดมาตรการแก่ผู้ผลิต ในการใช้ไขมันที่มีการเติมไฮโดรเจนบางส่วนซึ่งส่งผลให้เกิดเป็นไขมันทรานส์ รวมถึงการจัดให้มีแนวทางปฏิบัติของการผลิตและจำหน่ายอาหารที่มีไขมันทรานส์ ตลอดจนการแสดงฉลากข้อมูลโภชนาการที่เหมาะสม เพื่อการคุ้มครองผู้บริโภคอย่างจริงจังเช่นเดียวกับสหรัฐอเมริกาที่ปัจจุบันประชากรบริโภคไขมันทรานส์ลดลงเหลือเพียง 1 กรัมต่อวัน ซึ่งจะเป็นการช่วยผู้บริโภคในการหลีกเลี่ยง ลดความเสี่ยงการ

เสียชีวิตและเจ็บป่วยจากโรคหัวใจขาดเลือด หัวใจวายเฉียบพลัน

3. หน่วยงานทดสอบควรมีการปรับปรุงเทคนิคและวิธีการตรวจหาปริมาณไขมันทรานส์ที่ครอบคลุมชนิดของกรดไขมัน ทรานส์ให้เหมาะสม หากตรวจสอบชนิดของไขมันทรานส์ได้เพียง 1 หรือ 2 ชนิด ทำให้ได้ผลทดสอบคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ยังมีกรดไขมันอีกหลายชนิดที่พบในตัวอย่างทดสอบที่ยังระบุไม่ได้ว่าเป็นกรดไขมันทรานส์หรือไม่ ถึงแม้จะมีปริมาณเล็กน้อย

แต่ในอนาคตกระบวนการผลิตอาหารมีการเปลี่ยนแปลง มีวัตถุดิบใหม่ๆ เกิดขึ้นเสมอ กรดไขมันทรานส์เหล่านั้น อาจมีปริมาณเพิ่มขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยใน โครงการพัฒนาศักยภาพห้องปฏิบัติการทดสอบกรด ไขมันทรานส์ในอาหาร งบประมาณปี พ.ศ. 2556 กรม วิทยาศาสตร์บริการ

6. เอกสารอ้างอิง (References)

(1) THE FRANKLIN INSTITUTE ONLINE. Brain blockers-trans fats [Online]. [Viewed 4 March 2014]. Available from: <http://www.fi.edu/learn/brain/fats.html>

(2) AMERICAN HEART ASSOCIATION. Trans fats [Online]. [Viewed 25 February 2014] Available from: http://www.heart.org/HEARTORG/GettingHealthy/FatsAndOils/Fats101/Trans-Fats_UCM_301120_Article.jsp

(3) FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION AND WORLD HEALTH ORGANIZATION. Food labelling in: Guidelines on nutrition labelling CAC/GL 2-1985 [Online]. 5th ed. 2007 [Viewed 4 March 2014]. Available from: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1390e/a1390e00.pdf>

(4) SAXELBY, Catherine. Product review: rice bran oil [Online]. [Viewed 4 March 2014]. Available from: <http://foodwatch.com.au/reviews/item/product-review-rice-bran-oil.html>

(5) U.S.FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. FDA to extend comment period on measure to further reduce trans fat in processed foods — UPDATE [Online]. [Viewed 4 March 2014]. Available from: <http://www.fda.gov/Food/NewsEvents/Constitu->

[entUpdates/ucm379916.htm](http://www.fda.gov/Food/NewsEvents/ConstituentUpdates/ucm379916.htm)

(6) MARY CLARE JALONICK .No more trans fat: FDA banning the artery-clogger [Online]. [Viewed 4 March 2014]. Available from: <http://news.yahoo.com/no-more-trans-fat-fda-banning-artery-clogger-203512299--finance.html>

(7) นันทยา จงใจเทศ และคนอื่นๆ. รายงาน การศึกษาวิจัย เรื่อง ปริมาณไขมันทรานส์ในอาหารอบ และทอด. กรุงเทพมหานคร: กรมอนามัย กระทรวง สาธารณสุข. 2550.

(8) PIERLUIGI, Delmonte., and Jeanne I. RADER. Evaluation of gas chromatographic methods for the determination of transfat, Anal Bioanal Chem, 2007, 389(1), 77-85.

(9) สำนักงานคณะกรรมการอาหารและ ยา.กระทรวงสาธารณสุข.บัญญัติหมายเลข 2 แนบท้าย ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ.2541. ราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ, เล่มที่115 ตอนที่ 77 ง.ลง วันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2541

การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดว่านน้ำในการยับยั้งเชื้อรา ก่อโรคผลเน่าที่แยกได้จากพลันจี

The study on efficiency of *Acorus calamus* L. extract against fruit rot fungi isolated from lychee

สุวรรณี แทนธานี¹, จารวี สุขประเสริฐ², สายจิต ดาวสุโข¹, โสรญา รอดประเสริฐ¹
Suwannee Thaenthanee¹, Jaravee Sukprasert², Saijit Daosukho¹, Soraya Rodprasert¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดว่านน้ำ (*Acorus calamus* L.) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าจำนวน 21 สายพันธุ์ เป็นสายพันธุ์อ้างอิงจำนวน 6 สายพันธุ์ และสายพันธุ์ที่แยกได้จากพลันจี จำนวน 15 สายพันธุ์ (ไอโซเลท) โดยการคัดแยกเชื้อราบริสุทธิ์จากเปลือกพลันจีโดยวิธี Tissue transplanting พิสูจน์การก่อโรคตามวิธีของ Koch (Koch's Postulation) และจำแนกสายพันธุ์เชื้อราด้วยวิธีทาง Molecular technique การทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดว่านน้ำด้วยตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 เปรียบเทียบกับสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าได้ดำเนินการใน 2 รูปแบบ คือ การทดสอบบนจานเพาะเชื้อ และการทดสอบบนผลพลันจี การทดสอบบนจานเพาะเชื้อด้วยวิธี Poisoned food technique โดยการผสมสารสกัดว่านน้ำในอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) ให้ได้ความเข้มข้น 10, 100, 1,000, 10,000, 20,000, และ 30,000 ppm พบว่า สารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 10,000 ppm ขึ้นไป แสดงร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราเฉลี่ยสูงที่สุด (มากกว่า ร้อยละ 80) ในขณะที่สารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm แสดงร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราเฉลี่ย 70.26 ส่วนการทดสอบบนผลพลันจี ได้เลือกสารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้น 10,000 และ 20,000 ppm มาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าบนผลพลันจี โดยนำผลพลันจีที่ปนด้วยสารสกัดว่านน้ำ มาทำให้เกิดแผลและปลุกด้วยเชื้อราก่อโรคมาทดสอบนำไปพบในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลา 7 วันและสังเกตการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา พบว่า สารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้น 10,000 และ 20,000 ppm สามารถชะลอการเจริญของเชื้อราจำนวน 15 สายพันธุ์ ในขณะที่สารยับยั้งเชื้อรา คาร์เบนดาซิมที่ระดับความเข้มข้น 1,000 ppm สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ทุกสายพันธุ์ จึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้สารสกัดว่านน้ำในการควบคุมเชื้อราก่อโรคผลเน่าในพลันจี

Abstract

This research was to study the effect of *Acorus calamus* L. (Sweet flag) extract on the mycelial growth inhibition of 21 strains of fruit rot fungi. Among these, 6 were reference strains and 15 were strains isolated from lychee fruit peels. The isolation of fungal strains was performed by using tissue transplanting technique, proved to cause fruit rot disease according to Koch's Postulation method. The fungal strains were classified using a molecular technique. The ability of *A. calamus* extract by 95% ethanol on the mycelial growth inhibition was compared with commercial fungicide, carbendazim. The experiment was performed in 2 ways, on Potato Dextrose Agar (PDA) plates and on lychee fruit. The test on PDA plates was performed

according to Poisoned food technique. Various concentrations (10, 100, 1,000, 10,000, 20,000, and 30,000 ppm) of the extract were determined for antifungal activity on PDA. The result indicated that all fungal strains were sensitive to *A. calamus* extract at the concentration of 10,000 ppm upward. The average mycelial growth inhibition of the extract at 10,000 ppm was more than 80% whereas that of carbendazim at 1,000 ppm was 70.26%. The extract at 10,000 and 20,000 ppm were tested for the mycelial growth inhibition on lychee fruit. The lychee fruit were cleaned, sprayed with *A. calamus* extract, punched with the needle, and inoculated with the tested fungi. All inoculated fruit were incubated in an appropriate condition for 7 days. The growth of the tested fungal mycelium were then observed. The result showed that the extract delayed the mycelial growth of 15 strains on lychee fruit whereas carbendazim inhibited 21 strains. Therefore, the *A. calamus* extract has a potential to be used to control fruit rot fungi in lychee fruit.

คำสำคัญ : โรคผลเน่า, สารสกัดจากพืช, Litchi Chinensis

Keywords : Fruit rot, plant extract, Litchi Chinensis

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ลิ้นจี่ (*Litchi Chinensis* Sonn.) เป็นผลไม้เขตร้อนชนิดหนึ่งที่คนนิยมรับประทาน เนื่องจากมีรสชาติดี หวาน หอม สีสวย ทำให้เป็นที่ต้องการทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นลิ้นจี่จึงเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ อย่างไรก็ตาม ลิ้นจี่มักมีปัญหาที่สำคัญในช่วงของการเก็บรักษา คือ การเน่าเสีย ซึ่งมีสาเหตุจากการเข้าทำลายผลของเชื้อราก่อโรคผลเน่า เช่น เชื้อราในกลุ่ม *Lasiodiplodia theobromae*, *Colletotrichum gloeosporioides* Penz., *Pestalotia* spp., *Curvularia* sp., *Fusarium* sp., *Rhizopus* sp., *Mucor* sp., *Penicillium expansum*, *Aspergillus niger*, *Rhizopus nigricans*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, และ *Nigrospora* sp. เป็นต้น (1) การเข้าทำลายของโรคอาจเกิดการติดเชื้อตั้งแต่ผลิตผลอยู่ในแปลงปลูกแต่ยังไม่แสดงอาการของโรค จนกระทั่งหลังเก็บเกี่ยวจึงแสดงอาการออกมา เมื่อผลิตผลอ่อนแอหรือเข้าสู่ระยะการสุกส่งผลให้ผิวเปลือกผลเป็นสีน้ำตาลดำ มีการเจริญของเส้นใยเชื้อราซึ่งมักจะเกิดขึ้นเพียงด้านใดด้านหนึ่งของผลก่อนแล้วจะลุกลามไปทั่วทั้งผล และมีของเหลวไหลออกจากเปลือกผล เมื่อปอกเปลือกผลดูเนื้อเยื่อภายในจะพบว่าเนื้อเยื่อของผลเปลี่ยนจากใสเป็นลักษณะขุ่นเหมือนกระดาษอ่อนนุ่ม ฉ่ำน้ำ มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวแพร่ระบาดลุกลามอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ผลอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียงเป็นโรคมีลักษณะอาการดังกล่าวอีก นับว่าเป็นโรคที่รุนแรงและเกิดผลเสียหายมาก (1)

ปัจจุบันวิธีการลดการเน่าเสียและยืดอายุการเก็บรักษาลิ้นจี่เชิงพาณิชย์คือ การรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และการจุ่มในสารเคมีป้องกันเชื้อรา ปัญหาที่พบจากการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์คือการตกค้างของสารในเปลือกและผลซึ่งทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการแพ้ (2) (3) สำหรับสารเคมีที่นิยมใช้เพื่อควบคุมโรค เป็นสารเคมีชนิดดูดซึม (systemic fungicides) เช่น สารเคมีในกลุ่ม เบนซิมิดาโซล (benzimidazoles) ได้แก่ ไธอาเบนดาโซล (thiabendazole) และ คาร์เบนดาซิม (carbendazim) สารเคมีชนิด

นี้เมื่อฉีดพ่นลงบนพืชแล้วจะถูกดูดซึมเข้าไปภายในเนื้อเยื่อพืช และสามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ได้ เป็นสารที่มีความคงตัวสูง สลายตัวยากในน้ำ ดินและผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งการตกค้างของสารเคมีในผลลิ้นจี่จะเป็นปัญหาต่อสุขภาพผู้บริโภค คือ เป็นสารก่อมะเร็ง (4) ตลอดจนมีพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อม และทำให้เชื้อราสร้างความต้านทานต่อสารเคมีได้ นอกจากนี้ในปัจจุบันผู้บริโภคไม่ว่าจะเป็นภายในประเทศและต่างประเทศได้เน้นความสำคัญในเรื่องของการบริโภคอาหารที่มีคุณภาพและความปลอดภัย ดังนั้น เพื่อเป็นแนวทางลดการใช้สารเคมีและเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาสิ่งที่ทดแทนการใช้สารเคมีทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง คือ การใช้สารสกัดจากพืชสมุนไพรหรือสารธรรมชาติมาใช้ในการป้องกันการเน่าเสีย เนื่องจากมีความปลอดภัยสูงกว่าการใช้สารเคมีสังเคราะห์และสลายตัวได้ง่าย จึงทำให้ไม่ค่อยมีพิษตกค้างในผลไม้

ว่านน้ำ (*Acorus calamus* L.) เป็นไม้ล้มลุกเนื้ออ่อนสูง 1-2 เมตร อยู่ในวงศ์ Araceae ว่านน้ำมีลำต้นเป็นเหง้าอยู่ใต้ดินลักษณะเป็นแท่งค่อนข้างแบน มีใบแข็งตั้งตรง รูปวงรีแบนเรียวยาว ปลายใบแหลม แตกใบเรียงสลับซ้ายขวาเป็นแผง ใบค่อนข้างฉ่ำน้ำ ดอกมีสีเขียว มีขนาดเล็ก ออกเป็นช่อ มีจำนวนมากอัดกันแน่นเป็นแท่งรูปทรงกระบอก มีก้านช่อดอกลักษณะคล้ายใบทั้งใบ เหง้า และรากมีกลิ่นหอมฉุน ขอบขึ้นตามที่น่าขังหรือที่ชื้นแฉะ เหง้าของว่านน้ำให้น้ำมันหอมระเหยได้ดีและมีปริมาณมาก สารออกฤทธิ์สำคัญที่พบในว่านน้ำคือ เบตา-อาซาโรน (β -asarone) มีผลในการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา (5) ว่านน้ำเป็นสมุนไพรอีกชนิดหนึ่งที่มีรายงานวิจัยพบว่า มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคเน่าในพืชตระกูลกะหล่ำ กุหลาบ และเบญจมาศได้ (6) ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลของสารสกัดจากว่านน้ำด้วยตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุที่ทำให้ผลลิ้นจี่เน่าเสียในระยะหลังการเก็บเกี่ยว

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 การเตรียมสารสกัดว่านน้ำ

ขิงแห้งว่านน้ำแห้งที่บดละเอียด เติมหั่นทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1 : 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงในภาชนะแก้วมีฝาปิด และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน จากนั้น กรองแยกสารสกัดออกจากสมุนไพรรสขื่นด้วยวิธีเดิมอีก 2 ครั้ง แล้วนำสารสกัดที่ได้มารวมกัน ระเหยให้เข้มข้นด้วยเครื่องกลั่นระเหยสุญญากาศ (V-205, Buchi, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนกระทั่งไม่มีตัวทำละลายออกมา จากนั้นขังน้ำหนักรสขื่นว่านน้ำ และคำนวณผลผลิตที่ได้โดยใช้สูตรคำนวณ

$$\text{ร้อยละผลผลิตที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักผลผลิตที่ได้(กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักพืชก่อนสกัด(กรัม)}}$$

นำสารสกัดว่านน้ำเก็บใส่ขวดสีชาและเก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อเตรียมสำหรับการทดลองต่อไป

2.2 การคัดแยกเชื้อราก่อโรคผลเน่าจากเปลือกผลลิ้นจี่และการพิสูจน์การก่อโรค

2.2.1 การคัดแยกเชื้อราบริสุทธิ์จากเปลือกผลลิ้นจี่คัดแยกเชื้อราบริสุทธิ์จากเปลือกผลลิ้นจี่ 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ค่อม และพันธุ์สูงฮวย โดยวิธี Tissue transplanting โดยการนำเปลือกผลลิ้นจี่มาตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.5 x 0.5 เซนติเมตร นำไปแช่ในสารละลาย คลอโรกซ์ (Chlorox) ความเข้มข้น ร้อยละ 10 โดยปริมาตร เป็นเวลา 3 นาที แช่ในน้ำกลั่นปลอดเชื้อเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นซับด้วยกระดาษทิชชูที่ผ่านการฆ่าเชื้อ นำชิ้นตัวอย่างมาวางในจานอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อพบการเจริญของเส้นใยเชื้อรา ใช้เข็มปลายงอตัดบริเวณปลายเส้นใยของเชื้อรา วางบริเวณตรงกลางจานอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน บันทึกลักษณะโคโลนี สี ขนาด และจัดกลุ่ม หากมีลักษณะซ้ำกันเลือกเก็บไว้เพียง 1

สายพันธุ์ โดยการใช้เข็มปลายงอตัดปลายเส้นใยเชื้อราไปวางบนหลอดอาหารเลี้ยง (PDA slant) เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

2.2.2 การพิสูจน์การก่อโรคของเชื้อราที่แยกได้จากเปลือกผลลิ้นจี่

พิสูจน์การก่อโรคตามวิธีของ Koch (Koch's Postulation) (7) โดยนำผลลิ้นจี่ที่สมบูรณ์ไม่มีรอยตำหนิมาแช่ในสารละลายคลอโรกซ์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร เป็นเวลา 3 นาที แช่ในน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 2 ครั้ง ครึ่งละ 3 นาที ซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชูที่ฆ่าเชื้อแล้วให้แห้ง ใช้เข็มเขี่ยเชื้อ เจาะทะลุเปลือกผลลิ้นจี่จำนวน 3 จุดเพื่อทำให้เกิดแผล ใช้ Cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ที่ฆ่าเชื้อแล้วตัดเส้นใยเชื้อราวางบนเปลือกผลลิ้นจี่บริเวณที่ถูกทำแผล นำผลลิ้นจี่ที่ปลูกเชื้อใส่ในกล่องพลาสติกใส ที่มีสำลีชุบน้ำวางไว้ภายในกล่องเพื่อรักษาความชื้น ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน สังเกตการเจริญของเชื้อราทุกวัน หากพบการเจริญของเชื้อราเกินกว่าครึ่งผล มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกเป็นสีน้ำตาลดำ เกิดการยุบตัวของผลลิ้นจี่และมีน้ำไหลออกจากแผล จัดว่าเป็นเชื้อราก่อโรคผลเน่า

2.2.3 การจัดจำแนกสายพันธุ์เชื้อราก่อโรคผลเน่าที่แยกได้จากเปลือกผลลิ้นจี่

ส่งเชื้อราจำนวน 15 สายพันธุ์ ที่เป็นเชื้อราก่อโรคผลเน่าที่แยกได้จากเปลือกผลลิ้นจี่จากข้อ 2.2.2 เพื่อจัดจำแนกสายพันธุ์ ณ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC) ด้วยวิธี Molecular technique โดยการเพิ่มจำนวน 18s rDNA ด้วยเทคนิค PCR และอ่านลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 18s rDNA ด้วยเครื่อง automated sequencer (8) และวิเคราะห์เปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์กับฐานข้อมูลใน GenBank เพื่อระบุสายพันธุ์เชื้อรา

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดว่านน้ำในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าบนจานเพาะเชื้อ

2.3.1 การเตรียมเชื้อราก่อโรคสำหรับการทดสอบเพาะเลี้ยงเชื้อราก่อโรคผลเน่าสายพันธุ์อ้างอิงจำนวน 6 สายพันธุ์ ที่ได้จากการรวมวิชาการเกษตร ได้แก่ *Colletotrichum sp.*, *Curvularia sp.*, *Fusarium solani*, *Lasiodiplodia sp.*, *Pestalotiopsis sp.*, และ *Phoma sp.* รวมทั้งเชื้อราก่อโรคผลเน่าที่แยกได้จากเปลือกผลลิ้นจี่จำนวน 15 สายพันธุ์ บนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

2.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดว่านน้ำในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าบนจานเพาะเชื้อด้วยวิธี Poisoned food technique

เตรียมสารสกัดว่านน้ำ (จากข้อ 2.1) โดยละลายในน้ำกลั่นปลอดเชื้อให้ได้ความเข้มข้น 50,000 ppm แล้วผสมกับอาหาร PDA ให้ได้ระดับความเข้มข้น 10, 100, 1,000, 10,000 ppm อาหารชุดควบคุมบวก (Positive control) ผสมสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิมที่ระดับความเข้มข้น 1,000 ppm ซึ่งมีรายงานว่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้อย่างมีประสิทธิภาพ (9) อาหารชุดควบคุมลบ (Negative control) จะไม่ผสมสารสกัด นำเชื้อราสายพันธุ์อ้างอิงที่เตรียมไว้ในข้อ 2.3.1 มาทดสอบด้วยวิธี Poisoned food technique โดยใช้ Cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ที่ฆ่าเชื้อแล้ว ตัดปลายเส้นใยของเชื้อรา นำชิ้นส่วนของเชื้อราที่ตัดแล้ววางบนอาหาร PDA โดยให้ด้านที่มีเชื้อราสัมผัสผิวด้านอาหาร ทำการทดลอง 4 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส บันทึกการเจริญของเส้นใย เมื่อโคโลนีของเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อชุดควบคุมเจริญเต็มจานเพาะเชื้อ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราเพื่อคำนวณร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราโดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา} = ((A - B) / A) \times 100$$

เมื่อ A คือค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราที่เจริญบนอาหารชุดควบคุมลบ

B คือค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราที่เจริญบนอาหารผสมสารสกัด หรือผสมสารกำจัดเชื้อราสำหรับเชื้อราก่อโรคผลเน่าที่แยกได้จากเปลือกผลลิ้นจี่ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.3.2 แต่ใช้สารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้น 10,000, 20,000, และ 30,000 ppm (**ชี้แจง: การทดสอบบนจานเพาะเชื้อทำทั้ง 3 ความเข้มข้น ผลดังตารางที่ 3 หน้า 12)

2.4 การทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดว่านน้ำในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าบนผลลิ้นจี่

เพาะเลี้ยงเชื้อราก่อโรคผลเน่าบนผลลิ้นจี่ จำนวน 21 สายพันธุ์ ตามวิธีข้อ 2.3.1 ทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ด้วยวิธีการที่ดัดแปลงมาจากวิธี Koch's Postulation (ข้อ 2.2.2) โดยเพิ่มขั้นตอนของการปนสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 10,000 และ 20,000 ppm ลงบนเปลือกผลลิ้นจี่ที่อยู่ภายในถุงปลอดเชื้อ จนชุ่มทั่วทั้งผล ทั้งไว้เป็นเวลา 5 นาที นำออกจากถุง วางในจานเพาะเชื้อและฝังให้แห้งในตู้ปลอดเชื้อ จากนั้น ไข่เข็มเย็บเชื้อ เจาะทะลุเปลือกผลลิ้นจี่จำนวน 3 จุดเพื่อทำให้เกิดแผล ใช้ Cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ที่ฆ่าเชื้อแล้ว ตัดเส้นใยเชื้อรามาวางบนเปลือกผลลิ้นจี่บริเวณที่ถูกเจาะ นำผลลิ้นจี่ที่ปลูกเชื้อแล้วใส่ลงในกล่องพลาสติกใส ที่มีสำลึขุบน้ำวางไว้ภายในกล่องเพื่อรักษาความชื้น ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมบวก ที่ปนสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm ทำการทดลอง 4 ซ้ำ วัดการเจริญของเส้นใยเชื้อราบนผลลิ้นจี่ โดยการสังเกตและนำมาเขียนเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้ ให้เครื่องหมาย — หากไม่พบการเจริญของเส้นใยเชื้อรา ให้เครื่องหมาย + หากพบการเจริญของเส้นใยเชื้อราน้อยกว่าครึ่งผล ให้เครื่องหมาย ++ หากพบการเจริญของเส้นใยเชื้อราเท่ากับครึ่งผล และให้เครื่องหมาย +++ หากพบการเจริญของเส้นใยเชื้อราครอบคลุมทั่วทั้งผล

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การเตรียมสารสกัดว่านน้ำ

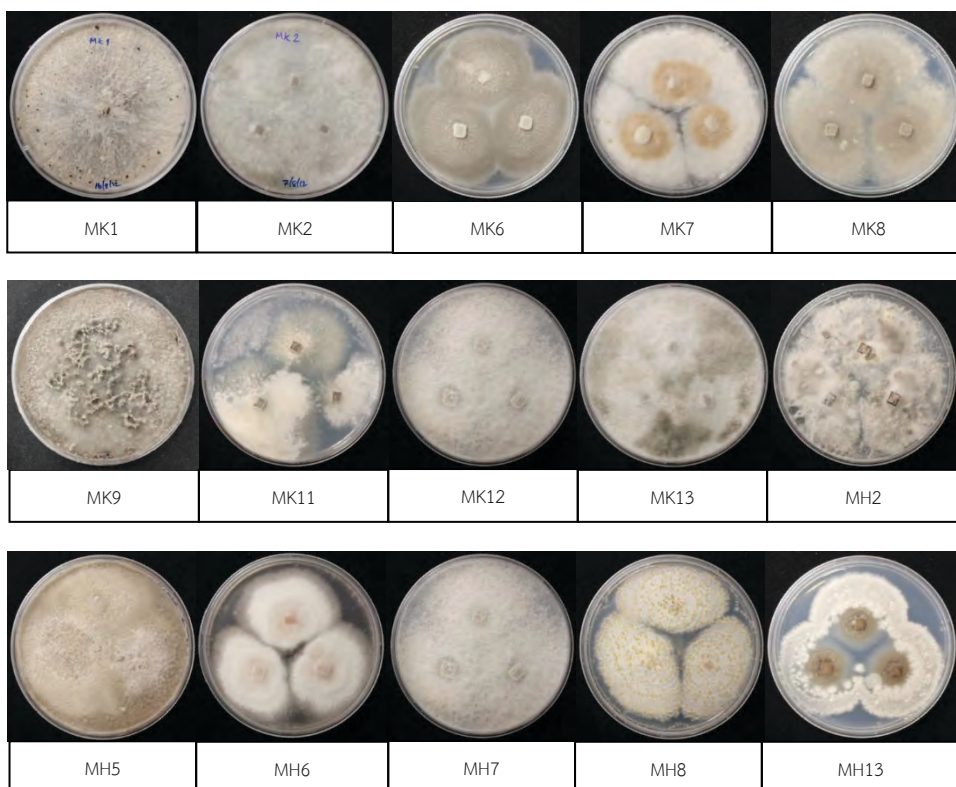
สารสกัดเอทานอลจากเหง้าว่านน้ำแห้งที่บดละเอียด 200 กรัม ได้น้ำหนักของสารสกัด 9.95 กรัม คิดเป็นร้อยละผลผลิตที่ได้ (% yield) 4.89 สารสกัดที่ได้มีลักษณะขุ่นหนืด สีน้ำตาลแก่

3.2 การคัดแยกเชื้อราก่อโรคผลเน่าจากเปลือกผลลิ้นจี่และการพิสูจน์การก่อโรค

3.2.1 การคัดแยกเชื้อราจากเปลือกผลลิ้นจี่ การคัดแยกเชื้อราบริสุทธิ์จากเปลือกผลลิ้นจี่ได้ทั้งสิ้นจำนวน 27 สายพันธุ์ คือจากเปลือกผลลิ้นจี่พันธุ์ค่อม (MK) 13 สายพันธุ์ และจากเปลือกผลลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวย (MH) 14 สายพันธุ์

3.2.2 การพิสูจน์การก่อโรคของเชื้อราที่แยกได้จากเปลือกผลลิ้นจี่

ผลการพิสูจน์การก่อโรคของเชื้อราบริสุทธิ์ที่คัดแยกได้จำนวน 27 สายพันธุ์ พบว่า 15 สายพันธุ์ มีความสามารถในการก่อโรค แบ่งเป็นเชื้อราที่แยกได้จากเปลือกผลลิ้นจี่พันธุ์ค่อม 9 สายพันธุ์ (MK1, MK2, MK6, MK7, MK8, MK9, MK11, MK12 และ MK13) และเป็นเชื้อราจากเปลือกผลลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวย 6 สายพันธุ์ (MH2, MH5, MH6, MH7, MH8 และ MH13) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โคโลนีของเชื้อราก่อโรคผลเน่าที่แยกได้จากเปลือกผลลิ้นจี่

3.2.3 การจัดจำแนกสายพันธุ์เชื้อราก่อโรค
ผลเน่าที่แยกได้จากเปลือกผลลิ้นจี่

ผลการจัดจำแนกสายพันธุ์เชื้อราจำนวน 15 สายพันธุ์ พบว่า มี % similarity กับเชื้อราที่อยู่ในฐานข้อมูล Genbank มากกว่าร้อยละ 99 (ตารางที่ 1) และพบว่า เป็นเชื้อราที่มีรายงานว่าก่อโรคผลเน่าลิ้นจี่จำนวน 13 สายพันธุ์ (3) ได้แก่กลุ่ม *Lasiodiplodia pseudothe-*

obromae, *Cochliobolus geniculatus*, *Fusarium sp.*, *Pestalotiopsis virgatula*, *Nigrospora sp.*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Alternaria alternata*, *Fusarium solani*, *Aspergillus carbonarius* และ *Phoma sp.* โดยอยู่ในกลุ่มเดียวกับเชื้อราสายพันธุ์อ้างอิง จำนวน 9 สายพันธุ์

ตารางที่ 1 การจัดจำแนกสายพันธุ์เชื้อราก่อโรคผลเน่าที่แยกได้จากเปลือกผลลิ้นจี่ด้วยวิธี molecular technique

Code	สายพันธุ์	แยกได้จาก	เปรียบเทียบกับ Genbank Accession No.	% similarity	ก่อให้เกิดโรค	เอกสารอ้างอิง
MK1	<i>Diaporthe phaseolorum</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์ท่อม)	JQ514150.1	99%	เน่าในต้นแก้ว เหลือง	[10]
MK2	<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์ท่อม)	EF622077.1	99%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MK6	<i>Cochliobolus geniculatus</i> (<i>Curvularia geniculata</i>)	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์ท่อม)	JN943417.1	100%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MK7	<i>Fusarium sp.</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์ท่อม)	GQ352485.1	100%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MK8	<i>Setosphaeria rostrata</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์ท่อม)	HE664034.1	99%	เชื้อราเข้า ทำลายบริเวณ รากพืช	[11]
MK9	<i>Pestalotiopsis virgatula</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์ท่อม)	AY687880.1	100%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MK11	<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์ท่อม)	EF622077.1	100%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MK12	<i>Nigrospora oryzae</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์ท่อม)	HQ608152.1	99%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MK13	<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์ท่อม)	EF622077.1	99%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MH2	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์สงขลา)	EU552111.1	99%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MH5	<i>Alternaria alternata</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์สงขลา)	HQ263343.1	99%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MH6	<i>Fusarium solani</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์สงขลา)	FJ345352.1	98%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MH7	<i>Nigrospora sp.</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์สงขลา)	JN207335.1	99%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MH8	<i>Aspergillus carbonarius</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์สงขลา)	AJ280012.1	100%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]
MH13	<i>Phoma sp.</i>	เปลือกผลลิ้นจี่ (พันธุ์สงขลา)	GU045305.1	99%	ผลเน่าในลิ้นจี่	[3]

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดว่านน้ำ ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าบน จานเพาะเชื้อ

3.3.1 การหาค่าความเข้มข้นของสารสกัด ว่านน้ำที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา ด้วยวิธี Poisoned food technique

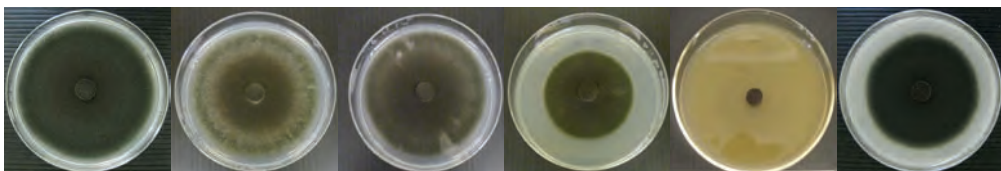
สารสกัดว่านน้ำ ที่ระดับความเข้มข้น 10, 100, 1,000 และ 10,000 ppm บนอาหาร PDA สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสายพันธุ์อ้างอิงจำนวน 6 สายพันธุ์ มีร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราเฉลี่ย เท่ากับ 2.26, 6.00, 7.21 และ 81.18 ตามลำดับ (ภาพที่ 2) ในขณะที่สารยับยั้งเชื้อรา คาร์เบนดาซิม ที่ระดับความเข้มข้น 1,000 ppm แสดงร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราเฉลี่ย 61.71 (ตารางที่ 2) จึงสรุปได้ว่าสารสกัดว่านน้ำที่ระดับ 10,000 ppm เป็นต้นไป สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ผ่องเพ็ญ จิตอารีรัตน์ และคณะ (2542) ที่

พบว่าสารสกัดเอทานอลของว่านน้ำมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* และ *Botryodiplodia theobromae* ได้ที่ความเข้มข้นระดับมากกว่า 5,000 ppm ขึ้นไป (12) นอกจากนี้ Phongpaichit, S. และคณะ (2005) พบว่า สารสำคัญในเหง้าว่านน้ำที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา ได้แก่ เบตา-อาซาโรน (β -asarone) ได้ทดสอบส่วนสกัดกิ่ง บริสุทธิ์ที่ได้จากการแยกสารสกัดหยาบเมทานอลของ เหง้าว่านน้ำ และมีเบตา-อาซาโรนเป็นส่วนประกอบหลัก พบว่าแสดงฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา *Trichophyton rubrum*, *Microsporum gypsum* และ *Penicillium marneffeii* ในระดับสูง โดยสารสกัดทำให้เส้นใยเชื้อรา มีความผิดปกติ (13) ดังนั้น ในการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดว่านน้ำในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าทั้ง 21 สายพันธุ์ ที่คัดแยกได้จากเปลือกของ ลิ้นจี่ จึงเลือกใช้ที่ระดับความเข้มข้น 10,000, 20,000 และ 30,000 ppm ในการทดสอบต่อไป

Colletotrichum sp.



Curvularia sp.

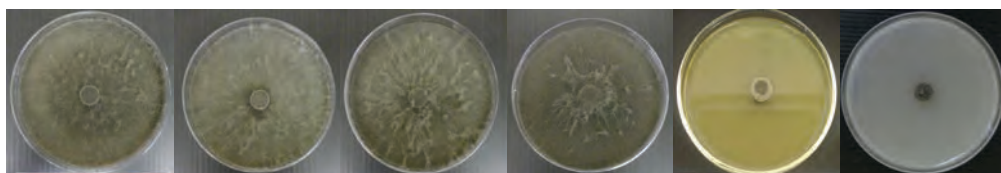


Fusarium solani



ภาพที่ 2 โคโลนีของเชื้อราก่อโรคผลเน่าสายพันธุ์อ้างอิงบนอาหาร PDA ผสมสารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และสารยับยั้งเชื้อรา คาร์เบนดาซิม

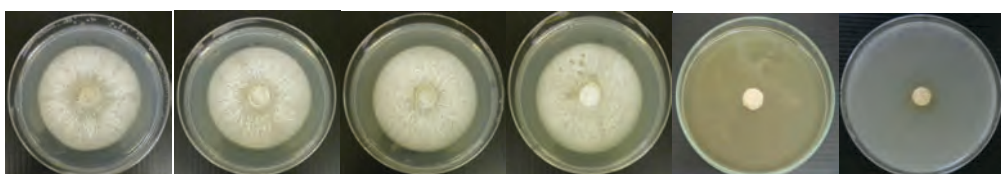
Lasiodiplodia sp.



Pestalotiopsis sp.



Phoma sp.



PDA (Control)	<i>A. calamus</i> 10 ppm	<i>A. calamus</i> 100 ppm	<i>A. calamus</i> 1,000 ppm	<i>A. calamus</i> 10,000 ppm	Carbendazim 1,000 ppm
------------------	-----------------------------	------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	--------------------------

ภาพที่ 2 (ต่อ) โคโลนีของเชื้อราก่อโรคผลเน่าสายพันธุ์อ้างอิงบนอาหาร PDA ผสมสารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม

ตารางที่ 2 ร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสายพันธุ์อ้างอิงบนอาหาร PDA ผสมสารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม

สายพันธุ์เชื้อราอ้างอิง	¹ ร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	บนอาหาร PDA ที่ผสม				
	สารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้น				คาร์เบนดาซิม
	10 ppm	100 ppm	1,000 ppm	10,000 ppm	1,000 ppm
<i>Colletotrichum</i> sp.	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	72.95±2.34	7.71±4.07
<i>Curvularia</i> sp.	6.13±1.28	11.72±5.41	31.61±0.97	88.07±0.30	18.14±3.03
<i>Fusarium solani</i>	0.00±0.00	10.52±0.83	0.00±0.00	83.37±1.21	88.10±0.00
<i>Lasiodiplodia</i> sp.	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	85.42±0.78	88.89±0.00
<i>Pestalotiopsis</i> sp.	7.41±4.73	13.77±3.92	11.62±1.25	88.96±0.27	88.89±0.00
<i>Phoma</i> sp.	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	68.32±1.92	78.53±0.00
ร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา	2.26±1.00	6.00±1.69	7.21±0.37	81.18±1.14	61.71±1.18

¹ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำในแต่ละความเข้มข้น

3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดว่านน้ำในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อ

โรคผลเน่าบนจานเพาะเชื้อสารสกัดว่านน้ำ ที่ระดับความเข้มข้น 10,000, 20,000, และ 30,000 ppm บนอาหาร PDA สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราก่อโรคผลเน่าลั่นจีที่แยกได้จากธรรมชาติได้ทุกสายพันธุ์ มีร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราเฉลี่ย 82.83, 84.81 และ 85.49 ตามลำดับ มีช่วงการยับยั้งอยู่ระหว่างร้อยละ 65.32 — 89.40 ในขณะที่สารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิมที่ระดับความเข้มข้น 1,000 ppm มีร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราเฉลี่ย 70.26 มีช่วงการยับยั้งอยู่ระหว่างร้อยละ 5.50 — 89.15 (ตารางที่ 3) เชื้อราที่ทนต่อคาร์เบนดาซิมในระดับสูง ได้แก่ *Alternaria alternata* (MH 5), *Colletotrichum* sp. (สายพันธุ์อ้างอิง), *Setosphaeria rostrata* (MK 8) และ *Curvularia* sp. (สายพันธุ์อ้างอิง) มีร้อยละการยับยั้งต่ำเพียง 5.50, 7.71, 15.34 และ 18.14 ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของพรประพา คงตระกูล และคณะ (2553) และ ญัฐพงษ์

นวลดี และคณะ (2553) ที่พบเชื้อราก่อโรคพืชด้านทานคาร์เบนดาซิมในระดับสูง (≥ 500 ppm) คาร์เบนดาซิมเป็นสารในกลุ่มเบนซิมิดาโซล ที่มีอิทธิพลต่อการสร้างโปรตีน Tubulin ภายในนิวเคลียสของเชื้อรา ซึ่งเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ในตำแหน่งของยีน Beta-tubulin จะมีผลให้ลำดับกรดอะมิโนของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไป เชื้อจึงเกิดการต้านทานต่อสารป้องกันกำจัดเชื้อราดังกล่าว (14) และ (15)

ผลการทดสอบบนจานเพาะเชื้อแสดงให้เห็นว่าสารสกัดว่านน้ำมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา ที่ระดับความเข้มข้น 10,000 ppm เป็นต้นไป ดังนั้น เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดในการนำไปใช้งาน จึงเลือกใช้สารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้น 2 ระดับ ได้แก่ 10,000 และ 20,000 ppm เปรียบเทียบกับสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม ในการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าบนผลลั่นจี

ตารางที่ 3 ร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราบนอาหาร PDA ผสมสารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม

สายพันธุ์เชื้อรา	¹ ร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	บนอาหาร PDA ที่ผสม			
	สารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้น			คาร์เบนดาซิม
	10,000 ppm	20,000 ppm	30,000 ppm	1,000 ppm
<i>Colletotrichum</i> sp.	72.95 $\pm$ 2.34	87.50 $\pm$ 0.29	86.78 $\pm$ 0.48	7.71 $\pm$ 4.07
<i>Curvularia</i> sp.	88.07 $\pm$ 0.30	88.48 $\pm$ 0.16	87.94 $\pm$ 0.08	18.14 $\pm$ 3.03
<i>Fusarium solani</i>	83.37 $\pm$ 1.21	86.28 $\pm$ 0.92	88.00 $\pm$ 0.34	88.10 $\pm$ 0.00
<i>Lasiodiplodia</i> sp.	85.42 $\pm$ 0.78	88.81 $\pm$ 0.45	89.19 $\pm$ 0.16	88.89 $\pm$ 0.00
<i>Pestalotiopsis</i> sp.	88.96 $\pm$ 0.27	88.96 $\pm$ 0.32	88.54 $\pm$ 0.32	88.89 $\pm$ 0.00
<i>Phoma</i> sp.	68.32 $\pm$ 1.92	78.49 $\pm$ 0.25	78.77 $\pm$ 0.70	78.53 $\pm$ 0.00
MK1 (<i>Diaporthe phaseolorum</i>)	88.87 $\pm$ 0.08	89.25 $\pm$ 0.08	89.30 $\pm$ 0.14	88.90 $\pm$ 0.19
MK 2 (<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>)	85.93 $\pm$ 0.23	87.47 $\pm$ 0.61	89.01 $\pm$ 0.23	88.73 $\pm$ 0.09

ตารางที่ 3 (ต่อ) ร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราบนอาหาร PDA ผสมสารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม

สายพันธุ์เชื้อรา	ร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน บนอาหาร PDA ที่ผสม			
	สารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้น			คาร์เบนดาซิม
	10,000 ppm	20,000 ppm	30,000 ppm	1,000 ppm
MK 6 (<i>Cochliobolus geniculatus</i>) (<i>Curvularia geniculata</i>)	84.54±0.13	83.95±0.60	85.67±0.12	47.34±6.30
MK 7 (<i>Fusarium</i> sp.)	73.36±0.59	75.84±0.32	75.84±0.56	77.00±0.40
MK 8 (<i>Setosphaeria rostrata</i>)	85.18±0.05	86.32±0.16	86.67±0.24	15.34±1.37
MK 9 (<i>Pestalotiopsis virgatula</i>)	87.26±0.34	87.25±0.08	87.42±0.39	88.52±0.06
MK 11 (<i>Lasiodiplodia pseudoeobromae</i>)	85.74±0.27	88.02±0.58	88.96±0.32	89.15±0.10
MK 12 (<i>Nigrospora oryzae</i>)	89.31±0.04	89.02±0.04	89.07±0.32	89.04±0.27
MK 13 (<i>Lasiodiplodia pseudoeobromae</i>)	86.20±0.56	87.89±0.33	88.93±0.22	89.15±0.15
MH 2 (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>)	88.10±0.22	88.24±0.25	88.69±0.18	86.67±0.61
MH 5 (<i>Alternaria alternata</i>)	65.32±2.15	67.31±0.44	69.39±0.37	5.50±3.04
MH 6 (<i>Fusarium solani</i>)	71.97±0.36	71.08±1.01	75.82±0.61	77.84±0.33
MH 7 (<i>Nigrospora</i> sp.)	89.40±0.09	89.15±0.17	89.36±0.04	88.88±0.06
MH 8 (<i>Aspergillus carbonarius</i>)	87.15±0.27	87.31±0.28	87.82±0.13	88.72±0.23
MH 13 (<i>Phoma</i> sp.)	83.96±0.57	84.35±0.22	84.01±0.16	84.35±0.16
ร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา	82.83±0.61	84.81±0.36	85.49±0.29	70.26±0.97

¹ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำในแต่ละความเข้มข้น

4. การทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดว่านน้ำในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าบนผลลิ้นจี่

สารสกัดว่านน้ำ ที่ระดับความเข้มข้น 10,000, และ 20,000 ppm สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราบนผลลิ้นจี่ได้จำนวน 15 สายพันธุ์ เป็นเชื้อราสายพันธุ์อ้างอิงจำนวน 5 สายพันธุ์ และเชื้อราที่แยกได้จากเปลือกผลลิ้นจี่จำนวน 10 สายพันธุ์ ทั้งนี้ สารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้น 10,000 และ 20,000 ppm สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ในระดับใกล้เคียงกัน ในขณะที่คาร์เบนดาซิมที่ระดับความเข้มข้น 1,000 ppm มี

ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราทุกสายพันธุ์ โดยพบการเจริญของเส้นใยเชื้อราน้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งผล (ตารางที่ 4) สาเหตุที่สารสกัดยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราบนอาหาร PDA ได้ดีกว่าการยับยั้งการเจริญของเชื้อราบนผลลิ้นจี่ อาจเกิดจากสารสกัดมีการออกฤทธิ์แบบสัมผัส จึงยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบริเวณที่สัมผัสโดยตรง การทดสอบในจานเพาะเชื้อจึงได้ผลดี ในขณะที่การทดสอบบนผลลิ้นจี่ มีปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ กล่าวคือ ผลลิ้นจี่ที่นำมาทดลองเก็บเกี่ยวช่วงปลายฤดู ซึ่งพบการเข้าทำลายของหนอน

บริเวณข้าวผลทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อราแฝงในผล
 ลิ่นจี เมื่อสภาวะเหมาะสมทำให้เชื้อราเจริญได้ สารสกัด
 ที่พ่นเคลือบเฉพาะบริเวณเปลือกผิว จึงไม่สามารถยับยั้ง
 การเจริญของเชื้อราที่อยู่ในผลได้ ส่วนสารยับยั้งเชื้อรา
 คาร์เบนดาซิม ซึ่งเป็นสารป้องกันกำจัดเชื้อราชนิดดูดซึม
 (systemic fungicide) จึงถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อพืช
 และสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราก่อโรคผลเน่าได้
 (16) ในขณะที่สารสกัดว่านน้ำออกฤทธิ์แบบสัมผัส การ
 ใช้สารสกัดว่านน้ำจะช่วยลดการเกิดโรคที่เกิดจากเชื้อรา
 บางชนิดได้ แม้ว่าไม่สามารถลดการเกิดโรคได้ทั้งหมด

จากงานวิจัยของ Rattanakreetakul และคณะ (2003)
 ได้ทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดเอทานอลของว่านน้ำ
 ที่ระดับความเข้มข้น 2,500 ppm ในการควบคุมเชื้อรา
 โรคแอนแทรคโนสมะม่วง โดยการจุ่มเปลือกผิว พบว่า
 เมื่อทดสอบกับผลมะม่วงที่ออกผลในฤดูกาลที่การ
 ระบาดของโรคไม่รุนแรงมาก สารสกัดจากว่านน้ำสามารถ
 ใช้ควบคุมการระบาดของโรคผลเน่าได้ แต่เมื่อทดสอบ
 กับผลมะม่วงที่ออกผลนอกฤดูกาล สารสกัดจะไม่สามารถ
 ควบคุมการเกิดโรคได้ เมื่อเทียบกับการใช้สารเคมี (17)

ตารางที่ 4 การยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราก่อโรคผลเน่าที่ปลูกบนผลลิ่นจีที่พ่นด้วยสารสกัดว่านน้ำที่ระดับ
 ความเข้มข้นต่างๆ และสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม

สายพันธุ์เชื้อรา	การเจริญของเส้นใยเชื้อราบนผลลิ่นจีที่พ่นด้วย		
	สารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้น		คาร์เบนดาซิม
	10,000 ppm	20,000 ppm	1,000 ppm
<i>Colletotrichum</i> sp.	++	+	+
<i>Curvularia</i> sp.	+	++	+
<i>Fusarium solani</i>	+	++	+
<i>Lasiodiplodia</i> sp.	+++	++	-
<i>Pestalotiopsis</i> sp.	++	+	+
<i>Phoma</i> sp.	++	++	+
MK1 (<i>Diaporthe phaseolorum</i>)	++	+	+
MK 2 (<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>)	+++	+++	-
MK 6 (<i>Cochliobolus geniculatus</i>)	+	+	+
(<i>Curvularia geniculata</i>)			
MK 7 (<i>Fusarium</i> sp.)	++	+	+
MK 8 (<i>Setosphaeria rostrata</i>)	+++	+++	++
MK 9 (<i>Pestalotiopsis virgatula</i>)	+	++	+
MK 11 (<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>)	+++	+++	+
MK 12 (<i>Nigrospora oryzae</i>)	+	+	-
MK 13 (<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>)	+++	+++	++

ตารางที่ 4 (ต่อ) การยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราก่อโรคผลเน่าที่ปลูกบนผลลิ้นจี่ที่พ่นด้วยสารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และสารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม

สายพันธุ์เชื้อรา	² การเจริญของเส้นใยเชื้อราบนผลลิ้นจี่ที่พ่นด้วย		
	สารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้น		คาร์เบนดาซิม
	10,000 ppm	20,000 ppm	1,000 ppm
MH 2 (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>)	++	++	+
MH 5 (<i>Alternaria alternata</i>)	++	++	++
MH 6 (<i>Fusarium solani</i>)	++	++	++
MH 7 (<i>Nigrospora</i> sp.)	++	++	++
MH 8 (<i>Aspergillus carbonarius</i>)	+++	+++	++
MH 13 (<i>Phoma</i> sp.)	++	++	++

² - ไม่พบการเจริญของเชื้อรา, + พบการเจริญของเส้นใยเชื้อราน้อยกว่าครึ่งผล, ++ พบการเจริญของเส้นใยเชื้อราเท่ากับครึ่งผล, +++ พบการเจริญของเส้นใยเชื้อราครอบคลุมทั่วทั้งผล

4. สรุป (Conclusion)

การใช้สารสกัดจากพืชสมุนไพรในการควบคุมโรคผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นวิธีการที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ มากกว่าการใช้สารเคมี ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาประสิทธิภาพสารสกัดว่านน้ำในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าในลิ้นจี่จำนวน 21 สายพันธุ์ เป็นเชื้อราสายพันธุ์อ้างอิงจำนวน 6 สายพันธุ์ และคัดแยกจากเปลือกผลลิ้นจี่จำนวน 15 สายพันธุ์ การทดสอบได้ดำเนินการใน 2 รูปแบบ ได้แก่ การทดสอบบนจานเพาะเชื้อ และการทดสอบบนผลลิ้นจี่ ผลการทดสอบในงานเพาะเชื้อโดยผสมสารสกัดในอาหาร PDA พบว่าสารสกัดที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 10,000 ppm เป็นต้นไป สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ทั้ง 21 สายพันธุ์ ส่วนในการทดสอบบนผลลิ้นจี่ พบว่าสารสกัดว่านน้ำความเข้มข้น 20,000 – 30,000 ppm สามารถชะลอการเจริญของเชื้อราได้ 15 สายพันธุ์ ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้สารสกัดว่านน้ำร่วมกับวิธีการอื่นๆ เช่น การจุ่มในน้ำร้อน หรือการเคลือบผิว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการเน่าเสียและยืดอายุการเก็บรักษา

ได้ดียิ่งขึ้นและมีความปลอดภัยสูงกว่าการใช้สารเคมีสังเคราะห์ อย่างไรก็ตาม ควรมีความระมัดระวังในการใช้ เนื่องจากมีรายงานว่าสารเบตา-อะซาโรน ในว่านน้ำเป็นสารก่อมะเร็งและมีพิษต่อตับได้ (5)

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณสำนักเทคโนโลยีชุมชนที่เอื้อเฟื้อสถานที่ ขอขอบคุณ นางสุภกษ ทรัพย์แดง ที่ให้ความร่วมมือในการตรวจความถูกต้องของเอกสาร

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) นิพนธ์ วิสารทนนท์. โรคไม้ผลเขตร้อน โรคทับทิม น้อยหน่า ลำไย ลิ้นจี่ ส้ม องุ่น และอะโวคาโด. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542.
- (2) รัมภ์ พัน โกศลานนท์, บุญญวดี จิระวุฒิ และ อาริรัตน์ การุณสกลิตชัย. การใช้สารธรรมชาติเพื่อควบคุมโรคและยืดอายุการเก็บรักษาลิ้นจี่. กรุงเทพมหานคร: สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2549.

- (3) JIANG, Y., et al. Postharvest biology and technology of litchi fruit. Food, Agriculture and Environment, 2003, 1(2), 76-81.
- (4) SIGMA-ALDRICH. Carbendazim. Material Safety Data Sheet [Online]. 2013. (viewed 16 April 2014). Available from: <http://www.rayfull.com/UploadFiles/PDF/2013681451543.pdf>
- (5) สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ว่านน้ำ (ออนไลน์). 2553. เข้าถึงจาก: <http://www.thaicrudedrug.com/main.php?action=viewpage&pid=124>
- (6) MUNGKORNASAWAKUL, P., et al. Inhibitory effect of *Acorus calamus* L. extract on some plant pathogenic molds. International Conference on Medicinal and Aromatic Plants Possibilities and Limitations of Medicinal and Aromatic Plant Production in the 21st century. Budapest: International Society for Horticultural Science, 2002, pp. 341-345.
- (7) AGRIOS, G.N. Plant pathology. 4th Ed. San Diego : Academic press, 1997.
- (8) WHITE, T. J., et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR protocols. USA : Academic Press, 1990, pp 315-322.
- (9) TASKEEN, Un-Nisa., et al. "In vitro inhibitory effect of fungicides and botanicals on mycelial growth and spore germination of *Fusarium oxysporum*." Journal of Biopesticides, 2011, 4(1), 53-56.
- (10) KMETZ, K. T., A. F. SCHMITTHENNER., and C. W. ELLETT. Soybean seed decay: Prevalence of infection and symptom expression caused by *Phomopsis* sp., *Diaporthe phaseolorum* var. *sojae*, and *D. phaseolorum* var. *caulivora*." Phytopathology, 1978, 68(6), 836-840.
- (11) EHTESHAMUL-HAQUE, S., and A. GHAF-FAR. New records of root infecting fungi from Pakistan. Pakistan Journal of Phytopathology, 1994, 6(1), 50-57.
- (12) ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์, เฉลิมชัย วงษ์อารี และ ธิตติมา วงษ์ชีรี. ประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชบางชนิดร่วมกับสารเคลือบผิวที่มีต่อโรคแอนแทรคโนสและข้าวผลเน่าของมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., 2542, 22(3), 77-92.
- (13) PHONGPAICHIT, S., et al. Antimicrobial activities of the crude methanol extract of *Acorus calamus* Linn. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 2005, 27(2), 517-523.
- (14) พรประพา คงตระกูล และ สรัญญา ณ ลำปาง. ลักษณะของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ที่ดักหนานสารคาร์เบนดาซิม. วารสารเกษตร, 2553, 26(3), 203-212.
- (15) ณัฐพงษ์ นวลดี และคนอื่นๆ. ลักษณะของเชื้อรา *Cercospora* ที่ดักหนานสารคาร์เบนดาซิมสาเหตุโรคใบจุดของผักกาดหอมในจังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิจัย มช. , 2553, 15(11), 1053-1060.
- (16) SARIAH, M. Detection of benomyl resistance in the anthracnose pathogen, *Colletotrichum capsici*. Islamic Academy of Sciences, 1989, 2(3), 168-171.
- (17) RATTANAKREETAKUL, C., et al. Efficacy test on dipping substances to control anthracnose disease on mango cv: Chok-Anan. Proceedings of 41st Kasetsart University Annual Conference. 2003. 3-7 February; Bangkok : Kasetsart University. pp. 371-378.

นวัตกรรมหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตจากยางธรรมชาติ Innovation of rubber cap for covering concrete block from natural rubber

ภัณฑิลา ภูมิระเบียบ¹, อรสา อ่อนจันทร์^{1*}
Pantila Poomrabeab¹, Orasa Onjun^{1*}

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต เป็นการผสมผสานกันระหว่างคอนกรีตและยาง โดยการนำยางพารามาทำเป็นหมวกเพื่อไปคลุมบนบล็อกคอนกรีต ก็จะได้บล็อกแบบใหม่ที่มีความแข็งแรงเหมือนกับบล็อกคอนกรีตแต่มีความสวยงามและปลอดภัยเหมือนกับบล็อกยาง บล็อกปูพื้นแบบใหม่นี้เรียกว่า “เซฟตี้บล็อก” (Safety Block) ซึ่งสามารถใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคาร งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทำหมวกยางคลุมบล็อกคอนกรีต ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องมีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานของบล็อกยางปูพื้น (มอก. 2378-2551) ได้สูตรยางที่เหมาะสมคือ ยางแท่ง STR 5L 100 phr แคลเซียมคาร์บอเนต 50 phr ไวท์เคลย์ 50 phr น้ำมันพาราฟิน 5 phr ซิงค์ออกไซด์ 5 phr กรดสเตียริก 3 phr สารป้องกันการเสื่อมสภาพ 5 phr ซีบีเอส 1 phr ทีเอ็มทีดี 0.5 phr กำมะถัน 3 phr สี 5 phr ไซพาราฟิน 2 phr และเพื่อให้การใช้งานภายนอกอาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงได้เติมสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต 5 phr สารป้องกันแบคทีเรีย 0.5 phr และสารป้องกันเชื้อรา 0.5 phr ซึ่งผลของการทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่าผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตที่ได้มีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2378-2551 ดังนี้ ความแข็ง 56 ชอร์เอ ความต้านแรงดึง 14.7 เมกะปาสคาล ความยืดเมื่อขาดร้อยละ 570 การเปลี่ยนแปลงความแข็งหลังบ่มเร่งเพิ่มขึ้น 2 ชอร์เอ การเปลี่ยนแปลงความต้านแรงดึงหลังบ่มเร่งลดลงร้อยละ 13 และการเปลี่ยนแปลงความยืดเมื่อขาดหลังบ่มเร่งลดลงร้อยละ 9 ความต้านต่อการขัดสี 246 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ความทนต่อโอโซนไม่เปลี่ยนแปลง มอดูลัสกดอัด 0.96 เมกะปาสคาล และความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งสภาวะที่เกียรี่ยกระดับ 3-4

Abstract

Rubber cap for covering concrete block is a combination of concrete and rubber blocks called “Safety Block”. For this product, a concrete block serves as a base and a rubber block provides a soft and elastic surface on the top can be used in both indoor and outdoor environments. This research is to find the best formula for making rubber cap for covering concrete block and its property must meet all criteria of the industrial standard number TIS2348-2551. The best compound formulation found in the research is; rubber 100 phr, Calcium carbonate 50 phr, White clay 50 phr, Paraffinic oil 5 phr, Zinc oxide 5 phr, Steric acid 3 phr, Antioxidant 5 phr, CBS 1 phr, TMTD 0.5 phr, Sulfur 3 phr, color 5 phr, Paraffin wax 2 phr, and added UV protection 5 phr, anti-fungal 0.5 phr and anti-bacterial 0.5 phr for more efficient use of the outdoor environment. The test results from the best formula found that the product meets all criteria of the industrial standard number TIS 2378-2551 that is, hardness (56 Shore A), tensile strength (14.7 MPa), elongation at break (570%), hardness changed after aging increase 2 Shore A, tensile strength changed after aging decrease 13% and elongation at break changed after aging decrease 9%, abrasion resistance (246 mm³), good Ozone resistance, compressive strength (0.96 MPa), and level 3-4 grey scale Q.U.V. weathering resistance.

คำสำคัญ : บล็อกคอนกรีต, หมวกยาง

Keywords : Concrete Block, Rubber Cap.

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันนิยมใช้บล็อกคอนกรีตในการปูพื้นแทนการเทคอนกรีตกันอย่างกว้างขวางทั้งลานเอนกประสงค์ทางเท้า ลาดจอดรถ สนามเด็กเล่น สนามกีฬา เนื่องจากมีความสวยงาม สามารถเปลี่ยนแปลงปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ง่าย และสะสมความร้อนน้อยกว่าการเทคอนกรีต ในขณะที่บล็อกยางปูพื้น (1) มีความสวยงามและปลอดภัยมากกว่า แต่ก็ยังมีการใช้งานค่อนข้างน้อย เนื่องจากมีราคาแพงกว่าหลายเท่า จึงเกิดแนวคิดที่จะทำห่มกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต ซึ่งเป็นบล็อกที่มีการผสมผสานข้อดีของยางและคอนกรีตเข้าด้วยกัน และยังเป็น การลดปริมาณยางที่ใช้ให้น้อยลง แต่บล็อกที่ได้ยังคงมีความนุ่มนวลเหมือนกับบล็อกยาง อีกทั้งยังมีความแข็งแรงของคอนกรีต ซึ่งเป็นข้อดีกว่าบล็อกยางล้วนๆ การประกอบเป็นรูปร่างต่างๆ และการใช้งานจะมีความมันคงสม่ำเสมอและสวยงามมากกว่า และที่สำคัญที่สุดคือห่มกยางที่สวมบนบล็อกคอนกรีตสามารถถอดเปลี่ยนใหม่ได้เมื่อใช้งานไปจนเสื่อมสภาพแล้ว ซึ่งจะทำให้ได้ลวดลายใหม่และความสวยงามกลับมาเหมือนเดิมตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ที่ต้องการทั้งความปลอดภัย ความสวยงาม ความทนทาน และราคาที่เหมาะสม ดังนั้นผลิตภัณฑ์นี้จึงมีศักยภาพในทางการตลาดสูง

ในงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสูตรผสมของยางและสารเคมี เพื่อให้ได้สูตรยางคอมปาวด์ที่ดีที่สุดใน การผลิตห่มกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบล็อกยางปูพื้น (มอก. 2378-2551) (2) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงที่สุดเนื่องจากห่มกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ยังไม่มีมาตรฐานรองรับ และมาตรฐานอื่นๆ ที่ใช้ในงานวิจัย มีดังนี้ ISO 815:2008 (การคืนตัวภายหลังการถูกกด) ASTM D570-98 (อัตราการดูดซึมน้ำ) ASTM D792-00 (ความหนาแน่น) ISO 3417:2008 (ระยะเวลาสกรอว์และระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป) ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.8 (การลดลงของแรงกระแทก) ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.9 (การยุบตัวในแนวตั้ง) และ BS 812:Part 114 หัวข้อ 5.2 (แรงเสียดทานของพื้นผิว)

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ยางและสารเคมี

2.1.1 ยางธรรมชาติ (NR) เกรด STR 5L บริษัทไทยฮั้วชุมพรยางพารา จำกัด

2.1.2 แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3 , 4Q (MCE11)) บริษัทโพลิเมอร์ อินโนเวชั่น จำกัด

2.1.3 ไวท์เคลย์ (White Clay, China clay S-400 (MFA70)) บริษัทโพลิเมอร์ อินโนเวชั่น จำกัด

2.1.4 ฮาร์ดเคลย์ (Hard clay, Microbrite FH100 (MFA80)) บริษัทโพลิเมอร์ อินโนเวชั่น จำกัด

2.1.5 สารช่วยให้ยางนิ่ม (Paraffinic oil (rubber process oil P-30)) บริษัทเคมีลูบ อินเตอร์เทรต คอรัปอเรชั่น จำกัด

2.1.6 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO , Zinc white seal KS-5) บริษัทเคมีลูบ อินเตอร์เทรต คอรัปอเรชั่น จำกัด

2.1.7 กรดสเตียริก (Stearic acid (Beads)) บริษัทเคมีลูบ อินเตอร์เทรต คอรัปอเรชั่น จำกัด

2.1.8 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Ionolol LC) บริษัทเคมีลูบ อินเตอร์เทรต คอรัปอเรชั่น จำกัด

2.1.9 N-cyclohexyl-benzothiazyl sulfonamide (CBS, Vulsator CBS (P)) บริษัทเคมีลูบ อินเตอร์เทรต คอรัปอเรชั่น จำกัด

2.1.10 Tetramethyl thiuram disulfide (TMTD) บริษัทเคมีลูบ อินเตอร์เทรต คอรัปอเรชั่น จำกัด

2.1.11 กำมะถัน (sulphur, S) บริษัทเคมีลูบ อินเตอร์เทรต คอรัปอเรชั่น จำกัด

2.1.12 สีน้ำเงินแผ่น NO.524 / สีเหลืองแผ่น NO.333 / สีแดงแผ่น NO.112 ห้างหุ้นส่วนจำกัด กิจไพบูลย์เคมี

2.1.13 สารเสริมความต้านทานต่อโอโซน (ไขพาราฟิน, Paraffin wax) บริษัทเคมีลูบ อินเตอร์เทรต คอรัปอเรชั่น จำกัด

2.1.14 สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (Tinuvin) ห้างหุ้นส่วนจำกัด กิจไพบูลย์เคมี

2.1.15 สารป้องกันเชื้อแบคทีเรีย (Irgaguard B5000, silver-zeolite) บริษัทโกบอล คอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน)

2.1.16 สารป้องกันเชื้อรา (Irgaguard F3000) บริษัทโอบอล คอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน)

2.2 ออกสูตรยางคอมปาวด์ (3) ออกสูตรยางคอมปาวด์สำหรับทำผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต จากสูตรยางพื้นฐาน (ตารางที่ 1) โดยการศึกษาผลของปริมาณสารเคมี (4) ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง ดังนี้ (รูปที่ 1)

- (1) ศึกษาผลของปริมาณสารทำปฏิกิริยาการคงรูป (vulcanizing agent หรือ curing agent) คือ กำมะถัน
- (2) ศึกษาผลของปริมาณสารช่วยให้ยางนิ่ม (plasticizers) คือ น้ำมันพาราฟิน
- (3) ศึกษาผลของอัตราส่วนสารเร่งปฏิกิริยาการ

ตารางที่ 1 สูตรยางพื้นฐานเพื่อที่จะนำไปพัฒนาสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตต่อไป

สาร	สูตรยางพื้นฐาน, phr
ยางแท่ง STR 5L	100
สารตัวเติม	Variable
สารช่วยให้ยางนิ่ม	5
ซิงค์ออกไซด์	5
กรดสเตียริก	3
สารป้องกันการเสื่อมสภาพ	1
ทีเอ็มทีดี	0.5
ซีบีเอส	1
กำมะถัน	2
สี	5
สารเสริมความต้านทานต่อโอโซน	5



รูปที่ 1 ขั้นตอนการออกสูตรยางคอมปาวด์ โดยการเปรียบเทียบปริมาณสารเคมีต่างๆ

คงรูป (vulcanization accelerators) ระหว่าง (CBS:TMTD)

(4) ศึกษาผลของชนิดของสารตัวเติม (fillers) ระหว่าง แคลเซียมคาร์บอเนต, ไวท์เคลย์ และฮาร์ดเคลย์

(5) เติมสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต สารป้องกันเชื้อแบคทีเรีย และสารป้องกันเชื้อรา เพื่อให้การใช้งานภายนอกอาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้น

(6) ศึกษาเพื่อปรับปรุงค่าสมบัติความแข็งแรงของยาง โดยการปรับปริมาณกำมะถัน แคลเซียมคาร์บอเนต และไวท์เคลย์

(7) ศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติความแข็งแรง ทนต่อโอโซน และความต้านต่อการขัดสี โดยการปรับปริมาณไซพาราฟิน น้ำมันพาราฟิน และกำมะถัน

(8) ศึกษาเพื่อปรับปรุงสีและสมบัติการต้านการเสื่อมสภาพของยาง

การบดผสมยางและสารเคมี (5) กระทำในเครื่องบดผสมระบบปิด (internal mixer; YFM Serial No. 0241) และเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (two-roll mill; YFM Serial No. 0242) จากนั้นนำยางที่ผสมสารเคมีที่ได้มาวัดลักษณะการคงรูป เพื่อหาระยะเวลาการคงรูป (ระยะเวลาก่อร่าง; ts2 และระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป; t'90) ที่อุณหภูมิ 160°C ด้วยเครื่องวัดการคงรูปของยาง (moving die rheometer; TECH PRO/rheoTECH MD+) ตามวิธี ISO 3417:2008 แล้วจึงใช้เวลาการคงรูปที่ได้มาเป็นแนวทางในการเตรียมชิ้นทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยใช้แม่พิมพ์และเครื่องอัดไฮดรอลิคพร้อมแผ่นความร้อน (hydraulic press with heated plates; YFM Serial No. 0138)

2.3 ทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์และเชิงกลในห้องปฏิบัติการเตรียมชิ้นทดสอบสมบัติทางกายภาพจากสูตรยางคอมปาวด์ทุกสูตรจากการปรับปรุงสูตร เพื่อทดสอบความต้านแรงดึง (tensile strength, ISO 37:2005) ความยืดเมื่อขาด (elongation at break, ISO 37:2005) ความแข็ง (hardness, ASTM D2240-05) การบ่มเร่งด้วยความร้อนที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (aging at 70°C/72h., ISO 188:1998) ความต้านต่อการขัดสี (abrasion resistance, ISO 4649:2002) ความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะ (weathering resistance,

ASTM G154-05) การคืนตัวภายหลังการถูกกด (compression set at 70oC/22 h, ISO 815:2008) อัตราการดูดซึมน้ำ (water absorption, ASTM D570-98) ความหนาแน่น (density, ASTM D792-00) และค่าแรงเสียดทานของพื้นผิว (skid resistance, BS 812:Part 114 หัวข้อ 5.2) และทำยางคอมปาวด์จากสูตรยางที่เหมาะสมที่สุดแล้วทดสอบสมบัติต่างๆ ให้ครบถ้วนตาม มอก. 2378-2551 (ตารางที่ 2)

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกลูกคอนกรีตที่มีความทนทาน ยืดหยุ่น ช่วยลดแรงกระแทก และมีความปลอดภัยในการใช้งานสูง อีกทั้งยังต้องมีความคงทนต่อการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคาร จึงได้ทำการทดลองออกสูตรยางคอมปาวด์แต่ละสูตร โดยการปรับปรุงปริมาณยางและสารเคมียาง (6) (ตารางที่ 3) แล้วนำมาขึ้นรูปเพื่อทดสอบระยะเวลาสกร๊ช ระยะ

ตารางที่ 2 เกณฑ์มาตรฐานของสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้น ตามมาตรฐาน มอก. 2378-2551

สมบัติ	มอก. 2378-2551	
	เกณฑ์มาตรฐาน	วิธีทดสอบ
ความแข็ง, ชอร์เอ	56-65	ASTM D 2240-05
ความต้านแรงดึง, เมกะปาสคาล	6	ISO 37:2005
ความยืดเมื่อขาด, ร้อยละ	200	ISO 37:2005
การเปลี่ยนแปลงความแข็งหลังบ่มเร่ง, ชอร์เอ	$\frac{+5}{-4}$	ISO 188:1998
การเปลี่ยนแปลงความต้านแรงดึงหลังบ่มเร่ง, ร้อยละ	± 25	ISO 188:1998
การเปลี่ยนแปลงความยืดเมื่อขาดหลังบ่มเร่ง, ร้อยละ	-50	ISO 188:1998
ความต้านต่อการขีดสี, ลูกบาศก์มิลลิเมตร	250	ISO 4649:2002
ความทนต่อโอโซน	ไม่เปลี่ยนแปลง	ISO 1431-1:2004
มอดุลัสกดอัด, เมกะปาสคาล	7.0 (min)	ISO 7743:2004
ความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะ, เกรย์สเกล	ระดับ 3	ASTM G 154-05

2.4 ทดสอบผลิตภัณฑ์

จากยางคอมปาวด์สูตรที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการปรับปรุงสูตร ทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกลูกคอนกรีตปูบริเวณลานจอดรถ แล้วทดสอบสมบัติภาคสนามต่างๆ ได้แก่ ค่าการลดลงของแรงกระแทก (Force reduction; ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.8) ค่าการยุบตัวในแนวตั้ง (Vertical deformation; ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.9) ค่าแรงเสียดทานของพื้นผิว (skid resistance; BS 812:Part 114 หัวข้อ 5.2) ความแข็ง (hardness; ASTM D2240-05) เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้งานได้จริง

เวลาการคงรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ค่าความต้านแรงดึง และค่าความยืดเมื่อขาด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4 เพื่อการเปรียบเทียบ ปรับปรุงสูตรส่วนผสม และคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดที่มีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2378-2551 บล็อกยางปูพื้น ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตารางที่ 3 สูตรยางและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณสารทำปฏิกิริยาการคงรูป สารช่วยให้อย่างนิ่ม สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป และสารตัวเติม

สาร	ปริมาณ (phr)							
	RC01	RC02	RC03	RC04	RC05	RC06	RC07	RC08
ยางแท่ง STR 5L	100	100	100	100	100	100	100	100
แคลเซียมคาร์บอเนต	50	50	50	50	50	50	50	100
ไวท์เคลย์	50	50	50	50	50	50	-	-
ฮาร์ดเคลย์	-	-	-	-	-	-	50	-
น้ำมันพาราฟิน	10	10	10	2.5	5	10	10	10
ซิงค์ออกไซด์	5	5	5	5	5	5	5	5
กรดสเตียริก	3	3	3	3	3	3	3	3
สารป้องกันการเสื่อมสภาพ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ซีบีเอส	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1
ทีเอ็มทีดี	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5
กำมะถัน	1	2	3	2	2	2	2	2
สี	1	1	1	1	1	1	1	1
ไฮพาราฟิน	5	5	5	5	5	5	5	5

ตารางที่ 4 ผลของสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาผลของปริมาณสารทำปฏิกิริยาการคงรูป สารช่วยให้อย่างนิ่ม สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป และสารตัวเติม

สมบัติ	RC01	RC02	RC03	RC04	RC05	RC06	RC07	RC08
ระยะเวลาสกร๊ช (t_{s2}) ที่ 160°C, นาที	2.64	2.24	2.03	2.29	2.13	2.22	4.63	2.25
ระยะเวลาการคงรูป (t_{90}) ที่ 160°C, นาที	4.38	3.64	3.01	4.12	4.55	3.59	4.58	4.63
ความต้านแรงดึง, เมกะปาสกาล	16.4	16.2	16.1	13.9	15.7	16.0	13.2	12.9
ความยืดเมื่อขาด, ร้อยละ	625	539	506	539	543	540	568	567

3.1 ศึกษาผลของปริมาณสารทำปฏิกิริยาการคงรูปที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง

การทดลองส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบสารทำปฏิกิริยาการคงรูป คือ กำมะถัน ที่ปริมาณแตกต่างกัน คือ 1, 2 และ 3 phr ดังแสดงในตารางที่ 3 สูตร RC01, RC02 และ RC03 ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าปริมาณกำมะถันเพิ่มมากขึ้นจาก 1, 2 และ 3 phr เวลาที่ใช้ในการคงรูปลดลงตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงพบว่ามีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มสูงขึ้นถึง 3 phr ค่าความยืดเมื่อขาดลดลง ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด

ร่วมกันแล้วพบว่า สูตร RC 02 (กำมะถันเท่ากับ 2 phr) เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด

3.2 ศึกษาผลของปริมาณสารช่วยให้อย่างนิ่มที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง

การทดลองส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบปริมาณสารช่วยให้อย่างนิ่มคือ น้ำมันพาราฟิน ที่ปริมาณแตกต่างกัน คือ 2.5, 5 และ 10 phr ดังแสดงในตารางที่ 3 สูตร RC04, RC05 และ RC06 ตามลำดับ จากผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าปริมาณน้ำมันมากจะทำให้การบดผสมง่ายขึ้น ส่งผลให้สารเคมีต่างๆ สามารถกระจายตัวได้ดีในเนื้อยาง เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 สูตร พบว่าสูตร RC02 ใช้ระยะเวลาในการคงรูปสั้นกว่าสูตร RC04 และ

RC05 นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาความต้านแรงดึงของชิ้นตัวอย่างทั้ง 3 สูตร พบว่า ค่าความต้านแรงดึงของสูตร RC02 สูงกว่า RC05 และ RC04 ตามลำดับ ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ สูตร RC02 ที่มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 10 phr

3.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง

ส่วนนี้เป็นการทดลองหาค่าปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปที่เหมาะสม โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่าง CBS:TMTD เท่ากับ 0.5:1 phr (สูตร RC02) และ 1:0.5 phr (สูตร RC06) ดังตารางที่ 3 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เวลาในการทำให้ยางคงรูปและความต้านแรงดึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เนื่องจาก CBS เป็นตัวเร่งปฐมภูมิ (primary accelerator) และ TMTD จัดเป็นตัวเร่งทุติยภูมิ (secondary accelerator) สูตร RC06 จึงเป็นสูตรที่เหมาะสม

3.4 ศึกษาผลของชนิดของสารตัวเติมที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง

การทดลองส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบปริมาณสารตัวเติม ระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต ไวท์เคลย์ และฮาร์ดเคลย์ ผลการทดสอบพบว่า เมื่อเปรียบเทียบสารตัวเติมทั้งสามระบบคือ แคลเซียมคาร์บอเนตกับไวท์เคลย์ (สูตร RC06), แคลเซียมคาร์บอเนตกับฮาร์ดเคลย์ (สูตร

RC07) และ แคลเซียมคาร์บอเนต (สูตร RC08) พบว่า สูตร RC06 ที่มี แคลเซียมคาร์บอเนตกับไวท์เคลย์ในปริมาณชนิดละ 50 phr ให้ผลเวลาในการทำให้ยางคงรูปสั้นที่สุด และความต้านแรงดึงดีที่สุด ดังนั้นสูตร RC06 จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด

3.5 เติมสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต สารป้องกันเชื้อแบคทีเรีย และสารป้องกันเชื้อรา

การนำผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตไปใช้งานจริงยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยที่เกิดจากแบคทีเรียและเชื้อราอีกด้วย เนื่องจากแบคทีเรียที่เพาะตัวอยู่บนพื้นผิวของยางอาจทำให้พื้นยางลื่น ส่วนเชื้อราก็อาจทำให้ยางมีสีดำ ไม่สวยงาม ดังนั้น จากสูตร RC06 ซึ่งเป็นสูตรที่ดีที่สุดขณะนี้ จึงเติมสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตในปริมาณ 5 phr สารป้องกันเชื้อแบคทีเรียและสารป้องกันเชื้อราในปริมาณอย่างละ 0.5 phr (สูตร RC09) แล้วทำการปรับปรุงค่าสมบัติต่างๆ ของยางเพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2378-2551 ตารางที่ 5 แสดงสูตรยางที่มีการปรับปรุงค่าสมบัติความแข็งแรง ความทนต่อโอโซน ความต้านต่อการขีดสี และสมบัติการต้านการเสื่อมสภาพของยาง และผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ จากการปรับปรุงค่าสมบัติดังกล่าว แสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 สูตรยางและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของยางเพื่อให้ผ่านเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน มอก.2378-2551

สาร	ปริมาณ (phr)							
	RC09	RC10	RC11	RC12	RC13	RC14	RC15	RC16
ยางแท่ง STR 5L	100	100	100	100	100	100	100	100
แคลเซียมคาร์บอเนต	50	50	75	75	50	50	50	50
ไวท์เคลย์	50	50	75	75	50	50	50	50
น้ำมันพาราฟิน	10	10	10	10	10	5	5	5
ซิงค์ออกไซด์	5	5	5	5	5	5	5	5
กรดสเตียริก	3	3	3	3	3	3	3	3
สารป้องกันการเสื่อมสภาพ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	5
ซีบีเอส	1	1	1	1	1	1	1	1
ทีเอ็มทีดี	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
กำมะถัน	2	5	2	5	2	2	3	3
สี	1	1	1	1	1	1	1	5
ไฮพาราฟิน	5	5	5	5	2	2	2	2
สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต	5	5	5	5	5	5	5	5
สารป้องกันแบคทีเรีย	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
สารป้องกันเชื้อรา	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ตารางที่ 6 ผลของสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางเพื่อให้ผ่านเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน มอก.2378-2551

สมบัติ	RC09	RC10	RC11	RC12	RC13	RC14	RC15	RC16
ระยะเวลาสกร๊ช (ts ₂) ที่ 160°C, นาที่	3.33	2.22	3.24	2.39	2.01	1.73	1.63	1.38
ระยะเวลาการคงรูป (t'90) ที่ 160°C, นาที่	5.23	4.80	5.82	5.26	3.72	3.55	3.18	3.11
ความแข็ง, ชอร์ไอ	48	52	53	56	49	52	58	56
ความต้านแรงดึง, เมกะปาสคาล	15.7	13.3	12.9	9.0	15.1	15.9	16.8	14.7
ความยืดเมื่อขาด, ร้อยละ	599	497	555	599	570	546	580	570
การเปลี่ยนแปลงความแข็งหลังบ่มแรง, ชอร์ไอ	51	58	57	59	51	53	59	60
การเปลี่ยนแปลงความต้านแรงดึงหลังบ่มแรง, ร้อยละ	-12	-40	-19	-14	-18	-22	-21	-13
การเปลี่ยนแปลงความยืดเมื่อขาดหลังบ่มแรง, ร้อยละ	-12	-30	-14	-36	-14	-15	-14	-9
ความทนต่อการขัดสี, ลูกบาศก์มิลลิเมตร	253	249	316	314	267	278	241	246
ความทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะ, เกรย์สเกล	3-4	3	2	2	3-4	3	3	3-4
แรงเสียดทานของพื้นผิว	0.49	0.43	0.43	0.42	0.43	0.42	0.45	0.47
การคืนตัวภายหลังการถูกกด, ร้อยละ	18.9	24.8	21.7	18.3	29.0	27.0	24.2	18.9
อัตราการดูดซึมน้ำ, ร้อยละ	0.184	0.134	0.120	0.180	0.218	0.242	0.189	0.140
ความหนาแน่น, กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	1.319	1.333	1.456	1.456	1.329	1.346	1.319	1.346

3.6 ศึกษาเพื่อปรับปรุงค่าสมบัติความแข็งแรงของยาง โดยการปรับปริมาณกำมะถัน แคลเซียมคาร์บอเนต และไวท์เคลย์

หลังจากใส่สารเคมีในข้อ 3.5 แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ ของยางสูตร RC09 เพิ่มขึ้นจากเดิม (ตารางที่ 4) ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 6 พบว่าค่าความแข็งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดตาม มอก. 2378-2551 จึงได้ทำการปรับปรุงค่าสมบัติความแข็งของยางคงรูปโดยการเพิ่มปริมาณกำมะถัน พร้อมๆ กับปรับปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์ จากตารางที่ 5 พบว่าสูตร RC10 ซึ่งเป็นสูตรดัดแปลงของ RC09 โดยการเพิ่มปริมาณกำมะถันจาก 2 เป็น 5 phr ส่วนสูตร RC11 เพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์ จากเดิมอย่างละ 50 เป็น 75 phr และสูตร RC12 เป็นการเพิ่มทั้งปริมาณกำมะถัน แคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์ ในขณะเดียวกัน

ผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มปริมาณกำมะถันเป็น 5 phr (สูตร RC10) ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปลดลง ส่วนยางสูตร RC11 ที่เพิ่มปริมาณสารแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์นั้น จะมีค่าระยะเวลา

ที่ใช้ในการคงรูปเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร RC09 และสูตร RC12 ที่เพิ่มทั้งปริมาณกำมะถัน แคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์มีค่าเวลาที่ใช้ในการคงรูปลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร RC11 ดังนั้นสรุปได้ว่า ปริมาณกำมะถันที่เพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปลดลง แต่ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์ที่เพิ่มขึ้นกลับเพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูป

เมื่อพิจารณาสมบัติค่าความแข็งที่เป็นเป้าหมายในการปรับปรุงสูตรขณะนี้พบว่า ยางคงรูปสูตรปรับปรุงทั้งสามมีค่าความแข็งสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือสูตร RC10, RC11, RC12 เท่ากับ 52, 53 และ 56 ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับ มอก. 2378-2551 พบว่าสูตร RC12 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

อย่างไรก็ดียางทั้งสามสูตร (RC10, RC11, RC12) มีค่าความต้านแรงดึงต่ำลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางสูตรที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของสารดังกล่าวจะทำให้ปริมาณเนื้อยางในชิ้นทดสอบลดลงหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ การลดลงของสมบัติเชิงกลจากผลของการเจือจาง (dilution effect) แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเมื่อเทียบกับมอก. 2378-2551

ผลการทดสอบยังแสดงถึงอิทธิพลของกำมะถันและสารตัวเติมที่มีต่อค่าความทนต่อการขัดสี โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันขึ้นความทนต่อการขัดสีของยางมีค่าสูงขึ้นและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์ค่าความทนต่อการขัดสีลดลงซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ค่าความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะที่ตรวจวัดด้วยเกรย์สเกลของยางสูตรปรับปรุงทั้งสามสูตร (RC10, RC11, RC12) ลดลง เมื่อเทียบกับมาตรฐานพบว่า สูตร RC11 และ RC12 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากผลการทดลองโดยรวมพบว่า ยางสูตรที่ปรับปรุงโดยการเพิ่มปริมาณกำมะถัน แคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์ลงไปในยางนั้นไม่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นหมวกยางสำหรับคลุ่มบล็อกคอนกรีต ถึงแม้ว่าค่าความแข็งของยางคงรูปที่ได้จะเพิ่มขึ้น แต่สมบัติทางกลส่วนใหญ่ดังที่กล่าวข้างต้นมีค่าลดลงอย่างชัดเจน ดังนั้นยางสูตร RC09 ยังเป็นสูตรยางที่เหมาะสมที่สุดในขณะนี้

3.7 ศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติความแข็งแรง ความทนต่อโอโซน และความต้านต่อการขัดสี โดยการปรับปริมาณโซลฟาราฟีน น้ำมันพาราฟีน และกำมะถัน

เนื่องจากแผ่นยางคงรูปที่ได้จากสูตร RC09 มีคราบขาวของโซลฟาราฟีน ซึ่งเป็นสารที่ป้องกันยางทำปฏิกิริยากับโอโซนตกค้างอยู่บนพื้นผิวของแผ่นยาง จึงได้ลดปริมาณโซลฟาราฟีนลงจาก 5 เป็น 2 phr (สูตร RC13) นอกจากนั้นค่าความแข็งแรงและค่าความทนต่อการขัดสี ยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด จึงทำการลดปริมาณน้ำมันพาราฟีน ตามสูตร RC14 และ RC15 เพื่อเพิ่มค่าความแข็งแรงและความทนต่อการขัดสี

จากการทดลองพบว่ายางสูตร RC15 ใช้ระยะเวลาการคงรูปสั้นที่สุด คือ 3.18 นาที นั่นคือการลดปริมาณโซลฟาราฟีนและน้ำมันพาราฟีน รวมทั้งเพิ่มปริมาณกำมะถันมีผลต่ออัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปของยางคอมปาวด์ ค่าความแข็งแรงของยางเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้คือ $RC09 < RC13 < RC14 < RC15$ การลดปริมาณน้ำมันพาราฟีนและโซลฟาราฟีนส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของยางสูตร RC13 และ RC14 สูงขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่

ที่การเพิ่มปริมาณกำมะถันจาก 2 เป็น 3 phr ร่วมกับการลดปริมาณน้ำมันพาราฟีน ทำให้ยางคงรูปที่ได้มีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยยางสูตร RC15 มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 58 ชอร์เอ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของ มอก. 2378-2551

นอกจากนั้นยางสูตร RC15 มีผลของค่าความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดที่ดีกว่ายางสูตร RC09 ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่ายางสูตร RC15 นี้มีค่าความทนต่อการขัดสีที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน คือต่ำกว่า 250 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ส่วนค่าความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะเท่ากับเกรย์สเกลระดับ 3 ตรงตามมาตรฐานเช่นกัน โดยสรุปพบว่า ยางสูตร RC15 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดและมีค่าสมบัติต่างๆ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดใน มอก. 2378-2551 ทุกประการ

3.8 ศึกษาเพื่อปรับปรุงสีและสมบัติการด้านการเสื่อมสภาพของยาง

ส่วนนี้เป็นการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงสีและสมบัติการด้านการเสื่อมสภาพของยางสูตร RC15 ซึ่งเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดขณะนี้ โดยการเพิ่มสีและสารป้องกันการใช้เสื่อมสภาพของยาง (Ionol@LC) ดังสูตร RC16

ผลการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆระหว่างยางสูตร RC16 และ RC 15 ดังนี้ ยางสูตร RC 16 ใช้ระยะเวลาการคงรูปน้อยกว่า มีค่าความแข็งแรงลดลงแต่ผลการทดสอบก็ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และยางคงรูปที่ได้มีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน โดยเห็นได้จากค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาดหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อนลดลง นอกจากนั้นค่าความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะโดยวัดจากสีระบบเกรย์สเกลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอีกด้วย อย่างไรก็ตามก็ดีโดยสรุปแล้วจะเห็นได้ว่าสูตร RC16 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีค่าสมบัติเบื้องต้นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2378-2551

หลังจากได้สูตรยางที่เหมาะสมแล้ว เตรียมยางคอมปาวด์ (สูตร RC16) เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ ให้ครบถ้วน

ตามที่ มอก.2378-2551 กำหนด ดังได้สรุปไว้ในตารางที่ 7 จากผลการทดสอบในตารางจะเห็นได้ว่าค่าสมบัติต่างๆ ผ่านเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน มอก.2378-2551 ทั้งหมด ยกเว้น ค่ามอดุลัสกดอัด (compressive modulus) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งค่านี้ชี้ถึงการทนทานต่อการกดอัดของชิ้นงานหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต อย่างไรก็ตามเนื่องจากหมวกยางฯ ที่ใช้มีความหนาเพียง 3 มิลลิเมตร ซึ่งบางมาก ดังนั้นแรงกดอัดส่วนใหญ่จะถูกกระทำบนฐานบล็อกคอนกรีตที่มีความแข็งแรงมาก ดังนั้นมอดุลัสกดอัดที่ต่ำของหมวกยางจึงมีผลกระทบทางลบน้อยมากต่อชิ้นงานหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตโดยรวม

กระแทกอยู่ที่ร้อยละ 15 นั่นคือผลิตภัณฑ์หมวกยางสวมบล็อกคอนกรีตสามารถลดแรงกระแทกเมื่อเกิดอุบัติเหตุได้ถึงร้อยละ 15 ของแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจริงบนพื้นคอนกรีต นับว่าปลอดภัยอย่างยิ่งโดยเฉพาะกับคนชราและเด็ก นอกจากนั้นผิวสัมผัสที่อ่อนนุ่มยังช่วยไม่ให้เกิดแผลถลอกเหมือนการล้มบนพื้นคอนกรีตอีกด้วย ส่วนค่าการยุบตัวในแนวตั้งอยู่ในช่วงที่มาตรฐานพื้นลู่วางกำหนดไว้ นั่นคือไม่ยุบตัวมากเกินไปและไม่แข็งจนไม่สามารถยุบตัวได้ ค่าแรงเสียดทานของพื้นผิวก็เป็นอีกสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากควรจะมีค่าอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด เพราะถ้าแรงเสียดทานของพื้นผิวมากเกินไปทำให้พื้นผิวฝืดยากต่อการเคลื่อนที่ผ่าน

ตารางที่ 7 สรุปผลสมบัติของผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต ที่เตรียมจากสูตรยางที่ดีที่สุดตามมาตรฐาน มอก. 2378-2551

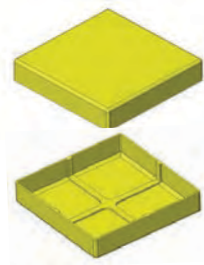
สมบัติ	มอก. 2378-2551	
	หมวกยาง	เกณฑ์มาตรฐาน
ความแข็ง, ชอร์เอ	56	56-65
ความต้านแรงดึง, เมกะปาสคาล	14.7	6
ความยืดเมื่อขาด, ร้อยละ	570	200
การเปลี่ยนแปลงความแข็งหลังบ่มเร่ง, ชอร์เอ	+2	$\frac{+5}{-4}$
การเปลี่ยนแปลงความต้านแรงดึงหลังบ่มเร่ง, ร้อยละ	-13	± 25
การเปลี่ยนแปลงความยืดเมื่อขาดหลังบ่มเร่ง, ร้อยละ	-9	-50
ความต้านต่อการขีดสี, ลูกบาศก์มิลลิเมตร	246	250
ความทนต่อไอโซน	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
มอดุลัสกดอัด, เมกะปาสคาล	0.96	7.0 (min)
ความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะ, เกรย์สเกล	ระดับ 3-4	> ระดับ 3

เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ จึงได้ทำการทดสอบการใช้งานจริงภาคสนาม โดยทำผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตต้นแบบ (รูปที่ 2) และทดลองใช้จริงบริเวณลาดจอดรถยนต์ บริษัท สยามซีแพคบล็อก จำกัด (รูปที่ 3) แล้วทดสอบสมบัติภาคสนามต่างๆ ได้แก่ ค่าการลดลงของแรงกระแทก ค่าการยุบตัวในแนวตั้ง ค่าแรงเสียดทานของพื้นผิว และค่าความแข็งแรงการทดสอบในตารางที่ 8 พบว่า ค่าการลดลงของแรง

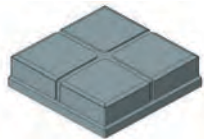
และถ้าน้อยจนเกินไปก็จะลื่นหกล้มได้ง่าย ซึ่งพบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบพื้นผิวของผลิตภัณฑ์หมวกยางสวมบล็อกคอนกรีตเท่ากับ 0.59 อยู่ในช่วงที่มาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น ฉบับ JIS A T0301 (7) กำหนดไว้ ส่วนค่าความแข็งอยู่ในช่วงที่ มอก. 2378-2551 กำหนดคือ 55-64 shore A

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของพื้นผิวผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต

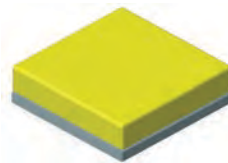
สมบัติ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ค่ามาตรฐาน	มาตรฐานทดสอบ
ค่าการลดลงของแรงกระแทก, ร้อยละ	15	50-25 (พื้นยางหนา 13 มม.)	ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.8
ค่าการยุบตัวในแนวดิ่ง, มิลลิเมตร	1.7	0.5-3.0	ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.9
ค่าแรงเสียดทานของพื้นผิว	0.59	0.4-0.9	BS 812:Part 114 หัวข้อ 5.2
ความแข็ง, shore A	58	56-65	ASTM D 2240-05



หมวกยาง

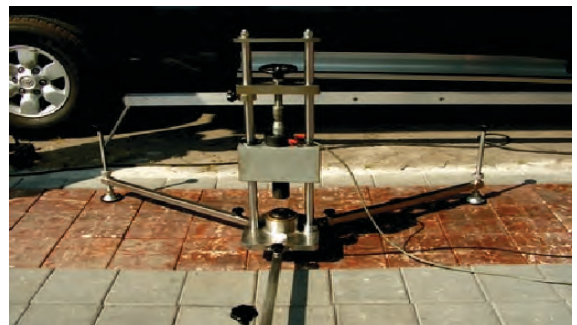


บล็อกคอนกรีต



ผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต

รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต



รูปที่ 3 การทดสอบสมบัติต่างๆ ของพื้นผิวผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต

การตรวจสอบสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตเมื่อใช้งานในช่วงระยะเวลาหนึ่ง พบว่าผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาพดี มีการยืดเกาะที่ดีระหว่างหมวกยางและบล็อกคอนกรีต เกิดการขีดจางของสีของหมวกยางส่วนที่รับแสงแดดเป็นเวลานาน เนื้อยางแข็งขึ้นเล็กน้อยอยู่ในช่วง 1-2 สเกลฮาร์ดเนส ไม่มีการเกิดขึ้นของแบคทีเรียและเชื้อรา มีคราบสกปรกจากฝุ่นและคราบต่างๆ แต่สามารถล้างและขัดออกได้ง่ายด้วยน้ำ

4. สรุป (Conclusion)

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสูตรผสมของยางและสารเคมี เพื่อให้ได้สูตรยางคอมพาวด์ที่ดีที่สุดในการผลิตหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบล็อกยางปูพื้น (มอก. 2378-2551) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นการผสมผสานข้อดีของยางและคอนกรีตเข้าด้วยกัน คือความนุ่มนวล สวยงามของยางและความแข็งแรงของคอนกรีต ทำให้ผู้ใช้ได้ทั้งความปลอดภัย ความสวยงาม และความทนทาน

จากการปรับปรุงปริมาณสารทำปฏิกิริยาการคงรูป (กำมะถัน 1, 2 และ 3 phr) เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการคงรูป ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดร่วมกันแล้ว พบว่ายางสูตรที่มีกำมะถัน 2 phr เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ในขณะที่ปริมาณสารช่วยให้ง่ายนึ่ง (น้ำมันพาราฟิน 2.5, 5 และ 10 phr) มากจะทำให้การบดผสมง่ายขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการคงรูปสั้นกว่า และค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าอีกด้วย สูตรยางที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตกับไวท์เคลย์ในปริมาณชนิดละ 50 phr ให้ผลเวลาในการทำยางคงรูปสั้นที่สุด และความต้านแรงดึงดีที่สุดเมื่อเทียบระหว่างสารตัวเติมอื่นๆ (แคลเซียมคาร์บอเนต ไวท์เคลย์ และฮาร์ดเคลย์) เพื่อให้การใช้งานภายนอกอาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงได้เติมสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (5 phr) สารป้องกันเชื้อแบคทีเรีย (0.5 phr) และสารป้องกันเชื้อรา (0.5 phr) เนื่องจากมีคราบขาวของไฮดรอกไซด์ตกค้างอยู่บนพื้นผิวของแผ่นยางจึงได้ลดปริมาณไฮดรอกไซด์ลงจาก 5 เป็น 2 phr พร้อมกับลดปริมาณน้ำมันพาราฟิน (จาก 10 เป็น 5 phr) และเพิ่มปริมาณกำมะถัน (จาก

2 เป็น 3 phr) ทำให้ยางคงรูปที่ได้มีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดดีขึ้น ความทนต่อการขัดสีเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคือต่ำกว่า 250 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะเท่ากับเกรย์สเกลระดับ 3 ตรงตามมาตรฐาน เพิ่มปริมาณสี (จาก 1 เป็น 5 phr) และสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Ionomer, จาก 1.5 เป็น 5 phr) เพื่อปรับปรุงสีและสมบัติการด้านการเสื่อมสภาพของยาง ทำให้ได้ยางคอมพาวด์ที่ใช้ระยะเวลาการคงรูปน้อยที่สุดและมีค่าสมบัติต่างๆ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดใน มอก. 2378-2551 ทุกประการ

ดังนั้นสูตรยางที่เหมาะสมที่สุดและผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคือ ยาง (100 phr) แคลเซียมคาร์บอเนต (50 phr) ไวท์เคลย์ (50 phr) น้ำมันพาราฟิน (5 phr) ซิงค์ออกไซด์ (5 phr) กรดสเตียริก (3 phr) สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (5 phr) ซีบีเอส (1 phr) ทีเอ็มทีดี (0.5 phr) กำมะถัน (3 phr) สี (5 phr) ไฮดรอกไซด์ (2 phr) สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (5 phr) สารป้องกันแบคทีเรีย (0.5 phr) และสารป้องกันเชื้อรา (0.5 phr)

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และ บริษัท สยามซีเมนต์บล็อก จำกัด สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย นอกจากนี้ยังขอขอบคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับความช่วยเหลือด้านการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์

6 เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) พายัพ นามประเสริฐ. การทำผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็วด้วยยางพารา. กรุงเทพมหานคร: กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2545, หน้า 1-53.
- (2) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. บล็อกยางปูพื้น. มอก.2378. 2551.
- (3) นิตยา รัตนโสม. เทคโนโลยียางพื้นฐาน : เทคโนโลยีการออกสูตรยาง. นครปฐม: มหาวิทยาลัย

มติดล(ศาลายา), 2548, หน้า 39-81.

(4) นุชนาฏ ณ ระนอง. อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2550, หน้า 206-218.

(5) วราภรณ์ ขจรไชยกุล. ผลิตภัณฑ์ยาง : กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีโน พับลิชิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด, 2552, หน้า 131-144.

(6) วราภรณ์ ขจรไชยกุล. ผลิตภัณฑ์ยาง : กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีโน พับลิชิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด, 2552, หน้า 52-100.

(7) THE JAPAN RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION. JRMA T0301: 2003. Rubber braille block.

แนวทางแก้ไขการเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนทดสอบความต้านทานแรงดึงของ วัสดุเทอร์โมพลาสติกที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปโดยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์แบบแสง

Troubleshooting of defect formation in injection-moulded thermoplastic tensile specimens by optical microscopy technique

จริยาวดี ศิริจันทร์^{1*}
Jariyavadee Sirichantra^{1*}

บทคัดย่อ

โพรงอากาศและรอยฟองในชิ้นทดสอบรูปดัมเบลสำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปมักเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ในการศึกษาครั้งนี้พอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงถูกคัดเลือกให้เป็นตัวอย่างสำหรับใช้ในการศึกษาถึงผลกระทบของข้อบกพร่องทั้งสองประเภทดังกล่าวที่มีต่อสมบัติเชิงกลทางด้านแรงดึง: แรงดึงสูงสุด ความต้านทานแรงดึง และการยืดตัวเมื่อขาด ผลจากการทดสอบสมบัติเชิงกลทางด้านแรงดึงของทั้งสองวัสดุพบว่าค่าแรงดึงสูงสุดและค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นทดสอบที่ไม่มีข้อบกพร่องมีค่าสูงกว่าชิ้นทดสอบที่มีข้อบกพร่องอยู่ที่ประมาณ 2% และสำหรับค่าการยืดตัวเมื่อขาดของทั้งสองวัสดุพบว่าชิ้นทดสอบที่ไม่มีข้อบกพร่องมีค่าสูงกว่าชิ้นทดสอบที่มีข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 80% นอกจากนี้การสำรวจภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบของทั้งสองวัสดุบริเวณที่มีข้อบกพร่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง พบว่าชิ้นทดสอบความต้านทานแรงดึงของพอลิโพรพิลีนมีข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศและสำหรับชิ้นทดสอบของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีข้อบกพร่องประเภทรอยฟอง จากข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไขการเกิดข้อบกพร่องดังกล่าวของชิ้นทดสอบความต้านทานแรงดึงของทั้งสองวัสดุที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปนี้ได้

Abstract

Voids and blisters often appear in a dumbbell-shaped tensile specimens fabricated by thermoplastic injection molding process. In this study, polypropylene and high density polyethylene were selected to investigate the effects of these defects on tensile properties; i.e., maximum load, tensile strength and elongation at break. From the results of tensile properties for both materials, it was found that the maximum load and tensile strength of specimens without defects were higher than those with defects approximately 2%. As for the elongation at break for both materials, specimens without defects provided final length greater than those with defects significantly (approximately 80%). In addition, the cross-sectional area was observed by an optical microscope, showing that polypropylene specimens contained voids where those of polyethylene had blister defects. This information was then employed to determine the troubleshooting of defect formation in the polymeric specimens fabricated via injection molding.

คำสำคัญ : Keywords : Blister, Defect, Polyethylene, Polypropylene, Void

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ในช่วงทศวรรษนี้การใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกทั่วโลกมีแนวโน้มการเติบโตมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้วัสดุพลาสติกเพื่อใช้สำหรับเป็นสิ่งบรรจุภัณฑ์ทั่วโลกมีมากกว่า 35% ของการอุปโภคทั้งหมดของพลาสติกด้านอื่นๆ จากข้อมูลสถิติของการใช้พลาสติกแต่ละชนิดทั่วโลกในช่วงระยะปี ค.ศ. 2004-2010 รายงานว่าอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปี (Annual Average Growth Rate, %AAGR) ของโพลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และโพลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) มีอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปีเป็นอันดับสองและสามตามลำดับ และมีแนวโน้มการใช้เพิ่มขึ้นแบบต่อเนื่อง (1)

ในปัจจุบันกรมวิทยาศาสตร์บริการ โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม สามารถให้บริการขึ้นรูปขึ้นทดสอบความต้านแรงดึงด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกแก่ภาคอุตสาหกรรมสำหรับตัวอย่างที่เป็นเม็ดพลาสติกเพื่อการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลทางด้านแรงดึงนี้ได้ อย่างไรก็ตามพบว่าขึ้นทดสอบความต้านแรงดึงของวัสดุโพลิโพรพิลีนและโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปมีลักษณะข้อบกพร่องแบบฟองอากาศบริเวณภายในและผิวของชิ้นทดสอบเป็นจำนวนมาก เห็นว่าข้อบกพร่องดังกล่าวอาจจะมีผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลทางด้านแรงดึงสูงสุด ความต้านแรงดึง และการยืดตัวเมื่อขาด ซึ่งทำให้มีความคลาดเคลื่อนต่อการรายงานผลการทดสอบสมบัติดังกล่าว จึงมีความจำเป็นในการศึกษาหาสาเหตุที่แท้จริงของการเกิดข้อบกพร่องในชิ้นงาน จากข้อมูลงานวิจัยอื่นๆ ได้รวบรวมข้อบกพร่องที่พบมากในกระบวนการฉีดขึ้นรูปมีดังนี้ ชิ้นงานฉีดไม่เต็ม (short shots) รอยยุบ (sink marks) ครีป (flash) รอยเชื่อมประสาน (weld lines) รอยพุ่ง (jetting) รอยพอง (blister) โพรงอากาศ (voids/bubbles) รอยประกายเงิน (silvery streaks) รอยไหม้ (burnt streaks) การแยกตัวออก (delamination) การปนเปื้อนบนผิวของชิ้นงาน (contamination) รอยฝ้าบริเวณใกล้ทางเข้า (blush marks) ชิ้นงานหดตัว (shrinkage) ชิ้นงานบิดเบี้ยว (warpage) เป็นต้น (2,3-4) และข้อบกพร่องเหล่านี้สามารถตรวจสอบได้โดยใช้เครื่องวัด

เรียบผิว (Surface contouring machine) (4) หรือการถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ (Computed tomography scanning, CT scanning) (5-6) บทความวิชาการฉบับนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอการใช้เทคนิคการสำรวจภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบบริเวณที่เกิดฟองอากาศด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) เทคนิคนี้จะสามารถทำให้ทราบถึงลักษณะและตำแหน่งของการเกิดฟองอากาศในชิ้นทดสอบเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูป

2. วิธีการวิจัย (Experimental procedures)

2.1 วัตถุดิบ

2.1.1 เม็ดพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) ได้รับการอนุเคราะห์จาก Chakkolphan Ltd., Part และเม็ดพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) ได้รับการอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยโพลิเอทิลีน จำกัด

2.2 อุปกรณ์ เครื่องมือ

2.2.1 เครื่องมือทดสอบความต้านแรงดึง Instron 4466/H1950 ขนาด load-cell 10 กิโลนิวตัน

2.2.2 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) รุ่น Olympus BX60M

2.2.3 ดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

2.3 วิธีดำเนินการ

2.3.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลทางด้านแรงดึง

2.3.1.1 เม็ดพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีนและโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงได้ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบความต้านแรงดึงที่มีขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638-10 แบบ Type IV ที่มีความเหมาะสมสำหรับขึ้นทดสอบที่มีความหนาไม่เกิน 4 มิลลิเมตร (7) ได้ถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มด้วยกันหลักๆ คือ ชิ้นทดสอบที่ไม่มีและมีส่วนข้อบกพร่อง เม็ดพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีนได้ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปด้วยช่วงอุณหภูมิ 190-200 องศาเซลเซียส และเม็ดพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงได้ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปด้วยช่วงอุณหภูมิ 210-220 องศาเซลเซียส

2.3.1.2 วัดความหนาและความกว้างของชิ้นทดสอบที่มีและไม่มีข้อบกพร่องของแต่ละวัสดุเป็นจำนวน 10 ชิ้นในแต่ละกลุ่มและแต่ละประเภทของวัสดุ โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์สำหรับวัดความหนาและความกว้างของชิ้นทดสอบในช่วงระยะของ gauge length โดยวัดจำนวนทั้งหมด 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

2.3.1.3 ทำการทดสอบความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านแรงดึง Instron 4466/H1950 ด้วยขนาดของ load-cell 10 กิโลนิวตัน โดยใช้วิธีการทดสอบความต้านแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638-10 Standard test method for tensile properties of plastics โดยตั้งระยะของ gauge length เท่ากับ 25 มิลลิเมตรและระยะของปากจับเท่ากับ 65 มิลลิเมตร และความเร็วในการเคลื่อนที่ของปากจับของเครื่องทดสอบเท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อนาที

2.3.1.4 บันทึกผลการทดสอบค่าแรงดึงสูงสุด ความต้านแรงดึง และการยืดตัวเมื่อขาด

2.3.2 การสำรวจข้อบกพร่องแบบโพรงอากาศและรอยฟุ่ของของชิ้นทดสอบ

2.3.2.1 นำชิ้นทดสอบความต้านแรงดึงที่มีข้อบกพร่องของแต่ละวัสดุมาตัดแบบภาคตัด

ขวางในช่วงบริเวณที่มีฟองอากาศด้วยใบมีดที่มีความแหลมคม ชิ้นทดสอบที่ใช้สำหรับสำรวจข้อบกพร่องดังกล่าวมีขนาดความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ความกว้างประมาณ 6 มิลลิเมตร และความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร

2.3.2.2 ทำการสำรวจลักษณะและตำแหน่งการเกิดของข้อบกพร่องฟองอากาศที่เกิดขึ้นในชิ้นทดสอบของวัสดุแต่ละชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง รุ่น Olympus BX60M ด้วยกำลังขยาย 100 เท่า บันทึกภาพทีละส่วนจนกระทั่งได้ภาพที่ครบสมบูรณ์และนำภาพที่ได้ทีละส่วนมาประกอบในลักษณะการต่อแบบจิ๊กซอว์ (jigsaw) ให้เป็นภาพที่ครบสมบูรณ์

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

ผลการทดสอบทางเชิงกลของวัสดุพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ไม่มีและมียข้อบกพร่องภายในชิ้นทดสอบประกอบด้วย ค่าแรงดึงสูงสุด ค่าความต้านแรงดึงและค่าการยืดตัวเมื่อขาดซึ่งแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของตัวอย่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ไม่มีและมียข้อบกพร่องภายในชิ้นทดสอบ

สมบัติเชิงกล	พอลิโพรพิลีน		พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง	
	ไม่มีข้อบกพร่อง	มีข้อบกพร่อง	ไม่มีข้อบกพร่อง	มีข้อบกพร่อง
แรงดึงสูงสุด, นิวตัน	707.64±7.75	693.51±11.43	531.17±6.40	523.77±6.84
ความต้านแรงดึง, เมกะพาสคัล	37.83±0.54	36.87±0.45	28.10±0.28	27.38±0.35
การยืดตัวเมื่อขาด, ร้อยละ	100.02±4.43	21.96±7.24	156.40±7.86	30.24±10.25

จากการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุดของวัสดุพอลิโพรพิลีนที่ไม่มีและมียข้อบกพร่องของชิ้นทดสอบพบว่าค่าแรงดึงสูงสุดของชิ้นทดสอบที่ไม่มีข้อบกพร่องมีค่าสูงกว่าที่มีข้อบกพร่องอยู่ที่ประมาณ 2% และสำหรับการเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงและการยืดตัวเมื่อขาดของตัวอย่างวัสดุพอลิโพรพิลีนที่ไม่มีและมียข้อบกพร่องพบว่าทั้งค่าความต้านแรงดึงและการยืดตัวเมื่อขาดของ

ตัวอย่างที่ไม่มีข้อบกพร่องมีค่าสูงกว่าที่มีข้อบกพร่องอยู่ที่ประมาณ 2.5% และ 78% และจากการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุด ค่าความต้านแรงดึง และค่าการยืดตัวเมื่อขาดของตัวอย่างวัสดุพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ไม่มีและมียข้อบกพร่องของชิ้นทดสอบพบว่าค่าแรงดึงสูงสุด ค่าความต้านแรงดึง และค่าการยืดตัวเมื่อขาดของชิ้นทดสอบที่ไม่มีข้อบกพร่องมีค่าสูงกว่าที่มีข้อ

บกพร่องอยู่ที่ประมาณ 1.4% , 2.5% และ 81% ตามลำดับ ผลจากการสำรวจข้อบกพร่องของชิ้นทดสอบ ภาพภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบวัสดุพอลิ โพรพิลีนและ วัสดุพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงได้ถูกแสดงในภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากผลการสำรวจภาคตัดขวางของ ชิ้นทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง รุ่น Olympus BX60M ด้วยกำลังขยาย 100 เท่า ทำให้ทราบลักษณะ และตำแหน่งของข้อบกพร่องในชิ้นทดสอบความต้าน แรงดึงที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปได้ โดยลักษณะข้อ บกพร่องที่บริเวณชั้นแกนกลางของตัวอย่างวัสดุพอลิโพร พิลีนเป็นการเกิดโพรงอากาศ (ภาพที่ 1) และลักษณะ ข้อบกพร่องบริเวณผิวของตัวอย่างวัสดุพอลิเอทิลีนความ หนาแน่นสูงเป็นการเกิดรอยพุพอง (ภาพที่ 2) ความ สัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลและข้อบกพร่องของชิ้น ทดสอบทั้งสองประเภทพบว่า แรงดึงสูงสุดมีค่าลดลง ประมาณ 2% ความต้านแรงดึงมีค่าลดลงประมาณ 2.5% และการยืดตัวเมื่อขาดมีค่าลดลงประมาณ 80% ข้อ บกพร่องทั้งสองประเภทของวัสดุเทอร์โมพลาสติกมีผล ต่อสมบัติทางกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการยืดตัวเมื่อขาด มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เพราะข้อบกพร่องทั้งสอง ประเภทอาจเป็นสาเหตุของการฉีกขาดของชิ้นทดสอบ ซึ่งข้อบกพร่องทั้งสองกรณีนี้มีแนวทางแก้ไขที่แตกต่าง กันดังนี้

ข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศมีลักษณะการ เกิดช่องว่างหรือโพรงอากาศที่เป็นสุญญากาศที่บริเวณ ชั้นแกนกลางของชิ้นงานโดยมีสาเหตุของการเกิดโพรง อากาศภายในชิ้นงานเนื่องมาจากการหดตัวของชั้นแกน กลางภายในชิ้นงาน (Core layer) ในช่วงระยะเวลาของ การเย็นตัวลงที่อยู่ภายในแม่พิมพ์ฉีด ซึ่งถ้าหากบริเวณ ชั้นผิวของชิ้นงานที่แข็งตัว (Solidified skin layer/frozen layer) มีความหนามาก จะทำให้พลาสติกหลอมเหลวที่ บริเวณชั้นแกนกลางไม่สามารถหดตัวได้ จึงส่งผลให้เกิด โพรงอากาศในชิ้นงาน แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องประเภท นี้สามารถทำได้โดยการปรับตั้งค่าที่เครื่องฉีดพลาสติก ดังนี้

- เพิ่มครูชั่น (Cushion) หรือเพิ่มความดันคงค้าง หรือเพิ่มเวลาที่ทำให้ความดันคงค้างเพราะจะช่วย

ลดเขยปริมาตรในระหว่างการเย็นตัวภายในแม่พิมพ์ฉีด

- เพิ่มอุณหภูมิสำหรับการฉีดเพื่อการหลอมเหลว ของพลาสติกได้มากขึ้น หรือเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ ฉีดหรือเพิ่มความเร็วในการฉีดก็ได้ ส่งผลให้มีอัตราการ ไหลเพิ่มขึ้นทำให้พลาสติกไหลเข้าได้เต็มแม่พิมพ์ดีขึ้น

- เพิ่ม Back pressure เพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้ กับเนื้อพลาสติกที่หลอมเหลว (Melt density) ถ้าหากมี การเกิดฟองอากาศภายในเนื้อของพลาสติกหลอมเหลว ก่อนที่จะไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ฉีด

- เพิ่มระยะเวลาในการเย็นตัวของชิ้นงาน ขณะที่อยู่ภายในแม่พิมพ์ฉีด (2)

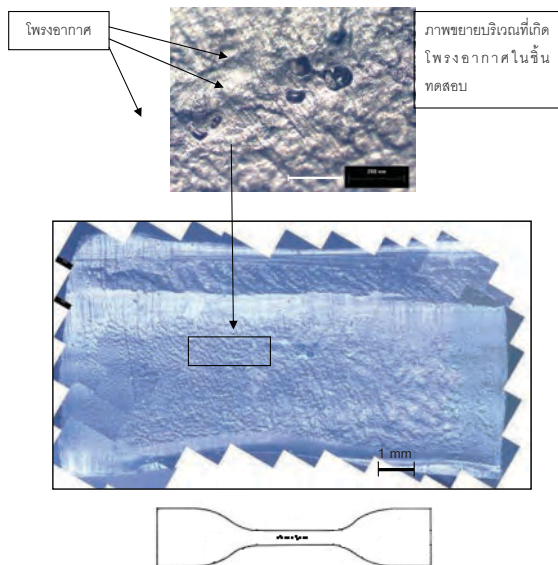
สำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยพุพองมีลักษณะ เป็นฟองอากาศอยู่บริเวณบนผิวหรือใต้ผิวของชิ้นงาน โดยมีสาเหตุหลักของการเกิดรอยพุพองนี้เนื่องมาจากการที่อากาศที่อาจมาจากการสลายตัวของความชื้น ภายในเม็ดพลาสติกนั้น ไม่สามารถออกจากแม่พิมพ์ ฉีดได้ทันในช่วงระยะเวลาขณะที่ฉีดขึ้นรูป แนวทางแก้ไข ข้อบกพร่องประเภทนี้สามารถทำได้โดยการปรับตั้งค่าที่ เครื่องฉีดพลาสติกดังนี้

- หากสาเหตุการเกิดรอยพุพองนั้นมาจากการ เสื่อมสภาพของพลาสติกหลอมเหลว ให้ใช้วิธีการลด อุณหภูมิในการฉีด หรือลดความเร็วรอบของการหมุนสกรู

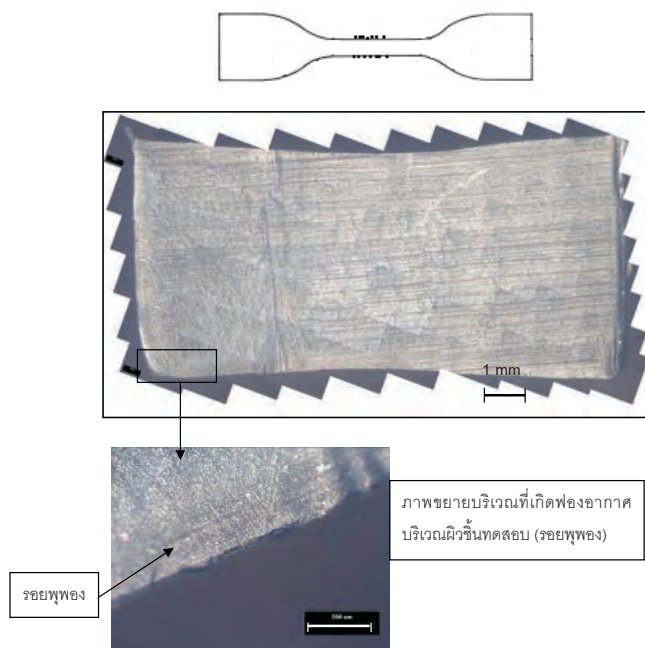
- หากการเกิดรอยพุพองนั้นมาจากอากาศที่เกิด ขึ้นภายในกระบอกลีด ให้ใช้วิธีการเพิ่ม Back pressure หรือใช้วิธีการลดระยะหรือปริมาตรในการทำ Suck back (หมายถึงวิธีการดึงสกรูถอยหลังกลับหลังจากที่ทำการ เตรียมเนื้อพลาสติกหลอมเหลวแล้ว ในการทำวิธีนี้ก็เพื่อ เป็นการป้องกันการไหลของพลาสติกหลอมเหลวออกมา ทางหัวฉีดนั่นเอง โดยที่เรียกกันอีกอย่างหนึ่งว่า Drooling (8) หรือทำการลดความเร็วรอบของการหมุนของสกรู หรือทำการลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์ฉีด (2)

ข้อมูลแนวทางแก้ไขข้อบกพร่องแบบโพรงอากาศ และแบบรอยพุพองที่เกิดขึ้นในชิ้นทดสอบความต้านแรง ดึงของวัสดุเทอร์โมพลาสติกที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูป โดยเทคนิคการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบแสงจะช่วยพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างของชิ้น ทดสอบความต้านแรงดึงของวัสดุเทอร์โมพลาสติกที่

ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปให้ดียิ่งขึ้นและจะส่งผลให้การทดสอบสมบัติเชิงกลทางด้านแรงดึงมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 1 ภาพภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบวัสดุพอลิโพรพิลีนที่พบโฟรอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณชั้นแกนกลางของชิ้นทดสอบ



ภาพที่ 2 ภาพภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบวัสดุพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่พบฟองอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของชิ้นทดสอบ

4. สรุป (Conclusion)

จากผลการสำรวจภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบวัสดุพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง รุ่น Olympus BX60M กำลังขยาย 100 เท่าทำให้ได้รับการยืนยันว่าชิ้นทดสอบวัสดุพอลิโพรพิลีนเกิดโฟรอากาศและชิ้นทดสอบวัสดุพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเกิดรอยพุพองในระหว่างกระบวนการฉีดขึ้นรูป ซึ่งทำให้ทราบไปถึงแนวทางแก้ไขในกระบวนการฉีดขึ้นรูปอย่างถูกต้องหลักการนั่นเอง และจากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลทางด้านแรงดึงสูงสุด ความต้านแรงดึงและการยืดตัวเมื่อขาดยืนยันได้ว่าการเกิดโฟรอากาศในชิ้นทดสอบวัสดุพอลิโพรพิลีนและการเกิดรอยพุพองในชิ้นวัสดุพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีผลให้สมบัติเชิงกลทั้งสามประเภทมีค่าลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีผลต่อการยืดตัวเมื่อขาดอย่างมีนัยสำคัญ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอกล่าวคำขอบคุณมา ณ ที่นี้ให้แก่ นว.ขฟ. ดนัย กิจชัยบุญกุล ที่ให้ความอนุเคราะห์คำแนะนำสำหรับการใช้เครื่องมือจุลทรรศน์แบบแสง และให้ความเอื้อเฟื้อในการใช้เครื่องมือนี้ด้วย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) CENTRAL INSTITUTE OF PLASTICS ENGINEERING AND TECHNOLOGY. Plastics industry-statistics (Online). (viewed 7 January 2012). Available from: http://cipet.gov.in/plastics_statistics.html.
- (2) สมเจตน์ พัทธพันธ์. ข้อบกพร่องในงานพลาสติกที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูป: สาเหตุและแนวทางการแก้ไข. วิศวกรรมสาร มก., 2552, 22(69), 91-104.
- (3) Viewmold. Injection molding defects (Online). (viewed 23 May 2014). Available from: <http://www.viewmold.com/Injection%20Mold%20Management/Injection%20molding%20defects.html>.

(4) ชัยยาจุยฉาย. การออกแบบการทดลองแก้ไข ปัญหาการฉีดงานพลาสติกในงานผลิต ชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2552.

(5) Industrial computed tomography (Online). (viewed 23 May 2014). Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_CT_scanning.

(6) Plastics Technology (Online). September 2008, (viewed 23 May 2014). Industrial CT scanning speeds mold qualification. Available from: <http://www.ptonline.com/articles/industrial-ct-scanning-speeds-mold-qualification>.

(7) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for tensile properties of plastics. D638-2010. In Annual book of ASTM standard : Plastics. Vol. 08.01. West Conshohocken : ASTM, 2010, pp.50-65.

(8) MICHAELI, W., et al. Training in injection molding. Munich : Hanser Publishers, 1995.

การศึกษานำร่องสถานภาพด้านความปลอดภัย ของปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการ Pilot study of laboratory safety status for laboratory workers

ปวีณา เครือณิ^{1*}, สมบัติ คงวิทยา¹, ณัฐกานต์ เกตุคุ้ม¹
Paweena Kreunin^{1*}, Sombat Kongwithtaya¹, Natthakarn Ketkoom¹

บทคัดย่อ

การศึกษานำร่องนี้ เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นจากกลุ่มตัวอย่างของผู้เข้าอบรม หลักสูตรฝึกอบรมที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการของสำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (พศ. วศ.) ระหว่างปีงบประมาณ 2553-2557 โดยใช้แบบสอบถาม เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปประมวลผลเป็นภาพรวมและจัดลำดับความสำคัญของสถานภาพความปลอดภัยจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการและผู้ที่เกี่ยวข้อง ผลการสำรวจพบว่า กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ สอบเทียบ วิจัย หรือ การเรียนการสอน ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยกลุ่มตัวอย่างมากกว่าร้อยละ 50 ยังไม่ได้รับการฝึกอบรม ในด้านที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการที่เพียงพอ ลักษณะการปฏิบัติงานของกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ ยังไม่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติที่ดี เช่น การปฏิบัติงานตามลำดับในห้องปฏิบัติการ การไม่ศึกษาเอกสารข้อมูลความปลอดภัย หรือ Safety Data Sheet ให้เข้าใจก่อนการปฏิบัติงาน การไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลระหว่างปฏิบัติงาน นอกจากนี้ ร้อยละ 87.1 ของกลุ่มตัวอย่างเคยได้รับอันตรายที่เกิดจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ โดยปัจจัยหลัก ที่มีผลต่ออันตรายหรืออุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ความไม่ตระหนักของบุคลากรที่เกี่ยวข้องและการขาดความรู้ ความเข้าใจของบุคลากรในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ห้องปฏิบัติการของกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ยังไม่มีการจัดกระบวน ความปลอดภัยที่ดี หรือการประเมินความเสี่ยงตามรอบที่กำหนด ซึ่งกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความคิดเห็นว่า ควรมี การพัฒนาระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการของหน่วยงานเพิ่มขึ้น และตนเองควรได้รับการฝึกอบรมที่ครอบคลุม ด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในหลักสูตรฝึกอบรม ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ และนำไปเสนอต่อสาธารณะในเชิงวิชาการเพื่อเสริมสร้างความตระหนักใน การปฏิบัติงานอย่างปลอดภัยต่อไป

Abstract

This pilot study is an exploratory research. The focus group of the study was laboratory workers who received the training of laboratory safety and other laboratories related courses from the Bureau of Laboratory Personnel Development, Department of Science Service, Thailand during 2010-2014. The questionnaire was designed to collect the data of safety practices and opinions within their own laboratory settings. Questionnaires was collected and analyzed. The results showed that the subjects of the study were coming from diversified groups, i.e. testing, calibration, R&D, and academic laboratories

which were the focused group of the pilot study. The results showed that more than 50% of the workers were received inadequate training relating to the safety work practices. The majority of the people showed frequent of lone working, and inappropriate use of Safety Data Sheet (SDS) and Personal Protective Equipment (PPE). About 87.1% of workers reported accidents in the laboratories, and the two most important factors to cause accidents were related to humans i.e. the unawareness of workers who were involved in laboratory work and the inadequate of knowledge about safety of laboratory workers. Moreover, most subjects reported that their own laboratories setting were not safe in term of physical safety management or did not have the routine risk assessment of the laboratory. The majority of them believe that their laboratory safety management should be improved and they should receive training in many areas of laboratory safety. The results can be used in the training courses and present to the public to raise awareness of safe work practice.

คำสำคัญ : ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ, การศึกษานำร่อง, ความปลอดภัย
Keywords : Laboratory Safety, Pilot Study, Safety

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2490 กระทรวงกลาโหมได้ออก พระราชบัญญัติควบคุมยุทธภัณฑ์ และ พระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิง และสิ่งเทียมอาวุธปืน และฉบับแก้ไข (4 ครั้ง) ในปี พ.ศ. 2530 และในปี พ.ศ. 2554 กระทรวงแรงงานได้ออก พระราชบัญญัติอาชีวอนามัย ความปลอดภัยและสภาพแวดล้อม พ.ศ. 2554 ซึ่งให้ความสำคัญเกี่ยวกับแนวปฏิบัติที่ดีของผู้ปฏิบัติงานและการจัดการระบบความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวข้องกับสารเคมีอันตราย การบังคับใช้กฎหมายที่เกี่ยวข้องนี้ ทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้ตระหนักถึงชีวิตและทรัพย์สินของตนเองมากขึ้นในยุคระบบเศรษฐกิจทุนนิยม การทำงานในปัจจุบันนี้มองเห็นภาพแต่ละคนตั้งหน้าตั้งตาทำงานหาเลี้ยงชีพโดยไม่มีเวลาดูแลสุขภาพหรือใส่ใจกันและกัน การเจ็บป่วยจากการทำงานก็ไม่มีใครทราบได้นอกจากตัวเอง ในสภาวะเช่นนี้ การดูแลตัวเองในการทำงานในแต่ละวันยิ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้ตนเองไม่มีโรคและอุบัติเหตุจากการปฏิบัติงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแล้วการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีอันตรายที่มีความเสี่ยงมากกว่าปกติ (1) ผู้ปฏิบัติงานจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงสวัสดิการของนายจ้างพึงดูแลลูกจ้างตาม พ.ร.บ. ที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีอันตราย นายจ้างเองก็ต้องปฏิบัติตามกฎหมายที่ได้บังคับใช้เพื่อประโยชน์ทั้งหน่วยงาน ผู้ประกอบการ ลูกจ้างและสิ่งแวดล้อม เพื่อคุณภาพของสุขภาพอนามัยที่ดี มีความปลอดภัย และได้รับสวัสดิการที่เหมาะสม การดำเนินกิจกรรมและการผลิตของนายจ้างเป็นไปอย่างยั่งยืนและผาสุกตลอดไป

การศึกษานำร่องสถานภาพด้านความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในท้องปฏิบัติการ เป็นการวิจัยเชิงสำรวจเพื่อรวบรวมข้อมูลการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานในท้องปฏิบัติการ โดยใช้แบบสอบถามเพื่อเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากผู้เข้าอบรมหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในท้องปฏิบัติการ ของสำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ท้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (พศ. วศ.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทราบสถานภาพของผู้ปฏิบัติงานในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องในด้านการอบรมผู้ปฏิบัติงาน อันตรายที่พบในท้องปฏิบัติการ การใช้อุปกรณ์

ป้องกันส่วนบุคคล การจัดการความปลอดภัยในหน่วยงาน ชั่วโง่งการปฏิบัติงาน การปฏิบัติงานตามล่ำพัง การปฏิบัติ การตามแผนฉุกเฉิน จุตรวมพล การประเมินความเสี่ยงของท้องปฏิบัติการ และการพัฒนาระบบปฏิบัติการ เพื่อเป็น ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนใน หลักสูตรฝึกอบรมที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในท้อง ปฏิบัติการ นำไปเสนอต่อสาธารณะในเชิงวิชาการ และ นำไปใช้ประโยชน์ในเวทีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในลำดับต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 การสร้างแบบสอบถาม

ในการวิจัยครั้งนี้ คณะวิจัยได้จัดทำเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสอบถาม (Questionnaire) ตามกรอบแนวคิดและนิยามปฏิบัติการอย่างได้มาตรฐาน โดยแบบสอบถาม ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของหน่วยงานและผู้ให้ข้อมูลท้องปฏิบัติการ เป็นคำถามเกี่ยวกับสถานภาพทั่วไปของผู้ตอบคำถาม ประสพการณ์การทำงานในท้องปฏิบัติการ ลักษณะหน่วยงาน มีลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check list question) และคำถามแบบชนิดเติมคำและปลายเปิด (Open-ended question) มีทั้งหมดจำนวน 12 ข้อ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลความปลอดภัยในท้องปฏิบัติการ เป็นการสอบถามประสพการณ์ด้านความปลอดภัยในท้องปฏิบัติการ โดยขอข้อมูลที่เกิดขึ้นในช่วงระยะ 2 ปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน มีลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check list question) ลักษณะคำถามแบบปิด (Close-ended question) และคำถามแบบชนิดเติมคำและปลายเปิด (Open-ended question) มีทั้งหมดจำนวน 26 ข้อ

จากนั้นทดสอบแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างชุดแรกเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของชุดคำถามโดยทดสอบความเข้าใจในข้อคำถามของแบบสอบถาม และ นำข้อคิดเห็นมาปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถาม แล้วจึง นำส่งแบบสอบถามที่จัดทำขึ้นมาใหม่ให้แก่ผู้เชี่ยวชาญ เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม ก่อนการนำแบบสอบถามที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วมาใช้ สำหรับการเก็บตัวอย่างจริง

2.2 การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อตอบแบบสอบถามที่จัดทำขึ้น เป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีความเฉพาะเจาะจง โดยผู้ตอบคำถามควรมีความรู้และประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องกับห้องปฏิบัติการโดยตรง ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างจึงเป็นกลุ่มนักวิทยาศาสตร์หรือผู้ปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการ หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ซึ่งคณะวิจัยสรรหามาจากกลุ่มผู้เข้ารับการฝึกอบรม และหรือผู้ที่ผ่านการเข้ารับการอบรมหลักสูตรที่เกี่ยวข้องทางด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการของ พศ. วศ. ในช่วงระหว่างปีงบประมาณ 2553-2557 ได้แก่ หลักสูตรความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ การควบคุมและจัดการสารเคมีอันตราย การกำจัดของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการ และการออกแบบห้องปฏิบัติการเคมีเพื่อความปลอดภัย โดยกลุ่มคนเหล่านี้เป็นผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจเบื้องต้นในเรื่องของการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ และเป็นผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. กลุ่มตัวอย่างสำหรับการใช้ในการทดสอบความใช้ได้ของแบบสอบถาม ได้แก่ ผู้เข้าอบรมในปีงบประมาณ 2556 จำนวน 1 หลักสูตร โดยการแจกแบบสอบถามชุดทดสอบ 1 แบบ รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามเพื่อนำไปประกอบการปรับปรุงแบบสอบถาม

2. กลุ่มตัวอย่างสำหรับการเก็บตัวอย่างจริง ได้แก่ ผู้เข้าอบรมในปีงบประมาณ 2553-2556 ที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มตัวอย่างที่ 1

2.3 การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลมี 2 วิธี ได้แก่

1. การดำเนินการโดยการส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ฐานข้อมูลของ พศ. วศ. ส่งไปยังกลุ่มตัวอย่างที่มีที่อยู่ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ในฐานข้อมูล ตามรายชื่อหลักสูตรที่คัดเลือกไว้แล้ว โดยขอให้ผู้ตอบแบบสอบถามกรอกข้อมูลและส่งกลับ

2. การแจกแบบสอบถาม ณ จุดบริการฝึกอบรม แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

- 2.1 กลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบความใช้ได้ของแบบทดสอบ

2.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างจริง การรวบรวมข้อมูลดำเนินการระหว่างเดือนเมษายน 2556 – มกราคม 2557 โดยคณะวิจัยได้ระบุไว้ในแบบสอบถามว่า จะไม่เปิดเผยข้อมูลหน่วยงานและข้อมูลของผู้ให้ข้อมูล การแสดงผลการศึกษาที่น่าพอใจจะเป็นเพียงภาพรวมเท่านั้น

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อดำเนินการสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ความถี่ การนับจำนวน การคำนวณค่าร้อยละ และการจัดทำกราฟเพื่อนำเสนอข้อมูลทางสถิติ และข้อมูลทั้งหมดนำมาประเมินในภาพรวมเพื่อหาความสัมพันธ์ของคำตอบของผู้ตอบแบบสอบถาม และจัดลำดับความสำคัญของสถานภาพความปลอดภัยจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ และผู้ที่เกี่ยวข้อง

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 แบบสอบถาม

แบบสอบถามที่จัดทำขึ้นใช้ในการสำรวจสถานภาพด้านความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการจากกลุ่มผู้เข้ารับการฝึกอบรมของ พศ. วศ. ระหว่างปีงบประมาณ 2553-2557 ที่เข้ารับการฝึกอบรมหรือผ่านการเข้ารับการอบรมหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ แบบสอบถามชุดแรกได้ใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 32 ตัวอย่าง ณ จุดบริการฝึกอบรม เพื่อทดสอบความใช้ได้ของแบบสอบถาม โดยสอบถามความเข้าใจในการตอบแบบสอบถาม รวบรวมผลและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประกอบการปรับปรุงแบบสอบถามและนำเสนอผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพแบบสอบถามที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพนำเสนอเป็นจำนวนทั้งหมด 351 ฉบับ แบ่งเป็นทางไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์จำนวน 301 ฉบับ และ ณ จุดบริการฝึกอบรม 50 ฉบับ ซึ่งได้รับการตอบกลับทางไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด 35 ฉบับ และ ณ จุดบริการฝึกอบรมทั้งหมด 50 ฉบับ จำนวนแบบสอบถามที่นำไปใช้ประมวลผลทั้งหมดคือ 85 ฉบับ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนแบบสอบถามที่ส่งและร้อยละการตอบกลับ

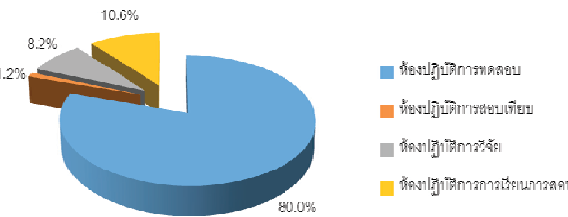
รายการ	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ
1. แบบสอบถามเพื่อทดสอบความใช้ได้	32	100.0
2. แบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างจริง	351	100.0
2.1 แบบสอบถามที่ส่งทางไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์	301	85.8
2.2 แบบสอบถามที่ส่ง ณ จุดบริการฝึกอบรม	50	14.2
3. แบบสอบถามที่ตอบกลับ	85	24.2
3.1 ข้อมูลที่ตอบกลับทางไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์	35	41.2
3.2 ข้อมูลที่ตอบกลับ ณ จุดบริการฝึกอบรม	50	58.8

3.2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นเพศหญิง ร้อยละ 57.6 เพศชายร้อยละ 40.0 และไม่ระบุเพศร้อยละ 2.4 ผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับการศึกษา ปวส. ไปจึงปริญญาโท โดยมากกว่าร้อยละ 70 ของผู้ตอบแบบสอบถาม มีระดับการศึกษาปริญญาตรี และเป็นผู้ปฏิบัติงานใน ห้องปฏิบัติการในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ หรือนักวิทยาศาสตร์ และมีประสบการณ์ในการทำงานในห้องปฏิบัติการมากกว่า 3 ปี โดยร้อยละ 74.1 ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการมากกว่า 21 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ โดยต้นสังกัดอยู่ในหน่วยงานทั้งภาครัฐ รัฐวิสาหกิจ เอกชน สถาบันการศึกษา และองค์กรอิสระ ซึ่งกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามจัดว่าเป็นผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องกับห้องปฏิบัติการโดยตรง ตรงกับเป้าหมายที่คณะวิจัยตั้งไว้ในศึกษานำร่องครั้งนี้

3.3 ลักษณะทั่วไปของห้องปฏิบัติการ

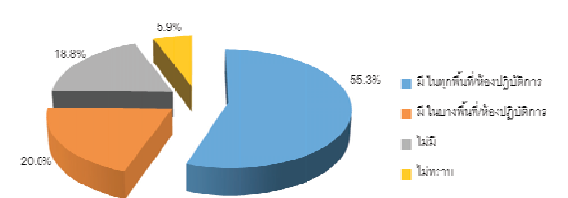
3.3.1 กลุ่มตัวอย่างปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการทดสอบ การการเรียนการสอน วิจัย และสอบเทียบ (แสดงในรูปที่ 1) โดยร้อยละ 69.4 จากจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด มาจากห้องปฏิบัติการขนาดเล็ก ที่มีจำนวนบุคลากรที่ทำงานในห้องปฏิบัติการน้อยกว่า 10 คน



รูปที่ 1 ประเภทห้องปฏิบัติการที่ผู้ตอบแบบสอบถามปฏิบัติงาน

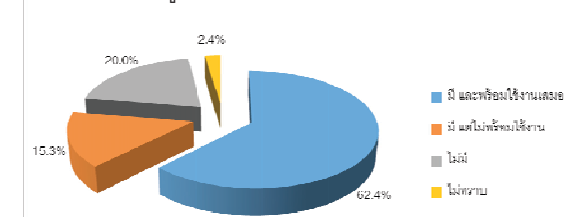
3.3.2 ข้อมูลความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการ (2) มีดังนี้

3.3.2.1 แผนฉุกเฉินในการอพยพคน : ร้อยละ55.3ของผู้ตอบแบบสอบถามตอบว่าหน่วยงานของตนมีแผนฉุกเฉินดังกล่าวในทุกพื้นที่/ห้องปฏิบัติการ ร้อยละ 20.0 มีแผนในบางพื้นที่/ห้องปฏิบัติการ ขณะที่ร้อยละ24.7 ไม่มีหรือไม่ทราบแผนฉุกเฉินของหน่วยงานแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ข้อมูลแผนฉุกเฉินในการอพยพคนในห้องปฏิบัติการที่ผู้ตอบแบบสอบถามปฏิบัติงาน

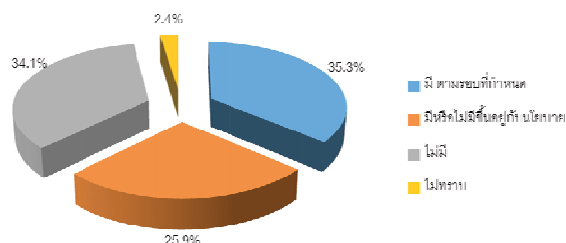
3.3.2.2 จุลรวมพล : ร้อยละ 62.4 ของผู้ตอบแบบสอบถามตอบว่า หน่วยงานของตนมีจุลรวมพลที่พร้อมใช้งานเสมอ ร้อยละ 15.3 มี แต่ไม่พร้อมใช้งาน หรือมีสิ่งกีดขวางทำให้ไม่พร้อมใช้งานในบางครั้ง ขณะที่ร้อยละ 22.4 ไม่มีหรือไม่ทราบจุลรวมพลของหน่วยงานตนเอง แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 จุลรวมพลในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินภายในหน่วยงานที่ผู้ตอบแบบสอบถามปฏิบัติงาน

3.3.2.3 การประเมินความเสี่ยง (3)

เช่น self-assessment, internal หรือ external safety audit : ร้อยละ 35.3 ของผู้ตอบแบบสอบถาม ตอบว่า ห้องปฏิบัติการของตนมีการประเมินความเสี่ยงตามรอบที่กำหนด ขณะที่ร้อยละ 36.5 ไม่มีหรือไม่ทราบว่าห้องปฏิบัติการของตนมีการประเมินความเสี่ยงหรือไม่ และร้อยละ 25.9 ตอบว่า ห้องปฏิบัติการของตนอาจมีการประเมินความเสี่ยงตามนโยบายหรือตามความจำเป็นเท่านั้น แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ข้อมูลการประเมินความเสี่ยงในห้องปฏิบัติการของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากข้อมูลที่ได้แม้ว่าห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ที่กลุ่มตัวอย่างปฏิบัติงานอยู่นั้นมีการจัดการด้านความปลอดภัยที่ดี เช่น มีแผนฉุกเฉินและจุดรวมพลที่พร้อมใช้งานอยู่แล้ว แต่ถึงอย่างไรประมาณร้อยละ 40% ห้องปฏิบัติการมีการจัดการความปลอดภัยที่ไม่ครบถ้วน เช่น ไม่มีเลย หรือมีแต่ไม่พร้อมใช้งาน หรือผู้ปฏิบัติงานไม่ทราบว่า มีหรือไม่ ซึ่งอาจทำให้ห้องปฏิบัติการไม่มีความพร้อมในการรองรับสถานการณ์ฉุกเฉินและเมื่อเกิดอุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการ อาจก่อให้เกิดความเสียหายได้มาก นอกจากนี้ประมาณร้อยละ 60 ยังไม่มีแผนการประเมินความเสี่ยงที่แน่นอนและชัดเจนในการประเมินความเสี่ยงในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการทำงานจะต้องมีการดำเนินการเป็นระยะตามแผนการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยภายในหน่วยงาน เพื่อตรวจประเมินว่าการปฏิบัติงานของห้องปฏิบัติการนั้นเป็นไปตามแผนงาน โครงการ หรือมาตรการความปลอดภัยในการทำงาน ซึ่งหากผลการประเมินความเสี่ยงอยู่ในระดับที่อาจก่อให้เกิด

อันตราย ผู้ที่เกี่ยวข้องจะต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย และมีการประเมินความเสี่ยงใหม่อีกครั้ง การมีแผนการประเมินความเสี่ยงตามรอบที่กำหนดจึงมีความสำคัญและจำเป็นต่อการป้องกันอันตรายทั้งที่ทราบและไม่ทราบก่อนการเกิดเหตุได้

3.4 การได้รับฝึกอบรมของผู้ปฏิบัติงาน

ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ร้อยละ 75.0 ของกลุ่มตัวอย่าง ได้รับการอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยก่อนเข้าปฏิบัติงาน ผลการศึกษาตามตารางที่ 2 เป็นที่น่าสังเกตว่าแม้ว่าร้อยละ 52.9 ของผู้ตอบแบบสอบถามได้ผ่านการฝึกอบรมในด้านการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล แต่มากกว่าร้อยละ 50 ของผู้ตอบแบบสอบถามยังไม่ผ่านการฝึกอบรมในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับแนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ การควบคุมและจัดการสารเคมีอันตราย และการกำจัดของเสียอันตราย นอกจากนี้ ประมาณร้อยละ 75 ของผู้ตอบแบบสอบถามยังไม่ได้รับการอบรมเรื่องการออกแบบห้องปฏิบัติการเพื่อความปลอดภัย จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่อาจยังไม่เข้าใจในองค์ประกอบของห้องปฏิบัติการของตนเองอย่างแท้จริงว่ามีความปลอดภัยจริงหรือไม่ ตลอดจนยังไม่ทราบแนวปฏิบัติที่ถูกต้องและยังไม่มีความรู้ความเข้าใจในการจัดการสารเคมีหรือของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการ และยังไม่เคยได้รับการฝึกทักษะในด้านดังกล่าวเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้จากสารเคมีและของเสียอันตราย

ตารางที่ 2 จำนวนแบบสอบถามที่ตอบกลับ-จำแนกข้อมูลตาม การได้รับฝึกอบรมในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย ในห้องปฏิบัติการ

การฝึกอบรม	จำนวนที่ตอบกลับ	คิดเป็นร้อยละ
การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล	45	52.9
การควบคุมและจัดการสารเคมีอันตราย	41	48.2
แนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ	34	40.0
การกำจัดของเสียอันตราย	30	35.3
การออกแบบห้องปฏิบัติการเพื่อความปลอดภัย	21	24.7

นอกจากนี้ แม้ว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ได้รับการฝึกอบรมหรือได้รับความรู้ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการจากสถานฝึกอบรมของรัฐ รัฐวิสาหกิจ หรือเอกชน ซึ่งเป็นการฝึกอบรมที่มีมาตรฐานรองรับในระดับหนึ่ง แต่มากกว่าร้อยละ 70 ของผู้ปฏิบัติงานไม่ได้รับความรู้ในเรื่องดังกล่าวจากหัวหน้าห้องปฏิบัติการ หรือเพื่อนร่วมงาน ซึ่งการได้รับความรู้จากหัวหน้างาน หรือเพื่อนร่วมงานโดยการ Coaching หรือ Passing skills เป็นเรื่องสำคัญเพราะห้องปฏิบัติการแต่ละห้องนั้นมีความเป็นอันตรายที่แตกต่างกัน และมีความเสี่ยงเฉพาะด้านที่เฉพาะผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เท่านั้นที่จะทราบได้ การถ่ายทอดความรู้ที่เกี่ยวข้องกับห้องปฏิบัติการของผู้ที่มีความรู้และหรือมีประสบการณ์ในการทำงานมากกว่า จึงเป็นกระบวนการในการส่งต่อความรู้ในการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัยของแต่ละหน่วยงาน การไม่ได้รับความรู้หรือถ่ายทอดประสบการณ์แบบ Coaching หรือการสอนงานจากหัวหน้าห้องปฏิบัติการหรือบุคลากรในหน่วยงานอาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานไม่ทราบอันตรายเฉพาะด้านของการปฏิบัติงานของตน และไม่ได้ตระหนักถึงอันตรายต่างๆ เหล่านั้น

3.5 ลักษณะทั่วไปของการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

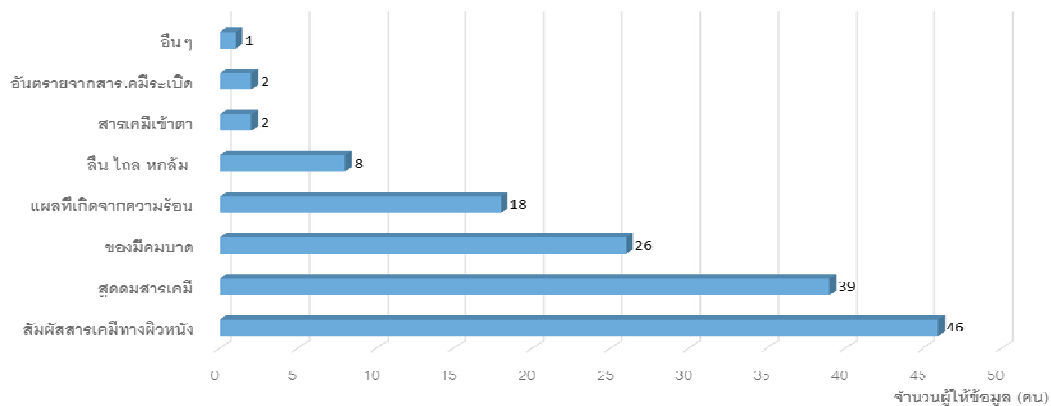
ผลการศึกษาลักษณะทั่วไปของการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการของผู้ตอบแบบสอบถาม สามารถสรุปได้ดังนี้

3.5.1 การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการโดยลำพัง : ร้อยละ 76.5 ของผู้ตอบแบบสอบถาม มีการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการตามลำพัง ซึ่งแนวปฏิบัติโดยทั่วไปแล้ว ไม่ควรให้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเพียงลำพัง เพราะกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินหรืออันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน จะไม่มีผู้ที่สามารถช่วยเหลือหรือร้องขอความช่วยเหลืออยู่ในพื้นที่ปฏิบัติงาน ดังนั้นการปฏิบัติงานเพียงลำพังเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

3.5.2 การศึกษาเอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี หรือ Safety Data Sheet (SDS) : ร้อยละ 16.5 ของผู้ตอบแบบสอบถามศึกษาข้อมูล SDS อย่างละเอียดเพื่อให้เกิดความเข้าใจก่อนการปฏิบัติงาน ซึ่งนับว่าเป็นส่วนน้อยของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด การศึกษาข้อมูล SDS ให้เกิดความเข้าใจก่อนปฏิบัติงานจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้ความเข้าใจสารเคมีที่ตนเองใช้อยู่ อันตรายที่อาจเกิดได้ การป้องกันอันตรายจากการทำงานกับสารนั้น

3.5.3 การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล หรือ Personal Protective Equipment (PPE) : ร้อยละ 37.6 ของผู้ตอบแบบสอบถามใช้ PPE ตลอดเวลาในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ และมีเพียงร้อยละ 22.4 ที่รู้จักและมั่นใจมากในการเลือกใช้งาน PPE แต่ละชนิด/ประเภท ได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

3.6 อันตรายจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ
ในภาพรวม กลุ่มผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการหรือเพื่อนร่วมงานมากกว่าครึ่งเคยได้รับอันตรายที่เกิดจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ โดยร้อยละ 87.1 ของผู้ตอบแบบสอบถามเคยได้รับอันตรายจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการตั้งแต่ของมีคมบาด สิ้น แผลที่เกิดจากความร้อน สารเคมีระเบิด สารเคมีเข้าตา หรือการสูดดมสารเคมีโดยเป็นอันตรายที่เกิดจากสารเคมีดังรูปที่ 5 โดยผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการร้อยละ 67.1 เคยได้รับอันตรายจากการสัมผัสสารเคมีทางผิวหนัง



รูปที่ 5 จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามที่เคยได้รับอันตรายต่างๆ จากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

ในกลุ่มผู้ที่เคยได้รับอันตรายดังกล่าว มีจำนวน 9 แบบสอบถามที่ตอบกลับให้ข้อมูลว่า เคยเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลหรือสถานรักษาต่างๆ เพื่อรักษาโรคหรือบาดเจ็บที่เกิดจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ โดยอันตรายที่เกิดจากการปฏิบัติงานต่างๆ มีความรุนแรงที่แตกต่างกัน เช่น มั่นกระเด็นใส่เกิดแผลพุพอง ของเสียจากห้องปฏิบัติการเกิดการระเบิด อาการแสบทางเดินหายใจจากการไต่กลิ่นสารพิษ การระคายเคืองจากเนฟทารีน หรือมีอาการแพ้สารเคมี เป็นภูมิแพ้ขั้นรุนแรง หายใจไม่ออก ความดันต่ำ ช็อคเข้าโรงพยาบาล

ตารางที่ 3 จำนวนกรณีตัวอย่างอันตรายที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ-จำแนกข้อมูลตามลักษณะอันตราย

ลักษณะอันตราย	จำนวนกรณีตัวอย่าง (กรณี)
กรด ต่าง หรือสารเคมีอันตราย หกรด หรือกระเด็นใส่ผู้ปฏิบัติงาน	12
สารเคมีที่เป็นกรดหรือด่าง สารติดเชื้อ หรือสารเคมีอันตรายกระเด็นเข้าดวงตา	8
ขอบมีคมบาดทำให้เลือดออก	7
อันตรายจากการเกิดไฟไหม้หรือเปลวไฟ	7
อันตรายจากสารเคมีระเบิด	5
อื่นๆ*	9
รวม	85

*ข้อมูลลักษณะอันตรายอื่นๆ เช่น การสูดดมอาหารเลี้ยงเชื้อจนปอดมีปัญหาลด ไฟฟ้าลัดวงจร หรืออันตรายจากการที่ชิ้นวางสารเคมีหลุดเนื่องจากบรรจุสารเคมีปริมาณมากเกินไป การรายงานการเป็นมะเร็งที่อาจเกิดจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

นอกจากนี้ ร้อยละ 61.2 ของผู้ตอบแบบสอบถาม รู้จักผู้ประสบเหตุหรือมีเพื่อนร่วมงานที่เคยได้รับอุบัติเหตุหรืออันตรายจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ กรณีตัวอย่างอันตรายที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ แสดงในตารางที่ 3

3.7 ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับระบบการจัดการความปลอดภัย

3.7.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออันตรายหรืออุบัติเหตุ : เมื่อเรียงลำดับปัจจัยที่มีความสำคัญที่มีผลต่ออันตรายหรืออุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้ในห้องปฏิบัติการ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ให้ความสำคัญต่อปัจจัยต่างๆ เรียงลำดับจากความสำคัญมากไปถึ้น้อย ดังนี้

1. ความไม่ระหนักของเพื่อนร่วมงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง
2. บุคลากรในห้องปฏิบัติการขาดความรู้ความเข้าใจ
3. ความสะเพร่าเลินเล่อ
4. การออกแบบห้องปฏิบัติการที่ไม่เหมาะสมหรือไม่เป็นไปตามหลักความปลอดภัย
5. การติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์ไม่เหมาะสมจะเห็นได้ว่า กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญกับปัจจัยที่มีผลต่ออันตรายหรืออุบัติเหตุ โดยเน้นในเรื่องของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ เช่น ความไม่ระหนัก การขาด

ความรู้ความเข้าใจ ความสะอาด มากกว่าลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ

3.7.2 การพัฒนาระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ : กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่คิดว่าห้องปฏิบัติการของตนมีความเสี่ยงอยู่ในระดับต่ำหรือปานกลาง มีเพียงร้อยละ 8.2 ที่คิดว่าห้องปฏิบัติการของตนมีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูง ขณะที่ร้อยละ 45.9 คิดว่าห้องปฏิบัติการของตนในภาพรวมมีความปลอดภัย ซึ่งร้อยละ 54.1 คิดว่าห้องปฏิบัติการของตนเองไม่มีความปลอดภัย หรือไม่แน่ใจว่ามีความปลอดภัยหรือไม่ แต่ถึงอย่างไร ร้อยละ 84.7 ของกลุ่มตัวอย่างคิดว่าห้องปฏิบัติการของตนควรมีการพัฒนาระบบความปลอดภัยเพิ่มขึ้น โดยร้อยละ 34.1 คิดว่าควรมีการพัฒนาหรือปรับปรุงระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการของตนอย่างมาก

3.7.3 การได้รับการฝึกอบรมหรือการทบทวนการฝึกอบรม : ร้อยละ 83.5 ของกลุ่มตัวอย่างมีความต้องการในการได้รับฝึกอบรมในด้านต่างๆ ตามตารางที่ 2 ให้ครบทุกด้าน

4. สรุป (Conclusion)

การศึกษานำร่องโดยใช้แบบสอบถามที่ตอบกลับจากกลุ่มตัวอย่างรวมจำนวน 85 ฉบับ พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ตอบกลับเป็นกลุ่มที่สอดคล้องกับเป้าหมายของโครงการ คือเป็นกลุ่มบุคลากรที่ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการที่มีความรู้และประสบการณ์ในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการโดยตรง ประมาณร้อยละ 40 ของห้องปฏิบัติการที่กลุ่มตัวอย่างปฏิบัติงานอยู่นั้น ไม่มีการจัดการระบบความปลอดภัยที่ดี เช่น ไม่มีแผนฉุกเฉินหรือจุดรวมพลหรือการประเมินความเสี่ยง หรือมีแต่ไม่ครบถ้วนหรือไม่พร้อมใช้งาน หรือผู้ปฏิบัติงานไม่ทราบในการจัดการระบบความปลอดภัย นอกจากนี้มากกว่าร้อยละ 50 ของผู้ปฏิบัติงานยังไม่ผ่านการฝึกอบรมในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการในหลายหัวข้อ เช่น การออกแบบห้องปฏิบัติการเพื่อความปลอดภัย แนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ การควบคุมและจัดการสารเคมีอันตราย และการกำจัดของเสียอันตราย ซึ่งอาจส่งผลให้กลุ่มตัวอย่างยัง

ไม่มีความรู้ในด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการอย่างเพียงพอ และส่งผลต่อลักษณะการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการที่ไม่ถูกต้อง เช่น การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการตามลำดับ การไม่ศึกษาข้อมูล SDS ก่อนการปฏิบัติงาน หรือการไม่ใช้ PPE ระหว่างการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า ร้อยละ 87.1 ของกลุ่มตัวอย่างเคยได้รับอันตรายจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ เช่น การรับสัมผัสสารเคมีทางผิวหนังหรือการสูดดม และร้อยละ 61.2 มีคนรู้จักหรือเพื่อร่วมงานที่เคยได้รับอุบัติเหตุหรืออันตรายจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นไปในทิศทางเดียวกันว่าห้องปฏิบัติการของตนควรมีการพัฒนาและปรับปรุงระบบความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น ซึ่งกลุ่มตัวอย่างมีข้อคิดเห็นว่าตนเองควรได้รับการฝึกอบรมในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการให้ครอบคลุมยิ่งขึ้น

ในภาพรวม ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการยังไม่ได้รับการฝึกอบรมหรือความรู้ที่เพียงพอสำหรับการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ส่งผลต่อพฤติกรรมการทำงานที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงในการได้รับอันตรายจากการปฏิบัติงาน ซึ่งจะเห็นจากผลการศึกษาที่ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการส่วนมากเคยได้รับอันตรายจากการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุหรืออันตรายคือ ความไม่ตระหนักและการขาดความรู้ ความเข้าใจของผู้ปฏิบัติงาน ผลการศึกษา นำร่องครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการของ พศ.วศ. และเป็นแนวทางในการพัฒนาหลักสูตรที่เกี่ยวข้อง เพื่อเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจที่เกี่ยวข้องกับการจัดการระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการให้กับผู้ปฏิบัติงาน และส่งเสริมให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความตระหนักด้านความปลอดภัยและมีการจัดการห้องปฏิบัติการที่ดี ตลอดจนสามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการได้

5 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบพระคุณ ดร.สุรศักดิ์ ละลอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ นางสาวปัทมา นพรัตน์ นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ สำนักพัฒนาคุณภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นในการดำเนินงานของโครงการ และดูแลการดำเนินงานต่างๆ ของงานวิจัยนี้เป็นอย่างดีเสมอมา

6 เอกสารอ้างอิง (References)

(1) NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Prudent practices in the laboratory for handling and disposal of chemicals. Washington, D.C : National Academy Press, 1995

(2) HOLASUT, K. Safety management in chemical industry. Khon Kaen : Khon Kaen University, 2012.

(3) AMERICAN CHEMICAL SOCIETY COMMITTEE ON CHEMICAL SAFETY. Safety audit / inspection manual. Washington, D.C : American Chemical Society, 2000

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรเนื่องจาก ปัจจัยของความแปรปรวนของแรงตึงผิวระหว่างของเหลวและแก้ว Evaluation of measurement uncertainty for volumetric glassware calibration from the variation of surface tension between liquid and glass

พจมาน ทาจีน^{1*}
Pochaman Tagheen^{1*}

บทคัดย่อ

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรมีปัจจัยจากหลายๆ แหล่ง เช่น ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง ค่าความไม่แน่นอนจากสภาวะแวดล้อม ค่าความไม่แน่นอนของอุณหภูมิ น้ำ ค่าความไม่แน่นอนของตำแหน่งท้องน้ำหรือตำแหน่งเมนิสคัส

ในเอกสารฉบับนี้จะแสดงให้เห็นความสำคัญของปัจจัยของค่าความไม่แน่นอนหลักอีกปัจจัยหนึ่งที่ห้องปฏิบัติการอาจจะยังไม่ให้ความสำคัญในการนำไปรวมในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม นั่นคือค่าความไม่แน่นอนอันเนื่องมา จากความสะอาดของเครื่องแก้ววัดปริมาตร ซึ่งความสะอาดของเครื่องแก้วมีผลต่อแรงตึงผิวระหว่างของเหลวและแก้ว โดยมีความสัมพันธ์คือ แรงตึงผิวน้อยเมื่อความสะอาดน้อย มีผลให้มุมระหว่างของเหลวและแก้ว (contact angle) มีค่ามากและปริมาตรน้อยลง ในทางตรงกันข้ามแรงตึงผิวมากเกิดจากความสะอาดมากมีผลให้มุมระหว่างของเหลวและแก้ว มีค่าน้อยและปริมาตรมากขึ้น ซึ่งมุมระหว่างของเหลวและแก้ว ที่มีผลต่อความไม่แน่นอนของปริมาตรของเหลวจึงมีผลโดยตรงต่อการวัดและการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรคิดเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 50 ของค่าความไม่แน่นอนรวม ดังนั้นห้องปฏิบัติการจึงควรพิจารณาถึงแหล่งของค่าความไม่แน่นอนนี้เพื่อให้เกิดความสมเหตุสมผลของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

Abstract

Measurement uncertainties in calibration of volumetric glassware are from many sources for instance the weighting machine, environment, liquid temperature, position of meniscus. This paper described the uncertainty due to the cleanliness of volumetric glassware. With the less cleanliness, it will reduce the surface tension between the glass and the liquid. The less surface tension is the more contact angle and the less volume of meniscus. In the controversy the more contact angle is the more cleanliness, it will increase the surface tension between the glass and the liquid and the more volume of meniscus. In this case we found that the effect of deviation of contact angle will affect the uncertainty of the measurement of volume more than 50% of the overall measurement uncertainty. So the laboratory should pay more attention to the measurement uncertainty due to the variation of contact angle or surface tension between liquid and glass.

คำสำคัญ : ค่าความไม่แน่นอนของการวัด, การสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

Keywords : Measurement Uncertainty, Calibration Of Volumetric Apparatus

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

เครื่องแก้ววัดปริมาตรเป็นเครื่องมือวัดที่สำคัญสำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบทางเคมีและชีวภาพ รวมทั้งในอุตสาหกรรมหลากหลายที่เกี่ยวข้องกับการตวงและวัดปริมาตรของของเหลว ชนิดของเครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการปกติที่ใช้ ได้แก่ กระบอกตวง (cylinder) บิวเรต (burette) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) และปิเปต (pipette) เครื่องแก้วประเภทกระบอกตวง และขวดวัดปริมาตรเป็นเครื่องมือวัดปริมาตรที่มีขีดระบุปริมาตรแบบบรรจุ (to contain) ส่วนบิวเรตและปิเปต เป็นเครื่องมือวัดปริมาตรแบบส่งผ่าน (to deliver) โดยปกติปริมาตรที่ระบุของเครื่องแก้วไม่ว่าจะเป็นแบบบรรจุหรือส่งผ่าน จะกำหนดที่อุณหภูมิอ้างอิงซึ่งกำหนดไว้ที่ 20 °C หากภาวะแวดล้อมด้านอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการต่างออกไปจากอุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 °C ห้องปฏิบัติควรคำนึงถึงค่าแก้ของปริมาตรอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ต่างออกไปจากอุณหภูมิอ้างอิง รวมทั้งการปรับตั้งระดับ เมนิสคัสให้ตรงกับเส้นบอกขีดปริมาตรอย่างเหมาะสม(1)

2. วิธีการวิจัย(Experimental)

สมบัติประการหนึ่งของน้ำที่กระทำต่อผิวแก้วคือ ความตึงผิว (surface tension) ที่ทำให้ขอบน้ำที่ติดข้างหลอดแก้วมีระดับสูงกว่าน้ำตรงส่วนกลางหลอดแก้ว ยิ่งใช้ภาชนะที่เส้นผ่าศูนย์กลางเล็กจะยิ่งเห็นรอยโค้งเว้าของระดับน้ำได้ชัดเจน ที่เป็นเช่นนี้เพราะน้ำเปียกผิวแก้ว และโมเลกุลของน้ำถูกแก้วดึงไว้ ดังนั้นขอบน้ำในบริเวณที่สัมผัสกับผิวแก้วจึงสูงกว่าระดับน้ำตรงส่วนกลาง ซึ่งส่วนโค้งของผิวน้ำในหลอดแก้วนี้เรียกว่า เมนิสคัส (meniscus) ดังแสดงในรูปที่ 1

การวัดปริมาตรที่ถูกต้องจะต้องให้ท้องน้ำหรือด้านล่างของเมนิสคัสอยู่ที่ขีดระบุบนเครื่องแก้ว หากเมนิสคัสไม่สมบูรณ์จะมีผลทำให้ปริมาตรที่ได้จากการตวงไม่เหมาะสม ซึ่งความเว้าของเมนิสคัสที่ไม่สมบูรณ์เกิดจากความไม่สะอาดภายในของหลอดแก้ว



รูปที่ 1 แสดงเมนิสคัสและมุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้ว (contact angle) ซึ่งเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างของเหลวและแก้ว

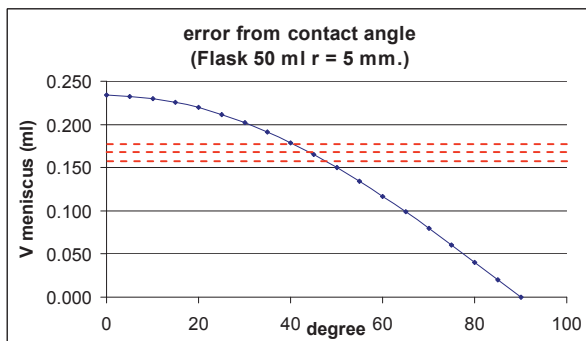
สมการที่ (1)(2) แสดงสมการสมดุลของแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความตึงผิว และสมการที่ (2) แสดงสมการการหาค่าปริมาตรเนื่องจากเมนิสคัสที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงตึงผิว

$$\rho g V_{\text{meniscus}} = 2\pi r \gamma_{LV} \cos \theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

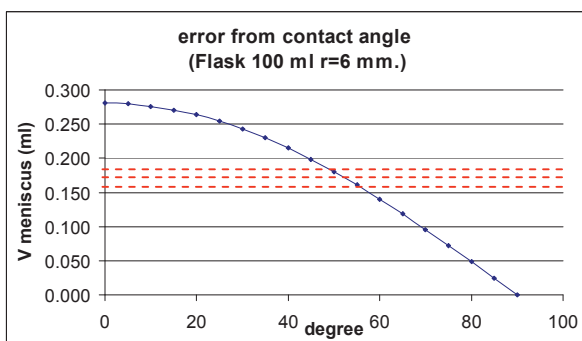
$$V_{\text{meniscus}} = \frac{2\pi r \gamma_{LV} \cos \theta}{\rho g} \quad \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ	ρ	:	ความหนาแน่นของน้ำ = 0.9982 g/cm ³
	g	:	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 m/s ²
	V_{meniscus}	:	ปริมาตรที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเมนิสคัส
	r	:	รัศมีภายในหลอดแก้ว
	γ_{LV}	:	ความตึงผิวของน้ำที่ 20 °C = 72.8×10 ⁻³ N/m
	θ	:	มุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้วเป็น องศา

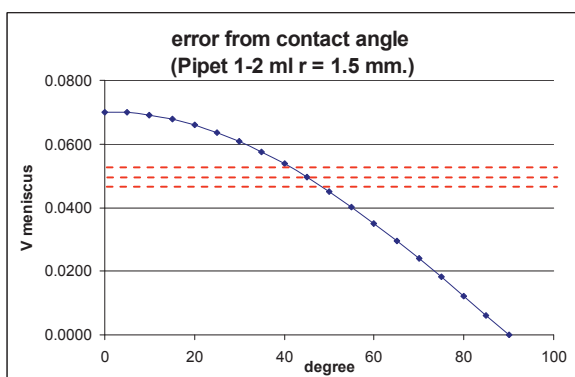
จากความสัมพันธ์ความเปลี่ยนแปลงของมุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้วกับปริมาตรที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากเมนิสคัส แสดงดังกราฟที่ 1 สำหรับขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml กราฟที่ 2 สำหรับขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml กราฟที่ 3 สำหรับปิเปต ขนาด 1-2 ml และกราฟที่ 4 สำหรับปิเปตขนาด 5-10 ml



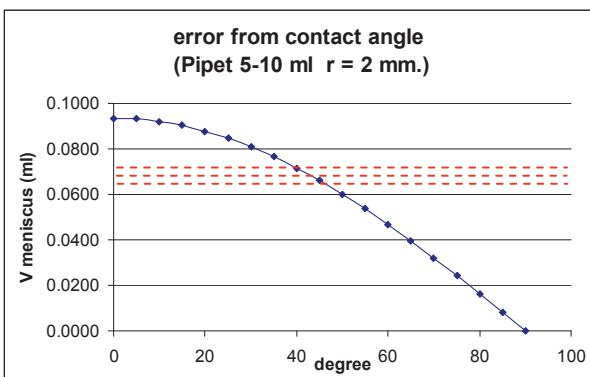
กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงของมุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้ว กับปริมาตรที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากเมนิสคัส สำหรับขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml



กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงของมุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้ว กับปริมาตรที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากเมนิสคัส สำหรับขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 ml



กราฟที่ 3 แสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงของมุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้ว กับปริมาตรที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากเมนิสคัส สำหรับปิเปตขนาด 1 — 2 ml



กราฟที่ 4 แสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงของมุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้ว กับปริมาตรที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากเมนิสคัส สำหรับปิเปตขนาด 5 — 10 ml

ในทางทฤษฎีหากเราพิจารณาให้มุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้วเท่ากับ 45 องศา สำหรับขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 ml จะมีปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (V_{meniscus}) เท่ากับ 0.165 ml. ในทางปฏิบัติหากเราไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของมุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้ว (หรือเครื่องแก้วไม่สะอาดอย่างสมบูรณ์) การเปลี่ยนแปลงมุมที่ของเหลวสัมผัสในช่วงประมาณ 2.5 องศา จะทำให้เกิดความไม่แน่นอนของปริมาตรที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.007 ml

สำหรับขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml หากเราพิจารณาให้มุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้วเท่ากับ 60 องศา จะมีปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (V_{meniscus}) เท่ากับ 0.140 ml. ในทางปฏิบัติหากเราไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของมุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้ว (หรือเครื่องแก้วไม่สะอาดอย่างสมบูรณ์) การเปลี่ยนแปลงมุม

ที่ของเหลวสัมผัสในช่วงประมาณ 2.5 องศา จะทำให้เกิดความไม่แน่นอนของปริมาตรที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.011 ml สำหรับปิเปตขนาด 1-2 ml หากเราพิจารณาให้มุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้วเท่ากับ 45 องศา จะมีปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (V_{meniscus}) เท่ากับ 0.050 ml. ในทางปฏิบัติหากเราไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของมุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้ว (หรือเครื่องแก้วไม่สะอาดอย่างสมบูรณ์) การเปลี่ยนแปลงมุมที่ของเหลวสัมผัสในช่วงประมาณ 2.5 องศา จะทำให้เกิดความไม่แน่นอนของปริมาตรที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.002 ml

สำหรับปิเปตขนาด 5-10 ml หากเราพิจารณาให้มุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้วเท่ากับ 45 องศา จะมีปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (V_{meniscus}) เท่ากับ 0.085 ml. ในทางปฏิบัติหากเราไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของมุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้ว (หรือเครื่องแก้ว

ไม่สะอาดอย่างสมบูรณ์) การเปลี่ยนแปลงมุมที่ของเหลวสัมผัสในช่วงประมาณ 2.5 องศา จะทำให้เกิดความไม่แน่นอนของปริมาตรที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.003 ml

ซึ่งมุมที่ของเหลวสัมผัสข้างหลอดแก้ว และการเปลี่ยนแปลงมุมที่ของเหลวสัมผัสในช่วงประมาณ 2.5 องศา ดังกล่าว สอดคล้องกับข้อมูลในเอกสารมาตรฐาน ASTM E542-01: Standard Practice for Calibration of Laboratory Volumetric Apparatus(3) ในหัวข้อ 15 ตารางที่ 6 ข้อมูลความเที่ยง (precision data)

โดยทั่วไปห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องแก้ว ไม่ได้พิจารณาถึงปัจจัยของค่าความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากความแปรปรวนของแรงตึงผิวระหว่างของเหลวและแก้วนี้ จึงมีผลทำให้ค่าความไม่แน่นอนรวมของการสอบเทียบเครื่องแก้วน้อยเกินจริง

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

จากปัจจัยของค่าความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากความแปรปรวนของแรงตึงผิวระหว่างของเหลวและแก้วข้างต้น ทำให้ค่าความไม่แน่นอนรวมของขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml มีค่าเท่ากับ 0.012 ml ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ดังแสดงในตารางที่ 1 และค่าความไม่แน่นอนรวมของขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 ml มีค่าเท่ากับ 0.018 ml ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ดังแสดงในตารางที่ 2 ค่าความไม่แน่นอนรวมของปิเปตขนาด 2 ml มีค่าความไม่แน่นอนรวมเท่ากับ 0.0025 ml ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ดังแสดงในตารางที่ 3 และค่าความไม่แน่นอนรวมของปิเปตขนาด 10 ml มีค่าเท่ากับ 0.0038 ml ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 1 แสดงการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 ml

symbol	Source	Reading	uncertainty	Relative uncertainty	divisor	Standard uncertainty	v
u(A)	Repeatability	50.0102 ml	0.003 ml	60.00 ppm	1	60 ppm	9
u(B1)	Resolution of balance 1	36.0974 g	0.00005 g	1.39 ppm	1.732	0.8 ppm	Inf.
u(B2)	Balance linearity 1	36.0974 g	0.0005 g	13.9 ppm	1.732	8 ppm	Inf.
u(B3)	Resolution of balance 2	85.9364 g	0.00005 g	0.582 ppm	1.732	0.34 ppm	Inf.
u(B4)	Balance linearity 2	85.9364 g	0.0005 g	5.82 ppm	1.732	3.36 ppm	Inf.
u(B5)	Humidity	1	1 ppm	1 ppm	1.732	0.58 ppm	Inf.
u(B6)	Air pressure	1	10 ppm	10 ppm	1.732	5.77 ppm	Inf.
u(B7)	Room temperature	1	10 ppm	10 ppm	1.732	5.77 ppm	Inf.
u(B8)	Water temperature	1	100 ppm	100 ppm	1.732	57.7 ppm	Inf.
u(B9)	Deviation of contact angle 2.5 degree	50.0102 ml	0.007 ml	140 ppm	1.732	80.8 ppm	Inf.
u_c	Combined uncertainty					116.6 ppm	
U	Expanded uncertainty			k = 2		233.3 ppm (0.012 ml)	

ตารางที่ 2 แสดงการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 ml

symbol	Source	Reading	uncertainty	Relative uncertainty	divisor	Standard uncertainty	v
u(A)	Repeatability	100.0133 ml	0.0003 ml	3 ppm	1	3 ppm	9
u(B1)	Resolution of balance 1	60.2475 g	0.00005 g	0.829 ppm	1.732	0.48 ppm	Inf.
u(B2)	Balance linearity 1	60.2475 g	0.0005 g	8.29 ppm	1.732	4.79 ppm	Inf.
u(B3)	Resolution of balance 2	160.0196 g	0.00005 g	0.312 ppm	1.732	0.18 ppm	Inf.
u(B4)	Balance linearity 2	160.0196 g	0.0005 g	3.12 ppm	1.732	1.80 ppm	Inf.
u(B5)	Humidity	1	1 ppm	1 ppm	1.732	0.58 ppm	Inf.
u(B6)	Air pressure	1	10 ppm	10 ppm	1.732	5.77 ppm	Inf.
u(B7)	Room temperature	1	10 ppm	10 ppm	1.732	5.77 ppm	Inf.
u(B8)	Water temperature	1	100 ppm	100 ppm	1.732	57.7 ppm	Inf.
u(B9)	Deviation of contact angle 2.5 degree	100.0133 ml	0.011 ml	110 ppm	1.732	63.50 ppm	Inf.
u_c	Combined uncertainty					86.4 ppm	
U	Expanded uncertainty			k = 2		172.8 ppm (0.018 ml)	

ตารางที่ 3 แสดงการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบปิเปต ขนาด 2 ml

symbol	Source	Reading	uncertainty	Relative uncertainty	divisor	Standard uncertainty	v
u(A)	Repeatability	2.0094 ml	0.0003 ml	149 ppm	1	149 ppm	9
u(B1)	Resolution of balance 1	2.00 g	0.00005 g	24.9 ppm	1.732	14.38 ppm	Inf.
u(B2)	Balance linearity 1	2.00 g	0.0005 g	249 ppm	1.732	143.76 ppm	Inf.
u(B3)	Resolution of balance 2	2.00 g	0.00005 g	24.9 ppm	1.732	14.38 ppm	Inf.
u(B4)	Balance linearity 2	2.00 g	0.0005 g	249 ppm	1.732	143.76 ppm	Inf.
u(B5)	Humidity	1	1 ppm	1 ppm	1.732	0.58 ppm	Inf.
u(B6)	Air pressure	1	10 ppm	10 ppm	1.732	5.77 ppm	Inf.
u(B7)	Room temperature	1	10 ppm	10 ppm	1.732	5.77 ppm	Inf.
u(B8)	Water temperature	1	100 ppm	100 ppm	1.732	57.7 ppm	Inf.
u(B9)	Deviation of contact angle 2.5 degree	2.0094 ml	0.002 ml	1000 ppm	1.732	577.37 ppm	Inf.
u _c	Combined uncertainty					633.0 ppm	
U	Expanded uncertainty			k = 2		1266.0 ppm (0.0025 ml)	

ตารางที่ 4 แสดงการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบปิเปต ขนาด 10 ml

symbol	Source	Reading	uncertainty	Relative uncertainty	divisor	Standard uncertainty	v
u(A)	Repeatability	10.0366 ml	0.0003 ml	29.9 ppm	1	29.9 ppm	9
u(B1)	Resolution of balance 1	10 g	0.00005 g	4.98 ppm	1.732	2.88 ppm	Inf.
u(B2)	Balance linearity 1	10 g	0.0005 g	49.8 ppm	1.732	28.8 ppm	Inf.
u(B3)	Resolution of balance 2	10 g	0.00005 g	4.98 ppm	1.732	2.88 ppm	Inf.
u(B4)	Balance linearity 2	10 g	0.0005 g	49.8 ppm	1.732	28.8 ppm	Inf.
u(B5)	Humidity	1	1 ppm	1 ppm	1.732	0.58 ppm	Inf.
u(B6)	Air pressure	1	10 ppm	10 ppm	1.732	5.77 ppm	Inf.
u(B7)	Room temperature	1	10 ppm	10 ppm	1.732	5.77 ppm	Inf.
u(B8)	Water temperature	1	100 ppm	100 ppm	1.732	57.7 ppm	Inf.
u(B9)	Deviation of contact angle 2.5 degree	10 ml	0.003 ml	300 ppm	1.732	173.21 ppm	Inf.
u _c	Combined uncertainty					189.6 ppm	
U	Expanded uncertainty			k = 2		379.3 ppm (0.0038 ml)	

4. สรุป (Conclusion)

จากการศึกษาข้างต้นจะสอดคล้องกับข้อมูลในเอกสารมาตรฐาน ASTM E542-01 : Standard Practice for Calibration of Laboratory Volumetric Apparatus(3) ในหัวข้อ15 ความเที่ยง (precision) ได้อธิบายว่าค่า Reproducibility เกิดจาก

1. ประสิทธิภาพของผู้สอบเทียบในการทำการสอบเทียบซ้ำ

2. ความผิดพลาดของการวัดจากการปรับค่าเมนิสคัส ขึ้นกับความระมัดระวังของผู้สอบเทียบ เนื่องจากความสะอาดและขึ้นกับพื้นที่หน้าตัดของหลอดแก้ว

ผลการวิจัยโดยใช้ค่าทฤษฎี และข้อมูลค่าความเที่ยงในเอกสารมาตรฐาน ASTM E542-01 แสดงให้เห็นว่าค่าการวัดปริมาตรมีความผิดพลาดเนื่องจากเมนิ

สคัสมีค่าสอดคล้องกันที่มุมของเหลวสัมผัสเครื่องแก้ว 2.5 องศา การพิจารณาดังกล่าวเป็นแนวทางการพิจารณาค่าความไม่แน่นอนในกรณีที่ห้องปฏิบัติการมีความสามารถด้านความเที่ยงเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E542-01 และในกรณีที่ห้องปฏิบัติการมีการตรวจสอบความเที่ยงโดยการทำการประกันคุณภาพภายในแล้วพบว่าได้ค่าที่แตกต่าง ห้องปฏิบัติการต้องพิจารณาหาปริมาณค่าความไม่แน่นอนที่เหมาะสมกับแต่ละห้องปฏิบัติการ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ในการให้คำอ้างอิงและความรู้ด้านเทคนิคที่สำคัญสำหรับ

กิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ สาขาสอบ
เทียบ รายการสอบเทียบเครื่องแก้ว

6. เอกสารอ้างอิง (References)

(1) พจมาน ท่าจีน “ความผิดพลาดของการวัดปริมาตรที่เกิดจากตำแหน่งเมนิสคัสของเครื่องแก้วปริมาตร” วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 2547, 52(166), 39-40

(2) SEARS, Francis W., Mark W. ZEMANSKY, and Hugh D. YOUNG. University Physics. 5th ed., London : Addison Wesley, 1978, pp. 222-226

(3) ASTM INTERNATIONAL. Standard practice for calibration of laboratory volumetric apparatus, ASTM E542-01, 2012, pp.106-113

การเตรียมตัวอย่างสำหรับกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ ของรายการโลหะหนักในน้ำ Sample preparation for laboratory proficiency testing of heavy metals in water

รัชดา เหมปฐวี¹, วรณี อุไพบูรณ์¹

Rachada Hemapattawee¹, Wanee Aupaiboon¹

บทคัดย่อ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการของรายการทดสอบโลหะหนักในน้ำ ต้องมีความถูกต้องแม่นยำและเป็นตามข้อกำหนดของ ISO/IEC 17043:2010 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเหมาะสม ในการเตรียมตัวอย่างที่ใช้สำหรับดำเนินกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการของรายการแคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำ โดยการเติมสารละลายมาตรฐานของแต่ละธาตุที่ทราบค่าแน่นอนลงในน้ำ ปราศจากไอออน เติมกรดไนตริกให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง น้อยกว่า 2.0 เพื่อรักษาสภาพตัวอย่าง กวนสารละลายให้ เป็นเนื้อเดียวกัน บรรจุใส่ขวดตัวอย่าง และติดฉลากเพื่อบ่งชี้ให้ชัดเจน สุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน และความเสถียรในช่วงเวลาที่กำหนด รูปแบบทางสถิติที่ใช้ศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน และความเสถียรปฏิบัติตาม มาตรฐาน ISO 13528 : 2005 โดยเปรียบเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินผลการทดสอบความ ขำนาญ (The standard deviation for proficiency assessment) ซึ่งเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป้าหมาย (Target standard deviation) ที่ได้จากทั้งข้อมูลการดำเนินกิจกรรมทดสอบความชำนาญที่ผ่านมา จากวิธีทดสอบมาตรฐาน และจากความคิดเห็นของที่ปรึกษา จึงกำหนดให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 7 ของค่ากำหนด โดยค่ากำหนดของแคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) และตะกั่ว (Pb) เป็นค่าอ้างอิง(Reference value) จากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ และจากผลการ ประเมินความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรของตัวอย่างทั้ง 3 ชุดที่จัดเตรียมขึ้นพบว่ามีความเหมาะสมเพียงพอ ตามเกณฑ์ที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อกรทดสอบตัวอย่างของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญ

Abstract

The sample preparation for laboratory proficiency testing of heavy metals in water must be accurate, precise, and meet the requirements of ISO/IEC 17043:2010. The aim of this study is to find the suitability of sample preparation for cadmium (Cd), nickel (Ni) and lead (Pb) in water by adding known standard solutions in the deionized water, preserving with nitric acid at pH-value about 2.0, mixing, filling in bottles and labelling. The samples are randomly selected for homogeneity and stability testing. The statistical process was designed for homogeneity and stability evaluation according to the ISO 13528: 2005 by comparing with the standard deviation for proficiency assessment which is the target standard deviation by perception from previous rounds, standard method and expert judgment. It was set at 7 % of the assigned values which were the reference values from National Metrology Institute (Thailand). The results of homogeneity and stability assessment of three sets of samples showed that they were sufficiently homogeneous and stable. These ensured that all laboratories receive distribution units that do not differ significantly in the parameters to be analyzed.

คำสำคัญ : กิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ, ความเป็นเนื้อเดียวกัน, ความเสถียร

Keywords : Laboratory proficiency testing , homogeneity , stability

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

กิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการบ่งชี้ขีดความสามารถในการทดสอบของห้องปฏิบัติการ สามารถสร้างความเชื่อมั่นในผลทดสอบของห้องปฏิบัติการ ซึ่งกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการเป็นวิธีการควบคุมคุณภาพจากภายนอก (External quality control) ของห้องปฏิบัติการ เพื่อประกอบการยืนยันขอการรับรองระบบงานห้องปฏิบัติการ ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025-2005(1) และสามารถบ่งชี้สมรรถนะของห้องปฏิบัติการ (Laboratory's performance) และใช้เป็นเครื่องมือเฝ้าระวังการควบคุมคุณภาพของห้องปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง สร้างความเชื่อมั่นในการตรวจสอบคุณภาพสินค้าให้สามารถแข่งขันได้ในเวทีสากลและสร้างมาตรฐานการประกันความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

ผู้ดำเนินกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ (Proficiency testing provider) ต้องมีระบบการดำเนินงานที่เป็นไปตามมาตรฐานสากล ISO / IEC 1704-2010 (2) เพื่อให้การประเมินสมรรถนะห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ ชุดตัวอย่างที่ใช้ในกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการมีบทบาทสำคัญมากต่อการดำเนินกิจกรรม โดยปัจจัยที่จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับการจัดเตรียมตัวอย่างสำหรับแต่ละกิจกรรม ได้แก่ ประเภทของตัวอย่างซึ่งจำแนกตามลักษณะตัวอย่างโดยทั่วไปมีลักษณะเป็น ของแข็ง ของเหลว กึ่งของแข็ง และก๊าซ องค์ประกอบ (Matrix) ของตัวอย่าง และช่วงความเข้มข้นของรายการทดสอบ ตัวอย่างที่จะต้องสอดคล้องกับลักษณะของตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการทดสอบอยู่เป็นประจำ

สำหรับกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการรายการทดสอบโลหะหนักในน้ำ (Heavy metals in water) เป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญมากในการบ่งชี้ขีดความสามารถของห้องปฏิบัติการในการตรวจสอบปริมาณโลหะหนักในน้ำ ซึ่งการเตรียมตัวอย่างสำหรับกิจกรรมนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง จะต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์ในการเตรียมตัวอย่างที่ถูกต้องและเป็นไปตามข้อกำหนด เพื่อลดปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบในการทดสอบตัวอย่างของกลุ่มห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วม

กิจกรรม และเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในการดำเนินงานของผู้จัดกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ กิจกรรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างโลหะหนักในน้ำให้มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) และความเสถียร (Stability) ตลอดช่วงระยะเวลาที่กำหนดให้ห้องปฏิบัติการดำเนินการทดสอบด้วยวิธีการประเมินผลทางสถิติที่เหมาะสม ซึ่งขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรของรายการแคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) และตะกั่ว (Pb) ในตัวอย่างน้ำที่จัดเตรียมขึ้น

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 เครื่องมือ

2.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก Sartorius CCI100K2 น้ำหนักสูงสุด 150 kg

2.2 วัสดุอ้างอิงและวัสดุอุปกรณ์

2.2.1 วัสดุอ้างอิง (standard reference material) ได้แก่ สารละลายมาตรฐานอ้างอิงแคดเมียม, สารละลายมาตรฐานอ้างอิงตะกั่ว และสารละลายมาตรฐานอ้างอิงนิกเกิล

2.2.2 วัสดุอุปกรณ์

2.2.2.1 ขวดบรรจุตัวอย่างชนิด High density polyethylene ขนาดปริมาตร 500 L

2.2.2.2 ถังสำหรับเตรียมสารละลาย ตัวอย่างชนิด High density polyethylene tank ขนาดปริมาตร 200 L พร้อมอุปกรณ์กวนสารละลาย

2.3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายตัวอย่าง

2.3.1 คำนวณปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการเตรียมน้ำ โดยมีสูตรการคำนวณปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการเตรียมน้ำ ดังนี้

$$V1 = (V2 \times C2) / V2$$

V1 = ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน (L)

V2 = ปริมาตรสารละลายตัวอย่าง (L) ที่ต้องการเตรียม

C1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (mg/L)

C2 = ความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง (mg/L)

2.3.2 ทำความสะอาดภาชนะสำหรับบรรจุตัวอย่าง ด้วยผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด (Detergent)

และล้างด้วยน้ำประปาให้สะอาด นำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกหรือกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และล้างด้วยน้ำกลั่น ผึ่งให้แห้ง

2.3.3 บรรจุน้ำปราศจากไอออนในถังสำหรับเตรียมสารละลาย โดยวิธีชั่งน้ำหนักและปิเปตสารละลายมาตรฐานแต่ละธาตุ ตามปริมาตรที่คำนวณได้ในข้อ 2.3.1

2.3.4 เติมกรดไนตริกให้สารละลายตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-value) น้อยกว่า 2.0 เพื่อรักษาความเสถียรของสารละลายตัวอย่าง กวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2.3.5 บรรจุสารละลายใส่ขวดตัวอย่าง ปริมาตร 500 L ปิดฝาให้สนิท ติดฉลากเพื่อบ่งชี้ตัวอย่างให้ชัดเจน

2.4 การสุ่มตัวอย่าง (Random sampling)

วิธีการสุ่มตัวอย่างมีความสำคัญมากต่อการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน และความเสถียรของชุดตัวอย่างที่จัดเตรียมขึ้น เป็นวิธีการที่จะทำให้ได้ตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรทั้งหมด โดยมีสูตรการสุ่มตัวอย่าง ดังนี้

$$R \times I, I = N/n \text{ และ } x \text{ มีค่าเป็น } 0, 1, 2, \dots$$

โดย I = Sampling Interval, N = จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่เตรียม, n = จำนวนตัวอย่างที่ต้องการสุ่ม และ R = หมายเลขของตัวอย่างชุดแรกที่ถูกรandom

ตัวอย่างการคำนวณ จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่เตรียม (N)= 200 ชุด หมายเลขตั้งแต่ 001 ถึง 200 จำนวนตัวอย่างที่ต้องการสุ่ม (n)= 10 ชุด ดังนั้น $I = 200/10 = 20$ และ R = ตัวอย่างชุดแรกที่ถูกรandom ถ้าตัวอย่างแรกที่ถูกรandomคือหมายเลข 2 ดังนั้นตัวอย่างทั้ง 10 ชุดที่ถูกรandomจะมีหมายเลขดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : หมายเลขของตัวอย่างที่ถูกรandomจำนวน 10 ชุด

R	R+I	R+2I	R+3I	R+4I	R+5I	R+6I	R+7I	R+8I	R+9I
2	22	42	62	82	102	122	142	162	182

2.5 การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity testing)

ตัวอย่างที่จัดเตรียมขึ้นนั้นจะต้องมีข้อมูลบ่งชี้ความเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนที่จะดำเนินการแจกจ่ายให้ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมเพื่อทำการทดสอบ โดยตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่างจะถูกสุ่มเพื่อเป็นตัวแทนของชุดตัวอย่างทั้งหมดโดยวิธีสุ่มตัวอย่าง(random sampling) นำไปทดสอบรายการ แคดเมียม นิกเกิล และตะกั่ว ตามวิธี Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, AWWA, APHA, 21st ed. 2005 (4) ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะทดสอบแบบ duplicate และในการประเมินผลเพื่อตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างจะวิเคราะห์ผลด้วยการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างตัวอย่าง (The between-samples standard deviation) กับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินผลการทดสอบความชำนาญ (The standard deviation for proficiency assessment) โดยใช้เกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ISO 13528 : 2005(3)

2.6 การทดสอบความเสถียร (Stability testing)

เพื่อบ่งชี้ความเสถียรตลอดช่วงระยะเวลาที่กำหนดให้ห้องปฏิบัติการดำเนินการทดสอบ โดยสุ่มตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่างจากชุดตัวอย่างเดียวกันที่แจกจ่ายให้แก่ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม นำไปทดสอบให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยวันที่ทำการทดสอบจะต้องเป็นวันหลังจากที่กำหนดให้ห้องปฏิบัติการทำการทดสอบเป็นวันสุดท้าย นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่ทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ISO 13528 : 2005(3)

2.7 การออกแบบทางสถิติ (Statistical designs)

รูปแบบทางสถิติเพื่อใช้ศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรของชุดตัวอย่างที่จัดเตรียมขึ้น เพื่อบ่งชี้ความเหมาะสมของตัวอย่างสำหรับการดำเนินกิจกรรมการทดสอบความชำนาญ ปฏิบัติตามตามวิธีในมาตรฐาน ISO 13528 : 2005(3) การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างตัวอย่างเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในการ

ประเมินผลการทดสอบความชำนาญ ซึ่งมีเกณฑ์ยอมรับความเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนี้

$$s_s \leq 0.3 \hat{\sigma}_p$$

s_s = The between-samples standard deviation

$\hat{\sigma}_p$ = The standard deviation for proficiency assessment

สำหรับการศึกษาความเสถียรของตัวอย่างโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยชุดข้อมูลที่ต้องการศึกษาความเสถียรตามระยะเวลาที่กำหนดเทียบกับค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่ทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน เกณฑ์การยอมรับความเสถียร ดังนี้

$$|A - B| \leq 0.3 \hat{\sigma}_p$$

A = The general average of the measurements obtained in the homogeneity check

B = The general average of the results obtained in the stability check

สำหรับ The standard deviation for proficiency assessment ($\hat{\sigma}$) ในกิจกรรมนี้เลือกใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป้าหมาย (Target standard deviation) ซึ่งแหล่งของข้อมูลที่นำมาใช้ประกอบการกำหนดเกณฑ์ค่าเป้าหมายของกิจกรรมนั้นได้จากข้อมูลของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากกิจกรรมทดสอบความชำนาญที่ผ่านมา (Experience with previous rounds) และจากความคิดเห็นของที่ปรึกษา (Perception of experts) ดังนั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป้าหมายของรายการแคดเมียม นิกเกิล และตะกั่วในน้ำ กำหนดค่าในรูปแบบ % CV (Coefficient of variation) โดยมีเกณฑ์เท่ากับ 7 % ของค่ากำหนด เพื่อใช้ในการประเมินความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรของชุดตัวอย่างที่จัดเตรียมขึ้น และได้ทำการศึกษาเพื่อยืนยันความเหมาะสมของการกำหนดเกณฑ์ประเมินดังกล่าวโดย เปรียบเทียบกับค่า % CV ที่คำนวณได้จาก Horwitz equation ซึ่งมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$\% CV = 2^{(1-0.5 \log C)}$$

(C = The concentration ratio of assigned value)

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

การเตรียมตัวอย่างสำหรับกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการรายการโลหะหนักในน้ำ ขอบเขตของการศึกษานี้เฉพาะรายการแคดเมียม นิกเกิล และตะกั่วในน้ำ ซึ่งเตรียมจากสารละลายมาตรฐานรับรอง (Certified reference material) ของแต่ละธาตุ และรักษาสภาพสารละลายตัวอย่างด้วยกรดไนตริกให้มีความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 2.0

การประเมินความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรของชุดตัวอย่างที่จัดเตรียมขึ้นสำหรับกิจกรรมใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป้าหมายของแต่ละธาตุ มีค่าเท่ากับ 7 % ของค่ากำหนด (Assigned value) ซึ่งค่ากำหนดของทั้ง 3 ธาตุเป็นค่าอ้างอิง (Reference value) ที่ได้จากห้องปฏิบัติการอ้างอิงของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติที่ใช้เทคนิคการวัดค่าแบบ Isotope Dilution Mass Spectrometry (IDMS) ผลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรของชุดตัวอย่างที่จัดเตรียมขึ้นทั้ง 3 ชุด มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์ยอมรับของความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียร นั้นแสดงว่าชุดตัวอย่างมีความเหมาะสมเพียงพอสำหรับการดำเนินกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการดังแสดงในตารางที่ 2 — 5 และข้อมูลที่สนับสนุนความเหมาะสมของการกำหนดค่า Target standard deviation ของกิจกรรมคือ การคำนวณ %CV ด้วย Horwitz equation ของทั้ง 3 ธาตุ พบว่ามีค่ามากกว่า 13% CV ของค่ากำหนด ซึ่งสูงกว่าค่า Target standard deviation ที่กำหนดไว้เท่ากับ 7% CV ของค่ากำหนด ดังแสดงในตารางที่ 6 และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของผลทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและค่าเฉลี่ยของผลทดสอบความเสถียร เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง พบว่าผลทดสอบของตัวอย่างทั้ง 3 ชุดมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 10 ดังแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งแสดงถึงความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบตัวอย่างสำหรับการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียร

ตารางที่ 2 ข้อมูลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างน้ำชุดที่ 1

Sample		Cadmium (mg/L)		Lead (mg/L)		Nickel (mg/L)	
		replicate 1	replicate 1	replicate 1	replicate 1	replicate 1	replicate 2
1		0.667	0.673	1.405	1.43	3.971	3.999
2		0.674	0.668	1.408	1.404	3.971	4.008
3		0.679	0.672	1.413	1.421	3.984	4.035
4		0.663	0.685	1.393	1.437	4.008	4.055
5		0.673	0.675	1.408	1.417	4.011	4.072
6		0.680	0.681	1.431	1.411	3.986	4.068
7		0.667	0.670	1.401	1.403	4.048	4.007
8		0.672	0.675	1.424	1.422	4.059	4.051
9		0.671	0.671	1.415	1.417	3.962	4.036
10		0.678	0.670	1.402	1.409	4.040	3.970
Between Sample analysis	mean	0.673		1.414		4.017	
	s _s	0.000		0.000		0.000	
	$\hat{\sigma}_p$	0.043		0.093		0.277	
	$0.3 \hat{\sigma}_p$	0.013		0.028		0.083	
	$s_s \leq 0.3 \hat{\sigma}_p$	SUFFICIENT		SUFFICIENT		SUFFICIENT	

ตารางที่ 3 ข้อมูลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างน้ำ ชุดที่ 2

Sample		Cadmium (mg/L)		Lead (mg/L)		Nickel (mg/L)	
		replicate 1	replicate 1	replicate 1	replicate 1	replicate 1	replicate 2
1		0.04	0.04	0.408	0.407	0.31	0.31
2		0.04	0.04	0.406	0.405	0.30	0.31
3		0.04	0.04	0.400	0.408	0.30	0.31
4		0.04	0.04	0.404	0.404	0.30	0.30
5		0.04	0.04	0.408	0.404	0.30	0.30
6		0.04	0.04	0.408	0.405	0.30	0.30
7		0.04	0.04	0.407	0.402	0.31	0.31
8		0.04	0.04	0.402	0.408	0.30	0.30
9		0.04	0.04	0.406	0.408	0.30	0.30
10		0.04	0.04	0.407	0.409	0.30	0.31
Between Sample analysis	mean	0.040		0.406		0.304	
	s _s	0.000		0.000		0.003	
	$\hat{\sigma}_p$	0.003		0.029		0.021	
	$0.3 \hat{\sigma}_p$	0.001		0.009		0.006	
	$s_s \leq 0.3 \hat{\sigma}_p$	SUFFICIENT		SUFFICIENT		SUFFICIENT	

ตารางที่ 4 ข้อมูลการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างน้ำ ชุดที่ 3

Sample		Cadmium (mg/L)		Lead (mg/L)		Nickel (mg/L)	
		replicate 1	replicate 1	replicate 1	replicate 1	replicate 1	replicate 2
1		1.11	1.11	0.70	0.70	0.78	0.78
2		1.11	1.11	0.70	0.70	0.77	0.77
3		1.12	1.12	0.70	0.70	0.77	0.78
4		1.12	1.11	0.70	0.70	0.77	0.77
5		1.11	1.12	0.69	0.70	0.78	0.78
6		1.11	1.11	0.69	0.70	0.79	0.76
7		1.10	1.13	0.69	0.70	0.77	0.78
8		1.11	1.10	0.70	0.70	0.78	0.78
9		1.11	1.11	0.70	0.69	0.77	0.77
10		1.11	1.11	0.70	0.70	0.78	0.78
Between Sample analysis	mean	1.112		0.698		0.776	
	s_s	0.000		0.000		0.000	
	$\hat{\sigma}_p$	0.064		0.058		0.048	
	$0.3 \hat{\sigma}_p$	0.019		0.017		0.014	
	$s_s \leq 0.3 \hat{\sigma}_p$	SUFFICIENT		SUFFICIENT		SUFFICIENT	

ตารางที่ 5 ข้อมูลการศึกษาความเสถียรของตัวอย่างน้ำทั้ง 3 ชุด

Item	ตัวอย่างน้ำชุดที่ 1			ตัวอย่างน้ำชุดที่ 2			ตัวอย่างน้ำชุดที่ 3		
	Cadmium	Lead	Nickel	Cadmium	Lead	Nickel	Cadmium	Lead	Nickel
Conc. (mg/L) (Reference value)	0.621	1.324	3.962	0.043	0.411	0.312	1.127	0.712	0.815
%CV (Target standard deviation, $\hat{\sigma}_p$)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
%CV (Horwitz equation)	17.2	15.2	13.0	25.7	18.3	19.1	15.7	16.8	16.5

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่า%CV ของ Target standard deviation ($\hat{\sigma}_p$) และ Horwitz equation

Item	ตัวอย่างน้ำชุดที่ 1			ตัวอย่างน้ำชุดที่ 2			ตัวอย่างน้ำชุดที่ 3		
	Cadmium	Lead	Nickel	Cadmium	Lead	Nickel	Cadmium	Lead	Nickel
Conc. (mg/L) (Reference value)	0.621	1.324	3.962	0.043	0.411	0.312	1.127	0.712	0.815
%CV (Target standard deviation, $\hat{\sigma}_p$)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
%CV (Horwitz equation)	17.2	15.2	13.0	25.7	18.3	19.1	15.7	16.8	16.5

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรเทียบกับค่าอ้างอิง

Item (mg/L)	ตัวอย่างน้ำชุดที่ 1			ตัวอย่างน้ำชุดที่ 2			ตัวอย่างน้ำชุดที่ 3		
	Cadmium	Lead	Nickel	Cadmium	Lead	Nickel	Cadmium	Lead	Nickel
Concentration (Reference value)	0.621	1.324	3.962	0.043	0.411	0.312	1.127	0.712	0.815
Average mean of homogeneity	0.673 (8.37%)	1.414 (6.80%)	4.017 (1.39%)	0.040 (6.98%)	0.406 (1.22%)	0.304 (2.56%)	1.112 (1.33%)	0.698 (1.97%)	0.776 (4.79%)
Average mean of stability	0.665 (7.09%)	1.408 (6.34%)	4.025 (1.59%)	0.040 (6.98%)	0.406 (1.22%)	0.300 (3.85%)	1.104 (2.04%)	0.704 (1.12%)	0.790 (3.07%)

4. สรุป (Conclusion)

การเตรียมตัวอย่างของรายการแคดเมียม นิกเกิลและตะกั่วในน้ำ มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ โดยตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรเพียงพอที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินกิจกรรมทดสอบความชำนาญ โดยห้องปฏิบัติการที่ทำหน้าที่ทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรของตัวอย่างจะต้องมีระบบการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบที่เป็นไปตามมาตรฐานสากลเพื่อลดปัจจัยที่อาจกระทบต่อผลการทดสอบ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติที่ให้ค่าอ้างอิงของกิจกรรม และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์บริหารจัดการทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION/ INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ISO/IEC 17025 : 2005, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- (2) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION/ INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ISO/IEC 17043:2010, Conformity assessment-general requirements for proficiency testing.
- (3) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13528:2005. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons.
- (4) AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed. Maryland : American Public Health Association, 2005

คำแนะนำในการส่งต้นฉบับ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Bulletin of Applied Sciences

วารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ ยินดีรับบทความวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยบทความที่ส่งตีพิมพ์จะต้องไม่เคยตีพิมพ์หรืออยู่ในระหว่างการรอพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในวารสารอื่น บทความที่เสนอมาเพื่อตีพิมพ์อาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่บทความต้องมีทั้งสองภาษา ทั้งนี้บทความทุกเรื่องจะได้รับการพิจารณาตรวจแก้จากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง และกองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขต้นฉบับและพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง

ความรับผิดชอบ

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ ถือเป็นผลงานทางวิชาการ และเป็นความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน ไม่ใช่ความเห็นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือกองบรรณาธิการ ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน

การเตรียมต้นฉบับและการส่งต้นฉบับ

○ ชื่อเรื่อง : ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตัวอักษร Cordia New ขนาด 18 ตัวหนา จัดวางข้อความชื่อเรื่องตรงกึ่งกลางหน้ากระดาษ โดยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษเฉพาะคำขึ้นต้น ให้พิมพ์ตัวใหญ่

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

ตัวอย่าง

อรวรรณ ปิ่นประยูร¹*, กรรณิการ์ บุตรเอก^{2**}

Orawan Pinprayoon¹*, 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 ตัว
ปกติ 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 : แบ่งเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

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

2. วิธีการวิจัย (Experimental) : 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) : การอ้างอิงเอกสารให้ระบบเรียงตามตัวเลข 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): 81-9

(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., Chaparro, B., Mills, M. and Halcomb, C. "Examining children's Reading performance
and preference for different computer-displayed text."
Behav Info Techn. 2002, 21(2), 87-96.

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

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

○ การส่งต้นฉบับ

1. การส่งต้นฉบับทางไปรษณีย์ ส่งต้นฉบับ 1 ชุด และสำเนา 2 ชุด พร้อมแผ่นดิสเก็ตที่ กองบรรณาธิการ
วารสารวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ (Bulletin of Applied Sciences) กรมวิทยาศาสตร์บริการ
เลขที่ 75/7 ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

2. การส่งต้นฉบับทางไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) ส่งต้นฉบับมายัง warisara@dss.go.th

ดรรชนีชื่อผู้แต่ง

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 สิงหาคม 2557

ก		ร	
กมลกาญจน์ จิณกาญจน์	: 80	รัชดา เหมปฐวี	: 136
กัญญา ม่วงแก้ว	: 59	ล	
จ		ลดา พันธุ์สุนมธนา	: 15
จริยาวดี ศิริจันทร์	: 114	ว	
จารวี สุขประเสริฐ	: 88	วรรณา ต.แสงจันทร์	: 9
จันทร์รัตน์ วรสรรพวิทย	: 15	วรรณิ ฐไพบูรณ์	: 136
จิตวิไล เวฬุวนารักษ์	: 32	วันดี ลือสายวงศ์	: 32
ฉ		วิภาวรรณ ศรีมูข	: 80
ฉัตรชัย บาลศรี	: 15	ศ	
ณ		ศันศนีย์ รักไทยเจริญชีพ	: 9
ณัฐมนต์ ปัญญาวัฒนกิจ	: 68	ศิริวรรณ แซ่ภู	: 15
ณัฐกานต์ เกตุคุ้ม	: 120	ส	
ท		สมบัติ คงวิทยา	: 120
เทพวิฑูรย์ ทองศรี	: 59	สายจิต ดาวสุโข	: 88
เทพีวรรณ จิตรวัชรโกมลน	: 24	สุทธิมา ศรีประเสริฐสุข	: 9
น		สุภาพร ไคว่นฤมิตร	: 49
นัระนารถ แจ้งทอง	: 39	สุรัตน์ เพชรเกษม	: 59
บ		สุวรรณี แทนธานี	: 88
บังอร บุญชู	: 80	โสธญา รอดประเสริฐ	: 88
ป		โสธดา ขุนโหนด	: 24
ปราณี จันทร์ลา	: 9	อ	
ปวีณา เครือนิล	: 120	อรสา อ่อนจันทร์	: 102
พ		อรุณ คงแก้ว	: 49
พจมาน ทำจิ้น	: 130	อังคณา พูลเกษม	: 49
พิชญภา ราชธรรมมา	: 49	อังสนา ฉั่วสุวรรณ	: 49
ภ		อุสุมา นาคนิคม	: 24
ภณทิลา ภูมิระเบียบ	: 102		
ม			
มานพ สิทธิเดช	: 68		

AUTHOR INDEX

Bulletin of Applied Sciences Vol.3 No.3 August 2014

A		P	
Angwara Poolkasem	: 49	Pantila Poomrabeab	: 102
Arun Kongkaew	: 49	Paweena Kreunin	: 120
Aungsana Chuasuwan	: 49	Phitchayapa Ratchathumma	: 49
B		Pochaman Tagheen	: 130
Bangorn Boonshu	: 80	Pranee Junlar	: 9
C		R	
Chantarot Vorasapavit	: 15	Rachada Hemapattawee	: 136
Chatchai Balsri	: 15	S	
J		Saijit Daosukho	: 88
Jaravee Sukprasert	: 88	Sansanee Rugthaicharoencheep	: 9
Jariyavadee Sirichantra	: 114	Siriwan Saephoo	: 15
Jitwilai Waluvanaruk	: 32	Sombat Kongwithtaya	: 120
K		Sorada Khunhon	: 24
Kamolgan Jingan	: 80	Soraya Rodprasert	: 88
Kanya Muangkaew	: 59	Supaporn Kownarumit	: 49
L		Surat Petchkasem	: 59
Lada Punsukmtana	: 15	Sutthima Sriprasertsuk	: 9
M		Suwannee Thaenthanee	: 88
Manop Sittidech	: 68	T	
N		Tepiwan Jitwatcharakomol	: 24
Nathalamon Panyawathanakit	: 68	Tepwitoon Thongsri	: 59
Natthakarn Ketkoom	: 120	U	
Neeranart Chaengthong	: 39	Usuma Naknikham	: 24
O		W	
Orasa Onjun	: 102	Wandee Luesaiwong	: 32
		Wanna T.saengchantara	: 9
		Wannee Aupaiboon	: 136
		Wipawan Srimus	: 80

ดรรชนีชื่อเรื่อง

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 สิงหาคม 2557

ก

การเตรียมตัวอย่างสำหรับกิจกรรมทดสอบ : 136
ความชำนาญห้องปฏิบัติการของรายการ
โลหะหนักในน้ำ

การประเมินปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มและ : 59
ฟีคัลโคลิฟอร์มในแหล่งน้ำผิวดิน เขต
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

การเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนการวัด : 39
ปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำ ที่ได้จากการ
ประมาณค่าตามแนวทาง ISO/GUM และ
แนวทางการใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบ
ความสมเหตุสมผลของวิธี

การพัฒนาวิธีทดสอบตะกั่วในโลหะบัดกรี : 32
ชนิดไม่มีตะกั่วโดยเทคนิคอินดักทีฟลีคัพเพิล
พลาสมาออกพิดคอลลิมิสชันสเปกโทรเมตรี

การศึกษาความทนทานต่อสารละลายของ : 24
ผิวแก้วภายในของขวดแก้วสำหรับ
เครื่องต้มบำรุงกำลัง

การศึกษานำร่องสถานภาพด้านความ : 120
ปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดว่านน้ำ : 88
ในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคผลเน่าที่แยกได้
จากผลลิ้นจี่

การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการหดตัว : 15
เมื่อเผาของอุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิ
แบบวงกลม

การสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากเถ้าขานอ้อย : 9

การสำรวจเบื้องต้น: ปริมาณไขมันทรานส์ : 80
ในอาหารทอด ขนมอบ ไขมันและน้ำมัน
สำหรับบริโภคคนและผลิตภัณฑ์นม

การสำรวจเบื้องต้น: ปัญหาของคุณสมบัติ : 49
ทางกายภาพและเคมีของคุณภาพน้ำอุปโภค
บริโภคชุมชน

การหาปริมาณสารในกลุ่ม PBBs และ PBDEs : 68
ในชิ้นส่วนพลาสติก ของเครื่องใช้ไฟฟ้าและ
อิเล็กทรอนิกส์ตามระเบียบ RoHS โดยเทคนิค
แก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโทรเมตรี

ค

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบ : 130
เครื่องแก้ววัดปริมาตรเนื่องจากปัจจัยของความ
แปรปรวนของแรงตึงผิวระหว่างของเหลวและแก้ว

น

นวัตกรรมหมวกยางสำหรับคลุมบล็อก : 102
คอนกรีตจากยางธรรมชาติ

แนวทางแก้ไขการเกิดข้อบกพร่องในชิ้น : 114
ทดสอบความต้านทานแรงดึงของวัสดุเทอร์โม
พลาสติกที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปโดยเทคนิค
การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง

TITLE INDEX

Bulletin of Applied Sciences Vol.3 No.3 August 2014

A

A comparative study of the firing : 15
shrinkage properties of the process
temperature control rings

A preliminary survey: Problems of : 49
physical and chemical properties of
community consumption water quality

A preliminary survey: Trans fat in fried : 80
food, bakery, edible fat and oil products
and milk and milk products

An assessment of coliform and fecal : 59
coliform bacteria levels in surface
water resources of Bangkok and vicinity area

C

Comparison of measurement uncertainty : 39
between ISO/GUM and method validation
approach of mercury measurement in
drinking water sample

D

Development of test method for : 32
determination of lead in lead-free solder
using inductively coupled plasma optical
emission spectrometry

E

Evaluation of measurement uncertainty : 24
for volumetric glassware calibration from
the variation of surface tension between
liquid and glass

I

Innovation of rubber cap for covering : 102
concrete block from natural rubber

P

Pilot study of laboratory safety status : 120
for laboratory workers

Q

Quantitative analysis of PBBs and PBDEs : 68
in plastic parts of electrical and electronics
equipment according to RoHS regulation by
gas chromatography/mass spectrometry

S

Sample preparation for laboratory : 136
proficiency testing of heavy metals in water

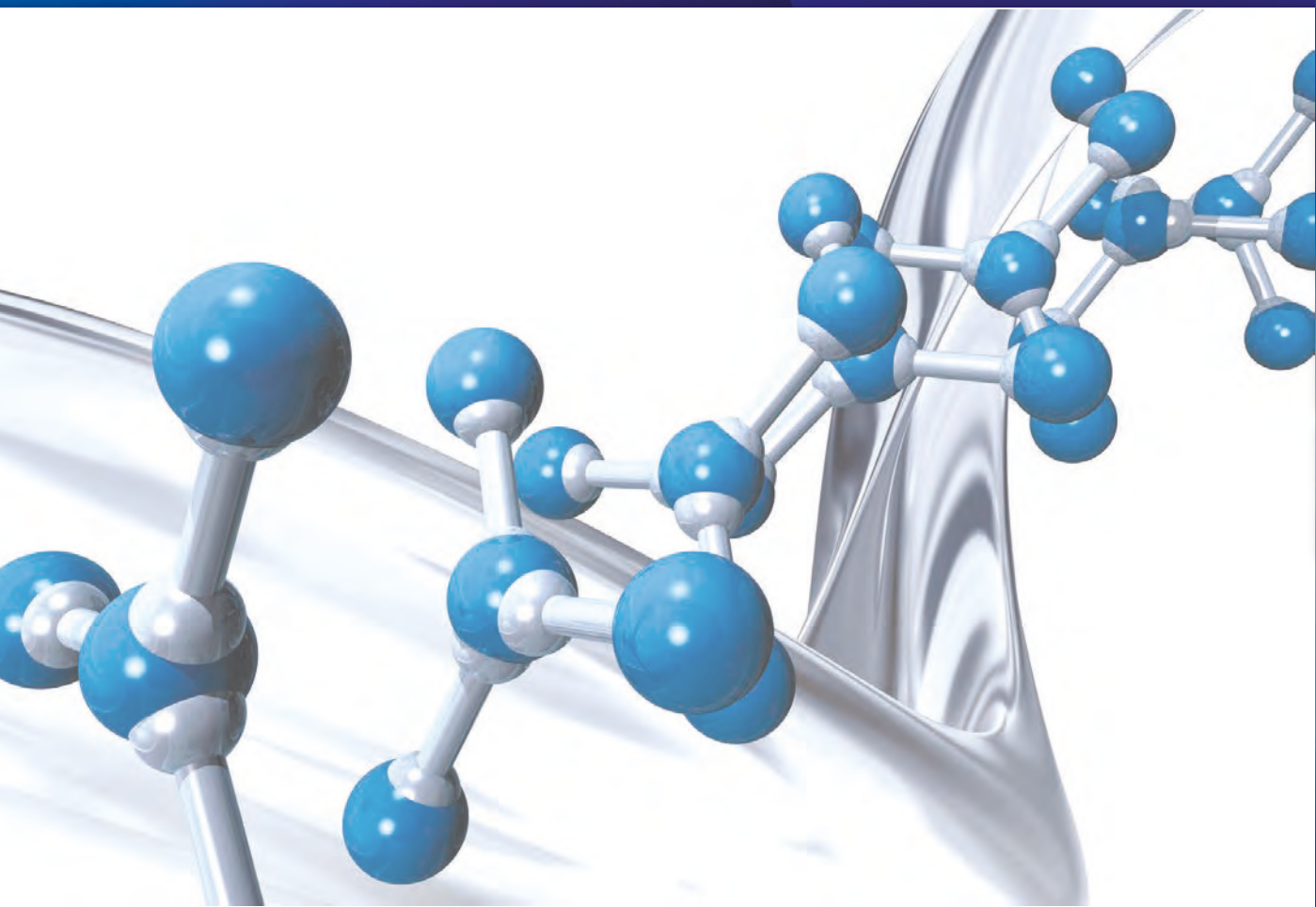
Synthesis of cordierite from bagasse ash : 9

T

The studies of hydrolytic resistance of inner : 24
surfaces of glass containers for energy drinks

The study on efficiency of *Acorus calamus* L. : 88
extract against fruit rot fungi isolated
from lychee

Troubleshooting of defect formation in : 114
injection-moulded thermoplastic tensile
specimens by optical microscopy technique



กรมวิทยาศาสตร์บริการ
75/7 ถนนพระรามที่ 6
แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี
กรุงเทพฯ 10400