

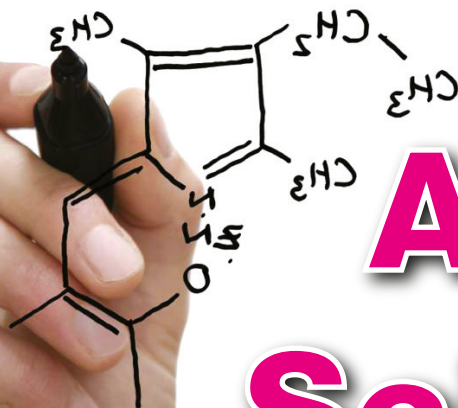
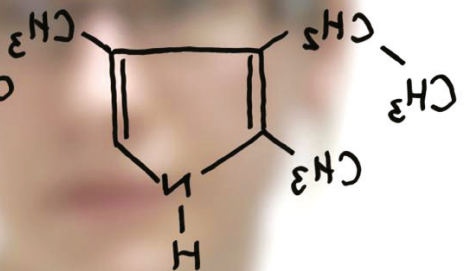
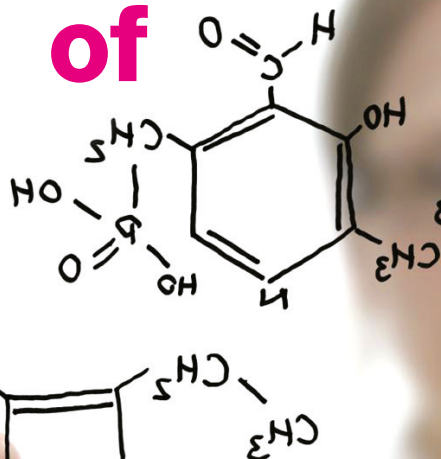


กรมวิทยาศาสตร์บริการ

DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2556
Vol.2 No.2 August 2013

Bulletin of



Applied Sciences



วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
Bulletin of Applied Sciences

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2556

Vol. 2 No. 2 August 2013

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
Bulletin of Applied Sciences
ISSN 2286-7708
ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2556 Vol. 2 No. 2 August 2013

ชื่อหนังสือ วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ Bulletin of Applied Sciences

วัตถุประสงค์

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

เจ้าของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษาด้านการบริหาร

นางสาวเสาวณี มุสิแดง

อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ

บรรณาธิการ

นางสุมาลี ทังพิทยกุล

รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกประจำฉบับ

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. มนต์รี จุฬาวัดนทล

รองศาสตราจารย์ ดร. จรัสศรี ลอประยูร

รองศาสตราจารย์ ดร. บุญส่ง คงคาทิพย์

รองศาสตราจารย์ ดร. พัทธี สุนทรนันท์

รองศาสตราจารย์วิจิต ศิริโชติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุชาดา ไชยสวัสดิ์

ดร. นุชนาฏ ญะนอง

ดร. ชนะ รักษ์ศิริ

นางสาวทิพวรรณ นิ่งน้อย

กองบรรณาธิการ

ดร. รวิวรรณ อาจสำอาง
นางสุดา นันทวิทยา
นางอุมาพร สุขม่วง
นางสาวนงนุช เมธิยนต์พิริยะ
ดร. เทพีวรรณ จิตรวัชรโกมล
ดร. พจมาน ท่าจีน
ดร. สุภาพร ไคว่นฤมิตร
ดร. จิราภรณ์ บุราคร

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 อินเทอร์เน็ต จำกัด 428/181 บลูลาภูน ถ.กาญจนาภิเษก แขวงดอกไม้ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10250

บรรณาธิการ

วารสารผลงานวิชาการของกรมวิทยาศาสตร์บริการ Bulletin of Applied Sciences ฉบับนี้ เป็นฉบับที่ 2 โดยฉบับนี้ประกอบด้วยบทความงานวิจัย จำนวน 14 เรื่อง ที่มีความหลากหลายทางวิชาการ ซึ่งมุ่งหวังเพื่อช่วยส่งเสริมและสนับสนุนให้นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์กรมวิทยาศาสตร์บริการ เผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย ที่เป็นความรู้ใหม่ๆ แก่นักวิชาการ ผู้ประกอบการ และผู้สนใจนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

กองบรรณาธิการ มีความตั้งใจที่จะพัฒนาคุณภาพวารสารอย่างต่อเนื่อง และใคร่ขอเชิญชวนให้ท่านผู้สนใจส่งบทความมาตีพิมพ์ที่วารสาร ผลงานวิชาการของกรมวิทยาศาสตร์บริการ Bulletin of Applied Sciences ซึ่งบทความที่ได้รับการตีพิมพ์นั้นต้องผ่านการตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะศาสตร์ เพื่อให้ท่านผู้อ่านมั่นใจในมาตรฐานและคุณภาพของวารสาร โดยท่านสามารถส่งต้นฉบับตามคำแนะนำที่อยู่ท้ายเล่มวารสาร

สุมาลี ทังพิทยกุล
บรรณาธิการ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
Bulletin of Applied Science
ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2556 ISSN 2286-7708

| สารบัญ |

การศึกษาสมบัติกายภาพของเซรามิกเนื้อพรุนเพื่อการพัฒนาเซรามิกที่มีกลิ่นหอม ลดา พันธุ์สุขุมธนา อินทิรา มาฆพัฒน์สิน และ วราลี บางหลวง.....	9
การสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากตะกอนหลอมอะลูมิเนียม ปราณี จันทร์ลา วรรณา ต.แสงจันทร์ และ ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ.....	17
การปรับปรุงสภาพเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวด้วยของเหลวไอออนิก เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำตาลกลูโคส วัชร คตินนท์กุลวัชร และ เจนจิรา ภูริรักษ์พิติกร.....	26
การดูดซับปรอทในน้ำสังเคราะห์ด้วยถ่านลอยจากโรงไฟฟ้า วรารณณ์ กิจชัยนุกูล.....	35
การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีทดสอบโครเมียม นิกเกิล แมงกานีส โมลิบดีนัม ซีลีคอน คาร์บอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ในเหล็กกล้าไร้สนิมโดยเทคนิคสเปกโตรเมตรี วันดี ลือสายวงศ์ และ วรรณภา ตันยีนยงค์.....	40
การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ AOX ในน้ำทิ้งก่อนเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ในโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษในประเทศไทย ภูวดิ ตูจินดา และ ก่อพงศ์ หงษ์ศรี.....	48
การพัฒนาระบบการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการโลหะและธาตุปริมาณน้อย ปวีณา เครือนิล ดวงมล เข้าวศรีหมุด และ เบญจพร บริสุทธิ์.....	55
ถุ้มืออย่างที่ใช้งานในอุตสาหกรรมอาหาร : ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนัก อรรพรรณ ปิ่นประยูร และ กรรณิการ์ บุตรเอก.....	62
การทดสอบความชำนาญรายการ การนับจำนวนจุลินทรีย์ในแป้ง รวิวรรณ อาจสำออง สุภัลยา พลเดช และ พจมาน ทำจิ้น.....	69

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
Bulletin of Applied Science
ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2556 ISSN 2286-7708

| สารบัญ |

การศึกษาผลกระทบของเนื้อสารตัวอย่างและประเภทของแบคทีเรีย ที่มีผลต่อค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยา กิจดิศักดิ์ ยศอินทร์.....	77
ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน จิตตกานต์ อินทรีย์.....	84
การพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ เพื่อการประยุกต์ใช้ในงานพลังงานทดแทน กรธรรม สติรกุล และ อภิญญา บุญประกอบ.....	90
การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดแลคติกโดยใช้กลีเซอรอลเป็นแหล่งคาร์บอน จิราภรณ์ บุราคร นงลักษณ์ บรรยงวิมลณัฐ สุพะไชย์ จินดาภูมิกุล อริดา สุขธรรม และ ปวิณ งามเลิศ.....	100
คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลไม้สดหั่นชิ้นจากร้านหาบเร่แผงลอย ที่จำหน่ายในกรุงเทพมหานคร นพมาศ สะพู จารุณี เมฆสุวรรณ และสุพรรณิ เทพอรุณรัตน์	108

| CONTENTS |

A physical properties study of porous ceramics for the development of the fragrance ceramic Lada Punsukmtana Inthira Markhapattanasin and Vararee Bangluang.....	9
A synthesis of cordierite from aluminium slag Pranee Junlar Wanna T.saengechantara and Sansanee Rugthaicharoencheep.....	17
Pretreatment of corn husk and coconut husk using ionic liquid to enhance glucose recovery Watcharee Katinonkul and Jenjira Phuriragpitikhon.....	26
Adsorption of mercury contaminated synthetic water by fly ash from coal fired power plant Waraporn Kitchainukul.....	35
Method validation for determination of chromium, nickel, manganese, molybdenum, silicon, carbon, phosphorous and sulfur in stainless steel using spark emission spectrometry Wandee Luesaiwong and Vannapa Tanyuenyoung.....	40
A comparison of the amount of AOX in effluent before entering and after leaving wastewater treatment system in pulp and paper mills in Thailand Poovadee Tuchinda and Korpong Hongsri.....	48
The development of laboratory safety management in metals and trace elements testing laboratory Paweena Kreunin Duangkamol Chaosrimud and Benchaporn Borisuthi.....	55

| CONTENTS |

Gloves for food industry: risk from contamination of heavy metals Orawan Pinprayoon and Kannika Butraek	62
Proficiency Testing: Aerobic plate count in starch Raviwan Artsamang Sukanya Pondet and Pochaman Tageen	69
The effect of matrices and bacterial type on uncertainty of microbiological testing Kijitissak Yotinn.....	77
Relationship between surface roughness and stability of standard weight Jittakant Intiang.....	84
The development of a low-cost solar tracking system for renewable energy applications Korntham Sathirakul and Apinya Boonprakob	90
Screening of microorganisms producing lactic acid using glycerol as a sole carbon source Jiraporn Burakron Nongluk Bunyovimonnat Supachai Jindavutikul Thirada Suktham and Thirada Suktham.....	100
Microbiological quality of fresh-cut fruits from street vendors sold in Bangkok Nopamart Sapoo Jarunee Meksuwan and Supanee Theparoonrat	108

การศึกษาสมบัติกายภาพของเซรามิกเนื้อพรุน เพื่อการพัฒนาเซรามิกที่มีกลิ่นหอม

A physical properties study of porous ceramics for the development of the fragrance ceramic

ลดา พันธุ์สุขมธนา^{1*}, อินทิรา มาฆพัฒน์สิน¹, วราลี บางหลวง¹
Lada Punsukmtana^{1*}, Inthira Markhapattanasin¹, Vararee Bangluang¹

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ทดสอบสมบัติกายภาพของเซรามิกเนื้อพรุนที่พัฒนาจากการเติมอะลูมินาในเนื้อดินสำเร็จรูปพอร์ซเลน สมบัติกายภาพที่ทดสอบได้แก่ สมบัติการดูดซึมน้ำ การหดตัว ระยะดูดน้ำ และอัตราการระเหยน้ำ ผลการทดลองพบว่าเนื้อดินที่พัฒนาเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส มีสมบัติการดูดซึมน้ำร้อยละ 3.25-3.35 การหดตัวร้อยละ 12.22-12.84 มีสมบัติระยะดูดน้ำประมาณ 90 และ 80 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีสมบัติอัตราการระเหยน้ำ สอดคล้องกับสมบัติการดูดซึมน้ำ และแปรตามอุณหภูมิที่เผาและความหนาของตัวอย่างคือ ที่ความหนา 1-2 มิลลิเมตรมีอัตราการระเหยน้ำในช่วง 0.11-0.46 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที การทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกหอมจากเนื้อดินทดลองที่เติมอะลูมินาร้อยละ 2 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส พบว่ามีความสามารถในการดูดของเหลวให้มีความสูงในระยะเวลาที่ต้องการ และสามารถปลดปล่อยกลิ่นน้ำหอมได้

Abstract

The physical properties of porous ceramics developing from alumina added in porcelain commercial bodies were studied. The physical properties as water absorption, shrinkage, absorption length, and water evaporation rate were evaluated. It was found that the developing body after firing at 1200 °C and 1230 °C had water absorption and the shrinkage in the range of 3.25-3.35% and 12.00-12.84 % consecutively. Their water absorption lengths were about 90 and 80 millimeters consecutively. The evaporation rate agreed with the water absorption property and was found to vary with the firing temperatures and thickness of the samples. At the thickness of 1-2 millimeters, the evaporation rate was in the range of 0.11-0.46 $\mu\text{g}/\text{mm}^2/\text{sec}$. A development of the fragrance ceramic products from the 2 % alumina added experimental body fired at 1200 °C was found its ability to absorb the liquid at a certain level and to release the fragrance.

คำสำคัญ : เซรามิก, เซรามิกเนื้อพรุน, เซรามิกที่มีกลิ่นหอม

Keywords : Ceramics, Porous ceramics, Ceramic fragrances

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ธุรกิจสปาของประเทศไทยเป็นที่รู้จักทั้งในและต่างประเทศส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจนี้ได้รับการพัฒนาให้มีคุณภาพและรูปแบบหลากหลายรวมถึงผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้กับงานสปา เช่น ที่ปักธูปหอม เตาน้ำมันหอมระเหย หัวเผ้าน้ำมันหอม เป็นต้น จึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีสมบัติสามารถปลดปล่อยกลิ่นโดยอาศัยสมบัติพิเศษของเซรามิกเนื้อพรุน

เซรามิกเนื้อพรุนคือเซรามิกที่มีช่องว่าง (void) ภายในเนื้อหลังเผา ช่องว่างเหล่านี้อาจเป็นรูพรุนแบบเปิดหรือรูพรุนแบบปิด หากเป็นรูพรุนแบบเปิดอนุภาคของของเหลวหรือแก๊สที่มีขนาดเล็กกว่าจะสามารถแทรกเข้าไปตามรูพรุนในเนื้อเซรามิกได้ แต่หากเป็นรูพรุนแบบปิดอนุภาคเหล่านี้จะไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปได้ การใช้งานของเซรามิกเนื้อพรุนที่มีรูพรุนแต่ละประเภทจะแตกต่างกัน เช่น เซรามิกที่มีรูพรุนแบบปิดอาจนิยมนำมาใช้งานที่เป็นฉนวนความร้อน ส่วนเซรามิกที่มีรูพรุนแบบเปิดนิยมนำมาใช้งานกรองสาร เป็นต้น รูพรุนแบบเปิดเมื่อมีขนาดเล็กมากจะมีสมบัติที่ทำให้เกิดแรงแคปิลลารี (Capillary) สามารถดูดของเหลวได้ (1,2) ซึ่งสมบัตินี้ได้ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

กรมวิทยาศาสตร์บริการได้ดำเนินกิจกรรมพัฒนาเซรามิกที่มีกลิ่นหอม โดยออกแบบเป็นเครื่องประดับที่ใช้เซรามิกเนื้อพรุนในการเก็บน้ำหอม สมบัติที่ต้องการจากเนื้อเซรามิกคือความสามารถในการเก็บกักดูดซับกลิ่น และปลดปล่อยน้ำหอมในอัตราสม่ำเสมอ ได้ทดลองพัฒนาสูตรเซรามิกเนื้อพรุนและทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ การหดตัว ระยะดูดน้ำและอัตราการระเหยน้ำ โดยแปรเปลี่ยนอุณหภูมิที่เผาและความหนาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการทดสอบระยะดูดน้ำและอัตราการระเหยน้ำเป็นวิธีทดสอบที่ดัดแปลงจำลองการใช้งาน (3) เพื่อการตรวจประเมินเบื้องต้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีกลิ่นหอมได้แก่ ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดน้ำหอม

สูตรเนื้อเซรามิกพรุนที่มีประสิทธิภาพในการดูดหรือระเหยน้ำหอม เป็นต้น

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองได้แก่ เนื้อดินสำเร็จรูปพอร์ซเลน (บจก.คอมเพาต์เคลย์) มีองค์ประกอบเคมีที่ผู้ผลิตแสดงไว้ดังตารางที่ 1 อนุภาคของเนื้อดินนี้มีขนาดมัธยฐานที่ 0.48 ไมครอน และวัตถุดิบอื่นที่ใช้ได้แก่ อะลูมินาเกรด A12 (Showa Denki Ltd.) อนุภาคของอะลูมินามีขนาดมัธยฐานที่ 7.69 ไมครอน

ได้ทดลองเตรียมส่วนผสมระหว่างเนื้อดินสำเร็จรูปพอร์ซเลนกับอะลูมินาที่อัตราส่วน 100:2 100:4 และ 100:6 (ชื่อตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 2) นำส่วนผสมมาเตรียมเป็นน้ำสลิปโดยการบดผสมในหม้อบดที่ปริมาณน้ำร้อยละ 70 และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 0.1 ของวัตถุดิบแห้ง ขึ้นรูปตัวอย่างโดยการหล่อในแบบปูนปลาสเตอร์

ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ แบ่งทดสอบที่เตรียมโดยวิธีหล่อต้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการทดสอบการดูดซับน้ำ การหดตัว ระยะดูดน้ำ และแบ่งทดสอบที่เตรียมโดยวิธีหล่อกลวงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.70 มิลลิเมตร ยาว 80 มิลลิเมตร ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการทดสอบอัตราการระเหยน้ำ เผาแบ่งทดสอบที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส ในเตาไฟฟ้า (Lenton Thermal Designs Ltd.) ยืนไฟ 30 นาที

วิธีทดสอบการดูดซับน้ำทำโดยการวัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปเปรียบเทียบกับน้ำหนักของตัวอย่างแห้งทดสอบโดยการต้มตัวอย่างในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง และแช่ค้างคืนไว้ วิธีทดสอบการหดตัวหลังเผาทำโดยการวัดขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปหลังเผาเปรียบเทียบกับขนาดตัวอย่างก่อนเผา วิธีทดสอบระยะดูดน้ำทำโดยการวัดระยะทางของน้ำที่แบ่งทดสอบดูดได้กับเวลา โดยการแช่แบ่งทดสอบในน้ำผสมสีผสมอาหารที่ปริมาตร

1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12.50 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร (แสดงดังภาพที่1) และวิธีทดสอบอัตราการการระเหยน้ำ ทำโดยการวัดน้ำหนักของน้ำที่ลดลงกับเวลา ใช้วิธีเติมน้ำปริมาตร 1 มิลลิลิตร ในแท่งทดสอบแบบกลวง ปิดผนึกช่องเติมน้ำ และทิ้งไว้ในห้องปิดที่อุณหภูมิห้อง

นำผลการทดสอบมาคัดเลือกสูตรส่วนผสมเพื่อทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีพื้นที่ผิวสำหรับการระเหยน้ำหอมประมาณ 20 ตารางเซนติเมตร ขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อต้น เเผผลิตภัณฑ์ที่ 1200 องศาเซลเซียส ทดสอบการใช้งานโดยทดสอบระยะเวลาที่น้ำถูกดูดจนเต็มพื้นที่ผิว

ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อผลิตภัณฑ์เมื่อเติมน้ำหอมโดยใช้แบบสอบถาม ทำโดยการเติมน้ำหอมผสมแอลกอฮอล์ 1:2 ส่วน ปริมาณ 30 มิลลิลิตร ในผลิตภัณฑ์เซรามิกหอม วางที่มุมห้องขนาด 5x5x3 เมตร จำนวน 2 และ 4 ตำแหน่ง มุมละหนึ่งตำแหน่ง วางตรงกันข้าม ทดสอบขณะเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศ

Table 1. Chemical compositions of the commercial porcelain body

Constituents	Content, in wt %
SiO ₂	60.50
Al ₂ O ₃	27.60
Fe ₂ O ₃	0.52
MgO	0.11
CaO	0.09
Na ₂ O	1.14
K ₂ O	3.65
TiO ₂	0.03

Table 2. Sample names and their compositions

Sample name	Commercial porcelain body	Alumina (A12)
P	100	0
PA2	100	2
PA4	100	4
PA6	100	6

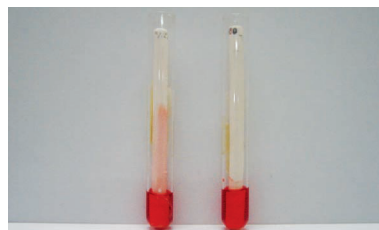


Figure 1. Water absorption length test.

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมอะลูมินาร้อยละ 2 4 และ 6 มีผลให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผาเพิ่มขึ้น กล่าวคือที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส จากเนื้อดินสำเร็จรูปที่มีค่าดูดซึมน้ำร้อยละ 1.43 คือ เป็นค่าดูดซึมน้ำร้อยละ 3.35 5.61 6.13 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส จากค่าดูดซึมน้ำร้อยละ 0.63 เป็นค่าดูดซึมน้ำร้อยละ 3.25 3.39 และ 4.20 ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิการเผาทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผาลดลง แสดงดังภาพที่ 2 ผลการทดสอบการหดตัวของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมอะลูมินาร้อยละ 2 4 และ 6 มีผลให้การหดตัวของตัวอย่างหลังเผาลดลง กล่าวคือที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส จากค่าการหดตัวร้อยละ 12.36 เป็นค่าการหดตัวร้อยละ 12.22 11.88 9.92 และที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส จากค่าการหดตัวร้อยละ 14.44 เป็นค่าการหดตัวร้อยละ 12.84 12.36 และ 11.50 การเพิ่มอุณหภูมิการเผาทำให้การหดตัวของตัวอย่างหลังเผาเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 2

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดตัวแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิการเผาของเนื้อดินสำเร็จรูป โดยปกติมีผลให้ตัวอย่างมีรูพรุนแบบเปิดลดลงหรือความสุกตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างมีสมบัติการดูดซึมน้ำลดลงและการหดตัวเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมอะลูมินาซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีความทนไฟลงในเนื้อดินสำเร็จรูป ทำให้ตัวอย่างมีความทนไฟเพิ่มขึ้น ส่งผลในทางตรงข้ามให้ตัวอย่างหลังเผามีสมบัติการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นและการหดตัวลดลง

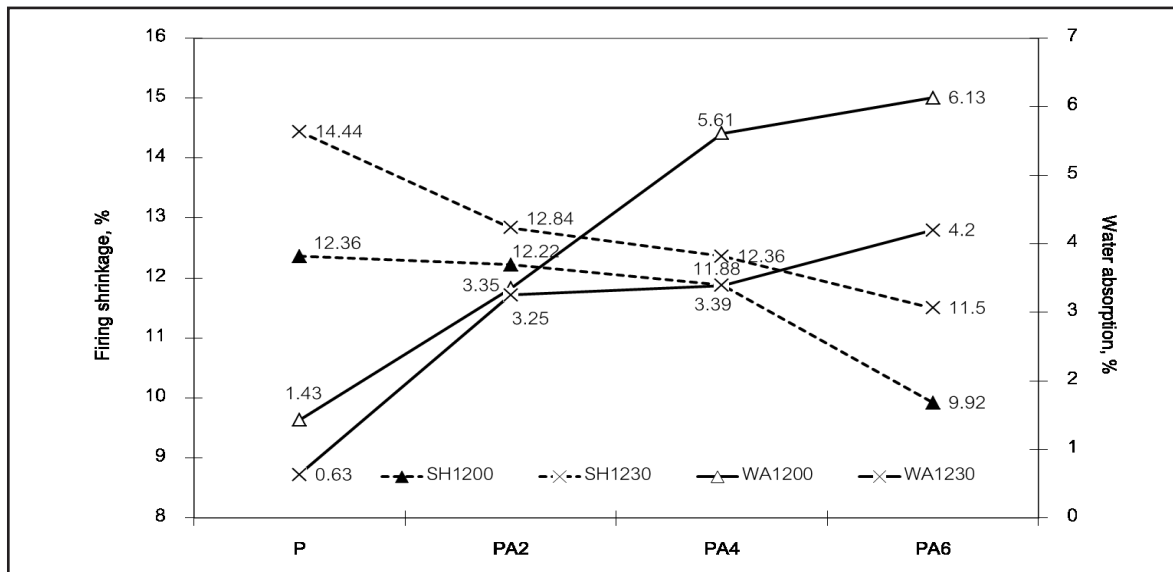


Figure 2 Firing shrinkages (SH) and water absorptions (WA) of P, PA2, PA4, and PA6 fired at 1200 °C and 1230 °C

ผลการทดสอบระยะดูดน้ำของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียสกับเวลาแสดงดังภาพที่ 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าการเติมอะลูมินาร้อยละ 2 4 และ 6 ทำให้ตัวอย่างมีความสามารถในการดูดน้ำเป็นระยะทางที่สูงเพิ่มขึ้นกว่าตัวอย่างเนื้อดินสำเร็จรูปพอร์ซเลน ส่วนการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความชันของกราฟใน 8 ชั่วโมงแรกหรืออัตราการดูดน้ำใน 8 ชั่วโมงแรกต่ำลง ระยะดูดน้ำนี้เกิดจาก

แรงแคปิลลารีที่เกิดขึ้นกับของเหลวในท่อ แรงนี้จะขึ้นกับรัศมีของท่อและพลังงานจากผิวสัมผัส (interfacial surface energies of the solid-liquid-gas interface) เนื้อเซรามิกที่มีความพรุนแบบรูเปิดแบบต่อเนื่อง โดยขนาดของรูที่เหมาะสมมีความสามารถในการดูดของเหลวให้มีความสูง (4) ระยะดูดน้ำของตัวอย่างในการทดลองนี้เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณ 90 และ 80 มิลลิเมตร ตามลำดับ

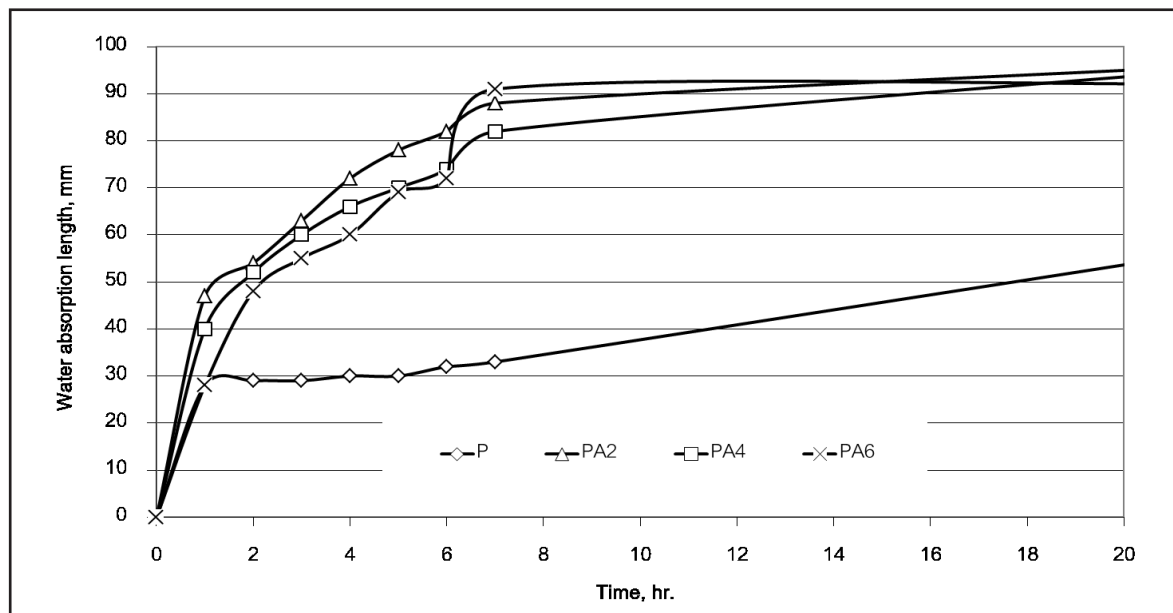


Figure 3 Water absorption lengths with times of P, PA2, PA4, and PA6 fired at 1200 °C

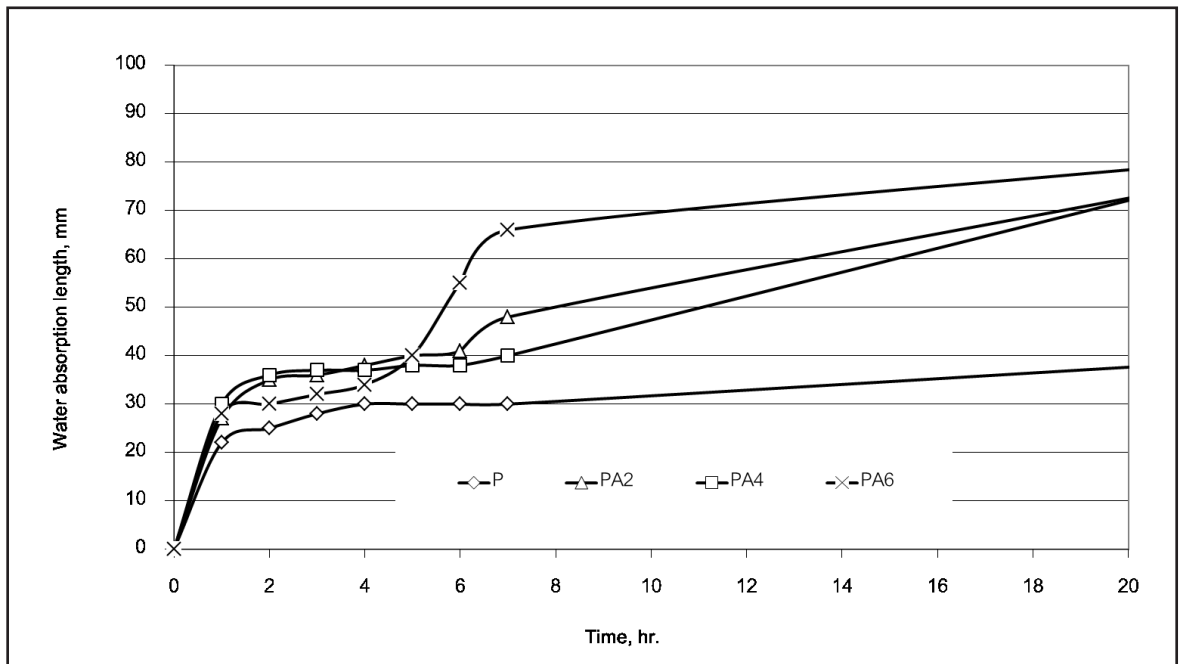


Figure 4 Water absorption lengths with varying times of P, PA2, PA4, and PA6 fired at 1230 °C

ผลการทดสอบอัตราการระเหยน้ำ แสดงดังภาพที่ 5 พบว่าตัวอย่างที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร การเติมอะลูมินาจากร้อยละ 2 เป็น 6 ทำให้เนื้อดินมีสมบัติอัตราการระเหยน้ำเพิ่มขึ้นจาก 0.46 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที เป็น 0.62 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที แต่ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร พบว่าการเติม อะลูมินาจากร้อยละ 2 เป็น 6 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติอัตราการระเหยน้ำเพียงเล็กน้อยคือ จาก 0.31-0.32 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที เป็น 0.36 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิการเผาจาก 1200 องศาเซลเซียส เป็น 1230 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างมีอัตราการระเหยน้ำลดลงมากคือ ตัวอย่างที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร มีสมบัติอัตราการระเหยน้ำลดลงจาก 0.46-0.62 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที เหลือ 0.12-0.26 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที และที่ความหนา 2 มิลลิเมตร อัตราการระเหยน้ำลดลงจาก 0.31-0.36 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที เป็น 0.07-0.11 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที

ผลการทดสอบอัตราการระเหยน้ำสอดคล้องกับผลการทดลองการดูดซึมน้ำกล่าวคือ สมบัติการดูดซึมน้ำเป็นค่าที่แสดงความพรุนตัวของรูเปิดแบบต่อเนื่องในตัวอย่างหลังเผา ที่ส่งผลถึงอัตราการระเหยที่ต้องอาศัยความพรุนตัวของรูเปิดแบบต่อเนื่องในการลำเลียงของเหลว การเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความพรุนตัวของรูเปิดแบบต่อเนื่องลดลงเป็นผลให้การดูดซึมน้ำลดลงและอัตราการระเหยน้ำลดลง สำหรับตัวอย่างที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มที่จะมีอัตราการระเหยลดลงนั้นสามารถใช้สมการของ D'Arcy's law (5) ในการอธิบาย กล่าวคือ ของเหลวต้องไหลผ่านรูพรุนมาที่ผิวแล้วจึงระเหยออกไป อัตราการไหลเป็นสมบัติที่ผกผันกับระยะทางที่ของเหลวไหลผ่าน เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการไหลของของเหลวมาที่ผิวลดลง เป็นผลให้อัตราการระเหยลดลง

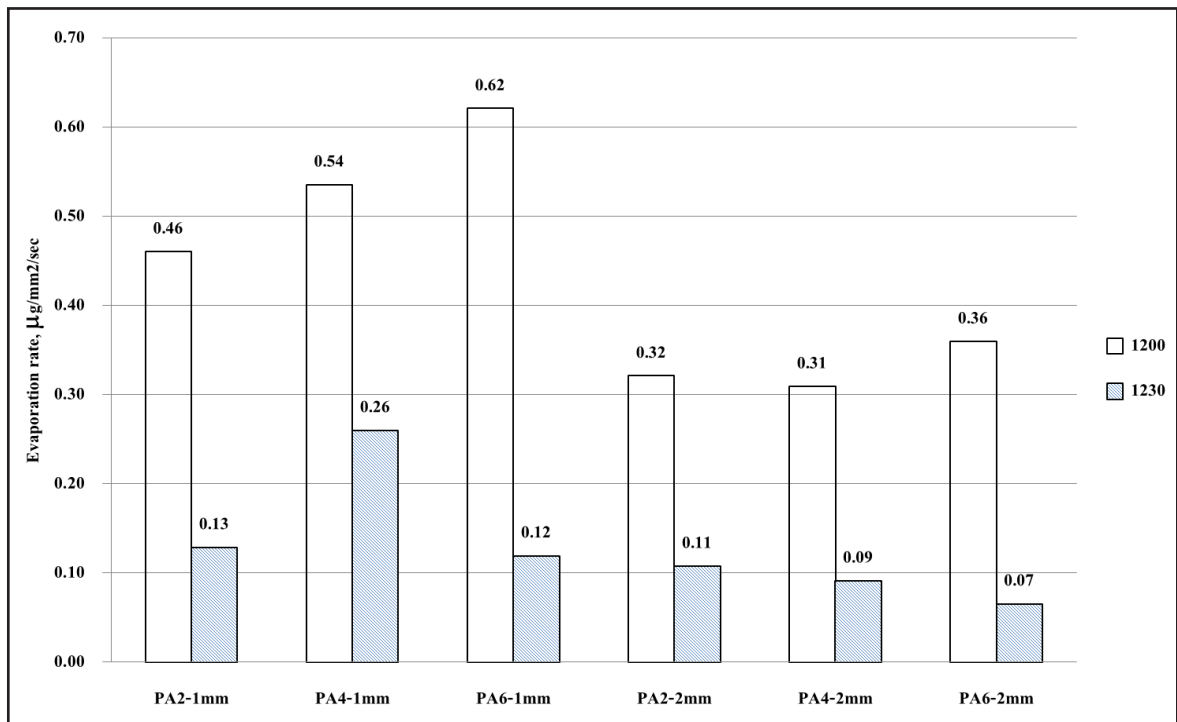


Figure 5 Water evaporation rates of PA2, PA4, and PA6 fired at 1200 °C and 1230 °C with 1 mm or 2 mm thick

ผลการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเติมอะลูมินาในเนื้อดินสำเร็จรูป สามารถทำให้เนื้อดินมีสมบัติดูดน้ำและน้ำสามารถระเหยออกจากเนื้อดินได้ และได้แสดงให้เห็นข้อจำกัดของขนาดที่เหมาะสมในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ประสงค์ใช้สมบัติดูดน้ำนี้ ได้ทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีกลิ่นหอมจากตัวอย่าง PA2 เเผที่ 1200 องศาเซลเซียส ที่เลือกใช้อุณหภูมินี้เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่มักใช้ในการผลิตเซรามิกทั่วไป ผลการทดลองโดยวิธีตรวจพินิจระยะเวลาที่น้ำหอมถูกดูดจนเต็มพื้นที่ผิวของผลิตภัณฑ์พบว่า ระยะเวลาที่น้ำหอมถูกดูดจนเต็มพื้นที่ผิวใช้เวลา 5 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 6 และผลการทดสอบความพอใจของกลิ่นน้ำหอมในห้องทดลอง พบว่าการเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับขนาดของห้องจาก 2 ตำแหน่ง เป็น 4 ตำแหน่ง และในสภาวะที่เปิดเครื่องปรับอากาศ สามารถเพิ่มความพอใจของผู้ใช้ขึ้นมาในระดับที่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 แสดงในภาพที่ 7

การเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์และการเปิดเครื่องปรับอากาศมีผลต่อความพอใจ เนื่องจากสมบัติการระเหยของของเหลวขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของโมเลกุลของของเหลวหรือสารอื่นในอากาศ พื้นที่ผิวอุณหภูมิ แร่ระหว่างโมเลกุลของของเหลว และการถ่ายเทอากาศ (6,7) ในการทดลองนี้การเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว และการเปิดเครื่องปรับอากาศสามารถเพิ่มการถ่ายเทอากาศเหนือผลิตภัณฑ์ อีกทั้งลดความเข้มข้นของโมเลกุลน้ำหอมบริเวณผิวหน้าของน้ำหอมเป็นผลให้โมเลกุลของน้ำหอมบริเวณผิวหน้ากลายเป็นไอได้มากขึ้นหรือระเหยได้เร็วขึ้นจึงเพิ่มระดับความพอใจ

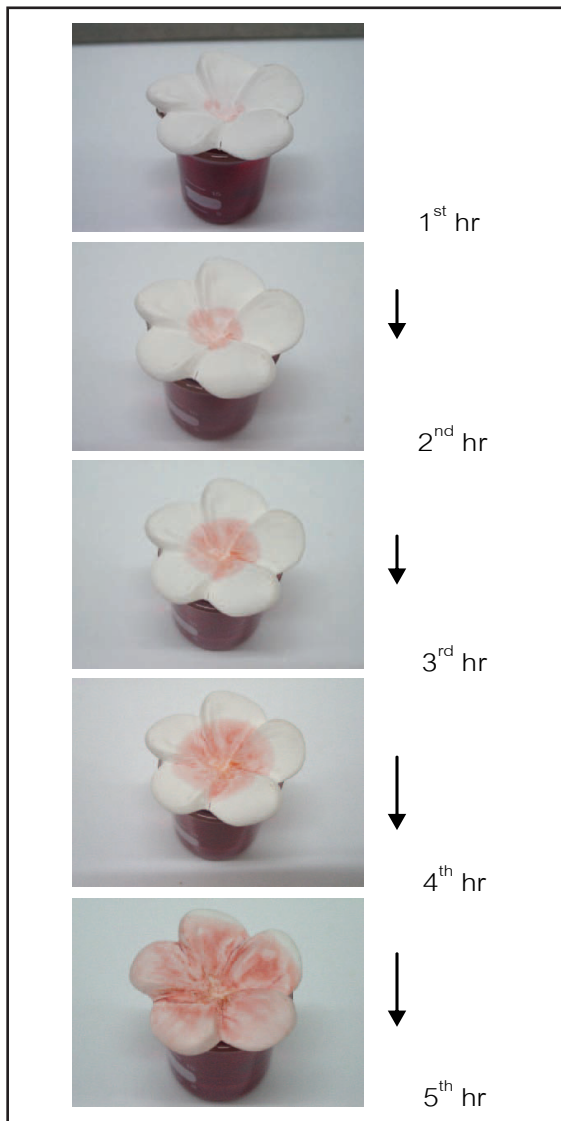


Figure 6 Appearance of the water absorption of the product

4. สรุป(Conclusion)

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเติมอะลูมินาในเนื้อดินสำเร็จรูปพอร์ซเลนเพียงร้อยละ 2 ทำให้เซรามิกมีความพรุนมากขึ้น การเผาที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส ทำให้เนื้อดินมีสมบัติการดูดซึมน้ำร้อยละ 3.25-3.35 มีสมบัติระยะดูดน้ำประมาณ 90 และ 80 มิลลิเมตร และสมบัติการระเหยน้ำ แปรผกผันกับอุณหภูมิที่เผาและขึ้นกับความหนาของตัวอย่าง คือ การเพิ่มอุณหภูมิการเผาจาก 1200 องศาเซลเซียส เป็น 1230 องศาเซลเซียส มีผลทำให้อัตราการระเหยน้ำ

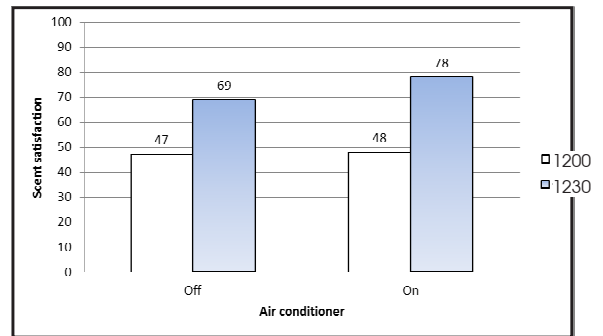


Figure 7 Scent satisfaction study of the product varied with the number of products placed in the room and the condition of the air conditioner

ที่ความหนา 1 มม. ลดลงจาก 0.46 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที เป็น 0.32 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที แต่ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร อัตราการระเหยน้ำไม่เปลี่ยนแปลงมากนักคืออยู่ในช่วง 0.11-0.13 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที การทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ เซรามิกโดยใช้เนื้อดินนี้พบว่ามีความสามารถในการดูดของเหลวให้มีความสูงในระยะที่ต้องการ และสามารถปลดปล่อยน้ำหอมได้ โดยการใช้งานต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวของผลิตภัณฑ์และขนาดของห้องให้เหมาะสม และควรใช้ในห้องที่มีอากาศถ่ายเทเพื่อเพิ่มอัตราการระเหยของน้ำหอม

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ กรมวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนงบประมาณ สถานที่ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กรมวิทยาศาสตร์บริการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานสำเร็จลุล่วง

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] ScHeffer M. and Colombo P. Cellular Ceramics Structure, Manufacturing, Properties and Applications ,WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim. 2005, p 33
- [2] Duncan J. Shaw. Introduction to Colloid and Surface Chemistry, Butterworth-Heineman

Ltd., 1992, p 70

(3) Raimondo M et al., Prediction the initial rate of water absorption in clay bricks, Construction and Building Materials, 2009, 23, p 2623-2630

(4) Capillarity and Gravity (ออนไลน์). (อ้างถึงวันที่ 3 สิงหาคม 2552). เข้าถึงได้จาก <http://web.mit.edu/nnf/education/wettability/gravity.html>

(5) Darcy's law (ออนไลน์). (อ้างถึงวันที่ 8 เมษายน 2552). เข้าถึงได้จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Darcy's_law

(6) Evaporation (ออนไลน์). (อ้างถึงวันที่ 15 เมษายน 2556). เข้าถึงได้จาก <http://en.wikipedia.org/wiki/Evaporation>

(7) การระเหย (ออนไลน์). (อ้างถึงวันที่ 15 เมษายน 2556). เข้าถึงได้จาก http://www.promma.ac.th/main/chemistry/solid_liquid_gas/vapourization.htm

การสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากตะกั่วหลอมอะลูมิเนียม

A synthesis of cordierite from aluminium slag

ปรานี จันทรลา^{1*}, วรณา ต.แสงจันทร์¹, ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ¹
Pranee Junlar^{1*}, Wanna T.saengechantara¹, Sansanee Rugthaicharoencheep¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากตะกั่วหลอมอะลูมิเนียม สำหรับใช้ทำอุปกรณ์ในเตาเผา (kiln furniture) โดยมีส่วนผสมของตะกั่วอะลูมิเนียม ดินขาว ดินดำ ทัลค์ และควอร์ตซ์ เเผาที่อุณหภูมิ 1250, 1280 และ 1300 องศาเซลเซียส ศึกษาสมบัติของคอร์เดียไรต์ที่สังเคราะห์ได้ โดยวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่วิทยา ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (XRD) ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ความแข็งแรง (Modulus of rupture) และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (Coefficient of thermal expansion) ผลจาก XRD พบเฟสหลัก คอร์เดียไรต์ ปริมาณสูงสุด ในเนื้อคอร์เดียไรต์ที่สังเคราะห์หลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส มีการหดตัว (Shrinkage) ร้อยละ 8.1-9.9 การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ร้อยละ 13.8-16.8 ความหนาแน่น (Bulk density) 1.80-1.88 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าความแข็งแรง ระหว่าง 20.7-22.7 เมกะพาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์ การขยายตัวเมื่อร้อน ระหว่าง $3.199 - 3.694 \times 10^{-6}$ ต่อองศาเซลเซียส จากนั้นได้คัดเลือกสูตรที่มีการเกิดเฟสคอร์เดียไรต์สูงสุด และความแข็งแรงสูงสุดทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบขาตั้งรูปตัววี ที่มีความสูง 5 เซนติเมตร ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบ

Abstract

This research focused on the synthesis of cordierite from aluminum slag to produce kiln furniture. The compositions based on an industrial Al-rich sludge, kaolin, ball clay, talc, and quartz at sintering temperatures of 1250, 1280, and 1300 °C. The properties of synthesized cordierite, namely phase compositions by means of X-ray diffraction (XRD), physical properties, strength (Modulus of Rupture), and thermal expansion coefficient were evaluated. The XRD analysis confirmed that the major phase of sample synthesized at 1300 °C was cordierite. The sample had firing shrinkage between 8.1-9.9%, water absorption in the range of 13.8-16.8%, density (Bulk density) between 1.80-1.88 g/cm³, strength between 20.7-22.7 MPa, and thermal expansion coefficient in the range of $3.199 - 3.694 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. In addition, the composition with the highest cordierite phase and strength were selected to form a V-shape, 5 cm high kiln furniture prototype using a slip casting method. lease the fragrance.

คำสำคัญ : ตะกั่วหลอมอะลูมิเนียม, คอร์เดียไรต์, วัสดุทนไฟ

Keywords : Aluminium slag, Cordierite, Refractory

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมการหลอมอะลูมิเนียมในประเทศไทยมีทั้งที่เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) มีตะกรันอะลูมิเนียมซึ่งเป็นกากอุตสาหกรรมมากกว่า 50 ตันต่อเดือน (1) ซึ่งโรงงานขนาดใหญ่จะส่งกากอุตสาหกรรมเหล่านี้ให้กับบริษัทที่ให้บริการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม ในขณะที่โรงงาน SMEs ซึ่งส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในจังหวัดสมุทรสาครมีกากอุตสาหกรรมประมาณ 10 ตันต่อเดือน ไม่ได้ส่งบริษัทที่ให้บริการ เพราะมีค่าใช้จ่ายและยังไม่มีวิธีกำจัด นอกจากนำมาถมที่ ส่งผลต่อสภาพแวดล้อม จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกรันอะลูมิเนียมพบว่าองค์ประกอบหลัก คือ อะลูมินา (Al_2O_3) ถึงร้อยละ 77 จึงน่าจะนำไปใช้แทนวัตถุดิบอะลูมินา (2) เพื่อใช้ในการทำวัสดุทนไฟ แทนที่จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

คอร์เดียไรต์ เป็นสารประกอบซิลิเกต มีสูตรทางเคมีคือ $MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ จัดเป็นวัสดุทนไฟ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำระหว่าง $1.5-4.0 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ (3) มีสมบัติทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดี จึงนิยมนำไปใช้งานในสภาวะที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่เสมอ เช่น อุปกรณ์ในเตาเผา (kiln furniture) ตัวกรองไอเสียในรถยนต์ (catalytic converter) และแผงวงจรไฟฟ้า เป็นต้น (4)

คอร์เดียไรต์สามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของแมกนีเซียออกไซด์ (MgO) อะลูมินา (Al_2O_3) และ ซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบ เช่น แมกนีไซต์ ($MgCO_3$) ทัลค์ ($32MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) ดิน ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) และอะลูมินา (Al_2O_3) โดยต้องเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1400 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดเป็นคอร์เดียไรต์ แต่หากมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น ดินขาว ดินดำ ทัลค์ และอะลูมินา ก็จะสามารถสังเคราะห์คอร์เดียไรต์ที่อุณหภูมิประมาณ 1200-1300 องศาเซลเซียสได้ เนื่องจากในวัตถุดิบธรรมชาติมักมีสิ่งเจือปนซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น (5)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากส่วนผสมของดินขาว ดินดำ ทัลค์ และตะกรันอะลูมิเนียม สำหรับใช้ทำอุปกรณ์ในเตาเผา เพื่อเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์ ทำให้สามารถช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง (6, 7)

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 การทดลองสังเคราะห์เนื้อคอร์เดียไรต์

คัดเลือกวัตถุดิบที่นำมาใช้ กำหนดส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง บดส่วนผสมให้ละเอียดในหม้อบด ขึ้นรูปขึ้นทดสอบ เผาที่อุณหภูมิ 1250, 1280 และ 1300 องศาเซลเซียส ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ส่วนประกอบทางแร่วิทยา ความแข็งแรง และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน จากนั้นคัดเลือกสูตรเนื้อคอร์เดียไรต์เพื่อนำมาทดลองทำเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

2.1.1 วัตถุดิบที่ใช้

- ตะกรันอะลูมิเนียม (Aluminium slag) จ.สมุทรสาคร
- ดินขาว (Kaolin) ชนิด Cerafast จากบริษัทอินดัสเทรียลมีเนอรัลดีเวลลอปเมนต์ จำกัด
- ดินดำ (Ball clay) ชนิด Ceragobe จากบริษัทอินดัสเทรียลมีเนอรัลดีเวลลอปเมนต์ จำกัด
- ควอร์ตซ์ (Quartz) ชนิด Cerasil จากบริษัทอินดัสเทรียลมีเนอรัลดีเวลลอปเมนต์ จำกัด
- ทัลค์ (Talc) ชนิด special จากบริษัทเชอร์นิคอินเตอร์เนชันแนล จำกัด องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง แสดงใน ตารางที่ 1

Table 1 Chemical composition of raw materials used in the experiment

Composition (%)	Aluminium slag (calcined)	Talc	Ball clay	Kaolin	Quartz
Al ₂ O ₃	77.14	0.6	31.3	37.3	0.18
SiO ₂	8.75	62.7	49.8	47.2	99.22
Fe ₂ O ₃	6.67	0.1	1.2	1.0	0.1
MgO	1.81	32.3	0.1	0.06	0.1
CaO	1.41	1.9	0.4	0.1	0.1
Na ₂ O	0.72	0.5	0.5	0.4	0.03
K ₂ O	1.18	0.1	1.6	1.7	0.07
TiO ₂	0.61	-	0.7	-	0.05
MnO ₂	0.23	0.002	0.03	0.06	-
L.O.I.	-	1.6	13.7	13.0	0.3

2.1.2 ส่วนผสมเนื้อดิน

คอร์เดียไรต์มีสูตรเคมี $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ จากเฟสไดอะแกรมดังแสดงในภาพที่ 1 มีช่วงค่าออกไซด์ที่สามารถทำให้เกิดคอร์เดียไรต์ได้คือ MgO 9-17 %, Al₂O₃ 30-38 % และ SiO₂ 47-55 % (8) การทดลอง

ครั้งนี้ได้แปรผันส่วนผสมตามแผนผังการผสมรูปสามเหลี่ยมโดยเลือก 5 จุด (A-E) ดังภาพที่ 2 เพื่อให้ได้คอร์เดียไรต์ที่มีส่วนผสมดังตารางที่ 2 และสูตรวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3

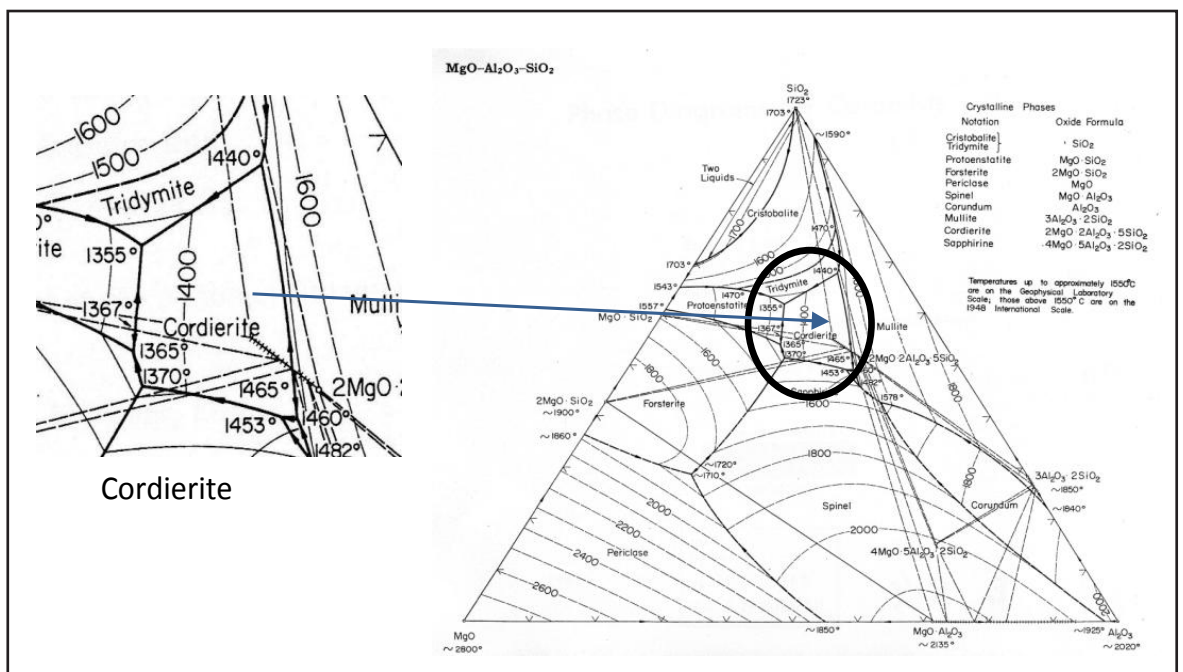


Figure 1 Phase diagram of MgO - Al₂O₃ - SiO₂ system

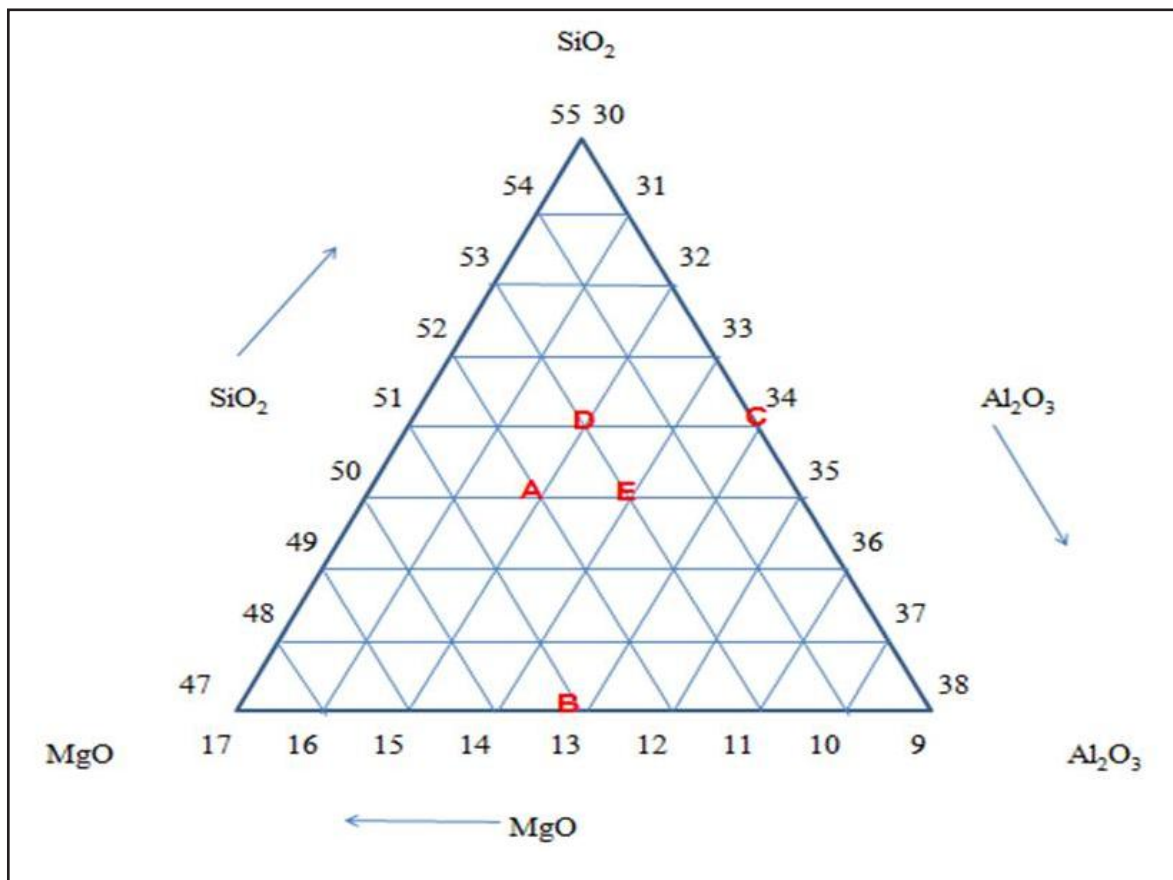


Figure 2 Ternary table used to determine the formula

Table 2 Oxide compositions for cordierite body formulas

จุด	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
A	12	32	50
B	13	34	47
C	9	34	51
D	11	32	51
E	11	33	50

2.1.3 การเตรียมเนื้อคอร์เดียไรต์และขั้นตอนทดสอบ

ซึ่งสูตรวัตถุดิบ ดังในตารางที่ 3 รวม 5 สูตร โดยแต่ละสูตร นำส่วนผสมบดในหม้อบดให้ละเอียด ด้วยวิธีบดเปียก ใช้เวลาในการบด 24 ชั่วโมง นำไปผ่าน ตะแกรง 100 เมช และอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้นทำเป็นผงเม็ดแกรนูล ผ่านตะแกรง 50 และ 70 เมช แล้วนำไปอัดขึ้นรูปชิ้นทดสอบในแบบ พิมพ์โลหะขนาด 30×60×10 คิวบิกมิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยใช้แรงอัด 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 20 วินาที และนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1250, 1280 และ 1300 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราเร่ง 150 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 120 นาที

Table 3 Raw material compositions used in the experiment.

Sample	Talc	Kaolin	Ball clay	Aluminium slag (calcined)	Quartz
AS_1.2_A	35.4	10.7	21.2	22.9	9.8
AS_1.2_B	34.3	13.2	26.2	23.9	2.4
AS_1.2_C	23.6	13.8	27.5	23.2	12.0
AS_1.2_D	29.5	11.6	23.0	24.0	11.9
AS_1.2_E	32.4	11.6	23.0	23.9	9.1

2.1.4 การทดสอบเนื้อคอร์เดียไรต์

นำชิ้นทดสอบที่เผาอุณหภูมิ 1250, 1280 และ 1300 องศาเซลเซียส ไปวิเคราะห์ทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

2.1.2.1 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การหดตัว การดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่น โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 373-88 (Reapproved

2006) ใช้ชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 30×60×10 มิลลิเมตร (กว้าง × ยาว × หนา) เผาแล้วที่อุณหภูมิ 1250, 1280 และ 1300 องศาเซลเซียส

2.1.2.2 ทดสอบค่าความแข็งแรง โดยใช้เครื่องมือหัก Hung Ta รุ่น HT8116 ใช้ชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 30×60×10 มิลลิเมตร (กว้าง X ยาว X หนา) เผาแล้วที่อุณหภูมิ 1250, 1280 และ 1300 องศาเซลเซียส

Table 4 Physical properties and strength of samples firing at temperature 1250, 1280 and 1300 °C

Sample	Firing temp, °C	AS1.2 A	AS1.2 B	AS1.2 C	AS1.2D	AS1.2 E
Shrinkage, %	1250	9.59	10.45	7.98	9.68	9.50
	1280	9.46	9.78	7.93	9.44	9.41
	1300	9.49	9.86	8.09	8.86	9.30
Water absorption, %	1250	16.28	14.36	17.69	15.96	17.13
	1280	16.12	14.07	16.73	15.26	16.53
	1300	16.83	13.81	15.79	15.21	16.24
Bulk density, g/cm ³	1250	1.85	1.92	1.80	1.86	1.82
	1280	1.83	1.88	1.80	1.85	1.82
	1300	1.80	1.88	1.82	1.84	1.81
Modulus of rupture, MPa	1250	22.55	23.53	22.37	21.70	22.51
	1280	21.69	24.66	22.48	24.33	22.91
	1300	20.99	22.70	22.17	21.74	20.73

2.1.2.3 วิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่วิทยา โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8-Advance มี Cu เป็นตัวกำเนิดรังสี และ Ni เป็น filter โดยมีค่า 2θ ตั้งแต่ 5 ถึง 80 องศา ใช้ตัวอย่างที่เผาแล้วที่อุณหภูมิ 1250, 1280 และ 1300 องศาเซลเซียส บดเป็นผงละเอียด ผ่านตะแกรงร่อน 100 เมช

2.1.2.4 ทดสอบสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน โดยใช้เครื่องไดลาโตมิเตอร์ (Dilatometer) ยี่ห้อ Netzsch รุ่น DIL 402 ใช้ชิ้นทดสอบที่เผาแล้วที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส ขนาด $0.5 \times 40 \times 0.5$ มิลลิเมตร (กว้าง $\times$ ยาว $\times$ หนา)

2.2 การทดลองทำผลิตภัณฑ์ดินแบบ

คัดเลือกสูตรเนื้อคอร์เดียไรต์ที่มีคอร์เดียไรต์เกิดมากที่สุดโดยดูจากผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่วิทยา ไปทดลองทำผลิตภัณฑ์ขาตั้ง รูปตัววี ขนาดสูง 5 เซนติเมตร ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบ เเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การสังเคราะห์เนื้อดินคอร์เดียไรต์ จากส่วนผสมของตะกอนอะลูมิเนียม ดินขาว ดินดำ ทัลค์ และควอร์ตซ์ เเผาที่อุณหภูมิ 1250, 1280 และ 1300 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ค่าความแข็งแรง ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน แสดงในตารางที่ 4,5 และ ภาพที่ 3 ตามลำดับ ส่วนประกอบทางแร่วิทยาแสดงใน ภาพที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ พบว่า มี 4 สูตร (AS1.2 A, B, C และ E) มีค่าดูดซึมน้ำ การหดตัว และความหนาแน่นลดลง เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ยกเว้นสูตร AS1.2 C มีการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่วิทยา พบว่าทุกสูตรเกิดเฟสคอร์เดียไรต์เพิ่มมากขึ้น และเกิดเฟสคริสโตบาไลต์ลดลง เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น โดยเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส จะไม่พบเฟสคริสโตบาไลต์ สูตร AS1.2 B และ AS1.2 C มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนเท่ากับ 3.199 และ

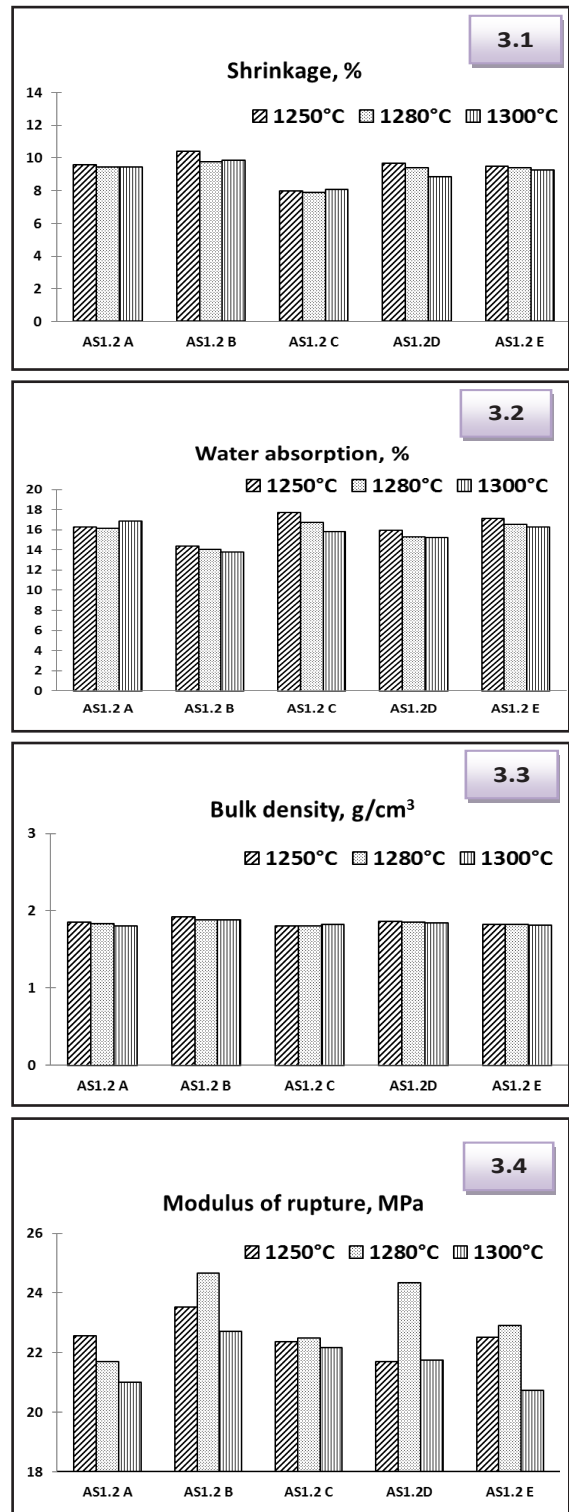


Figure 3 Bar graphs comparison of physical properties and strength of samples after firing at temperature 1250, 1280, 1300 °C

3.1 Shrinkage, % 3.2 Water absorption, % 3.3 Bulk density, g/cm³ and 3.4 Modulus of rupture, MPa

Table 5 Thermal expansion coefficient of samples firing at temperature 1300 °C

Sample	Firing temp, °C	Coefficient of thermal expansion (30-1000 °C), $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
AS_1.2_A	1300	3.694
AS_1.2_B		3.199
AS_1.2_C		3.155
AS_1.2_D		3.617
AS_1.2_E		3.354

3.155×10^{-6} ต่อองศาเซลเซียส ตามลำดับ น้อยกว่าสูตรอื่นที่เหลือซึ่งสัมพันธ์กับผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่วิทยาที่พบว่า สูตร AS1.2 B และ AS1.2 C เกิดเฟสคอร์เดียไรต์มากกว่าสูตรอื่น

ทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยคัดเลือกสูตร AS1.2 B ซึ่งเกิดเฟสคอร์เดียไรต์สูงสุด และมีค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ 1.88 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดที่ร้อยละ 13.81 มีค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ 22.70 เมกะพาสคาล และมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำที่ 3.199×10^{-6} ต่อองศาเซลเซียส

3.2 ผลการทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ คัดเลือกสูตร AS_1.2_B ที่มีส่วนผสมของตะกั่วอะลูมิเนียมร้อยละ 23.9 ดินขาวร้อยละ 13.2 ดินดำร้อยละ 26.2 ทัลค์ร้อยละ 34.3 และ ควอตซ์ร้อยละ 2.4 บดผสมด้วยวิธีบดเปียก ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบเป็นขาตั้งรูปตัววีสูง 5 เซนติเมตร ภาพที่ 7 พบว่าเนื้อดินสูตร AS_1.2_B สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบได้ และผลิตภัณฑ์ต้นแบบหลังเผาสามารถคงรูปได้ไม่บิดเบี้ยว

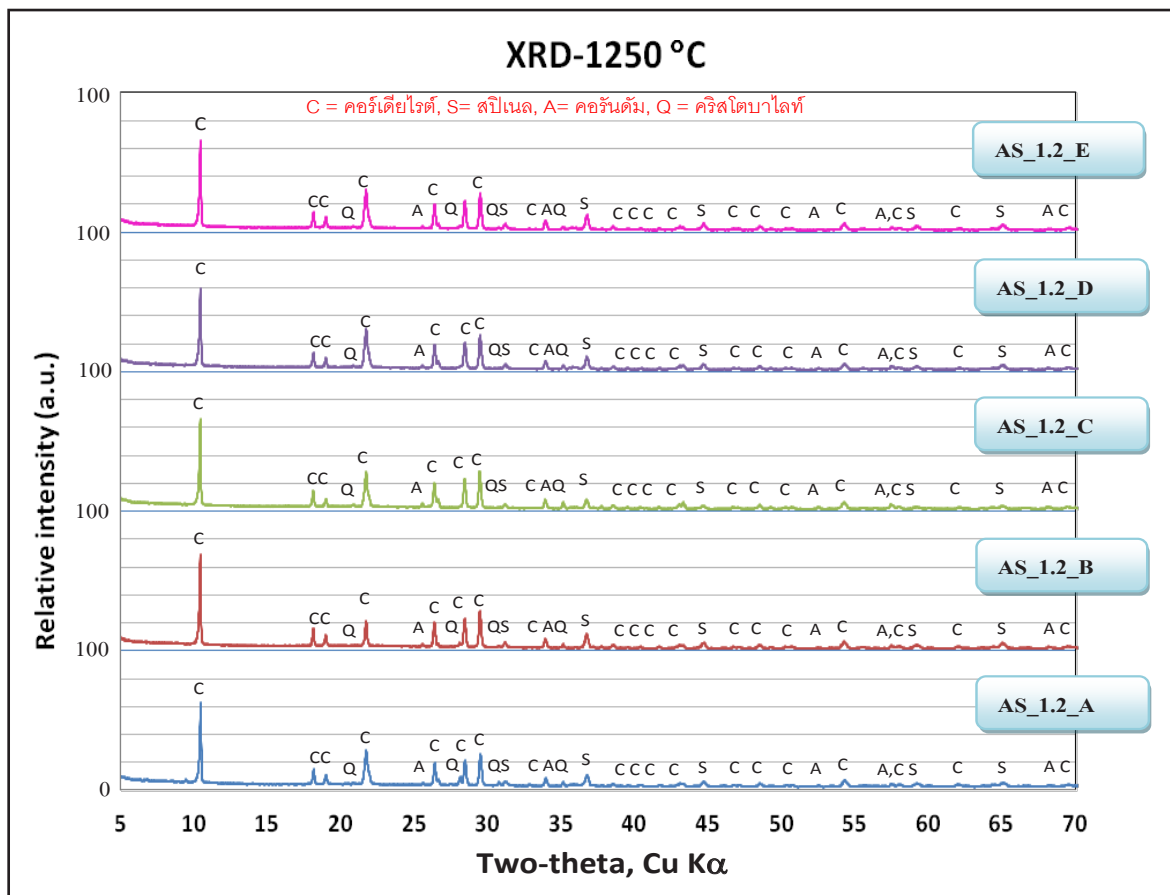


Figure 4 XRD patterns of sample AS_1.2_A - E firing at temperature 1250 °C

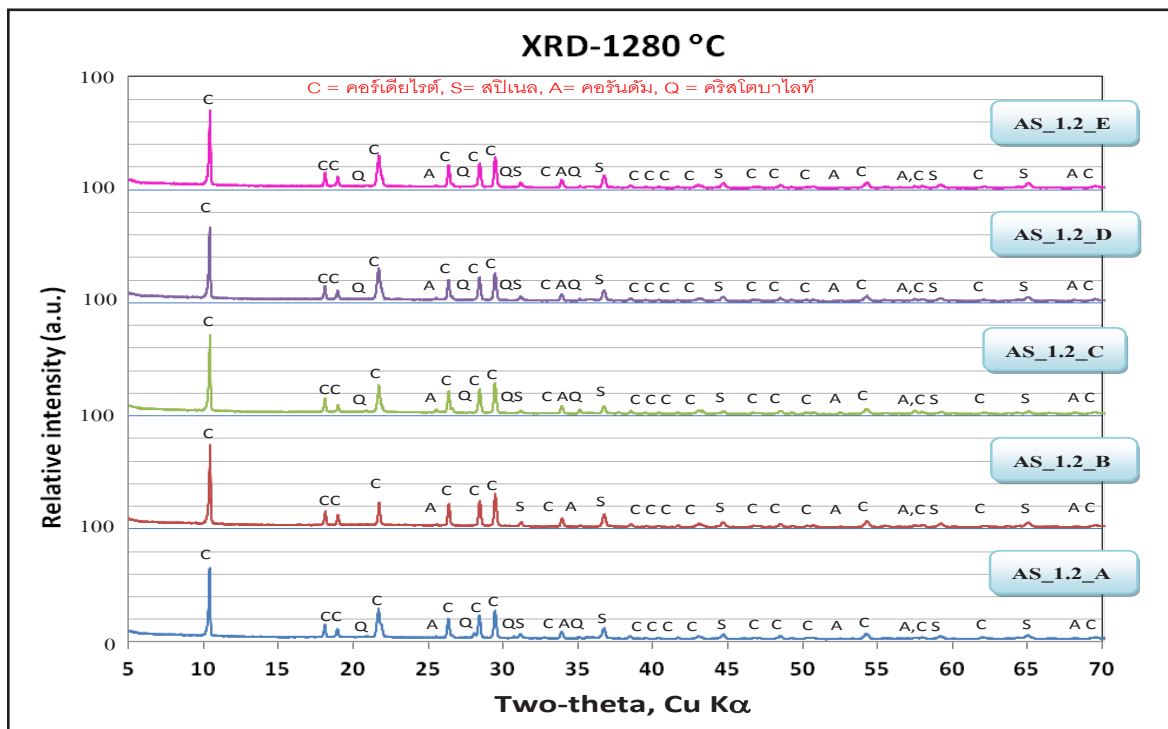


Figure 5 XRD patterns of sample AS_1.2_A - E firing at temperature 1280 °C

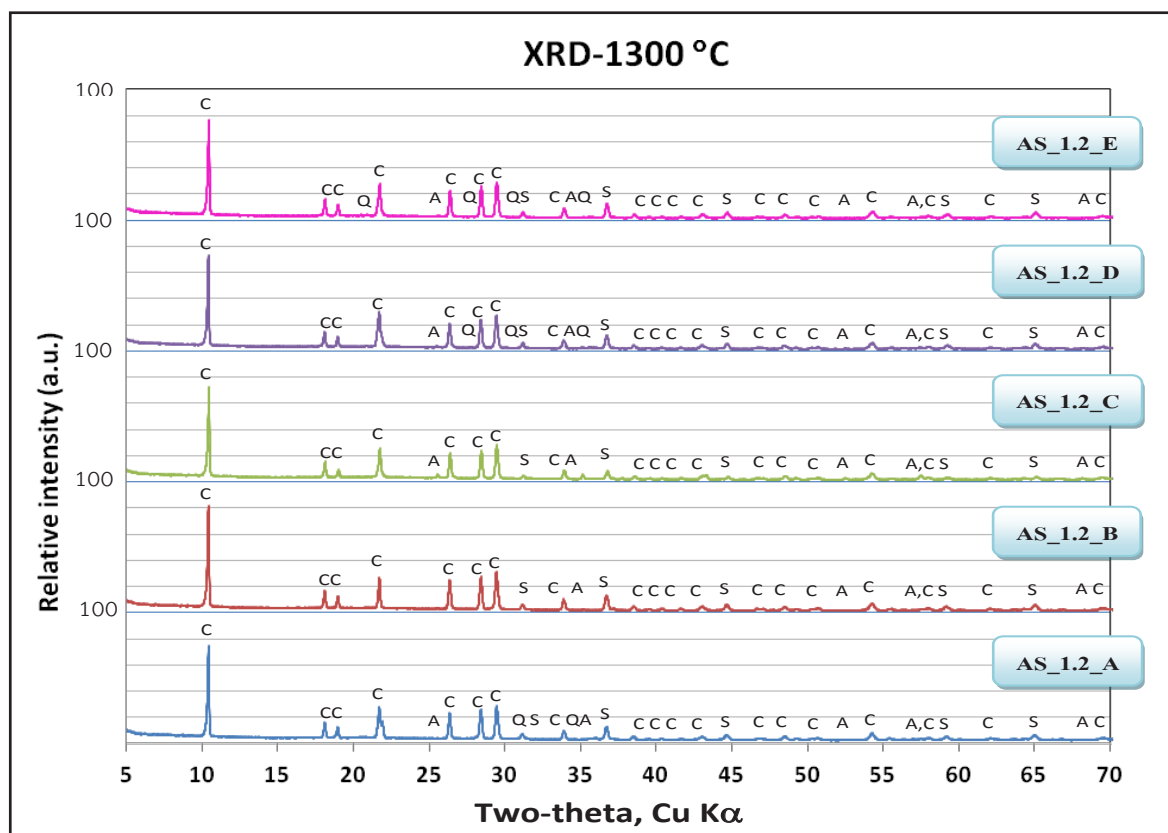


Figure 6 XRD patterns of sample AS_1.2_A - E firing at temperature 1300 °C

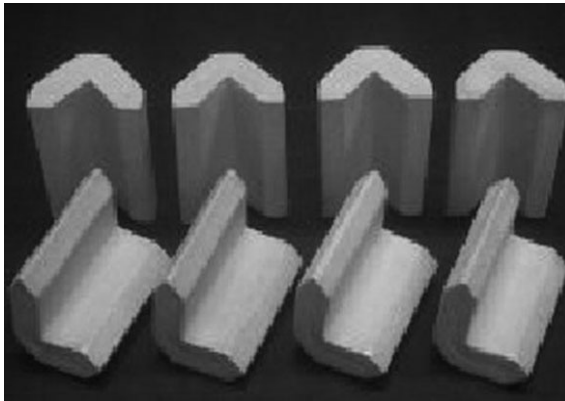


Figure 7 V-shape prototypes from AS_1.2_B at firing temperature of 1300 °C

4. สรุป (Conclusion)

ตะกอนจากอุตสาหกรรมการหลอมอะลูมิเนียมสามารถใช้แทนอะลูมินา นำมาสังเคราะห์เนื้อดินคอร์เดียไรต์ทำเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในอุปกรณ์ในเตาเผาได้ โดยมีส่วนผสมของตะกอนอะลูมิเนียมร้อยละ 23.9 ดินขาวร้อยละ 13.2 ดินดำร้อยละ 26.2 ทัลคัรร้อยละ 34.3 และ ควอตซ์ร้อยละ 2.4 สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เเผที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและเจ้าหน้าที่สำนักเทคโนโลยีชุมชนทุกท่านที่ช่วยสนับสนุน การทำกิจกรรมวิจัย ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญแก้ว โครงการฟิสิกส์ และวิศวกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบองค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบ และการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) โครงการอุตสาหกรรมหลอมหล่อเศษ และ ตะกอนอะลูมิเนียม. (ออนไลน์) อ้างถึงวันที่ 10 เมษายน 2556 เข้าถึงได้จาก http://www2.diw.go.th/I_Standard/Web/pane_files/Industry27.asp 2556
- (2) E. Alvarez-Ayuso, Approaches for the treatment of waste streams of the aluminium

anodising industry, Journal of Hazardous Materials. 2009, 164, 409-414.

(3) A.Eppler Richard and R.Eppler Douglas, Glazes and Glass Coating, the American ceramic society, Westerville, USA, 1998. 25-29.

(4) Low thermal expansion modified coedierite, US. Patent 4,403,017, Sep 6, 1983.

(5) F.Singer and Sonia S. Singer, Industrial Ceramics, Chapman and Hall, London, 1979. 482-487.

(6) M.J. Ribeiroa and J.A.Labrincha, Properties of sintered mullite and cordierite pressed bodies manufactured using Al-rich anodizing sludge, Ceramics International, 2008, 34(3), 593-597.

(7) M.J. Ribeiro, D.U.Tulyaganov, J.M.Ferreira, J.A.Labrincha, Recycling of Al-rich industrial sludge in refractory ceramic pressed bodies, Ceramics International, 2002, 28(3), 319-326.

(8) E.M. Levin, C.R. Robbins and H.F. McMurdie, Phase Diagrams for Ceramists, The American ceramic society, Ohio, USA, 1964. 246.

การปรับปรุงสภาพเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวด้วยของเหลวไอออนิก เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำตาลกลูโคส Pretreatment of corn husk and coconut husk using ionic liquid to enhance glucose recovery

วัชร คตินนท์กุล^{1*}, เจนจิรา ภูริรักษ์พิติกร¹
Watcharee Katinonkul^{1*}, Jenjira Phuriragpitikhon¹

บทคัดย่อ

การศึกษานี้แสดงการปรับปรุงสภาพโดยใช้ของเหลวไอออนิกในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ เปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าว ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพร้อยละการคืนกลับของน้ำตาลกลูโคสโดยของเหลวไอออนิกที่ใช้ศึกษามีสองชนิดคือ 1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียมคลอไรด์ (1-butyl-3-methylimidazolium chloride, BmimCl) และ 1-เอทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียมอะซิเตต (1-ethyl-3-methylimidazolium acetate, EmimOAc) ภายหลังจากที่วัสดุผ่านการปรับปรุงสภาพแล้วจะถูกนำไปย่อยด้วยเอนไซม์โดยเอนไซม์ที่ใช้คือ Celluclast 1.5L และ Novozymes 188 ซึ่งพบว่าสภาวะการปรับปรุงสภาพที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวในการช่วยเพิ่มปริมาณน้ำตาลกลูโคสในรูปของร้อยละคืนกลับสูงสุดคือ การใช้ของเหลวไอออนิกชนิด EmimOAc ปรับปรุงสภาพที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นระยะ เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจะให้ผลร้อยละคืนกลับน้ำตาลกลูโคสสูงสุดที่ 68.2 และ 62.8 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการปรับปรุงสภาพดังกล่าวสามารถลดปริมาณลิกนินที่มีอยู่ในโครงสร้างของเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวได้มากถึงร้อยละ 9.2 และ 14.6 ตามลำดับ

Abstract

The study demonstrates the ionic liquid pretreatment for lignocellulosic materials like corn husk and coconut husk in order to optimize the yield of glucose recovery. Two ionic liquids: 1-butyl-3-methylimidazolium chloride (BmimCl) and 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate (EmimOAc) were studied. The pretreated materials were enzymatically hydrolyzed using Celluclast 1.5L and Novozymes 188. It was found that the optimum pretreatment condition for corn husk and coconut husk were accomplished using EmimOAc at the temperature of 130 °C and duration of 2 hours, resulted in the maximum glucose recovery at 68.2 and 62.8%, respectively. In addition, using ionic liquid pretreatment could decrease the lignin content in corn husk and coconut husk structures for 9.2 and 14.6%, respectively.

คำสำคัญ : วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส, การปรับปรุงสภาพ, ของเหลวไอออนิก, การย่อยด้วยเอนไซม์

Keywords : Lignocellulosic materials, Pretreatment, Ionic liquid, Enzymatic hydrolysis

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันการผลิตไบโอเอทานอลเพื่อนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยวัสดุหลักที่ใช้ผลิตไบโอเอทานอลคือน้ำตาลกลูโคส วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเป็นน้ำตาลดังกล่าวแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ วัสดุประเภทน้ำตาล เช่น อ้อย และกากน้ำตาล วัสดุประเภทแป้ง เช่น มันสำปะหลัง ข้าว ข้าวโพด และอื่นๆ และประเภทสุดท้ายคือวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสที่ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เช่น ฟางข้าว กากอ้อย แกลบ ชังข้าวโพด และไม้อ่อนชนิดต่างๆ เช่น สน ยูคาลิปตัส เป็นต้น แต่ด้วยข้อจำกัดที่วัสดุสองประเภทแรกนั้นใช้เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ ดังนั้นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสซึ่งมีอยู่ปริมาณมากและไม่ได้เป็นพิษอาหารของมนุษย์จึงมีความเหมาะสมมากกว่า กระบวนการย่อยเซลลูโลสของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลนั้นการทำงานของเอนไซม์หรือกรดที่ใช้ในการย่อยนั้นมักถูกกีดขวางโดยปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีหลายประการส่งผลให้ประสิทธิภาพในการย่อยเซลลูโลสลดลง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสให้เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญโดยอาศัยกระบวนการที่เรียกว่า การปรับสภาพ (pretreatment)

กระบวนการปรับสภาพคือ การเปลี่ยนหรือกำจัดโครงสร้างและองค์ประกอบต่างๆ ที่เป็นสิ่งกีดขวางต่อกระบวนการย่อยเซลลูโลส เพื่อช่วยให้ประสิทธิภาพการย่อยดีขึ้นและผลที่ได้คือผลผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับสภาพจึงถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการเปลี่ยนเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส วัตถุประสงค์ของกระบวนการปรับสภาพคือ กำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกลดโครงสร้างแบบผลึกของเซลลูโลส เพิ่มพื้นที่ผิวเซลลูโลส และเพิ่มความเป็นรูพรุนของวัสดุชีวมวล (1) ดังแสดงในรูปที่ 1

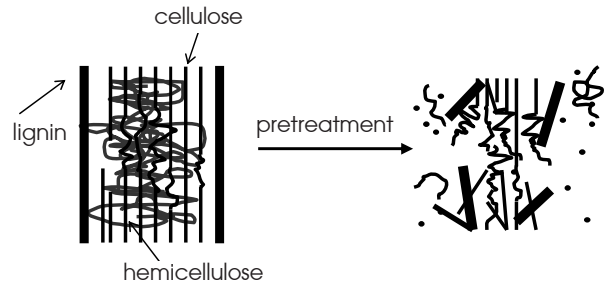


Figure 1 Results in pretreatment of a lignocellulosic material (2)

การปรับสภาพวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสมีหลายกระบวนการทั้งกระบวนการทางกายภาพ (physical pretreatment) โดยการใช้แรงกล เช่น การบด การตัด เป็นต้น การปรับสภาพโดยกระบวนการทางเคมีกายภาพ (physic-chemical pretreatment) เช่น การระเบิดด้วยไอน้ำ (steam explosion) การระเบิดด้วยแอมโมเนีย (ammonia fiber explosion) เป็นต้น การปรับสภาพโดยกระบวนการทางเคมี (chemical pretreatment) เช่น การใช้กรด (acid hydrolysis) การใช้ด่าง (alkaline hydrolysis) การใช้สารละลายอินทรีย์ (organosolve) การใช้ไอโซน การกำจัดลิกนินในเซลลูโลสด้วยซัลไฟท์ (sulfite pretreatment to overcome recalcitrance of lignocellulose, SPORL) การใช้ของเหลวไอออนิก (ionic liquid) เป็นต้น และการปรับสภาพโดยกระบวนการทางชีวภาพ (biological pretreatment) เช่น การใช้เชื้อจุลินทรีย์จำพวกรา เช่น ราขาว ราน้ำตาล เป็นต้น อย่างไรก็ตามแต่ละกระบวนการปรับสภาพจะส่งผลต่อโครงสร้างของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกกระบวนการปรับสภาพมาใช้ในการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุชีวมวลนั้นจำเป็นต้องทราบถึงชนิด โครงสร้างทางเคมี และองค์ประกอบอื่นๆ ของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสแต่ละชนิดเสียก่อน แล้วจึงทำการเลือกกระบวนการปรับสภาพให้เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยเซลลูโลส นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินการและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ในงานวิจัยนี้วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสที่ใช้ศึกษา คือ เปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าว ทั้งนี้

เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่มากมาย ในท้องถิ่นและมีเซลลูโลสในปริมาณมาก โดยทั่วไป เปลือกข้าวโพดนอกจากใช้ทำเป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์แล้ว ยังใช้ประดิษฐ์งานทางด้านหัตถกรรม เช่น ดอกไม้ประดิษฐ์ ตุ๊กตา เป็นต้น ส่วนเปลือกมะพร้าว โดยทั่วไปใช้ทำกระถางใส่กล้วยไม้ ดังนั้นการเลือกนำวัสดุเหล่านี้มาศึกษาเพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าตัววัสดุเองในแง่ของการนำไปใช้ผลิตน้ำตาล เพื่อผลิตเป็นไบโอเอทานอล กระบวนการปรับสภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการปรับสภาพด้วยของเหลวไอออนิก เพื่อให้ได้ผลผลิตน้ำตาลสูงสุดภายหลังจากการย่อยด้วย เอนไซม์ โดยอาศัยหลักการที่ว่าของเหลวไอออนิก สามารถละลายเซลลูโลสได้ดีและบางชนิดยังสามารถ ละลายลิกนินได้อีกด้วย (3) และด้วยสมบัติที่เป็นสาร ประเภทเกลือไอออนิกที่คงสถานะเป็นของเหลว ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าปกติ ดังนั้นข้อดีของของเหลว ไอออนิก คือ เป็นสารที่ไม่เป็นพิษหรือเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ต่อความร้อนได้ดี ระเหยกลายเป็นไอได้น้อยและ สามารถนำกลับมาใช้ได้หลายครั้ง

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

นำเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวมาตัด เลื่อยให้มีขนาดความยาวประมาณ 2 มิลลิเมตรโดย ใช้เครื่องตัดประเภท universal cutting mill (FRITSCH, Germany) แล้วเก็บไว้ในภาชนะที่แห้งและปิดให้มิดชิด เพื่อป้องกันความชื้นก่อนการนำไปใช้งาน ของเหลว ไอออนิกที่ใช้คือ 1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียมคลอไรด์ (1-butyl-3-methylimidazolium chloride, BmimCl) และ 1-เอทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียมอะซิเตต (1-ethyl -3-methylimidazolium acetate, EmimOAc) (ยี่ห้อ Sigma-aldrich ความบริสุทธิ์สูงกว่าร้อยละ 90) เนื่องจาก ทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการละลายเซลลูโลสได้ดี เอนไซม์ที่ใช้คือ Cellulase จาก *Trichoderma reesei* (ชื่อทางการค้า Celluclast 1.5L) และ Cellobiase จาก

Aspergillus niger (ชื่อทางการค้า Novozymes 188), tetracycline, cycloheximide, sodium acetate buffer pH 4.65, แคลเซียมคาร์บอเนต และกรดซัลฟิวริก



Figure 2 Untreated corn husk and coconut husk

2.2 การปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวด้วยของเหลวไอออนิก

ซึ่งเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวที่ตัดให้ มีขนาดเล็กประมาณ 2 มิลลิเมตร 1 กรัม ใส่ในขวด แก้วทนความร้อน อัตราส่วนของของแข็งที่ใช้เป็นร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักของของเหลวไอออนิก วางขวดแก้วดังกล่าว ลงในอ่างน้ำมันซิลิโคนที่ควบคุมอุณหภูมิและวางอยู่บน เตาความร้อน ใส่แท่งแม่เหล็กเพื่อใช้คนสารละลาย ของเหลวไอออนิกโดยตั้งความเร็วที่ 250 รอบต่อนาที และคลุมอ่างน้ำมันซิลิโคนด้วยแผ่นอลูมิเนียมเพื่อ ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาที่อุณหภูมิ 90, 110 และ 130 องศาเซลเซียส เมื่อครบระยะเวลา ที่ 120 นาที จึงนำขวดแก้วออกจากอ่างน้ำมันซิลิโคน ตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียสจึงเติมน้ำ ปราศจากไอออนพร้อมคนด้วยแท่งแม่เหล็กเพื่อทำให้ เซลลูโลสที่ละลายอยู่ในของเหลวไอออนิกตกตะกอน เป็นเซลลูโลส (regenerated cellulose) อีกครั้งหนึ่ง แยกเซลลูโลสที่ได้ออกจากของเหลวไอออนิก ด้วยวิธี หมุนเหวี่ยง ล้างเซลลูโลสด้วยน้ำปราศจากไอออนจน กระทั่งไม่มีของเหลวไอออนิกหลงเหลืออยู่บนเซลลูโลส โดยวัดจากการนำน้ำล้างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ สารด้วยอินฟราเรด (FTIR) ซึ่งจะต้องไม่ปรากฏหมู่ ฟังก์ชันของของเหลวไอออนิก นำเซลลูโลสที่ได้ไปอบ รมร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เซลลูโลสที่ได้นี้จะนำไปย่อยด้วยเอนไซม์เพื่อ ผลิตเป็นน้ำตาลต่อไป

2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบในเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าว

ปริมาณเซลลูโลส ไชเลน และลิกนินสามารถวิเคราะห์ได้โดยการย่อยตัวอย่างด้วยกรด (acid hydrolysis) ตามด้วยการวิเคราะห์สารละลายที่เตรียมได้ด้วยเครื่องไฮออนโครมาโทกราฟีและการวิเคราะห์โดยน้ำหนักโดยใช้วิธีมาตรฐาน NREL (4, 5) ซึ่งตัวอย่าง 0.3 กรัม และเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 72 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เพื่อย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 84 มิลลิลิตรเพื่อปรับความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟิวริกเป็นร้อยละ 4 และนำขวดตัวอย่างไปใส่ในเครื่องหนึ่งทำลายเชื้อด้วยไอน้ำร้อนแรงดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำของเหลวที่ได้ซึ่งมีสภาพเป็นกรดไปปรับสภาพเป็นกลางด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตแล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส และไชเลนด้วยเครื่องไฮออนโครมาโทกราฟี (ยี่ห้อ Dionex รุ่น ICS 3000) ระบบของไฮออนโครมาโทกราฟีที่ใช้ประกอบด้วยคอลัมน์ชนิด CarboPac PA1 Analytical column โดยทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และเครื่องตรวจวัดเป็นชนิดเคมีไฟฟ้า ภูมิภาคเคลื่อนที่ที่ใช้คือน้ำปราศจากไอออนและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ โดยอัตราการไหลที่ใช้คือ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนปริมาณลิกนินที่ไม่ละลายในกรด (acid-insoluble lignin) ภายหลังขั้นตอนการย่อยด้วยกรดสามารถวิเคราะห์ได้โดยการกรองและวิเคราะห์โดยการชั่งน้ำหนักของแข็งที่กรองได้ ส่วนปริมาณลิกนินที่ละลายในกรด (acid-soluble lignin) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดปริมาณแสงในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาว (UV-visible spectro-photometer) ที่ความยาวคลื่น 205 นาโนเมตร และค่าคงที่การดูดกลืนแสง (extinction coefficient) ที่ใช้คือ 110 ลิตรต่อกรัม-เซนติเมตร

2.4 การย่อยด้วยเอนไซม์ในเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวเพื่อผลิตน้ำตาล

การย่อยเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวด้วยเอนไซม์ดำเนินการตามวิธีมาตรฐาน NREL (4) โดยซึ่งตัวอย่างให้มีปริมาณเซลลูโลส 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดชมพุ (Erlenmeyer flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ที่มีค่ากรดเบส (pH) 4.65 และมีความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ตามด้วยสารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียคือ Tetracycline (ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70) และ cycloheximide (ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในน้ำกลั่น) ปริมาตร 40 และ 30 ไมโครลิตรตามลำดับ จากนั้นเติมเอนไซม์ Celluclast 1.5L และ Novozymes 188 ลงไปในปริมาณ 60 FPU ต่อกรัมเซลลูโลส และ 64 pNPGU ต่อกรัมเซลลูโลสตามลำดับ โดยเอนไซม์ Celluclast 1.5L จะทำหน้าที่แตกพันธะบริเวณอสัณฐาน (amorphous sites) ได้เป็นสายโซ่สั้นใหม่และเกิดการแตกออกเป็นน้ำตาลหลายโมเลกุล (เช่น น้ำตาลสี่โมเลกุล (tetrasaccharides), น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides เป็นต้น) ส่วนเอนไซม์ Novozymes 188 จะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลดังกล่าวให้อยู่ในรูปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (6) จากนั้นปิดขวดชมพุและนำไปวางในตู้บ่มเพาะเชื้อชนิดเขย่าที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วในการเขย่าที่ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ภายหลังการเก็บตัวอย่างสารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ระยะเวลาต่างๆ แต่ละครั้งจะต้องนำตัวอย่างดังกล่าวไปจุ่มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ จากนั้นแยกของแข็งออกจากของเหลวด้วยวิธีหมุนเหวี่ยง และนำสารละลายตัวอย่างที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่องไฮออนโครมาโทกราฟี โดยใช้สภาวะการวิเคราะห์ดังที่กล่าวไปแล้วในข้อ 2.3

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 เปรียบเทียบองค์ประกอบของเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าว

การวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวก่อนการนำไปปรับสภาพเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องศึกษา ทั้งนี้เพื่อให้เปรียบเทียบว่าภายหลังการปรับสภาพแล้วองค์ประกอบแต่ละชนิดนั้นเปลี่ยนแปลงจากสภาพเริ่มต้นหรือไม่ ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวก่อนการนำไปปรับสภาพ จะเห็นได้ว่าในเปลือกข้าวโพดมีปริมาณเซลลูโลส (ร้อยละ 32) และเฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ 35.7) มากกว่าเปลือกมะพร้าวร้อยละ 8 และ 23.7 ตามลำดับ ในขณะที่เปลือกมะพร้าวมีปริมาณลิกนินทั้งหมด (ร้อยละ 64) มากกว่าเปลือกข้าวโพดถึง 2 เท่า ปริมาณเถ้าในเปลือกข้าวโพดมีน้อยกว่าในเปลือกมะพร้าวประมาณ 3 เท่า และไซแลนซึ่งคำนวณจากน้ำตาลไซโลสในเปลือกข้าวโพดมีปริมาณมากกว่าในเปลือกมะพร้าวประมาณ 2 เท่า ปริมาณองค์ประกอบที่วิเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงอื่นๆ (7, 8) พบว่าได้ค่าต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 7 ทั้งนี้อาจ

Table 1 Composition of untreated corn husk and coconut husk (dry basis)

Component (%)	Corn husk	Coconut husk
cellulose	32.0	24.0
Hemicellulose *	35.7	12.0
Total lignin	32.3	64.0
acid soluble lignin	3.67	2.40
acid insoluble lignin	28.6	61.6
ash	2.54	8.48
glucan	35.5	26.6
xylan	4.00	1.82

Note : * hemicellulose (%) = 100-cellulose (%) – lignin (%)

เนื่องมาจากส่วนต่างๆ ของตัวอย่างที่เลือกนำศึกษา เช่น เลือกเฉพาะเปลือกข้าวโพด ไม่รวมเส้นใยของฝักข้าวโพด เป็นต้น ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตลอดจนวิธีที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์

3.2 เปรียบเทียบการปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวด้วยของเหลวไอออนิก

ในงานวิจัยนี้ใช้ของเหลวไอออนิก 2 ชนิดคือ 1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียมคลอไรด์ (1-butyl-3-methylimidazolium chloride, BmimCl) และ 1-เอทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียมอะซิเตต (1-ethyl-3-methylimidazolium acetate, EmimOAc) เพื่อใช้ละลายเซลลูโลสที่มีอยู่ในเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าว ณ สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสม จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวสามารถละลายได้ดีใน EmimOAc ดังแสดงในรูปที่ 1C และ 1D ตาม ลำดับ ในขณะที่ BmimCl สามารถละลายเซลลูโลสที่มีอยู่ในเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวได้เช่นกันแต่น้อยกว่า EmimOAc ดังแสดงในรูปที่ 1A และ 1B โดยสังเกตได้จากความสามารถในการละลายเป็นเนื้อเดียวกันและสีที่เข้มน้อยกว่า

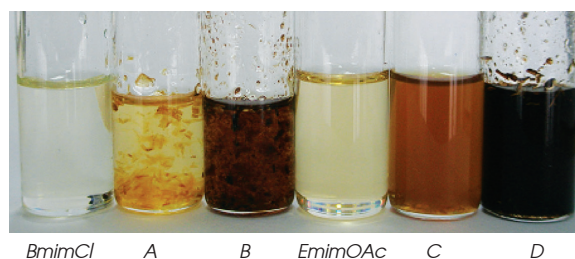


Figure 3 Dissolution of Corn husk in BmimCl (A) and EmimOAc (C) and coconut husk in BmimCl (B) and EmimOAc (D)

นอกจากนี้ยังพบว่าของเหลวไอออนิกทั้งสองชนิดสามารถละลายลิกนินที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวได้ โดยสังเกตจากสีของของเหลวไอออนิกที่เปลี่ยนจากใสไม่มีสี (รูปที่ 1 BmimCl) และสีเหลืองอ่อนใส (รูปที่ 1 EmimOAc) เป็นสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเป็นสีของลิกนินที่ละลายออกมาอยู่ในของเหลวไอออนิก เมื่อเปรียบเทียบสีระหว่างเปลือกข้าวโพดและเปลือก

มะพร้าวจะเห็นได้ว่าสีของเปลือกมะพร้าวที่ละลายในของเหลวไอออนิกทั้งสองชนิดมีสีที่เข้มกว่าเปลือกข้าวโพด ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณลิกนินในองค์ประกอบของเปลือกมะพร้าวมีมากกว่าเปลือกข้าวโพดถึง 2 เท่า ดังข้อมูลแสดงในตารางที่ 1

3.3 การย่อยด้วยเอนไซม์เพื่อผลิตน้ำตาล

ภายหลังจากปรับสภาพตัวอย่างเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวด้วยของเหลวไอออนิกที่อุณหภูมิ 90, 110 และ 130 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตัวอย่างดังกล่าวจะถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณกลูแคน

ไซเลน และลิกนิน เพื่อพิจารณาว่าเปลี่ยนแปลงจากก่อนปรับสภาพมากหรือน้อยเพียงใด ส่วนปริมาณกลูแคนซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณเซลลูโลสจะถูกนำมาใช้คำนวณปริมาณเอนไซม์ที่จะเติมลงไป ตารางที่ 2 แสดงปริมาณกลูแคน ไซเลน ลิกนิน ของตัวอย่างภายหลังการปรับสภาพ ณ สภาวะต่างๆ และร้อยละคืนกลับของน้ำตาลกลูโคสที่ได้สูงสุดภายหลังผ่านกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์ Celluclast 1.5L และ Novozymes 188 เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิคงที่ที่ 50 องศาเซลเซียส

Table 2 Experimental data for ionic liquid pretreatment of corn husk and coconut husk

sample	Content (%)		Lignin ^a (%)	glucose recovery ^b (%)
	glucan	xylan		
Untreated corn husk (ch)	35.5	4.00	32.3	24.4
BmimCl-treated ch at 90°C 2h	33.6	4.45	21.4	30.8
EmimOAc-treated ch at 90°C 2h	30.5	3.91	22.8	48.9
BmimCl-treated ch at 110°C 2h	32.0	5.18	21.8	39.6
EmimOAc-treated ch at 110°C 2h	38.5	4.16	18.9	64.5
BmimCl-treated ch at 130°C 2h	39.0	4.83	24.4	58.2
EmimOAc-treated ch at 130°C 2h	41.5	4.72	23.1	68.2
Untreated coconut husk (cch)	26.6	1.82	64.0	5.4
BmimCl-treated cch at 90°C 2h	23.5	1.85	56.0	2.4
EmimOAc-treated cch at 90°C 2h	25.1	1.73	53.9	4.0
BmimCl-treated cch at 110°C 2h	25.7	2.24	51.5	13.7
EmimOAc-treated cch at 110°C 2h	21.1	1.38	51.7	10.9
BmimCl-treated cch at 130°C 2h	24.7	1.99	54.9	17.1
EmimOAc-treated cch at 130°C 2h	27.2	2.13	49.4	62.8

Note :

^a lignin (%) = acid-insoluble lignin (%) + acid-soluble lignin (%)

^b glucose recovery (%) = (maximum glucose released via enzymatic hydrolysis) / (theoretical glucose yield) x 100

ch = corn husk, cch = coconut husk

จากตารางที่ 2 พบว่าปริมาณกลูแคนในตัวอย่างเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวภายหลังการปรับสภาพมีปริมาณไม่แตกต่างจากก่อนปรับสภาพอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณไซโลสภายหลังการปรับสภาพแล้วจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยในเปลือกข้าวโพดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.16 - 1.18 ในขณะที่ในเปลือกมะพร้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.03 - 0.42 ซึ่งสามารถอธิบายการเพิ่มขึ้นของปริมาณไซแลนได้ว่าขณะทำการปรับสภาพนั้นบางส่วนของเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในชีวมวลละลายออกมาในของเหลวไอออนิก ดังนั้นภายหลังการปรับสภาพจึงทำให้ปริมาณไซแลนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าของเหลวไอออนิกทั้งสองชนิด เมื่อใช้ปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าว ณ สภาวะเดียวกันคือที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะสามารถเพิ่มร้อยละคืนกลับของน้ำตาลกลูโคสได้สูงกว่าโดยสภาวะดังกล่าว เปลือกข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพ

ด้วย EmimOAc จะให้ผลผลิตน้ำตาลสูงกว่า BmimCl ร้อยละ 10 และมากกว่าเปลือกข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพประมาณ 3 เท่า ในขณะที่การปรับสภาพด้วย BmimCl จะให้ผลผลิตน้ำตาลมากกว่าเปลือกข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ 2 เท่า ส่วนเปลือกมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วย EmimOAc จะให้ผลผลิตน้ำตาลสูงกว่า BmimCl เช่นกันโดยมากกว่าเปลือกมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพถึง 11 และ 3 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้การปรับสภาพโดยใช้ของเหลวไอออนิกยังสามารถละลายลิกนินออกจากโครงสร้างชีวมวลโดยปริมาณลิกนินที่มีอยู่ในโครงสร้างของเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวลดลงร้อยละ 9.2 และ 14.6 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลนี้สามารถใช้อธิบายสีของของเหลวไอออนิกที่เข้มข้นภายหลังการปรับสภาพว่าเป็นสีของลิกนิน ดังแสดงในรูปที่ 1

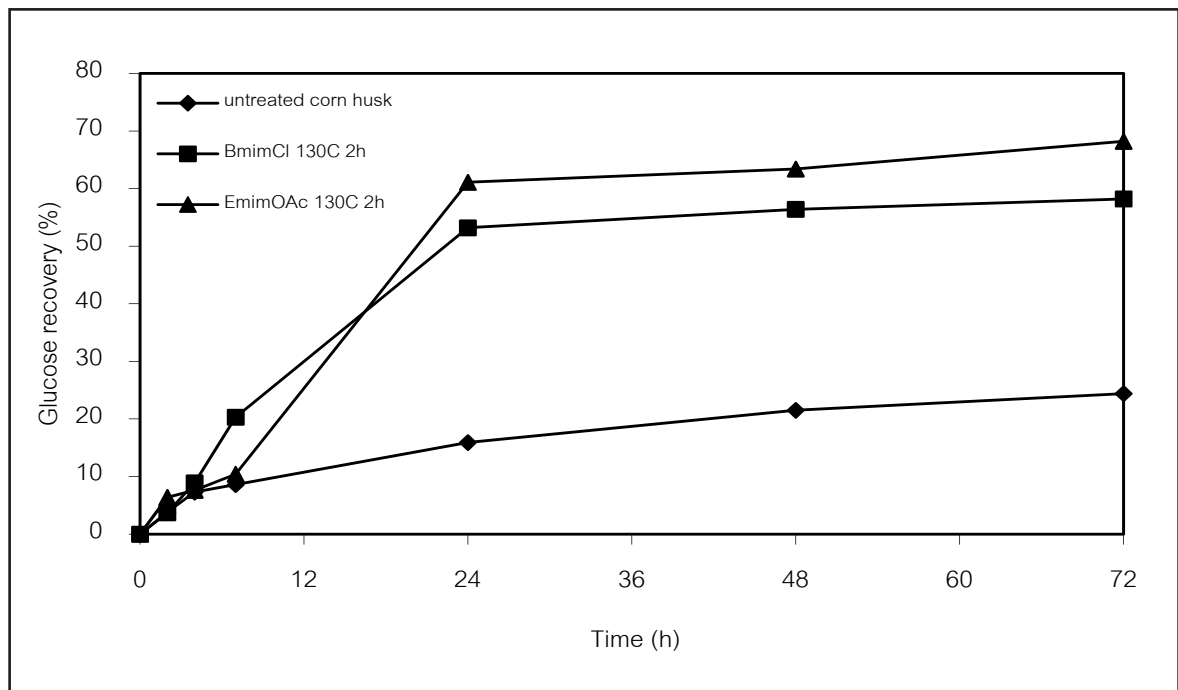


Figure 4 Glucose recovery of untreated and ionic liquid-pretreated corn husk

รูปที่ 3 และ 4 แสดงร้อยละคืนกลับของน้ำตาลกลูโคสจากเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าว ณ เวลาที่ร้อยละ คืนกลับของน้ำตาลกลูโคสจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงในช่วงระยะเริ่มต้นและค่อยๆ ลดลงจนคงที่เมื่อเวลาผ่านไป เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวจะพบว่าผลผลิตน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากเปลือกมะพร้าวจะต่ำกว่าเปลือกข้าวโพด ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าโดยธรรมชาติขององค์ประกอบในเปลือกมะพร้าวนั้นมีปริมาณเซลลูโลสน้อยกว่าเปลือกข้าวโพด

ยิ่งไปกว่านั้นยังมีปริมาณลิกนินที่สูงถึงร้อยละ 64 ซึ่งส่วนของลิกนินนั้นไม่สามารถใช้ผลิตเป็นน้ำตาลได้ และยังเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้เอนไซม์เข้าถึงพื้นที่การทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้ยากขึ้นดังนั้นจึงได้ผลผลิตน้ำตาลต่ำกว่าเปลือกข้าวโพด และหากต้องการเพิ่มผลผลิตน้ำตาลกลูโคสจากเปลือกมะพร้าวให้เพิ่มสูงขึ้น แนวทางการศึกษาต่อไปคือการขจัดลิกนินในเปลือกมะพร้าวให้มีปริมาณลดลงโดยใช้วิธีอื่นก่อนแล้วจึงทำการปรับสภาพด้วยของเหลวไอออนิก

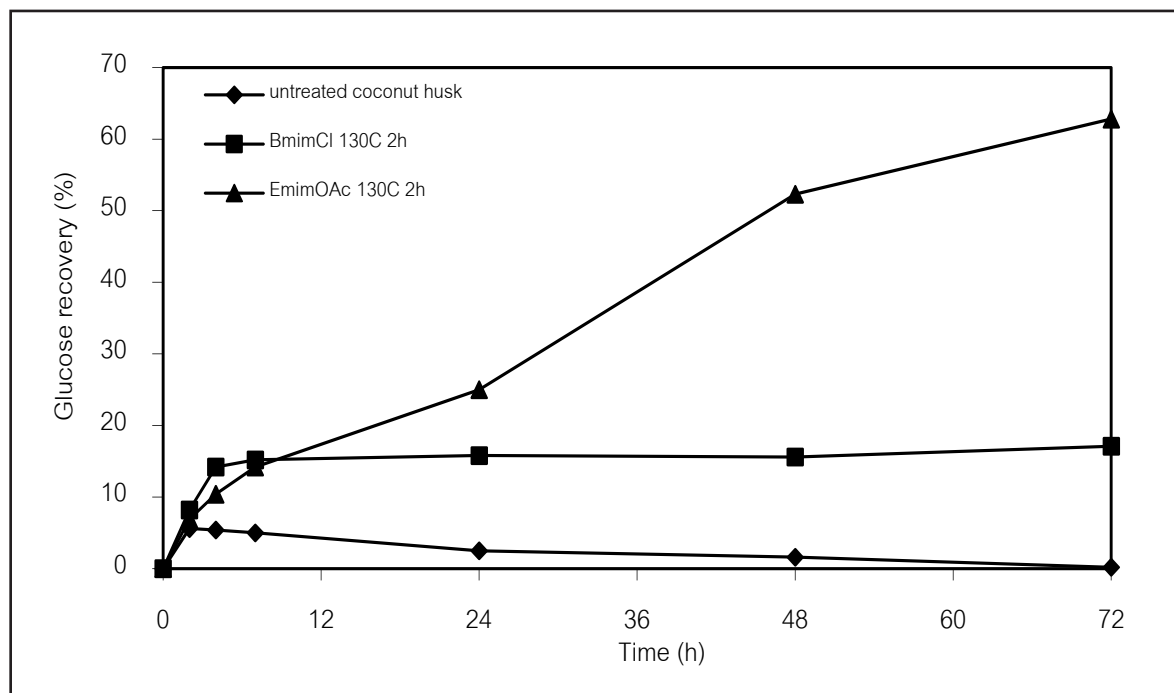


Figure 5 Glucose recovery of untreated and ionic liquid-pretreated coconut husk

4. สรุป (Conclusion)

การปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าวด้วยของเหลวไอออนิกสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำตาลกลูโคสเมื่อผ่านขั้นตอนการย่อยด้วยเอนไซม์สูงขึ้นได้ โดยสภาวะการปรับสภาพที่ให้ผลผลิตน้ำตาลกลูโคสสูงสุดในชีวมวลทั้งสองชนิดคือที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และของเหลวไอออนิกชนิด EmimOAc จะให้ผลผลิตน้ำตาลที่สูงกว่า BmimCl

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนทุนวิจัยตลอดโครงการนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักเทคโนโลยีชุมชนและโครงการเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการที่อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือในงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Dadi, A.P., Varanasi, S. and Schall, C.A. "Enhancement of cellulose saccharification kinetics using an ionic liquid pretreatment step." *Biotechnol. Bioeng.* 2006, 95, 904-10.
- [2] Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y., Holtzapple, M. and Ladisch, M. "Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass." *Bioresour. Technol.* 2005, 96, 673-86.
- [3] Swatloski, R.P., Spear, S.K., Holbrey, J.D. and Rogers, R.D. "Dissolution of cellulose with ionic liquids." *J. Am. Chem. Soc.*, 2002, 124, 4974-75.
- [4] NREL, Chemical analysis and testing laboratory analytical procedure (CAT). Golden, CO, USA: National Renewable Energy Laboratory; 2004.
- [5] Zhu., L., O'Dwyer, J.P., Chang, V.S., Granda, C.B. and Holtzapple, M.T. "Structural features affecting biomass enzymatic digestibility." *Bioresour. Technol.*, 2008, 99, 3817-28.
- [6] Zhao, H., Jones, C.L., Baker, G.A., Xia, S., Olubajo, O. and Person, V.N. "Regenerating cellulose from ionic liquids for an accelerated enzymatic hydrolysis." *J. Biotechnol.*, 2009, 139, 47-54.
- [7] Narendra, R. and Yiqi, Y. "Method of making natural cellulosic fiber bundles from cellulosic source." United State Patent, 2001, US 7887672 B2
- [8] Pilanee, V., Waraporn, A., Nanthaya, C., Wuttinunt, K. and Sarima, S. "The potential of coconut husk utilization for bioethanol production." *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, 2011, 45, 159-64.

การดูดซับปรอทในน้ำสังเคราะห์ด้วยเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า

Adsorption of mercury contaminated synthetic water by fly ash from coal fired power plant

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

บทคัดย่อ

การนำเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ด้านการกำจัดของเสียทำได้หลายวิธี เช่น การนำไปเป็นวัสดุร่วมการหล่อแข็ง การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ในงานวิจัยนี้ได้นำเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์โดยใช้เถ้าลอยเป็นสารดูดซับปรอทในน้ำสังเคราะห์ โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเถ้าลอยในการดูดซับปรอทที่ความเข้มข้นต่ำในน้ำสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนสารปรอทที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ปฏิริยาการดูดซับของเถ้าลอยจะเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง สภาวะที่เหมาะสม คือปริมาณเถ้าลอย 10 กรัมต่อสารละลายปรอท 1 ลิตร ที่ pH 7.0-8.0 เถ้าลอยดังกล่าวสามารถดูดซับสารละลายปรอทได้ 3.5 มิลลิกรัมต่อกรัมเถ้าลอย (น้ำหนักแห้ง) เมื่อนำเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการดูดซับปรอทมาทดสอบหาค่าการชะ พบว่าปริมาณปรอทที่ถูกชะออกมาต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดที่กำหนดไว้ที่น้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการศึกษานี้แสดงว่าเถ้าลอยสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสารละลายปรอทความเข้มข้นต่ำในน้ำสังเคราะห์ได้

Abstract

Fly ash from the coal fired power plant can be applied to many methods of solid waste disposal such as solidification, used as combined material in construction industries and etc. The adsorption equilibrium was reached after 96 hours. The adsorption capacity of the fly ash for Hg (II) was found to be 3.5 mg g⁻¹ of dry ash. The absorption isotherms with pH from 7.0 to 8.0 and used 10 g of fly ash per 1 l of initial Hg concentration were the optimize condition. The leaching test of mercury bond fly ash is lower than legal concentration (less than 2 mg/l). The results indicated that fly ash from coal fired power plant can be used to stabilize low concentration of mercury in aquatic condition.

คำสำคัญ : ปรอท, เถ้าลอย, การดูดซับปรอท

Keywords : Mercury, Fly ash, Adsorption

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

กระบวนการเผาไหม้ถ่านหินเพื่อนำความร้อนที่ได้ไปผลิตกระแสไฟฟ้านั้น นอกจากจะได้ความร้อนเพื่อนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าแล้ว ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าชนิดนี้คือ แก๊สลอยและเถ้าหนัก ที่เหลือจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ในขณะเผาไหม้ยังก่อให้เกิดสารปรอทปนเปื้อนออกมาด้วย ทั้งนี้ส่วนประกอบของเถ้าทั้งสองประเภท และปริมาณของปรอทจะขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านหินที่นำมาใช้รวมทั้งสภาวะของการเผาไหม้ด้วย

ปรอทเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปของสารประกอบของปรอทที่อยู่ในรูป methyl mercury โดย methyl mercury ที่เข้าสู่ร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมจะไปทำลายระบบประสาทส่วนกลาง อาการของโรคที่เกิดขึ้นมีได้หลายอาการขึ้นอยู่กับส่วนของระบบประสาทที่ถูกทำลาย เช่น ประสิทธิภาพการมองเห็นลดลง การเสียการทรงตัวและถึงแก่ชีวิต เมื่อปรอทปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมและเกิดปฏิกิริยา methylation ได้เป็น methyl mercury และเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร เมื่อมนุษย์บริโภคอาหารที่ปนเปื้อนด้วยสารประกอบนี้ จะทำให้เกิดโรคมินามะตะได้ ทั้งนี้ระดับความรุนแรงของโรคจะขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ

ในปี พ.ศ. 2547 Pacyna and Munthe(1) กล่าวว่าทวีปเอเชีย ปล่อยปล่อยปรอทออกสู่สิ่งแวดล้อมสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 53 ของโลก รองลงมาได้แก่ทวีปแอฟริกา คิดเป็นร้อยละ 18 และในปีต่อมา Jaffe และคณะ (2) กล่าวว่าทวีปเอเชียปล่อยปล่อยปรอทออกสู่สิ่งแวดล้อมมากกว่า 1,000 ตันต่อปี ในปี พ.ศ.2546 The United States Environmental Protection Agency (USEPA) (3) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ออกกฎหมายเพื่อควบคุมปริมาณสารมลพิษดังกล่าวโดยกำหนดให้ผู้ก่อกำเนิดจำเป็นต้องติดตั้งระบบบำบัดอากาศก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับในประเทศไทย ได้มีการออกกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับกากของเสียซึ่งออกโดยกรมโรงงาน

อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เรียกว่า “ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว”(4) โดยกฎกระทรวงดังกล่าวได้ประกาศใช้ตั้งแต่ปีพ.ศ.2540 และมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขครั้งล่าสุดเมื่อปี พ.ศ.2548 ซึ่งในประกาศฉบับนี้ได้กำหนดให้แก๊สลอยจากโรงไฟฟ้าเป็นกากของเสียประเภทหนึ่งที่ต้องทดสอบความเป็นพิษก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ปัจจุบันมีการนำแก๊สลอยที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินดังกล่าวไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น การนำไปใช้เป็นวัสดุผสมร่วมกับซีเมนต์เพื่อตรึงโลหะหนัก การนำไปใช้ประโยชน์ด้านการก่อสร้าง หรือการนำไปใช้เป็นตัวดูดซับโลหะหนักโดยตรง เป็นต้น

ในการศึกษาค้นคว้าได้นำเอาแก๊สลอยจากโรงไฟฟ้าเพื่อนำมาดูดซับสารปรอทในน้ำสังเคราะห์ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ โดยศึกษาถึง ระยะเวลา pH และความสามารถในการดูดซับ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาปริมาณสารปรอทในน้ำชะจากแก๊สลอยที่ผ่านกระบวนการดูดซับที่เกิดจากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 การศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาการดูดซับเข้าสู่สมดุล

2.1.1 เตรียมน้ำสังเคราะห์ที่มีปรอทเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เติม 100 มิลลิลิตรของน้ำสังเคราะห์ใส่ในขวดทดลองที่บรรจุ 25 มิลลิกรัมของแก๊สลอยจำนวน 7 ขวด ปิดฝาให้สนิทนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า

2.1.2 นำตัวอย่างครั้งละ 1 ขวดมาทดสอบหาปริมาณปรอทที่เหลืออยู่ในสารละลาย เมื่อครบกำหนด 24, 48, 72, 96, 120, 144 และ 168 ชั่วโมงตามลำดับ โดยการทดสอบหาปริมาณปรอทในการศึกษานี้ใช้เครื่อง Mercury Analyzer ภายใต้หลักการของ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometer: CVAAS

2.1.3 นำปริมาณปรอทที่เหลืออยู่ในสารละลายมาคำนวณหาปริมาณปรอทที่ถูกกำจัดออกไป

2.1.4 นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างร้อยละของปรอทที่ถูกกำจัดกับเวลา

2.2 การศึกษาปริมาณเถ้าลอยและ pH ที่เหมาะสม

2.2.1 เตรียมน้ำสังเคราะห์ที่มีปรอทเข้มข้น 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เติม 100 มิลลิลิตรของน้ำสังเคราะห์ใส่ในขวดทดลองที่บรรจุ 1, 3, 5, 10, 20 และ 30 กรัมของเถ้าลอย จำนวนความเข้มข้นละ 3 ขวด ปิดฝาให้สนิทนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 96 ชั่วโมง แต่ละชุดของการทดลองปรับค่า pH เป็น 6.0, 7.0 และ 8.0

2.2.2 นำตัวอย่างไปทดสอบหาปริมาณปรอทที่เหลืออยู่ในสารละลาย

2.2.3 เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของเถ้าลอยกับปริมาณปรอทที่ถูกกำจัดออกไป

2.3 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ

2.3.1 เตรียมน้ำสังเคราะห์ที่มีปรอทเข้มข้น 0, 30, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เติม 100 มิลลิลิตรของน้ำสังเคราะห์ใส่ในขวดทดลองที่บรรจุ 10 กรัมของเถ้าลอย จำนวนความเข้มข้นละ 3 ขวด ปิดฝาให้สนิทนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 96 ชั่วโมง แต่ละชุดของการทดลองปรับค่า pH เป็น 6.0, 7.0 และ 8.0

2.3.2 นำสารละลายมาทดสอบหาปริมาณปรอทที่เหลืออยู่ในสารละลาย

2.3.3 เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของน้ำสังเคราะห์ที่มีปรอทกับปริมาณปรอทที่ถูกดูดซับ

2.4 การศึกษาปริมาณปรอทที่ถูกชะออกจากเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการดูดซับ

2.4.1 รวบรวมเถ้าลอยที่ได้จากการทดลองทั้งหมดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปขัง ใส่ขวดโดยใช้สัดส่วนเถ้าลอย 10 กรัมต่อน้ำสกัด 1 ลิตร นำไปเขย่าเป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ส่วนที่สองนำไปผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปขังใส่ขวดในสัดส่วนเถ้าลอย 10 กรัมต่อน้ำสกัด 1 ลิตร นำไปเขย่าเป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

2.4.2 นำของผสมไปกรองและทดสอบหาปริมาณปรอทที่ถูกชะออกมา

2.4.3 เขียนกราฟระหว่างเวลาที่ให้กับปริมาณปรอทที่ถูกชะออกมา

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาการดูดซับเข้าสู่สมดุล

Figure 1 แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายปรอทสังเคราะห์ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้เถ้าลอย 0.025 มิลลิกรัม ที่สภาวะนี้ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาการดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ 96 ชั่วโมง ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 96 ชั่วโมง

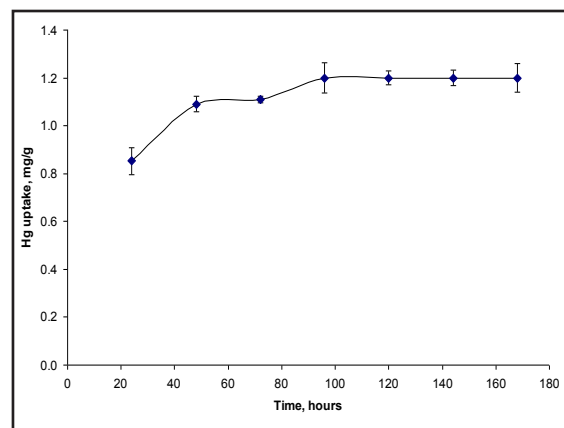


Figure 1 Equilibrium time for the adsorption of Hg from 100 ml solution of 0.5 mg l^{-1} of mercury onto 0.025 g of fly ash

3.2 การศึกษาปริมาณเถ้าลอยและ pH ที่เหมาะสม

ผลจากการทดลองปริมาณเถ้าลอยและ pH ที่เหมาะสม โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายปรอทสังเคราะห์ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณเถ้าลอย 1, 3, 5, 10, 20 และ 30 กรัม Figure 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณปรอทที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นโดยมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าลอยกับปรอทที่ถูกดูดซับเป็นแบบเส้นตรง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยขึ้นไปจนมากกว่า 10 กรัม ปริมาณปรอทที่ถูกดูดซับเริ่มคงที่ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณปรอทที่ถูกดูดซับที่ pH ของสารละลาย 6.0, 7.0 และ 8.0 พบว่าที่ pH 7.0 ปรอทจะถูกดูดซับสูงสุด

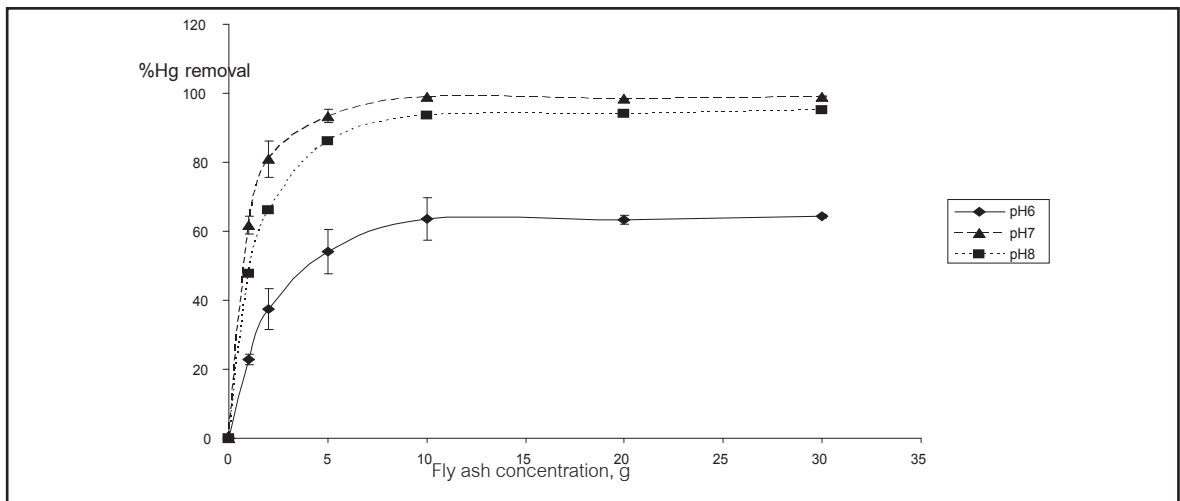


Figure 2 Effect of fly ash dosage on %Hg removal at 1.5 mg l^{-1} of initial Hg concentrations

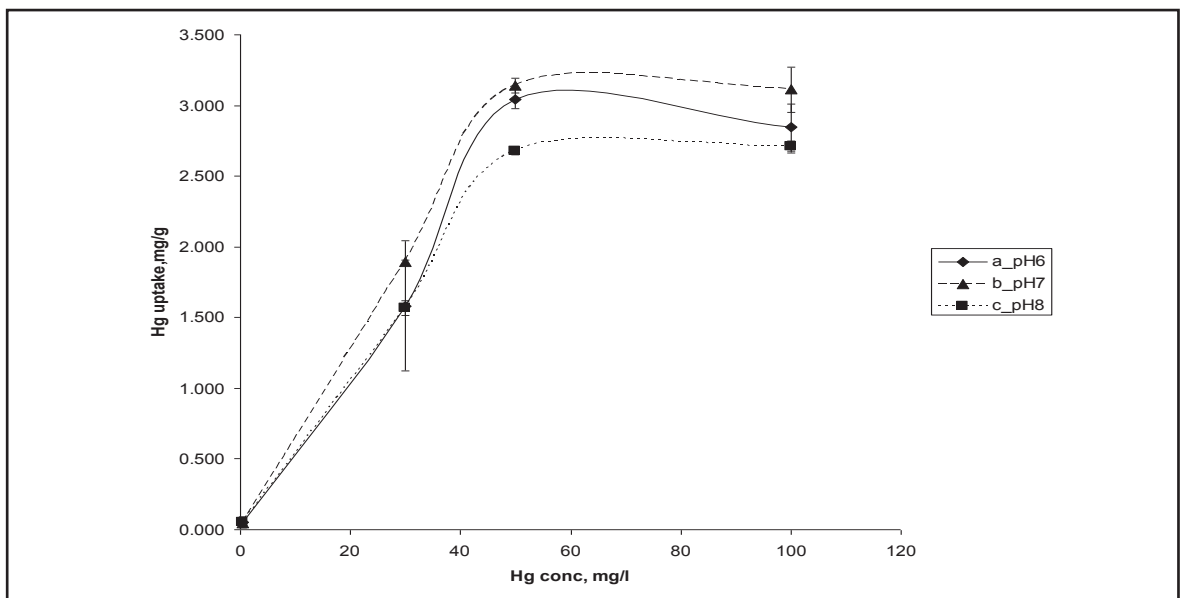


Figure 3 Uptake of Hg on 10 g fly ash from different initial Hg concentration in 1 l of solution at three pHs

3.3 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ

นำสภาวะที่ได้จากการศึกษาในข้อ 3.1 และ 3.2 มาทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับ โดยใช้ปริมาณเถ้าลอย 10 กรัม เปรียบเทียบปริมาณปรอทที่ถูกดูดซับที่ pH ของสารละลาย 6.0, 7.0 และ 8.0 พบว่าปรอทถูกดูดซับได้สูงสุดประมาณ 3.5 มิลลิกรัม pH 7.0 และลดลงเหลือประมาณ 3.0 มิลลิกรัมที่ pH 6.0 โดยที่ pH 8.0 ปรอทถูกดูดซับน้อยที่สุดอยู่ที่ประมาณ 2.5 มิลลิกรัม (แสดงใน Figure 3)

3.4 การศึกษาปริมาณปรอทที่ถูกชะออกจากเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการดูดซับ

Figure 4 แสดงให้เห็นว่าปรอทที่ถูกดูดซับด้วยเถ้าลอยและผ่านกระบวนการดูดซับทำให้แห้ง ด้วยการผึ่ง มีความสามารถตรึงปรอทได้ดีกว่าปรอทที่ถูกดูดซับด้วยเถ้าลอยเปียก โดยน้ำชะที่เกิดจากเถ้าลอยแห้งมีค่าประมาณ 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่เถ้าลอยเปียกให้ค่าการชะที่ 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร

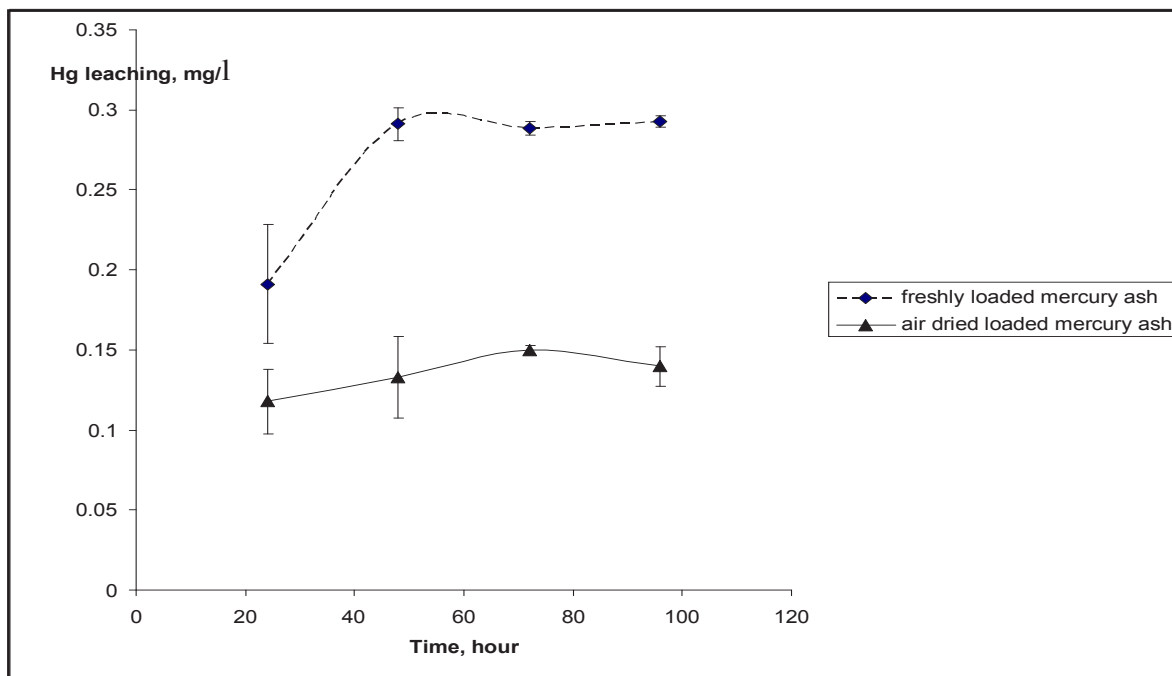


Figure 4 Time to equilibrium for percentage of mercury leaching from both wet and air dried samples of fly ash containing 3 mg Hg g^{-1}

4. สรุปผล (Conclusion)

เถ้าลอยที่เกิดจากโรงไฟฟ้าถ่านหินสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับละลายปรอทความเข้มข้นต่ำได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาการดูดซับ คือ เถ้าลอย 10 กรัมต่อลิตร สามารถกำจัดปรอทได้สูงสุดประมาณ 3.5 มิลลิกรัมปรอทต่อกรัมเถ้าลอย ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมงในสภาวะ pH เท่ากับ 7.0 เมื่อนำเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการดูดซับดังกล่าวไปทดสอบหาปริมาณปรอทที่ถูกชะ พบว่าปริมาณปรอทในน้ำชะมีค่า 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำสกัดสำหรับเถ้าลอยเปียก และ 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับเถ้าลอยผึ่งแห้ง โดยที่เกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายไทยกำหนดค่าการชะไว้ที่ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำสกัด อย่างไรก็ตามการใช้เถ้าลอยดูดซับสารปรอทในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ที่มีโลหะหนักอื่นปนเปื้อนด้วยจะต้องมีการศึกษาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนผลักดันให้การศึกษาวิจัยใน

ครั้งนี้สำเร็จบรรลุผลตามเป้าหมายทุกประการ

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- (1) Pacyna, E. G. & Pacyna, J. M. Global emission of mercury from anthropogenic sources in 1995. *Water Air Soil Pollut.* 2002, 137, 149-165.
- (2) Jaffe, D., Prestbo, E., Swartzendruber, P., Weiss-Penzias, P., Kato, S. & Takami, A. Export of atmospheric mercury from Asia. *Atmos Environ* 2005, 39, 3029-3038.
- (3) The United States Environmental Protection Agency, USEPA (1994) Background Information on Mercury Sources and Regulations.
- (4) กระทรวงอุตสาหกรรมกรมโรงงานอุตสาหกรรม, ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548, 54 หน้า

การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีทดสอบโครเมียม นิกเกิล แมงกานีส โมลิบดีนัม ซิลิคอน คาร์บอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ในเหล็กกล้าไร้สนิม โดยเทคนิคสเปกโตรเมตริก

Method validation for determination of chromium, nickel, manganese, molybdenum, silicon, carbon, phosphorous and sulfur in stainless steel using spark emission spectrometry

วันดี ลือสายวงศ์^{1*}, วรรณภา ตันยีนยงค์¹

Wandee Luesaiwong^{1*}, Vannapa Tanyuenyoung¹

บทคัดย่อ

เหล็กกล้าไร้สนิมหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า“สแตนเลส” คือโลหะผสมของเหล็กที่นิยมนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการอุปโภคในรูปแบบต่างๆ การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการพิจารณาว่าเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดใดสามารถใช้วิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM E 1086-08 (1) การที่ห้องปฏิบัติการจะนำวิธีทดสอบมาตรฐานนี้มาใช้เพื่อให้บริการด้านการทดสอบ ห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีตามข้อกำหนดของ ISO/IEC 17025 เพื่อพิจารณาว่าวิธีทดสอบเหมาะกับการใช้งานตามวัตถุประสงค์หรือไม่ โดยการพิสูจน์คุณลักษณะเฉพาะต่างๆ ของเทคนิคที่เลือกใช้ สำหรับการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีทดสอบปริมาณโครเมียม นิกเกิล แมงกานีส โมลิบดีนัม ซิลิคอน คาร์บอน ฟอสฟอรัส และกำมะถันในเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยเทคนิคสเปกโตรเมตริก ต้องทดสอบคุณลักษณะ เฉพาะของวิธี (performance characteristics) ที่สำคัญคือ ขีดจำกัดในการตรวจหา (limit of detection, LOD) ขีดจำกัดในการวัดปริมาณ (limit of quantitation, LOQ) ช่วงการใช้งาน (working range) การทดสอบความลำเอียง (bias) ความเที่ยง (precision) และการทดสอบความคลาดเคลื่อน (drift or long-term stability) การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีจะทำให้มั่นใจว่าวิธีทดสอบนี้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้งาน และสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบปริมาณธาตุในโลหะนั้นๆ ได้จากการศึกษาค่าขีดจำกัดในการตรวจหาและขีดจำกัดในการวัดปริมาณ ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในปริมาณน้อยต่างๆ คือ ซิลิคอน คาร์บอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน พบว่าขีดจำกัดในการตรวจหาและขีดจำกัดในการวัดปริมาณของธาตุเหล่านี้ไม่เกิน 12 และ 61 ส่วนในล้านส่วน สำหรับการศึกษาลำเอียงและความเที่ยงของธาตุทั้ง 8 ชนิด พบว่ามีค่าคืนกลับอยู่ในช่วงร้อยละ 92-105 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกินร้อยละ 8 ซึ่งค่าคืนกลับและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ และเมื่อคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของธาตุทั้งหมด พบว่ามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 ซึ่งเป็นค่าความไม่แน่นอนเป้าหมายสูงสุดที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงสรุปว่าวิธีทดสอบนี้เหมาะกับการใช้งานตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ : ความสมเหตุสมผลของวิธีทดสอบ, สเปกโตรเมตริก, เหล็กกล้าไร้สนิม

Keywords : Method validation, Spark emission spectrometry, Stainless steel

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

Abstract

Stainless steel is iron alloy which is widely used to produce a variety of consumer products. Analysis of chemical compositions which can be used as complementary information to consider type of stainless steel can be performed by standard test method for Atomic Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Stainless Steel by Point-to-Plane Excitation Technique. E 1086-08 in Annual book of ASTM standard (1). To use this standard test method in testing laboratory, it is necessary that the laboratory has to validate this test method according to the requirement of ISO/IEC 17025 to evaluate if the validated method is fit for intended use. Method validation for the determination of chromium, nickel, manganese, molybdenum, silicon, carbon, phosphorous and sulfur in stainless steel using spark emission spectrometry technique can be done through proofing of certain performance characteristics which are limit of detection (LOD), limit of quantitation (LOQ), working range, bias, precision and drift (or long-term stability). Then information obtained from the method validation can be used to assess competence of the laboratory and to estimate measurement of uncertainty of the method. It was found that LODs and LOQs of trace elements (Si, C, P and S) in stainless steel are less than 12 and 61 ppm. For bias study recoveries of eight elements were 92-105 %, while relative standard deviations from precision study of these elements were less than 8 %. The expanded uncertainties of eight elements, at the confidence level of 95 %, by this method were less than 20 % which is the maximum target uncertainty. Therefore this validated method is fit for intended use.

1. บทนำ (Introduction)

เหล็กกล้าไร้สนิมหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า “สแตนเลส” คือโลหะผสมของเหล็กที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก และมีธาตุอื่นๆ เช่น โครเมียม (อย่างน้อยร้อยละ 10.5) นิกเกิล และโมลิบดีนัมรวมอยู่ด้วย การที่เหล็กกล้าไร้สนิมไม่เป็นสนิมเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนในอากาศกับโครเมียมในเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดเป็นฟิล์มบางๆ ของโครเมียมออกไซด์เคลือบผิวไว้ ฟิล์มนี้จะทำหน้าที่ปกป้องการเกิดความเสียหายให้กับผิวเหล็กกล้าไร้สนิมได้เป็นอย่างดี ทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมได้รับความนิยมในการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการอุปโภคในรูปแบบต่างๆ สำหรับการให้บริการทดสอบเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าไร้สนิมในห้องปฏิบัติการของกลุ่มโลหะและธาตุปริมาณน้อย โครงการเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ หากตัวอย่างมีพื้นที่ผิวอย่างน้อย 4 ตารางเซนติเมตรและความหนาอย่างน้อย 0.4 มิลลิเมตร วิธีทดสอบที่ห้องปฏิบัติการเลือกใช้คือการทดสอบตัวอย่างตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM E 1086-08 (1) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานการทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิมโดยเทคนิคอะตอมมิกอิมิสชันสเปกโทรเมตรี โดยห้องปฏิบัติการเลือกใช้เทคนิคสปร้ากอิมิสชันสเปกโทรเมตรี ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคนิคอะตอมมิกอิมิสชันสเปกโทรเมตรี ที่สามารถใช้เพื่อทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบหลัก องค์ประกอบรอง และสารปนเปื้อนในโลหะและตัวอย่างที่นำไฟฟ้าได้โดยตรงในสถานะของแข็ง ซึ่งเครื่องสปร้ากอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์สามารถให้ผลการทดสอบที่รวดเร็ว มีความเที่ยงในระดับความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของธาตุและมีความถูกต้องในระดับดี ซึ่งความถูกต้องจะขึ้นกับความเที่ยงของเครื่องมือคุณภาพของวัสดุอ้างอิงที่ใช้และกระบวนการสร้างกราฟมาตรฐาน (2)

การที่ห้องปฏิบัติการจะนำวิธีทดสอบมาตรฐานดังกล่าวมาใช้เพื่อให้บริการด้านการทดสอบ ห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องตรวจสอบความสมเหตุสมผล ของวิธี

ตามข้อกำหนดของ ISO/IEC 17025 เพื่อพิจารณาว่าห้องปฏิบัติการมีความสามารถที่จะใช้วิธีทดสอบนี้ตามวัตถุประสงค์การใช้งานที่กำหนดไว้หรือไม่ สำหรับการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีการทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิมโดยเทคนิคอะตอมมิกอิมิสชันสเปกโทรเมตรี ทำโดยการทดสอบคุณลักษณะเฉพาะต่างๆ คือ ขีดจำกัดในการตรวจหาขีดจำกัดในการวัดปริมาณ ช่วงการใช้งาน ความลำเอียง ความเที่ยง และความคลาดเคลื่อน ซึ่งข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีเหล่านี้นอกจากจะทำให้ทราบความสามารถของห้องปฏิบัติการ ยังสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบปริมาณธาตุต่างๆ ในเหล็กกล้าไร้สนิมได้ด้วย (3)

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 เครื่องมือ

2.1.1 เครื่องสปร้ากอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ Model ARL 4460, Thermo Fisher Scientific Inc. พร้อมอุปกรณ์

2.1.2 เครื่องขัด 6" Belt and 9" Disc Sander, Reliant Machinery Ltd. พร้อมอุปกรณ์

2.2 วัสดุอ้างอิงและวัสดุอุปกรณ์

2.2.1 วัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรอง No. SS 464/1, SS 466/1, SS 467/1, SS 472, SS473, ECRM 272-1, IARM 17C, IARM 23C, IARM 21C และ IARM 212B

2.2.2 แก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์ร้อยละ ไม่น้อยกว่า 99.997

2.2.3 ตัวอย่าง มีลักษณะเป็นโลหะแผ่นเรียบหรือสามารถทำให้เป็นแผ่นเรียบได้ ขนาดไม่น้อยกว่า 2 x 2 เซนติเมตร และความหนาไม่น้อยกว่า 0.4 มิลลิเมตร

2.3 วิธีการทดสอบด้วยเครื่องสปร้ากอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์

2.3.1 ขัดผิวหน้าของตัวอย่าง วัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรองด้วยเครื่องขัดเพื่อให้มีผิวเรียบ

2.3.2 เปิดเครื่องและอุ่นเครื่องอย่างน้อย 4 ชั่วโมง

2.3.3 เลือกวิธีทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม และทำการเทียบมาตรฐาน (Standardization) โดยสปาร์กวีสดูอ้างอิงและวัสดุ

อ้างอิงรับรองตามลำดับดังนี้ SS 464/1, SS 467/1, SS 472, SS 473, ECRM 272-1, IARM 17C, IARM 212B,

IARM 23C และ IARM 21C โดยทำการสปาร์ก 3 จุด หาค่าเฉลี่ยและร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

2.3.4 ทวนสอบการเทียบมาตรฐานโดยสปาร์กวีสดูอ้างอิงรับรอง SS 464/1 และ SS 464/1 โดยทำการสปาร์ก 3 จุด หาค่าเฉลี่ยและ ร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ โดยค่าเฉลี่ยและร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.3.5 ทดสอบตัวอย่างโดยทำการสปาร์ก 3 จุด หาค่าเฉลี่ยและร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

2.4 การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีทดสอบ

การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของวิธีของเทคนิคสปาร์กอิมิสชันสเปกโทรเมตรี ทำโดยการทดสอบคุณลักษณะเฉพาะต่างๆ ที่สำคัญของเทคนิคนี้คือ ขีดจำกัดในการตรวจหา ขีดจำกัดในการวัดปริมาณ ช่วงการใช้งาน ความลำเอียง ความเที่ยง และความคลาดเคลื่อน (4) โดยขีดจำกัดในการตรวจหาเป็นการวัดปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดของธาตุที่สามารถตรวจวัดที่ความยาวคลื่นเฉพาะของธาตุนั้น การหาค่าขีดจำกัดในการตรวจหาทำโดยการนำค่าบีอีซี (background equivalent concentration, BEC) ของแต่ละธาตุจากกราฟมาตรฐานของธาตุนั้นมาคำนวณขีดจำกัดในการตรวจหาตามสมการ

$$LOD = BEC/30$$

การหาขีดจำกัดการวัดปริมาณซึ่งเป็นคุณลักษณะที่บอกถึงความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวัดปริมาณโดยวิธีทดสอบได้อย่างมีความถูกต้องและความเที่ยง ในกรณีของการทดสอบธาตุด้วยเครื่องสปาร์กอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ ขีดจำกัดในการวัดปริมาณ

มีค่าประมาณ 5-10 เท่าของค่าขีดจำกัดการตรวจหา การทดสอบขีดจำกัดในการวัดปริมาณ ทำโดยการทดสอบโลหะวัสดุอ้างอิง หรือโลหะวัสดุอ้างอิงรับรอง ตามขั้นตอนการทดสอบตัวอย่าง จำนวน 10 ครั้ง จากนั้นคำนวณค่าคืนกลับและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เกณฑ์การยอมรับของขีดจำกัดการวัดปริมาณพิจารณาจากความถูกต้อง ความเที่ยง และค่าความไม่แน่นอนของการวัด

การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับเทคนิคสปาร์กอิมิสชันสเปกโทรเมตรีทำโดยใช้ชุดของวัสดุอ้างอิง/วัสดุอ้างอิงรับรองที่มีเมตริกซ์เดียวกับตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ซึ่งกราฟมาตรฐานที่ได้อาจเป็นสมการเส้นตรงหรือสมการพหุนามเมื่อยกกำลัง 2 หรือ 3 และช่วงการใช้งานคือช่วงความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ที่สามารถทำการทดสอบได้โดยมีค่าความถูกต้องและความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยช่วงการใช้งานเป็นช่วงที่ใช้การทดสอบความลำเอียงและความเที่ยง และเป็นช่วงความเข้มข้นของแต่ละธาตุที่ต้องอยู่ในกราฟมาตรฐานของธาตุนั้นๆ

การทดสอบความลำเอียงทำโดยการทดสอบวัสดุอ้างอิง/วัสดุอ้างอิงรับรองที่มีค่าของธาตุที่ต้องการทดสอบครอบคลุม ช่วงความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง ตามขั้นตอนการทดสอบตัวอย่าง โดยแต่ละความเข้มข้นทำการทดสอบอย่างน้อย 10 ครั้ง ทำการตรวจสอบค่าที่ทดสอบได้ว่ามีค่าใดเป็น outlier หรือไม่ จากนั้นนำผลการทดสอบมาคำนวณค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าคืนกลับของแต่ละตัวอย่างที่วัด และค่าคืนกลับในรูปค่าคืนกลับเฉลี่ยของผลการวัดที่ครอบคลุมช่วงความเข้มข้นและเมตริกซ์ โดยค่าคืนกลับที่ยอมรับได้ต้องไม่แตกต่างจาก 1 สำหรับการคำนวณค่าคืนกลับของแต่ละตัวอย่างที่วัดทำโดยคำนวณผลการทดสอบแต่ละครั้งที่แต่ละความเข้มข้นในรูปของค่าคืนกลับ คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าคืนกลับที่แต่ละความเข้มข้น และหาค่าเฉลี่ยของค่าคืนกลับเฉลี่ย (3.5)

การทดสอบความเที่ยง ทำโดยการทดสอบวัสดุอ้างอิง/วัสดุอ้างอิงรับรองตามขั้นตอนการทดสอบ

ตัวอย่าง โดยแต่ละความเข้มข้นทำการทดสอบอย่างน้อย 10 ครั้ง (ในการศึกษานี้ ทำ 20 ครั้ง) จากนั้นคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและร้อยละของความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (3,5) ส่วนการทดสอบความคลาดเคลื่อน (drift) หรือความเสถียรในระยะยาว (long-term stability) คือการทดสอบความเที่ยงอีกแบบหนึ่งที่ใช้พิจารณาทางสถิติเพื่อดูว่าผลการทดสอบเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างเป็นระบบหรือไม่ การศึกษาความคลาดเคลื่อนทำโดยการทดสอบตัวอย่างเดียวกันตามขั้นตอนการทดสอบตัวอย่าง ในช่วงของ 1 วันทำงาน จากนั้นเปรียบเทียบค่าความแตกต่างที่ต่อเนื่องของค่าเฉลี่ยกับความแปรปรวนมาตรฐาน (standard variance, s^2) ที่รู้จักกันในชื่อของ Neumann test (6) ซึ่งเป็นการคำนวณค่า η ตามสมการ

$$\eta = \frac{1}{(n-1)s^2} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2$$

เมื่อ x_i คือผลการวัดแต่ละครั้งตามเวลา

$(n-1)$ คือจำนวนของความแตกต่างที่ต่อเนื่องที่ใช้ในการคำนวณ

จากนั้นเปรียบเทียบค่า ที่คำนวณได้ (η_{cal}) กับค่า η_{crit} สำหรับจำนวนการวัดที่ทำ โดยถ้า η_{cal} น้อยกว่าค่า η_{crit} แสดงว่ามีความคลาดเคลื่อนในระดับความเชื่อมั่นที่ระบุ

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

ผลการศึกษาคูณลักษณะเฉพาะของวิธีทดสอบปริมาณโครเมียม นิกเกิล แมงกานีส โมลิบดีนัม ซิลิคอน คาร์บอน ฟอสฟอรัส และกำมะถันในเหล็กกล้าไร้สนิม โดยเทคนิคสปาร์กอีมิสชันสเปกโทรเมตริมีดังนี้ ชีดจำกัดในการตรวจหาและขีดจำกัดการวัดปริมาณที่ได้จากการคำนวณแสดงในตารางที่ 1 โดยการหาค่าขีด

จำกัดในการตรวจหาและขีดจำกัดการวัดปริมาณจะเฉพาะธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณน้อยคือ ซิลิคอน คาร์บอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ซึ่งคาร์บอนมีค่าขีดจำกัดในการตรวจหาและขีดจำกัดการวัดปริมาณสูงสุดคือ 12 และ 61 ส่วนในล้านส่วน ขณะที่ซิลิคอนมีค่าบีอีซี (BEC) จากกราฟมาตรฐานเป็นศูนย์จึงไม่สามารถคำนวณค่าขีดจำกัดในการตรวจหาและค่าขีดจำกัดการวัดปริมาณ ตารางที่ 2 แสดงช่วงการใช้งาน ร้อยละของค่าคืนกลับที่ได้จากการศึกษาความลำเอียง ร้อยละของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูงสุดที่ได้จากการศึกษาความเที่ยง และ η_{cal} ที่ได้จากการศึกษาความคลาดเคลื่อน โดยค่าคืนกลับของธาตุ 8 ธาตุอยู่ในช่วงร้อยละ 92-105 และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูงสุดของธาตุทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 8 ซึ่งค่าคืนกลับและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับของห้องปฏิบัติการคือค่าคืนกลับอยู่ในช่วงร้อยละ 80-120 และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกินร้อยละ 10 ขณะที่ผลการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนพบว่าค่า η_{cal} ของทุกธาตุมีค่ามากกว่าค่า η_{crit} แสดงว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนในระดับความเชื่อมั่นที่ระบุ ซึ่งการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเที่ยงของเครื่องสปาร์กอีมิสชันสเปกโทรมิเตอร์

ข้อมูลจากการศึกษาความลำเอียงและความเที่ยงรวมทั้งข้อมูลของ Standard Error of Estimate in Calibration (SEE) ที่ได้จากกราฟมาตรฐาน สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดธาตุต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 จากการคำนวณพบว่าร้อยละของค่าความไม่แน่นอนขยายของการวัดของทุกธาตุที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 ซึ่งเป็นค่าความไม่แน่นอนเป้าหมายสูงสุดที่กำหนดไว้ การประมาณค่าความไม่แน่นอนโดยใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบความสมเหตุสมผลในการศึกษานี้พบว่าค่าความไม่แน่นอนของธาตุต่างๆ ขึ้นกับค่าความไม่แน่นอนของธาตุนั้นๆ ในวัสดุอ้างอิงหรือวัสดุอ้างอิงรับรอง โดยที่เทคนิคที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่างในสถานะของแข็ง

Table 1 ขีดจำกัดในการตรวจหาและขีดจำกัดการวัดปริมาณของธาตุต่างๆ

ธาตุ	BEC	LOD = BEC/30 (ppm)	LOQ = LOD x 5 (ppm)
คาร์บอน (C)	0.03650	12	61
ฟอสฟอรัส (P)	0.00154	1	3
กำมะถัน (S)	0.00455	2	8
ซิลิคอน (Si)	0.00000	-	-

โดยตรงเช่น สเปกโตรมิเตอร์ สเปกโตรเมตรีจะมีข้อจำกัดในการจัดหาวัสดุอ้างอิงหรือวัสดุอ้างอิงรับรองเพื่อการสร้างกราฟมาตรฐาน และวัสดุอ้างอิงหรือวัสดุอ้างอิงรับรองที่หาได้อาจมีค่าความไม่แน่นอนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด นอกจากนี้ค่าความไม่แน่นอนจากแหล่งของความเที่ยงและกราฟมาตรฐานจะมีผลกระทบมากในกรณีที่เป็นธาตุที่มีความเข้มข้นสูงเช่นโครเมียม นิกเกิล และแมงกานีส ขณะที่ค่าความไม่แน่นอนจากแหล่งของความลำเอียงจะมีผลกระทบต่อธาตุที่มีปริมาณน้อย เช่น ฟอสฟอรัสและกำมะถัน

Table 2 คุณลักษณะเฉพาะต่างๆ ของวิธีทดสอบ

ธาตุ	ช่วงการใช้งาน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าคืนกลับ (ร้อยละ)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมพัทธ์สูงสุด (ร้อยละ)	η_{cal}
โครเมียม (Cr)	9.06 – 25.39	99.4 - 100.3	0.62	1.28
นิกเกิล (Ni)	5.61 – 20.05	99.4 - 100.4	0.81	1.39
แมงกานีส (Mn)	0.235 – 5.0	97.2 – 101.0	2.93	2.05
โมลิบดีนัม (Mo)	0.0464 – 3.25	99.6 – 101.9	2.38	2.37
ซิลิคอน (Si)	0.042 – 1.05	95.0 – 102.0	2.86	2.51
คาร์บอน (C)	0.023 – 0.2815	98.9 – 104.8	3.23	2.20
ฟอสฟอรัส (P)	0.007 – 0.032	96.8 – 103.7	5.25	1.84
กำมะถัน (S)	0.0038 – 0.030	92.9 – 102.9	7.72	1.14

หมายเหตุ : η_{crit} ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 1.02

Table 3 การประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดของธาตุต่างๆ

ธาตุ	ค่าความไม่แน่นอนขยาย ที่คำนวณได้ (ร้อยละ)	ค่าความไม่แน่นอน เป้าหมาย (ร้อยละ)
โครเมียม (Cr)	17.5	± 20
นิกเกิล (Ni)	19.3	± 20
แมงกานีส (Mn)	18.5	± 20
โมลิบดีนัม (Mo)	14.0	± 15
ซิลิคอน (Si)	11.0	± 15
คาร์บอน (C)	6.7	± 10
ฟอสฟอรัส (P)	12.1	± 15
กำมะถัน (S)	16.2	± 20

4. สรุป (Conclusion)

การศึกษานี้แสดงถึงการตรวจสอบความสมเหตุสมผล ของวิธีทดสอบปริมาณโครเมียม นิกเกิล แมงกานีส โมลิบดีนัม ซิลิคอน คาร์บอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ในเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยเทคนิคสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งผลจากการตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะต่างๆ แสดงว่าวิธีทดสอบเหมาะกับการใช้งานตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นวิธีทดสอบนี้จึงสามารถนำมาใช้ในงานปกติเพื่อให้บริการกับลูกค้า ซึ่งห้องปฏิบัติการได้ยื่นขอการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบตาม ISO/IEC 17025 แล้ว ในอนาคตหากห้องปฏิบัติการต้องการพัฒนาให้ผลการทดสอบมีค่าความไม่แน่นอนที่ดีขึ้นอาจต้องจัดหาวัสดุอ้างอิงเพิ่มเติมเพื่อลดค่าความไม่แน่นอนจากกราฟมาตรฐานและอาจทำการศึกษาการทดสอบความเที่ยงใหม่ในกรณีของธาตุที่ยังมีค่าร้อยละของความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูง

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้อำนวยการโครงการเคมีที่สนับสนุน ให้การศึกษานี้สำเร็จได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Atomic Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Stainless Steel by Point-to-Plane Excitation Technique. E 1086-08. In Annual book of ASTM standard: Section 3, Vol. 03.05 : ASTM, 2008, p. 598-602.
- [2] Thomsen, V. B. E. Modern Spectrochemical Analysis of Metals: An Introduction for Users of Arc/Spark Instrumentation. ASM International : The Materials Information Society, 1994.
- [3] V J Barwick 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.
- [4] Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods, A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics, First edition, Laboratory of the Government Chemist, London, United Kingdom, 1998.

(5) American Society for Testing and Materials. Standard Practice for Use of Statistics in the Evaluation of Spectrometric Data. E 876-Reapproved 94. In Annual book of ASTM standard: Section 3, Vol. 03.05: ASTM, 2002, p. 707-722.

(6) American Society for Testing and Materials. Standard Practice for Evaluating on Optical Emission Vacuum Spectrometer to Analyze Carbon and Low-Alloy Steel, E 1009-95 (Reapproved 2006). In Annual book of ASTM Section 3, Vol. 03.05. West Conshohocken : ASTM , 2008, p. 623-626.

การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ AOX ในน้ำทิ้งก่อนเข้าและออกจากระบบ บำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษในประเทศไทย

A comparison of the amount of AOX in effluent before entering and after leaving wastewater treatment system in pulp and paper mills in Thailand

ภูวดี ตูจินดา^{1*}, ก่อพงศ์ หงส์ศรี¹
Poovadee Tuchinda^{1*}, Korpong Hongsri¹

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษจัดว่าเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่มีผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากขั้นตอนการฟอกเยื่อซึ่งใช้คลอรีนและสารประกอบคลอรีนที่ก่อให้เกิดสารประกอบ AOX (Adsorbable Organic Halogen) มีความเป็นพิษสูง ไม่สลายตัวโดยธรรมชาติ และสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิต โรงงานผลิตเยื่อและกระดาษในประเทศไทยมากกว่าร้อยละ 80 ใช้คลอรีนและสารประกอบคลอรีนในการฟอกเยื่อ งานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบหาปริมาณสารประกอบ AOX ที่เกิดจากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษในน้ำทิ้งก่อนเข้าและหลังออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้ โดยเก็บตัวอย่างจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษทุกโรงงานภายในประเทศไทยซึ่งมีทั้งหมด 5 โรงงาน ดำเนินการทุก 3 เดือนเป็นระยะเวลา 3 ปี (2552-2554) พบว่า น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบในการผลิตมีปริมาณสารประกอบ AOX มากกว่าโรงงานที่ใช้ขานอ้อยเป็นวัตถุดิบโดยที่ทั้งสองโรงงานใช้คลอรีนไดออกไซด์เป็นสารเคมีในการฟอกขาวเหมือนกัน ส่วนโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ พบว่าโรงงานที่ใช้คลอรีนในการฟอกขาวจะมีปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำทิ้งมากกว่าโรงงานที่ใช้คลอรีนไดออกไซด์ โดยที่ฤดูกาลหรือปริมาณน้ำฝนในธรรมชาติไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำทิ้งจากระบวนการผลิต และน้ำทิ้งจากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว ปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างลดลง ซึ่งสำนักงานเลขาธิการโครงการฉลากเขียวได้นำข้อมูลจากงานวิจัยนี้ไปใช้ปรับปรุงข้อกำหนดฉลากเขียวผลิตภัณฑ์กระดาษที่มีการทบทวนใหม่ในปี พ.ศ. 2554

คำสำคัญ : น้ำทิ้ง, สารประกอบ, AOX, โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

Keywords : Effluent, Adsorbable Organic Halogen, AOX, Pulp and paper mills

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author E-mail address : poovadee@gmail.com

Abstract

Pulp and paper industry is one of the leading industries that has a high impact on environment, especially effluent from the bleaching process using chlorine and its compounds. The byproducts from this bleaching process are AOXs (Adsorbable organic halogen) which are very toxic, persistency and bioaccumulation. Over 80 percent of pulp and paper mills in Thailand use chlorine and its compounds as main chemicals in bleaching process, therefore, the objective of this research was to analyse the amount of AOX produced from the bleaching process in effluent before entering and after leaving wastewater treatment system and then compare those results. Effluent samples were collected from all 5 pulp mills in Thailand every 3 month for 3 years (2009-2011). It was found that, where using chlorine dioxide as the main bleaching chemical, there was more amount of AOX in the effluent from the pulp mills using eucalyptus as raw material than in the effluent from the pulp mills using bagasse as raw material. For those pulp mills using eucalyptus as raw material, there was more amount of AOX in the effluent from pulp mills using chlorine as the the main bleaching chemical than in the effluent from pulp mills using chlorine dioxide as the the main bleaching chemical. Season and rainfall had no effect on the amount of AOX in the effluent samples. It was also found that the amount of AOX in effluent decreased after leaving wastewater treatment system. The Thai Green Label had used the data from this research to modify its standard for paper products in 2011.mg g-1 of dry ash. The absorption isotherms with pH from 7.0 to 8.0 and used 10 g of fly ash per 1 l of initial Hg concentration were the optimize condition. The leaching test of mercury bond fly ash is lower than legal concentration (less than 2 mg/l). The results indicated that fly ash from coal fired power plant can be used to stabilize low concentration of mercury in aquatic condition.

1. บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษจัดได้ว่าเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของสิ่งแวดล้อม เพราะกรรมวิธีการผลิตกระดาษมีหลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนก็มีการปล่อยสารอันก่อให้เกิดมลพิษต่างๆ กัน โดยเฉพาะขั้นตอนฟอกเยื่อ ด้วยการกำจัดหรือเปลี่ยนสีลิกนินซึ่งเป็นสารสีน้ำตาลในเยื่อไม้ เพื่อให้เยื่อสีน้ำตาลกลายเป็นเยื่อสีขาวเหมาะสำหรับใช้ในกระดาษพิมพ์และเขียนประเภทต่างๆ ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้สารเคมีชนิดต่างๆ และสารเคมีที่กล่าวได้ว่าสามารถลดปริมาณลิกนินลงได้มาก ราคาไม่แพงและถูกใช้ในการฟอกเยื่อมานาน ได้แก่ คลอรีนและสารประกอบคลอรีน ถึงแม้ว่าการฟอกโดยใช้คลอรีนเป็นหลักจะเป็นผลดีในทางเศรษฐกิจ แต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างสูง เพราะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างคลอรีนกับลิกนิน จะทำให้เกิดสารประกอบคลอรีนเตตระออร์แกนิก (Chlorinated Organic Compounds) ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นพิษไม่สลายตัวตามธรรมชาติ และยังสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ด้วย (1, 2) สารพิษที่สำคัญที่สุดในบรรดาสารประกอบคลอรีนเตตระออร์แกนิกและเป็นตัวแปรเสริมที่สำคัญในการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมก็คือ สารประกอบ AOX (Adsorbable Organic Halogen หรือ Adsorbable Halogenated Organic Compounds) ซึ่งพบได้ในน้ำทิ้งที่ออกจากขั้นตอนการผลิต และถูกปล่อยออกจากโรงงานสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก

ปัจจุบันร้อยละ 80 ของโรงงานในประเทศไทยยังคงใช้คลอรีนและสารประกอบคลอรีนในขั้นตอนการฟอก ซึ่งแน่นอนว่าก่อให้เกิด AOX ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง หน่วยงานราชการ เช่น สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม เริ่มให้ความสำคัญกับดัชนี AOX ดังจะเห็นได้ว่าการพิจารณารายงานการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impact assessment : EIA) ต้องมีการติดตามตรวจสอบค่าสารประกอบนี้อย่างต่อเนื่อง และปัจจุบันโครงการฉลากเขียวได้เริ่มมี

การพิจารณากำหนดคุณภาพกระดาษโดยจะนำปริมาณ AOX มาเป็นตัวกำหนดด้วย (3) กลุ่มเยื่อและกระดาษโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นหน่วยงานในประเทศเพียงแห่งเดียวที่สามารถทดสอบค่าสารประกอบ AOX ได้ และให้บริการแก่ภาคเอกชนและหน่วยงานต่างๆ งานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบหาปริมาณสารประกอบ AOX ที่เกิดจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษในน้ำทิ้งก่อนเข้าและหลังออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษทุกโรงงานภายในประเทศไทยซึ่งมีทั้งหมด 5 โรงงาน พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 การเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผู้ผลิตเยื่อฟอกขาวในประเทศไทย จำนวน 5 โรงงาน เพื่อนำมาทดสอบหาปริมาณ AOX โดยดำเนินการทุก 3 เดือนเป็นระยะเวลา 3 ปี (ก.พ. 2552 - พ.ย. 2554) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกเยื่อก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสีย และตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกเยื่อหลังออกจากระบวนการบำบัดน้ำเสีย การเก็บตัวอย่างจะเก็บในปริมาณตัวอย่างละ 2 ลิตร ใส่ในขวดพลาสติกที่สะอาดและปิดสนิท

2.2 วิธีการหาสารประกอบ AOX

การหาปริมาณสารประกอบ AOX ในตัวอย่างน้ำทิ้งทดสอบตามมาตรฐาน ISO 11480 (4), ISO 9562:2004 (5) และ SCAN-W 9-89 (6) โดยการทดสอบใช้หลักการเดียวกัน คือ การจับสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำโดยใช้แอกทิเวเต็ดคาร์บอน ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับสารได้เกือบทุกชนิด จากนั้นจึงล้างแอกทิเวเต็ดคาร์บอนด้วยสารละลายไนเตรต เพื่อให้ไนเตรตเข้าไปแทนที่คลอไรด์ในสารประกอบอินทรีย์ ดังนั้นบนพื้นผิวของแอกทิเวเต็ดคาร์บอนจะคงเหลือเพียงสารประกอบคลอไรด์หรือแฮโลเจนของสารอินทรีย์ (TOX, AOX) เท่านั้น หลังจากนั้นจึงนำแอกทิเวเต็ดคาร์บอนไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง สารอินทรีย์ทั้งหมดจะสลายไปและเหลือเพียงก๊าซไฮโดร

คลอไรด์และแฮไลเจนอื่นๆ (HCl, HX) ก๊าซที่ได้จะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดและสามารถหาปริมาณของคลอไรด์และแฮไลเจนทั้งหมดได้โดยการไทเทรตแบบคูลอมบ์เมตริก โดยใช้เครื่องมือ AOX Analyzer รุ่น ECS 3000 ผลิตโดย Euroglass Analytical Instruments ประเทศเนเธอร์แลนด์ (Figure 1)

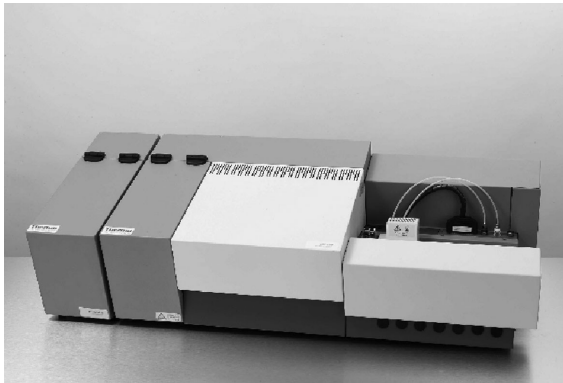


Figure 1 AOX Analyzer Model ECS 3000

Table 1 Amount of AOX in wasted water before entering the treatment system.

ตัวอย่าง	ผลการทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX (มิลลิกรัมต่อลิตร)												
	2552				2553				2554				ค่าเฉลี่ย
	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	
1) โรงงาน A ¹ (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	54.0	55.5	66.0	77.2	49.0	37.0	57.3	54.8	47.4	30.3	45.8	44.2	51.5
2) โรงงาน B ¹ (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	32.3	56.0	33.1	44.1	56.2	53.4	58.9	57.2	61.1	63.5	58.8	57	52.6
3) โรงงาน C ¹ (ผลิตเยื่อจากชานอ้อย)	4.6	2.6	5.0	4.9	4.8	4.9	4.7	3.5	5.6	3.8	4.6	4.3	4.5
4) โรงงาน D ² (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	30.7	18.2	21.1	19.8	27.4	17.7	22.2	11.8	14.8	8.3	14.7	12.7	18.3
5) โรงงาน E ² (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)													
- โรงผลิตเยื่อที่ 1	10.0	9.1	9.5	8.0	5.2	10.5	7.2	2.1	5.0	8.5	4.7	5.1	7.1
- โรงผลิตเยื่อที่ 2	16.8	20.5	13.0	13.2	19.5	-*	3.8	2.4	6.1	7.4	16.1	10.9	10.8
ค่าเฉลี่ย	24.7	27.0	24.6	27.9	27.0	24.7	25.7	22.0	23.3	20.3	24.1	22.4	24.5

หมายเหตุ *การเก็บตัวอย่างในเดือน พ.ค. 2553 โรงผลิตเยื่อที่ 2 ของโรงงาน E หยุดซ่อมบำรุงในวันและเวลาที่ไม่เก็บตัวอย่าง จึงไม่มีผลการทดสอบ

¹ โรงงานที่ฟอกเยื่อได้ด้วยคลอรีน

² โรงงานที่ฟอกเยื่อไม่ได้ด้วยคลอรีนได้ออกไซด์

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

ผลการทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX ของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษทั้ง 5 โรง (A B C D และ E ซึ่งโรงงาน E แบ่งกระบวนการผลิตเยื่อออกเป็น 2 โรง) โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงาน ณ วันที่ผลิตทุก 3 เดือน เป็นระยะเวลา 3 ปี โดยที่ทุกโรงงานที่ร่วมการวิจัยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตและกำลังในการผลิตตลอดระยะเวลาการวิจัย (Table 1 และ 2) และผลต่างของปริมาณสารประกอบ AOX ของตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนเข้าและหลังออกจากระบบบำบัด แสดงใน Table 3

Table 2 Amount of AOX in wasted water after leaving the treatment system.

ตัวอย่าง	ผลการทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX (มิลลิกรัมต่อลิตร)												
	2552				2553				2554				ค่าเฉลี่ย
	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	
1) โรงงาน A ¹ (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	11.1	4.0	3.8	4.5	2.8	2.7	3.0	3.4	3.1	3.6	3.7	3.4	4.1
2) โรงงาน B ¹ (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	2.0	2.7	2.4	3.7	2.7	2.7	2.4	3.0	3.1	2.3	3.4	2.9	2.8
3) โรงงาน C ¹ (ผลิตเยื่อจากขานอ้อย)	0.8	1.1	1.4	1.5	1.8	1.3	1.6	1.8	2.3	0.9	1.4	1.1	1.4
4) โรงงาน D ² (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	32.8	5.8	11.7	13.0	9.2	9.2	7.5	3.5	9.5	2.4	11.7	9.9	10.5
5) โรงงาน E ² (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)													
- โรงผลิตเยื่อที่ 1	2.0	3.3	3.9	2.3	0.9	2.1	2.2	2.1	1.7	3.0	2.5	2.4	2.4
- โรงผลิตเยื่อที่ 2	1.2	1.0	1.6	1.8	2.0	-*	1.1	2.1	0.9	0.9	1.8	1.5	1.5
ค่าเฉลี่ย	8.3	3.0	4.1	4.5	3.2	3.6	3.0	2.6	3.4	2.2	4.1	3.5	3.8

หมายเหตุ * การเก็บตัวอย่างในเดือนพ.ค. 2553 โรงผลิตเยื่อที่ 2 ของโรงงาน E หยุดซ่อมบำรุงในวันและเวลาที่ไปเก็บตัวอย่าง จึงไม่มีผลการทดสอบ

¹ โรงงานที่ฟอกเยื่อไม้ด้วยคลอรีน

² โรงงานที่ฟอกเยื่อไม้ด้วยคลอรีนไดออกไซด์

Table 3 The differences of average values of AOX in effluent between entering and leaving the treatment system (2009-2012).

ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบ AOX ในน้ำทั้งก่อนเข้าระบบ บำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณสารประกอบ AOX ในน้ำทั้งหลังออกจากระบบ บำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ผลต่างของปริมาณสารประกอบ AOX ก่อนเข้าและหลังออกจากระบบ บำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1) โรงงาน A ¹ (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	51.5	4.1	47.4
2) โรงงาน B ¹ (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	52.6	2.8	49.8
3) โรงงาน C ¹ (ผลิตเยื่อจากขานอ้อย)	4.5	1.4	3.1
4) โรงงาน D ² (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	18.3	10.5	7.8
5) โรงงาน E ² (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)			
- โรงผลิตเยื่อที่ 1	7.1	2.4	4.7
- โรงผลิตเยื่อที่ 2	10.8	1.5	9.3
ค่าเฉลี่ย	24.5	3.8	

หมายเหตุ ¹ โรงงานที่ฟอกเยื่อไม้ด้วยคลอรีน

² โรงงานที่ฟอกเยื่อไม้ด้วยคลอรีนไดออกไซด์

สำหรับอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย มีโรงงานที่ผลิตเยื่อกระดาษ จำนวนทั้งหมด 5 โรงงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ขอความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งจากทั้ง 5 โรงงาน ดังนั้นข้อมูลที่ได้คิดเป็น 100 % และเมื่อพิจารณาถึงวัตถุดิบที่นำมาผลิตเยื่อกระดาษพบว่าวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตคือไม้ยูคาลิปตัส ซึ่ง 4 ใน 5 โรงงาน ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ ในขณะที่อีก 1 โรงงาน ใช้ขาน้อยเป็นวัตถุดิบ

จาก Table 1 เมื่อพิจารณาปริมาณ AOX ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่ออกจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ พบว่าโรงงานที่ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส จะก่อให้เกิดสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตมากกว่าโรงงานที่ผลิตเยื่อจากขาน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณลิกนินที่อยู่ในเนื้อไม้ที่ถูกตัดแล้ว (Chip) ของยูคาลิปตัสมีมากกว่าที่อยู่ในขาน้อย ดังนั้นจึงใช้ปริมาณสารประกอบคลอรีนไดออกไซด์ (ClO₂) ในการกำจัดลิกนินให้ออกไปจากเนื้อไม้มากกว่า ส่งผลให้เกิดสารประกอบ AOX มากกว่าตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบเฉพาะโรงงานที่ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัสเท่านั้นได้แก่ โรงงาน A B D และ E ซึ่งทั้ง 4 โรงงานมีกระบวนการฟอกด้วยสารเคมี ดังนี้ โรงงาน A และ B ใช้ คลอรีน (Cl₂) ส่วนโรงงาน D และ E ใช้สารประกอบคลอรีนไดออกไซด์ในการฟอก จากข้อมูลพบว่าโรงงาน A และ B ที่ใช้คลอรีนในการฟอก มีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำทิ้งสูงกว่าโรงงาน D และ E ที่ใช้สารประกอบคลอรีนไดออกไซด์ในการฟอก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถ้าใช้คลอรีนในการฟอกจะก่อให้เกิดสารประกอบ AOX ตกค้างในน้ำเสียมากกว่าการใช้สารประกอบคลอรีนไดออกไซด์ในการฟอก

ผลการทดสอบจากโรงงานที่ได้มีค่าแตกต่างกันแม้จะใช้สารเคมีชนิดเดียวกันในการฟอก เนื่องจากแต่ละโรงงานใช้ปริมาณสารเคมีในการฟอกแตกต่างกัน รวมทั้งมีปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ต่างกันด้วย ถ้าหากมีปริมาณผลผลิตมากกว่าย่อม

ใช้ปริมาณสารเคมีมากกว่า และถ้าโรงงานต้องการเยื่อกระดาษที่มีความขาวสว่างมากก็ต้องใช้ปริมาณสารเคมีมากกว่าโรงงานที่ต้องการเยื่อกระดาษที่มีความขาวสว่างน้อย ทั้งนี้ทางโรงงานไม่ได้เปิดเผยปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการฟอก

จาก Table 3 เมื่อพิจารณาผลต่างค่าเฉลี่ยของผลการทดลองจากตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนเข้าและออกจากระบบบำบัด จำนวนปริมาณสารประกอบ AOX ที่หายไปในระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับโรงงาน A, B และ E นั้นทางโรงงานได้มีการนำน้ำทิ้งจากส่วนอื่นๆ ของโรงงาน เช่น ส่วนของการผลิตกระดาษพิมพ์เขียน ส่วนของการผลิตกระดาษเพื่อบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น มาผสมรวมกับน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ ทำให้เกิดการเจือจางของปริมาณสารประกอบ AOX ได้ เนื่องจากน้ำทิ้งจากส่วนต่างๆ ดังกล่าวไม่มีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างอยู่ด้วย ดังนั้นปริมาณของสารประกอบ AOX ในน้ำทิ้งหลังบำบัดจึงลดลง และทางโรงงานผู้ผลิตก็ไม่ได้บอกปริมาณน้ำทิ้งจากส่วนอื่นที่เข้ามาผสมด้วย

โรงงาน C และ D เป็นโรงงานที่ระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ได้มีการผสมน้ำทิ้งจากส่วนอื่นของโรงงาน เพราะโรงงานเป็นโรงงานที่ผลิตเยื่อกระดาษอย่างเดียว ปริมาณของสารประกอบ AOX ที่ตกค้างหลังออกจากระบบบำบัดน้ำเสียก็มีค่าลดลงเล็กน้อย ผู้วิจัยไม่สามารถที่จะสรุปได้แน่ชัดว่าระบบบำบัดน้ำเสียมีส่วนช่วยในการลดปริมาณการตกค้างของสารดังกล่าวในน้ำทิ้งได้หรือไม่ เพราะว่าการลดลงของสารดังกล่าวอาจเกิดจากระบบบำบัด (ซึ่งไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าขั้นตอนไหนมีส่วนในการลด) หรืออาจจะเกิดสลายตัวไปเองของสารประกอบ AOX ซึ่งบางโครงสร้างไม่เสถียรในธรรมชาติ (อาจจะสลายไปในช่วงการพักน้ำเสียเพื่อให้ตกตะกอน) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าเมื่อน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกเยื่อผ่านระบบบำบัดน้ำเสียปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างมีปริมาณลดลง ซึ่งควรมีการศึกษาต่อไปว่าการลดลงของปริมาณของสารที่ตกค้างเกิดจากสาเหตุใด

4. สรุป (Conclusion)

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) ปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบในการผลิตมีปริมาณมากกว่าโรงงานที่ใช้ขาน้อยเป็นวัตถุดิบ (สารเคมีที่ใช้ในการฟอกเหมือนกัน คือ คลอรีนไดออกไซด์)

2) โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบเหมือนกัน โรงงานที่ใช้คลอรีนในการฟอกขาวจะมีปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำเสียมากกว่าโรงงานที่ใช้คลอรีนไดออกไซด์ในการฟอก

3) ฤดูกาลหรือปริมาณน้ำฝนในธรรมชาติไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตอย่างชัดเจน

4) น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ เมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว ปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างลดลง

ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้ถูกนำไปใช้พิจารณาในการออกข้อกำหนดดลากลกเยียวผลิตภัณฑักระดาษ (Paper) ของโครงการดลากลกเยียวซึ่งมีการทบทวนใหม่ในปี พ.ศ. 2554

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กลุ่มเยื่อและกระดาษ และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวในประเทศไทยทั้ง 5 แห่งที่ทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

(1) การฟอกเยื่อ เล่ม 1. (เอกสารเผยแพร่) บริษัท สยามคราฟท์ จำกัด.

(2) ณรงค์ วุทธเสถียร. เทคโนโลยีการผลิตกระดาษ คุณสมบัติของกระดาษ ภาค 4 คุณสมบัติด้านทัศนศาสตร์. (เอกสารเผยแพร่) บริษัท แอ็ดวานซ์ อะโกร จำกัด (มหาชน).

(3) โครงการดลากลกเยียว. ข้อกำหนดดลากลกเยียวผลิตภัณฑักระดาษ (Paper). (เอกสารเผยแพร่) สำนักงานเลขานุการโครงการดลากลกเยียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑัอุตสาหกรรม. 2554.

(4) International Organization for Standardization. Paper, board and pulps - Determination of total chlorine and organically bound chlorine. ISO 11480, 1997.

(5) International Organization for Standardization. Water quality-Determination of adsorbable organically bound halogens (AOX). ISO 9562:2004, 2004.

(6) Scandinavian pulp, paper and board testing committee. Water-extractable organically bound chlorine. SCAN-W 9 : 89, 1989.

การพัฒนากระบวนการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการโลหะและ ธาตุปริมาณน้อย

The development of laboratory safety management in metals and trace elements testing laboratory

ปวีณา เครือณิล^{1*}, ดวงกมล เชาวนศรีหมุด¹, เบญจพร บริสุทธิ์¹
Paweena Kreunin^{1*}, Duangkamol Chaosrimud¹, Benchaporn Borisuthi¹

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การพัฒนาศักยภาพห้องปฏิบัติการทดสอบเพื่อให้สอดคล้องกับการพัฒนาประเทศที่มุ่งเน้นด้านเศรษฐกิจนั้น ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเผชิญอยู่กับอันตรายจากการปฏิบัติงาน อันเนื่องมาจากการขยายขอบข่ายงานห้องปฏิบัติการ กระบวนการทดลองแบบใหม่ และการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายมากขึ้น นอกจากนี้ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมาย กฎกระทรวง ประกาศ ข้อบังคับหรือข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการจัดการห้องปฏิบัติการด้านความปลอดภัยโดยตรง จึงทำให้การดำเนินการด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการในประเทศไทยนั้น ยังไม่มีรูปแบบและกลไกที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนะแนวปฏิบัติเพื่อพัฒนาการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการทดสอบทางเคมี ที่เป็นตัวอย่างและสามารถนำไปปฏิบัติในห้องปฏิบัติการของกรมวิทยาศาสตร์บริการ (วศ.) ได้ โดยทฤษฎีและพัฒนาเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยและนำไปทดลองปฏิบัติในห้องปฏิบัติการนำร่อง คือ ห้องปฏิบัติการโลหะและธาตุปริมาณน้อย โครงการเคมี ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการที่ให้บริการทดสอบทางเคมี ซึ่งได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 แต่ยังไม่มีการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการอย่างเป็นระบบและเป็นรูปธรรม จึงมีความคล้ายคลึงกับห้องปฏิบัติการทดสอบทางเคมีอื่นๆ ของ วศ. ดังนั้น จึงมีความเหมาะสมต่อการศึกษาย่อยได้ขยายของการศึกษาวิจัย จากการศึกษาย่อยได้มีการพัฒนาเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้เหมาะสมกับการทดลองปฏิบัติในห้องปฏิบัติการนำร่องตามสถานการณ์ปัจจุบัน ผลการทดลองปฏิบัติเอกสารคู่มือฯ ในห้องปฏิบัติการโลหะและธาตุปริมาณน้อย พบว่า ผลการประเมินระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการก่อนการนำเอกสารคู่มือฯ ทดลองปฏิบัติ คิดเป็นร้อยละ 29.5 และผลการประเมินระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการภายหลังการนำเอกสารคู่มือฯ ไปทดลองปฏิบัติ ในระยะเวลา 4 เดือน คิดเป็นร้อยละ 46.2 และ 12 เดือน คิดเป็นร้อยละ 60.2 ซึ่งคิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 16.7 และ 30.7 ตามลำดับ สามารถวิเคราะห์ได้ว่าห้องปฏิบัติการมีการจัดการความปลอดภัยที่ดีขึ้น ผลการศึกษาย่อยนี้สามารถเป็นตัวอย่างที่ดีในการพัฒนาระบบการจัดการความปลอดภัยให้กับห้องปฏิบัติการอื่นๆ ของ วศ. และหน่วยงานอื่นๆ ได้

คำสำคัญ : ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ, ห้องปฏิบัติการนำร่อง, ความปลอดภัย

Keywords : Laboratory safety, Pilot laboratory, Safety

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

Abstract

Currently, the development in the capacity of laboratories in Thailand evolves very rapidly resulting in higher risks and adversely health impacts to laboratory workers. However, it is the fact that Thailand does not have acts, regulations or decrees issued to directly help the safety management in laboratories. The study aims to generate recommendations with practical approaches to improve safety management for laboratories of the Department of Science Service (DSS). In this study, the metal and trace elements testing laboratory is selected for study. The use of this laboratory as a pilot laboratory is suitable in term of its functionality and old laboratory design similar to most laboratories in DSS. Moreover, the pilot laboratory does not have systematic safety management although it has been accredited for ISO/IEC 17025. The development of laboratory safety management guideline in this study is determined to provide recommendations to establish good laboratory safety practices that are proper for use in the chemical testing laboratories in DSS. The safety assessment of the pilot laboratory shows an increasing of better safety management. The audits show improving of safety management from 29.5% to 46.2% within 4 months and to 60.2% within 12 months. The results of this study provide practical safety management example and can be used as a guideline for other DSS laboratories to develop effective safety management as well.

1. บทนำ (Introduction)

การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการนั้นมีความเป็นอันตรายและความเสี่ยงสูง ไม่ว่าจะเป็นอันตรายที่เกิดจากสารเคมี เชื้อโรค หรือเกิดจากโครงสร้างพื้นฐานที่มีการออกแบบและการจัดการด้านความปลอดภัยไม่ถูกต้องเหมาะสม ซึ่งอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการ ทำให้สูญเสียงบประมาณ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการและผู้ที่เกี่ยวข้องอีกด้วย ในประเทศที่พัฒนาแล้วนั้นมีการบังคับใช้กฎหมายห้องปฏิบัติการด้านความปลอดภัย เช่น การประกาศใช้ OSHA Laboratory Standard ของกรมแรงงาน ประเทศสหรัฐอเมริกา(1) ซึ่งบังคับให้มีการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการในหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และสถาบันการศึกษานอกจากนี้ ยังมีองค์กรด้านการพัฒนาเศรษฐกิจที่เกิดจากแนวร่วม 34 ประเทศ หรือ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) ที่พัฒนา Good Laboratory Practice (GLP) ที่มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างการนำ GLP มาใช้ในประชาคมยุโรปหรือ European Union (EU) ได้แก่ การออกกฎหมาย EU GLP Directives และ UK GLP Regulations ในปัจจุบันนั้น ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมาย กฎกระทรวง ประกาศ ข้อบังคับหรือข้อกำหนดใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการที่มีผลในเชิงการบังคับใช้โดยตรง ไม่ว่าจะเป็นสำหรับห้องปฏิบัติการวิจัย ทดสอบ และการเรียนการสอน จึงทำให้การดำเนินการด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการในประเทศไทยนั้นยังไม่มีรูปแบบและกลไกที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ตลอดจนมีรายงานอุบัติเหตุที่เกิดจากห้องปฏิบัติการในภาครัฐ รัฐวิสาหกิจและเอกชนอยู่เป็นเนืองๆ ซึ่งแสดงถึงการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการที่ยังไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้น การพัฒนาการจัดการห้องปฏิบัติการด้านความปลอดภัยจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะการพัฒนาการจัดการ

ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการทดสอบทางเคมี ซึ่งมีอันตรายและความเสี่ยงจากการปฏิบัติงานที่เพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากการขยายขอบข่ายงานห้องปฏิบัติการ กระบวนการทดลองแบบใหม่ และการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายมากขึ้น เพื่อตอบสนองต่อการพัฒนาการทดสอบทางเคมีเพื่อเพิ่มคุณภาพสินค้าและส่งเสริมเศรษฐกิจของประเทศ การจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการจะช่วยลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจเนื่องจากความเจ็บป่วยของบุคลากรและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดการสูญเสียงบประมาณจากอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ ลดงบประมาณในการสั่งซื้อสารเคมีจากการเพิ่มความสามารถในการใช้สารเคมีอย่างคุ้มค่า และอื่นๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาห้องปฏิบัติการต่อไป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนะแนวปฏิบัติเพื่อพัฒนาการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการทดสอบทางเคมี ที่เป็นตัวอย่าง และสามารถนำไปปฏิบัติในห้องปฏิบัติการของกรมวิทยาศาสตร์บริการ (วศ.) โดยการวิจัยพัฒนาเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการและนำไปทดลองปฏิบัติในห้องปฏิบัติการนาร่อง ได้แก่ ห้องปฏิบัติการโลหะและธาตุปริมาณน้อย โครงการเคมี ที่ให้บริการทดสอบปริมาณโลหะและธาตุปริมาณน้อยในผลิตภัณฑ์โลหะ โลหะผสม เครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทโลหะและไม้ ผลิตภัณฑ์สำหรับเด็ก และเครื่องประดับโลหะ

การพัฒนาคู่มือการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการในการศึกษานี้เกิดขึ้นจากการศึกษาแนวทางการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการทั้งในและต่างประเทศ ประกอบกับการวิเคราะห์สถานภาพปัจจุบันของห้องปฏิบัติการของ วศ. และการรับฟังความคิดเห็นจากบุคลากรของจากหน่วยงานต่างๆ ภายใน วศ. เพื่อการพัฒนาเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการที่ตรงกับความต้องการในการพัฒนาความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการของ วศ. และความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริง ประกอบกับการทดลองปฏิบัติในห้องปฏิบัติการนาร่อง จำนวน 1 ห้อง เป็นเวลา 12 เดือน

โดยผลการศึกษานำมาวิเคราะห์และรวบรวมไว้เพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการด้านความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางและต้นแบบให้แก่หึ่งปฏิบัติการอื่นๆ ใน วม. และหึ่งปฏิบัติการของหน่วยงานอื่นๆ ได้

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการ

ศึกษาค้นคว้าเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการ ประกอบด้วยการศึกษากฎหมายและมาตรฐานด้านการจัดการความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการของต่างประเทศ (2) (3) และของประเทศไทย เพื่อเป็นแหล่งอ้างอิงประกอบการพัฒนาเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการ

2.2 วิเคราะห์ความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการนำร่องเบื้องต้น

ศึกษาสภาพภาพเบื้องต้นของหึ่งปฏิบัติการและหึ่งปฏิบัติการนำร่อง รวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดทำเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการให้เหมาะกับการทดลองปฏิบัติในหึ่งปฏิบัติการนำร่องของโครงการฯ ตลอดจนจัดทำแบบประเมินระบบความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการนำร่อง และประเมินระบบความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการนำร่องก่อนการทดลองใช้เอกสารคู่มือฯ และบันทึกผล

2.3 จัดทำเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการ

- รวบรวมข้อคิดเห็นจากบุคลากรผู้ร่วมโครงการวิจัยในหน่วยงานต่างๆ ของ วม. และจัดทำร่างเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการด้านความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการของ วม.

- รวบรวมและวิเคราะห์ข้อคิดเห็นจากบุคลากรหึ่งปฏิบัติการนำร่องและปรับปรุงร่างเอกสารคู่มือฯ เพื่อจัดทำเป็นเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยใน

หึ่งปฏิบัติการ สำหรับหึ่งปฏิบัติการนำร่อง และนำไปทดลองปฏิบัติ

2.4 ทดลองปฏิบัติในหึ่งปฏิบัติการนำร่อง และรวบรวมข้อมูล

นำเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการ ที่จัดทำขึ้นไปทดลองปฏิบัติในหึ่งปฏิบัติการนำร่อง โดยนำข้อมูลในเอกสารไปใช้ประกอบการพัฒนาและปรับปรุงการจัดการระบบความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการ รวบรวมและเก็บบันทึกข้อมูลการทดลองใช้เอกสารคู่มือฯ ตั้งแต่ 1 มีนาคม 2555-28 กุมภาพันธ์ 2556

2.5 ประเมินระบบความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการนำร่องภายหลังการทดลองปฏิบัติ

นำแบบประเมินระบบความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการนำร่องที่จัดทำขึ้นในข้อ 2.2 มาประเมินระบบความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการนำร่องภายหลังการทดลองปฏิบัติเอกสารคู่มือฯ โดยประเมินภายหลังการทดลองปฏิบัติเป็นเวลา 4 เดือน และ 12 เดือน และบันทึกผลการประเมิน

2.6 วิเคราะห์ข้อมูลปัญหาและอุปสรรคการนำไปใช้วิเคราะห์

ข้อมูลปัญหาและอุปสรรคการนำเอกสารคู่มือฯ ไปทดลองปฏิบัติในหึ่งปฏิบัติการนำร่อง ภายหลัง 12 เดือน และบันทึกข้อมูล

2.7 สรุปผลการวิจัย

รวบรวมข้อมูลการนำเอกสารคู่มือฯ ไปทดลองปฏิบัติในหึ่งปฏิบัติการนำร่อง ผลการประเมินระบบความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการก่อนและหลังการทดลองใช้เอกสารคู่มือฯ ปัญหาและอุปสรรคในการจัดการความปลอดภัยในหึ่งปฏิบัติการนำร่อง และสรุปผลการวิจัย

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

การวิเคราะห์ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ การนำร่อง คือห้องปฏิบัติการโลหะและธาตุปริมาณน้อย โครงการเคมี ของ วศ. เบื้องต้น พบว่า ยังไม่มีโครงสร้าง การดำเนินงานด้านความปลอดภัยอย่างเป็นรูปธรรม และไม่มีการจัดการด้านความปลอดภัยอย่างเป็นระบบ การจัดทำเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยในห้อง ปฏิบัติการนั้น จึงมุ่งเน้นการจัดโครงสร้างการดำเนินงาน และการจัดการความปลอดภัยอย่างเป็นระบบ เพื่อให้เหมาะสมต่อการปฏิบัติในห้องปฏิบัติการของ วศ. โดยมุ่งเน้นความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานในห้อง ปฏิบัติการทดสอบทางเคมี ที่มีการใช้สารเคมีจำนวนมาก โดยเอกสารหลักได้แก่ ระเบียบว่าด้วยความปลอดภัยใน ห้องปฏิบัติการ ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อให้ห้องปฏิบัติการทราบ โครงสร้างการดำเนินงานด้านความปลอดภัยและ แนวทางการพัฒนาความปลอดภัยภายในห้องปฏิบัติการ ของตน โดยแบ่งออกเป็น 7 หมวดได้แก่ บททั่วไป คณะกรรมการจัดทำมาตรฐานความปลอดภัยในห้อง ปฏิบัติการของ วศ. เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย หัวหน้า ห้องปฏิบัติการ บุคลากรของ วศ. มาตรการสำหรับเหตุ ฉุกเฉิน และเบ็ดเตล็ด ตลอดจนจัดทำเอกสารประกอบการ ใช้ระเบียบฯ ได้แก่ เอกสารเรื่องการจัดการสภาพ แวดล้อมในห้องปฏิบัติการนำร่องของ วศ. เอกสาร เรื่องการใช้สารเคมีและสารเคมีอันตรายในห้องปฏิบัติ การนำร่องของ วศ. และเอกสารแบบประเมินระบบ ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการนำร่อง โดยเอกสารดัง กล่าวอ้างอิงตามพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีว อนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 (4) และ Occupational Exposure to Hazardous Chemicals in the laboratory (29 CFR 1910.1450) (1) ของ สหรัฐอเมริกา เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการความ ปลอดภัยในห้องปฏิบัติการทดสอบทางเคมี

การทดลองนำเอกสารคู่มือการจัดการความ ปลอดภัยในห้องปฏิบัติการไปทดลองปฏิบัติในห้อง ปฏิบัติการโลหะและธาตุปริมาณน้อย เป็นระยะเวลา

12 เดือน พบการพัฒนาการจัดการในห้องปฏิบัติการใน ด้านต่างๆ สรุปได้โดยย่อดังนี้

1. การบริหารจัดการห้องปฏิบัติการ เช่น

- ห้องปฏิบัติการมีการจัดโครงสร้างการ จัดการด้านความปลอดภัยภายในห้องปฏิบัติการ และ แบ่งความรับผิดชอบเพื่อดำเนินงานตามเอกสารคู่มือฯ ที่จัดทำขึ้น

- ผู้ปฏิบัติงานได้รับการอบรมเกี่ยวกับระบบ ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการในเรื่องต่างๆ เช่น แนวทาง การจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ความรู้เรื่อง เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี (Safety Data Sheet) การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment, PPE)

- หัวหน้าห้องปฏิบัติการและบุคลากรร่วมกันกำหนดแผนการจัดการความปลอดภัยต่างๆ เช่น แผนการจัดซื้อ PPE แผนการจัดการเครื่องมือและอุปกรณ์ ด้านความปลอดภัย

2. การจัดการสภาพแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ เช่น

- มีป้ายแสดงระเบียบปฏิบัติในการปฏิบัติงาน ในห้องปฏิบัติการ

- มีแบ่งส่วนพื้นที่ห้องปฏิบัติการ ห้องสำนักงาน และห้องจัดเก็บเอกสารและอุปกรณ์สำนักงาน

- ปรับปรุงป้ายทางหนีไฟและติดป้ายแสดง เบอร์โทรฉุกเฉินกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน

- แยกประเภทอุปกรณ์การทดลอง พร้อมติด ป้ายแสดงเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

- มีอุปกรณ์ระงับเหตุฉุกเฉิน เช่น ชุดดูดซับสาร เคมีหรือ spill kits อุปกรณ์ดับเพลิง จำนวนเพียงพอและ สภาพพร้อมใช้งาน

- จัดหาชุดเวชภัณฑ์และอุปกรณ์ปฐมพยาบาล เพิ่มเติม

- ปรับปรุงระบบระบายอากาศโดยปรับปรุงตู้ ดูดควันให้เป็นระบบบำบัดอากาศแบบใช้น้ำ

- มีระบบควบคุมและสำรองไฟสำหรับเครื่องมือ ทางวิทยาศาสตร์

- ปรับปรุงระบบการจัดการแก๊ส เช่น จัดทำป้ายแสดงสถานะของถังแก๊ส ได้แก่ empty, used, full จัดให้มีฝาครอบถังแก๊สและมีใช้คล้อยถึง

3. การจัดการสารเคมี เช่น

- สืบหาข้อมูลสารเคมีและจัดทำเป็นฐานข้อมูลสารเคมี โดยฐานข้อมูลประกอบด้วยรายละเอียด เช่น ชื่อสารเคมี CAS. No. เกรด ปริมาณ ผู้ผลิต ตำแหน่งที่เก็บ จำนวนขวด
- จัดหาและศึกษาข้อมูลในเอกสารความปลอดภัยทางเคมี (Safety Data Sheet) พร้อมจัดเก็บเป็นระบบเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าถึงได้ง่าย
- จัดเก็บสารแยกเป็นกลุ่มโดยคำนึงถึงความเข้ากันไม่ได้ (incompatible chemical)
- ปรับปรุงฉลากติดภาชนะบรรจุสารเคมีที่เตรียมขึ้นเองโดยระบุรายละเอียด เช่น ชื่อสารเคมี ความเข้มข้น ผู้เตรียม วันที่เตรียม วันที่หมดอายุ
- ติดป้ายแสดงสัญลักษณ์ความเป็นอันตรายของสารเคมี และป้ายแสดงความเข้ากันไม่ได้ของสารเคมี
- จัดให้มีภาชนะรองรับขวดสารเคมี
- มีรถเข็นขนย้ายสารเคมีและรถเข็นสำหรับขนย้ายแก๊ส
- มีการแบ่งส่วนและปรับปรุงพื้นที่ห้องเก็บสารเคมี

4. การจัดการของเสียอันตราย เช่น

- มีถังเก็บเศษแก้วและวัตถุตัวอย่างแยกตามประเภท เช่น อะลูมิเนียม เหล็ก สแตนเลส ไม้
- จัดเก็บของเสียอันตรายโดยแยกเป็นประเภท
- มีถังขยะแบบมีฝาปิดสำหรับของเสียอันตราย

5. การจัดการอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เช่น

- จัดซื้ออุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลโดยครอบคลุมถึงกิจกรรมของการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ เช่น ถุงมือ เสื้อคลุมปฏิบัติการ หน้ากาก ปลั๊กอุดหู
- จัดเก็บอุปกรณ์ให้เป็นหมวดหมู่และเข้าถึงง่าย
- มีการดูแลและบำรุงรักษาอุปกรณ์สม่ำเสมอ

การนำเอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการไปทดลองปฏิบัติในการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการนำร่อง พบว่า ห้องปฏิบัติการมีการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการที่ดีขึ้น โดยผลการประเมินระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการก่อนและภายหลังจากการนำเอกสารคู่มือฯ ไปทดลองปฏิบัติมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น จากร้อยละ 29.5 เป็นร้อยละ 46.2 ในระยะเวลาการนำเอกสารคู่มือฯ ไปใช้เป็นเวลา 4 เดือน และเป็นร้อยละ 60.2 ในระยะเวลาการนำเอกสารคู่มือฯ ไปใช้เป็นเวลา 12 เดือน

การพัฒนาห้องปฏิบัติการนำร่องโดยหลักเป็นการจัดการเรื่องการจัดการระบบโครงสร้างพื้นฐานในการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ การปรับปรุงสภาพแวดล้อมและการจัดการสารเคมี ของเสียอันตราย และอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยต่างๆ ที่สามารถดำเนินการในระยะเวลาจำกัด (12 เดือน) อย่างไรก็ตามการพัฒนาห้องปฏิบัติการด้านความปลอดภัยตามเอกสารคู่มือฯ ไม่สามารถดำเนินการได้อย่างเต็มประสิทธิภาพทั้งนี้สาเหตุมาจาก ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการไม่สามารถปรับปรุงสภาพแวดล้อมตามแนวทางปฏิบัติของเอกสารคู่มือฯ ได้ทั้งหมด เนื่องจากเป็นห้องปฏิบัติการที่มีการออกแบบมาแล้วเป็นเวลานาน ซึ่งการปรับปรุงให้ได้ตามมาตรฐานนั้นจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาและงบประมาณจำนวนมาก ตลอดจนพบปัญหาอุปสรรคในการจัดซื้อเครื่องมือหรืออุปกรณ์ด้านความปลอดภัยที่เป็นครุภัณฑ์ซึ่งไม่สามารถจัดซื้อได้ทันที เช่น ตู้เก็บสารเคมีที่เหมาะสม ผักบัวฉุกเฉิน และผักบัวล้างตา

4. สรุป (Conclusion)

จากการทดลองใช้เอกสารคู่มือการจัดการความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการนั้น ห้องปฏิบัติการนำร่องมีการจัดการด้านความปลอดภัยอย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น และมีการพัฒนาระบบความปลอดภัยอย่างต่อเนื่อง ในช่วงเวลา 12 เดือนของการทดลองปฏิบัติตามเอกสารคู่มือฯ นอกจากนี้ การเข้าร่วมการศึกษาวิจัยดังกล่าว

ส่งผลให้บุคลากรในห้องปฏิบัติการนำร่องเกิดความตระหนักเรื่องการทำงานอย่างปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ทราบบทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ช่วยเสริมสร้างห้องปฏิบัติการของ วศ. ให้มีความเข้มแข็ง และมีศักยภาพในการปฏิบัติงานได้อย่างมีมาตรฐานและมีความปลอดภัย ซึ่งสามารถเป็นตัวอย่างที่ดีในการพัฒนาระบบความปลอดภัยให้กับห้องปฏิบัติการอื่นๆ ของ วศ. และห้องปฏิบัติการของหน่วยงานอื่นๆ ได้

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยจากสำนัก/โครงการต่างๆ ของ วศ. ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและขอคิดเห็น/เสนอแนะในการดำเนินงานภายใต้โครงการการพัฒนามาตรฐานความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการและการประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการนำร่อง (ค.55TM11) (5) ประจำปีงบประมาณ 2555 ดังรายชื่อต่อไปนี้ นางวรรณภา ดันยีนยงค์ นางกิตติพร เหล่าแสงธรรม นางสาววันดี ลือสายวงศ์ นายวีระ สอนโสง นางคันศรียะ รักไทยเจริญชีพ นางจิตต์เรขา ทองมณี นางสาวสายจิต ดาวสุโข นางสาวโสธรา รอดประเสริฐ นายปชาณ กุลวานิช นางสาวกิตติยา ปลื้มใจ และขอขอบคุณคณะผู้บริหารสำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ คณะกรรมการจัดทำมาตรฐาน ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการของ วศ. และคณะอนุกรรมการวิชาการด้านวิเคราะห์ ทดสอบ และสอบเทียบที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานและให้คำปรึกษาแก่คณะวิจัยฯ ตลอดจนบุคลากรของ วศ. ทุกท่าน ที่ให้ข้อเสนอแนะเพื่อให้เกิดการพัฒนาและให้ความร่วมมือในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากขอบคุณมา ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

(1) U.S. Department of Labor. Occupational Safety & Health Administration. Occupational Exposure to Hazardous Chemicals in the laboratory (29 CFR 1910.1450).

(2) National Research Council, Prudent Practices in the Laboratory for Handling and Disposal of Chemicals, National Academy Press, Washington, D.C., 1995.

(3) American Chemical Society Committee on Chemical Safety, Safety Audit / Inspection Manual (American Chemical Society, Washington, DC, 2000).

(4) กระทรวงแรงงาน. พระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554. ราชกิจจานุเบกษา. 17 มกราคม 2554 เล่มที่ 128 ตอนที่ 4 ก.

(5) รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนามาตรฐานห้องปฏิบัติการด้านความปลอดภัยและการประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการนำร่อง (ค.55TM11). กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2555.

ถุงมือยางที่ใช้ในงานในอุตสาหกรรมอาหาร : ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนัก Rubber gloves for food industry: Risk from contamination of heavy metals

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

บทคัดย่อ

การศึกษาความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักจากการใช้ถุงมือยางในอุตสาหกรรมอาหารโดยการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม สารหนู และสังกะสี ในชิ้นทดสอบถุงมือยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร จำนวน 21 ตัวอย่างเป็นถุงมือที่ทำมาจากยางธรรมชาติ 14 ตัวอย่างและถุงมือที่ทำจากยางสังเคราะห์ไนไตรล์ 7 ตัวอย่าง โดยใช้วิธีสกัดด้วยสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินดักทีฟลี คัปเปิลด์พลาสมา ออบติคัล อิมิสชันสเปกโตรสโกปี โดยการสกัดสารดังกล่าวใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ผลจากการวิเคราะห์แสดงว่าไม่พบตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม และสารหนู แต่พบสังกะสีในปริมาณเฉลี่ย 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับถุงมือที่ทำมาจากยางธรรมชาติ และ 2.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์ในจำนวนนี้ มีถุงมือจำนวน 5 ตัวอย่างที่มีปริมาณสังกะสีเกินกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งเป็นปริมาณที่องค์การอนามัยโลกแนะนำ อย่างไรก็ตามปริมาณสังกะสีที่พบจัดว่าอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นการใช้งานถุงมือยางทั้งที่ทำมาจากยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ไนไตรล์ในอุตสาหกรรมอาหารในสภาวะปกติคือที่อุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักเหล่านี้น้อย

Abstract

The risk of heavy metal contamination from using rubber gloves in food industry was evaluated by determination of five heavy metals, namely lead, cadmium, chromium, arsenic and zinc, using extraction technique and followed by inductively couple plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES). Twenty one glove samples, including fourteen natural rubber gloves and seven nitrile rubber gloves, were studied. Gloves specimens were extracted in a 4% acetic acid solution at 40 °C for 10 minutes and the extracted solutions were measured for lead, cadmium, chromium, arsenic and zinc contents. The results showed that there were no lead, cadmium, chromium and arsenic in the acetic acid solutions. However, zinc was detected and the average levels were found to be 4 mg/l and 2.7 mg/l for natural rubber gloves and nitrile rubber gloves, respectively. According to the WHO, despite a slightly high level of zinc in 5 samples (above WHO's recommendation level of 5.0 mg/l), these zinc levels were considered post no risk for human health. Therefore, the use of both natural rubber gloves and nitrile rubber gloves in food industry in a normal condition at not more than 40 degrees Celsius has a little risk of the heavy metal contamination.

คำสำคัญ : การปนเปื้อน, ถุงมือยาง, อุตสาหกรรมอาหาร, โลหะหนัก

Keywords : Contamination, Rubber gloves, Food industry, Heavy metals

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

²ศูนย์ประสานงานกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำภูมิภาค ภาคใต้

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

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

1. บทนำ (Introduction)

ถุงมือยางเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการนำน้ำยางคอมปาวด์มาขึ้นรูปด้วยกระบวนการแบบจุ่ม (dipping process) โดยใช้แม่แบบรูปมือแล้วผ่านกระบวนการทำให้คงรูปด้วยปฏิกิริยาคัลคาไนซ์เซชัน (vulcanization) สำหรับถุงมือยางธรรมชาติ น้ำยางคอมปาวด์คือน้ำยางชั้นที่ผสมสารเคมีต่าง ๆ เพื่อปรับสภาพน้ำยางให้เหมาะสมก่อนการขึ้นรูปสารเคมีเหล่านี้ ได้แก่สารช่วยให้ยางเชื่อมประสานกัน (cross-linking agent) เช่นกำมะถัน(sulfur) สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา(activator) เช่น ซิงค์ไดเอทิล ไดไฮโอคาร์บาเมท (zinc diethyl dithiocarbamate, ZDC)หรือซิงค์ไดบูทิลไดไฮโอคาร์บาเมท (zinc dibutyldithiocarbamate, ZDBC) สารช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา(accelerator) เช่น ซิงค์ออกไซด์(zinc oxide) และสารอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการผลิต เช่น สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (antioxidant) [1] สำหรับถุงมือยางสังเคราะห์ น้ำยางที่นิยมใช้คือน้ำยางไนไตรล์สารเคมีที่ผสมเพื่อปรับสภาพน้ำยางใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นหลัก ส่วนสารอื่น ๆ ใช้คล้ายกับการทำถุงมือยางจากน้ำยางธรรมชาติ [2]

สารเคมีต่าง ๆ ที่เติมลงไปในน้ำยางเหล่านี้บางชนิด เช่น กำมะถันจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับโมเลกุลน้ำยาง แล้วกลายเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่าย (network) ส่วนบางชนิดเช่น ซิงค์ออกไซด์จะอยู่ในโครงข่ายของยางด้วยแรงทางกายภาพ ในสภาพที่ถูกใช้งานโครงข่ายของยางเกิดการเคลื่อนตัวไปมา สารเคมีซึ่งรวมไปถึงโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของสารเหล่านี้จะมีโอกาสถูกดึงออกมาอยู่ที่บริเวณผิวหนังและเมื่อสัมผัสกับอาหารจะถูกชะ (leaching) ให้หลุดออกมาปนเปื้อนในอาหารได้ [3]

โลหะหนักและความเป็นพิษ

1.1 สารหนู (Arsenic, As)

จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) [3] ระบุว่าพิษของสารหนูมีผลโดยตรงกับระบบควบคุมประสาทส่วนกลางของมนุษย์

ปริมาณของสารหนู 70-180 มิลลิกรัมทำให้เกิดอาการขั้นรุนแรงได้ โดยทั่วไปสารหนูมีพิษต่อระบบลำไส้ ระบบประสาทและระบบหายใจ นอกจากนี้ก็ยังส่งผลกระทบต่อผิวหนังอีกด้วย อาการเรื้อรังที่บ่งบอกถึงพิษของสารหนูที่แสดงออกให้เห็นได้คือ อาการกล้ามเนื้ออ่อนล้า เบื่ออาหารวิงเวียนซึ่งนำไปสู่อาการการอักเสบของเยื่อตา เยื่อจมูกและกล่องเสียงตลอดจนโรคที่ผิวหนังได้ นอกจากนี้พิษของสารหนูยังส่งผลกระทบต่อระบบประสาทและอวัยวะสำคัญองค์การอนามัยโลกได้ประมาณการว่าผู้บริโภคน้ำดื่มที่มีสารหนูความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปนเปื้อนตลอดชีวิตมีความเสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งผิวหนังถึงร้อยละ 5

1.2 แคดเมียม (Cadmium, Cd)

แคดเมียมมีครึ่งชีวิต (biological half-time) ที่ยาวนานถึง 13-38 ปี เมื่อเข้าสู่ร่างกาย แคดเมียมจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดและไปสะสมอยู่ในอวัยวะโดยร้อยละ 50 ของแคดเมียมที่ถูกดูดซึมนั้นสะสมอยู่ที่ตับและไต แคดเมียมสามารถจับตัวได้ดีกับโปรตีนที่มีมวลโมเลกุลต่ำเกิดเป็นสารประกอบที่เรียกว่า metallothionein ซึ่งสารประกอบนี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการเคลื่อนที่และดูดซึมของแคดเมียมในร่างกายมนุษย์ มีรายงานว่า การรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมจะทำให้เกิดอาการปวดท้องรุนแรง ส่วนผลกระทบต่อร่างกายเมื่อได้รับแคดเมียมปริมาณสูง มีรายงานว่า ผู้ที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่สัมผัสกับไอและฝุ่นแคดเมียมออกไซด์โดยตรงมีอาการป่วยเนื่องจากหลอดลมอักเสบ โรคถุงลมโป่งพอง อาการโลหิตจาง รวมไปถึงนิวไน์ไตด้วย [4]

1.3 โครเมียม (Chromium, Cr)

โครเมียมในสถานะออกซิเดชันที่ปรากฏมากที่สุดคือโครเมียมที่มีวาเลนซ์ (valency) +2 +3 และ +6 โดยโครเมียมที่มีวาเลนซ์ +3 จะอยู่ในสถานะเสถียรที่สุดและโครเมียมที่มีวาเลนซ์+6เป็นตัวออกซิไดส์อานุภาพสูง โครเมียมที่มีวาเลนซ์ +3 หรือเรียกว่าไตรวาเลนซ์โครเมียม (trivalent chromium) เป็นสารจำเป็นในกระบวนการต่างๆ

ในร่างกายมนุษย์ เช่นการใช้กรดอะมิโนในการเผาผลาญ กลูโคส และ การเผาผลาญไขมัน ส่วนโครเมียมที่มีวาเลนซ์ +6 หรือเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม(hexavalent chromium) นั้นจัดว่าเป็นสารพิษต่อร่างกาย เมื่อร่างกายได้รับเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมในปริมาณน้อยจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อทางเดินอาหารและลำไส้ ถ้าได้รับเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม มากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักร่างกายจะทำให้เกิดพิษในตับ ไตวายและเสียชีวิตได้ นอกจากนี้ยังมีรายงานระบุว่า การได้รับเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมในปริมาณมากเป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งในระบบทางเดินอาหารและมะเร็งปอดได้ (4)

1.4 ตะกั่ว (Lead, Pb)

ตะกั่วมีความเป็นพิษต่อร่างกายสูง อาการผิดปกติของร่างกายเมื่อได้รับตะกั่วในปริมาณมาก เช่น อาการเหนื่อยล้า ไม่สบายท้อง การระคายเคือง และภาวะเลือดจาง ในกรณีของเด็กอาจพบพฤติกรรมผิดปกติและอาการผิดปกติทางสมอง ตะกั่วในปริมาณน้อยมีผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์ *protoporphobilinogen synthase* ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนรูปของกรดอะมิโนในร่างกาย นอกจากนี้ตะกั่วยังสามารถจับตัวได้ดีกับ *mitochondria* ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากกับการขนส่งออกซิเจนในกระบวนการสร้างพลังงานในร่างกาย (4)

1.5 สังกะสี (Zinc, Zn)

สังกะสีเป็นสารจำเป็นต่อร่างกายมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากมีความสำคัญต่อระบบการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น *alkaline phosphatase*, *carbonic anhydrase* และ *alcohol dehydrogenase* ปริมาณสังกะสีที่ร่างกายควรได้รับอยู่ระหว่าง 4-15 มิลลิกรัมต่อวัน หญิงตั้งครรภ์หรือหลังคลอดบุตรควรได้รับสังกะสีในปริมาณที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการได้รับสังกะสี 150 มิลลิกรัมต่อวันอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของตับและเหล็กในร่างกาย แต่ถ้าร่างกายได้รับทองแดง และเหล็กในปริมาณที่เพียงพอแล้ว สังกะสีก็จะมีผลกระทบน้อยมากแม้สังกะสีจะไม่เป็นพิษต่อร่างกายแต่การปน

เปื้อนในปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อรสชาติอาหารและน้ำดื่มได้ สังกะสีปนเปื้อนในน้ำเกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้น้ำมีสีขุ่นและเกิดฟิล์มมันลอยบนผิวน้ำขณะต้ม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ องค์การอนามัยโลกจึงแนะนำให้มียาปริมาณของสังกะสีไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำดื่ม (4)

งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดนี้เนื่องจาก สารหนู แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี อาจปะปนมากับวัตถุเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือยาง โดยเฉพาะสังกะสี ที่ใช้ในกระบวนการวัลคาไนซ์เซชัน เพื่อเป็นสารช่วยให้ยางเชื่อมประสานกันทั้งในกระบวนการผลิตถุงมือยางธรรมชาติ และถุงมือยางสังเคราะห์

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ตัวอย่างถุงมือ

ถุงมือยางที่ใช้ในการวิเคราะห์มีจำนวน 21 ตัวอย่าง เป็นถุงมือที่ทำมาจากยางธรรมชาติ 14 ตัวอย่างและถุงมือที่ทำมาจากยางสังเคราะห์ไนไตรล์ 7 ตัวอย่าง

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

2.2.1 วิธีเตรียมสารละลายตัวอย่างโดยการสกัดถุงมือยางด้วยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 4

ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นๆ ขนาด 5x5 ซม. จำนวน 4 ชิ้น ตัดตัวอย่างนำตัวอย่างใส่ในขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรจำนวน 2 ขวด ขวดละ 2 ชิ้น แล้วเติมสารละลายกรดอะซิติก ร้อยละ 4 โดยปริมาตร จำนวนขวดละ 200 มิลลิลิตร แล้วนำไปสกัดโลหะหนักในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ 40 ± 1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 + 1 นาที

2.2.2 วิธีเตรียมสารละลายตัวอย่างเนื้อถุงมือยางด้วยเครื่องย่อยสลายสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ตัดตัวอย่างถุงมือยางเป็นชิ้นเล็กๆ ประมาณ 2 กรัม ชั่งด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม นำใส่เวสเซล ๑ ละ 200 มิลลิกรัมจำนวน 2 เวสเซล เติมนไตรกลีเซอไรด์ 5 มิลลิลิตร ปิดฝาเวสเซล แล้วนำ

เข้าเครื่องไมโครเวฟ ตั้งสภาวะในการย่อยตามความเหมาะสมของตัวอย่าง เมื่อย่อยเสร็จแล้วปล่อยให้เย็น กรองสารละลายตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดด้วยน้ำปราศจากไอออน

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในถุงมือยางด้วยเทคนิค ICP-OES

นำสารละลายที่ได้จาก ข้อ 2.2.1 และ ข้อ 2.2.2 มาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม สารหนู และสังกะสี โดยใช้เครื่อง ICP-OES ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Optima 7300DV โดยเทียบกับกราฟของสารละลายมาตรฐาน สารหนู สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม และ โครเมียม ที่ความยาวคลื่น 188.979, 206.200, 220.353, 228.802 และ 267.716 นาโนเมตรตามลำดับ

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

อันตรายจากโลหะหนักในถุงมือยางมีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุดจากการสัมผัสกับอาหารที่มีความเป็นกรด โดยทั่วไปกรดที่ใช้ในครัวเรือน ได้แก่ น้ำส้มสายชู หรือ กรดอะซิติก จะมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 3-4 งานวิจัยนี้จึงเลือกกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 มาเป็นตัวแทนของอาหาร และเนื่องจากการใช้ถุงมือยางในอุตสาหกรรมอาหารเป็นลักษณะเคลื่อนที่ตลอดเวลา (จับแล้วปล่อย) จึงใช้สภาวะในการสกัดถุงมือยางที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (3)

3.1 ปริมาณ ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม และสารหนูในถุงมือยาง

จากการทดสอบปริมาณโลหะหนักโดยวิธีการสกัดในสารละลายกรดอะซิติกของถุงมือทั้ง 21 ตัวอย่าง ทั้งชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ และทำจากยางสังเคราะห์ ไนไตรล์ พบว่ามี ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม และสารหนู ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจหา (Limit of Detection, LOD) โดยที่ขีดจำกัดการตรวจหาของตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม และสารหนู คือ 0.0046, 0.0004, 0.0002, และ

0.0129 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อใช้วิธีการย่อยถุงมือทั้ง 21 ตัวอย่าง ตรวจพบตะกั่วในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติจำนวน 4 ตัวอย่าง (จาก 14 ตัวอย่าง) มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วอยู่ระหว่าง 1.67-4.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในเนื้อถุงมือยางไนไตรล์ ตรวจพบตะกั่วจำนวน 4 ตัวอย่าง (จาก 7 ตัวอย่าง) มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วอยู่ระหว่าง 2.00-5.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตรวจพบแคดเมียมในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติจำนวน 14 ตัวอย่าง มีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.11-0.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนถุงมือยางไนไตรล์ ตรวจพบแคดเมียมจำนวน 4 ตัวอย่าง มีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.10-0.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนโครเมียมและสารหนู พบว่ามีโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดในเนื้อถุงมือยางทั้ง 21 ตัวอย่าง ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจหาของโครเมียมและสารหนู คือ 0.019 และ 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าโลหะหนักที่อาจปนเปื้อนในถุงมือยางมากที่สุดคือตะกั่ว รองลงมาคือแคดเมียม การปนเปื้อนของโลหะหนักทั้งสองชนิดอาจมาจากวัตถุดิบและสารเติมในกระบวนการผลิตถุงมือ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ถุงมือยางในงานด้านอาหารในสภาวะปกติ (สัมผัสอาหารประเภทน้ำหรือกรดที่อุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส) ความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากโลหะทั้งสองชนิดนั้นมีน้อยมากสังเกตได้จากการที่ไม่พบโลหะหนักทั้ง ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม และสารหนู ในสารละลายกรดอะซิติกที่ใช้ในการสกัดถุงมือทั้ง 21 ตัวอย่างทั้งๆที่มีสารเหล่านี้อยู่ในเนื้อถุงมือสาเหตุก็เนื่องมาจาก โดยทั่วไปแล้ว การใช้งานถุงมือเพื่อหยิบจับอาหาร เวลาที่ถุงมือสัมผัสโดนอาหารนั้นสั้นมากซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วน้อยกว่า 10 นาที อีกทั้งอุณหภูมิของอาหารก็ไม่สูงมากนัก (ต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส) โอกาสที่โลหะหนักในถุงมือจะถูกชะออกมาปนเปื้อนอาหารได้จึงมีน้อย

3.2 ปริมาณสังกะสีในถุงมือยาง

จากการวัดปริมาณสังกะสีโดยวิธีการสกัดในสารละลายกรดอะซิติกของถุงมือยางทั้ง 21 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณสังกะสีในสารละลายที่สกัดได้จากถุงมือยางธรรมชาติ มีค่าอยู่ในช่วง 199-1706 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักสังกะสีต่อน้ำหนักถุงมือ) ส่วนปริมาณสังกะสีในสารละลายที่สกัดได้จากถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์มีค่าอยู่ในช่วง 141-2626 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสังกะสีในสารละลายกรดอะซิติกที่ใช้ในการสกัดถุงมือจากยางธรรมชาติกับปริมาณสังกะสีในสารละลายที่สกัดได้จากถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์ แสดงดัง Figure1

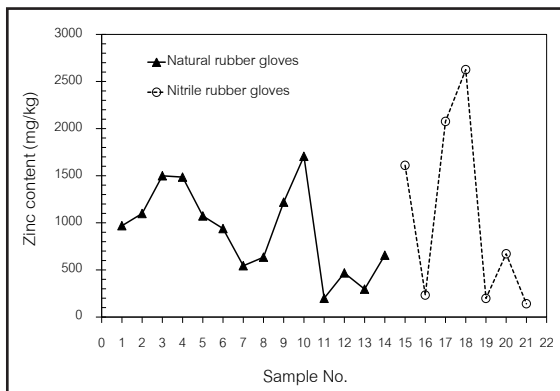


Figure 1 Zinc contents in acetic acid solutions extracted from natural rubber gloves and nitrile rubber gloves.

จากการวัดปริมาณสังกะสีในเนื้อถุงมือทั้ง 21 ตัวอย่าง พบสังกะสีในเนื้อถุงมือทั้ง 21 ตัวอย่างเช่นกัน ปริมาณสังกะสีในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติ มีค่าอยู่ 2840 - 8342 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณสังกะสีในเนื้อถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์ มีค่าอยู่ระหว่าง 7556 - 14036 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสังกะสีในเนื้อถุงมือจากยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับปริมาณสังกะสีในเนื้อถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์ แสดงดัง Figure2

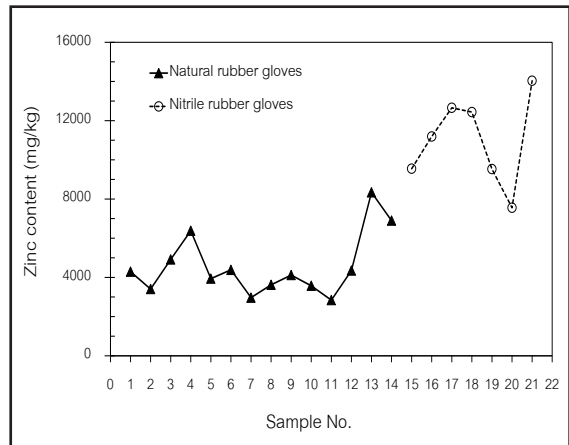


Figure 2 Zinc contents in textures of natural rubber gloves and nitrile rubber gloves.

จาก Figure 2 จะเห็นว่าสังกะสีในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติมีปริมาณน้อยกว่าสังกะสีในเนื้อถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์ ผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับข้อมูลจากการผลิตถุงมือ กล่าวคือในการผลิตถุงมือยางธรรมชาติมีการใช้ซิงค์ออกไซด์ เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมประสานร่วมกับกำมะถัน ปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่ใช้อยู่ในช่วงประมาณ 0.5-0.8 phr (ส่วนต่อร้อยละโดยน้ำหนักยางแห้ง) ซึ่งก็เท่ากับประมาณสังกะสี ประมาณ 5000-8000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในการผลิตถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์มีการใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโดยตรง โดยปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่ใช้อยู่ในช่วงประมาณ 1.0-1.5 phr ซึ่งก็เท่ากับประมาณสังกะสี 10000-15000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสังกะสีที่มีในเนื้อถุงมือยางกับปริมาณสังกะสีที่มีในสารละลายกรดอะซิติกที่ใช้สกัดถุงมือยางธรรมชาติ (Figure 3) พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สารละลายสามารถสกัดออกมาได้เฉลี่ยร้อยละ 22 โดยน้ำหนัก ปริมาณที่สกัดได้สูงสุดถึงร้อยละ 48 สำหรับถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์ (Figure 3) ปริมาณสังกะสีที่สารละลายสามารถสกัดออกมาได้เฉลี่ยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปริมาณที่สกัดได้เพียงร้อยละ 21 สาเหตุที่ปริมาณสังกะสีในถุงมือยางธรรมชาติสามารถถูกชะออกมาได้มากกว่าถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์นั้น

เป็นเพราะสังกะสีที่ใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือยางธรรมชาติแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างของยางแบบหลวมๆ ไม่ได้กลายเป็นส่วนหนึ่งในโครงข่าย เนื่องจากเป็นเพียงตัวช่วยกระตุ้นการเกิดวัลคาไนซ์เซชันที่ทำให้โมเลกุลยางเชื่อมประสานกันเท่านั้น ต่างกับสังกะสีที่ใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์ ซึ่งกลายเป็นส่วนหนึ่งในโครงข่าย อย่างไรก็ตาม สังกะสีในโครงข่ายของถุงมือยางทั้ง 2 ประเภทเกาะอยู่ในโครงข่ายด้วยพันธะทางกายภาพเท่านั้น จึงถูกสารเคมีที่มีสภาพเป็นกรดชะออกมาจากโครงข่ายได้ง่าย

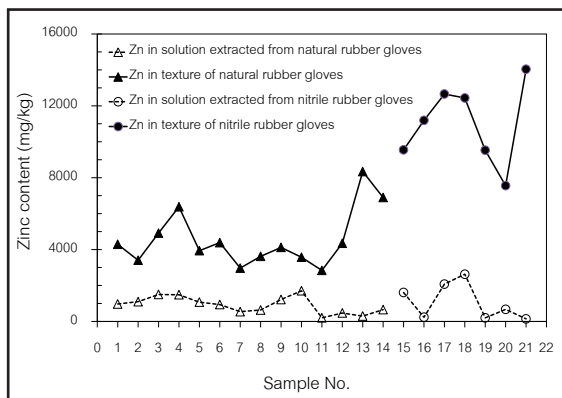


Figure 3 Zinc contents in acetic acid solutions extracted from gloves and zinc contents in glove textures of natural rubber gloves comparing with those of nitrile rubber gloves.

เนื่องจากสังกะสีไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย แต่สังกะสีปนเปื้อนในปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อรสชาติอาหารและน้ำดื่มได้ และสังกะสีในปริมาณที่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้น้ำมีสีขุ่นและเกิดฟิล์มมันลอยบนผิวน้ำขณะดื่ม องค์การอนามัยโลกกำหนดปริมาณสังกะสีที่ชะออกมาจากถุงมือจึงไม่ควรเกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่ถูกชะออกมาในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดัง Figure4

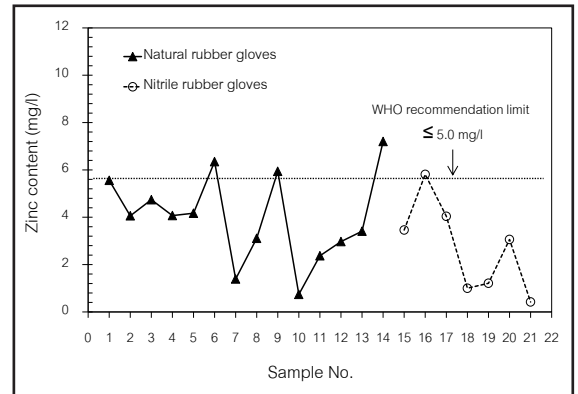


Figure 4 Zinc contents in acetic acid solutions extracted from natural rubber gloves and nitrile rubber gloves expressed in mg/l.

จาก Figure 4 จะเห็นว่าจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 21 ตัวอย่าง ปริมาณสังกะสีในสารละลายกรดอะซีติกที่ใช้ในการสกัดถุงมือมีค่าเกินปริมาณที่องค์การอนามัยโลกแนะนำจำนวน 5 ตัวอย่าง ในจำนวนนี้เป็นถุงมือที่ทำมาจากยางธรรมชาติ 4 ตัวอย่าง (จาก 14 ตัวอย่าง) และถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์ 1 ตัวอย่าง (จาก 7 ตัวอย่าง) ปริมาณสังกะสีที่ถูกชะออกมาโดยเฉลี่ยคือ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับถุงมือที่ทำมาจากยางธรรมชาติ และ 2.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตรล์

4. สรุป (Conclusion)

จากการศึกษาความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักจากการใช้ถุงมือยางในอุตสาหกรรมอาหารโดยการวิเคราะห์ปริมาณ ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม สารหนู และสังกะสี ในสารละลายกรดอะซีติกที่ใช้สกัดถุงมือยางและในเนื้อถุงมือยางจำนวน 21 ตัวอย่าง เป็นถุงมือที่ทำมาจากยางธรรมชาติ 14 ตัวอย่างและถุงมือจากยางสังเคราะห์ไนไตรล์ 7 ตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์ในเนื้อถุงมือยางพบโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีโดยเฉพาะสังกะสีถูกตรวจพบในปริมาณสูงคือ 2,840 - 8,342 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับถุงมือยางธรรมชาติ และ 7,556 - 14,036 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับถุงมือยาง

สังเคราะห์ไนไตรล์ ส่วนในสารละลายที่ใช้สกัดจาก
ถุงมือยางทั้ง 21 ตัวอย่างตรวจ ไม่พบตะกั่ว แคดเมียม
โครเมียม และสารหนูและพบสังกะสีในปริมาณต่ำ
กว่าเกณฑ์ที่องค์การอนามัยโลกแนะนำคือ น้อยกว่า 5
มิลลิกรัมต่อลิตร แต่มีถุงมือ 5 ตัวอย่างที่พบปริมาณ
สังกะสีมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (5.5 - 7 มิลลิกรัม
ต่อลิตร) ปริมาณสังกะสีที่พบในเนื้อถุงมือสัมพันธ์กับ
ปริมาณที่พบในสารละลายกระโจะซีติกที่ใช้สกัดถุงมือ

สรุปได้ว่าการใช้งานถุงมือยางทั้งที่ทำมา
จากยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ไนไตรล์ใน
อุตสาหกรรมอาหารในสภาวะปกติคือที่อุณหภูมิไม่เกิน
40 องศาเซลเซียส มีความเสี่ยงน้อยจากการปนเปื้อนของ
โลหะหนักทั้ง 5 ชนิด

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง
“เกณฑ์กำหนดและวิธีทดสอบด้านความปลอดภัยของ
ถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่ใช้ในงานด้านอาหาร”
สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- (1) Wong, N.P. Formulating latex compounds. Yoon, F.K. and Chuah, P.G. In Notes on NR examination glove manufacture. Malaysia :Rubber Research Institute of Malaysia, 1988, p.17-23.
- (2) Pinprayoon, O. A study of elastomeric particle structure and its influence on the mechanical properties of deposited films. PhD thesis. Manchester UK: The University of Manchester, 2010.
- (3) Forrest, M.J. Food Contact Rubber. In Forrest, M.J. Food Contact Rubber2. Vol.16. No.2. Shrewsbury UK :Rapra Technology, 2006, p. 2-10.
- (4) WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality : Health Criteria and Other Supporting Information. Vol.2. Belgium : World Health Organization, 1984, p. 63-67, 84-96, 111-117, 313-315.

การทดสอบความชำนาญรายการ การนับจำนวนจุลินทรีย์ในแป้ง Proficiency Testing: Aerobic plate count in starch

รวีวรรณ อาจสำอาง^{1*}, สุกัลยา พลเดช¹, พจมาน ทำจีน¹
Raviwan Artsamang^{1*}, Sukanya Pondet¹, Pochaman Tagheen¹

บทคัดย่อ

กิจกรรมการทดสอบความชำนาญ รายการ Aerobic plate count in starch ปี พ.ศ.2556 มีห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม 140 ห้องปฏิบัติการ และส่งผลกลับมาทั้งหมด ตัวอย่างที่จัดเตรียมสำหรับกิจกรรมนี้เป็นตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งผ่านการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรตลอดช่วงระยะเวลาที่กำหนดให้ห้องปฏิบัติการทำการทดสอบ

การประเมินสมรรถนะของห้องปฏิบัติการ คณะผู้ดำเนินงานเลือกใช้ค่ากำหนด (assigned value) ที่ได้จากค่าเฉลี่ยโรบัสต์ (robust average, $\hat{x}^*$) ของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม คำนวณโดยวิธี Algorithm A ตามมาตรฐาน ISO 13528 : 2005 และเลือกใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมิน การทดสอบความชำนาญ (standard deviation for proficiency assessment, $\hat{\sigma}_p$) ได้กำหนดไว้ที่ 0.5 log cfu/g เกณฑ์ในการประเมินกำหนดให้ห้องปฏิบัติการที่มีค่า $|z|$ score ≤ 2 เป็นห้องปฏิบัติการที่มีผลการทดสอบเป็นที่น่าพอใจ และที่มีค่า $|z|$ score ≥ 3 เป็นห้องปฏิบัติการที่มีผลการทดสอบไม่เป็นที่น่าพอใจหรือจัดเป็น outlier

ผลการประเมินสมรรถนะห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมรายการ Aerobic plate count in starch พบว่าห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจคือมีค่า $|z|$ score ≤ 2 คิดเป็นร้อยละ 92.9 ได้ผลเป็นที่น่าสงสัยคือมีค่า $2 < |z| < 3$ คิดเป็นร้อยละ 5.7 ส่วนห้องปฏิบัติการที่ได้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจคือมีค่า $|z|$ score ≥ 3 คิดเป็นร้อยละ 1.4

Abstract

Proficiency testing program: Aerobic plate count in starch for year 2013, there were 140 laboratories participated and all test results were accepted. Sample used in this program was starch which was tested for homogeneity before sending and confirmed stability until the last day that participants were allowed to test.

Evaluation of laboratories was conducted by using assigned value derived from robust average of participants calculated by Algorithm A following ISO 13528:2005. The standard deviation for proficiency assessment, $\hat{\sigma}_p$ was set at 0.5 log cfu/g from expert judgments. Laboratories who have $|z|$ score ≤ 2 are satisfactory, and $2 < |z| < 3$ are questionable while those who have $|z|$ score ≥ 3 are outlier.

For this program, it was found that laboratories who have score ≤ 2 are 92.9 %, those who have $2 < |z| < 3$ are 5.7 % and $|z|$ score ≥ 3 are 1.4.

คำสำคัญ : การนับจำนวนจุลินทรีย์ด้วยวิธี plate count, แป้ง, ทดสอบความชำนาญ

Keywords : Aerobic plate count, Starch, Proficiency testing

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

การควบคุมคุณภาพของห้องปฏิบัติการโดยการเข้าร่วมกิจกรรมการทดสอบความชำนาญเป็นเหมือนการควบคุมคุณภาพภายในของห้องปฏิบัติการ โดยใช้การตรวจสอบจากภายนอก การที่ผลการทดสอบความชำนาญดีจะเป็นหลักฐานที่ดีในการประกันคุณภาพของห้องปฏิบัติการว่าขั้นตอนในการปฏิบัติงาน วิวิธีวิเคราะห์ และการปฏิบัติการต่างๆ ของห้องปฏิบัติการอยู่ในการควบคุมที่ดี

การทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ (laboratory proficiency testing) เป็นการตรวจสอบสมรรถนะของห้องปฏิบัติการ โดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หรือทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ (interlaboratory comparison) โดยใช้ตัวอย่างเดียวกันหรือเหมือนกัน ปฏิบัติภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน จุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาคุณภาพของห้องปฏิบัติการทดสอบ ผลจากการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญจะทำให้ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมได้แสดงความสามารถให้เป็นที่ยอมรับแก่หน่วยงานที่ให้การรับรองหรือหน่วยงานที่กำกับดูแลและลูกค้า ผู้จัดกิจกรรมทดสอบความชำนาญจะจัดส่งตัวอย่างที่แบ่งมาจากตัวอย่างเดียวกัน ไปยังห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม เพื่อให้แต่ละห้องปฏิบัติการทำการวิเคราะห์ และส่งผลภายในเวลาที่กำหนด กรมวิทยาศาสตร์บริการจึงได้จัดกิจกรรมการทดสอบความชำนาญรายการ การนับจำนวนจุลินทรีย์ในแป้ง (Aerobic plate count in starch) ซึ่งรายการ Aerobic plate count เป็นรายการหนึ่งที่ห้องปฏิบัติการทดสอบอาหารต้องทดสอบเพื่อเป็นการตรวจสอบคุณภาพอาหาร หรือการปนเปื้อนระหว่างการผลิต และในด้านการสร้างความเชื่อมั่นในผลการทดสอบและคุณภาพของสินค้า

การเลือกตัวอย่างแป้ง (starch) สำหรับกิจกรรมทดสอบความชำนาญครั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างแป้ง มีความเสถียรเพียงพอที่จะคงความไม่เปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ในระหว่างช่วงระยะเวลาการทดสอบของแต่ละ

ห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะทำให้มั่นใจว่าผลการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์มาจากตัวอย่างที่เป็นตัวอย่างที่เหมือนกันไม่มีการเปลี่ยนแปลง กิจกรรมนี้ได้ให้บริการมาหลายปีและในปี พ.ศ.2556 นี้ ได้มีการพัฒนาโดยเพิ่มการปนเปื้อนของแป้งโดยเติมเชื้อจากปุ๋ยชีวภาพลงไปเป็นตัวแทนของการปนเปื้อนเพื่อให้ห้องปฏิบัติการได้แสดงความสามารถในการทำเจือจางได้เพียงพอ

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 การจัดหาตัวอย่าง จัดซื้อตัวอย่างแป้ง (starch) ที่จำหน่ายอยู่ในซูเปอร์มาร์เก็ตประมาณ 10 กิโลกรัม โดยจัดซื้อเมื่อเดือนธันวาคม 2555 เพื่อจัดส่งตัวอย่างในเดือนมกราคม 2556 ขณะซื้อต้องสังเกตที่ถุงว่าต้องเป็น lot การผลิตเดียวกัน เพื่อให้ตัวอย่างแต่ละถุงมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด นำมาผสมกันให้เป็นตัวอย่างเดียวกันโดยใช้เครื่องผสม แป้งมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ซึ่งมีเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ตามธรรมชาติและมีการเติมเชื้อจากปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มการปนเปื้อน ทำการแบ่งบรรจุโดยแบ่งตัวอย่างประมาณ 55 กรัม บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึก มีฉลากระบุหมายเลขตัวอย่างชัดเจน เป็น Sample A จำนวนตัวอย่างที่จัดทำนอกจากต้องให้เพียงพอกับจำนวนห้องปฏิบัติการแล้ว ยังต้องมีเหลือให้เพียงพอกับตัวอย่างที่ต้องหาความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity) 10 ตัวอย่าง และความเสถียร (stability) อีก 5 ตัวอย่าง นอกจากนี้ยังต้องมีเหลือเก็บไว้สำหรับเมื่อลูกค้าร้องขอเนื่องจากตัวอย่างเสียหายระหว่างขนส่ง และเก็บไว้ศึกษาความเสถียรเมื่อต้องการนำไปทำเป็นตัวอย่างควบคุม (control sample) ภายหลัง

2.2 การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity testing) (1)

ตัวอย่าง starch ที่จัดเตรียมขึ้นสำหรับแจกจ่ายให้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมจะต้องมีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความเสถียรตลอดช่วงระยะเวลาที่กำหนด เลือกสุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง และได้ทดสอบ

ความเป็นเนื้อเดียวกัน อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้คือ Plate count agar บ่มเชื้อที่ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แต่ละตัวอย่างจะทดสอบแบบ duplicate ในการประเมินผลเพื่อตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่าง วิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Between sample analysis ตามมาตรฐาน ISO 13528 : 2005 (2) สำหรับการวิเคราะห์ความเหมาะสมกับกิจกรรม พบว่าตัวอย่างที่จัดเตรียมขึ้นมีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์การดำเนินการในครั้งนี้

2.3 การทดสอบความเสถียร (stability testing) (1)

เลือกสุ่มตัวอย่างที่เป็นชุดเดียวกับที่แจกจ่ายให้แก่ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม จำนวน 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบรายการ Aerobic plate count ซึ่งปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยทำการทดสอบในวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2556 ซึ่งเป็นวันหลังจากที่กำหนดให้ห้องปฏิบัติการทำการทดสอบเป็นวันสุดท้าย นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่ทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ISO 13528 : 2005 จากการประเมินทางสถิติพบว่าชุดตัวอย่างมีความเสถียรตลอดช่วงระยะเวลาที่กำหนดให้ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมดำเนินการทดสอบ

2.4 การแจกจ่ายตัวอย่าง (sample distribution) (1)

คณะผู้ดำเนินงานได้ส่งตัวอย่างพร้อมเอกสารที่เกี่ยวข้องให้ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมครั้งนี้ทางไปรษณีย์ด่วนพิเศษ (EMS) ในวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2556 ซึ่งแต่ละห้องปฏิบัติการจะได้รับตัวอย่าง จำนวน 1 ตัวอย่าง พร้อมเอกสาร 5 ชุด ได้แก่ เอกสารข้อแนะนำสำหรับห้องปฏิบัติการในการดำเนินงาน (Instruction to participants) เอกสารทางเทคนิค (Technical document) ใบรายงานผลการทดสอบ (Results sheet) แบบบันทึกการรับตัวอย่าง แบบข้อตกลงร่วม ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมสามารถเลือกวิธีทดสอบตามที่ห้องปฏิบัติการใช้อยู่เป็นประจำในการทดสอบรายการ Aerobic plate count โดยรายงานผลการทดสอบในใบรายงาน

ผลการทดสอบ พร้อมระเบียบวิธีทดสอบที่ใช้

2.5 การออกแบบทางสถิติ (statistical design)

สถิติที่ใช้ในการประเมินผลกิจกรรมการทดสอบความชำนาญครั้งนี้ปฏิบัติตามมาตรฐานประกอบด้วย ISO 13528 : 2005 ซึ่งแต่ละห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมจะได้รับตัวอย่างจำนวน 1 ตัวอย่าง โดยทำการทดสอบรายการ Aerobic plate count และรายงานผลการทดสอบเพียง 1 ค่า จากนั้นทำการประเมินผลการทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการ โดยการหาค่าสถิติต่าง ๆ ดังนี้

2.6 สถิติโรบัสต์ (robust statistic)

เป็นสถิติที่ใช้ประเมินสมรรถนะของห้องปฏิบัติการซึ่งคำนวณโดยวิธี Algorithm A หาค่าเฉลี่ยโรบัสต์ (robust average, x^*) ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่า z-score ของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม

2.7 การหาค่ากำหนด (assigned value)

ใช้ค่าเฉลี่ยโรบัสต์ x^* ของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมเป็นค่ากำหนด ซึ่งจัดเป็นค่ายอมรับจากกลุ่มของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม (consensus value from participants) ซึ่งคำนวณโดยวิธี Algorithm A

2.8 การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินการทดสอบความชำนาญ (standard deviation for proficiency assessment, $\hat{\sigma}_p$)

ในกิจกรรมการทดสอบความชำนาญครั้งนี้คณะผู้ดำเนินงาน และที่ปรึกษาด้านวิชาการได้พิจารณาจากเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้องและประวัติของการดำเนินกิจกรรมทดสอบความชำนาญรายการนี้ที่ผ่านมาและตัดสินใจเลือกใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินการทดสอบความชำนาญ (standard deviation for proficiency assessment, $\hat{\sigma}_p$) เป็นค่า 0.500 log cfu/g ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังกล่าว จะนำมาใช้ในการประเมินผลค่า z-score ของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม

2.9 การหาค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ของค่ากำหนด

เนื่องจากค่ากำหนดของกิจกรรมทดสอบความชำนาญในครั้งนี้ คำนวณโดยวิธี Algorithm A ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (standard uncertainty) ของค่ากำหนด สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (1)

$$u_x = 1.25 \times s^* / \sqrt{n} \quad (1)$$

u_x = ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน

s^* = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโรบัสต์

n = จำนวนผลทดสอบ

3. ผลและวิจารณ์ (Result and Discussion)

ห้องปฏิบัติการที่รายงานผลรายการ Aerobic plate count มีจำนวน 140 ห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบทั้งหมดได้นำมาประเมินผลทางสถิติเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยโรบัสต์ (x^*)

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินการทดสอบความชำนาญ ($\hat{\sigma}_p$) และค่าความไม่แน่นอนของค่ากำหนด (u_x) โดยการเปลี่ยนรูป (transformed) ค่าที่ห้องปฏิบัติการรายงานมาจาก cfu/g เป็นค่า log10 cfu/g เพื่อนำมาใช้ในการประเมินสมรรถนะของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรม

3.1 ค่าเฉลี่ยโรบัสต์ (x^*) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินการทดสอบความชำนาญ ($\hat{\sigma}_p$) ดังแสดงใน Table 1

Table 1: Summary statistics for Aerobic plate count in starch

Summary statistics	Value
No. of results	140
Robust average (x^*) (log cfu/g)	5.327
Standard deviation for proficiency assessment ($\hat{\sigma}_p$) (log cfu/g)	0.500

3.2 การประเมินสมรรถนะ (evaluation of performance)

3.2.1 วิธีการประเมินผล

ในการประเมินสมรรถนะของห้องปฏิบัติการครั้งนี้ คณะผู้ดำเนินงานเลือกใช้ z-score ที่คำนวณจากค่าเฉลี่ยโรบัสต์ (x^*) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินการทดสอบความชำนาญ ($\hat{\sigma}_p$) ซึ่งตั้งไว้ที่ 0.500 log cfu/g ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$z = (X_i - x^*) / \hat{\sigma}_p \quad (2)$$

X_i = ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ

x^* = ค่าเฉลี่ยโรบัสต์ (Robust average)

$\hat{\sigma}_p$ = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินการทดสอบความชำนาญ

3.2.2 เกณฑ์การประเมิน

การประเมินค่า z-score ใช้เกณฑ์การประเมินดังตารางที่ 2 ซึ่งถ้าผลของ $|z|$ score มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 3 จะแสดงด้วยอักษร "A" (Action signal) ข้างตัวเลข แสดงว่าผลการทดสอบนั้นเป็น outlier ต้องหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไข และถ้าผลของ $|z|$ score มีค่ามากกว่า 2 แต่น้อยกว่า 3 จะแสดงด้วยอักษร "W" (Warning signal) ข้างตัวเลข แสดงว่าผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องระวัง อาจจะทบทวนวิธีการทดสอบใหม่

Table 2 Criteria for z-score

z-score	Criteria
$ z \leq 2$	ผลเป็นที่น่าพอใจ (satisfactory)
$2 < z < 3$	ผลเป็นที่น่าสงสัย (questionable)
$ z \geq 3$	ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ (unsatisfactory)

3.2.3 ผลการประเมิน

ผลจากการประเมินสมรรถนะของห้องปฏิบัติการในตัวอย่าง starch รายการทดสอบ Aerobic plate count สรุปผลได้ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Evaluation of performance: Aerobic plate count in starch

Z score	Number of laboratories	% laboratories
$ z \leq 2$	130	92.9
$2 < z < 3$	8	5.7
$ z \geq 3$	2	1.4

3.2.4 ข้อคิดเห็นทางเทคนิค

จากข้อมูลในใบรายงานผลการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการระบุวิธีทดสอบไว้พบว่า วิธีที่ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ใช้วิธี Pour plate method เป็นจำนวน 120 ห้องปฏิบัติการ วิธี Petrifilm plate จำนวน 16 ห้องปฏิบัติการ และวิธี Spread plate จำนวน 4 ห้องปฏิบัติการ ดังแสดงใน Table 5

Table 4 : Laboratories code numbers (PC01-1301 - ...) who have $|z| > 2$

Laboratory code number	
$2 < z < 3$	$ z \geq 3$
001, 005, 014, 037, 058, 075, 077, 128	036, 112

คำอธิบาย ตัวอย่างเช่น 001 หมายถึงห้องปฏิบัติการที่มีรหัส PC01-1301-001

จากการประเมินของห้องปฏิบัติการโดยใช้ z-score สำหรับห้องปฏิบัติการที่มีผลเป็นที่น่าสงสัย ($2 < |z| < 3$) และไม่เป็นที่น่าพอใจ ($|z| \geq 3$) ของรายการ Aerobic plate count ดังแสดงใน Table 4 สำหรับการประเมินผลของแต่ละห้องปฏิบัติการอยู่ใน Table 5 ห้องปฏิบัติการที่ได้ผลของ $|z|$ score มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 3 ควรดำเนินการตรวจสอบหาสาเหตุและปฏิบัติการแก้ไข สำหรับห้องปฏิบัติการที่ได้ผลของ $|z|$ score มีค่าระหว่าง 2 และ 3 ควรดำเนินการทบทวนผลการทดสอบ

4. สรุป (Conclusion)

การทดสอบความชำนาญรายการ Aerobic plate count in starch โดยการใช้ตัวอย่างแป้งมีเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ตามธรรมชาติและมีการเติมเชื้อจากปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มการปนเปื้อน เพื่อให้ห้องปฏิบัติการได้แสดงความสามารถในการทำ dilution ได้เพียงพอ ตัวอย่างแป้งมีความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรตลอดระยะเวลาที่ส่งให้ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมได้ทดสอบ ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมสามารถใช้ผลการประเมินสมรรถนะมาใช้ในการพัฒนาความสามารถห้องปฏิบัติการ และช่วยเป็นที่ยืนยันในความสามารถของห้องปฏิบัติการ ในกรณีที่เกิดการทดสอบความชำนาญไม่เป็นที่น่าพอใจ หรือเป็นที่น่าสงสัย ห้องปฏิบัติการต้องมีการทบทวน สืบสวนหาสาเหตุ และปฏิบัติการแก้ไข เพื่อเป็นการพัฒนาความสามารถของห้องปฏิบัติการให้ดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ คุณรัชดา เหมปรู๊ว ผู้อำนวยการศูนย์บริหารจัดการทดสอบความชำนาญ คุณวรรณิ์ อุโพบรณ์ คุณศรีสุดา ห่อระฤก ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดกิจกรรมนี้ให้ลุล่วงไปได้ดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

(1) Conformity assessment-General requirements for proficiency testing, ISO/IEC 17043 : 2010.

(2) Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons. ISO/13528: 2005.

Table 5 Results and z-scores for Aerobic plate count in starch

Laboratory Code No.	*Results as lab reported (cfu/g)	Transformed Results (log cfu/g)	z-scores	Method Code	Laboratory Code No.	Results as lab reported (cfu/g)	Transformed Results (log cfu/g)	z-scores	Method Code
PC01-1301-001	9.0x10 ³	3.95	-2.75 W	1	PC01-1301-031	1.1x10 ⁵	5.04	-0.57	1
PC01-1301-002	210,000	5.32	-0.01	1	PC01-1301-032	1.3x10 ⁶	6.11	1.57	2
PC01-1301-003	1.6x10 ⁵	5.20	-0.25	1	PC01-1301-033	2.50x10 ⁴	4.40	-1.85	1
PC01-1301-004	1.4x10 ⁵	5.15	-0.35	1	PC01-1301-034	150,000	5.18	-0.29	1
PC01-1301-005	1.2x10 ⁴	4.08	-2.49 W	1	PC01-1301-035	1.39x10 ⁵	5.14	-0.37	2
PC01-1301-006	1.19x10 ⁵	5.08	-0.49	1	PC01-1301-036	4.3x10 ³	3.63	-3.39 A	1
PC01-1301-007	2.5x10 ⁵	5.40	0.15	1	PC01-1301-037	6,800	3.83	-2.99 W	1
PC01-1301-008	6.9x10 ⁵	5.84	1.03	3	PC01-1301-038	57,000	4.76	-1.13	1
PC01-1301-009	208,000	5.32	-0.01	1	PC01-1301-039	5.51x10 ⁵	5.74	0.83	1
PC01-1301-010	1.9x10 ⁵	5.28	-0.09	1	PC01-1301-040	500,000	5.70	0.75	3
PC01-1301-011	8.6x10 ⁵	5.93	1.21	3	PC01-1301-041	4.5x10 ⁴	4.65	-1.35	1
PC01-1301-012	670,000	5.83	1.01	3	PC01-1301-042	4.4x10 ⁴	4.64	-1.37	1
PC01-1301-013	176,000	5.25	-0.15	1	PC01-1301-043	2.6x10 ⁵	5.41	0.17	1
PC01-1301-014	1.4x10 ⁴	4.15	-2.35 W	1	PC01-1301-044	8.50x10 ⁵	5.93	1.21	1
PC01-1301-015	9.1x10 ⁴	4.96	-0.73	1	PC01-1301-045	10x10 ⁵	6.00	1.35	1
PC01-1301-016	1.2x10 ⁵	5.08	-0.49	1	PC01-1301-046	2.33x10 ⁵	5.37	0.09	1
PC01-1301-017	2.6x10 ⁵	5.41	0.17	1	PC01-1301-047	2.7x10 ⁵	5.43	0.21	3
PC01-1301-018	4.2x10 ⁵	5.62	0.59	1	PC01-1301-048	99,000	5.00	-0.65	1
PC01-1301-019	4.2x10 ⁵	5.62	0.59	1	PC01-1301-049	200,000	5.30	-0.05	1
PC01-1301-020	1.2x10 ⁶	6.08	1.51	3	PC01-1301-050	6.0x10 ⁴	4.78	-1.09	1
PC01-1301-021	32,000	4.51	-1.63	1	PC01-1301-051	1.3x10 ⁵	5.11	-0.43	1
PC01-1301-022	2.6x10 ⁵	5.41	0.17	1	PC01-1301-052	320,000	5.51	0.37	1
PC01-1301-023	1.38x10 ⁵	5.14	-0.37	3	PC01-1301-053	1.1x10 ⁵	5.04	-0.57	1
PC01-1301-024	4.6x10 ⁵	5.66	0.67	1	PC01-1301-054	5.55x10 ⁵	5.74	0.83	1
PC01-1301-025	2.1x10 ⁵	5.32	-0.01	1	PC01-1301-055	2.4x10 ⁵	5.38	0.11	3
PC01-1301-026	1.64x10 ⁵	5.21	-0.23	1	PC01-1301-056	2.7x10 ⁵	5.43	0.21	1
PC01-1301-027	6.0x10 ⁵	5.78	0.91	3	PC01-1301-057	6.1x10 ⁵	5.79	0.93	1
PC01-1301-028	1.3x10 ⁵	5.11	-0.43	1	PC01-1301-058	19,000	4.28	-2.09 W	1
PC01-1301-029	340,000	5.53	0.41	1	PC01-1301-059	6.4x10 ⁵	5.81	0.97	1
PC01-1301-030	1.8x10 ⁵	5.26	-0.13	1	PC01-1301-060	8.0x10 ⁴	4.90	-0.85	1

Table 5 Results and z-scores for Aerobic plate count in starch (continued)

Laboratory Code No.	*Results as lab reported (cfu/g)	Transformed Results (log cfu/g)	z-scores	Method Code	Laboratory Code No.	Results as lab reported (cfu/g)	Transformed Results (log cfu/g)	z-scores	Method Code
PC01-1301-061	96,000	4.98	-0.69	1	PC01-1301-091	1.1x10 ⁵	5.04	-0.57	1
PC01-1301-062	2.1x10 ⁵	5.32	-0.01	1	PC01-1301-092	41,000	4.61	-1.43	1
PC01-1301-063	2.12x10 ⁵	5.33	0.01	1	PC01-1301-093	2.4x10 ⁵	5.38	0.11	1
PC01-1301-064	1.3x10 ⁵	5.11	-0.43	1	PC01-1301-094	1.2x10 ⁵	5.08	-0.49	1
PC01-1301-065	110,000	5.04	-0.57	1	PC01-1301-095	1.6x10 ⁵	5.20	-0.25	1
PC01-1301-066	1.32x10 ⁶	6.12	1.59	1	PC01-1301-096	1.0x10 ⁶	6.00	1.35	1
PC01-1301-067	2.45x10 ⁵	5.39	0.13	1	PC01-1301-097	72x10 ³	4.86	-0.93	1
PC01-1301-068	8.2x10 ⁵	5.91	1.17	3	PC01-1301-098	860,000	5.93	1.21	3
PC01-1301-069	120x10 ³	5.08	-0.49	1	PC01-1301-099	5.3x10 ⁵	5.72	0.79	3
PC01-1301-070	4.5x10 ⁵	5.65	0.65	3	PC01-1301-100	1.6x10 ⁵	5.20	-0.25	1
PC01-1301-071	3.4x10 ⁵	5.53	0.41	1	PC01-1301-101	7.1x10 ⁵	5.85	1.05	1
PC01-1301-072	2.4x10 ⁵	5.38	0.11	1	PC01-1301-102	1.2x10 ⁵	5.08	-0.49	1
PC01-1301-073	5.27x10 ⁵	5.72	0.79	1	PC01-1301-103	5.7x10 ⁵	5.76	0.87	2
PC01-1301-074	630,000	5.80	0.95	1	PC01-1301-104	9.30x10 ⁴	4.97	-0.71	1
PC01-1301-075	8.6x10 ³	3.93	-2.79 W	1	PC01-1301-105	1.8x10 ⁵	5.26	-0.13	1
PC01-1301-076	570,000	5.76	0.87	1	PC01-1301-106	4.8x10 ⁴	4.68	-1.29	1
PC01-1301-077	1.8x10 ⁴	4.26	-2.13 W	1	PC01-1301-107	3.0x10 ⁵	5.48	0.31	1
PC01-1301-078	149,000	5.17	-0.31	1	PC01-1301-108	310,000	5.49	0.33	1
PC01-1301-079	8.83x10 ⁵	5.95	1.25	1	PC01-1301-109	1.0x10 ⁵	5.00	-0.65	1
PC01-1301-080	1.5x10 ⁶	6.18	1.71	1	PC01-1301-110	8.4x10 ⁴	4.92	-0.81	1
PC01-1301-081	430,000	5.63	0.61	1	PC01-1301-111	114,000	5.06	-0.53	1
PC01-1301-082	1.6x10 ⁵	5.20	-0.25	1	PC01-1301-112	2.2x10 ³	3.34	-3.97 A	1
PC01-1301-083	1.0x10 ⁶	6.00	1.35	1	PC01-1301-113	1.5x10 ⁵	5.18	-0.29	1
PC01-1301-084	104,500	5.02	-0.61	1	PC01-1301-114	1.8x10 ⁵	5.26	-0.13	1
PC01-1301-085	4.94x10 ⁵	5.69	0.73	3	PC01-1301-115	62,000	4.79	-1.07	1
PC01-1301-086	330,000	5.52	0.39	1	PC01-1301-116	3.7x10 ⁵	5.57	0.49	1
PC01-1301-087	2.71x10 ⁵	5.43	0.21	1	PC01-1301-117	2.60x10 ⁵	5.41	0.17	1
PC01-1301-088	3.8x10 ⁵	5.58	0.51	1	PC01-1301-118	1.6x10 ⁵	5.20	-0.25	1
PC01-1301-089	1.1x10 ⁶	6.04	1.43	1	PC01-1301-119	77,720	4.89	-0.87	1
PC01-1301-090	2.2x10 ⁵	5.34	0.03	1	PC01-1301-120	240,000	5.38	0.11	1

Table 5 Results and z-scores for Aerobic plate count in starch (continued)

Laboratory Code No.	*Results as lab reported (cfu/g)	Transformed Results (log cfu/g)	z-scores	Method Code
PC01-1301-121	1.5×10^5	5.18	-0.29	1
PC01-1301-122	2.2×10^5	5.34	0.03	1
PC01-1301-123	1.39×10^5	5.14	-0.37	1
PC01-1301-124	220,000	5.34	0.03	3
PC01-1301-125	160,000	5.20	-0.25	1
PC01-1301-126	2.0×10^5	5.30	-0.05	1
PC01-1301-127	2.1×10^5	5.32	-0.01	1
PC01-1301-128	8.0×10^3	3.90	-2.85 W	1
PC01-1301-129	2.1×10^5	5.32	-0.01	1
PC01-1301-130	8.50×10^5	5.93	1.21	3
PC01-1301-131	8.25×10^5	5.92	1.19	1
PC01-1301-132	1.50×10^5	5.18	-0.29	1
PC01-1301-133	320,000	5.51	0.37	1
PC01-1301-134	6.7×10^5	5.83	1.01	1
PC01-1301-135	1.37×10^6	6.14	1.63	1
PC01-1301-136	1.8×10^5	5.26	-0.13	1
PC01-1301-137	2.4×10^5	5.38	0.11	2
PC01-1301-138	8.6×10^4	4.93	-0.79	1
PC01-1301-139	6.5×10^5	5.81	0.97	1
PC01-1301-140	373,101	5.57	0.49	1

*Results as lab reported (cfu/g) หมายถึง ค่าที่ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมกิจกรรมรายงานมา

Summary statistics	Result
No. of results	140
Robust average $(x^*)^1$ (log cfu/g)	5.327
Standard deviation for proficiency assessment $(\sigma_p)^2$ (log cfu/g)	0.500

หมายเหตุ

1. "A" หมายถึง "Action signal" เมื่อ $|z| > 3$
2. "W" หมายถึง "Warning signal" เมื่อ $2 < |z| < 3$

Method Code

Code 1 = Pour plate method

Code 2 = Spread plate

Code 3 = Petrifilm plate

การศึกษาผลกระทบของเนื้อสารตัวอย่างและประเภทของแบคทีเรียที่มี พลต่อค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยา The effect of matrices and bacterial type on uncertainty of microbiological testing

กิจติศักดิ์ ยศอินทร์^{1*}
Kijitiskak Yotinn^{1*}

บทคัดย่อ

การรายงานผลการทดสอบที่สมบูรณ์ต้องประกอบด้วยผลการทดสอบพร้อมด้วยค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ ค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบแสดงถึงความแม่นยำของผลการทดสอบ การประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยาอาศัยวิธีการแบบ “Top-down approach” โดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทำซ้ำได้ (Standard deviation of reproducibility, SR) ตามมาตรฐาน ISO/TS 19036:2006/Amd.1:2009(E) จากข้อมูลของห้องปฏิบัติการทดสอบที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 พบว่าเนื้อสารของตัวอย่างมีผลต่อค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ หากเป็นตัวอย่างที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันค่าความไม่แน่นอนจะมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันน้อยกว่า และพบว่าชนิดของแบคทีเรียไม่มีผลต่อค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยา

Abstract

A complete test report shall include the results of the test, along with the uncertainty of the test result. The uncertainty of the test shows the quality of the test results. The estimation of the uncertainty of the microbiological testing are “Top-down approach” that using the standard deviation of reproducibility. The standard ISO/TS 19036:2006/Amd.1:2009(E) mentions various factors that affect the uncertainty of microbiological testing. The data from accredited laboratory according to ISO/IEC 17025 shows that the matrices of the sample affect the uncertainty of the microbiological testing. The uncertainty of microbiological testing from homogeneous sample is smaller than the inhomogeneous sample. In addition, the types of bacteria do not affect on the uncertainty of microbiological testing.

คำสำคัญ : ความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยา, เนื้อสารทดสอบ

Keywords : Microbiological uncertainty , Matrices

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

การรายงานผลการทดสอบที่สมบูรณ์ต้องประกอบด้วย การแสดงค่าผลการทดสอบ พร้อมด้วยค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ ค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ (Uncertainty of measurement) เป็นพารามิเตอร์ค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบ ที่กระจายครอบคลุมปริมาณที่ทดสอบ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมาตรวิทยา(1) ในปัจจุบันผู้ทดสอบต่างตระหนักว่า แม้ได้มีการปรับแก้ค่าผลการทดสอบ (correction) ให้เหมาะสมแล้ว แต่ยังคงมีค่าความไม่แน่นอนผลของการทดสอบอยู่ ซึ่งเป็นการแสดงถึงความแม่นยำของผลการทดสอบ ปัจจุบันมีแนวทางการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบหลายวิธีซึ่งข้อกำหนด ISO/IEC 17025 ไม่ได้ระบุว่าต้องใช้แนวทางใด แต่ห้องปฏิบัติการควรใช้แนวทางที่ให้การประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบอย่างสมเหตุสมผลและถูกต้องตามหลักวิชาการ

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตและมีสภาวะที่หลากหลาย แตกต่างกันไป อาจจำแนกออกเป็น genera, species และ strain การประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยาแบบ “bottom-up approach” จะมีโอกาสสูงที่แหล่งความไม่แน่นอนย่อยซึ่งมีนัยสำคัญในการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยาอาจไม่ถูกนำมาประเมิน ทำให้การประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบต่ำกว่าความเป็นจริง ขณะที่แนวทางการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบแบบ “Top-down approach” หรือ “Global Approach” เป็นการให้หลักการที่เข้าใจได้ง่าย โดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทำซ้ำ (Standard deviation of reproducibility, SR) ที่ได้จากการทดสอบมาพิจารณาหาค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ ส่วนแหล่งความไม่แน่นอนย่อย ๆ ไม่ได้นำมาคิด เนื่องจากถูกรวมไว้แล้วในการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ(2) แนวทางนี้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO/TS 19036:2006/ Amd.1:2009(E) ซึ่งห้องปฏิบัติการทางจุลชีววิทยานิยมใช้แนวทางนี้ในการขอรับการรับรองความสามารถห้อง

ปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025

มาตรฐานISO/TS 19036:2006 ได้บ่งชี้ถึงแหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยา ภายในห้องปฏิบัติการเดียว (single laboratory) ปัจจัยต่างๆ ได้แก่การสุ่มตัวอย่าง (sampling) สารละลายเริ่มต้น (initial solution) ปริมาตรของสารละลายที่ใช้เจือจาง การควบคุมคุณภาพอาหารเลี้ยงเชื้อ เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดสอบ เครื่องมือ ภาวะแวดล้อม และบุคลากรที่ทดสอบ ถูกรวมไว้แล้วในการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทำซ้ำ(2) ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาปัจจัยที่มาจากลักษณะเนื้อสารของตัวอย่างทดสอบ และประเภทของจุลินทรีย์ ที่มีผลกระทบกับค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยาผ่านทางค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทำซ้ำได้ โดยศึกษาข้อมูลที่ได้จากห้องปฏิบัติการทดสอบทางจุลชีววิทยาที่ได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบ

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

นำข้อมูลจากห้องปฏิบัติการทดสอบทางจุลชีววิทยาซึ่งได้กำหนดแผนการทดสอบที่เหมาะสมมาคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ เปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากตัวอย่างทดสอบประเภทอาหารชนิดต่างๆ และตัวอย่างทดสอบประเภทน้ำชนิดต่างๆ ตลอดจนค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการทดสอบแบบที่เรียแกรมบวกและแบบที่เรียแกรลบลงรายละเอียดของการคำนวณดังนี้

2.1 คำนวณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ

2.1.1 นำผลการเจือจาง (cfu/g หรือ cfu/ml) ทั้งหมดของผู้วิเคราะห์ทั้ง 2 คน มาแปลงเป็นค่า $\log_{10}$ (cfu/g หรือ cfu/ml) เพื่อให้ข้อมูลเป็น normal distribution

2.1.2 คำนวณค่าแตกต่างระหว่างค่า $\log_{10}$ ของผลการทดสอบของผู้ทดสอบ 1 และ 2

2.1.3 นำผลที่ได้จากข้อ 2.1.2 ยกกำลัง 2 แล้วหารด้วย 2

2.1.4 คำนวณค่า standard deviation of reproducibility (S_R) หรือกรณีที่ผู้วิเคราะห์เพียงคนเดียวในห้องปฏิบัติการ ให้คำนวณค่า standard deviation of repeatability (S_r)

2.1.5 นำค่า S_R หรือ S_r ที่ได้คูณกับ coverage factor (k) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p = 0.05$) k มีค่าเท่ากับ 2 เพื่อให้ได้ค่าความไม่แน่นอนขยาย (U)

2.1.6 บันทึกผลการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ

- กรณีที่มีผู้วิเคราะห์ 1 คนในห้องปฏิบัติการ ให้ใช้สมการที่ 1

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum(y - \bar{y})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ S_r = ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทำซ้ำได้

$y - \bar{y}$ = เป็นผลต่างระหว่างแต่ละค่าที่นับได้ ($\log^{10}$)

- กรณีมีผู้วิเคราะห์มากกว่า 1 คนในห้องปฏิบัติการ ให้ใช้สมการที่ 2

$$S_R = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{(y_{iA} - y_{iB})^2}{2}} \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ S_R = ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทำซ้ำได้
 $(y_{iA} - y_{iB})^2$ = ค่าต่างระหว่างค่า $\log_{10}$ ที่ได้จากการทดสอบแต่ละคู่

n = จำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์ (กรณีที่ตัวอย่างมีลักษณะไม่ต่างกัน ให้ใช้ n , ตัวอย่างที่มีความหลากหลายให้ใช้ $n-1$)

2.2 วิธีการประมาณค่าความไม่แน่นอนขยาย

(Expanded uncertainty)

- กรณีทั่วไป เมื่อผลการวิเคราะห์ที่เจนนับได้เป็น $Y = \log_{10} X$ และมีค่า coverage factor เป็น 2

(95% confidence limit) สามารถคำนวณความไม่แน่นอนขยายได้จากสมการที่ 1 ได้ทุกกรณีโดยไม่ต้องพิจารณาว่าผลการเจนนับมีจำนวนโคโลนีมาก (high counts) หรือมีจำนวนน้อย (low counts)

$$U = 2 \sqrt{S_R^2 + \frac{0.18861}{\Sigma c}} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ U = ความไม่แน่นอนขยาย

2 = ตัวประกอบครอบคลุม (k)

S_R = ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทำซ้ำได้

Σc = ผลรวมของจำนวนโคโลนีจากทุกจานเลี้ยงเชื้อ

$0.18861/\Sigma c$ = variance component ซึ่งมาจาก Poisson distribution

กรณีทางเลือก เมื่อมีการพิจารณาจำแนกผลการจำแนกเป็น high counts หรือ low counts ผลการเจนนับที่เป็น high counts หรือมีผลรวมของจำนวนโคโลนีจากทุกจานเลี้ยงเชื้อ (Σc) มาก ไม่ต้องนำเทอมที่ 2 ($0.18861/\Sigma c$) ในสมการที่ 1 มาใช้ในการคำนวณ ให้ใช้สมการที่ 2

$$U = 2S_R \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อมีการพิจารณาจำแนกผลการเจนนับเป็น high counts หรือ low counts ผลการเจนนับที่เป็น high counts หรือผลรวมของจำนวนโคโลนีจากทุกจานเลี้ยงเชื้อ (Σc) มาก ไม่ต้องนำเทอม ($0.18861/\Sigma c$) ในสมการที่ 1 มาใช้ในการคำนวณ ทั้งนี้การเลือกใช้สมการที่ 1 หรือ 2 ให้พิจารณาจาก :

$$C_{lim} = \frac{(\log_{10} e)^2}{S_R^2 \times ((1 - 0.05)^2 - 1)} \approx \frac{1.75}{S_R^2} \dots\dots(3)$$

โดยแบ่งการพิจารณาได้เป็น 2 กรณีคือ

1. $\Sigma C > C_{lim}$ เป็นกรณี high counts

ใช้สมการที่ 2 สำหรับการประมาณค่า U

2. $\Sigma C \leq C_{lim}$ เป็นกรณี low counts ใช้

สมการที่ 1 สำหรับการประมาณค่า U ในกรณี high

counts ถ้าใช้สมการที่ 1 หรือสมการที่ 2 ในการหาค่า

ความไม่แน่นอนจะได้ผลแตกต่างกันไม่เกิน 5%

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการหาปริมาณ aerobic plate count ในตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่าง ๆ ของห้องปฏิบัติการทดสอบ B ได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบตามข้อกำหนด ISO/IEC 17025

ตัวอย่างน้ำ	การทดสอบซ้ำที่หนึ่ง		การทดสอบซ้ำที่สอง		ผลต่างค่า logarithm	(ผลต่างค่า logarithm) ²	(ผลต่างค่า logarithm) ² /2
	จำนวน ที่นับได้ (cfu/ml)	Log ₁₀ cfu/ml	จำนวน ที่นับได้ (cfu/ml)	Log ₁₀ cfu/ml			
1	4.8 × 10 ¹	1.681241	4.5 × 10 ¹	1.653213	0.0280	0.000786	0.000393
2	5.3 × 10 ²	2.724276	5.7 × 10 ²	2.755875	-0.0316	0.000998	0.000499
3	5.6 × 10 ³	3.748188	6.2 × 10 ³	3.792392	-0.0442	0.001954	0.000977
4	3.9 × 10 ⁴	4.591065	4.3 × 10 ⁴	4.633468	-0.0424	0.001798	0.000899
5	2.8 × 10 ²	2.447158	3.2 × 10 ²	2.50515	-0.05799	0.003363	0.001682
6	3.3 × 10 ³	3.518514	3.9 × 10 ³	3.591065	-0.07255	0.005264	0.002632
7	2.6 × 10 ¹	1.414973	2.7 × 10 ¹	1.431364	-0.01639	0.000269	0.000134
8	1.1 × 10 ⁴	4.041393	1.3 × 10 ⁴	4.113943	-0.07255	0.005264	0.002632
9	4.0 × 10 ¹	1.60206	3.9 × 10 ¹	1.591065	0.010995	0.000121	0.0000605
10	1.8 × 10 ²	2.255273	1.7 × 10 ²	2.230449	0.024824	0.000616	0.000308
11	5.1 × 10 ³	3.70757	5.3 × 10 ³	3.724276	-0.01671	0.000279	0.00014
12	4.4 × 10 ¹	1.643453	4.9 × 10 ¹	1.690196	-0.04674	0.002185	0.001092
13	5.8 × 10 ⁴	4.763428	5.3 × 10 ⁴	4.724276	0.039152	0.001533	0.000766
14	6.1 × 10 ³	3.78533	6.3 × 10 ³	3.799341	-0.01401	0.000196	0.000098
15	2.3 × 10 ²	2.361728	2.5 × 10 ²	2.39794	-0.03621	0.001311	0.000656
						Σ{(ผลต่างค่า logarithm) ² /2}	0.012968
						{Σ(ผลต่างค่า logarithm) ² /2}/15	0.000865
						S _R	0.0294
						C _{lim}	2024.62
						U	0.089

จากตารางที่ 1 พบว่ามีค่า S_R เท่ากับ 0.0294 ค่า C_{lim} เท่ากับ 2024.62 โดยที่ ΣC เท่ากับ 156.55 $\log_{10} cfu/ml$ ดังนั้นใช้สมการที่ 1 ในการคำนวณค่า U ได้เท่ากับ 0.089

ประเมินข้อมูลค่า U ที่ได้จากห้องปฏิบัติการทดสอบจุลชีววิทยาทั้ง 2 แห่ง ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าของ ผลต่างค่า(logarithm)²/2 ของการทดสอบ aerobic plate count โดยแยกประเภทตาม matrices

ห้องปฏิบัติการ A			ห้องปฏิบัติการ B			ห้องปฏิบัติการ B		
ลำดับที่	Matrices	(ผลต่างค่า logarithm) ² /2	ลำดับที่	Matrices	(ผลต่างค่า logarithm) ² /2	ลำดับที่	Matrices	(ผลต่างค่า logarithm) ² /2
1	ข้าวกะเพราไก่	0.0053	1	ไส้กรอกหมู	0.0053	1	น้ำดื่มบรรจุขวด-1	0.00039
2	ข้าวผัดปู	0.0015	2	Chilli Paste	0.0059	2	น้ำดื่มบรรจุขวด-2	0.00049
3	แป้งข้าวโพด	0.0027	3	เมล็ดกาแฟ	0.0042	3	น้ำดื่มบรรจุขวด-3	0.00097
4	ทอดมันปลา	0.0073	4	น้ำอุน	0.0023	4	น้ำอัดลม-1	0.00089
5	ไก่บด	0.0024	5	ไส้กรอกหมู	0.0068	5	น้ำอัดลม-2	0.00168
6	ถั่วลิสง	0.0062	6	แป้งมัน	0.0057	6	น้ำแม่น้ำ-1	0.00263
7	พริกป่น	0.0036	7	ข้าวโพดคั่ว	0.0035	7	น้ำแม่น้ำ-2	0.00013
8	ถั่วเขียว	0.0053	8	แครอทต้มสุก	0.0052	8	น้ำผลไม้ไม่มีตะกอน	0.00263
9	ถั่วอก	0.0047	9	โอวัลติน	0.0029	9	น้ำเสียในบ่อ-1	0.000061
10	ทอดมันหมู	0.0068	10	ข้าวผัดไก่	0.0057	10	น้ำเสียในบ่อ-2	0.00031
11	ปลากรอบ	0.0063	11	-	-	11	น้ำเสียในบ่อ-3	0.00014
12	Corn flake	0.0023	12	-	-	12	น้ำก่อนผ่าน การบำบัด	0.00109
13	กุ้งแช่แข็ง	0.0036	13	-	-	13	น้ำหลังผ่าน การบำบัด	0.00076
14	กาแฟ	0.0024	14	-	-	14	น้ำสระน้ำ-1	0.000098
15	น้ำปลา	0.0022	15	-	-	15	น้ำสระน้ำ-2	0.00065
	$\Sigma(\text{ผลต่างค่า logarithm})^2/2$	0.0626		$\Sigma(\text{ผลต่างค่า logarithm})^2/2$	0.0475		$\Sigma(\text{ผลต่างค่า logarithm})^2/2$	0.012968
	$\{\Sigma(\text{ผลต่างค่า logarithm})^2/2\}/14$	0.0045		$\{\Sigma(\text{ผลต่างค่า logarithm})^2/2\}/10$	0.00475		$\{\Sigma(\text{ผลต่างค่า logarithm})^2/2\}/15$	0.000865
	S_R	0.0671		S_R	0.0689		S_R	0.0294
	U	0.17		U	0.15		U	0.09

หมายเหตุ : ห้องปฏิบัติการ A ไม่ได้ทำการทดสอบตัวอย่างประเภทน้ำและน้ำเสีย

เนื่องจากห้องปฏิบัติการทดสอบทางจุลชีววิทยามีการทดสอบจุลินทรีย์หลายชนิด จึงได้ศึกษาประเภทของจุลินทรีย์โดยแบ่งออกเป็นแบคทีเรียแกรมลบ (*E.coli*) และแบคทีเรียแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) ซึ่งมีผลกระทบต่อค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ โดยห้องปฏิบัติการทดสอบภาวะเดียวกัน เจ้าหน้าที่ทดสอบคนเดียวกัน เทคนิคที่ใช้แบบเดียวกันคือ spread plate

เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบเช่น ตู้บเพาะเชื้อ (incubator) เครื่องเดียวกัน โดยห้องปฏิบัติการทำการเตรียมตัวอย่างทดสอบให้มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ทำการเติมจุลินทรีย์สายพันธุ์เป้าหมายคือ *E. coli* และ *Staphylococcus aureus* ให้มีระดับการปนเปื้อน 3 ระดับครอบคลุมปริมาณการปนเปื้อนที่ 20 cfu 200 cfu และ 2000 cfu

ตารางที่ 3 แสดงค่าของผลต่างค่า (logarithm)²/2 โดยแยกประเภทตามชนิดของแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) และแบคทีเรียแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*)

ห้องปฏิบัติการ A			ห้องปฏิบัติการ A		
<i>E. coli</i>			<i>Staphylococcus aureus</i>		
ลำดับที่	Matrices	(ผลต่างค่า logarithm) ² /2	ลำดับที่	Matrices	(ผลต่างค่า logarithm) ² /2
1	ข้าวกะเพราไก่	0.0053	1	ถั่วเขียว	0.0053
2	ข้าวผัดปู	0.0015	2	ถั่วงอก	0.0047
3	แป้งข้าวโพด-1	0.0027	3	ทอดมันหมู	0.0068
4	แป้งข้าวโพด-2	0.0037	4	ปลากรอบ	0.0063
5	ทอดมันปลา-1	0.0073	5	Corn flake-1	0.0023
6	ทอดมันปลา-2	0.0063	6	Corn flake-2	0.0029
7	ไก่บด-1	0.0024	7	กุ้งแช่แข็ง	0.0036
8	ไก่บด-2	0.0034	8	กาแฟ-1	0.0024
9	ถั่วลิสง-1	0.0062	9	กาแฟ-2	0.0032
10	ถั่วลิสง-2	0.0058	10	น้ำปลา-1	0.0022
11	พริกป่น	0.0036	11	น้ำปลา-2	0.0027
	Σ(ผลต่างค่า logarithm) ² /2	0.0482		Σ(ผลต่างค่า logarithm) ² /2	0.0424
	{Σ(ผลต่างค่า logarithm) ² /2}/10	0.00482		{Σ(ผลต่างค่า logarithm) ² /2}/10	0.00424
	S _R	0.069		S _R	0.065
	U	0.138		U	0.130

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างทดสอบประเภทอาหารจะมีค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบมากกว่าตัวอย่างทดสอบประเภทน้ำและน้ำเสียอธิบายได้ว่าความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างมีผลกระทบต่อค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ ตัวอย่างที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากเช่นตัวอย่างน้ำการกระจายตัวของเชื้อจุลินทรีย์จะดีกว่าตัวอย่างอาหารซึ่งความเป็นเนื้อเดียวกันน้อยกว่า ตัวอย่างทดสอบที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันสูงจะมีค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบน้อยกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันต่ำ และจากตารางที่ 3 ค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ

จากแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) และ และแบคทีเรียแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) ไม่แตกต่างกันทั้งนี้ผลการศึกษา ที่ได้มาจากห้องปฏิบัติการทดสอบภาวะเดียวกัน เจ้าหน้าที่ทดสอบคนเดียวกัน เทคนิคที่ใช้แบบเดียวกัน เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องเดียวกัน จึงพอสรุปได้ว่าค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่ทดสอบ และงานวิจัยนี้นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบ cfu (colony forming unit) เท่านั้น ไม่ได้นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบ MPN (most probable number) มาศึกษา

4. สรุป (Conclusion)

เนื้อสารตัวอย่างมีผลต่อค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยา หากเป็นตัวอย่างที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันค่าความไม่แน่นอนจะมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันน้อยกว่า และเมื่อควบคุมปัจจัยต่างๆ เช่นภาวะของห้องปฏิบัติการทดสอบ เจ้าหน้าที่ทดสอบ เครื่องมือ ฯลฯ แบบเดียวกันสามารถบ่งชี้เป็นนัยได้ว่าชนิดของแบคทีเรียไม่มีผลต่อค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยา ผลการวิจัยนี้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบทางจุลชีววิทยาในการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบของตัวอย่างประเภทต่างๆ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ของสำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้คำแนะนำในการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] ISO/TS 19036:2006/Amd.1:2009(E) : Microbiology of Food and animal feeding stuffs- Guidelines for the estimation of measurement uncertainty for quantitative determinations
- [2] EURACHEM/CITAC Guide. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. 2nd Edition. 2000.

ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

Relationship between surface roughness and stability of standard weight

จิตตกานต์ อินเที่ยง^{1*}
Jittakant Intiang^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวและค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างกัน 5 ค่า ดังต่อไปนี้ 0.02636, 0.15315, 0.48183, 0.87301 และ 1.04617 ไมโครเมตร โดยทำการประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงของค่ามวลต่อเวลาภายในระยะเวลา 1 ปี ผลการวิจัยพบว่า ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละตัวมีค่ามวลเพิ่มขึ้น 0.99, 1.28, 1.42, 1.97 และ 2.23 มิลลิกรัม ตามลำดับต่อปี ซึ่งสรุปได้ว่าตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวมากกว่าจะมีค่ามวลเพิ่มขึ้นมากกว่า

Abstract

In this research, the relationship between surface roughness and stability of standard weight with different surface roughness i.e. 0.02636, 0.15315, 0.48183, 0.87301 and 1.04617 μm was studied. The study was conducted by obtaining the change of mass value versus time scale in one year. The results are shown that mass value of the standard weight will be increasing 0.99, 1.28, 1.42, 1.97 and 2.23 mg respectively per year. It can conclude that the standard weight with more surface roughness value will show more increasing in mass value.

คำสำคัญ : ความหยาบผิว, ความเสถียร, ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

Keywords : Surface roughness, Stability, Standard weight

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ค่าความเสถียรของค่ามวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขึ้นอยู่กับโครงสร้างพื้นผิวของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเป็นอย่างมาก ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีพื้นผิวเรียบกว่าถูกคาดหวังว่ามีค่าความเสถียรมากกว่า (1) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวต่อค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน โดยสังเกตอัตราแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างกัน 5 ค่า

1.1 ค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

ความต้องการสูงสุดของการใช้งานตุ้มน้ำหนักมาตรฐานคือค่ามวลของมันมีค่าคงที่ภายในขอบเขตและเงื่อนไขที่กำหนด อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะมีการใช้งานตุ้มน้ำหนักมาตรฐานอย่างระมัดระวัง และมีการป้องกันอย่างดี เช่น การเก็บรักษาตุ้มน้ำหนักมาตรฐานไว้ในที่ครอบแก้ว 2-3 ชั้น (Figure 1) แต่เมื่อเวลาผ่านไปวัฏระยะหนึ่งค่ามวลก็มีการเปลี่ยนแปลงได้



Figure 1 The international prototype of the kilogram at the International Bureau of Weights and Measures (BIPM). (2)

การเปลี่ยนแปลงค่ามวลเกิดขึ้นได้ 2 กรณีดังนี้ การเปลี่ยนแปลงค่ามวลแบบผันกลับได้ที่สามารถกำจัดได้โดยการทำความสะอาด และการเปลี่ยนแปลงค่ามวลแบบผันกลับไม่ได้ซึ่งเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานาน (Figure 2) (2)

ในกรณีที่ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานทำมาจากแพลทินัม-อิริเดียม จะเกิดการสะสมของสิ่งเจือปนบนพื้นผิวได้ 3 แบบคือการดูดซับของไอน้ำ การสะสมสิ่งเจือปนของส่วนประกอบคาร์บอน และการสะสมสิ่งเจือปนของปรอท แนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน คือการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการเก็บตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมสิ่งเจือปนจากสภาพบรรยากาศหรือการทำความสะอาดที่สามารถทำได้ง่ายเป็นประจำก่อนใช้งานเพื่อขจัดสิ่งเจือปน จากการศึกษาตัวอย่างตุ้มน้ำหนักมาตรฐานอ้างอิงของสถาบัน NPL สหราชอาณาจักรที่ทำมาจากแพลทินัม-อิริเดียมพบว่าเกิดการสะสมของคาร์บอน ออกซิเจนและปรอทซึ่งทำปฏิกิริยากับแพลทินัม แต่สำหรับตุ้มน้ำหนักที่ทำมาจากโลหะ สแตนเลส เมื่อทิ้งไว้ในสภาวะแวดล้อมเดียวกันพบว่าไม่มีการสะสมของปรอทเกิดขึ้นแต่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในอากาศ พบว่าค่าความเสถียรของค่ามวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานในระดับความแม่นยำสูงได้รับอิทธิพลจากการดูดซับน้ำของชั้นดูดซับน้ำที่อยู่บนพื้นผิวของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Figure 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่ามวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเนื่องจากการดูดซับของน้ำบนพื้นผิวโลหะต่างๆ (3)

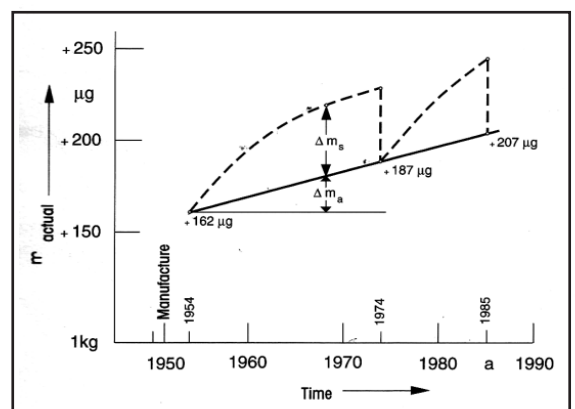


Figure 2 Change in mass with time with Pt-Ir prototype No. 52. Δm_s reversible, i.e. mass change corrected by cleaning. Δm_a irreversible mass change. (4)

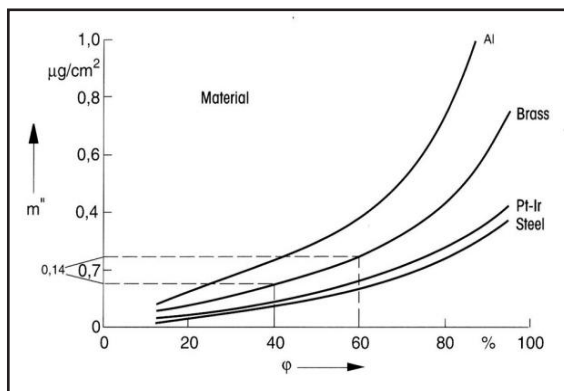


Figure 3 Increase in mass with relative humidity for various metal surfaces. [3]

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวต่อค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน โดยสังเกตอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างกันเมื่อทิ้งไว้ในห้องปฏิบัติการภายในระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นทำการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละตุ้มโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยในการทดลองนี้จะทำการสร้างตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัม ขึ้นมา 5 ตัว โดยมีค่าความหยาบผิวต่างกัันดังแสดงใน Table 1

Table 1 Surface roughness of 5 standard weights

No. of standard weight	R_a (μm)	R_z (μm)
1	0.0286	0.3724
2	0.1594	1.9263
3	0.5167	4.7970
4	0.9042	7.0151
5	1.0999	8.7070

ในการทดลองจะทำความสะอาดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานทั้ง 5 ตัวก่อน จากนั้นนำไปทิ้งไว้ในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เกิดความเสถียรด้านอุณหภูมิ แล้วนำ

ไปหาค่ามวลภายหลังการทำความสะอาดโดยทิ้งตุ้มน้ำหนักมาตรฐานทั้งหมดไว้ในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้คงที่โดยมีค่าอุณหภูมิ $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ $50 \pm 10\%$ ทำการเก็บข้อมูลค่ามวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานทุกตัวเป็นระยะเวลา 3 เดือน ด้วยเครื่องชั่งเปรียบเทียบมวล ขนาด 1 กิโลกรัม ค่าความละเอียด 0.01 มิลลิกรัม โดยวิธีการชั่งแบบแทนที่ ABBA โดยเทียบกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานอ้างอิง คำนวณหาผลต่างระหว่างค่ามวลที่ชั่งครั้งแรกภายหลังการทำความสะอาดกับค่ามวลที่เก็บข้อมูลไว้ในระยะเวลาที่กำหนด

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

จากการเก็บข้อมูลภายในระยะเวลา 3 เดือน นำมาเขียนกราฟระหว่างค่าผลต่างค่ามวลกับเวลาได้ดัง Figure 4-9

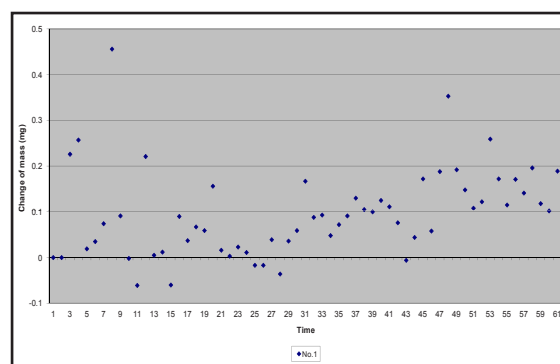


Figure 4 Changes in mass of standard weight no. 1.

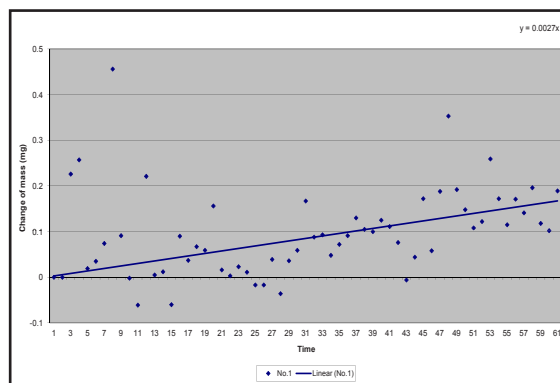


Figure 5 Changes in mass of standard weight no. 2.

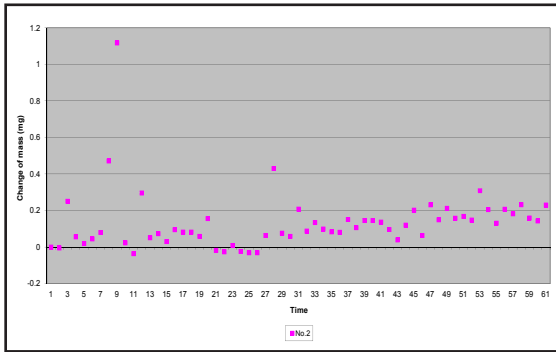


Figure 6 Changes in mass of standard weight no. 3.

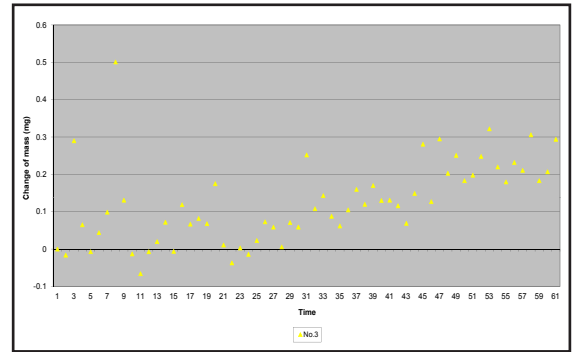


Figure 8 Changes in mass of standard weight no. 5.

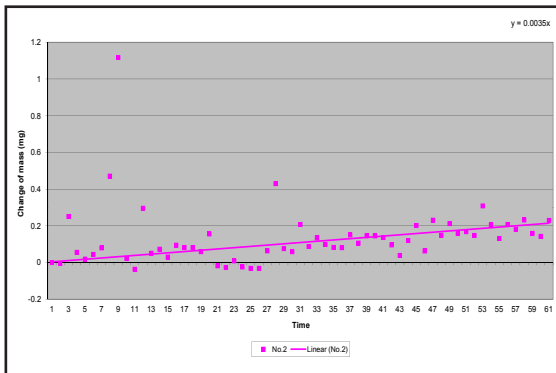


Figure 7 Changes in mass of standard weight no. 4.

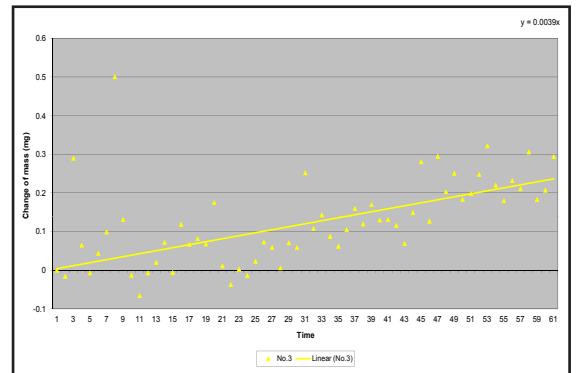


Figure 9 Changes in mass of standard weight no. 1-5.

จากรูปกราฟพบว่าในช่วงแรกข้อมูลมีการกระจายขึ้นลงเนื่องจากความไม่เสถียรของตู่มน้ำหนักมาตรฐานภายหลังการทำความสะอาดทันที แต่เมื่อระยะเวลามากขึ้น พบว่าข้อมูลเริ่มมีความเสถียรและมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ามวล

ต่อเวลาของตู่มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างกันจะทำการหาเส้นแนวโน้ม และสมการจากรูปกราฟการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตู่มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละตัวโดยใช้ความสัมพันธ์แบบฟังก์ชันเชิงเส้น ซึ่งจะได้รูปกราฟพร้อมเส้นแนวโน้มดัง Figure10-15

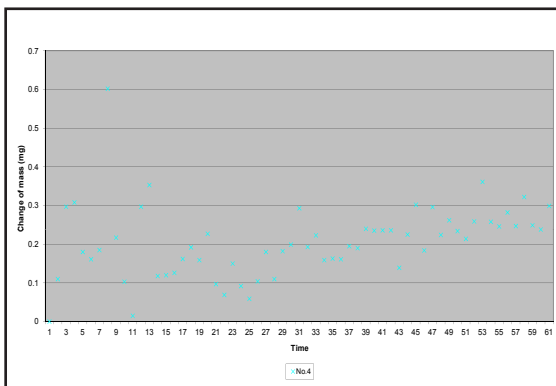


Figure 10 Trendline of changes in mass of standard weight no. 1.

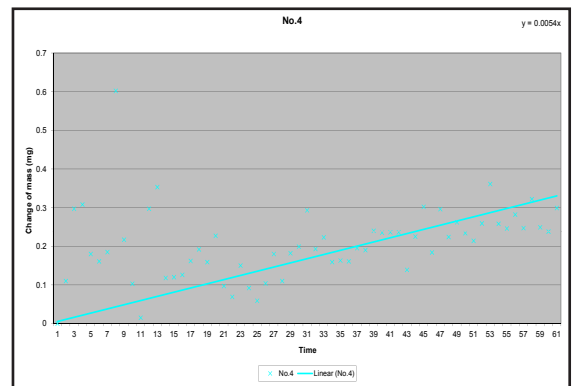


Figure 11 Trendline of changes in mass of standard weight no. 2.

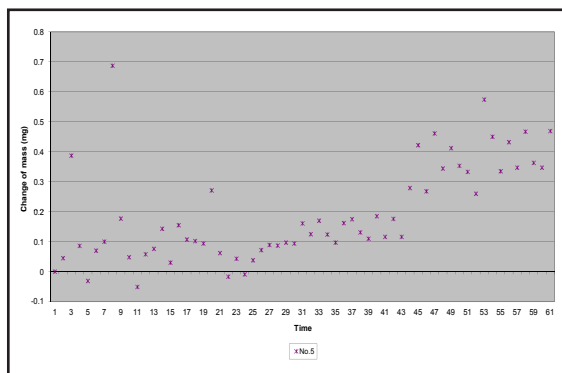


Figure 12 Trendline of changes in mass of standard weight no. 3.

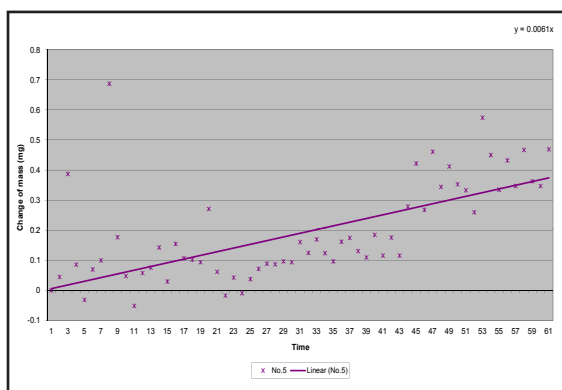


Figure 13 Trendline of changes in mass of standard weight no. 4.

สำหรับสมการเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละตัวนี้สามารถแสดงได้ดัง Table 2 โดยที่ y คือการเปลี่ยนแปลงค่ามวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน x คือค่าเวลา จากสมการของเส้นแนวโน้มในตารางที่ 2 เมื่อลองคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงค่ามวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (y) ที่ค่าเวลา (x) ต่างๆ ได้ผลดัง Table 3

Table 2 Equation of trendline of changes in mass of 5 standard weights with different surface roughness.

No. of standard weight	Equation of trendline
1	$y = 0.0027x$
2	$y = 0.0035x$
3	$y = 0.0039x$
4	$y = 0.0054x$
5	$y = 0.0061x$

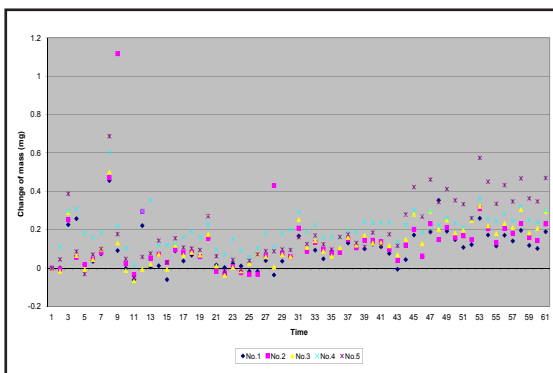


Figure 14 Trendline of changes in mass of standard weight no. 5

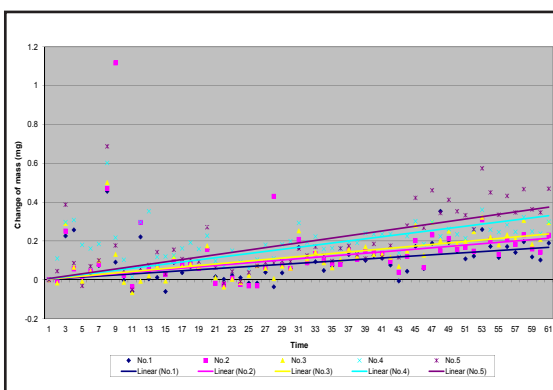


Figure 15 Trendline of changes in mass of standard weight no. 6.

Table 3 The results of changes in mass of standard weights with different surface roughness at different time.

No. of standard weight	Changes in mass of standard weight (y) mg	
	Time(x) = 100 days	Time(x) = 365 days
1	0.27	0.99
2	0.35	1.28
3	0.39	1.42
4	0.54	1.97
5	0.61	2.23

และจากผลที่ได้ใน Table 3 พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่ามวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานภายในระยะเวลา 1 ปี พบว่ามีค่าเรียงลำดับจากน้อยไปหามากแปรผันตามค่าความหยาบผิว

4. สรุป (Conclusion)

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน โดยการเปรียบเทียบสมการเส้นแนวโน้มของรูปกราฟระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ามวลกับเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 5 ตัวที่มีค่าความหนาแน่นต่างกัน ภายในระยะเวลา 3 เดือน พบว่าเมื่อทำนายพฤติกรรมภายในระยะเวลา 1 ปี การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานมีค่าเรียงลำดับจากน้อยไปหามากดังนี้ 0.461, 0.481, 0.578, 0.580 และ 0.730 มิลลิกรัม โดยมีค่าแปรผันตามค่าความหนาแน่นเนื่องจากตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหนาแน่นมากกว่าจะมีอัตราการสะสมสิ่งเจือปนมากกว่าตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณสมโภชน์ บุญสนิท ดร.พีระวัฒน์ สมนึก และนักวิทยาศาสตร์ของกลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ทดสอบ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้คำปรึกษา และขอขอบคุณสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวัดค่าความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

(1) International Organization of Legal Metrology. OIML R 111-1 Edition 2004 (E) Weights of classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃, and M₃ Part 1 : Metrological and technical requirements.

(2) Kochsiek M. and Glaser M. Comprehensive Mass Metrology. Berlin : Wiley-Vch. 2000.

(3) Frank E. J. and Randall M. S. Handbook of Mass Measurement. U.S. : CRC. 2002.

(4) Kochsiek, M. Fundamentals of mass determination. Greifensee : Mettler-Toledo AG. 1991.

การพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ เพื่อการประยุกต์ใช้ในงานพลังงานทดแทน The development of a low-cost solar tracking system for renewable energy applications

กรรธรรม สติรกุล^{1*}, อภิญญา บุญประกอบ¹
Korntham Sathirakul^{1*}, Apinya Boonprakob¹

บทคัดย่อ

ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการได้พัฒนาขึ้น เป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นโครงการวิจัยที่กรมวิทยาศาสตร์บริการได้รับงบประมาณให้ดำเนินการ ปีงบประมาณ 2554 ถึง 2556 เพื่อนำไปใช้ในระดับครัวเรือน หรือชุมชนเล็ก ซึ่งระบบผลิตกระแสไฟฟ้านี้ใช้หลักการของการรวมแสงอาทิตย์ด้วยจานรูปทรงพาราโบลา ซึ่งจำเป็นต้องมีระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เพื่อให้จานรวมแสงรับรังสีตรงของดวงอาทิตย์และรวมแสงที่จุดโฟกัสได้อย่างแม่นยำ ระบบการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นใช้หลักการของคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยสมการ เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่โดยเบื้องต้น และใช้เซนเซอร์วัดความเข้มแสงเพื่อปรับแต่งตำแหน่งละเอียดยิ่งขึ้นเพื่อให้สามารถชี้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ ผิดพลาดไม่เกิน 1 องศา เป้าหมายสำคัญประการหนึ่งในการพัฒนาระบบนี้คือความประหยัด ใช้ต้นทุนในการสร้างที่ต่ำ โดยในโครงการวิจัยนี้ได้ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ราคาประหยัด อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถหาได้ในประเทศ ความเรียบง่ายในการออกแบบสร้าง ทำให้ระบบโดยรวมไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถทำงานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ต้นทุนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบแบบเดียวกันที่นำเข้ามาจำหน่ายในราคาที่แพงกว่ากันมาก

Abstract

The solar tracking system developed by the Department of Science Service was a part of its small solar energy-to-electric production system being researched and developed under a research funding in 2011 to 2013 fiscal year. The power production system was designed for household use or for small community service. The system was a solar thermal power production system employed a parabolic dish as its solar collector which required a solar tracking system to make it to work. The developed solar tracking system utilized the calculation of solar position equations to primarily control the movement and the position pointing towards the Sun. An array of light concentration sensors were also used for signal feedback control function for fine motion error correction. This resulted in a precise solar tracking system with a precision within 1 degree. Furthermore, beside precision, being low cost was also a main objective for developing such system. A low cost microcontroller board, local electronic components, and simplified design and construction contributed to the solar tracking system that was simple and efficient, but inexpensive compared with relatively highly priced imported systems.

คำสำคัญ : ระบบติดตามดวงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ, สมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์, พลังงานแสงอาทิตย์

Keywords : Low-cost solar tracking system, Equation for calculating sun's positions, Solar energy

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

จากภาวะต้นทุนพลังงานจากปิโตรเลียมที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ และการที่ประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบปิโตรเลียมเพื่อนำมากลั่นเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะมีแหล่งก๊าซธรรมชาติ แต่พลังงานจากแหล่งเหล่านี้ก็ลดน้อยลงและมีโอกาสที่จะหมดไป หรืออาจจะมีต้นทุนที่สูงจนไม่คุ้มกับการนำมาใช้ในอนาคต พลังงานทดแทนอื่น ๆ ในรูปของเชื้อเพลิงชีวมวล นั้นก็เป็นพลังงานทดแทนทางเลือกหนึ่ง แต่ในปัจจุบันยังมีการผลิตที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ และมีต้นทุนที่สูง พลังงานที่ได้จากพลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทางเลือกที่มีศักยภาพในการนำไปใช้สูง โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่อย่างมากมาย เหมาะกับประเทศไทย

มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์มากมายในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของความร้อนมาอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร หรือนำความร้อนมาใช้ในการต้มน้ำหรือทำน้ำร้อนเพื่อใช้ในกิจการต่างๆ ทั้งในครัวเรือนและในอุตสาหกรรม ตลอดจนการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นทำได้ด้วยกันอยู่ 2 แนวทาง คือ การนำพลังงานความร้อนจากการรวมความเข้มแสงอาทิตย์มาแปลงเป็นพลังงานกลโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายนอก ไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์กลจักรไอน้ำ หรือ เครื่องยนต์สเตอร์ลิง(1) แล้วแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอีกแนวทางหนึ่งคือการใช้โซลาร์เซลล์แปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

เนื่องจากที่ดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งเมื่อเทียบกับพื้นโลกอยู่ตลอดเวลา และเส้นทางในการเคลื่อนที่ก็เปลี่ยนแปลงไปทุกวัน ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จึงจำเป็นต้องปรับตัวให้สามารถรับแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดนี้ ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยความร้อนจากการรวมแสงรังสีตรง (direct light) ของดวงอาทิตย์จำเป็นอย่างมากที่จะต้อง

ปรับตัวรับแสงให้หันเข้าหาทิศทางของดวงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ ส่วนในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้แผงโซลาร์เซลล์อาจจะไม่จำเป็นต้องปรับตัวให้หันเข้าหาทิศทางของแสงอาทิตย์ตรง เพราะโซลาร์เซลล์สามารถทำงานได้ด้วยแสงที่กระเจิง (diffused light) แต่ทั้งนี้ หากแผงโซลาร์เซลล์หันเข้าหาดวงอาทิตย์ได้ตรง ความเข้มแสงที่ได้รับจะมากขึ้นทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นนั่นหมายความว่าประสิทธิภาพของการทำงานของระบบที่เพิ่มขึ้น ในปัจจุบันระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (solar tracking system) ได้รับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ออกจำหน่ายในตลาด แต่มักจะมีราคาที่สูงมากตั้งแต่ระดับราคาหลายหมื่นบาทขึ้นไปจนถึงระดับราคาหลายแสนบาท ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของระบบ และความน่าเชื่อถือของบริษัทผู้ผลิต ซึ่งโดยมากระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่มีราคาแพงเช่นนี้จะบริษัทผู้ผลิตมักจะจำหน่ายและติดตั้งให้กับลูกค้าที่เป็นผู้ประกอบการผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังเงินในการลงทุนที่สูง แต่หากเป็นการใช้งานในระดับครัวเรือน หรือชุมชนที่มีขนาดเล็ก ไม่ใช่ใช้ในเชิงพาณิชย์ การลงทุนในระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่มีราคาแพงมากดังกล่าวข้างต้นจะไม่คุ้มค่า ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่มีความแม่นยำที่ดี ใช้พลังงานน้อย และต้นทุนต่ำ เหมาะกับการใช้งานในชุมชนและครัวเรือนจึงได้พัฒนาขึ้น

1.1 การติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

การติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มีแนวทางในการทำอยู่ 2 แนวทางหลัก คือ

1.1.1 การใช้เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงเพื่อค้นหาทิศทางที่มาของแสงอาทิตย์

ในการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยวิธีนี้เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงจะวัดค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบตั้งฉากกับระนาบของเซนเซอร์ ซึ่งจะแปลงค่าความเข้มแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าวงจรประมวลผลและควบคุมเพื่อสั่งการให้มอเตอร์ขับเคลื่อนระนาบ 2 แกนหมุนไปในทิศทางที่มีค่าความเข้มแสงสูงสุด นั่นก็คือ หันเข้าหาดวงอาทิตย์

นั่นเอง ซึ่งวงจรประมวลผลและความคืบหน้าจะโปรแกรมให้มอเตอร์ขับเคลื่อนเป็นรูปซิกแซก หรือ รูปขดกันหอย เพื่อเป็นการค้นหาทิศทางของแสง วิธีการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยวิธีนี้จะมีข้อเสียตรงที่หาแสงอาทิตย์มีความเข้มข้น คือ เมื่อมีเมฆบดบังดวงอาทิตย์ไว้ ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์นี้จะทำการค้นหาแสงอยู่ตลอดเวลาทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างสิ้นเปลือง

1.1.2 การใช้สมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์

การใช้สมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์เป็นอีกวิธีหนึ่งในการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ได้ผลดี และวิธีการไม่ซับซ้อน สมการในการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์นั้นได้มีนักดาราศาสตร์หลายท่านได้คิดค้นไว้ ซึ่งใช้หลักการทางเรขาคณิตและการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ในการคิดค้นสมการ หากระบุพิกัดตำแหน่งด้วยจุดตัดบนเส้นรุ้งและเส้นแวง และวันเดือนปี และเวลาที่แน่นอน สมการจะสามารถคำนวณมุมกวาด (Azimuth angle) และมุมเงย (Altitude angle หรือ Elevation) ของตำแหน่งดวงอาทิตย์ ณ พิกัดตำแหน่งนั้น ในเวลานั้นๆ ได้อย่างแม่นยำ ดังนี้ การควบคุมมอเตอร์ 2 แกนให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งพิกัด (มุมกวาด, มุมเงย) สามารถทำได้โดยไม่ซับซ้อนเพราะไม่จำเป็นต้องมีการป้อนสัญญาณควบคุมกลับ (Feedback signal) แต่ความแม่นยำของการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการระบุพิกัดตำแหน่งปัจจุบัน ความ

แม่นยำในการระบุเวลา และความแม่นยำในการติดตั้งระบบให้ได้ระนาบและตรงทิศทางที่ถูกต้อง (ทิศเหนือเป็นศูนย์องศา) ในโครงการวิจัยนี้ ได้พัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยใช้หลักการผสมผสานระหว่างทั้ง 2 วิธีที่ได้กล่าวข้างต้น โดยใช้การติดตามดวงอาทิตย์ด้วยสมการเพื่อระบุตำแหน่งโดยเบื้องต้นแล้วใช้เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง เป็นตัวบอกถึงความคลาดเคลื่อนที่ยังมีอยู่แล้วส่งข้อมูลให้วงจรประมวลผลและความคืบหน้าสั่งการให้มอเตอร์ขับเคลื่อนปรับตำแหน่งทิศทางให้ชี้ตรงดวงอาทิตย์อย่างแม่นยำ รายละเอียดของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะได้กล่าวในรายละเอียดในหัวข้อที่ 2

1.2 สมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์

ในการสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์นั้นเพื่อต้องการสะสมพลังงานความร้อนที่ได้จากดวงอาทิตย์ให้มากที่สุด จึงจำเป็นต้องรู้ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตลอดเวลาโดยอาศัยหลักการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์จาก National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2) เริ่มต้นจาก Hour Angle (ω) คือ มุมระหว่างเส้นเมริเดียนที่เราสังเกตกับเส้นเมริเดียนที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์ไปทางตะวันออกหรือตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงสุริยะ (Solar Noon) และเป็นบวกหลังเที่ยงสุริยะ โดยมีค่า 15 องศาต่อชั่วโมง หาได้จากสมการที่ (1)

$$\omega = 15(t_s - 12) \quad (1)$$

ω คือ มุมชั่วโมง หน่วยเป็นองศา

t_s คือ เวลาสุริยะ หน่วยเป็นชั่วโมง

Solar Time คือ เวลาที่บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งบนพื้นโลก หาได้จากสมการที่ (2)

$$t_s = LCT + \frac{EOT}{60} - LC - D \quad (2)$$

t_s คือ Solar Time หน่วยเป็นชั่วโมง

LCT คือ Local Clock Time เวลาท้องถิ่นคำนวณตาม Time zone หน่วยเป็นชั่วโมง

LC คือ Longitude correction คำนวณได้ตามสมการที่ (3)

$$LC = \frac{(\text{local longitude}) - (\text{longitude of standard time zone meridian})}{15}$$

(3)

D คือ ค่าคงที่ถ้าในท้องถิ่นที่มีผลจาก Daylight saving time ให้มีค่าเป็น 1 แต่ถ้าไม่มีผลให้มีค่าเป็น

EOT คือ Equation Of Time สมการเวลา คำนวณได้ตามสมการที่ (4)

$$EOT = 60 \sum_{k=0}^5 \left[A_k \cos\left(\frac{360 k n}{365.25}\right) + B_k \sin\left(\frac{360 k n}{365.25}\right) \right] \quad (4)$$

n คือ จำนวนวันใน 4 ปี (ปียอธิกสุรทิน) มีค่าตั้งแต่ 1-1461

ฟังก์ชัน cosine และ sine ใช้หน่วยเป็นองศา

ตารางที่ 1 แสดงค่า A_k, B_k ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในสมการที่ (4)

k	A_k (hr)	B_k (hr)
0	2.0870×10^{-4}	0
1	9.2869×10^{-3}	-1.2229×10^{-1}
2	-5.2258×10^{-2}	-1.5698×10^{-1}
3	-1.3077×10^{-3}	-5.1602×10^{-3}
4	-2.1867×10^{-3}	-2.9823×10^{-3}
5	-1.5100×10^{-4}	-2.3463×10^{-4}

Declination Angle (δ) คือ มุมระหว่างแนวเส้นแสงอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบศูนย์สูตร กำหนดให้มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ คำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\delta = \sin^{-1}(0.39795 \cos[0.98563(N - 173)]) \quad (5)$$

ตารางที่ 2 แสดงค่า N ซึ่งใช้แปลงค่าวันที่เป็นจำนวนวัน (Date-to-Day Number Conversion)

Month	Day Number, N	Notes
January	d	
February	d + 31	
March	d + 59	Add 1 if leap year
April	d + 90	Add 1 if leap year
May	d + 120	Add 1 if leap year
June	d + 151	Add 1 if leap year
July	d + 181	Add 1 if leap year
August	d + 212	Add 1 if leap year

September	d + 243	Add 1 if leap year
October	d + 273	Add 1 if leap year
November	d + 304	Add 1 if leap year
December	d + 334	Add 1 if leap year

หมายเหตุ

- 1) d คือ วันที่ในเดือนที่กำลังพิจารณา เช่น วันที่ 13 เมษายน $N = 13 + 90 = 103$ เป็นต้น
- 2) leap year คือ ปียอธิกสุรทิน กล่าวคือเป็นปีที่เดือนกุมภาพันธ์มี 29 วัน เช่น ปี ค.ศ. 2000, 2004, 2008 เป็นต้น มีทุกๆ 4 ปี

ฟังก์ชัน cosine และ sine ใช้หน่วยเป็นองศา

Latitude angle (ϕ) คือ ค่าของมุมที่วัดเป็นองศาไปทางเหนือและทางใต้ของเส้นศูนย์สูตร ข้างละ 90 องศา

Altitude angle (α) คือ มุมระหว่างพื้นราบกับแนวลำแสงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\phi\cos\omega) \quad (6)$$

α คือ Altitude angle (องศา)

δ คือ Declination Angle (องศา)

ϕ คือ Latitude angle (องศา)

ω คือ Hour Angle (องศา)

Azimuth angle (A) คือ มุมระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์และระนาบของเมอริเดียนท้องถิ่น โดยกำหนดให้วัดจากทิศใต้ของระนาบแนวตั้งดวงอาทิตย์ไปทางตะวันตกมีค่าเป็นบวก วัดไปทางตะวันออกมีค่าเป็นลบ และมีค่าเป็นศูนย์ที่ทิศใต้ Azimuth angle มีค่าอยู่ในช่วง -180 องศา ถึง 180 องศา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$A = \sin^{-1}\left(\frac{\cos\delta\sin\omega}{\cos\alpha}\right) \quad (7)$$

โดยมีเงื่อนไขว่าถ้า

$$\cos\omega \geq \left(\frac{\tan\delta}{\tan\phi}\right), \quad A = 180^\circ - A$$

$$\cos\omega < \left(\frac{\tan\delta}{\tan\phi}\right), \quad A = 360^\circ + A$$

สุดท้ายเราสามารถบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้จากค่า Altitude angle และ Azimuth angle

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

การวิจัยเพื่อพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในโครงการพัฒนาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่กรมวิทยาศาสตร์ได้ดำเนินการนั้นมีขั้นตอนวิธีการในการวิจัยดังนี้

2.1 การออกแบบหลักการทำงานของระบบและการทดลองเพื่อยืนยันหลักการ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วโดยเบื้องต้นว่าระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นนั้นใช้หลักการผสมผสานกันระหว่างวิธีการใช้สมการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ กับการใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเข้มแสงเพื่อเป็นสัญญาณป้อน

กลับเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ชี้ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณาในการออกแบบหลักการทำงานนั้น คือ ประการแรก ความแม่นยำในการชี้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในขณะเวลาต่างๆที่เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งสำหรับการรวมแสงอาทิตย์ด้วยจานรูปทรงพาราโบลาเพื่อให้ได้ความร้อนนำไปใช้ในการกำเนิดไฟฟ้านั้นความแม่นยำในระดับไม่เกิน ± 2 องศา ก็เป็นการเพียงพอ และ ประการที่ 2 การประหยัดพลังงานในการทำงานของระบบ(3) ซึ่งแน่นอนว่าหากระบบติดตามการเคลื่อนที่ที่ใช้พลังงานมากเกินไปพลังงานที่ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการทำงานโดยรวมต่ำ ซึ่งพลังงาน

ที่ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ใช้โดยมาก จะใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ 2 แกน การออกแบบ ให้โครงสร้างของระบบมีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป และการใช้มอเตอร์ที่มีเฟืองทดแบบเฟืองตัวหนอน (Worm Gear) เพื่อให้ไม่ต้องให้กระแสไฟฟ้ากับมอเตอร์ ในขณะที่ระบบรับภาระและหยุดนิ่ง โดยเฟืองขับแบบ ตัวหนอนจะขัดการหมุนของเฟืองตรงไม่ให้หมุนกลับ เมื่อรับภาระ

การคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ สมการของ NOAA (2) ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.2 โดยนักวิจัยได้ใช้โปรแกรม Excel คำนวณหามุมกวาด และมุมเงยของตำแหน่งดวงอาทิตย์ ในเวลาต่างๆของวัน และตำแหน่งบนพื้นโลกที่ระบุ และนักวิจัยได้ออกแบบ สร้างเครื่องมือสำหรับวัดมุมกวาด และมุมเงยของดวง อาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยใช้หลักการของนาฬิกา แดด กล่าวคือใช้อุปกรณ์ที่เป็นแท่งตรงยาวยึดติดตั้งฉาก

(ก)



รูปที่ 1 แสดงเครื่องมือในการวัดมุมกวาดและมุมเงยตำแหน่งดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำของสมการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย (ก) คือ อุปกรณ์ใช้วัดดวงอาทิตย์ และ (ข) คือ แท่นวัดมุมกวาดและมุมเงย

(ข)



2.2 การสร้างเครื่องต้นแบบที่สามารถทำงานได้จริง

จากหลักการทำงานของระบบที่ได้ออกแบบไว้ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1 นักวิจัยได้สร้างเครื่องต้นแบบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยมี รายการอุปกรณ์ที่ใช้ และรายละเอียดในการสร้างดังนี้

2.2.1 อุปกรณ์ประกอบการสร้างเครื่องต้นแบบ

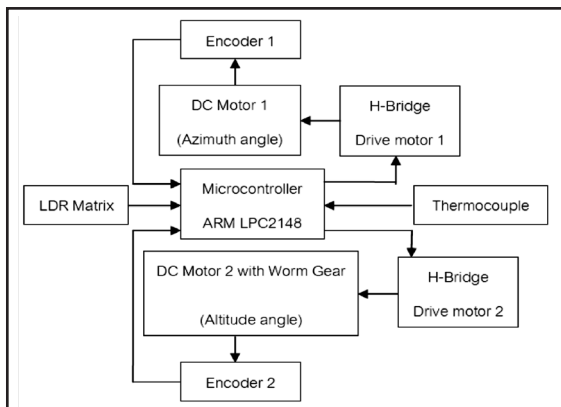
อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบ ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1. DC Servo motor 12V 2 ตัว
2. H-Bridge motor drive 80 A 2 ตัว

3. Rotary encoder 2 ตัว
4. Proximity switch 2 ตัว
5. Microcontroller ARM7 LPC2148 1 ตัว
6. อลูมิเนียมโปรไฟล์ทำโครงสร้างของเครื่อง
7. จานรวมแสงทรงพาราโบลา 1 อัน
8. Thermocouple 1 อัน
9. เซนเซอร์แสง LDR Matrix 6x6 1 อัน
10. กล่องบันทึกข้อมูลลง Flash drive 1 กล่อง
11. จานรูปทรงพาราโบลา ขนาด Ø 17 นิ้ว 1 จาน

2.2.2 รายละเอียดในการสร้างเครื่องต้นแบบ

หลักการทํางาน คือ ระบบจะทำการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ เวลาจริงโดยใช้สมการที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ได้ค่า Altitude angle และ Azimuth angle จากนั้นนำค่ามุมที่ได้ส่งไปควบคุมการหมุนมอเตอร์ในแต่ละแกนเพื่อให้จานรวมแสงอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกับดวงอาทิตย์พอดีซึ่งจะทำให้สามารถสะสมพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ดีที่สุด โดยมีภาพรวมการทํางานของระบบดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงภาพรวมของการทำงานระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น

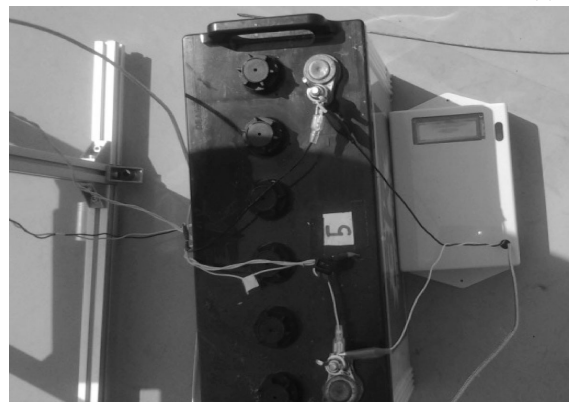
การทํางานของระบบโดยรวมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 รุ่น LPC2148 (4) เป็นหน่วยประมวลผล ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 รุ่น LPC2148 ถูกโปรแกรมให้ทำการคำนวณค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ใหม่ทุกๆ 1 วินาที และนำค่าที่ได้ส่งไปสั่งให้มอเตอร์ทั้งสองตัวหมุนไปยังตำแหน่งนั้นๆ โดยสามารถควบคุมตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ได้จาก encoder โดยความละเอียดที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ในมุมกวาด (Azimuth angle) อยู่ที่ 1367 ต่อ 1 องศา ส่วนมุมเงย (Altitude angle) อยู่ที่ 4 ต่อ 1 องศา และมอเตอร์สามารถรู้ถึงตำแหน่งเริ่มต้นได้ด้วย Proximity switch เนื่องจากโครงสร้างของระบบซึ่งใช้ติดตั้งจานรวมแสงมีค่าความผิดพลาดทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ เวลาต่างๆคลาดเคลื่อนไปจึงได้นำเซนเซอร์แสง LDR Matrix มาติดตั้งเพื่อให้หาค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ผิดพลาด

โดยบนกล่องเซนเซอร์จะมีการเจาะรูขนาด 3 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง LDR Matrix เซนเซอร์เมื่อแสงส่องผ่านรูรับแสงแล้วค่าเซนเซอร์ที่อ่านได้ไม่ตรงกับค่าเซนเซอร์ 4 ตัวที่อยู่บริเวณรูรับแสงจะทำให้ทราบว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในขณะนั้นไม่ตรงกับตำแหน่งดวงอาทิตย์จริงพร้อมทั้งทิศทางจากนั้นหน่วยประมวลผลจะสั่งให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปตรงข้ามกับทิศทางที่อ่านได้จาก LDR Matrix เซนเซอร์จนกว่าแสงที่รอดผ่านรูรับแสงจะตรงกับตำแหน่งกึ่งกลาง LDR Matrix เซนเซอร์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จากนั้น Thermocouple ซึ่งติดตั้งอยู่ที่บริเวณจุดโฟกัสของจานรวมแสงจะทำการอ่านค่าอุณหภูมิที่ได้ส่งผ่านกล่องบันทึกข้อมูลมาเก็บไว้ยัง Flash drive ซึ่งทำให้สะดวกในการนำข้อมูลที่ได้อ่านวิเคราะห์ต่อไป รูปที่ 3 แสดงเครื่องต้นแบบที่ได้สร้างขึ้น

(ก)



(ข)



รูปที่ 3 แสดงเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น (ก) และ (ข) คือ กล่องบันทึกข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ผลการทํางานของเครื่อง

3. ผลและการวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การประเมินผลการทำงานของเครื่องต้นแบบ

นักวิจัยได้ทดสอบการทำงานของจริงของเครื่องต้นแบบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแม่นยำของการทำงานในสภาพการใช้งานจริง และผลการรวมแสงอาทิตย์ว่าสามารถให้พลังงานความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงเพียงใด นักวิจัยได้ติดตั้งเครื่องต้นแบบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่มีจานรวมแสงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 17 นิ้ว และเทอร์โมคัปเปิลพร้อมกล่องบันทึกข้อมูลไว้กลางแจ้ง ตั้งโปรแกรมให้ทำงานระหว่างเวลา 9.00 น. ถึงเวลา 16.00 น. สภาพอากาศในช่วงวันที่ทดสอบเป็นช่วงต้นปีซึ่งเป็นฤดูหนาว ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆบาง กระจายอยู่บางส่วน อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 28 - 30 °C และมีลมพัดเป็นบางเวลา เก็บข้อมูลเป็นเวลาเกินกว่า 1 สัปดาห์ จากการสังเกตการรวมแสงของจานรวมแสงที่ติดตั้งอยู่บนระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งจุดโฟกัสรวมแสงส่องไปที่ปลายเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดระดับอุณหภูมิ ณ จุดนี้จะสามารถสังเกตเห็นแสงสว่างจ้าอยู่ตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำที่เหมาะสมของระบบ และจากการวัดระดับอุณหภูมิที่จุดโฟกัสรวมแสงอ่านค่าได้จากเทอร์โมคัปเปิลนั้น ได้ระดับอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 300 °C หรือระดับอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ราว 200 °C ระดับอุณหภูมิเช่นนี้ หากจะนำไปใช้ในการต้มน้ำเพื่อขับเคลื่อนกลจักรไอน้ำ หรือใช้กับกังหันไอน้ำก็สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี แต่หากจะนำมาใช้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแล้วระดับของอุณหภูมิควรจะต้องสูงกว่านี้คือควรสูงกว่า 400 °C เพื่อให้ได้การทำงานของเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพ (1) รูปที่ 4 และ 5 แสดงกราฟข้อมูลตัวอย่างที่บันทึกระหว่างการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบและจากการทดสอบเครื่องต้นแบบนี้ นักวิจัยมีข้อสังเกตที่ควรบันทึกไว้ดังนี้

1. การใช้ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยใช้สมการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (2) แต่เพียงอย่างเดียว เพื่อประยุกต์ใช้ในจานรวมแสง

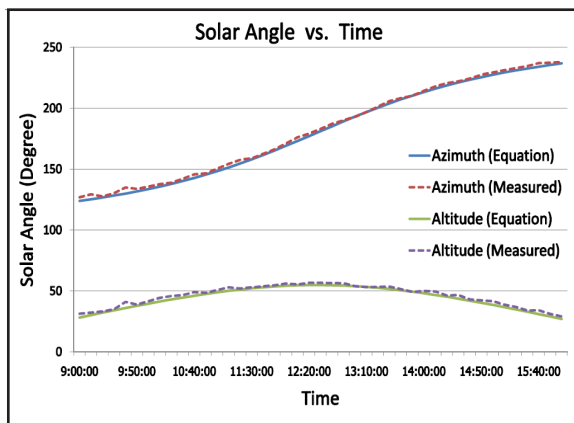
อาทิตย์เพื่อเอาพลังงานความร้อนไปใช้นั้นก็เพียงพอเหมาะสมแล้ว จากผลการทดลองดังรูปกราฟที่ 4 (ก) แสดงให้เห็นถึงค่ามุมที่คำนวณได้จากสมการเปรียบเทียบกับค่ามุมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดมุมตำแหน่งดวงอาทิตย์ พบว่าค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 1.83 องศา ซึ่งความผิดพลาดขนาดนี้อาจไม่จำเป็นต้องใช้เซนเซอร์วัดความเข้มแสงและระบบควบคุมแบบสัญญาณป้อนกลับเลยก็ได้ แต่ทั้งนี้ต้องมั่นใจว่า การสร้างเครื่องติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของแกนมอเตอร์ทั้งสองที่ขับเคลื่อนจานรวมแสงต้องตั้งฉากกันดี การติดตั้งเครื่องบนพื้นที่ใช้งานที่ตั้งแนวทิศทางของแกนอ้างอิงให้ตรงกับทิศเหนือจริง การปรับตั้งเครื่องให้ได้ระนาบจริง และการกำหนดค่าพิกัดตำแหน่งสถานที่ตั้ง รวมถึงค่าวันเดือนปีและเวลาที่ถูกต้องแม่นยำ หากเกิดความคลาดเคลื่อนในเงื่อนไขที่กล่าวมาแล้วนี้ จะส่งผลถึงความแม่นยำของระบบที่ลดน้อยลง

2. ระดับอุณหภูมิที่บันทึกได้มีความแปรปรวนมาก โดยทั้งนี้เกิดขึ้นจากสภาพอากาศโดยรอบของปลายเทอร์โมคัปเปิลซึ่งเปิดสู่อากาศ หากมีลมพัดมาแรง จะเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน ทำให้ระดับอุณหภูมิลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ก็จะรับพลังงานความร้อนที่จุดโฟกัสรวมแสงในขณะการทดสอบนี้ไม่ได้มีวัสดุหรืออุปกรณ์ในการกักเก็บความร้อนไว้ ดังนั้นหากมีการถ่ายเทความร้อนออกไป ระดับอุณหภูมิจึงลดลงได้อย่างรวดเร็ว จากข้อสังเกตนี้นักวิจัยจะใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบปรับปรุงระบบใหม่ให้มีส่วนที่รับและเก็บกักความร้อน รวมถึงเกาะบังลมเพื่อไม่ให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจนทำให้ระดับอุณหภูมิลดลงจนไม่สามารถนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ได้

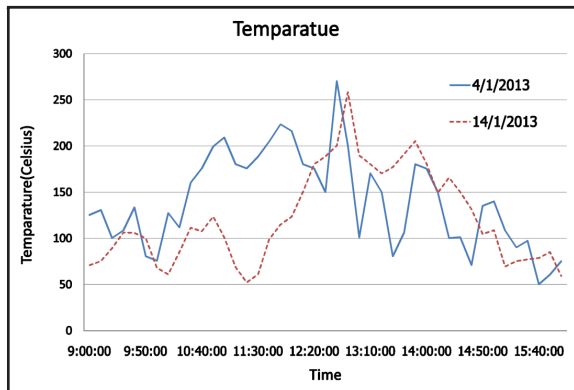
3. การโปรแกรมสั่งการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทุกๆ 1 วินาทีอาจจะเป็นการคำนวณที่ถี่มากเกินไป เพราะเมื่อนักวิจัยสังเกตการขยับตัวของจานที่หันติดตามดวงอาทิตย์ การขยับตัวเล็กน้อยที่สังเกตได้จะใช้เวลาเกินกว่า 1 วินาทีมาก นั้นหมายความว่าเราสามารถลด

ความถี่ของการคำนวณลงได้มาก ซึ่งจะทำให้เราประหยัดเวลาในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ลงได้ นั่นก็หมายความว่าความถี่การประหยัดพลังงานจากแบตเตอรี่ลงได้ ความถี่ในการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ควรเหมาะสมกับความละเอียดของเอนโคเดอร์ของมอเตอร์ด้วย

(ก)



(ข)



รูปที่ 4 กราฟ (ก) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างมุมกวาดและมุมเงยที่คำนวณได้จากสมการกับมุมกวาดกับมุมเงยที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกราฟ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของวันที่ 4/1/2013 และ 14/1/2013

3.2 ต้นทุนการสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

หากเราพิจารณาต้นทุนในการสร้างเครื่องต้นแบบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (3) ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการได้พัฒนาขึ้นนี้ โดยคิดจากค่าอุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบโดยไม่รวมค่าจากรวมแสงเทอร์โมคัปเปิล และกล่องบันทึกข้อมูล ตามที่แจกแจงในตารางที่ 3 จะสามารถคำนวณต้นทุนได้เป็น 7,550 บาท ซึ่งถือว่าเป็นราคาที่ถูกลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่นำเข้ามาขายในประเทศที่มีระดับราคาหลายหมื่นจนถึงแสนบาทซึ่งอาจจะมีคุณภาพที่ต่ำกว่า (ความผิดพลาดน้อยกว่า ± 0.5 องศา) แต่เกินความจำเป็นในการใช้งาน และหากจะลดต้นทุนให้ต่ำกว่านี้ เราอาจจะใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) เป็นตัววัดตำแหน่งหมุนของมอเตอร์แทนเอนโคเดอร์ได้ และหากออกแบบวงจรและลายแผ่น PCB ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่ที่ลดเอาส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ได้ใช้งานออก (ในการวิจัยนักวิจัยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอเนกประสงค์) ก็จะทำให้แผงวงจรมีขนาดกะทัดรัดขึ้น และราคาถูกลงไปอีก

ตารางที่ 3 ราคากระบบติดตามดวงอาทิตย์ราคาประหยัด

รายการ	จำนวน	ราคา/ชิ้น (บาท)	ราคารวม (บาท)
DC motor 12V 30W	2	450	900
Rotary Encoder	2	1800	3600
H-Bridge Motor drive	1	650	650
Proximity switch	2	350	700
Microcontroller	1	1200	1200
LDR Matrix sensor	1	500	500
			7550

4. สรุป (Conclusion)

ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการได้วิจัยพัฒนาขึ้นมีความแม่นยำอยู่ในระดับที่ดี คือไม่เกิน 2 องศา ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในด้านการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็นด้วยวิธีการรวมแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้เป็นพลังงานความร้อนไปใช้งาน หรือกระทั่งการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแผงโซลาร์เซลล์และด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่าระบบที่นำเข้าจากต่างประเทศและความเรียบง่ายของระบบ จึงเหมาะกับการใช้งานในครัวเรือน หรือชุมชนเล็กที่ไม่จำเป็นต้องลงทุนในระบบที่มีความซับซ้อนและราคาแพง

5. เอกสารอ้างอิง

- (1) Andy Ross "Making Stirling Engines", Model Engineer, January 10th, 2011
- (2) William B. Stine and Michael Geyer "Power From The Sun" , <http://www.power-fromthesun.net>
- (3) Artin Der Minassians and Seth R. Sanders "Stirling Engines for Distributed Low-Cost Solar-Thermal-Electric Power Generation" Journal of Solar Energy Engineering, February 2011, Vol.133
- (4) Philips Semiconductors "LPC213x User Manual" , <http://www.semiconductors.philips.com>

การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดแลคติก โดยใช้กลีเซอรอลเป็นแหล่งคาร์บอน Screening of microorganisms producing lactic acid using glycerol as a sole carbon source

จิราภรณ์ บุราคร^{1*}, นงลักษณ์ บรรยงวิมลณัฐ¹, สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล¹, ธีรดา สุขธรรม¹, ปวีน งามเลิศ¹
Jiraporn Burakron^{1*}, Nongluk Bunyovimonnat¹, Supachai Jindavutikul¹, Thirada Suktham¹, Pawin Ngamlert¹

บทคัดย่อ

คัดเลือกจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดแลคติกโดยใช้กลีเซอรอลเป็นแหล่งคาร์บอนเพียงชนิดเดียว โดยนำตัวอย่างที่คาดว่าจะมีเชื้อจุลินทรีย์ที่มีสมบัติที่ต้องการจากแหล่งต่างๆ จำนวน 14 แหล่ง ได้แก่ น้ำฮอริโมนน้ำดำ น้ำผักดอง น้ำหน่อไม้ดอง น้ำเอนไซม์ผสมน้ำผลไม้รวม ปุ๋ยน้ำ น้ำหมักชีวภาพยี่ห้อน้องเดือน น้ำหมักชีวภาพยี่ห้อเทศบาล น้ำหมักชีวภาพ EM ดินที่ปนเปื้อนกลีเซอรอลดิบ น้ำทิ้งที่ปนเปื้อนกลีเซอรอลดิบ น้ำหมักชีวภาพจาก จ.เชียงใหม่ น้ำหมักมะกูด น้ำหมักลูกยอ น้ำหมักยี่ห้อพลอยเพชร มาทำการแยกเชื้อจุลินทรีย์โดยเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเป็นแหล่งคาร์บอนและแคลเซียมคาร์บอเนต จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างจากน้ำหมัก EM ให้นาดวงใสรอบโคโลนีกว้างที่สุด จึงคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์มา 18 สายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ EM335 มีขนาดวงใสรอบโคโลนีกว้างที่สุด เท่ากับ 17.07 มิลลิเมตร และเมื่อทดลองเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีกลีเซอรอลดิบพบว่า สายพันธุ์ EM383 เจริญเติบโตได้ดีที่สุด จากนั้นจึงนำสายพันธุ์ EM335, EM383 และ EM335 ผสมกับ EM383 ทดลองเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีกลีเซอรอลดิบ กลีเซอรอลบริสุทธิ์ร้อยละ 99 และกลีเซอรอลบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 พบว่าเชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์ EM335 สามารถผลิตกรดแลคติกได้สูงที่สุด คือ 84.76 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีกลีเซอรอลดิบเป็นแหล่งคาร์บอน

Abstract

Microorganisms which produce lactic acid by using glycerol as a sole carbon source were identified from various sources, 14 samples such as soil and waste water contaminated with crude glycerol from biodiesel production process, EM bio-extract samples etc. The microorganisms from these samples were selected by cultivated in crude glycerol as a sole carbon source and calcium carbonate. As the results, EM-bio-extract had the widest clear zone and the other samples had very narrow clear zone and some of them no clear zone. Therefore, the 18 microorganisms from EM bio-extract samples which had the most widest clear zone were continued to investigate growth rate and lactic acid production. The results showed that the EM383 was the most rapid growth and the EM335 had the widest clear zone as 17.07 mm. After that, the EM335, the EM383 and the EM335 mixed with the EM383 were cultivated in medium containing crude glycerol, 99% glycerol and 99.5% glycerol. It was found that the EM335 produced the highest amount of lactic acid as 84.76 µg/L when it was cultivated in medium containing crude glycerol as a sole carbon source.

คำสำคัญ : กรดแลคติก, กลีเซอรอล, ไบโอดีเซล, จุลินทรีย์

Keywords : Lactic acid, Glycerol, Biodiesel, Microorganism

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

1. บทนำ (Introduction)

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับไขมันพืชหรือไขมันสัตว์ ได้กลีเซอรอลดิบเป็นผลพลอยได้ประมาณร้อยละ 10 ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ (1) กลีเซอรอลดิบปนเปื้อนสารเคมี ตัวเร่งปฏิกิริยา กรดไขมัน เอทานอล เป็นต้น (2) ปัจจุบันความต้องการไบโอดีเซลจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ทั่วโลก จึงหันมาผลิตไบโอดีเซลโดยสหภาพยุโรปเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก ผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจากประมาณ 3.2 ล้านตัน ในปี 2005 เป็น 5.71 ล้านตันในปี 2007 ในสหรัฐอเมริกาผลิตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก 25 ล้านแกลลอนในปี 2004 เป็น 450 ล้านแกลลอนในปี 2007 (3) การเพิ่มจำนวนการผลิตไบโอดีเซลอย่างรวดเร็ว นอกจากในประเทศพัฒนาแล้วยังมีประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น จีน บราซิล อาเจนตินา อินโดนีเซียและมาเลเซีย เป็นต้น (4) ดังนั้นปริมาณกลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจึงมีจำนวนมหาศาล คาดว่าทั่วโลกจะผลิตไบโอดีเซลถึง 37,000 ล้านแกลลอนเมื่อถึงปี 2016 ซึ่งเติบโตขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 42 ต่อปี (3) ดังนั้นกลีเซอรอลดิบจะผลิตออกมา ประมาณ 4,000 ล้านแกลลอน และในประเทศไทยมีโรงงานที่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้กว่า 400,000 ลิตรต่อวัน เป็นภาระของผู้ผลิตไบโอดีเซลที่จะต้องขายในราคาต่ำ เนื่องจากกลีเซอรอลมีการปนเปื้อนสารเคมีไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย กลีเซอรอลดิบเป็นสาเหตุทำให้ต้นทุนกระบวนการผลิตไบโอดีเซลสูงขึ้น และจะเป็นปัญหาต่อไปในอนาคต ถ้าหากไม่รีบดำเนินการพัฒนานำกลีเซอรอลดิบไปใช้ประโยชน์หรือเพิ่มมูลค่า

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตกรดแลคติกโดยวิธีการทางเทคโนโลยีชีวภาพ โดยการคัดเลือกหาสายพันธุ์จุลินทรีย์จากแหล่งต่างๆ ที่สามารถใช้กลีเซอรอลเป็นแหล่งคาร์บอนชนิดเดียวซึ่งกรดแลคติกมีมูลค่าสูงราคา การนำเข้าประมาณ 30-120 บาท ต่อกิโลกรัมสำหรับเกรดอาหารระดับเภสัชภัณฑ์เกรด ซึ่งประเทศไทยมีการนำเข้าปีละกว่า 9.4 ล้านบาท เนื่องจากมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

หลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเกษตร (5)(6) รวมถึงการใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable plastic) ชนิด Poly-lactic ซึ่งมีแนวโน้มจะใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในปริมาณสูงมาก เนื่องจากทั่วโลกกำลังมีปัญหาล้างแฉะและรณรงค์ให้ทุกประเทศหันมาใช้พลาสติกที่ไม่เป็นมลภาวะ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาล้างแฉะ

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

- กลีเซอรอลดิบ (Crude glycerol) จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล วิชาทฤษฎีชุมชนสมุทรศาสตร์พัฒนาพลังงานทดแทน อ. กระทุ่มแบน จ. สมุทรสาคร

- กลีเซอรอลบริสุทธิ์ ความเข้มข้นร้อยละ 99 ที่ได้จากกลีเซอรอลดิบ

- กลีเซอรอลบริสุทธิ์ (Glycerol, $C_3H_5(OH)_3$) ความเข้มข้นร้อยละ 99.5

- คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate)
- แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide)
- กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid)
- พาราไฮดรอกซีไดฟีนีล (p-hydroxydiphenyl)
- ลิเทียมแลกเตต (Lithium lactate)
- อาหารเลี้ยงเชื้อ Enrichment medium
- อาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar
- อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar ผสม 0.5% $CaCO_3$
- แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate)
- น้ำปราศจากไอออน (D.I. water)

2.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ

- ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- บีกเกอร์ (Beaker)
- กระบอกฉีดยา (Syringe)
- หลอดทดลอง (Test tube)
- ไมโครปิเปต (Micropipette)
- ตู้ปลอดเชื้อ (Biosafety cabinet Level II)

- ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)
- ตู้บเพาะเชื้อแบบใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

(CO₂ incubator)

- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer)
- เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Centrifuge)
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Balance)
- เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer)

2.3 การเตรียมสารละลาย

2.3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานลิเทียมแลกเตต

1) เตรียมสารละลายลิเทียมแลกเตตที่มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2) เตรียมสารละลายลิเทียมแลกเตตที่มีความเข้มข้นต่างๆ จากสารละลายลิเทียมแลกเตตที่มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรดังแสดงในตาราง

Table 1 Lithium lactate solution preparation

Lithium lactate (μg/ml)	Lithium lactate solution 1mg/ml (μl)	Water (μl)
0	0	1000
20	20	980
40	40	960
60	60	940
80	80	920

3) ดูดสารละลายลิเทียมแลกเตต 1 มิลลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองความเข้มข้นละ 2 หลอด

4) เติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาตร 1 มิลลิตรลงในสารละลายข้อ 3) ปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิตรโดยใช้น้ำกลั่น จากนั้นเติมผงแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปเขย่าแรงๆ โดยใช้เครื่องผสม ทั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 30 นาที เขย่าเป็นครั้งคราว

5) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ดูดสารละลายด้านบนมา 1 มิลลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตความ

เข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร

6) นำหลอดไปแช่ในอ่างน้ำเย็น ค่อยๆ เติมสารละลายกรดซัลฟริก ลงไปช้าๆ ผสมให้เข้ากันทันที

7) นำไปต้มในน้ำเดือด 5 นาที แล้วย้ายมาที่อ่างน้ำเย็นทันที (อุณหภูมิไม่ควรต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส)

8) หยดสารละลายพาราไฮดรอกซีไดฟีนิล 2 หยด ผสมด้วยเครื่องผสม ตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 90 วินาที แล้วทำให้เย็นทันที

9) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

10) เขียนกราฟมาตรฐานของสารละลายลิเทียมแลกเตตระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมแลกเตตพร้อมหาค่าความชันของกราฟเส้นตรง

11) กรณีของหลอดควบคุม ดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่างโดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

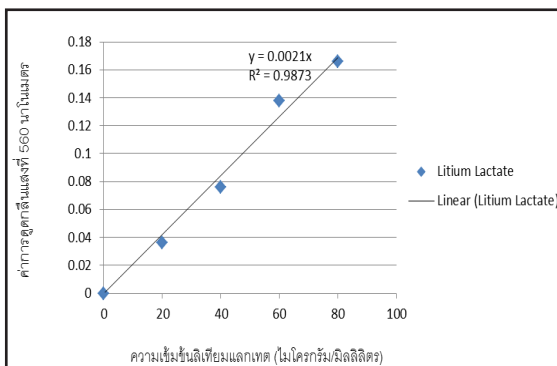


Figure 1 Standard graph of Lithium lactate

2.4 การคัดเลือกหาเชื้อจุลินทรีย์จากตัวอย่างแหล่งต่างๆ ที่สามารถผลิตกรดแลกติก

ตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ จำนวน 14 แหล่ง ได้แก่ น้ำสอร์โมน้ำดำ น้ำผักดอง น้ำหน่อไม้ดอง น้ำเอนไซม์ผสมน้ำผลไม้รวม ปุ๋ยน้ำ น้ำหมักชีวภาพยี่ห้อน้องเดือน น้ำหมักชีวภาพยี่ห้อเทศบาล น้ำหมักชีวภาพ EM ดินที่ปนเปื้อนกลีเซอรอลดิบ น้ำทิ้งที่ปนเปื้อนกลีเซอรอลดิบ น้ำหมักชีวภาพจาก จ.เชียงใหม่ น้ำหมักมะกูด น้ำหมักกล้วยอ น้ำหมักยี่ห้อพลอยเพชร นำมาคัดเลือกหาสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดแลกติกโดยใช้กลีเซอรอลดิบเป็นแหล่งคาร์บอนเพียงชนิดเดียวประยุกต์จากวิธีของ Hong et al., 2009 ดังนี้

2.4.1 ชั่งตัวอย่างดิน 5 กรัมและปิเปตตัวอย่างน้ำหมัก 5 มิลลิลิตร

2.4.2 เจือจางตัวอย่างด้วย 0.85% NaCl ให้ได้ความเข้มข้นของเชื้อ 10^{-1} – 10^{-10}

2.4.3 ดูดตัวอย่างจากข้อ 2.4.2 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร มาเกลี่ยให้กระจายบนผิวหน้าอาหาร Nutrient agar เพาะเลี้ยงในสภาวะไร้อากาศ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2.4.4 คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์จากข้อ 2.4.3 โดยใช้ไม้จิ้มฟันปลอดเชื้อ จิ้มโคลนที่เชื่อมาวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ที่ผสม 0.5% CaCO_3 เพาะเลี้ยงในสภาวะไร้อากาศ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง วัดขนาดวงใสรอบโคโลนี

2.5 การเจริญเติบโตสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลกติก

จุลินทรีย์ทั้งหมดที่คัดแยกได้จากข้อ 2.4 จำนวน 4,884 ไอโซเลท บางไอโซเลทให้ขนาดวงใสรอบโคโลนีกว้าง บางไอโซเลทไม่มีวงใสรอบโคโลนี จากนั้นคัดเลือกไอโซเลทที่มีวงใสรอบโคโลนีกว้างที่สุดจำนวน 18 ไอโซเลท มาเพาะเลี้ยงในอาหาร enrichment medium (0.3% Yeast extract, 0.2% Beef extract, 0.5% Peptone, 3.0% Glycerol, 0.3% NaCl, 0.2% KH_2PO_4 รับประทานเป็น pH 7.0) ผสมกลีเซอรอลดิบปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใน

สภาวะไร้อากาศ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 ชั่วโมง นับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญโดยวัดค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และทำการแยกเชื้อโดยวิธี Pour plate นำไปเพาะเลี้ยงในสภาวะไร้อากาศ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2.6 ศึกษาการผลิตกรดแลกติกของเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์แตกต่างกันเป็นแหล่งคาร์บอน

นำจุลินทรีย์จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ EM335 ที่มีขนาดวงใสรอบโคโลนีกว้างที่สุด และ EM 383 ซึ่งมีการเจริญเติบโตดีที่สุด มาศึกษาการผลิตกรดแลกติกโดยใช้กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์แตกต่างกันเป็นแหล่งคาร์บอน ดังนี้

2.6.1 ตัวอย่าง EM335 EM383 และ EM335 รวมกับ EM383 รวมเป็น 3 ตัวอย่าง นำไปเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว enrichment medium ผสมกลีเซอรอลบริสุทธิ์ ความเข้มข้นร้อยละ 99.5 อาหารเหลว enrichment medium ผสมกลีเซอรอลบริสุทธิ์ ความเข้มข้นร้อยละ 99 และอาหารเหลว enrichment medium ผสมกลีเซอรอลดิบเพาะเลี้ยงในสภาวะไร้อากาศ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 ชั่วโมง

2.6.2 เก็บตัวอย่างทุกวันนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญโดยวัดค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และทำการแยกเชื้อโดยวิธี Pour plate นำไปเพาะเลี้ยงในสภาวะไร้อากาศ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2.6.3 วิเคราะห์ปริมาณกรดแลกติกที่เชื้อผลิตได้ในแต่ละวันจนครบทั้ง 120 ชั่วโมง บันทึกผลการทดลอง

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การแยกเชื้อจุลินทรีย์จากตัวอย่างแหล่งต่างๆ

ตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ จำนวน 14 แหล่ง ได้แก่ น้ำสอร์โมน้ำดำ น้ำผักดอง น้ำหน่อไม้ดอง น้ำเอนไซม์ผสมน้ำผลไม้รวม ปุ๋ยน้ำ น้ำหมักชีวภาพยี่ห้อ

น้องเดือน น้ำหมักชีวภาพยี่ห้อเทศบาล น้ำหมักชีวภาพ EM ดินที่ปนเปื้อนกลีเซอรอลดิบ น้ำทิ้งที่ปนเปื้อนกลีเซอรอลดิบ น้ำหมักชีวภาพจาก จ.เชียงใหม่ น้ำหมักมะกรูด น้ำหมักลูกยอ น้ำหมักยี่ห้อพลอยเพชร นำมาคัดเลือกหาสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดแลคติกโดยใช้กลีเซอรอลดิบ เป็นแหล่งคาร์บอนเพียงชนิดเดียวตามวิธีการข้อ 2.4 จากผลการทดลองดังตารางที่ 2 พบว่ามีเชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญบนอาหาร Nutrient agar ที่ผสมกลีเซอรอลดิบได้ 4,884 โคโลนี แต่ส่วนใหญ่มีเกิดวงใสรอบโคโลนี มีเพียงตัวอย่างน้ำหมักชีวภาพ EM ที่เกิดวงใสรอบโคโลนีขึ้น จึงคัดเลือกจุลินทรีย์ EM ให้วงใสรอบโคโลนีกว้างที่สุด จำนวน 18 สายพันธุ์ ได้แก่ EM310, EM321, EM325, EM326, EM327, EM328, EM329, EM330, EM332, EM333, EM334, EM335, EM338, EM339, EM340, EM342, EM343 และ EM383 มาเพาะเลี้ยงตามวิธีการข้อ 2.5 และหาปริมาณกรดแลคติกตามวิธีการข้อ 2.3.1 ผลการทดลองพบว่าสายพันธุ์ EM335 มีขนาดวงใสรอบโคโลนี กว้างที่สุดคือมีขนาด 17.07 มิลลิเมตร (ตารางที่ 3) และสายพันธุ์ EM383 มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

Table 2 Number of microorganisms which separated from various sources

No.	Samples	Number of isolate microorganisms
1	น้ำฮอร์โมนน้ำดำ	613
2	น้ำผักดอง	72
3	น้ำหน่อไม้ดอง	75
4	น้ำเอนไซม์ผสมน้ำผลไม้รวม	เชื้อไม่เจริญ
5	ปุ๋ยน้ำ	เชื้อไม่เจริญ
6	น้ำหมักชีวภาพยี่ห้อน้องเดือน	388
7	น้ำหมักชีวภาพยี่ห้อเทศบาล	174
8	น้ำหมักชีวภาพ EM	836
9	ดินที่ปนเปื้อนกลีเซอรอลดิบ	677
10	น้ำทิ้งที่ปนเปื้อนกลีเซอรอลดิบ	1,075
11	น้ำหมักชีวภาพจาก จ.เชียงใหม่	162
12	น้ำหมักมะกรูด	348
13	น้ำหมักลูกยอ	21
14	น้ำหมักยี่ห้อพลอยเพชร	443
	รวม	4,884

Table 3 Clear zone and Lactic acid production of 18 microorganisms which separated from EM bio-extract sample

No.	Microorganism	Clear zone(mm) $\pm$ SD
1	EM335	17.07 $\pm$ 0.30
2	EM334	16.24 $\pm$ 0.90
3	EM342	15.20 $\pm$ 1.09
4	EM343	13.47 $\pm$ 1.46
5	EM326	13.14 $\pm$ 1.23
6	EM321	13.08 $\pm$ 0.80
7	EM328	12.97 $\pm$ 1.72
8	EM340	12.92 $\pm$ 0.72
9	EM339	12.06 $\pm$ 0.62
10	EM338	11.81 $\pm$ 0.81
11	EM329	11.78 $\pm$ 0.66
12	EM310	11.75 $\pm$ 2.68
13	EM333	10.25 $\pm$ 1.98
14	EM383	10.19 $\pm$ 0.97
15	EM332	10.08 $\pm$ 1.54
16	EM327	8.63 $\pm$ 1.87
17	EM330	8.21 $\pm$ 0.62
18	EM325	7.70 $\pm$ 1.22

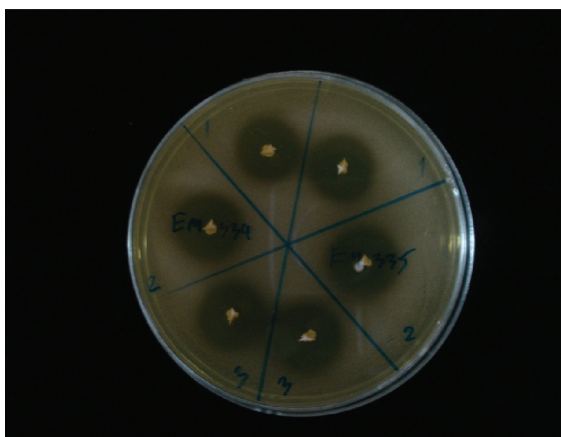


Figure 2 Clear zone of EM335 and EM334

3.2 ศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่เลี้ยงในอาหารเหลว enrichment medium ผสมกลีเซอรอลดิบ

จากการศึกษา การผลิตกรดแลคติกของเชื้อจุลินทรีย์ EM335, EM383 และ EM335 เลี้ยงร่วมกับ EM383 ในอาหารเหลว enrichment medium ผสมกลีเซอรอลดิบ แล้วทำการนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญในแต่ละวันจนครบ 5 วัน ตามวิธีการทดลองข้อ 2.6 พบว่าปริมาณเชื้อเจริญสูงสุดในวันที่ 4 มีเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ 2×10^8 CFU/ml หลังจากนั้นเชื้อจะเจริญคงที่และค่อยๆ ลดลงอาจเนื่องมาจากปริมาณอาหารที่ลดน้อยลงหรือมีปริมาณกรดที่เชื้อสร้างเพิ่มสูงขึ้น ผลการทดลองแสดงใน Figure 3

3.3 ศึกษาการผลิตกรดแลคติกของเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์แตกต่างกันเป็นแหล่งคาร์บอน

ตัวอย่างจุลินทรีย์จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ EM335 ที่มีขนาดวงใสรอบโคโลนีกว้างที่สุด EM 383 ซึ่งมีการเจริญเติบโตดีที่สุด และทดลองเพาะเลี้ยง EM335 ผสมกับ EM383 มาศึกษาการผลิตกรดแลคติกโดยใช้กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์แตกต่างกันเป็นแหล่งคาร์บอนตามวิธีข้อ 2.6 จากการทดลอง พบว่าสายพันธุ์ EM335 ผลิตกรดแลคติกได้สูงที่สุดในวันที่ 4 ปริมาณ 84.76 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว enrichment medium ผสมกลีเซอรอลดิบ

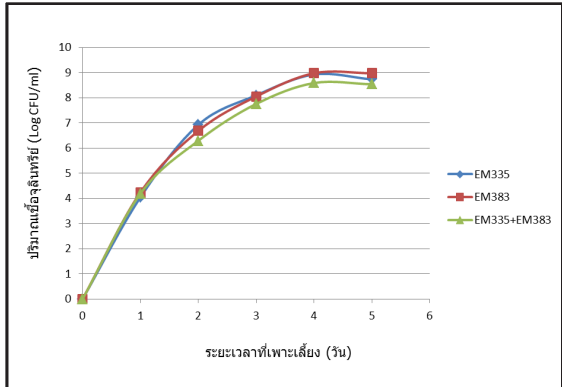


Figure 3 Growth of EM335 and EM383 cultivated in enrichment medium containing crude glycerol for 5 days

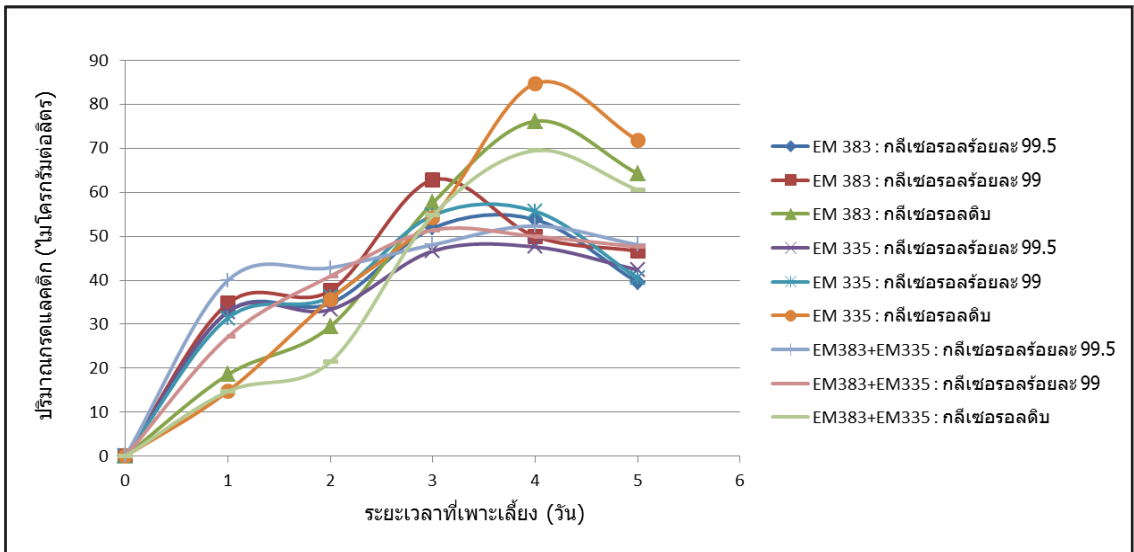


Figure 4 Lactic acid production of EM333, EM335 and EM383 in enrichment medium containing crude glycerol, 99% glycerol and 99.5% glycerol

4. สรุป (Conclusion)

4.1 ตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ จำนวน 14 แหล่ง ได้แก่ น้ำซอร์โมน้ำดำ น้ำผักดอง น้ำหน่อไม้ดอง น้ำเอนไซม์ผสมน้ำผลไม้รวม ปุ๋ยน้ำ น้ำหมักชีวภาพยี่ห้อน้องเดือน น้ำหมักชีวภาพยี่ห้อเทศบาล น้ำหมักชีวภาพ EM ดินที่ปนเปื้อน กลีเซอรอลดิบ น้ำทิ้งที่ปนเปื้อนกลีเซอรอลดิบ น้ำหมักชีวภาพจาก จ.เชียงใหม่ น้ำหมักมะกรูด น้ำหมักลูกยอ น้ำหมักยี่ห้อพลอยเพชร นำมาคัดเลือก

หาจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดแลคติกโดยใช้กลีเซอรอลดิบเป็นแหล่งคาร์บอนเพียงชนิดเดียว พบว่า มีเชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ 4,884 โคโลนี แต่ส่วนใหญ่ไม่เกิดวงใสรอบโคโลนี มีเพียงตัวอย่างน้ำหมักชีวภาพ EM ที่เกิดวงใสรอบโคโลนีขึ้น

4.2 สายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีขนาดวงใสรอบโคโลนีกว้างที่สุด คือ สายพันธุ์ EM335 มีขนาดวงใส 17.07

มิลลิเมตร และตัวอย่างเชื้อที่เจริญได้ดีที่สุด คือ EM383

4.3 นำสายพันธุ์ EM335 และ EM335 ผสมกับ EM383 เพาะเลี้ยงใน enrichment medium ที่ผสมกลีเซอรอล กลีเซอรอลบริสุทธิ์ร้อยละ 99 และ กลีเซอรอลบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.5 พบว่าสายพันธุ์จุลินทรีย์ EM335 ที่เพาะ เลี้ยงในอาหารเหลว enrichment medium ผสมกลีเซอรอล ดิบ สามารถผลิตกรดแลคติกได้ปริมาณมากที่สุด 84.76 ไมโครกรัมต่อลิตร

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ได้สนับสนุน ทุนวิจัยตลอดโครงการนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Dasari, M.A., P.P. Kiatsimkul, W.R. Sutterlin, and G.J. Suppes. "Low-pressure hydrogenolysis of glycerol to propylene glycol. Applies Catalysis A." General., 2005, 281(1-2): 225-231

[2] Pachauri, N. and B. He. "Value-added utilization of crude glycerol from biodiesel production: a survey of current research activities." The 2006 ASABE Annual International Meeting, Oregon Convention Center, Portland, Oregon 9-12 July 2006. <http://www.webpages.uidaho.edu>

[3] Hong, A.A., K.K. Cheng, F. Peng, S. Zhou , Y. Sun, M.M. Liu and D.H. Liu. "Strain isolation and optimization of process parameters for bioconversion of glycerol to lactic acid." J. Chem. Technol. Biotechnol., 2009, 84: 1576-1581.

[4] Du, W., W. Li, T. Sun, X. Chen and D.H. Liu. "Perspectives for biotechnological production of biodiesel and impacts." Appl. Microbiol. Biotechnol., 2008, 79: 331-337.

[5] Datta, R., S.P. Tsai, P. Bonsignore, S.H. Moon and J.R. Frank. "Technological and economic potential of poly-lactic acid and lactic acid derivatives." FEMS. Microbiol. Rev., 1995, 16: 221-231.

[6] Rathin, D. and H. Michael. "Lactic acid: recent advances in products, processes and technologies-a review." J. Chem. Technol. Biotechnol., 2006, 81: 1119-1129.

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลไม้สดหั่นชิ้นจากร้านหาบเร่แผงลอย ที่จำหน่ายในกรุงเทพมหานคร Microbiological quality of fresh-cut fruits from street vendors sold in Bangkok

นพมาศ สะพู¹, จารุณี เมฆสุวรรณ¹, สุพรรณิ เทพอรุณรัตน์^{1*}
Nopamart Sapoo¹, Jarunee Meksuwan¹, Supanee Theparoonrat^{1*}

บทคัดย่อ

ในการสำรวจเชิงคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลไม้สดหั่นชิ้นจากร้านรถเข็นและแผงลอยที่จำหน่ายในกรุงเทพมหานคร ผลไม้ 8 ชนิด ได้แก่ ขนุน แคนตาลูป ขมพู แตงโม ฝรั่ง มะม่วง มะละกอ และสับปะรด รวม 52 ตัวอย่าง เก็บจาก 3 แหล่ง นำมาทดสอบหาปริมาณยีสต์ เชื้อรา แบคทีเรียชนิด *อี. โคไล* และตรวจหาจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคชนิด *ซาลโมเนลลา* และ *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* ผลการทดสอบที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาสำหรับอาหารทั่วไปที่มีใช้อาหารควบคุมเฉพาะของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ อาหารพร้อมบริโภคประเภทอาหารดิบที่เตรียมหรือปรุงในสภาพบริโภคได้ทันที พบว่าตัวอย่างผลไม้สดหั่นมีความปลอดภัยต่อการบริโภคตามเกณฑ์ 28 ตัวอย่างจาก 52 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 53.8 การปนเปื้อนด้วยยีสต์และเชื้อราเกินเกณฑ์คุณภาพ ร้อยละ 38.5 และ ร้อยละ 15.4 ตามลำดับ พบแบคทีเรียชนิด *อี.โคไล* ร้อยละ 7 (เอ็มพีเอ็น/กรัมเท่ากับ 3.6 ไม่เกินเกณฑ์คุณภาพที่กำหนด) นอกจากนี้ยังพบจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคคือ *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* ร้อยละ 7 แต่ไม่พบ *ซาลโมเนลลา* แสดงให้เห็นว่าผลไม้สดหั่นมีความเสี่ยงสูงของการปนเปื้อนของเชื้อโรคอาหารเป็นพิษ จึงควรนำมาตรฐานสุขลักษณะที่ดีในการผลิตอาหาร (Good Hygiene Practices, GHP) ในระหว่างการปรุงและการจำหน่ายมาใช้ เพื่อลดปริมาณและชนิดของเชื้อในผลไม้สดหั่นชิ้นให้อยู่ในระดับที่ความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

คำสำคัญ : ผลไม้หั่นชิ้น, คุณภาพทางจุลชีววิทยา, ยีสต์และเชื้อรา, *อี. โคไล*, *ซาลโมเนลลา*, *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส*

Keywords : Fresh-cut fruits, Microbiological quality, Yeasts and molds, *E.coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

Abstract

Microbiological quality evaluation of fresh-cut fruits from street vendors in Bangkok were conducted. Eight types of fruits comprised of jackfruit, cantaloupe, rose apple, water melon, guava, mango, papaya and pineapple as the total of 52 samples were collected from 3 locations. The fresh-cut fruit samples were examined for microbiological quality on the aspects of yeasts, molds, *E. coli*, *Salmonella* and *Staphylococcus aureus*. According to the microbiological guidelines for ready-to-eat food issued by the Department of Medical Science, it was found that 53.8% (28/52) of samples complied with the criteria. Yeasts and molds were found in every fruits samples with 38.5 % and 15.4 % of samples over the guideline criteria for yeasts and molds, respectively. For *E.coli*, 7% of the samples were found but below the guidelines criteria. Furthermore, for pathogenic bacteria, 7% of samples were *Staphylococcus aureus* positive. *Salmonella* was not detected. The results suggest that the risk of foodborne illness from fresh-cut fruits is high. Therefore, the sanitary quality of the processing of the produce should be concerned by applying Good Hygiene Practices (GHP) during preparation and selling. This will help controlling contamination of products and make the fruits safe for consumption.

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันมีผู้หันมาให้ความสนใจต่อสุขภาพกันมากขึ้น นอกจากผักแล้ว ผลไม้ยังเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่คนนิยมบริโภคกันมาก เนื่องจากมีวิตามิน เกลือแร่ต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย มีเส้นใยที่ช่วยป้องกันท้องผูก ผลไม้ส่วนใหญ่นิยมรับประทานสด ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่จะช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ติดมากับผลไม้ จึงมีความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยเนื่องจากบริโภคจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคที่ปนเปื้อนมากับผลไม้ จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลไม้ อาจปนเปื้อนมาจากดินในระหว่างการเพาะปลูก และการเก็บเกี่ยว ซึ่งในดินมีจุลินทรีย์หลายชนิดอาศัยอยู่ เช่น แบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อรา เนื่องจากในดินมีแร่ธาตุต่างๆ เป็นจำนวนมากที่เป็นแหล่งอาหารที่ดีของจุลินทรีย์ นอกจากนี้การใช้น้ำปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก น้ำโสโครก ในระหว่างการเพาะปลูก การใช้ภาชนะในการบรรจุผลไม้ที่ไม่สะอาดในระหว่างการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาผลไม้ เป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย

ผลไม้ที่จำหน่ายโดยทั่วไป มักจะจำหน่ายเป็นผลไม้สดทั้งผล เมื่อจะรับประทานผู้บริโภคต้องนำมาล้าง ปอกเปลือกหรือหั่นเป็นชิ้นก่อน แต่มีผลไม้ที่จำหน่ายเป็นแบบพร้อมบริโภค ผู้จำหน่ายได้ปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นไว้แล้ว ผู้บริโภคสามารถนำไปรับประทานได้ทันที ผลไม้สดหั่นชิ้นมีขายทั่วไปตามรถเข็นหรือร้านแผงลอยทำให้สะดวกในการซื้อและราคาไม่แพง จึงเป็นที่นิยม แต่ผลไม้สดหั่นชิ้นมีโอกาสปนเปื้อนด้วยเชื้อจุลินทรีย์สูง ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากจะปนเปื้อนตั้งแต่แหล่งเพาะปลูกแล้วยังอาจปนเปื้อนจากผู้เตรียมหรือผู้จำหน่าย อุปกรณ์และภาชนะต่างๆ ที่ใช้ การหั่นเป็นชิ้นๆ เตรียมไว้เป็นเวลานานก่อนจำหน่าย การใช้มือหยิบจับผลไม้ การเรขายไปตามท้องถนนซึ่งมีฝุ่นละอองมาก การทำความสะอาดมือและอุปกรณ์ต่างๆ ไม่เพียงพอระหว่างการขาย รวมถึงการใช้น้ำแข็งหรือน้ำล้างที่ไม่สะอาด ปัจจัยเหล่านี้มีส่วนทำให้ผลไม้สดดัดแปลงปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ได้ (1)

จากรายงานการเกิดการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษที่เกี่ยวข้องกับการบริโภคผักผลไม้ในประเทศสหรัฐอเมริกา ในช่วงปี 2516 ถึง ปี 2540 พบผู้ป่วยจำนวน 16,058 คน ซึ่ง 598 คนได้รับการรักษาในโรงพยาบาล และ 8 คนเสียชีวิต การระบาดของโรคอาหารเป็นพิษที่เกี่ยวข้องกับผักและผลไม้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.7 ในปี 2513 เป็นร้อยละ 6 ในปี 2533 ผักและผลไม้ที่พบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น ผักสลัด ผักกาดหอม แตง (melon) และเบอร์รี่ (berries) จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคเช่น *ซาลโมเนลลา (Salmonella)* อี. โคไล โอ 157: เอช 7 (*E. coli* O157:H7) (2)

ดังนั้นเพื่อเป็นข้อมูลในด้านความปลอดภัยและความเสี่ยงในการบริโภครวมทั้งการเฝ้าระวังความปลอดภัยของผลไม้สดหั่นชิ้น กรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยโครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ จึงได้ศึกษาจุลินทรีย์ในผลไม้สดดัดแปลงที่ได้จากรถเข็นและร้านแผงลอย ซึ่งชนิดของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลไม้ จะบ่งบอกถึงคุณภาพของผลไม้สดดัดแปลง ความสะอาดและสุขลักษณะในการเตรียม และเป็นตัวชี้วัดถึงความเสี่ยงของการเกิดโรคอาหารเป็นพิษด้วย โดยยีสต์และเชื้อราเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลไม้สดดัดแปลงว่า สดสะอาด มีการเน่าเสียหรือมีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในอุปกรณ์และเครื่องมืออี.โคไล (*E. coli*) เป็นตัวบ่งชี้ถึงสุขลักษณะที่ไม่ดีของผู้ขายและผู้เตรียมผลไม้สดดัดแปลง *ซาลโมเนลลา (Salmonella)* เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค พบได้ในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ เป็นตัวชี้บ่งที่ดีในด้านสุขลักษณะการผลิตและความเสี่ยงในการติดโรคทางเดินอาหาร ส่วน *สแตฟิโลคอคคัส ออเรียส (Staphylococcus aureus)* เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค พบได้ตามส่วนต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ เช่น จมูก แผล สิว การใช้มือหยิบจับผลไม้ไม่มีโอกาสที่จุลินทรีย์จะปนเปื้อนลงไปสู่ผลไม้สดดัดแปลง อาจทำให้ผู้ที่บริโภคผลไม้สดดัดแปลงเป็นโรคอาหารเป็นพิษได้ (3)

2. วิธีการวิจัย (Experiment)

2.1 ตัวอย่างผลไม้สดชิ้น

ตัวอย่างผลไม้สดหั่นชิ้น 8 ชนิด ได้แก่ ขนุน แคนตาลูป ชมพู แตงโม ฝรั่ง มะม่วง มะละกอ และ สับปะรด จำนวนรวม 52 ตัวอย่าง ซึ่งจากรถเข็นและร้านแผงลอยในเขตกรุงเทพมหานคร 3 แห่ง คือ บริเวณกรมวิทยาศาสตร์บริการ องค์การเกษตรกรรม และบริเวณอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ ช่วงเวลาที่ซื้อประมาณ 8.00-10.00 น. ทำการทดสอบภายในวันที่ซื้อตัวอย่าง ในระหว่างรอทดสอบเก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็น (5-10 องศาเซลเซียส) แหล่งที่ซื้อและชนิดของตัวอย่างผลไม้สดตัดชิ้นที่นำมาทดสอบมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

2.2 การทดสอบเชื้อจุลินทรีย์

นำตัวอย่างผลไม้สดตัดชิ้นที่ได้จากรถเข็นและร้านแผงลอยมาทดสอบยีสต์เชื้อราอี.โคไลซาลโมเนลลา และ สแตไฟโลคอคคัส ออเรียส (ในการศึกษานี้ ดำเนินการเพียงซ้ำเดียวเนื่องจากปริมาณตัวอย่างไม่เพียงพอที่จะทำ 2 ซ้ำได้) โดยชักตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ในเครื่องตีปั่น เติมน้ำละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 225 มิลลิลิตร ตีปั่นด้วยความเร็วสูง 2 นาที จะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10⁻¹ ทำการเจือจางต่อไปเรื่อยๆจนได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10⁻² 10⁻³ 10⁻⁴ และ 10⁻⁵ เพราะเชื้อจากสารละลายตัวอย่างบนอาหารเลี้ยงเชื้อต่างๆ จุลินทรีย์แต่ละชนิด ดังนี้

Table 1 Details of fresh-cut fruit samples collected from street vendors sold in Bangkok.

Sampling sites	Fruit samples
Victory Monument (3 shops / 15 samples)	Jackfruit (3)*, cantaloupe (2), rose apple (1), water melon (2), guava (2), mango (2), papaya (1) and pineapple (2)
Department of Science Service (4 shops / 24 samples)	cantaloupe (2), rose apple (2), water melon (4), guava (4), mango (4), papaya (4) and pineapple (4)
Government Pharmaceutical Organization (4 shops / 13 samples)	cantaloupe (1), rose apple (1), water melon (3), guava (1), mango (1), papaya (4) and pineapple (2)

1. การนับจำนวนยีสต์และเชื้อรา ทดสอบโดยวิธี Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, 4th ed. (4) โดยนำตัวอย่างมาเพาะเลี้ยงให้เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โปเทโท เดกซ์โทรส อะการ์ (potato dextrose agar) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-7 วัน นับจำนวนโคโลนีของยีสต์และเชื้อรา ที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ รายงานเป็นโคโลนีต่อกรัม

2. อี.โคไล ทดสอบโดยวิธี FDA Bacteriological Analytical Manual โดยวิธี เอ็มพีเอ็น (Most Probable Number -MPN) (5)

3. ซาลโมเนลลา ทดสอบโดยวิธี ISO 6579: 2002 โดยใช้ตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ใน Buffer Peptone Water 225 มิลลิลิตร ปั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ± 2 ชั่วโมง ถ่ายเชื้อลงใน Rappaport-Vassiliadis Soya Peptone broth (RVS) และ Muller-Kauffmann tetrathionate-novobiocin broth (ISO)(MKTn) ปั่นที่อุณหภูมิ 37 และ 41.5 องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเพาะแยกเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Agar Modified (BGA) และ Xylose Lysine Deoxycholate Agar (XLD) ปั่นเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง คัดเลือกโคโลนี และทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีด้วย Triple Sugar Iron

Agar (TSI) และทดสอบ Lysine, Indole, Motile, Urease, VP และ β galactosidase และรายงานว่ามีพบ/ไม่พบ เชื้อซาลโมเนลลา ใน 25 กรัม

4. สแตไฟโลคอกคัส ออเรียส ทดสอบโดยวิธี AOAC (2005) [6] โดยการนำตัวอย่างมาเพาะเลี้ยงให้เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Baird-Parker Egg Yolk Tellulite Agar (BPEY) บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่มีลักษณะจำเพาะ (typical colonies) ของ *S. aureus* ที่เจริญบน BPEY จากนั้นนำมาทดสอบลักษณะเฉพาะทางชีวเคมี และรายงานว่ามีพบ/ไม่พบเชื้อสแตไฟโลคอกคัส ออเรียส ใน 0.01 กรัม

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 ตัวอย่างผลไม้สดที่นำมา

ตัวอย่างผลไม้สดที่นำมาทดสอบรายละเอียดดังตารางที่ 1 มีผลไม้สดตัดแต่ง 8 ชนิด แต่ละชนิดมีจำนวนตัวอย่างดังนี้ ขนุน 3 ตัวอย่าง แคนตาลูป 5 ตัวอย่าง ชมพู 4 ตัวอย่าง แตงโม 9 ตัวอย่าง ฝรั่ง 7 ตัวอย่าง มะม่วง 7 ตัวอย่าง มะละกอ 9 ตัวอย่าง และ สับปะรด 8 ตัวอย่าง รวม 52 ตัวอย่าง ลักษณะของตัวอย่างผลไม้สดตัดแต่ง ณ ที่จำหน่าย สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ ผลไม้สดตัดแต่งที่หั่นเป็นชิ้นเล็กบรรจุถุงไว้แล้ว และที่เป็นชิ้นใหญ่ เมื่อซื้อจะหั่นเป็นชิ้นเล็กและแหล่งที่ซื้อแบ่งตามสถานที่ตั้งของร้านได้เป็น ร้านที่ตั้งอยู่ภายในโรงอาหารสถานที่ราชการ และร้านที่ตั้งอยู่ริมถนน ผู้ขายบางคนใส่ถุงมือเวลาหั่นผลไม้ แต่บางคนไม่ได้ใส่ถุงมือ เชียงที่ใช้มักเป็นเชียงไม้และใช้หั่นผลไม้ทุกชนิด ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทดสอบมิดและเชียง

3.2 ผลการทดสอบจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลไม้สด

จากการทดสอบผลไม้สดตัดแต่งที่ได้จากโรงเรียนและร้านแผงลอยในกรุงเทพมหานคร จำนวน 52 ตัวอย่าง โดยทดสอบ ยีสต์ เชื้อรา อี.โคไล ซาลโมเนลลา และ สแตไฟโลคอกคัส ออเรียส ผลดังแสดงในตารางที่ 2 ผลการทดสอบที่ได้นำไปเทียบกับเกณฑ์คุณภาพทาง

จุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2 ประกาศโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (7) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินความปลอดภัยต่อการบริโภคพบว่าตัวอย่างผลไม้สดตัดแต่งมีความปลอดภัยต่อการบริโภคตามเกณฑ์ 28 ตัวอย่างจาก 52 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 53.8

เมื่อพิจารณาตามชนิดของผลไม้พบว่าชมพูเป็นผลไม้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มากที่สุด (ร้อยละ 100) รองลงมาคือ สับปะรด (ร้อยละ 87.5) โดยพบยีสต์และเชื้อรา และ อี. โคไล (แต่ปริมาณยังไม่เกินเกณฑ์กำหนด) แต่ไม่พบจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของความปลอดภัยพบว่า ขนุน เป็นผลไม้ที่มีความเสี่ยงสูงสุดต่อการได้รับเชื้อโรค เนื่องจากพบเชื้อสแตไฟโลคอกคัส ออเรียส 2 ตัวอย่างจาก 3 ตัวอย่าง รองลงมาคือ แคนตาลูป ซึ่งพบทั้ง เชื้อ สแตไฟโลคอกคัส ออเรียส 1 ตัวอย่างจาก 5 ตัวอย่าง และ อี. โคไล 1 ตัวอย่างจาก 5 ตัวอย่าง แต่ผลไม้ชนิดอื่นๆไม่พบจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

Table 2 The presence of microbial contamination in fresh-cut fruit samples analyzed.

Fruit samples	Yeasts Colonies/g (less than 1.0×10^4) ⁽¹⁾	Molds Colonies/g (less than 500)	<i>E. coli</i> MPN/g (less than 100)	<i>Staphylococcus aureus</i> (Not detected in 0.01 g)	<i>Salmonella</i> (Not detected in 25 g)	No. of samples complied with the criteria
jackfruit	1.7×10^3 - 1.1×10^5	1.0×10 - 6.0×10	Less than 3	positive/ negative (2/3)	NA ⁽³⁾	1/3 (33.3%) ⁽²⁾
cantaloupe	3.6×10^3 - 1.1×10^5	1.0×10 - 5.8×10^2	Less than 3 - 3.6	positive/ negative (1/5)	NA	2/5 (40.0%)
rose apple	7.3×10^4 - 8.2×10^6	4.0×10^2 - 1.2×10^4	Less than 3 - 3.6	negative	NA	0/4 (0%)
water melon	1.8×10^2 - 1.3×10^4	Less than 10 - 3.0×10^2	Less than 3	negative	negative	8/9 (88.9%)
guava	2.0×10^2 - 1.4×10^5	2.0×10 - 3.1×10^2	Less than 3	negative	negative	5/7 (71.4%)
mango	3.6×10^2 - 2.6×10^4	Less than 10 - 2.2×10^2	Less than 3 - 3.6	negative	negative	5/7 (71.4%)
papaya	2.6×10^2 - 3.4×10^4	Less than 10 - 5.3×10^2	Less than 3	negative	negative	6/9 (66.7%)
pineapple	2.6×10^3 - 4.2×10^5	Less than 10 - 1.4×10^4	Less than 3 - 3.6	negative	negative	1/8 (12.5%)

(1) เกณฑ์ตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2 อาหารพร้อมบริโภคอาหารดิบที่เตรียมหรือปรุงในสภาพบริโภคได้ทันที ผัก ผลไม้ สลัด ส้มตำ ประกาศ ณ วันที่ 22 กันยายน 2553

(2) Percentage of samples that met the criteria

(3) NA = not tested

จากผลการทดสอบยีสต์และเชื้อรา พบว่าตัวอย่างผลไม้สดตัดชิ้นจำนวนมากมีการปนเปื้อนยีสต์มากกว่าเชื้อรา โดยพบตัวอย่างที่มียีสต์เกินเกณฑ์มาตรฐานจำนวน 20 ตัวอย่าง (ร้อยละ 38.5) และ เชื้อรา 8 ตัวอย่าง (ร้อยละ

15.4) ผลไม้สดตัดชิ้นที่พบยีสต์หรือเชื้อราเกินเกณฑ์คุณภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับจำนวนผลไม้แต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ คือ ชมพู่ โดยพบยีสต์เกินเกณฑ์คุณภาพทุกตัวอย่าง (7.3×10^4 - 8.2×10^6 โคโลนี/กรัม) จากชมพู่ที่นำมาทดสอบทั้งหมด 4 ตัวอย่าง และพบเชื้อราเกินเกณฑ์คุณภาพ 2 ตัวอย่าง (4.0×10^2 - 1.2×10^4 โคโลนี/กรัม) การที่พบยีสต์และเชื้อราในชมพู่มากกว่าผลไม้ชนิดอื่น อาจเนื่องจากชมพู่เป็นผลไม้ที่มีเปลือกบางเนื้อมีลักษณะฟู ชุ่มน้ำ รับประทานทั้งเปลือก ดังนั้นการบรรจุ การขนส่ง หรือการจับที่ไม่ระมัดระวังจะทำให้ชมพู่ชื้นและอ่อนแอต่อการทำลายของเชื้อโรคได้นอกจากนี้ผลของชมพู่ยังมีลักษณะเป็นชอกและมีขนอยู่บริเวณด้านล่างของผล ซึ่งอาจเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคได้

ผลไม้ที่พบการปนเปื้อนของยีสต์และเชื้อราสูงรองลงมาจากชมพู่คือ สับปะรด โดยพบยีสต์ 6 ใน 8 ตัวอย่าง (2.6×10^3 – 4.2×10^5 โคโลนี/กรัม) และเชื้อรา 4 ใน 8 ตัวอย่าง (น้อยกว่า 10 – 1.4×10^4 โคโลนี/กรัม) ส่วนผลไม้สดตัดชิ้นอื่นพบปริมาณยีสต์และเชื้อราน้อย อาจเนื่องจากมีเปลือกที่แข็งและหนา หรือมีเนื้อผลไม้แข็ง ซึ่งยากต่อการถูกทำลายจากเชื้อโรค เช่น ขนุน แดงโม ฝรั่ง และมะม่วง มีเชื้อราต่ำกว่าเกณฑ์ทุกตัวอย่าง

ผลการทดสอบ *อี. โคไล* ในผลไม้สดตัดแต่งที่ได้จากรถเข็นและร้านแผงลอย โดยวิธีเอ็มพีเอ็น พบว่ามี 3 ตัวอย่างที่พบ *อี. โคไล* โดยมีค่าเท่ากับ 3.6 เอ็มพีเอ็น/กรัม ซึ่งเป็นตัวอย่างผลไม้ แคนตาลูป 1 ตัวอย่าง ชมพู่ 1 ตัวอย่าง และสับปะรด 1 ตัวอย่าง เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้ไปเทียบกับเกณฑ์คุณภาพของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ พบว่าไม่เกินเกณฑ์คุณภาพ ส่วนตัวอย่างที่เหลือไม่พบ *อี. โคไล* (มีค่าเอ็มพีเอ็นเท่ากับ น้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็น/กรัม) แม้ว่าจะพบเชื้อ *อี. โคไล* ไม่เกินเกณฑ์กำหนด แต่เชื้อ *อี. โคไล* เป็นแบคทีเรียที่พบได้ในระบบทางเดินอาหารและอุจจาระของคน การที่พบเชื้อตัวนี้ในตัวอย่างผลไม้ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่ามีการปนเปื้อนของอุจจาระ ซึ่งอาจเกิดขึ้นสุลक्षणะที่ไม่ดีของผู้ขายในระหว่างการเตรียมหรือการจำหน่ายผลไม้ (8, 9, 10) ผลไม้ที่มีการปนเปื้อนเชื้อชนิดนี้จึงมีความเสี่ยงสูงที่จะเป็นพาหะเชื้อโรคอาหารเป็นพิษได้ จึงไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค แต่ด้วยมีเชื้อปริมาณน้อยอาจไม่ก่อให้เกิดโรคในผู้ที่ร่างกายแข็งแรง จึงควรรับประทาน และไม่นำไปให้ผู้ป่วยและเด็กเล็ก เพราะอาจเจ็บป่วยได้

ในการศึกษานี้ไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อ *ซาลโมเนลลา* ในตัวอย่างผลไม้สดชิ้น 5 ชนิด 10 ตัวอย่าง แม้ว่าจะมีรายงานว่าเชื้อ *ซาลโมเนลลา* เป็นสาเหตุหลักของการเกิดโรคระบาดจากการรับประทานผลไม้ในหลายประเทศ โดยมีการตรวจพบเชือนี้ในผลไม้หลายชนิดและผักสด รวมถึงอาหารดิบ (11, 12)

ในการตรวจสอบหาเชื้อ *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* พบว่า 39 ตัวอย่างไม่พบเชื้อ *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส*

ส่วนอีก 3 ตัวอย่าง พบว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อ *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* ซึ่งเป็นตัวอย่างผลไม้ ขนุน 2 ตัวอย่าง และแคนตาลูป 1 ตัวอย่าง *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* เป็นแบคทีเรียที่พบตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย ทำให้มีโอกาสที่เชื้อจะปนเปื้อนจากผู้สัมผัสอาหารไปสู่อาหารได้ง่ายจากการเตรียมอาหารที่ไม่ถูกสุขลักษณะ เมื่อถึงอาหารที่ปนเปื้อนเชื้อไว้ที่อุณหภูมิเป็นเวลานาน เชื้อสามารถเจริญและสร้างสารพิษที่เรียกว่าเอนเทอโรท็อกซิน (enterotoxin) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคอาหารเป็นพิษ ส่วนใหญ่ทำให้เกิดอาการ ปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน สารพิษที่เชื้อสร้างขึ้นสามารถทนความร้อนและทนต่อการถูกทำลายด้วยเอนไซม์ต่างๆ ได้ สามารถทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษได้แม้มีปริมาณเล็กน้อย การที่พบเชื้อ *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* ในตัวอย่างขนุน อาจเป็นไปได้ว่าขนุนเป็นผลไม้ที่มีขั้นตอนในการเตรียมหลายขั้นตอน ตั้งแต่แกะเปลือก แกะเนื้อออกทีละชั้น และแกะเมล็ดออกทำให้ต้องสัมผัสกับผลไม้มากกว่าผลไม้ชนิดอื่นจึงเกิดการปนเปื้อนของเชื้อจากผู้ขายได้ และหากพิจารณาจากแหล่งที่ซื้อพบว่าตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างที่พบ *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* เป็นตัวอย่างที่ซื้อจากร้านที่ตั้งอยู่ริมถนนทั้งหมด เป็นไปได้ว่าร้านดังกล่าวมีน้ำใช้จำกัดในระหว่างการขาย ทำให้ไม่ได้ล้างทำความสะอาดมือ จึงมีการปนเปื้อนของเชื้อได้ (13)

การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลไม้สดหั่นชิ้น อาจปนเปื้อนจากแหล่งเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว การขนส่ง ซึ่งหากการเตรียมผลไม้ไม่ดีพอ จะทำให้ผลไม้ยังคงมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนนอยู่ นอกจากนี้การปนเปื้อนของจุลินทรีย์อาจเกิดจากน้ำแข็งที่ใส่แช่ผลไม้สดตัดแต่งไม่สะอาด มีการปนเปื้อนของเชื้อโรค ซึ่งจากการตรวจวิเคราะห์น้ำแข็งของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ตั้งแต่เดือนกันยายน 2548 ถึงเดือนมีนาคม 2550 จำนวน 169 ตัวอย่าง พบตัวอย่างน้ำแข็งที่ไม่ได้มาตรฐานร้อยละ 29 โดยพบเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ เช่น *อี.โคไล* *คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์* และ *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* (14) รถเข็นและร้านแผงลอยมักจะตั้งอยู่บริเวณ

ริมถนน มีฝุ่นละอองมาก ตู้ใส่ผลไม้ไม่มีฝาปิดป้องกันฝุ่นหรือแมลงมาตอม ผู้ขายมีสุขอนามัยที่ไม่ดี เป็นปัจจัยที่ทำให้ผลไม้สดตัดแต่งมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย มีหลายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนและสภาพแวดล้อมในการเตรียมผลไม้สดตัดแต่งมีผลต่อปริมาณและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ (10,11,15)

ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลไม้หั่นชิ้น แสดงให้เห็นว่าผลไม้หั่นชิ้นมีความเสี่ยงในการเป็นแหล่งแพร่เชื้อโรคอาหารเป็นพิษ ผู้บริโภคจึงควรระมัดระวังเลือกซื้อผลไม้สดหั่นชิ้น โดยเลือกซื้อจากร้านที่สะอาด รถเข็นมีฝาปิดมิดชิด ภาชนะ และภาชนะบรรจุผลไม้ที่สะอาด ผู้ขายมีสุขลักษณะที่ดี เช่น แต่งกายสะอาด มีการสวมถุงมือขณะหั่นหรือปอกเปลือกผลไม้ และในขณะสวมถุงมือไม่ควรหยิบจับสิ่งของ อุปกรณ์ เงิน และอื่นๆ ผลไม้ดูสดสะอาด ไม่เลอะหรือมีรอยขีด เมื่อซื้อมาแล้วควรรับประทาน ไม่ควรเก็บไว้นาน ถ้ายังไม่รับประทาน ควรเก็บใส่ในตู้เย็น (16)

ส่วนหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องควรควบคุมคุณภาพผลไม้สดตัดหั่นให้มีความปลอดภัยในการบริโภค โดยนำมาตราฐานสุขลักษณะที่ดีในการผลิตอาหาร (Good Hygiene Practices) มาใช้ เพื่อลดปริมาณและชนิดของเชื้อในผลไม้สดหั่นชิ้นให้อยู่ในระดับที่ความปลอดภัยต่อผู้บริโภค มีการควบคุม ดูแล ให้คำแนะนำฝึกอบรมการปรับปรุงการผลิตให้ถูกต้องเหมาะสมตามหลักสุขาภิบาลอาหารที่ดีแก่ผู้เตรียม/จำหน่ายผลไม้สดตัดหั่น เพื่อที่จะได้จำหน่ายผลไม้ที่มีคุณภาพและปลอดภัย รวมถึงควรมีการประชาสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องเรื่องความเสี่ยงและความปลอดภัยของอาหารให้ผู้บริโภคเกิดความตื่นตัวและตระหนักในเรื่องความปลอดภัยในการบริโภคผลไม้สดตัดหั่น และมีพฤติกรรมเลือกซื้อและการบริโภคผลไม้สดตัดแต่งที่สะอาดและปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

4. สรุป (Conclusion)

จากการตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลไม้สดหั่นชิ้นที่ได้จากรถเข็นและร้านแผงลอย ในกรุงเทพมหานคร จำนวน 52 ตัวอย่าง 8 ชนิด ได้แก่ ขนุน แคนตาลูป ชมพู แตงโม ฝรั่ง มะม่วง มะละกอ และสับปะรด โดยนำมาทดสอบ ยีสต์ เชื้อรา อี. โคไล ซาลโมเนลลา และ สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส พบว่าผลไม้ส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ เมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและอาหารสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2 พบว่าตัวอย่างผลไม้สดหั่นที่มีความปลอดภัยต่อการบริโภคตามเกณฑ์ 28 ตัวอย่าง จาก 52 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 53.8 โดยมีการปนเปื้อนยีสต์เกินเกณฑ์มาตรฐานจำนวน 20 ตัวอย่าง (ร้อยละ 38.5) และ เชื้อรา 8 ตัวอย่าง (ร้อยละ 15.4) พบอี.โคไล ในผลไม้สดตัดแต่ง 3 ตัวอย่าง (ร้อยละ 7) แต่ไม่เกินเกณฑ์คุณภาพ นอกจากนี้ยังตรวจพบจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส ในผลไม้สดตัดแต่ง 3 ตัวอย่าง (ร้อยละ 7) แต่ไม่มีตัวอย่างผลไม้ใดที่พบเชื้อซาลโมเนลลา ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการรับประทานผลไม้หั่นชิ้นที่จำหน่ายตามรถเข็นหรือร้านแผงลอยมีความเสี่ยงต่อการได้รับเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจทำให้เกิดโรค ผู้บริโภคจึงควรระมัดระวังในการเลือกซื้อมารับประทาน

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยตลอดโครงการนี้ ขอขอบคุณผู้อำนวยการโครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ของกลุ่มงานจุลชีววิทยาทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมและผลักดันให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

(1) นภาพร เขียวชาญ. การควบคุมการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในผักและผลไม้. วารสารจารย์พา, กรกฎาคม/สิงหาคม, 2546, ปีที่ 10, ฉบับที่ 73, หน้า 38-41.

[2] Fresh Produce: A Growing Cause of Outbreak of Foodborne Illness in the United States, 1973 through 1997. *Journal of Food Protection*, 2004, Vol 67, No.10, p.2342-2353.

[3] แบคทีเรียในอาหาร. สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ พฤษภาคม 2553

[4] Downes, F.P., and Ito, K. *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. 4th ed. Washington, DC : Sheridan Books, Inc, 2001, p 209 -211.

[5] FDA Bacteriological Analytical Manual online 2001. Chapter 4: *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria, U.S. Food & Drug Administration, Center for Food Safety & Applied Nutrition. [online] [cited 5 April 2013]. Available from Internet :<http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-4.html>.

[6] Official methods of analysis of AOAC international. 18th ed. AOAC official method 975.55 *Staphylococcus aureus* in Foods. AOAC international, 2005, chapter 17, p.73-74.

[7] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร. (ออนไลน์) อ้างถึงวันที่ 30 มกราคม 2554 ถึงได้จาก <http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/file/variety/cheme/confict.htm>.

[8] Chukwu, C. O. C., Chukwu, I. D., Onyimba, I. A., Umoh, E. G., Olarubofin, F. and Olabode. A. O. Microbiological quality of pre-cut fruits on sale in retail outlets in Nigeria. *Journal of Agricultural Research*. 2010, 17: 2272-2275.

[9] SCF/CS/FMH/SURF/Final, Risk Profile on the Microbiological Contamination of Fruits and Vegetables Eaten Raw, Report of the Scientific Committee on Food, European Commission Health

& Consumer Protection Directorate-General, 29 April 2002

[10] Badosa, E., Trias, R., Par s, D., Pla, M., and Montesinos, E. Microbiological quality of fresh fruit and vegetable products in Catalonia (Spain) using normalised plate count methods and real time polymerase chain reaction (QPCR). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2008, 88: 605-611.

[11] Centre for Disease Control and Prevention (CDC). *Salmonella oranienburg gastroenteritis associated consumption of precut watermelons-Illinois. Morbidity and Mortality Weekly Report*, 1979, 28 522- 523.

[12] Centre for Disease Control and Prevention (CDC), *Surveillance of food borne disease outbreaks in United States in 2006. Morbidity and Mortality Weekly Report*, 2009. 58(22) 609-615.

[13] สุตสายชล หอมทอง และคณะ. การแพร่กระจายของ *Staphylococcus aureus* ในผลไม้พร้อมบริโภคบริเวณ อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี. *วิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 2554, 25 (3) : 12-18.

[14] กรมวิทย์ฯ ตรวจพบน้ำแข็งบดปนเปื้อนเชื้อโรคมากที่สุด (ออนไลน์) สามารถเข้าถึงได้จาก <http://new.goosiam.com/variety/html/0003022.html> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 3 พฤษภาคม 2556

[15] Barro, N., Iboudo, I. and Traore, A.S. Hygienic status assessment of dishwater, utensils, hands and pieces of money in street food vending sites in Ouagadougou, Burkina Faso, *African Journal, Biotechnol.* 2006, 5 1107-1112

[16] Muinde, O.K. and Kuria, E. Hygienic and sanitary practices of vendors of street foods in Nairobi, Kenya, *AJFAND*. 2005, 5 1-3 [6]

คำแนะนำในการส่งต้นฉบับ

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

Bulletin of Applied Sciences

วารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ ยินดีรับบทความวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยบทความที่ส่งตีพิมพ์จะต้องไม่เคยตีพิมพ์หรืออยู่ในระหว่างการรอพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในวารสารอื่น บทความที่เสนอมาเพื่อตีพิมพ์อาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่บทความต้องมีทั้งสองภาษา ทั้งนี้บทความทุกเรื่องจะได้รับการพิจารณาตรวจจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง 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 และe-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) : การอ้างอิงเอกสารให้ใช้ระบบเรียงตามตัวเลข ใส่หมายเลขในวงเล็บเหลี่ยม () เรียงตามลำดับการอ้างอิงในเรื่อง เอกสารอ้างอิงทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงหรือกล่าวถึงในบทความ ตัวอย่าง

(1) Chan, A.H.S. and Lee, P.S.K. "Effect of display factors on Chinese reading times, comprehension scores and preferences." Behav. Info. Technol., 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 Technol. 2002, 21(2), 87-96.

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

- ตาราง : ให้ระบุลำดับที่ของตาราง หัวตารางให้จัดชิดขอบด้านซ้าย ชื่อตารางให้อยู่ด้านบนของตาราง

- รูป : ให้ระบุลำดับที่ของรูป คำบรรยายรูปภาพให้อยู่ใต้รูปภาพ และจัดกึ่งกลางคอลัมน์

○ การส่งต้นฉบับ

1. การส่งต้นฉบับทางไปรษณีย์ ส่งต้นฉบับ 1 ชุด และสำเนา 2 ชุด พร้อมแผ่นดิสเก็ตที่ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ (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 2 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2556

	ก		ร
กรธรรม สติรกุล	: 90	รวีวรรณ อาจสำอาง	: 69
กรรณิการ์ บุตรเอก	: 62		ล
ก่อพงศ์ หงษ์ศรี	: 48	ลดดา พันธุ์สุขุมธนา	: 9
กิจติศักดิ์ ยศอินทร์	: 77		ว
	จ	วรรณภา ตันยีนยงค์	: 40
จารุณี เมฆสุวรรณ	: 108	วรรณา ต.แสงจันทร์	: 17
จิตตกานต์ อินเที่ยง	: 84	วรารณ กิจชัยบุญกุล	: 35
จิราภรณ์ บุราคร	: 100	วราลี บางหลวง	: 9
เจนจิรา ภูริรักษ์พิติกร	: 26	วัชรวิ คตินนท์กุลวัชรวิ	: 26
	ด	วันดี ลือสายวงศ์	: 40
ดวงกมล เขาว์ศรีหมุด	: 55		ศ
	ธ	ศันศินีย์ รักไทยเจริญชีพ	: 17
ธิดา สุขธรรม	: 100		ส
	น	สุกัลยา พลเดช	: 69
นงลักษณ์ บรรยงวิมลนัฐ	: 100	สุพรรณิ เทพอรุณรัตน์	: 108
นพมาศ สะพู	: 108	สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล	: 100
	บ		อ
เบญจพร บริสุทธิ์	: 55	อภิญา บุญประกอบ	: 90
	ป	อรรวรรณ ปิ่นประยูร	: 62
ปราณี จันทรลา	: 17	อินทิรา มาฆพัฒน์สิน	: 9
ปวิณ งามเลิศ	: 100		
ปวีณา เครือนิล	: 55		
	พ		
พจมาน ท่าจีน	: 69		
	ภ		
ภาวดี ตู๋จินดา	: 48		

AUTHOR INDEX

Bulletin of Applied Science Vol.2 No.2 August 2013

A		P	
Apinya Boonprakob	: 90	Paweena Kreunin	: 55
B		Pawin Ngamlert	: 100
Benchaporn Borisuthi	: 55	Pochaman Tageen	: 69
D		Poovadee Tuchinda	: 48
Duangkamol Chaosrimud	: 55	Pranee Junlar	: 17
I		R	
Inthira Markhapattanasin	: 9	Raviwan Artsamang	: 69
J		S	
Jarunee Meksuwan	: 108	Sansanee Rugthaicharoencheep	: 17
Jenjira Phuriragpitikhon	: 26	Sukanya Pondet	: 69
Jiraporn Burakron	: 100	Supachai Jindavutikul	: 100
Jittakant Intiang	: 84	Supannee Theparoonrat	: 108
K		T	
Kannika Butraek	: 62	Thirada Suktham	: 100
Kijtisak Yotinn	: 77	V	
Korntham Sathirakul	: 90	Vannapa Tanyuenyoung	: 40
Korpong Hongsri	: 48	Vararee Bangluang	: 9
L		W	
Lada Punsukmtana	: 9	Wandee Luesaiwong	: 40
N		Wanna T.saengechantara	: 17
Nongluk Bunyovimonnat	: 100	Waraporn Kitchainukul	: 35
Nopamart Sapoo	: 108	Watcharee Katinonkul	: 26
O			
Orawan Pinprayoon	: 62		

ดรรชนีชื่อเรื่อง

วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2556

ก

การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่สามารถผลิต : 100
กรดแลคติกโดยใช้กลีเซอรอลเป็นแหล่งคาร์บอน

การดูดซับปรอทในน้ำสังเคราะห์ด้วยถ่านลอย : 35
จากโรงไฟฟ้า

การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของ : 40
วิธีทดสอบโครเมียม นิกเกิล แมงกานีส
โมลิบดีนัม ซีลีคอน คาร์บอน ฟอสฟอรัส
และกำมะถัน ในเหล็กกล้าไร้สนิม
โดยเทคนิคสเปกโตรเมตริก

การทดสอบความชำนาญรายการ การนับจำนวน : 69
จุลินทรีย์ในแป้ง

การปรับสภาพเปลือกข้าวโพดและเปลือกมะพร้าว : 26
ด้วยของเหลวไอออนิก เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำตาลกลูโคส

การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ AOX : 48
ในน้ำทั้งก่อนเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียใน
โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษในประเทศไทย

การพัฒนาระบบการจัดการความปลอดภัย : 55
ในห้องปฏิบัติการโลหะและธาตุปริมาณน้อย

การพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของ : 90
ดวงอาทิตย์ต้นทุนต่ำเพื่อการประยุกต์ใช้ใน
งานพลังงานทดแทน

ก

การศึกษาผลกระทบของเนื้อสารตัวอย่าง : 77
และประเภทของแบคทีเรียที่มีผลต่อ
ค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบทางจุลชีววิทยา

การศึกษาสมบัติกายภาพของเซรามิกเนื้อพรุน : 9
เพื่อการพัฒนาเซรามิกที่มีกลิ่นหอม

การสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากตะกั่ว : 17
หลอมอะลูมิเนียม

ค

ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับ : 84
ค่าความเสถียรของตึมน้ำหนักมาตรฐาน

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลไม้สดหั่นชิ้น : 108
จากร้านหาบเร่แผงลอยที่จำหน่ายในกรุงเทพมหานคร

ด

ถุงมือยางที่ใช้ในงานในอุตสาหกรรมอาหาร : 62
ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนัก

TITLE INDEX

Bulletin of Applied Science Vol.2 No.2 August 2013

A

A comparison of the amount of AOX : 48
in effluent before entering and after leaving
wastewater treatment system in pulp and paper
mills in Thailand

A physical properties study of porous : 9
ceramics for the development of the
fragrance ceramic

A synthesis of cordierite from : 17
aluminium slag

Adsorption of mercury contaminated : 35
synthetic water by fly ash from coal fired
power plant

G

Gloves for food industry: risk from : 62
contamination of heavy metals

M

Method validation for determination : 40
of chromium, nickel, manganese, molybdenum,
silicon, carbon, phosphorous and sulfur in stainless
steel using spark emission spectrometry

Microbiological quality of fresh-cut : 108
fruits from street vendors sold in Bangkok

P

Pretreatment of corn husk and coconut : 26
husk using ionic liquid to enhance glucose
recovery

Proficiency Testing: Aerobic plate count : 69
in starch

R

Relationship between surface roughness : 84
and stability of standard weight

S

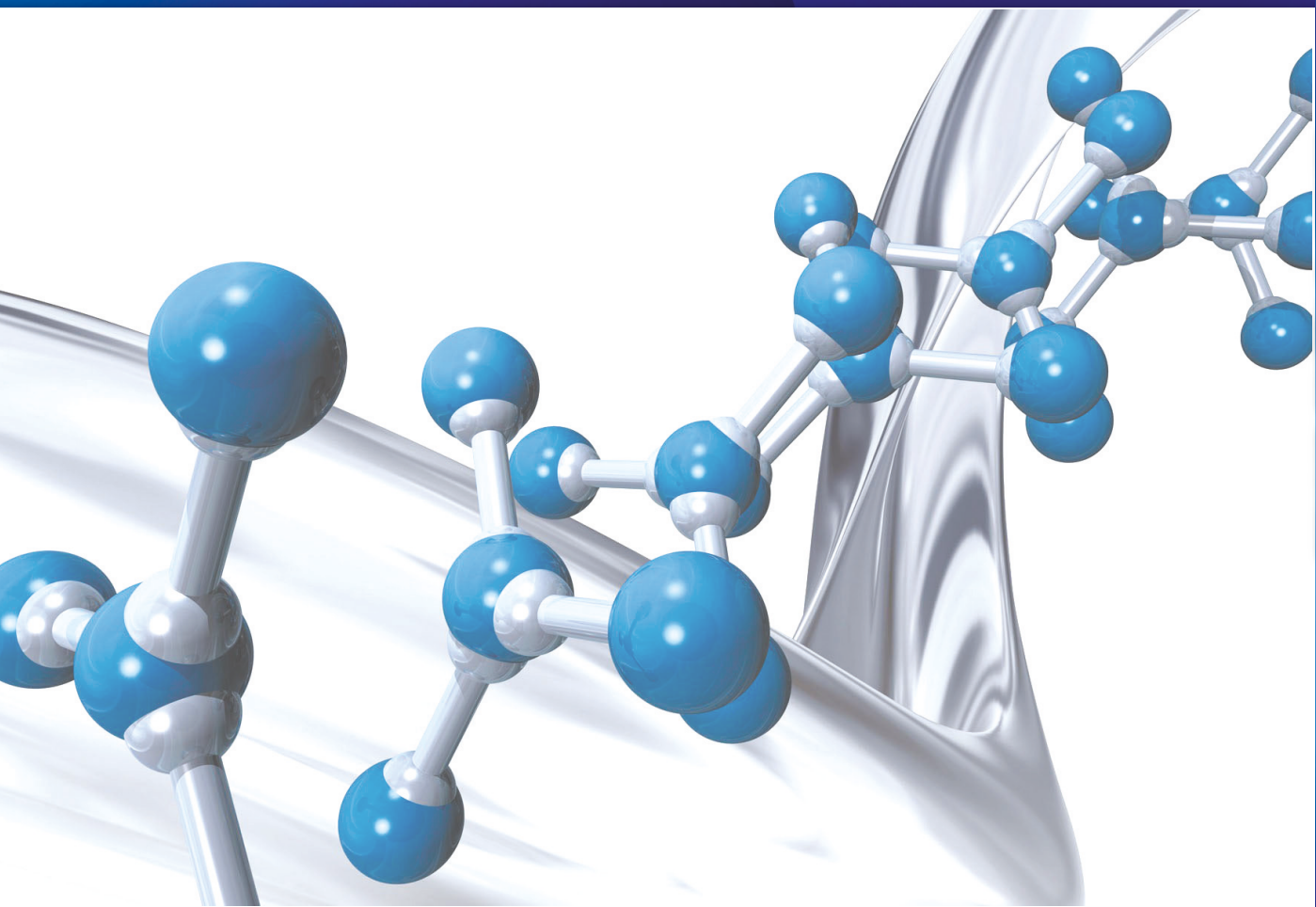
Screening of microorganisms producing : 100
lactic acid using glycerol as a sole carbon
source

T

The development of a low-cost solar : 90
tracking system for renewable energy
applications

The development of laboratory safety : 55
management in metals and trace elements
testing laboratory

The effect of matrices and bacterial type : 77
on uncertainty of microbiological testing



กรมวิทยาศาสตร์บริการ
75/7 ถนนพระรามที่ 6
แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี
กรุงเทพฯ 10400