การประเมินความปลอดภัยของแก้วเก็บความเย็นที่สัมผัสอาหาร

Safety assessment of food contact Tumbler

นายพัทธมน ทองคำ

Pattamon Thongkum

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการความปลอดภัยอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2564

KMITL-2021-FI-M-054-378

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Safety assessment of food contact Tumbler

Pattamon Thongkum

A INDEPENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SAFETY MANAGEMENT

FACULTY OF FOOD INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

KMITL-2021-FI-M-054-378

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2021

FACULTY OF FOOD INDUSTRY

KING MONGKOL'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองการศึกษาค้นคว้าอิสระ

หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การประเมินความปลอดภัยของแก้วเก็บความเย็นที่สัมผัสอาหาร

SAFETY ASSESSMENT OF FOOD CONTACT TUMBLER

ชื่อนักศึกษา นายพัทธมน ทองคำ

รหัสประจำตัว 61608022

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา การจัดการความปลอดภัยอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระร่วม -

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม	
ดร.ระจิตร สุวพานิช	
ดร.อุมาพร ฉัตรศรีสุวรรณ	
รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์	

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2563 เวลา 13.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องวิเคราะห์ 1 อาคารปฏิบัติการแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
FACULTY OF FOOD INDUSTRY
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมอาหารรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมอาหาร

วันที่ 23 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ	การประเมินความปลอดภัยของแก้วเก็บความเย็นที่สัมผัสอาหาร
นักศึกษา	นายพัทธมน ทองคำ
รหัสประจำตัว	61608022
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	การจัดการความปลอดภัยอาหาร
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาค้นคว้าอิสระ	ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสที่สัมผัสตัวแทนของอาหารจำลอง รวมถึงการประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงของการได้รับสัมผัสโลหะหนักจากภาชนะแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส โดยได้ทำการศึกษาจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสจำนวน 30 ตัวอย่าง โดยใช้ตัวแทนของอาหารจำลองคือ น้ำกลั่น และ 3% Acetic acid ศึกษาที่สภาวะอุณหภูมิ 25 °C และ 40 °C เวลา 6 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 240 ชั่วโมง พบว่า การใช้ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารจำลองที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 240 ชั่วโมง มีการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมจากแก้วเก็บความเย็นที่ทำจากสแตนเลสเกิดขึ้นมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.5104 ± 0.0728 mg/dm^2 ส่วนการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) และ ตะกั่ว (Pb) ด้วยเทคนิค Flame Atomic Absorption Spectrophotometry พบว่า ปริมาณมากที่สุดคือ 0.0981 ± 0.0026, 0.00691 ± 0.00041, <0.015 mg/L ตามลำดับ โดยพบว่าค่า pH อุณหภูมิของตัวแทนอาหารจำลองและเวลาที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการประเมินความเสี่ยงการได้รับโลหะในอาหารเทียบกับค่าความปลอดภัยพบว่าปริมาณเหล็กและนิกเกิลไม่เกินเกณฑ์ปริมาณที่แนะนำโดย European Food Safety Authority (EFSA) และ The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Independent Study	Safety assessment of food contact Tumbler
Student	Pattamon Thongkum
Student ID.	61608022
Degree	Master of Science
Program	Food Safety Management
Year	2020
Independent Study Advisor	Assistant Professor Dr. Pongsert Sriprom

ABSTRACT

This research is to study heavy metal migration from tumbler stainless steel container and risk assessment. This evaluation included the risk of steel quantity from stainless steel container by study these stainless steel container from 30 samples of stainless steel tumbler were studied using food simulant, distilled water, and 3% acetic acid, studied at temperatures of 25 and 40 $^{\circ}C$ at 6, 24 and 240 hours. It was found that 3% of acetic acid was used as a food simulant at 40 $^{\circ}C$ for 240 hours, with the most overall migration from stainless steel chilled glass. The mean values were 0.5104 ± 0.0728 mg/dm^2, respectively. The mitigation method by specific metal group compounds, namely iron (Fe), nickel (Ni), and lead (Pb), was performed using the Flame Atomic Absorption Spectrophotometry technique. It was found that the specific migration of iron, nickel, and lead from stainless steel tumbler. It was found that the highest quantity was 0.0980 ± 0.00257, 0.00691 ± 0.00041, <0.015 mg/L, respectively. The increase in temperature and time resulted in a significant increase in the migration of iron heavy metals ($p < 0.05$).

However, the result of this research is based on the standard of the European Food Safety Authority, (EFSA) and The joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, (JECFA) the quantity of steel element in Food is safe enough

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความกรุณาจากอาจารย์ผู้ควบคุมการศึกษาค้นคว้าอิสระคือ ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม ได้ให้ทั้งความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ คอยติดตามความคืบหน้าของการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องจนการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์ ดร.ระจิตร สุวพานิช และดร.อุมาพร ฉัตรศรีสุวรรณ ที่ให้ความอนุเคราะห์มาเป็นกรรมการในการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ ปรึกษา จนการศึกษาค้นคว้าอิสระ สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์วิภารัตน์ นิสาภัย ผู้ช่วยอธิการบดี มรภ.ชัยภูมิ และคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและสารเคมี ในการวิเคราะห์หาโลหะหนัก

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สวรักษ์ จันทรเทพธิมากุล หัวหน้าสาขาเทคโนโลยีและการจัดการความปลอดภัยของอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ให้คำแนะนำที่ดีและเป็นกำลังใจที่ดีในระหว่างการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านและเจ้าหน้าที่ธุรการ ของคณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้แนวทางการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้

ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวของผู้เขียน ที่ช่วยให้ทุนทรัพย์ ในการการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ และเป็นกำลังใจที่ดีที่ให้ผู้เขียนทำสำเร็จ

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้องนักศึกษาปริญญาโท สาขาการจัดการความปลอดภัยอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร ปีการศึกษา 2560-2561 ที่คอยช่วยเหลือ คอยให้คำแนะนำที่ดีแก่ผู้เขียนอยู่เสมอ และเป็นกำลังใจที่ดีในระหว่างการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ให้ราบรื่นสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

พัทธมน ทองคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 วัสดุสัมผัสอาหาร (Food Contact Materials: FCM) 5

2.2 สเตนเลสหรือเหล็กกล้า 10

2.3 กระบวนการเคลื่อนย้ายของสาร 22

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดการเคลื่อนย้ายของสารสู่อาหาร 23

2.5 การทดสอบความปลอดภัยของอาหาร 23

2.6 การวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนย้ายของสาร 26

2.7 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 26

2.8 โลหะหนัก (Heavy Metal) 28

2.9 คุณสมบัติทั่วไป ประโยชน์และความเป็นพิษของโลหะหนัก 29

2.10 ข้อกำหนดของกฎระเบียบที่สำคัญเกี่ยวกับวัสดุสัมผัสอาหาร 34

2.11 การประเมินความเสี่ยงความเป็นพิษของสารเคมีที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ 38

2.12 การประเมินการสัมผัส (Exposure assessment) 39

2.13 ข้อมูลการบริโภคเครื่องดื่มของประชากรไทย อายุ 18-34.9 ปี 42

2.14 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 44

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 52

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 52

3.2 อุปกรณ์ 52

3.3 สารเคมี 53

3.4 คัดเลือกตัวอย่างของแก้วเก็บความเย็นที่ทำมาจากวัสดุสเตนเลส 53

3.5 การวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม (Overall Migration) 56

3.6 การวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก 58

3.7 ประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงของการได้รับโลหะหนักจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส 60

3.8 วิเคราะห์ผลทางสถิติ 62

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 63

4.1 ตัวอย่างของแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส 63

4.2 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม (Overall Migration) 64

4.3 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก 67

4.4 ผลประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงที่เกิดอันตรายต่อสุขภาพ 73

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 78

บรรณานุกรม 80

ภาคผนวก 83

ภาคผนวก ก แผนผังการประเมินความปลอดภัยของแก้วเก็บความเย็นที่สัมผัสอาหาร 84

ภาคผนวก ข ภาพแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส 85

ภาคผนวก ค Data specific migration 88

ประวัติผู้เขียน 112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ข้อมูลองค์ประกอบเกี่ยวกับสแตนเลสเกรดอื่น ๆ ที่ใช้ในการสัมผัสกับอาหาร 21

2.2 ชนิดของอาหารและตัวแทนอาหารจำลองที่ใช้ 24

2.3 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวม (Overall Migration) 24

2.4 ระยะเวลาทดสอบที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารแบบเจาะจง (Specific Migration) 25

2.5 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารแบบเจาะจง (Specific Migration) 25

2.6 ค่า pH เฉลี่ยของเครื่องดื่มแต่ละชนิด 27

2.7 เปรียบเทียบปริมาณโลหะกับปริมาณที่ร่างกายรับได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย 36

2.8 ข้อจำกัดการปลดปล่อยแบบเฉพาะเจาะจง (SRL) โดยสภายุโรป 37

2.9 พารามิเตอร์ของตัวแปรสมการ 40

2.10 ปริมานการบริโภคเครื่องดื่มของประชาการ ไทยอายุ 18-34.9 ปี 43

2.11 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 51

3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ 56

3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบธาตุเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว ด้วยเครื่อง AAS 59

4.1 ขนาด พื้นที่ผิวสัมผัส และปริมาตรบรรจุของตัวอย่าง 64

4.2 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักนิกเกิล 72

4.3 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักตะกั่ว 72

4.4 พารามิเตอร์คำนวณการได้รับสัมผัสโลหะหนักเหล็ก 74

4.5 ปริมาณเหล็กที่ได้รับและดรรชนีความเสี่ยง 74

4.6 พารามิเตอร์คำนวณการได้รับสัมผัสโลหะหนักนิกเกิล 76

4.7 ปริมาณนิกเกิลที่ได้รับและดรรชนีความเสี่ยง 76

ค.1 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 6 ชั่วโมง 88

ค.2 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 24 ชั่วโมง 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ค.3 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 240 ชั่วโมง 92

ค.4 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 6 ชั่วโมง 94

ค.5 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 24 ชั่วโมง 96

ค.6 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 240 ชั่วโมง 98

ค.7 Data Specific Migration โดยใช้ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 6 ชั่วโมง 100

ค.8 Data Specific Migration โดยใช้ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 24 ชั่วโมง 102

ค.9 Data Specific Migration โดยใช้ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 240 ชั่วโมง 104

ค.10 Data Specific Migration โดยใช้ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 6 ชั่วโมง 106

ค.11 Data Specific Migration โดยใช้ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 24 ชั่วโมง 108

ค.12 Data Specific Migration โดยใช้ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 240 ชั่วโมง 110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกแบบซอง 7
2.2 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก 8
2.3 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากโลหะ 9
2.4 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากแก้ว 9
2.5 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากกระดาษ 10
2.6 Passive layer ของสแตนเลส 13
2.7 พื้นผิวสแตนเลส 15
2.8 โครงสร้างระดับจุลภาคของสแตนเลสกลุ่มออกเทนนิติก 17
2.9 กลไกการกัดกร่อนของสแตนเลสเมื่อสัมผัสกับ Acetic acid 17
2.10 การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักหลัง Passive film ถูกทำลาย 18
2.11 การแพร่บริเวณส่วนต่อประสานระหว่างบรรจุภัณฑ์-สารละลายอาหาร 22
3.1 ตัวอย่างการวัดขนาดแก้วเก็บความเย็นทรงกรวยตัด 53
3.2 ตัวอย่างการวัดขนาดแก้วเก็บความเย็นทรงกระบอก 54
3.3 ขั้นตอนการวัดพื้นที่ผิวสัมผัสและการเตรียมตัวอย่าง 55
3.4 ขั้นตอนวิเคราะห์หาการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม 57
3.5 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง 58
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักโดยใช้เครื่อง AAS 60
4.1 แผนภูมิแสดงปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม 66
4.2 ภาพแผนภูมิแสดงปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็ก (Fe) 71
ก.1 แผนผังการทดลอง 84
ข.1 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 1 85
ข.2 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 2 85
ข.3 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 3 85
ข.4 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 4 84
ข.5 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 5 87
ข.6 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 6 87
ข.7 ภาพลักษณะภายในแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

แก้วเก็บความเย็น (Tumbler) เป็นภาชนะที่นิยมนำมาใช้ในการบรรจุเครื่องดื่ม เนื่องจากเป็นภาชนะที่สามารถรักษาอุณหภูมิให้เครื่องดื่มที่บรรจุอยู่ภายในนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้า ๆ จากข้อมูลทางการตลาดบริษัท Intelligent Glass จำกัด ได้ทำการวิจัยกลุ่มตัวอย่างในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าปัญหาของเจ้าของร้านค้าที่เป็นเจ้าของธุรกิจซึ่งใช้วัสดุทั้งแก้วกระดาษและแก้วพลาสติกในการบรรจุเครื่องดื่มเย็น ส่วนใหญ่จะพบปัญหามีน้ำเกาะบริเวณรอบแก้ว เมื่อทิ้งไว้นานๆจะมีน้ำซึมออกมาจากก้นแก้ว ซึ่งการแก้ปัญหาดังกล่าวได้นั้นคือการใช้แก้วเก็บความเย็น ซึ่งเมื่อสำรวจความต้องการซื้อแก้วเก็บความเย็น พบว่า ร้อยละ 90 ผู้ตอบแบบสอบถามสนใจซื้อแก้วเก็บความเย็น แก้วเก็บความเย็นที่มีจำหน่ายในท้องตลาดนั้นผลิตมาจากวัสดุหลายชนิดไม่ว่าจะเป็น พลาสติก แก้ว (Glass) และโลหะผสม ได้แก่ สแตนเลส ซึ่งรูปแบบที่ปัจจุบันนิยมใช้มากที่สุด คือ แก้วเก็บความเย็นที่ทำมาจากสแตนเลส โดยองค์ประกอบของสแตนเลสผลิตจากเหล็กกล้าที่มีการเติมส่วนผสมเช่น โครเมียม นิกเกิล และสารอื่น เพื่อเพิ่มความต้านการเกิดสนิมของเหล็ก องค์ประกอบของสารที่เติมเข้าไปมีความแตกต่างกันจึงทำให้สแตนเลสที่ได้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งการนำสแตนเลสมาใช้เป็นวัสดุในการทำแก้วเก็บความเย็น จึงมีโอกาสที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายของสารที่เป็นองค์ประกอบจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสไปปนเปื้อนกับเครื่องดื่ม เนื่องจากเครื่องดื่มที่บรรจุในแก้วเก็บความเย็นส่วนใหญ่มีค่า pH ≤ 7.0 หรือค่อนข้างเป็นกรด และระยะเวลาที่เครื่องดื่มสัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมีระยะเวลานานพอสมควร จากงานวิจัยของ Herting และคณะ(2008) พบว่าการปลดปล่อยโครเมียมและนิกเกิลแปรผันตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของสแตนเลสต่อปริมาตรสารละลายอาหารจำลอง อุณหภูมิและความหยาบของพื้นผิว

การเคลื่อนย้ายของสารจากภาชนะบรรจุไปสู่อาหาร กระบวนการนี้เรียกว่า ไมเกรชั่น (Migration) ซึ่งส่วนใหญ่เมื่อเกิดการเคลื่อนย้ายของสารจากภาชนะบรรจุไปสู่อาหารจะส่งผลกระทบทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเปลี่ยนแปลงไปในเชิงลบ ในสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปจัดทำข้อกฎหมายและข้อบังคับขึ้นหลายฉบับเพื่อการควบคุมและตรวจสอบทั้งชนิดและปริมาณของสารที่เกิดการเคลื่อนย้าย ซึ่งผลกระทบที่สำคัญของการเคลื่อนย้ายของสารนี้ส่งผลต่ออาหารในด้านความปลอดภัยของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจวัดการเคลื่อนย้ายของสารนั้นเป็นงานทดลองที่มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้ระยะเวลาทดลองนาน เนื่องจากเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีความละเอียดและแม่นยำสูง ซึ่งปัจจุบันมีการตรวจวัดการเคลื่อนย้ายของสารขั้นแรกเพื่อประเมินความปลอดภัยของภาชนะบรรจุอาหาร การตรวจวัดแบบนี้เรียกว่า Overall Migration (OM) ซึ่งหากปริมาณที่วัดได้น้อยกว่ากฎหมายกำหนดแสดงว่าภาชนะนั้นมีความปลอดภัยสำหรับการนำมาใช้บรรจุอาหาร แต่ในทางตรงกันข้าม หากค่า OM สูงกว่ากฎหมายกำหนดจะต้องมีการทดสอบเป็น Specific Migration (SM) ของสารแต่ละตัวที่เจาะจงต่อไป

ทางผู้จัดทำจึงทำการศึกษาเกี่ยวกับเคลื่อนย้ายของสาร ในภาชนะแก้วเก็บความเย็นแบบสแตนเลสในตัวแทนอาหารจำลองชนิดต่างๆ และสภาวะการใช้งานที่ต่างกัน เพื่อที่จะได้ทราบว่าการนำแก้วเก็บความเย็นแบบสแตนเลสมาใช้ในการเป็นภาชนะบรรจุอาหาร ก่อให้เกิดความเสี่ยงจากได้รับสัมผัสของสารจากแก้วเก็บความเย็นหรือไม่

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็นไปสู่อาหาร

1.2.2 เพื่อประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงการได้รับสารจากแก้วเก็บความเย็น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ขอบเขตพื้นที่: ตลาดสำเพ็ง เขตสัมพันธวงศ์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

1.3.2 ขอบเขตด้านตัวอย่างการทดลอง: จำนวน 30 ตัวอย่าง เลือกใช้แก้วเก็บความเย็น (Tumbler) ที่ทำจากวัสดุสแตนเลส ปริมาตรบรรจุของเหลวไม่น้อยกว่า 500 mL

1.3.3 ประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงที่เกิดอันตรายต่อสุขภาพโดยใช้ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทยปี พศ. 2559 ช่วงอายุ 18 – 34.9 ปี ตามสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

ตัวแปรต้น: แก้วเก็บความเย็น (Tumbler) ที่ทำจากวัสดุสแตนเลส

ตัวแปรตาม: ปริมาณของสารที่เคลื่อนย้ายจากแก้วเก็บความเย็นสู่ตัวแทนอาหาร

ตัวแปรควบคุม: อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการทดสอบการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็น

2. ได้ทราบข้อมูลในด้านความปลอดภัยจากการใช้แก้วเก็บความเย็นเป็นภาชนะบรรจุเครื่องดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

อาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ มนุษย์ต้องบริโภคอาหารเพื่อความอยู่รอดและเพื่อให้ร่างกายเจริญเติบโต แข็งแรง ปราศจากโรคภัยไข้เจ็บ มนุษย์รู้จักการป้องกัน การปนเปื้อนของอาหารโดยมีการนำวัสดุต่าง ๆ มาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร ในอดีตวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุ อาหารมักมาจากธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ เช่น ใบไม้ ไม้ หนังสัตว์ เป็นต้น (Wilde, 1971) ต่อมาได้มีการพัฒนาวัสดุที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันวัสดุที่นำมาใช้บรรจุอาหารมักเป็นวัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น พลาสติก แก้ว กระดาษ ซึ่งใช้กระบวนการที่ซับซ้อน และใช้สารเคมีในการผลิต หากกระบวนการผลิตไม่มีความปลอดภัย และไม่ได้มาตรฐานเพียงพอ เมื่อนำไปใช้สัมผัสอาหารหรือเป็นภาชนะบรรจุอาหาร ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารจากวัสดุไปยังอาหาร ก่อให้เกิดอันตรายกับผู้บริโภคได้ ถึงแม้เราจะมั่นใจว่า อาหารที่เราบริโภคเข้าไปจะมีความสะอาดและปลอดภัยแล้ว แต่หากวัสดุที่สัมผัสอาหาร หรือภาชนะบรรจุอาหารมีปริมาณของสารบางชนิดที่ใช้ในการผลิตมากเกินปริมาณที่กำหนดไว้ เมื่อผู้บริโภคได้รับสารพิษนั้นเข้าไปในร่างกายอย่างต่อเนื่อง ก็จะทำให้เกิดอันตรายกับสุขภาพและร่างกายของผู้บริโภคได้ สำหรับเรื่องความปลอดภัยของภาชนะบรรจุอาหารนั้น ผู้บริโภคไม่สามารถตรวจสอบได้ว่า ภาชนะใดจะมีความปลอดภัยหรือก่อให้เกิดอันตรายกับผู้บริโภค

จากงานแสดงนิทรรศการ World Expo 2015 ณ เมืองมิลาน ประเทศอิตาลีระหว่างวันที่ 1 พฤษภาคม ถึง 31 ตุลาคม ค.ศ. 2015 Feeding the planet, energy for life ซึ่งหนึ่งในประเด็นย่อย คือ วิทยาศาสตร์เพื่อความปลอดภัย ความมั่นคง และคุณภาพของอาหาร นโยบายความปลอดภัยของอาหาร โดยเฉพาะนโยบายวัสดุสัมผัสอาหารของสหภาพยุโรป จึงเป็นประเด็นสำคัญสำหรับทั้งประเทศไทยและสหภาพยุโรป ทั้งนี้ ความปลอดภัยของอาหารเป็นประเด็นข้ามพรมแดน เนื่องจากสามารถค้าขายอย่างเสรีภายใน EU วัสดุสัมผัสอาหารครอบคลุมถึงวัสดุและสิ่งของซึ่งสัมผัสอาหาร เช่น วัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร เครื่องใช้ในการประกอบอาหาร เครื่องครัว และจาน เป็นต้น วัสดุดังกล่าวรวมถึง พลาสติก ยาง โลหะ เซรามิค แก้วกระดาษ ไม้ ผ้า และหมึกพิมพ์ ซึ่งล้วนสัมผัสอาหารระหว่างขั้นตอนการผลิต การห่อบรรจุ การเตรียมอาหารและการรับประทาน บรรจุภัณฑ์อาหารที่เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย จะปกป้องการปนเปื้อนสารเคมีที่เป็นอันตรายจากบรรจุภัณฑ์สู่อาหารในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บรักษาและการขนย้าย หรือเปลี่ยนลักษณะและรสชาติของอาหารความปลอดภัยของอาหารสหภาพยุโรปให้ความสำคัญต่อความปลอดภัยด้านอาหารอย่างมาก ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหภาพยุโรปลงทุนด้านนโยบายความปลอดภัยของอาหารถึง 3,300 ล้านยูโร ทั้งนี้กฎระเบียบด้านอาหารของสหภาพยุโรปปกป้องมาตรฐานความเป็นอยู่ของสัตว์และพืชที่จะถูกนำมาประกอบอาหาร รวมถึงกฎหมายเฉพาะ เช่น กฎหมายเกี่ยวกับสารฆ่าแมลง สารเติมแต่งอาหาร และฉลาก เป็นต้น วัสดุสัมผัสอาหารต้องได้รับการรับรองจากสถาบันในสหภาพยุโรปที่เกี่ยวข้อง หากวัสดุไม่ได้มาตรฐานอาจมีสารอันตรายละลายออกจากวัสดุ ปนเปื้อนไปกับอาหารที่รับประทาน ซึ่งจะสะสมในร่างกายทีละน้อย และส่งผลกระทบในเชิงลบต่อผู้บริโภค เช่น อันตรายจากพลาสติก สามารถก่อความเสียหายต่อระบบประสาท อันตรายจากวัสดุสัมผัสอาหารสามารถเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น วัสดุไม่ได้คุณภาพ วัสดุไม่เหมาะสมกับการใช้งาน หรือการใช้งานไม่ถูกต้อง และผู้บริโภคไม่ได้ดูแลรักษาวัสดุตามคำแนะนำ เป็นต้น สหภาพยุโรปให้คำแนะนำเชิงวิทยาศาสตร์ และการประเมินผลวัสดุสัมผัสอาหารและสารต่าง ๆ เพื่อออกกฎระเบียบด้านความปลอดภัยอาหารอย่างเหมาะสม กฎระเบียบของสหภาพยุโรปกฎหมายด้านความปลอดภัยของอาหารของสหภาพยุโรป มีวัตถุประสงค์เพื่อปกป้องสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และพืชในทุกขั้นตอนการผลิตเพื่อป้องกันการเจือปน ส่งเสริมสุขภาพของประชาชน และเพื่อถ่ายทอดและเสริมความรู้เกี่ยวกับอาหารให้แก่ประชาชน อีกทั้งช่วยกำจัดอุปสรรคทางเทคนิคในการค้า มาตรา 152 ของสนธิสัญญาก่อตั้งประชาคมยุโรปเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคระบุว่าสหภาพยุโรปจำเป็นต้องปกป้องสุขภาพของผู้บริโภค วิเคราะห์ความปลอดภัยในเชิงวิทยาศาสตร์อย่างละเอียดและมีการควบคุมความปลอดภัยของอาหาร 3 กฎหมายสหภาพยุโรปมี 3 วัตถุประสงค์ได้แก่

- รับรองความปลอดภัยและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารและอาหารสัตว์
- รับรองสุขภาพสัตว์ และพืช
- รับรองความโปร่งใสของข้อมูลสารอาหารบนฉลาก

กฎหมายสหภาพยุโรปด้านความปลอดภัยของอาหารรวมถึง

1. กฎหมายวัตถุเจือปนอาหาร
2. กฎหมายเครื่องปรุงแต่งอาหาร
3. กฎหมายสารปนเปื้อน
4. กฎหมายสารตกค้างจากผลิตภัณฑ์เภสัชกรรม / ยาสัตว์และสารตกค้างจากผลิตภัณฑ์ปลูกพืช เช่น ยาฆ่าแมลง
5. กฎหมายวัสดุสัมผัสอาหารกรอบระเบียบวัสดุสัมผัสอาหาร Regulation Framework EC No. 1935/2004 เป็นกฎหมายหลักซึ่งกำกับดูแลด้านวัสดุสัมผัสอาหาร มีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 3 ธันวาคม ค.ศ. 2004 ระบุว่าวัสดุสัมผัสอาหารนั้นต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไม่สามารถถ่ายทอดสารประกอบสู่อาหารในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- ผลิตตามมาตรฐานการผลิต
- ต้องมีฉลากหรือสัญลักษณ์ที่แสดงให้เห็นว่าปลอดภัย
- ต้องสามารถติดตามโซ่การผลิตได้ ภายใต้กรอบระเบียบดังกล่าว วัสดุสัมผัสอาหารถูกแบ่งเป็น 17 หมวดย่อยซึ่งมีระเบียบแตกต่างกันไป ได้แก่
- วัสดุและสิ่งเพื่อยืดอายุการวางจำหน่าย ถนอมอาหาร หรือตรวจวัดสภาพอาหาร (active and intelligent)
- สารเหนี่ยวที่มีคุณสมบัติยึดติด เช่น กาว (adhesives)
- เซรามิค (ceramics)
- คอร์ก (cork)
- ยาง (rubbers)
- แก้ว (glass)
- Ion exchange resins
- โลหะและโลหะผสม (metals and alloys)
- กระดาษ (paper and board)
- พลาสติก (plastics)
- หมึกพิมพ์ (printing inks)
- แผ่นเซลลูโลสที่ทำขึ้นใหม่ (regenerated cellulose film)
- ซิลิโคน (silicones)
- สิ่งทอ (textiles)
- สารเคลือบ (vanishes and coatings)
- แวกซ์ (waxes)
- ไม้ (wood)

จากกฎหมาย No. 1935/2004 ดังกล่าวที่เกิดขึ้นจึงทำให้เกิดการก่อตั้งศูนย์ EURL-FCM เพื่ออ้างอิงวัสดุและกำหนดขีดจำกัดเคลื่อนย้ายสู่อาหาร (migration limit)

2.1 วัสดุสัมผัสอาหาร (Food Contact Materials: FCM)

วัสดุสัมผัสอาหาร คือ ส่วนประกอบที่เป็นวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตหรือสัมผัสกับอาหาร ตั้งแต่อุปกรณ์บนโต๊ะอาหาร จาน กระบวนการผลิตตลอดจนบรรจุภัณฑ์ โดยจะครอบคลุมวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ พลาสติก กระดาษ ยาง ซิลิโคน จุกคอร์ก หมึกพิมพ์ โลหะ โลหะผสม สารเคลือบเงา สารเคลือบผิว ฯลฯ เนื่องจากวัตถุดิบดังกล่าวจะต้องสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับอาหาร ซึ่งเป็นแหล่งที่อาจมีการเคลื่อนย้ายของสารเข้าไปในอาหารได้ วัสดุสัมผัสอาหารจึงกลายเป็นแหล่งปนเปื้อนที่สำคัญของอาหารทุกชนิด (Nordic, 2008) และเป็นสาเหตุให้เกิดความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอันตรายกับอาหารและสุขภาพของผู้บริโภคได้ (CIRS, 2011)

วัสดุสัมผัสอาหารครอบคลุมถึงวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่นำไปใช้ในการบรรจุอาหาร บางผลิตภัณฑ์อาจประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด เช่น กล่องบรรจุน้ำผลไม้หนึ่งกล่อง จะประกอบด้วยพลาสติก กระดาษ อลูมิเนียม กาว สารเคลือบและหมึกพิมพ์ นอกจากนี้ยังมีการนำสารหลายชนิดที่แตกต่างกันมาใช้ในวัสดุสัมผัสอาหาร ได้แก่ โมโนเมอร์ หรือสารเติมแต่ง เช่น พลาสติกไซเซอร์ สารทำให้เสถียร ตัวทำละลาย และสีย้อมในวัสดุสารต่าง ๆ ที่ ใช้ในวัสดุสัมผัสอาหารเหล่านี้อาจมีการเคลื่อนย้ายไปยังอาหารได้ ทำให้ผู้บริโภคสะสมสารพิษเข้าไปในร่างกาย และเมื่อได้รับสารพิษอย่างต่อเนื่องก็จะทำให้เกิดอันตรายกับผู้บริโภค ทำให้เกิดผลกระทบเกี่ยวกับความปลอดภัยของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้ทางประเทศในแถบสหภาพยุโรปและหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก จึงได้กำหนดข้อกำหนดและกฎระเบียบต่าง ๆ เกี่ยวกับวัสดุสัมผัสอาหารและอาหารขึ้นมาเพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้บริโภคให้มากที่สุดโดยสาระสำคัญของข้อกำหนดของกฎระเบียบ (EU) No. 10/2011 มีดังนี้ (สำนักมาตรการทางการค้า, 2554) และ (Bureau Veritas, 2011)

1. ขยายขอบเขตของพลาสติกที่เป็นวัสดุสัมผัสอาหาร (เปรียบเทียบกับ Directive 2002/72/EC) โดยรวมถึง plastic layers in multi material layer materials and articles

2. รวบรวมบัญชีรายชื่อสารที่อนุญาตให้ใช้เป็นวัสดุสัมผัสอาหารได้ ซึ่งมีทั้งสิ้น 885 รายการ รวมทั้งระบุค่า Specific Migration Limits (SML) ของสารบางรายการด้วย เนื่องจากมีการเคลื่อนย้ายไปสู่อาหาร (migration) สำหรับสารที่ไม่ได้ระบุค่า SML ให้กำหนดค่าการเคลื่อนย้ายได้ไม่เกิน 60 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทั้งนี้ องค์ประกอบในพลาสติกต้องไม่เคลื่อนย้ายไปสู่อาหารในปริมาณเกิน 60 มิลลิกรัมต่อพื้นที่สัมผัสอาหาร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3. จำกัดการใช้โลหะ และวัสดุบางชนิด เช่น แบเรียม เหล็ก สังกะสี รวมทั้งระบุปริมาณขั้นต่ำที่ อนุญาตให้เคลื่อนย้ายไปสู่อาหาร

4. มีการนำ food simulants ชนิดใหม่ เช่น เอทานอล (10%, 20% และ 50%) น้ำมันพืช และ poly (2, 6-diphenyl-p-phenylene oxide) มาเป็นตัวเลือกในการทดสอบการเคลื่อนย้ายของสารจากวัสดุไปยังอาหาร (migration test)

5. เก็บรักษาเอกสารข้อมูลในแต่ละขั้นตอนการผลิต เพื่อพิสูจน์ว่าได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดต่าง ๆ ของ กฎระเบียบดังกล่าวและสามารถแสดงต่อเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเมื่อได้รับการร้องขอ

ข้อกำหนดของกฎระเบียบ (EU) No. 10/2011 บังคับใช้อย่างเต็มรูปแบบตั้งแต่เดือนมกราคม 2559 เป็นต้นไป ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องจะต้องตรวจสอบและปรับเปลี่ยนการผลิตวัสดุและภาชนะบรรจุอาหารให้มีการเคลื่อนย้ายของสารไปยังอาหารให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎระเบียบต่างๆ ที่ EU ได้ระบุไว้

2.1.1 ชนิดของวัสดุสัมผัสอาหาร (Driscoll, and Rahman, 2008)

ตามข้อกำหนดของกฎระเบียบ (EC) No. 1935/2004 ที่มีการควบคุมปริมาณของสารให้มีความปลอดภัยกับผู้บริโภคนั้น เกี่ยวกับการครอบคลุมวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่

1. ภาชนะบรรจุอาหาร
2. เครื่องใช้ในครัวเรือน
3. เครื่องจักรและวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร

ภาชนะบรรจุอาหารตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 หมายถึง วัตถุที่ใช้บรรจุอาหารไม่ว่าด้วย การใส่หรือห่อ หรือด้วยวิธีใด ๆ และให้หมายความรวมถึงฝาและจุกด้วย (กระทรวงสาธารณสุข, 2554)

ตัวอย่างภาชนะบรรจุอาหารที่นิยมนำมาใช้ในการบรรจุหรือเป็นส่วนประกอบในการทำภาชนะบรรจุอาหาร มีดังต่อไปนี้

พลาสติก (Plastics)

พลาสติกเป็นกลุ่มของวัสดุบรรจุอาหารที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วที่สุด ได้รับการพัฒนาอย่างจริงจัง ขึ้นในกลางปี 1950

ข้อดีของพลาสติกคือ เป็นวัสดุที่มีราคาไม่แพง ทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย น้ำหนักเบา ไม่สามารถกัดกร่อนได้ สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน โปร่งแสง บางชนิดสามารถทนต่อความร้อน หรือนำไปรีไซเคิลได้ ทนต่อความชื้น และสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้ดี (สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2554)

ข้อจำกัดคือ ดูดซึมก๊าซ ไอน้ำและกลิ่นได้ สามารถเคลื่อนย้ายสารเคมีไปยังอาหารได้ องค์ประกอบของพลาสติกสามารถดูดซึมเข้าไปในอาหารได้ ทนต่อแรงบีบอัดต่ำ บางชนิดทนต่อความร้อนได้น้อย และบางชนิดไม่สามารถรีไซเคิลได้ สำหรับความหนาแน่นของพลาสติก จะมีความหนาแน่นน้อยกว่าแก้ว และอลูมิเนียม ไม่สามารถแตกเป็นชิ้นได้เหมือนกับแก้ว และทำให้โค้งงอได้เช่นเดียวกับโลหะ ตัวอย่างวัสดุทำจากพลาสติกแสดงดังภาพที่ 2.1 และ 2.2

ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกแบบซอง

ที่มา: http://www.lp-packaging.com/ourproducts.php

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก

ที่มา:https://www.facebook.com/1072786706097672/photos

โลหะ (เหล็ก ดีบุกและอลูมิเนียม)

เหล็กแผ่นเคลือบดีบุก (Tin-plated iron) มีการนำมาใช้ตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 18 ในการนำมาบรรจุอาหารที่ผ่านกระบวนการความร้อน เหล็ก ดีบุกและอลูมิเนียม นิยมนำมาใช้สำหรับบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม ที่อยู่ในรูปของกระป๋อง โดยทั่วไปนิยมนำโลหะมาเคลือบดีบุกและอลูมิเนียม

ข้อดีของวัสดุโลหะ คือ จะไม่ดูดซึมก๊าซ ไอน้ำและกลิ่น สามารถทนต่อความร้อนและสภาวะที่กดดันทางภายภาพและความร้อนสูงได้ เนื่องจากโลหะมีความแข็งแรง จึงถูกนำมาใช้ในกระบวนการที่ใช้ความร้อนกับอาหารโดยจะไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารที่บรรจุ นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันแสงไม่ให้กระทบกับอาหารได้

ข้อจำกัด คือ มีการใช้พลังงานสูงในระหว่างการผลิต มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน มีน้ำหนักมาก (โดยเฉพาะเหล็ก) นอกจากนี้กระป๋องที่ทำจากเหล็กคือ มีความหนาแน่นมาก ราคาสูง มีแนวโน้มในการทำปฏิกิริยาต่อกันระหว่างสารและสภาพแวดล้อม (การกัดกร่อนทั้งภายในและภายนอก) การเคลือบดีบุกหรือเคลือบเงามีความสำคัญในส่วนของอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง สารเคลือบเงาที่ใช้คือ เรซิน เช่น acrylic (ต่อต้านที่อุณหภูมิสูง), oleoresinous, alkyd resin, epoxy (เรซินสังเคราะห์และมีความเหนียวมาก จะแข็งตัวหลังผ่านความร้อน ใช้เคลือบผิวหรือเป็นตัวเชื่อมวัตถุ) polybutadiene หรือ uinylresin ตัวอย่างวัสดุที่ทำจากโลหะแสดงดังภาพที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากโลหะ

ที่มา: http://www.packingsiam.com/

แก้ว (Glass)

แก้วเป็นวัสดุที่ทำมาจากการผสมกันของสารประกอบอนินทรีย์ ที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกา (SiO_2), ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O), แคลเซียมออกไซด์(CaO), อลูมินา (Al_2O_3) โดยมีซิลิกาเป็นส่วนผสมหลัก ผลิตภัณฑ์จากแก้วยังคงนิยมใช้เป็นวัสดุบรรจุอาหาร เช่น ใช้ในการบรรจุไวน์ บรรจุเหล้า น้ำหอมและเครื่องสำอาง

ข้อดีของแก้ว คือ มีความเฉื่อยสูง ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำและ กลิ่นต่าง ๆ ทนต่อแรงบีบอัดและความร้อนได้ดี โปร่งแสง นำกลับมารีไซเคิลได้

ข้อจำกัด คือ มีน้ำหนักมาก เสี่ยงต่อการแตกหักจากสภาวะที่มีความร้อนสูง ไม่ป้องกันแสง (เนื่องจากไม่มีสี)

เนื่องจากแก้วเป็นวัสดุที่ไม่มีสี จึงมีการเติมธาตุบางชนิด เพื่อเพิ่มสีสันให้กับแก้ว เช่น เติม Chromium oxide สำหรับสีเขียว, cobalt oxide สำหรับสีน้ำเงิน, nickel oxide สำหรับสีม่วง, selenium oxide สำหรับสีแดง และ iron plus sulfur และ carbon สำหรับสีเหลืองอำพัน สีเหลืองอำพันเป็นสีที่ป้องกันแสงในอาหารและเครื่องดื่มได้ดีที่สุดตัวอย่างวัสดุที่ทำจากแก้วแสดงดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากแก้ว

ที่มา: https://www.peerasuk.com/category/399

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดาษ

กระดาษเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ค่อนข้างมากในการบรรจุอาหาร ในรูปแบบของกระดาษชนิดต่าง ๆ เช่น กระดาษแข็ง กระดาษธรรมดา และกระดาษลูกฟูก ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน องค์ประกอบพื้นฐานของกระดาษคือ เซลลูโลส

ข้อดีของกระดาษคือ มีราคาถูก มีความหนาแน่นต่ำ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่และนำมารีไซเคิลได้

ข้อจำกัดคือ ตอบสนองได้ดีกับความชื้น ทำให้เสียหายได้ง่าย ปิดผนึกด้วยความร้อนไม่ได้ ไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้เมื่อผ่านการเคลือบสารอื่น ๆ

ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากกระดาษ

ที่มา: https://www.peerasuk.com/category/399

2.2 สแตนเลสหรือเหล็กกล้า (Devid, 1994)

สแตนเลส หรือชื่ออย่างเป็นทางการ คือ เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นศัพท์ทั่วไปที่ใช้เรียกเหล็กในกลุ่มที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง สแตนเลสเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน ซึ่งส่วนประกอบจะมีปริมาณคาร์บอนต่ำ มีโครเมียมเป็นส่วนผสมหลัก ประมาณ 10.5% หรือมากกว่าทำให้เกิดการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ (chromium oxide film : CrO_2 หรือเรียกว่า passive film) ที่มองไม่เห็น เกาะติดแน่นอยู่ที่ผิวหน้า ทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการกัดกร่อน ถ้าฟิล์มที่ผิวหน้านั้น ถูกทำลายไม่ว่าจากแรงกล สารเคมี ออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศจะเข้าทำปฏิกิริยากับโครเมียม สร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ทดแทนขึ้นใหม่ การเลือกใช้ต้องพิจารณาจากคุณสมบัติ และความเหมาะสมของงานด้วย ส่วนผสมที่ทำให้งานมีคุณสมบัติแตกต่างกันหลัก ๆ มีดังนี้

สารโครเมี่ยม เป็นสารผสมหลักที่จะทำให้เหล็กมีคุณสมบัติในการทนทานต่อการเกิดสนิมและการกัดกร่อน

สารนิกเกิล ช่วยเสริมความต้านทานในการเกิดสนิม และทำให้สแตนเลสไม่ดูดแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารโมลิดินั่ม ทำให้สแตนเลส มีความต้านทานในการเกิดสนิมสูงขึ้น และความคงทนต่อสารเคมี เช่น คลอรีน

สารคาร์บอน เป็นตัวเพิ่มความแข็งให้กับสแตนเลส ถ้ามีคาร์บอนน้อย สแตนเลสก็จะมีความเหนียวเพิ่มขึ้นแทน

2.2.1 ประเภทของสแตนเลส (กนก, 2562)

สแตนเลสแบ่งออกเป็นกลุ่มพื้นฐานได้ 5 กลุ่มได้แก่

- กลุ่มออสเทนิติค
- กลุ่มเฟอริติค
- กลุ่มดูเพล็กซ์
- กลุ่มมาร์เทนซิติค
- กลุ่มเพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก

2.2.1.1 กลุ่มออสเทนนิติค (Austenitic)

มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด มีส่วนผสมของโครเมียม 16 % และมีคาร์บอนเป็นส่วนผสมประมาณ 0.15 % และมีนิกเกิล 8 % ทำให้มีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนได้ดี เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมเรียก 18/10 คือการที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18 % และนิกเกิล 10 %

สแตนเลสสตีล ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในท้องตลาด คือสแตนเลสเกรด 304 (SUS 304) เป็นสแตนเลสที่มีสารโครเมียมอยู่ 18 % และนิเกิล 8 % บางที่เรียกว่า สแตนเลส 18/8 ซึ่งจะไม่มีสารโมลิดินั่ม มีคาร์บอนต่ำ และเป็นสแตนเลสที่ทนต่อการเกิดสนิม (Oxidation) และทนการกัดกร่อน (Corrosion) ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีสารนิกเกิลจึงทำให้แม่เหล็กดูดไม่ติด มีคาร์บอนต่ำจึงมีความเหนียวสูง

สแตนเลสเกรด 316 (SUS 316) เป็นสแตนเลส ที่นิยมใช้รองลงมาจากเกรด 304 เป็นสแตนเลสสตีล ที่มีส่วนผสมคล้ายกับเกรด 304 แต่เกรด 316 จะมีส่วนผสมของโมลิดินั่ม มากกว่าจึงทำให้สแตนเลสเกรดนี้ การเกิดสนิม และการกัดกร่อนได้สูงกว่าเกรด 304 โดยเฉพาะการทนต่อสารคลอรีน (Warm Chlorine Enviromentle) จึงนิยมใช้ในการทำอุปกรณ์ต่าง ๆ ในห้องแลป ส่วนงานอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสารเคมีต่าง ๆ อุปกรณ์เรือ จนถึงประเภทงานสปริงที่ต้องการให้ทนสนิม โดยการลดคาร์บอนลงจาก 0.08 % ลงมาเหลือ 0.03 % ทำให้สแตนเลสชนิดนี้เหนียวขึ้นจนสามารถทำเป็นสปริงได้ สำหรับสแตนเลสชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า 316 L (Low Carbon)

สแตนเลสเกรด 430 (SUS 430) เป็นสแตนเลสที่คล้ายเกรด 304 แต่จะไม่มีส่วนผสมนิกเกิล จึงทำให้แม่เหล็กดูดติด คงคุณสมบัติในการป้องกันสนิมได้ดี แม้จะไม่เท่าเกรด 304 แต่สแตนเลสเกรดนี้จะมีคาร์บอนด์สูงถึง 0.12 % จึงมีความแข็งแกร่งสูงกว่าสแตนเลสเกรด 304 และ 316 เหมาะสำหรับงานที่รับแรงสูงกว่า เพราะปกติสแตนเลสมักจะมีความเหนียวมากกว่าความแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่สารคาร์บอนสูงกว่า 0.15 % จะกลายเป็นเกรด 420 ซึ่งมีความแข็งที่เหมาะสำหรับทำอุปกรณ์ชุดครัวในเรื่องการตัดหั่นต่าง ๆ เช่น ทำมีดต่าง ๆ เป็นต้น

สกรูน๊อตสแตนเลสนิยมใช้สแตนเลสเกรด 304 เพื่อความคงทนต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีพอสมควร ส่วนเกรด 316 จะนิยมใช้กับงานในอุตสาหกรรมเคมี ในห้องแลป หรือในท้องทะเล ส่วนสกรูปลายสว่านที่ใช้สแตนเลสจะเป็น 410 เนื่องจากมีความแข็ง และเกรด 304 หรือเกรด 316 ใช้ไม่ได้ เพราะมีความแข็งไม่เพียงพอ แต่เกรด 410 มีความสามารถในการทนสนิมน้อยกว่า

สแตนเลสเกรด 202 (SUS202) เป็นสแตนเลสอีกเกรดที่น่าสนใจ ซึ่งจะประกอบด้วยโครเมี่ยม นิกเกิล และแมงกานีส ซึ่งแม่เหล็กดูดไม่ติด แต่ความทนทานต่อสนิมจะต่ำกว่าเกรด 304 มักนิยมใช้ในงานผลิตสินค้าฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ เช่น บานพับ และกลอนประตู

2.2.1.2 กลุ่มเฟอริติค (Ferritic)

เป็นกลุ่มที่แม่เหล็กดูดติดมีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำและมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญอาจอยู่ระหว่าง 10.5 % - 27 % และมีนิกเกิลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย

2.2.1.3 กลุ่มมาร์เทนซิติค (Martensitic)

เป็นกลุ่มที่แม่เหล็กดูดติดมีส่วนผสมของโครเมียม 12 – 14 % และมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ปานกลางมีโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0.2 – 1 % ไม่มีนิกเกิลสแตนเลสตระกูลนี้สามารถปรับความแข็งได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว และอบคืนตัวสามารถลดความแข็งได้คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน

2.2.1.4 กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex)

มีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างเฟอริติคและออสเทนิติคซึ่งนำข้อดีของทั้งสองกลุ่มมารวมกันมีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19 – 28 % และโมลิบดินัมสูงกว่า 5 % และมีนิกเกิลผสมอยู่ 4.5 – 8 % น้อยกว่าตระกูลออสเทนิติคเพื่อวัตถุประสงค์ของการใช้งานเฉพาะเจาะจงบางประเภทซึ่งไม่ค่อยมีการผลิตมากนัก

2.2.1.5 กลุ่มเพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก

เกรดที่เป็นที่รู้จักในตระกูลนี้คือ 17 - 4H ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 17 % และนิกเกิล 4 % สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยกลไกเพิ่มความแข็งจากการตกผลึกโดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงได้สูงมาก เช่น ยานอวกาศ

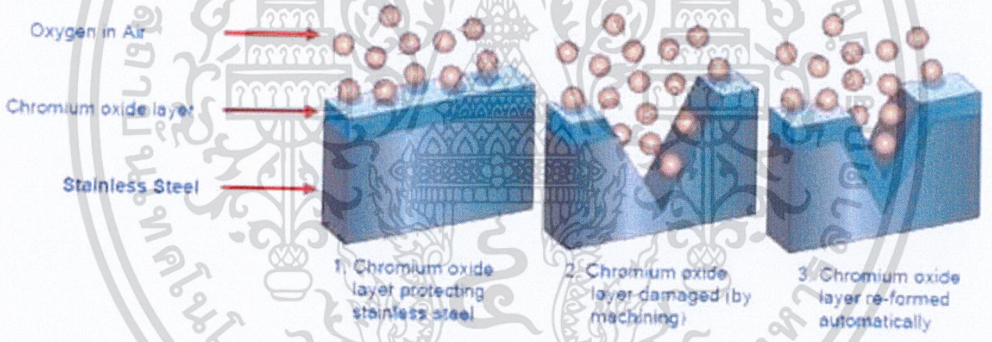
2.2.2 Passive layer ของสแตนเลส

การมี chromium ในปริมาณสูงเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้สแตนเลสมีความต้านทานการกัดกร่อนได้ chromium เกิด oxide ได้เช่นกัน แต่ไม่เหมือน iron oxide โดย chromium oxide ไม่ปนเปื้อนในกระบวนการและง่ายในการทำความสะอาด พื้นผิวของสแตนเลสกลุ่ม300 ส่วนใหญ่เป็น chromium oxide เมื่อผิวนี้ถูกขูด chromium ในโลหะซึ่งมีเพียงพอที่จะเกิด chromium oxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างรวดเร็วให้เป็น skin และซ่อมบำรุงตัวเอง chromium oxide skin นี้คือกลไกหลักของความต้านทานการกัดกร่อน chromium oxide เกิดปฏิกิริยาได้น้อยกว่าส่วนประกอบอื่นของสแตนเลส ซึ่งนั่นคือ “passive layer” ด้วยขนาดของอะตอม ของ chromium และ oxide มีขนาดที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้เกาะกันได้ อย่างแน่นบนผิวของโลหะ เกิดเป็นชั้นที่เสถียรด้วยความหนาเพียงไม่กี่อะตอม ซึ่งสแตนเลสที่ไม่มีชั้น chromium oxide ที่เพียงพอบางครั้งจะหมายถึง “active” steel และมีโอกาสที่จะเกิด ferrous oxidation เช่น สนิม (rust) หรือเกิดการกัดกร่อนอื่น ๆ ได้มากขึ้น การสร้างและการซ่อมบำรุงของ chromium oxide คือจุดสำคัญของสแตนเลส

พื้นผิว chromium oxide ของสแตนเลสเกรด 300 เป็นไปตามข้อกำหนดด้วยคุณสมบัติ cleanability, non-absorption และ non-additive ของ wetted component การให้พื้นผิว chromium oxide ได้รับเกลือ halogen เช่น chlorine, fluorine และ bromine นั้นเป็นอันตรายต่อพื้นผิวเกลือ halogen ที่พบมากที่สุด คือ chlorine ถูกพบในสารละลายเกลือ hydrochloric acid และ sodium hypochlorite เช่น สารฟอกขาว halogen แทรกซึมเข้าพื้นผิว chromium oxide ได้ง่าย และกัดกร่อนโลหะอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุผลนี้พื้นผิวสแตนเลสที่ได้รับ halogen ควรล้างออกให้หมดโดยทันที



ภาพที่ 2.6 Passive layer ของสแตนเลส

ที่มา: https://www.mtec.or.th/post-knowledges/2784

ในกระบวนการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม ผู้ผลิตจะเติมโครเมียมลงในน้ำเหล็กแล้วรอให้น้ำเหล็กเย็นจนเหล็กแข็งตัว จากนั้นจะนำเหล็กที่แข็งตัวแล้วไปแช่ในกรด (Pickling) เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ (Impurity) ให้ออกจากผิวโลหะซึ่งเป็นการเตรียมพื้นผิวให้เหมาะสมต่อกระบวนการสร้างฟิล์มบาง (Passivation) ที่จะเกิดขึ้น (มาริสา, 2562)

2.2.3 ลักษณะผิวของสแตนเลส (อภิชาติ, 2533)

ลักษณะผิวของสแตนเลสสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างได้ดังนี้

No.1 - รีดร้อนหรือรีดเย็น อบอ่อน หรือปรับปรุงด้วยความร้อน คราบออกไซด์ไม่ได้ขจัดออก ใช้งานในสภาพที่รีดออกมาโดยทั่วไปจะใช้งานที่ทนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2D - สภาพผิว 2D หลังจากการรีดเย็นโดยลดความหนาลง ผ่านการอบอ่อนและการกัดผิวโดยกรดลักษณะผิวสีเทาเงินเรียบ

2B - ผิว 2D ที่ผ่านลูกรีดขนาดใหญ่กดทับปรับความเรียบ เพิ่มความเงาผิวเงาสะท้อนปานกลาง ผลิตโดยวิธีการรีดเย็น ตามด้วยการอบนำอ่อนขจัดคราบออกไซด์ และนำไปรีดเบาๆ ผ่านไปยังลูกกลิ้งขัด ซึ่งเป็นวิธีการทั่วไปของการรีดเย็น ผิวที่ได้ส่วนมากจะอยู่ในระดับ 2B

BA - ผ่านกระบวนการรีดเย็นโดยความหนาลดลงทีละน้อยๆ ผ่านการอบอ่อนด้วยก๊าซไฮโดรเจน เพื่อป้องกันการออกซิเดชั่นกับออกซิเจนในอากาศ ผิวมันเงา สะท้อนความเงาได้ดี

No.2BA, A ซึ่งผิวอบอ่อนเงา จะมีลักษณะเงากระจก ซึ่งเริ่มต้นจากการรีดเย็น อบอ่อนในเตาควบคุมบรรยากาศ ผิวเงาที่เห็นจะเป็นการขัดผิวด้วยลูกกลิ้งขัดผิว หรือเจียรนัยผิวตามเกรดที่ต้องการ ผิวอบอ่อนเงาส่วนมากจะใช้กับงานสถาปัตยกรรม ที่ต้องการผิวสะท้อน ผิวอบอ่อนสีน้ำนมจะไม่สะท้อนแสงเหมือนกับ No.8 จะใช้กับงานที่เป็นขอบ ชิ้นส่วนทางสถาปัตยกรรม ภาชนะในครัว อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตอาหาร

No.4, Hair Line - สภาพผิว 2B ที่ผ่านการจัดถูด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120 - 220 โดยค่าความหยาบขึ้นอยู่กับแรงกด ขนาดของอนุภาคเม็ดทราย และระยะเวลาการใช้งานของกระดาษทราย ผิว No.4 เป็นสภาพผิวที่สนองต่อการนำไปใช้งาน ทั่วไป เช่น ร้านอาหาร อุปกรณ์เครื่องใช้ในครัว อุปกรณ์รีดนม

No.8 - สภาพผิว 2B, BA ขัดด้วยผ้าขัดอย่างละเอียดมากขึ้นตามลำดับ เช่น เบอร์ 1000, ผ้าขนสัตว์ โดยมีผงขัดอะลูมิเนียมและโครเมียมออกไซด์ ผิว No.8 ส่วนมากจะเป็นผิวเงาสะท้อนคล้ายกระจกเงา ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นสแตนเลสชนิดแผ่น โดยผิวจะถูกขัดด้วยเครื่องขัดละเอียด นำไปใช้กับงานตกแต่งทางด้านสถาปัตยกรรม และงานที่เน้นความสวยงาม

การขัดผิวสแตนเลสให้ได้ผิวที่เหมาะแก่การใช้งานนั้นเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาวิธีการขัดที่นิยมใช้ ได้แก่

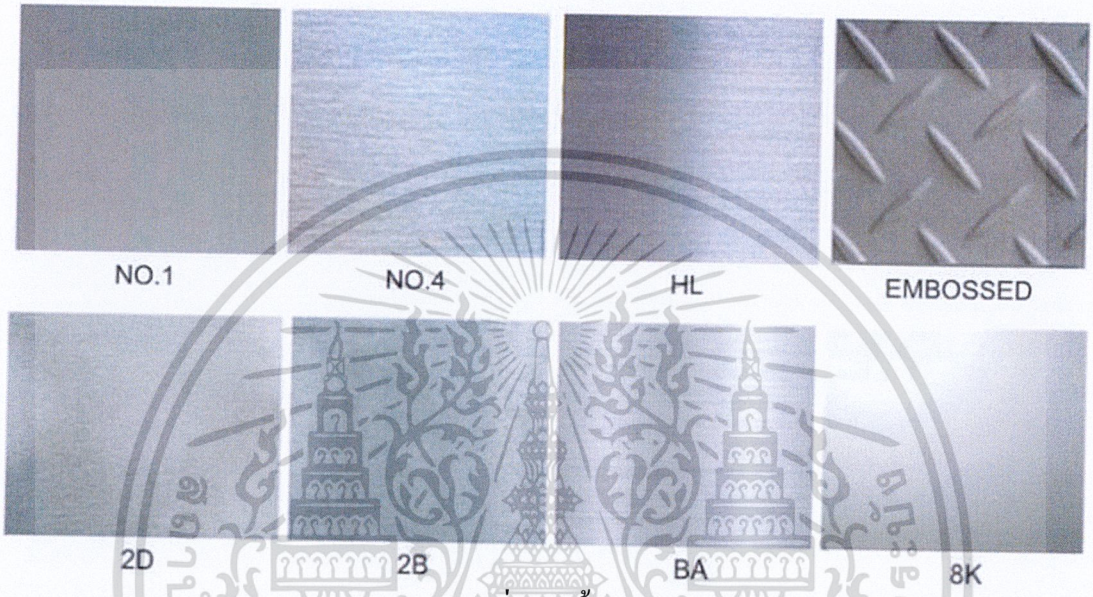
การขัดผิวด้วยกระบวนการเชิงกล (Mechanical Polishing) นิยมใช้กับสแตนเลสที่เป็นแผ่นหนา หรือสแตนเลสในลักษณะเป็นม้วน (coil)

การขัดผิวด้วยกระบวนการทางเคมี (Chemical Polishing) นิยมใช้กับชิ้นงานสแตนเลสขนาดเล็ก และบาง เช่น สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ซึ่งไม่เหมาะที่จะขัดด้วยกระบวนการขัดเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขัดผิวด้วยกระบวนการทางไฟฟ้า (Electro Polishing) นิยมใช้กับชิ้นงานสแตนเลสที่ต้องการความละเอียด และความสะอาดของผิวสูง เช่น อุปกรณ์ สำหรับผลิตยาหรือเครื่องสำอาง

หมายเหตุ **"L" Grades** แสดง ถึงสแตนเลสนั้นมีคาร์บอนผสมอยู่น้อย (Low Carbon) ซึ่ง L เกรด จะเพิ่มความต้านทานพิเศษของการกัดกร่อนตามขอบเกรน แม้ผ่านการเชื่อมมาแล้ว แต่สแตนเลสชนิด L เกรด ราคาจะสูงกว่าชนิดธรรมดา เช่น 304L, 316L เป็นต้น



ภาพที่ 2.7 พื้นผิวสแตนเลส

ที่มา: https://www.asiaintermetal.com

2.2.4 การเกิดสนิมในสแตนเลส (H S Khatak, B Raj, 2002)

โดยทั่วไปแล้ว Passive film ในสแตนเลสจะทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันการกัดกร่อนโดยการป้องกันไม่ให้ออกซิเจนที่ถูกผสมกับน้ำหรืออากาศได้สัมผัสพื้นผิวโลหะที่อยู่ภายใน ดังนั้นสแตนเลสจึงถูกป้องกันไม่ให้เกิดสนิม ชั้นป้องกันนี้สามารถก่อตัวได้ง่ายและมีความหนาแน่นสูง เพราะไม่เพียงกี่ชั้นของอะตอมก็สามารถลดอัตราการกัดกร่อนให้อยู่ในระดับที่ต่ำมาก แต่เนื่องจากชั้นป้องกันมีความบางมาก จึงไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ต้องใช้เครื่องมือโดยเฉพาะในการตรวจสอบ สแตนเลสสามารถขึ้นสนิมในบางสภาวะ เช่น สัมผัสกับสารเคมีที่เป็นอันตราย จาระบี น้ำเกลือ ความชื้นหรือความร้อนเป็นเวลานาน แต่จะไม่เร็วหรือรุนแรงเหมือนเหล็กธรรมดา การกัดกร่อนของแสตนเลสนั้นส่วนใหญ่มีสาเหตุดังนี้

การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอทั่วพื้นผิว: มักเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสแตนเลสสัมผัสกับวัสดุที่เป็นกรด เช่น ส่วนผสมบางอย่างในน้ำยาทำความสะอาดในครัวเรือน จากนั้นพื้นผิวทั้งหมดถูกทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกัดกร่อนเนื่องจากความต่างศักย์: (Galvanic Corrosion) หรือการกัดกร่อนแกลแวนิก (Bimetallic Corrosion) : มันเกิดขึ้นเมื่อโลหะสองชนิดสัมผัสกันและบวกกับมีปริมาณความชื้นเพียงพอ ตัวอย่างเช่น สลักเกลียวที่มีส่วนยึดติดกับแตนเลส เป็นต้น

การกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน: เมื่อขอบเขตของผลึกมีแนวโน้มที่จะเป็นสนิมมากกว่าพื้นผิวด้านใน การกัดกร่อนสามารถเกิดขึ้นได้หลังจากทำความร้อนสแตนเลสออสเทนนิติกที่อุณหภูมิประมาณ 842–1562 ° F

การกัดกร่อนแบบรูเข็ม: เมื่อสแตนเลสสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์ การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นตามพื้นผิวและส่งผลให้เกิดโพรงหรือรู

การกัดกร่อนในที่อับ: อาจเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวสองอันที่รวมกันของโลหะสองชนิด หรือการรวมกันของโลหะกับพื้นผิวที่ไม่ใช่โลหะ จากนั้นจะเกิดรูขนาดเล็กหลังจากสัมผัสกับน้ำเกลืออาหาร หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีคลอไรด์สูง

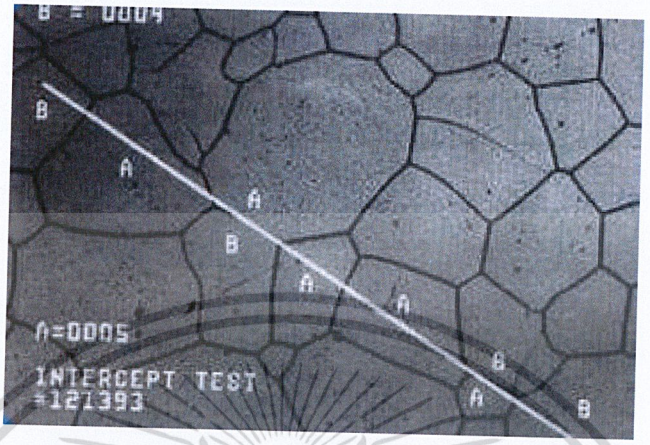
การกัดกร่อนร่วมกับความเค้น: ความเค้นแรงตึงที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมที่กัดกร่อนสามารถนำไปสู่การแตกร้าวได้

2.2.5 กลไกการกัดกร่อนของสแตนเลสเมื่อสัมผัสกับ Acetic acid (Himanshu, 2017)

สแตนเลสกลุ่มออกเทนนิติก หรือสแตนเลสเกรด 304, 316 นั้นเป็นสแตนเลสกลุ่มที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงมาก สแตนเลสกลุ่มนี้มีข้อดีคือมีความสามารถโดดเด่นในการยืดตัวได้มาก จึงเหมาะแก่การนำมาทำเป็นภาชนะขึ้นรูปลึก เช่น การนำมาทำเป็นแก้วน้ำ ปิ่นโต จาน ชาม ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาถึงโครงสร้างระดับจุลภาค (Microstucture) โดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) จะพบว่าพื้นผิวของสแตนเลสกลุ่มออกเทนนิติกนั้นมีรอยต่อของวัสดุดังภาพที่ 2.8 เมื่อสแตนเลสกลุ่มนี้สัมผัสกับ Acetic Acid เนื่องจากผิวสัมผัสที่มีรอยต่อและ Acetic acid นั้นมีความเป็นกรด จะเกิดการแตกตัวของประจุจาก Acetic Acid เป็นประจุ H^+เมื่อผิวสัมผัสของสแตนเลสชั้นที่เป็น Passive Flim ถูกประจุ H^+ ที่แตกตัวจาก Acetic Acid กัดกร่อน ชั้นของโครเมียมออกไซด์ที่เป็นชั้น Passive Film นั้นจะถูกทำลาย โดยประจุ H^+ ที่แตกตัวจาก Acetic Acid จะเกิดการแตกตัวเพิ่มมากขึ้นหากอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนที่เพิ่มมากขึ้น พื้นผิวของสแตนเลสเป็นจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อน โดยพื้นผิวที่มีการขัดมันจะเกิดการกัดกร่อนที่น้อยกว่าที่มีพื้นผิวเป็นร่องหรือขรุขระ ชั้น Passive Film ที่ถูกทำลายไปนั้นเป็นชั้นที่ปกป้องไม่ให้โลหะนั้นสัมผัสกับอากาศหรือสารอื่นโดยตรง บริเวณที่ Passive Film ถูกทำลาย บริเวณรอยต่อของวัสดุจะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดความต่างศักย์ที่พื้นผิว ทำให้เกิดการ oxidation ขึ้นและทำให้ผิวกลายเป็นรูลึกลงไปในเนื้อสแตนเลส ดังภาพที่ 2.9 เมื่อ electrolyte ที่ล้อมรอบอยู่แพร่เข้าไปในรู จะเกิดการ oxidation มากขึ้น ทำให้ electrolyte ที่อยู่ในรูมีความเข้มข้นของประจุบวกมาก เหนี่ยวนำให้เกิดการละลายของผิวโลหะภายในรู จึงมีประจุบวกเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของประจุบวกภายในรู

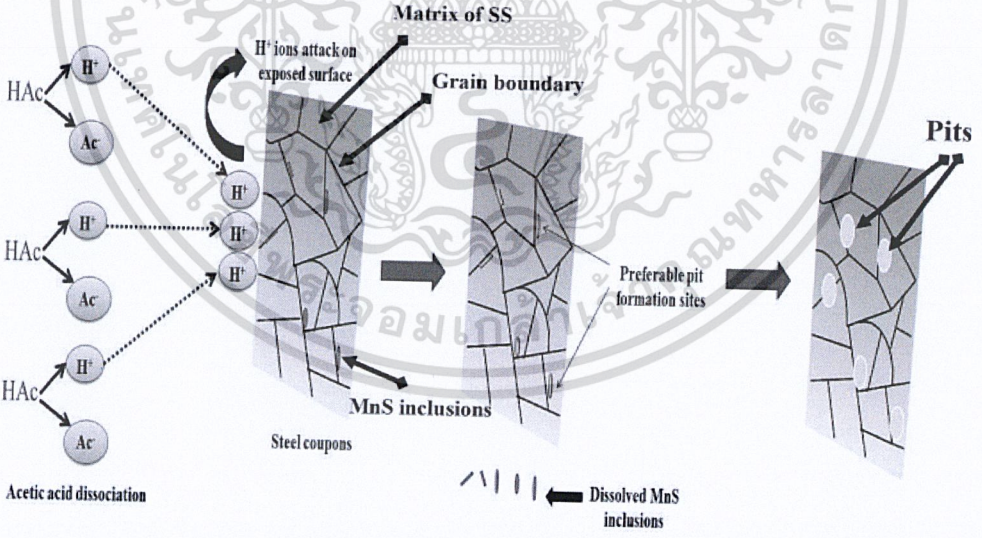
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนสูงขึ้น ทำให้เกิดกัดกร่อนมากขึ้นในแนวดิ่ง ชั้นของเหล็กที่อยู่ภายใต้ชั้น Passive Film จะถูกกัดกร่อนออกมาสู่ภายนอกและแพร่สู่ Acetic acid ที่สัมผัสกับสแตนเลสดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างระดับจุลภาคของสแตนเลสกลุ่มออกเทนนิติก

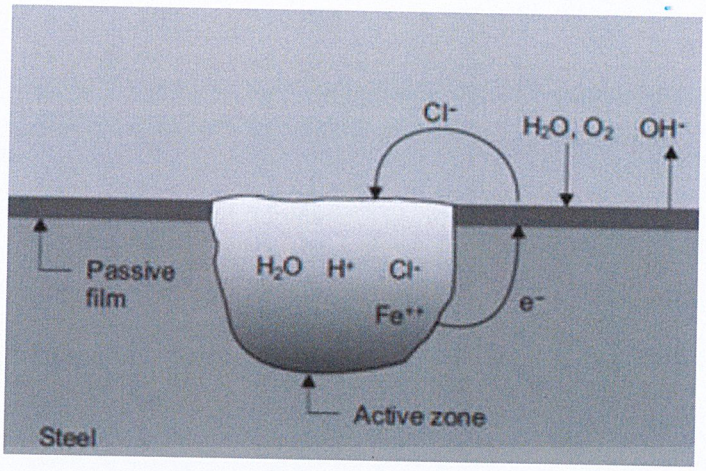
ที่มา: ธีรพงษ์ (2548)



ภาพที่ 2.9 กลไกการกัดกร่อนของสแตนเลสเมื่อสัมผัสกับ Acetic acid

ที่มา: Himanshu (2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักหลัง Passive film ถูกทำลาย

ที่มา: Roland (2017)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนเพิ่มมากขึ้นคือ ภายในรูที่ผิวของสแตนเลสมีน้ำขังอยู่ (เปียก) ทำให้ออกซิเจนเข้าไปไม่ถึง ทำให้ผิวสแตนเลสสร้าง Passive Film ได้ลดลง ซึ่ง Passive Film คือ CrO_2 มีหน้าที่ป้องกันการกัดกร่อนของสแตนเลส ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากส่วนผสมของสแตนเลส ปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี บนผิวเสแตนเลส เกิดขั้วแอนโนด แคทโนด ทำให้เหล็กกล้า (Fe) ที่ผสมอยู่ในเนื้อสแตนเลสสูญเสียไปเนื้อสแตนเลสจะผุกร่อน

2.2.6 การต่อประสานสแตนเลส

การต่อประสานสแตนเลสนั้นในปัจจุบันมีรูปแบบการต่อประสานที่นิยมซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

2.2.6.1 การบัดกรีเป็นกระบวนการต่อโลหะแผ่นที่นิยมใช้มากที่สุด ทั้งนี้ ต้องศึกษาวิธีการที่จะทำให้มีความแข็งแรงและสวยงามตามความต้องการใช้งานแต่ละงานด้วย การบัดกรีเป็นการต่อโลหะให้ติดกันโดยวิธีการทำให้โลหะที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานหลอมละลายแล้วแทรกตัวประสานให้โลหะติดกัน การบัดกรี (Soldering) คือ การต่อโลหะชิ้นงานให้ยึดติดกันด้วยโลหะบัดกรี โดยอาศัยความร้อนที่ได้จากการเผาหัวแร้งให้ความร้อน หลอมละลายตัวประสานที่มีจุดหลอมละลายต่ำ โดยที่โลหะชิ้นงานจะไม่เกิดการหลอมละลาย

2.2.6.2 สำหรับงานเชื่อมนั้นหมายถึง การเชื่อมโลหะ 2 ชิ้นให้ติดกัน เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับต่อวัสดุ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโลหะและเทอร์โมพลาสติก โดยให้รวมตัวเข้าด้วยกัน ปกติใช้วิธีทำให้ชิ้นงานหลอมละลาย โดยการให้ความร้อนแก่โลหะ จนหลอมละลายติดเป็นเนื้อเดียวกัน หรือโดยการเติมลวดเชื่อม ใช้เป็นตัวประสานกันก็ได้ เมื่อเย็นตัวรอยต่อจะมีความแข็งแรง มีแหล่งพลังงานหลายอย่าง สำหรับนำมาใช้ในการเชื่อม เช่น การใช้เปลวไฟแก๊สอ็อกซิเจน การอาร์คโดยใช้กระแสไฟฟ้า ลำแสงเลเซอร์ การใช้อิเล็คตรอนบีม การเสียดสี การใช้คลื่นเสียง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมที่มีการเชื่อม จะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น การเชื่อมในพื้นที่โล่ง พื้นที่อับอากาศ การเชื่อมใต้น้ำ การเชื่อมในพื้นที่อันตราย เช่น ถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่ ภายในโรงงานผลิตสารเคมีและวัตถุไวไฟ การเชื่อมมีอันตรายเกิดขึ้นได้ง่าย จึงควรมีความระมัดระวัง เพื่อป้องกันอันตราย เช่น เกิดจากกระแสไฟฟ้า ความร้อน สะเก็ดไฟ ควันเชื่อม แก๊สพิษ รังสีอาร์ค ชิ้นงานร้อน ฝุ่นละออง เป็นต้น กรรมวิธีในการเชื่อมโลหะที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีดังต่อไปนี้ (วันชัย ลีลากวีวงศ์, 2560)

1. การเชื่อมแก๊ส (Gas Welding) เป็นการเชื่อมซึ่งจัดอยู่ในประเภทการเชื่อมหลอมเหลววิธีหนึ่ง แหล่งความร้อนที่ใช้เกิดมาจากการเผาไหม้ ระหว่างแก๊สอะเซทีลีนซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจน อุณหภูมิของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จะให้ความร้อนสูงถึง 3,200 องศาเซลเซียส และจะไม่มีเขม่าหรือควันหลงเหลืออยู่เลย

2. การเชื่อมไฟฟ้า (Arc Welding) การเชื่อมไฟฟ้าหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การเชื่อมโลหะด้วยวิธีการเชื่อมอาร์ค ความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมเกิดจากประกายอาร์ค ระหว่างชิ้นงานและลวดเชื่อม ซึ่งทำการหลอมละลายลวดเชื่อม ทำหน้าที่ป้อนเนื้อโลหะให้แก่แนวเชื่อม

3. การเชื่อมอัด (Press Welding) การเชื่อมอัดหมายถึง การประสานโลหะ 2 ชิ้นให้ติดกัน โดยให้ความร้อนกับชิ้นงาน ในบริเวณที่จะทำการเชื่อม จากนั้นใช้แรงอัดส่วนที่หลอมละลาย จนกระทั่งชิ้นงานติดกันเป็นจุด หรือเกิดแนวความร้อนที่ใช้ได้ จากความต้านทานไฟฟ้า เช่น การเชื่อมจุด (Spot Welding)

4. การเชื่อม TIG (Tungsten Inert Gas Welding) เป็นวิธีการเชื่อมโลหะ โดยใช้ความร้อนที่เกิดจากการอาร์ค ระหว่างลวดทังสเตนกับชิ้นงาน โดยมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลาย เพื่อไม่ให้บรรยากาศภายนอก เข้ามาทำปฏิกิริยาตรงบริเวณที่เชื่อม

5. การเชื่อม MIG (Metal Inert Gas Welding) การเชื่อม MIG เป็นระบบการเชื่อมที่ได้รับความร้อนจากการอาร์ค ระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ลวดเชื่อมที่ใช้จะเป็นลวดเชื่อมเปลือย ที่ส่งป้อนอย่างต่อเนื่องไปยังบริเวณอาร์ค และทำหน้าที่เป็นโลหะเติมลงไปยังบ่อหลอมละลาย บริเวณบ่อหลอมละลายจะถูกปกคลุมไปด้วยแก๊สเฉื่อย เพื่อไม่ให้เกิดการรวมตัวกับอากาศ

6. การเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding) การเชื่อมใต้ฟลักซ์เป็นกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า ที่ได้รับความร้อนจากการอาร์ค ระหว่างลวดเชื่อมเปลือยกับชิ้นงานเชื่อม โดยจะมีฟลักซ์ชนิดเม็ด (Granular Flux) ปกคลุมบริเวณอาร์คและฟลักซ์ ส่วนที่อยู่ใกล้กับเนื้อเชื่อมจะหลอมละลายปกคลุมเนื้อเชื่อม เพื่อป้องกันอากาศภายนอกทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม ส่วนฟรักซ์ที่อยู่ห่างจากเนื้อเชื่อมจะไม่หลอมละลาย และไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

เอกรัตน์ (2017) กรณีของ หม้อก๋วยเตี๋ยวนิยมผลิตจากสแตนเลส โดยนำมาม้วนขึ้นรูป พับตะเข็บรอยต่อ และประสานตะเข็บรอยต่อ ป้องกันการรั่วซึมด้วยกระบวนการบัดกรีอ่อน (Soldering Process) กับวัสดุบัดกรี (Solders) ที่มีส่วนผสมของตะกั่วและดีบุก หม้อก๋วยเตี๋ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุปกรณ์จำเป็นในขั้นตอนการปรุงก๋วยเตี๋ยว โดยใช้ต้มน้ำลวกเส้นและน้ำซุปในระหว่างการใช้งานหม้อก๋วยเตี๋ยวต้องสัมผัสกับอุณหภูมิประมาณ 80 - 90 °C เป็นระยะเวลาประมาณ 7 - 9 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของผู้ขายแต่ละรายซึ่งในปัจจุบันซึ่งตะกั่วของวัสดุบัดกรีดังกล่าวสามารถละลายปนเปื้อนกับน้ำลวกเส้นก๋วยเตี๋ยว และน้ำซุปก๋วยเตี๋ยวได้

ดังนั้น การเชื่อมทิก (TIG Welding) จึงเป็น ทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประสานแนวรอยต่อของหม้อก๋วยเตี๋ยวเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของตะกั่วได้ แม้ว่าการเชื่อมทิกจะมี การใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมผลิตสร้างชิ้นส่วนสแตนเลส แต่สำหรับผู้ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมผลิตหม้อก๋วยเตี๋ยวบางราย จำเป็นต้องเรียนรู้เทคนิคการเชื่อมทิกอย่างถูกวิธีเพื่อพัฒนาศักยภาพในการผลิตหม้อก๋วยเตี๋ยวอนามัยต่อไป เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกเริ่มเข้ามีบทบาทหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ในครัวเรือนรวมถึงหม้อก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น เนื่องจากได้รับการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการใช้งานเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลองค์ประกอบเกี่ยวกับสแตนเลสเกรดอื่น ๆ ที่ใช้ในการสัมผัสกับอาหาร

ประเภท	เกรด	EN	องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)				
			Cr	Ni	C	Mo	Cu
Martenisitic	AISI 430F	1.4028	12-14	-	>0.15	-	-
	S4116N	1.4116	14-15	-	>0.4	0.5-0.8	-
Ferritic	AISI 430	1.4016	16-18	0-0.75	0.08-0.12	-	-
Austenitic	AISI 304	1.4301	17-19.5	8-10.5	0.07	-	-
	AISI 316L	1.4404	16.9	10.1	0.02	2.0	0.5
	AISI 316	1.4401	16-18.5	10.13	0.07	-	-
Super Austenitic	S31254	1.4547	19.5-20.5	17.5-18.5	0.02	6-7	0.5-1.0
Duplex	S32304	1.4362	22-24	3.5-5.5	0.03	0.1-0.6	0.1-0.6
	S32205	1.4462	21-23	4.5-6.5	0.03	2.5-3.5	

หมายเหตุ *เหล็กเป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 70-80% และอื่น ๆ (Si, Mn, N, P, S) 100%.

*EN: European Standard

ที่มา: Eric Partington (2006)

2.3 กระบวนการเคลื่อนย้ายของสาร

กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์นั้นจำเป็นต้องผสมสารเคมีอื่นๆ ลงไปเพื่อปรับสมบัติและโครงสร้างให้เป็นไปตามความต้องการใช้งาน การสัมผัสระหว่างบรรจุภัณฑ์อาหารกับอาหารจึงอาจก่อให้เกิดปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพและทางเคมีกับอาหารได้ โดยปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาหารและบรรจุภัณฑ์แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ

2.3.1 ไมเกรชั่น (Migration)

กระบวนการเคลื่อนย้ายของสารเคมีซึ่งเป็นองค์ประกอบในบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหาร กระบวนการนี้ทำให้สีและกลิ่นของอาหารเปลี่ยนไปจากเดิม (Off Flavor) การเคลื่อนย้ายของสารเหล่านี้เพียงเล็กน้อยจะส่งผลเสียต่อผู้บริโภค เนื่องจากผู้บริโภคอาจรับประทานสารเหล่านี้เข้าไปพร้อมกับอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารประเภทน้ำมันหรือไขมัน เมื่อสัมผัสกับพลาสติกจะไปสกัดให้องค์ประกอบของพลาสติกละลายออกมาในปริมาณที่มากขึ้น

2.3.2 สคัลปิง (Scalping)

กระบวนการเคลื่อนย้ายของสารจากอาหารเข้าสู่บรรจุภัณฑ์กระบวนการนี้ส่งผลให้กลิ่นและรสชาติของอาหารเจือจางลงจากเดิม

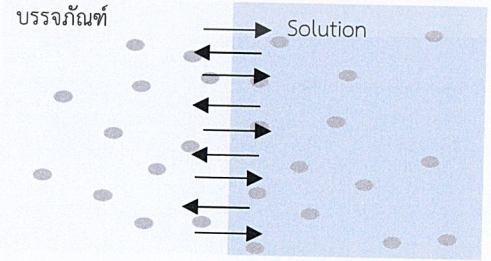
2.3.3 อีเกรสเพอร์มีเอชัน (Egress Permeation)

กระบวนการเคลื่อนย้ายองค์ประกอบของอาหารออกไปยังสิ่งแวดล้อมภายนอกบรรจุภัณฑ์ เช่นการสูญเสียความชื้นและองค์ประกอบแก๊สจากภายในบรรจุภัณฑ์เคลื่อนย้ายออกจากบรรจุภัณฑ์

2.3.4 อินเกรสเพอร์มีเอชัน (Ingress Permeation)

กระบวนการเคลื่อนย้ายของสารภายนอกบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหารภายในบรรจุภัณฑ์ เช่น การซึมผ่านของความชื้น แก๊ส และกลิ่นจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่อาหารในบรรจุภัณฑ์

การเคลื่อนย้ายของสารนั้นสามารถอธิบายได้ในเชิงกระบวนการแพร่ (Diffusion Process) ที่เกิดบริเวณส่วนต่อประสาน (Interface) ระหว่างบรรจุภัณฑ์กับอาหารบริเวณที่สัมผัส ได้ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.11 การแพร่บริเวณส่วนต่อประสานระหว่างบรรจุภัณฑ์-สารละลายอาหาร

ที่มา: ศิริพัสตร์ (2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดการเคลื่อนย้ายของสารสู่อาหาร

อาหารที่เหมาะสมในการเกิดการเคลื่อนย้ายของสารมักเป็นอาหารที่มีไขมันสูง เช่น อาหารจำพวกน้ำพริก เครื่องปรุงรส ที่บรรจุอยู่ในขวดแก้วที่มีฝาปิดโดยสารที่ผสมอยู่ในฝาปิดขวดแก้วจะละลายได้ดีใน อาหารประเภทไขมัน

2.4.1 เวลา

อาหารที่มีช่วงระยะเวลานาน เช่น อาหารกระป๋องที่มีอายุการเก็บรักษาได้นาน 3 ปี ก็จะทำให้คุณภาพของกระป๋องเสื่อมเกิดการการเคลื่อนย้ายของสารได้ง่าย

2.4.2 ภาชนะบรรจุ

วัสดุที่นำมาทำภาชนะบรรจุหากมีสารเคมีเป็นส่วนประกอบในปริมาณมาก ก็เป็นสาเหตุให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารได้

2.4.3 อุณหภูมิ

การถนอมอาหารโดยการใช้ความร้อน เช่น การสเตอริไลเซชัน (Sterilization) การใช้ความร้อนอาจทำให้สารที่อยู่ในวัสดุสัมผัสอาหารสลายตัวและเมื่อสัมผัสกับอาหารจึงทำให้ปนเปื้อนเข้าไปในอาหารได้

2.5 การทดสอบความปลอดภัยของอาหาร

การทดสอบความปลอดภัยของภาชนะบรรจุอาหารหรือวัสดุสัมผัสอาหารจัดเป็น “ indirect food additives ” หมายถึงสารที่สัมผัสกับอาหารอันเนื่องมาจากภาชนะบรรจุหรือเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตไม่ใช่สารที่เติมลงไปในอาหารโดยตรง โดยวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ทำภาชนะบรรจุอาหาร (ประมาณ 70 - 80% เป็นสารโพลิเมอร์) สามารถทำปฏิกิริยากับอาหารที่บรรจุอยู่ ทำให้ส่วนประกอบของภาชนะบรรจุอาหารมีการเคลื่อนย้ายจากภาชนะบรรจุไปสู่อาหาร จึงต้องมีการทดสอบการเคลื่อนย้ายของสารจากภาชนะบรรจุไปยังอาหารเพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้บริโภคเรียกว่า “ Migration Test ”

เนื่องจากอาหารมีองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างทางกายภาพที่ซับซ้อนและหลากหลาย จึงเป็นเรื่องยากหากนำอาหารมาใช้ในการทดสอบการเคลื่อนย้ายของสารโดยตรง ก่อนการทดสอบต้องมีการกำหนดสารซึ่งใช้เป็นตัวแทนของอาหารก่อนเรียกว่า food simulants ซึ่งมีลักษณะทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว มีองค์ประกอบที่ง่ายและเป็นที่รู้จักกันทั่วไป (Lee, et al., 2008) โดยมีการนำ food simulants ที่แตกต่างกัน 4 ชนิดมาทดสอบในสภาวะและชนิดของอาหารที่แตกต่างกัน การเลือกสภาวะที่ใช้ในการทดสอบนั้น ตัวแทนอาหาร เวลา และอุณหภูมิ ที่เลือกใช้ในการทดสอบนั้นอาจจะเป็นสภาวะที่แท้จริงในการใช้งานหรือสภาวะที่เลวร้ายที่สุดของการใช้งาน ดังแสดงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 โดยจะต้องพิจารณาชนิดของอาหารและสารที่ใช้เป็นตัวแทนอาหารให้ถูกต้อง เพื่อผลของการทดสอบที่ถูกต้องแม่นยำชนิดของอาหารและสารที่ใช้เป็นตัวแทนอาหารสามารถจัดเป็นหมวดหมู่ได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดของอาหารและตัวแทนอาหารจำลองที่ใช้

หมวดหมู่ของชนิดของอาหาร	Food Simulant
อาหารที่มี pH ≥ 4.5 ≤7.0	- Distilled water
อาหารที่มี pH ≤ 4.5	- 3% acetic acid
อาหารที่มีแอลกอฮอล์	- 10% Ethanol
	- 20% Ethanol
	- 50% Ethanol
อาหารมีไขมันน้ำมันเป็นองค์ประกอบ	- Olive Oil

ที่มา: Bureau (2019)

ตารางที่ 2.3 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม (Overall Migration)

Test Number	Contact time	Contact temp	Intended food contact condition
OM 1	10 day	20 °C	Frozen, refrigerated
OM 2	10 day	40 °C	Long term storage Include short term heating
OM 3	2 Hours	70 °C	short term heating
OM 4	1 Hour	100 °C	High temperature application
OM 5	2 Hours	100 °C	High temperature application up to 121 °C
	or 1 Hour	or 121°C	
OM 6	4 Hours	100 °C	Any food contact condition with food
OM 7	2 Hours	175 °C	High temperature application with fatty foods

ที่มา: Bureau (2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ระยะเวลาทดสอบที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารแบบเจาะจง (Specific Migration)

Contact time in worst foreseeable use	**Test time**
t ≤ 5 min 5 min	5 min
5 min < t ≤ 0.5 hour	0.5 hour
0.5 hours < t ≤ 1 hour	1 hour
1 hour < t ≤ 2 hours	2 hours
2 hours < t ≤ 6 hours	6 hours
6 hours < t ≤ 24 hours	24 hours
1 day < t ≤ 3 days	3 days
3 days < t ≤ 30 days	10 days
Above 30 days	See specific conditions

ที่มา: Bureau (2019)

ตารางที่ 2.5 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารแบบเจาะจง (Specific Migration) (new standard testing rules (EU) No 10/2011)

Conditions of contact in worst foreseeable use	**Test conditions**
Contact temperature (°C)	**Test temperature (°C)**
T ≤ 5	5
5 < T ≤ 20	20
20 < T ≤ 40	40
40 < T ≤ 70	70
70 < T ≤ 100	100 or reflux temperature
100 < T ≤ 121	121 (*)
121 < T ≤ 130	130 (*)
130 < T ≤ 150	150 (*)
150 < T < 175	175 (*)
T > 175	Adjust the temperature to the real temperature

(*) This temperature shall be used only for food simulants D2 and E. For applications heated under pressure migration testing under pressure at the relevant temperature may be performed. For food simulants A, B, C or D1 the test may be replaced by a test at 100 °C or at reflux temperature for duration of four times the time selected according to the condition

ที่มา: Bureau (2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนย้ายของสาร

เมื่อทราบตัวแทนของอาหารที่จะนำมาใช้ใช้ในการศึกษาการศึกษาการไมเกรชั่น โดยทั่วไปแล้วนั้นการวิเคราะห์หาค่านั้นมีอยู่ 2 แบบคือ

2.6.1 การศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม (Overall Migration)

เป็นการศึกษาปริมาณรวมทั้งหมดของสารที่ไม่ระเหย ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายจากวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์อาหารหรือภาชนะบรรจุอาหารไปยังอาหาร การศึกษาการเคลื่อนย้ายโดยรวมนั้น จะมีการกำหนดตัวแทนอาหารจำลอง และสภาวะในการทดสอบที่เหมาะสม หลังจากนั้น จะนำสารตกค้างที่สกัดแล้วจะถูกทำให้แห้งและชั่งน้ำหนัก การศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมจะเป็นการวัดความเฉื่อยของวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร มักจะแสดงให้เห็นในหน่วยมิลลิกรัม (mg) ต่อพื้นที่ผิวสัมผัสอาหาร (dm^2) หรือ ($mg/dm^{2)}$ ในส่วนของ Food Contact Materials (FCMs) สำหรับทารกและเด็กเล็กจะแสดงเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)

2.6.2 การศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารแบบเฉพาะเจาะจง (Specific Migration)

เป็นการศึกษาสารเฉพาะที่สามารถเคลื่อนย้ายจากวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารหรือภาชนะบรรจุอาหารไปยังอาหาร เป็นการวัดค่าความปลอดภัย (Safety limit) ที่ได้รับจากการศึกษาทางพิษวิทยา จำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้เพื่อระบุการมีอยู่ของสารเหล่านี้ในอาหารหรืออาหารจำลอง มักจะแสดงเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร (mg/kg)

ข้อบังคับ (EU) เลขที่ 10/2011 เรื่องวัสดุพลาสติกและสิ่งของที่มีจุดประสงค์เพื่อสัมผัสกับอาหารนั้น ได้กำหนดค่าไมเกรชันโดยรวม (OM) สำหรับวัสดุพลาสติกสิ่งของที่มีจุดประสงค์เพื่อสัมผัสกับอาหาร ไว้ดังนี้

สำหรับพลาสติกทั่วไปและสิ่งของที่มีจุดประสงค์เพื่อสัมผัสกับอาหาร กำหนดให้มีค่าการไมเกรชันโดยรวมไม่เกิน 10 mg/dm^2และสิ่งของที่มีจุดประสงค์เพื่อสัมผัสกับอาหารสำหรับทารกและเด็กเล็ก (OML) คือ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร

สำหรับค่ากำหนด Specific Migration Limit หากไม่มีการกำหนดค่าโดยเฉพาะ สามารถใช้ค่าได้สูงสุด 60 mg/kg (ppm) สำหรับแต่ละสาร บางครั้งสามารถกำหนดขีดจำกัดการโยกย้ายรวมเฉพาะ (SMLT) สำหรับกลุ่มของสารที่คล้ายกัน โดยหน่วยที่ใช้ยังเป็นอาหารมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.7 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (อิศรา, 2557)

ค่าความเป็นกรดด่างหรือค่า pH (Positive potential of the Hydrogen ions) คือค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ใช้บอกความเป็นกรด-ด่างของสสาร โดยค่า pH เป็นค่าลอการิทึม ปริมาณความเข้มข้น ของไฮโดรเจนไอออน Sorensen นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้คิดวิธีบอกความเป็นกรด – ด่างของสาร ด้วยค่าพีเอช (pH) ซึ่ง มีค่าอยู่ระหว่างตัวเลข 0-14 โดยกำหนดว่า

-สารที่มีค่า pH น้อยกว่า 7 มีคุณสมบัติเป็น “กรด”

-สารที่มีค่า pH เท่ากับ 7 มีคุณสมบัติเป็น “กลาง”

-สารที่มีค่า pH มากกว่า 7 มีคุณสมบัติเป็น “ด่าง” ดังนั้น pH ยิ่งน้อย ความเป็นกรดยิ่งมาก และเมื่อ pH ยิ่งมาก ความเป็นด่างก็ยิ่งมาก

จากการศึกษาค่าความเป็น pH ของเครื่องดื่มชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่า pH เฉลี่ยของเครื่องดื่มแต่ละชนิด

เครื่องดื่ม	ค่า pH
เลมอน	2.4
น้ำอัดลม	2.5
ส้ม หรือ แอปเปิล	3.5
เบียร์	4.5
กาแฟ	5.0
ชา	5.5
นม	6.5
น้ำบริสุทธิ์	7.0

2.7.1 การทดสอบความเป็นกรด - ด่างของสาร

การทดสอบความเป็นกรด - ด่างของสาร ความเป็นกรด-ด่าง หรือค่า pH สามารถทดสอบได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะให้ค่าที่ถูกต้องต่างกัน ดังนี้

1. ทดสอบโดยกระดาษลิตมัส กระดาษ pH

1.1 กระดาษลิตมัส เป็นวิธีที่สามารถบอกได้เพียงว่าตัวอย่างที่นำมาทดสอบเป็นกรด หรือ ด่าง เท่านั้น โดยนำกระดาษลิตมัสไปจุ่มตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ถ้าตัวอย่างเป็นกรด กระดาษลิตมัสจะเปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นแดง ในขณะที่ถ้าตัวอย่างเป็นด่าง กระดาษลิตมัสจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นน้ำเงิน

1.2 กระดาษ pH เป็นวิธีที่สามารถบอกค่าความเป็นกรด - ด่าง ได้ละเอียดมากกว่ากระดาษ ลิตมัส เนื่องจากจะมีแถบสีให้เทียบว่าตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีค่าความเป็นกรด – ด่าง มีค่า pH เท่าไหร่

2. ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ (Universal indicators) แบบสารละลายจะเปลี่ยนสีเมื่อใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายที่มีค่า pH อยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน จึงสามารถบอกค่าความเป็นกรด-ด่าง ได้เบื้องต้น

3. พีเอชมิเตอร์ (pH meter) เป็นเครื่องมือที่มีความถูกต้องและให้ความแม่นยำมากกว่าวิธีข้างต้น โดยสามารถที่จะแสดงค่า pH ออกมาเป็นตัวเลขได้อย่างชัดเจน

2.8 โลหะหนัก (Heavy Metal)

โลหะหนัก เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 g/cm^3 โดยจากตารางธาตุที่มีโลหะทั้งหมด 83 ธาตุ เป็นโลหะหนัก 68 ธาตุ โดยธาตุที่พบได้บ่อยนั้นคือธาตุกลุ่มแมงกานีส แคดเมียม ตะกั่ว เหล็ก โคบอลต์ โครเมี่ยม นิเกิล ทองแดง สังกะสี เงิน และปรอท (Hawley,1977) โลหะหนักและสารประกอบโลหะหนักนั้นเป็นอันตรายต่อมนุษย์หากได้รับปริมาณเกินกว่าที่ร่างกายจะขจัดออกได้

ความเป็นพิษของโลหะหนักหากได้รับในปริมาณมากเกินไประบบต่างๆของร่างกายจะไปรบกวนการทำงานของเอ็นไซม์ของเซลล์และยึดกับเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้การควบคุมการลำเลียงของสารต่างๆ เกิดความผิดปกติไป ความเป็นพิษของโลหะหนักนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะขององค์ประกอบทางเคมีและเส้นทางที่ร่างกายได้รับเข้าไป ซึ่งอาจได้รับผ่านทางระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินหายใจ ผิวหนัง ความเป็นพิษที่เกิดจากได้รับโลหะหนักที่เป็นอันตรายนั้น แบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ

1. พิษแบบเฉียบพลัน (Acute toxicity) ลักษณะคือการได้รับสารพิษได้รับเพียงครั้งเดียวหรือหลายครั้งภายใน 24 ชั่วโมง แล้วทำให้เกิดอาการที่เห็นแบบชัดเจน อาการที่แสดงออกมาจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารพิษ ปริมาณที่ได้รับ ระยะเวลาที่ได้รับและช่องทางการได้รับ หากได้รับพิษรุนแรงอาจทำให้ตายได้

2. พิษกึ่งเฉียบพลัน (Subacute toxicity) ลักษณะคือการได้รับสารพิษเข้าไปในปริมาณน้อยติดต่อกันเป็นเวลาประมาณ 1-3 เดือน แล้วทำให้เกิดอาการ

3. พิษเรื้อรัง (Chronic toxicity) ลักษณะคือการได้รับสารพิษเข้าไปปริมาณน้อยๆ ติดต่อกันเป็นระยะเวลามากกว่า 3 เดือนขึ้นไป แล้วเกิดอาการแสดงออก เช่น การเกิดความผิดปกติในระบบภูมิคุ้มกัน (immune toxicity) การเกิดการผ่าเหล่า (mutagenicity) การเกิดเป็นมะเร็ง (tumor)

ผลที่เกิดต่อเซลล์เมื่อได้รับโลหะหนัก

1. ทำให้เซลล์ตาย
2. เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์
3. เป็นตัวการทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม
4. เป็นตัวการนำไปสู่การเกิดมะเร็ง
5. ทำความเสียหายต่อโครโมโซม ซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 คุณสมบัติทั่วไป ประโยชน์และความเป็นพิษของโลหะหนัก

2.9.1 โครเมียม (Chromium : Cr) (ศุภมาส และอารี, 2556)

โครเมียมเป็นโลหะแทรนซิชันจัดเป็นธาตุโลหะหนัก (Heavy Metal) เป็นธาตุที่พบมากเป็นอันดับ 21 ของธาตุที่พบบนโลก มีลักษณะเป็นโลหะเงินสีขาว มันวาว มีความแข็งแรงทนต่อสภาพการกัดกร่อนได้ดี สามารถดัด และขึ้นรูปได้ หากมีความบริสุทธิ์สูงจะมีสีขาวออกฟ้าอ่อน ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น การทำสีย้อม เม็ดสี การฟอกหนัง การทำหมึกพิมพ์ นอกจากนี้ยังมีการนำโครเมียมมาใช้ในอุตสาหกรรมทางด้านโลหะ เนื่องจากโลหะจำพวกเหล็กที่ผสมโครเมียม หรืออัลลอยของเหล็กโครเมียม (FeCr) จะเพิ่มคุณสมบัติของโลหะนั้นให้มีความแวววาว ความแข็งแรง และความต้านทานการกัดกร่อน

โครเมียมที่อยู่ในรูปโลหะ ได้มาจากการถลุงจากเหมืองแร่เหล็ก จะพบในสภาพออกไซด์ของโครเมียมที่มาพร้อมกับออกไซด์ของเหล็ก เรียกว่า เฟอร์โรโครเมียม (Ferrochromium) แร่ผสมระหว่างออกไซด์ของเหล็กและโครเมียมมีชื่อว่า แร่โครไมต์ ($FeCr_2O_4$) ซึ่งสามารถนำมาเปลี่ยนรูปจากออกไซด์ให้เป็นโครเมียมที่อยู่ในรูปโลหะด้วยปฏิกิริยารีดักชัน โครเมียมที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไตรวาเลนต์โครเมียม (Trivalent Chromium: Cr (III)) หากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาพแวดล้อม เช่นการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะส่งผลให้พบเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Hexavalent Chromium: Cr (Vi) ได้

โลหะชุบโครเมียมเป็นตัวอย่างหนึ่งในการนำเฮกซะวาเลนต์โครเมียมมาใช้ในอุตสาหกรรม โดยการเคลือบลงบนผิวโลหะ เพื่อทำให้ผิวของโลหะดังกล่าวมีความแวววาวมากขึ้น ไม่เป็นสนิม ทนการกัดกร่อนได้ดี การชุบเคลือบนี้เป็นการนำโลหะที่ต้องการชุบมาผ่านกระบวนการเคลือบผิวโลหะด้วยโครเมียมชั้นบางๆ ที่เรียกว่าการชุบด้วยไฟฟ้า (Electroplating) กระบวนการดังกล่าวมีการใช้เฮกซะวาเลนต์โครเมียมเป็นสารตั้งต้น ไปเคลือบบนผิวของโลหะ โดยอาศัยแรงดันทางไฟฟ้าในการขับเคลื่อนให้เฮกซะวาเลนต์โครเมียมเคลื่อนที่มาเคลือบบนผิวของโลหะที่ต้องการชุบ ขณะเดียวกันเฮกซะวาเลนต์โครเมียมจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน กลายเป็นฟิล์มโลหะโครเมียมเคลือบบนวัสดุดังกล่าว

ไตรวาเลนต์โครเมียมพบมากในอาหาร น้ำดื่ม และสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ เป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย มีหน้าที่ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ โดยการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นพลังงาน ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมัน และคอเลสเตอรอล รักษาสมดุลของสารอินซูลินในเลือดและควบคุมปริมาณคอเลสเตอรอลในร่างกาย เปลี่ยนไขมันในร่างกายให้เป็นไขมันดี (HDL) โดยทั่วไปแล้วมนุษย์มีความต้องการไตรโควาเลนต์โครเมียมในปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

200 ไมโครกรัมต่อวัน โดยโครดมียมที่ร่างกายต้องการต้องเป็นโครเมียมที่อยู่ในรูปไตรวาเลนต์โครเมียมเท่านั้น

ประโยชน์โครเมียม

โครเมียมถือเป็นโลหะหนักที่นำมาใช้มากในอุตสาหกรรมทั่วโลก ในหลายด้าน ได้แก่

1. ใช้เป็นส่วนผสมในกรผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) ซึ่งอาจมีการใช้ผสมมากกว่าร้อยละ 18

2. ใช้เป็นผสมกับเหล็ก นิเกิล และโลหะอื่นๆ เพื่อผลิตเหล็กอัลลอยที่แข็งแกร่ง ทนต่อการกัดกร่อน และความร้อนได้สูง

3. ใช้เป็นสารชุบโลหะ เคลือบโลหะ รวมถึงพลาสติกเพื่อให้เกิดความมันเงา ป้องกันการกัดกร่อน เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น

4. ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตสีย้อมหรือเม็ดสี เช่น Chrome oxide green (Cr_2O_3), Chrome yellow ($PbCrO_4$), Chrome orange ($PbCrO_4.PbO$) รวมถึงใช้เป็นสารช่วยย้อมติดสีในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และย้อมผ้า

5. ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง ในรูปสารประกอบของ $Cr(OH)SO_4$

6. ใช้เป็นส่วนผสมของสารฆ่าเชื้อรา และน้ำยารักษาเนื้อไม้

7. ใช้ผลิตตัวยับยั้งฝุ่น และป้องกันการกัดกร่อนของเครื่องยนต์ดีเซล

8. ใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดสนิม เช่น สารประกอบไดโครเมต

9. ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแก้วสี โดยเฉพาะCr^{3+}

10. ใช้ในกระบวนการผลิตอิฐทนความร้อน

11. ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี และการสังเคราะห์ทางเคมี

12. ใช้ในทางการแพทย์ เช่น chromium isotope (Cr-51)

อันตรายจากโครเมียม

เฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Hexavalent Chromium: Cr (Vi)) เป็นสารอันตรายจัดอยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็งที่ส่งผลกระทบต่อยีน (Genotoxic Carcinogen) เมื่อได้รับสารดังกล่าวติดต่อกันเป็นเวลานานจะมีโอกาสเป็นมะเร็งปอด โครงสร้างดีเอ็นเอถูกทำลายได้ง่ายมากขึ้น และเมื่อเฮกซะวาเลนต์โครเมียมเข้าสู่ร่างกายจะเปลี่ยนเป็นไตรวาเลนต์โครเมียม ซึ่งสามารถจับกับโปรตีนในร่างกายส่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน ผู้ที่ได้รับเฮกซะวาเลนต์โครเมียม จะมีอาการระคายเคืองที่ผิวหนัง เป็นโรคหอบหืด โรคระบบทางเดินหายใจ ทำให้ปอดตับ ไต ใส้ ถูกทำลาย มีอาการบวมน้ำ เจ็บแถวกระบังลมหรือลิ้นปี่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พิษเฉียบพลัน

ความเป็นพิษเฉียบพลันมักพบในผู้ป่วยที่ได้รับเฮกซะวาเลนต์โครเมียม เช่น กรดโครมิค และโปแตสเซียมไดโคร เมท โดยพบอาการเฉียบพลันหลังได้รับสารโครเมียมเข้าร่างกาย คือ มีอาการอาเจียน ปวดท้องรุนแรง อาการท้องเสีย มีเลือดออกในกระเพาะอาหาร หากได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดการช็อค และเสียชีวิตได้ ขนาดที่ทำให้เสียชีวิตได้ คือ บริโภค 1 – 3 กรัม ต่อวัน

2. พิษเรื้อรัง

เป็นลักษณะของพิษโครเมียมที่เกิดจากการที่ร่างกายได้รับในปริมาณน้อยถึงปานกลาง และมีการสะสมเป็นเวลานาน อาการของพิษจะค่อยๆเริ่มปรากฏกับอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น การระคายเคืองบริเวณผิวหนัง การเกิดแผลเรื้อรัง แผลหายช้า กระดูกพรุน และผนังกั้นจมูกทะลุ รวมถึงการเกิดมะเร็งในอวัยวะต่าง ๆ

เฮกซะวาเลนต์โครเมียม ถูกจัดให้เป็นสารที่มีอันตรายมาก มีความเป็นพิษรุนแรงกว่าไตรวาเลนต์โครเมียมมากกว่าร้อยเท่า หากได้รับเข้าร่างกายเพียงเล็กน้อยจะมีการสะสมทำให้เกิดพิษเรื้อรัง และเกิดมะเร็งในอวัยวะต่าง ๆ ตามมา หากได้รับเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ในปริมาณความเข้มข้นมากจะเกิดการกัดกร่อนผิวหนัง อวัยวะระบบทางเดินหายใจเสียหายอย่างฉับพลัน

ไตรวาเลนต์โครเมียมเป็นธาตุโลหะหนึ่งที่พบในร่างกายมนุษย์ หากร่างกายขาดโครเมียมชนิดนี้จะทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับน้ำตาล เช่น โรคกลูโคสซูเรีย (Glycosuria) ทำให้มีการเพิ่มปริมาณของอินซูลิน (Serum insulin) คลอเลสเตอรอล (Cholesterol) และ ไตรกลูเซอไรด์ (Triglycerides)ในร่างกาย รวมไปถึงยับยั้งการเจริญเติบโต การทำงานของเส้นโลหิต และแก้วตาอักเสบ

2.9.2 นิกเกิล (Nickel : Ni)

นิกเกิล เป็นโลหะมันวาว สีขาวเงินที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการผลิตโลหะต่าง ๆ มีความสามารถตีเป็นแผ่นหรือใช้ชุบเคลือบผิวโลหะอื่น ๆ ได้ดี รวมถึงใช้ประโยชน์ในด้านเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆในอุตสาหกรรม

ประโยชน์ของนิกเกิล

1. ใช้ชุบโลหะ ป้องกันการเกิดสนิม และช่วยให้มีผิวแววววาวมากขึ้น

2. ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมบางชนิด เช่น ใช้เร่งปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันในกระบวนการผลิตน้ำมันพืช

3. ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตโลหะผสมต่างๆสำหรับใช้งานในอุตสาหกรรม เช่น ใบพัดเรือ ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ครัวเรือน และการผลิตท่อน้ำ เป็นต้น

4. อิเลกโตรเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell electrodes)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้เป็นสารเคลือบผิวในอุตสาหกรรมเซรามิกส์

6. ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตโลหะเพื่อใชในการประดับ

7. ใช้เป็นส่วนผสมของโลหะ Alnico สำหรับการทำแม่เหล็ก

8. ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันเบนซิน

9. ใช้เป็นส่วนผสมของหมึก และสี

10. ใช้ผลิตเป็นฉนวนต้านทานไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

ความเป็นพิษของนิกเกิล

ความเป็นพิษของนิกเกิลมักเกิดจากฝุ่นนิกเกิล และนิกเกิลคาร์บอนิล ที่เกิดจากกระบวนการทำนิกเกิลบริสุทธิ์ รวมถึงนิเกิลอิสระในรูปของประจุ +2 และสารประกอบของนิเกิลอื่นๆ ซึ่งนิเกิล และสารประกอบของนิเกิลสามารถทำให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ และสัตว์ได้

– การสัมผัสกับนิกเกิลโดยตรงทั้งจากฝุ่น และนิเกิลที่ละลายในน้ำจะทำให้เกิดอาการผื่นคันตามผิวหนัง รวมถึงการสัมผัสกับตาจะทำให้เกิดการระคายเคืองของเยื่อบุตา เกิดอาการแสบตา ตาแดง และรุนแรงบวมอักเสบ

– การสูดดมฝุ่นและไอระเหยของสารประกอบนิกเกิลยังเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดมะเร็งปอด และอาการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ

2.9.3 เหล็ก (Iron:Fe)

เหล็กเป็นโลหะสีเงินสีขาวหรือสีเทา เป็นเงา วิธีการหล่อสามารถใช้ค้อนทุบเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ และยังสามารถยืดได้ เหล็กมีความต้านทานแรงดึงสูงมาก อีกทั้งยังนำไฟฟ้า นำความร้อนได้ดีอีกด้วยและยังสามารถใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้มากมาย แต่คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเหล็กนั้นคือสามารถหล่อแล้วขึ้นรูปใหม่ได้และยังมีความทนทานที่ยอดเยี่ยม นอกจากนี้เหล็กสามารถใช้ในการโค้ง งอ ม้วน ดัดเป็นรูปร่าง เพื่อนำมาประดิษฐ์เป็นสิ่งของที่เรานำมาใช้ในชีวิตประจำวัน หรือนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้

เหล็กเป็นโลหะที่ใช้งานมาก เมื่อเหล็กรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศชื้นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยานี้ จะเกิดเป็น เหล็กออกไซด์ เป็นที่รู้จักกันก็คือสนิมนั้นเอง เหล็กยังทำปฏิกิริยากับน้ำร้อนได้ดีและไอน้ำในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังละลายในกรดได้ดีที่สุดและทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่น ๆ อีกมากมาย

รูปแบบของธาตุเหล็กในอาหาร

สารประกอบธาตุเหล็กมีวาเลนซีตั้งแต่ -2 ถึง +7 แต่ในรูปของ **Ferrous (Fe^{+2}) และ Ferric (Fe^{+3})** เท่านั้นที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ ซึ่งธาตุเหล็กเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสารอาหารซึ่งสามารถพบได้ในอาหารที่ได้มาจากสัตว์ และพืช แต่จะอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน ธาตุเหล็กมี 2 รูปแบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ferrous (Fe^{+2}) เป็นธาตุเหล็กที่เป็นส่วนประกอบของฮีม เรียกว่า HEME IRON พบมากในเครื่องในสัตว์ เนื้อสีแดง เช่น เนื้อวัว เนื้อควาย ปลา ตับ ไข่ ซึ่งเหล็กที่อยู่ในรูปของ heme iron จะดูดซึมได้ดีกว่า ดังนั้นอาหารจากเนื้อสัตว์จึงเป็นแหล่งของเหล็กที่ดูดซึมได้ดีกว่าอาหารจากพืช อาหารจากเนื้อสัตว์จะมีเหล็กในรูปฮีมเฉลี่ยประมาณร้อยละ 40 – 50 ของเหล็กทั้งหมด

Ferric (Fe^{+3}) เป็นเหล็กที่จะอยู่รวมกับโปรตีน เรียกว่า NON - HEME IRON พบมากในพืชผัก ธัญพืช ถั่วเมล็ดแห้ง

ความต้องการธาตุเหล็กของร่างกาย

สำหรับปริมาณธาตุเหล็กที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุ 6 ปีขึ้นไป (Thai Recommended Daily Intakes (Thai-RDI)) มีค่าเท่ากับ 15 มิลลิกรัม โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี จะเห็นได้ว่าร่างกายเราต้องการในปริมาณไม่มาก แต่ธาตุเหล็กจัดเป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นกับคนทุกเพศ ทุกวัย โดยเฉพาะในเด็กทารก เด็กวัยรุ่น และหญิงตั้งครรภ์ เนื่องจากเป็นวัยที่มีการเจริญเติบโต ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องรับประทานอาหารที่มีธาตุเหล็กให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกายซึ่งปริมาณธาตุเหล็กที่ร่างกายควรได้รับจะแตกต่างกันไปแล้วแต่บุคคล เพศ อายุ

ภาวะการได้รับธาตุเหล็กเกิน

หากได้รับธาตุเหล็กมากเกินไป หรือจากการเสริมธาตุเหล็กในปริมาณสูงต่อเนื่อง อาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุต่างๆ โดยเฉพาะเยื่อบุทางเดินอาหาร เป็นสาเหตุให้มีเลือดออกในทางเดินอาหารได้ รวมทั้งอาจมีอาการเหล่านี้ เช่น

- คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสียปวดท้องปวดศีรษะหายใจลำบากอ่อนเพลียวิงเวียนน้ำหนักลดผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีเทา
- กดภูมิคุ้มกันต้านทานโรค และอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงให้เกิดโรคภูมิต้านตนเอง (Autoimmune) หรือโรคมะเร็งได้
- หากมีธาตุเหล็กสะสมในร่างกายในปริมาณมากขึ้น จะส่งผลต่อการทำงานของไขกระดูก ตับ ไต หัวใจ ปอด และสมอง
- ก่อให้เกิดอาการอ่อนเพลียมากขึ้นภาวะซีดหัวใจเต้นผิดปกติ ตัวเขียวคล้ำชักตับวายไตวายโคม่า และอาจอันตรายถึงเสียชีวิตได้ในที่สุด

2.9.4 ตะกั่ว (Lead :Pb)

ตะกั่วถูกนำมาใช้ในประโยชน์ด้านต่าง ๆ บัดกรีเชื่อมโลหะ ทำขั้วไฟฟ้าแบตเตอรี่ เซรามิค สารกำจัดศตรูพืช ปุ๋ยเคมี ใช้ป้องการทะลุทะลวงของกัมมันตภาพรังสี และใช้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดังของเสียงของเครื่องจักรกล เนื่องจากตะกั่วมีความหนาแน่นสูงมาก และใช้เติมลงในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทน

ในส่วนของความเป็นพิษถ้าหาก ได้รับตะกั่วปริมาณน้อยในระยะเวลานานจะทำให้เกิดความเป็นพิษเรื้อรัง ได้แก่ โรคโลหิตจางเนื่องจากตะกั่วไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง และตะกั่วยังสามารถกระตุ้นการทำงานของม้ามทำให้กำจัดเม็ดแดงได้มากขึ้น แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากทำให้เกิดอาการเป็นพิษเฉียบพลัน โดยมีอาการอ่อนเพลีย คลื่นไส้และกล้ามเนื้อกระตุกเนื่องจาการทำงานของระบบประสาทผิดปกติ

2.10 ข้อกำหนดของกฎระเบียบที่สำคัญเกี่ยวกับวัสดุสัมผัสอาหาร

ข้อกำหนดของกฎระเบียบ (EC) No. 1935/2004 มีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2547 กฎระเบียบของสหภาพยุโรปเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้สัมผัสอาหารตามมาตรา 3 กำหนดให้การผลิตต้องเป็นไปตามข้อกำหนดคุณลักษณะที่ดี (Good manufacturing practice, GMP) (FOSTAT, 2011) ได้กำหนดไว้อย่างชัดเจนว่า วัสดุสัมผัสอาหารที่ปลอดภัยจะต้องไม่เคลื่อนย้ายองค์ประกอบต่าง ๆ เข้าไปในอาหาร (Migration) ในปริมาณที่เป็นอันตรายกับสุขภาพของผู้บริโภค ทำให้องค์ประกอบของอาหารเปลี่ยนแปลงจนไม่เป็นที่ยอมรับได้หรือทำให้โครงสร้างทางชีวภาพขององค์ประกอบของอาหารรสชาติเสื่อมเสีย

ข้อกำหนดที่สำคัญ ได้แก่ ข้อกำหนดของกฎระเบียบ(EC) No. 1935/2004 และข้อกำหนด GMP No. 2023/2006 โดยครอบคลุมวัสดุและการผลิตทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีกฎระเบียบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง กับภาชนะบรรจุและวัสดุสัมผัสอาหารของกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป ได้แก่ Directive 200 / 19 / EC, EU Regulation (EC) No. 95 / 2009, Directive 94 / 62 / EC เป็นต้น

คณะกรรมาธิการมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ Codex (1995) ฉบับที่ CX/FAC 96/17 สำหรับสารปนเปื้อนและสารพิษในอาหารกล่าวว่า JECFA (1983) ได้กำหนดค่า PMTDI ที่ 0.8 mg/kg ค่านี้ใช้กับธาตุเหล็กจากทุกแหล่งยกเว้นธาตุเหล็กออกไซด์ที่ใช้เป็นสารให้สี ธาตุเหล็กเสริมที่ใช้ในระหว่างตั้งครรภ์และให้นมบุตร และปริมาณเหล็กที่แนะนำคือ 10-15 mg/day (Nordic Council of Ministers, 1995)

องค์การอนามัยโลก WHO (1993) กำหนดโครเมียม (Cr) สูงสุดมีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.04 mg/l ในน้ำดื่ม และมีการประมาณการล่าสุดของช่วงการบริโภคในประจำวันเป็น 0.3 mg/day (Codex, 1995) การเคลื่อนย้ายของนิกเกิลไปยังอาหารสำหรับบริโภคควรจะต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยสมเหตุสมผลและไม่เกิน 0.1 mg/kg ข้อจำกัดทั่วไปของการเคลื่อนย้ายเข้าสู่อาหารสำหรับบริโภคไม่เกิน 0.005 mg/l ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนย้ายสารจากวัสดุที่สัมผัสกับอาหารไปสู่อาหาร จะต้องไม่เกิดขึ้นในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ วัสดุที่สัมผัสกับอาหารที่ทำจากโลหะและโลหะผสม มีการเคลื่อนย้ายของโลหะทั้งส่วนประกอบหลักและสิ่งเจือปน ดังนั้นเพื่อช่วยเหลืออุตสาหกรรมและหน่วยงานด้านอาหารแห่งชาติสภายุโรป สภายุโรปได้เสนอข้อจำกัดการปลดปล่อยเฉพาะ (SRL) สำหรับโลหะหนักส่วนใหญ่แสดงดังตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบปริมาณโลหะกับปริมาณที่ร่างกายรับโดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย

	ค่าเฉลี่ย $(mg/day)^{-1}$	ค่าเฉลี่ย (mg/weeks)	ปริมาณที่ร่างกายรับได้ต่อสัปดาห์โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (PTWI) (mg/kg b.w./weeks)	การบริโภคได้ประจำวัน เช่น TDI หรือ PMTDI (mg/kg b.w./day)	ประมาณจากการบริโภคประจำวัน (mg/weeks)[2]	ค่าเฉลี่ย % ของปริมาณที่ร่างกายได้รับต่อสัปดาห์โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย[3]
Fe	15	105	-	0.8 (PMTDI)	336	31
Ni	0.4	2.8	-	0.005 (TDI)	2.1	>100
Al	6	42	7	-	420	10
Cu	3	21	-	0.5 (PMTDI)	210	10
Cr	0.04	-	0.250	0.3 (TDI)	-	-
Pb	0.05	0.35	0.025	-	1.5	23
Mn	-	-	-	-	-	-
Ag	0.007	0.05	-	-	-	-
C	0.2	1.4	-	-	-	-
Sn	4	28	14	-	840	3

หมายเหตุ Tolerable Daily Intake (TDI) หรือ Provisional Maximum Tolerable Daily Intake (PMTDI) หน่วย mg/kg b.w./day

ที่มา: [1]Beliles (1994); Codex (1995)

[2]ประมาณจากการบริโภคประจำวันต่อน้ำหนักตัวต่อกิโลกรัมสำหรับคน 60 กิโลกรัม

[3]คำนวณจาก: ค่าเฉลี่ย (mg/weeks)*100/ประมาณจากการบริโภคประจำวัน (mg/weeks)

ตารางที่ 2.8 ข้อจำกัดการปลดปล่อยแบบเฉพาะเจาะจง (SRL) โดยสภายุโรป

ชนิดโลหะ	**ข้อจำกัดการปลดปล่อยแบบเฉพาะเจาะจง โดยสภายุโรป (mg/kg)**
Aluminium	5
Antimony	0.04
Arsenic	0.002
Barium	1.2
Beryllium	0.01
Cadmium	0.005
Chromium	0.250
Cobalt	0.02
Copper	4
Iron	40
Lead	0.010
Lithium	0.048
Magnesium	ข้อจำกัดการปล่อยเฉพาะพบว่าไม่จำเป็น
Manganese	1.8
Mercury	0.003
Molybdenum	0.12
Nickel	0.14
Silver	0.08
Thallium	0.0001
Tin	100
Titanium	ข้อจำกัดการปลดปล่อยเฉพาะพบว่าไม่จำเป็น
Vanadium	0.01
Zinc	5

ที่มา: Commission Regulation (Eu) No 10/2011 (2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การประเมินความเสี่ยงความเป็นพิษของสารเคมีที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ (Jutarut, 2012)

การประเมินความเสี่ยงถือเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์เนื่องจากประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลงานวิจัย การวิเคราะห์ทางสถิติ หรืออาจมีการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการคาดการณ์หาระดับความเสี่ยง โดยข้อมูลการประเมินความเสี่ยงความเป็นพิษของสารเคมีที่มีต่อสุขภาพส่วนใหญ่แสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างประมาณสารเคมีที่ได้รับ (Dose) และผลกระทบที่มีต่อร่างกาย และการประเมินความเสี่ยงยังสามารถหาจุดวิกฤตของปริมาณการได้รับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้อีกด้วย และนอกจากนี้ข้อมูลจากการทำประเมินความเสี่ยงยังใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ในการพัฒนานโยบายด้านสุขภาพของมนุษย์ ช่วยลดปัญหาด้านสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกสารเคมี

กระบวนการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการสัมผัสสารเคมีที่เป็นอันตราย สามารถสรุปขั้นตอนหลักๆ ได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การระบุถึงอันตราย (Hazard identification) คือ ความพยายามในการหาหรือสำรวจว่าสารเคมีชนิดใดในสถานที่ใดที่ทำให้เกิดสารพิษและมีผลต่อสุขภาพรวมถึงการบันทึกข้อมูลระดับความเข้มข้นที่ได้รับเชิงปริมาณ ระยะเวลาที่ได้รับ ซึ่งข้อมูลจากขั้นตอนนี้มีความสำคัญในการนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป

2. ความสัมพันธ์ของการตอบสนองกับปริมาณพิษที่ได้รับ (Dose-response relationships) คือ การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ว่าปริมาณการได้รับสัมสัมผัสที่รับระดับต่างๆ มีผลต่อสุขภาพหรือไม่ ซึ่งจะช่วยในการระบุระดับความปลอดภัย ในเรื่องระดับการสัมผัส และระยะเวลาและระดับความปลอดภัยเมื่อต้องสัมผัสกับสารเคมีดังกล่าว
ในขั้นตอนการประเมินความสัมพันธ์ผลกระทบต่อสุขภาพต่อปริมาณพิษที่ได้รับ ใช้ข้อมูลจากกลไกของการเกิดมะเร็งมาประเมินความเสี่ยง ซึ่งข้อมูลด้านกลไกการเกิดมะเร็งต่อปริมาณสารก่อมะเร็ง ซึ่งวิจัยโดย Vainio และคณะ ถูกใช้ในการวิเคราะห์หาสารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็งและเป็นข้อมูลที่มีบทบาทสำคัญสำหรับหน่วยงาน International Agency for Research on Cancer (IARC) ในการแยกสารประเภทสารเคมีที่ก่อให้เกิดสารมะเร็ง

3. การประเมินการสัมผัส (Exposure assessment) ในส่วนขั้นตอนนี้เป็นการประเมินระดับการสัมผัสส่วนบุคคลว่าได้รับพิษจากสารเคมีมากน้อยเพียงใด โดยจะพิจารณาจากวิธีการสัมผัส ขนาดการสัมผัส ระยะเวลาการสัมผัส รวมถึงตัวกลางในการสื่อสารเคมีจากสิ่งแวดล้อมมาถึงมนุษย์

4. การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk characterization) ขั้นตอนนี้ถือเป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งจะต้องใช้ข้อมูลจาก 3 ขั้นตอนขั้นต้นมาร่วมพิจารณา เช่น การสัมผัสกับสารเคมีในสถานที่นั้นๆ เป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือไม่ ถ้ามีความเสี่ยง ก็จะต้องสามารถอธิบายบอกได้ว่ามีความเสี่ยงในระดับขั้นใด และระดับความเสี่ยงสูงสุด ต่ำสุด มีค่าเป็นเท่าใด เป็นต้น ซึ่งข้อมูลจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนนี้จะทำให้การตัดสินใจในการจัดการความเสี่ยงง่ายขึ้น และเจ้าหน้าที่สามารถออกแบบหรือหาแนวทางในการช่วยลดระดับความเสี่ยงที่เหลืออยู่ได้

2.12 การประเมินการสัมผัส (Exposure assessment)

เป็นการประเมินสารเคมีหรือสารอันตรายที่เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งผู้ประเมินจำเป็นต้องทราบความเข้มข้นของสารเคมีในอาหาร น้ำดื่ม ที่เกี่ยวข้องของประชาชนแต่ละกลุ่ม โดยจะต้องอาศัยการเก็บตัวอย่างสำหรับการตรวจวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง เพื่อทราบความเข้มข้นที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา

ขั้นตอนการประเมินการสัมผัสมีดังนี้

2.12.1 วิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อพิจารณาความสำคัญต่อการได้รับสัมผัสของประชากรหลักข้อมูลที่ต้องนำมาพิจารณาได้แก่

1.1 วิถีทางและปริมาณของสารอันตรายที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย เช่น การหายใจ การบริโภค และการสัมผัส

1.2 แหล่ง สถานที่ ช่วงเวลา และปริมาณที่สารอันตรายถูกปล่อยจากแหล่งต้นกำเนิด ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้ผู้ประเมินทราบว่า ได้รับสัมผัสสารอันตรายที่ต้องประเมินหรือไม่ ในลักษณะใด

1.3 ความเข้มข้นของสารอันตรายในตัวกลางต่างๆ เพื่อประเมินการได้รับสัมผัส

1.4 ลักษณะและจำนวนกลุ่มประชากรที่ได้รับสัมผัส เป็นการหาขนาดที่กลุ่มประชากรหรือกลุ่มบุคคลได้รับสารอันตราย โดยผู้ประเมินต้องอธิบายลักษณะของกลุ่ม เช่น อายุ เพศ สุขอนามัย ช่วงเวลาการได้รับสัมผัส เป็นต้น

2.12.2 การคำนวณการได้รับสัมผัสของสารและความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัส (U.S.EPA, 2015)

การคำนวณการได้รับสัมผัสโลหะหนักในน้ำใช้สูตรคำนวณตามสมการที่ 2.1

$$\textbf{I ingestion} = \frac{CW \times IR \times CF \times EP}{BW \times AT} \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 พารามิเตอร์ของตัวแปรสมการ

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวแปร
ปริมาณสารที่ร่างกายได้รับ	(mg/kg-weight/day)	I
ความเข้มข้นของสารในเครื่องดื่ม	(mg/L)	CW
อัตราการบริโภคเครื่องดื่ม	(L/day)	IR
จำนวนวันที่สัมผัสใน 1 ปี	(day/year)	CF
จำนวนปีที่สัมผัสสาร	(year)	EP
น้ำหนักของร่างกาย	(kg)	BW
ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสตลอดชีวิต	(day)	AT
ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง	-	Cancer risk
ดรรชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง	-	HI
Slope factor Nickle	$(mg/kg\text{-}day)^{-1}$	SF
Reference Dose	(mg/kg-day)	RfD

การคำนวณความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งใช้สูตรคำนวณตามสมการที่ 2.2

$$\textbf{Cancer risk} = I \times SF \qquad (2.2)$$

โดย

- ค่าความเสี่ยงเล็กน้อย น้อยกว่า 10^{-6} หรือ 1.0E-06 (น้อยกว่า 1 คน ในประชากร 1,000,000 คน)

- ค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 10^{-6} ถึง 10^{-4} หรือ 1.0E-06 ถึง 1.0E-04 (1 คน ในประชากร 1,000,000 ถึง 1 คน ในประชากร 10,000 คน)

- ค่าความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ มากกว่า 10^{-4} หรือ 1.0E-04 (มากกว่า 1 คน ในประชากร 10,000 คน)

การคำนวณความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งใช้สูตรคำนวณตามสมการที่ 2.3

$$\textbf{HI (Hazard Index)} = \frac{I}{RfD} \qquad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

ค่าความเสี่ยง (HI) ที่คำนวณออกมามีค่า > 1 แสดงว่ามีโอกาสจะเกิดผลเสียต่อสุขภาพ

ค่าความเสี่ยง (HI) ที่คำนวณออกมามีค่า ≤ 1 แสดงว่าไม่มีนัยสำคัญที่จะเกิดผลเสียต่อสุขภาพ

2.12.3 การจัดกลุ่มของสารก่อมะเร็ง (IARC , 2016)

สถาบันการวิจัยมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer) หรือ IARC เป็นหน่วยงานในสังกัดองค์การอนามัยโลก ได้ทำการศึกษาข้อมูลทั้งทางวิทยาการระบาดในคน สัตว์ทดลอง และกลไกการออกฤทธิ์ของสารเคมี เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการจัดกลุ่มสารก่อมะเร็ง โดย IARC ให้น้ำหนักกับข้อมูลระบาดวิทยาในมนุษย์ มากกว่าหลักฐานในสัตว์ทดลอง และกลไกการออกฤทธิ์ของสารนั้น การจัดกลุ่มสารก่อมะเร็งของ IARC แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มหลัก คือ

กลุ่มที่ 1 ยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Carcinogenic to humans) มีจำนวน 118 สาร สารกลุ่มนี้จำกัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบ หรือสถานการณ์ที่มีการสัมผัส ที่พบว่ามีหลักฐานเพียงพอที่จะก่อให้เกิดมะเร็ง ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ แอสเบสตอส 4 - อะมิโนไบฟีนิล สารหนู เบนซีน โครเมียม วาเลนซี VI สารประกอบของนิกเกิล เรดอน ไวนิลคลอไรด์ ถ่านหิน การผลิตอลูมิเนียม และแคดเมียม เป็นต้น

กลุ่ม 2A น่าจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (probably carcinogenic to humans) มีจำนวน 75 สาร เป็นสารที่มีหลักฐานจำนวนน้อย ที่บ่งชี้ว่าทำให้เกิดมะเร็งในคน แต่เพียงพอที่จะสรุปได้ว่าทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ได้แก่ เบริลเลียม ซิลิกา สไตรีนออกไซด์ ควันท่อไอเสียรถยนต์จากน้ำมันดีเซล การสัมผัสสารปิโตรเลียม สารกำจัดศัตรูพืชชนิดที่ไม่มีสารหนูผสม เป็นต้น

กลุ่ม 2B อาจจะเป็นสารก่อมะเรงในมนนุษย์ (possibly carcinogenic to humans) มีจำนวน 228 สาร การสัมผัสสารในกลุ่มนี้ในปริมาณหรือระยะเวลาหนึ่ง มีความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็งในคน ขณะเดียวกันมีข้อมูลแน่ชัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง แต่ไม่มีข้อมูลเพียงพอว่าเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งในคน ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ อะครัยลาไมด์ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ครอโรฟอร์ม โคบอลท์ ตะกั่วอนินทรีย์ สไตรีน ยูรีเทน เป็นต้น

กลุ่ม 3 ไม่สามารถจัดกลุ่มได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (not classifiable as to its carcinogenic to humans) มีจำนวน 503 สาร ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ ไก้แก่ ฟลูออรีน บิวทิลอะคลิเลต โทลูอีน ฟีนอล เป็นต้น

กลุ่ม 4 น่าจะไม่เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (probably not carcinogenic to humans) มีจำนวน 1 สาร คือ คาโปรแลคตัม

นอกจากนี้กระทรวงอุตสาหกรรมได้ออกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ภายใต้

เอกสารนี้เป็น[illegible]ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 เรื่อง ระบบการจำแนกและการสื่อสารความเป็นอันตรายของวัตถุอันตราย พ.ศ. 2555 ตามระบบ Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals หรือระบบ GHS ซึ่งเป็นระบบการจำแนกประเภทและการติดฉลากสารเคมีที่เป็นระบบเดียวกันทั่วโลก โดยมีการจำแนกความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ตามความสามารถในการก่อมะเร็งของสารเคมีออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่ม 1 ทราบแน่ชัดหรือทำให้เกิดมะเร็ง แบ่งเป็น

กลุ่ม 1A ทราบแน่ชัดว่าทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ การจัดสารในกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับหลักฐานในมนุษย์เปรียบเทียบได้กับการจำแนกตาม IARC กลุ่ม 1

กลุ่ม 1B คาดว่าทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ การจัดการสารในกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับหลักฐานในสัตว์ทดลอง เปรียบเทียบได้กับการจำแนกตาม IARC กลุ่ม 2A

กลุ่ม 2 อาจทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ แต่ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะจัดให้เข้าอยู่ในกลุ่ม 1 เปรียบเทียบได้กับการจำแนกตาม IARC กลุ่ม 2B

สำหรับการจำแนกตาม IARC ในกลุ่ม 3 และ 4 นั้น ตามระบบ GHS ไม่มีการจำแนกสารในกลุ่มดังกล่าวไว้

Acceptable Daily Intake เรียกย่อว่า ADI หรือระดับที่ยอมรับได้ต่อวัน คือปริมาณวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) วัตถุอันตรายทางการเกษตร (pesticides) ที่อยู่ในอาหาร กำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัวของผู้บริโภคต่อวัน หากบริโภคสารนี้ในปริมาณดังกล่าวเข้าไปในร่างกายทุกวัน เป็นระยะเวลานาน ยังไม่พบความเสี่ยงที่มีผลกระทบซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดค่าความปลอดภัยของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) ที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ไว้ คือ ปริมาณที่ได้รับไม่เกิน 0.7 มิลลิกรัมต่อคนต่อวัน

ค่า ADI ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณากำหนดค่า Maximum residue levels (MRLs) ซึ่งเป็นปริมาณสารตกค้างสูงสุดของวัตถุอันตรายทางการเกษตร (pesticides)

2.13 ข้อมูลการบริโภคเครื่องดื่มของประชากรไทย อายุ 18 – 34.9 ปี

จากข้อมูลการบริโภคของประชากรไทยปี 2559 ช่วงอายุ 18 – 34.9 ปี เมื่อคัดเลือกปริมาณการบริโภคเฉพาะเครื่องดื่มพร้อมบริโภคจะมีปริมาณการบริโภคซึ่งแสดงตามตารางที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 ปริมาณการบริโภคเครื่องดื่มของประชากรไทยอายุ 18 – 34.9 ปี

	เครื่องดื่ม	ปริมาณการบริโภค (มิลลิลิตร/คน/วัน)
1	ไมโล โอวัลติน โกโก้ พร้อมดื่ม	180
2	น้ำผลไม้คั้นสด เช่น น้ำส้มคั้น	114.28
3	น้ำผลไม้พร้อมดื่ม 100% เช่น ทิปโก้ มาลี	85.72
4	เครื่องดื่มประเภท น้ำหวาน เครื่องดื่มรสผลไม้ (น้ำผลไม้ 10-25%) เช่น สแปลช ดีโด้	192.87
5	เครื่องดื่มประเภท น้ำหวาน เครื่องดื่มรสผลไม้ พร้อมดื่ม	154.28
6	น้ำอัดลมประเภทน้ำสีและไม่มีสี เช่น น้ำส้ม น้ำแดง น้ำเขียว	285.7
7	น้ำอัดลมประเภทน้ำสีและไม่มีสี (เครื่องกดน้ำอัดลม)	94.28
8	น้ำอัดลมประเภทน้ำดำ (รสโคล่า)	560
9	น้ำอัดลมประเภทน้ำดำ (รสโคล่า) ใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาล	46.44
10	น้ำอัดลมประเภทน้ำดำ (รสโคล่า) (เครื่องกดน้ำอัดลม)	137.14
11	เครื่องดื่มชาเขียว ชาดำ เช่น โออิชิ อิชิตัน ลิปตัน	420
12	ชาชงต่าง ๆ พร้อมดื่ม	141.44
13	เครื่องดื่มกาแฟ เช่น ไอวี่ เบอร์ดี้	77.15
14	เครื่องดื่มกาแฟ พร้อมดื่ม	180
15	เครื่องดื่มเกลือแร่	250
16	เครื่องดื่มชูกำลัง	150
17	น้ำเปล่า	3000

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี (Atomic Absorption Spectrometry: AAS) (ชนัญชิดา, 2560)

เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี (AAS) ประกอบด้วยสองกลไกคือ

1. ธาตุในตัวอย่างดูดกลืนพลังงานในรูปต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือพลังงานความร้อนจากไฟฟ้ากลายเป็นอะตอมอิสระ

2. อะตอมอิสระเกิดการดูดกลืนแสงที่มาจากแหล่งภายนอก โดยแสงนี้มีความยาวคลื่นเฉพาะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ มีผลทำให้อะตอมของธาตุเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะพื้น (Ground State) สู่สถานะกระตุ้น (Excited State) ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณของธาตุนั้นๆ

องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง AAS จะมีด้วยกัน 5 ส่วน ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source) แหล่ง กำเนิดแสงของ AAS โดยทั่วไป เป็นหลอดแบบ hollow cathode lamp (HCL) และ electrodeless discharge lamp (EDL) โดยแหล่งกำเนิดแสงของ AAS ของเครื่องที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ มีปัจจุบัน เป็นชนิด hollow cathode lamp (HCL) ซึ่งในหลอด (lamp) จะบรรจุ buffer ของแก๊สเฉื่อย (inert gas) เช่น แก๊สอาร์กอน(Ar) หรือ นีออน(Ne) และมีการเคลือบเกลือของธาตุโลหะที่จะวิเคราะห์ไว้ที่ขั้ว cathode ของ lamp โดยจะมีการให้ศักย์ไฟฟ้า (apply voltage) ให้แก่ขั้ว cathode เกิดการ ionization ของ inert gas ไปชนกับเกลือของธาตุโลหะที่เคลือบไว้ ทำให้ธาตุโลหะหลุดออกจากขั้ว cathode แล้วไปชนกับ inert gas ทำให้ธาตุโลหะเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น(ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น(exited state) แต่ไม่เสถียร จึงปล่อยพลังงานออกมาเป็นพลังงานแสงที่ความยาวคลื่นจำเพาะกับธาตุแต่ละธาตุซึ่ง hollow cathode lamp มีทั้งแบบ single lame (ปล่อยพลังงานช่วงความยาวคลื่นสำหรับวิเคราะห์ธาตุใดธาตุหนึ่ง) และ แบบ multiple lamp (ที่ขั้ว cathode จะเคลือบเกลือของธาตุโลหะหลายชนิด มีการปล่อยพลังงานในหลายช่วงตามระดับพลังงานของธาตุที่เคลือบไว้ จะอาศัย monochromator ในการเลือกแสงที่ระดับความยาวคลื่นที่ต้องการใช้)

2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ (atomizer หรือ atomization process) การทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานความร้อนเข้าไป ซึ่งพลังงานดังกล่าวอาจอยู่ในรูปต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งส่วนประกอบของเครื่อง AAS ที่ให้พลังงานความร้อนเพื่อทำให้เกิดอะตอมอิสระนั้นเรียกว่า atomizer และกระบวนการที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระนั้นเรียกว่า Atomization process ซึ่ง Atomization process ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ Flam Atomization, Electrothermal atomization หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graphite furnace หรือ flameless atomization , Hydride Generation Techique และ Cold Vapor Technique โดยมีรายละเอียดของแต่ละเทคนิคดังนี้

1. Flam Atomization ใช้พลังงานความร้อนจากเปลวไฟทำให้เกิด atomization process แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่

1.1. Nebulization เป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองฝอยเล็กๆ (mist หรือ aerosol) ด้วยส่วนของเครื่องที่เรียกว่า nebulizer โดยเครื่องจะดูดสารละลายเข้าไปเพื่อพ่นให้สารละลายไปชนกับ glass bead เพื่อให้เกิดเป็นละอองฝอย

1.2. Droplet precipitation> เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กบางส่วน รวมกันเป็นหยดสารละลาย ไม่สามารถลอยอยู่ในอากาศได้จึงตกลงมาแล้วออกไปทางท่อน้ำทิ้ง (drain)

1.3. Mixing เป็นกระบวนการที่ mist หรือ aerosol ผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง(fuel) และ ออกซิเดนท์แก๊ส (oxidant gas) เกิดใน spray chamber ของ nebulizer

1.4. Desolvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ใน mist หรือ aerosol ถูกกำจัดออกไปทำให้เป็นอนุภาคเล็กๆ ของสารประกอบ (solid paticles)

1.5. Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยพลังงานความร้อนจากเปลวไฟทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นเป็นออกไซด์ เป็นโมเลกุลและเป็นอะตอมอิสระ

2. Electrothermal atomizations, Graphite furnace หรือ flameless atomization ใช้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้าทำให้เกิด atomization process แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

2.1. Drying stage เป็นการค่อยๆ ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง เพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป โดยปกติใช้อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 100°C)

2.2. Ashing stage เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนสูงขึ้น (อาจถึง 1,500 °C) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยเลกุลของสารเหล่านั้นจะแตกตัวออกไปเหลือแต่สารอนินทรีย์ที่เสถียรเท่า นั้น โดยทั่วไปอยู่ในรูปของโลหะออกไซด์

2.3. Atomization stage เป็นขั้นตอนที่สารที่เหลืออยู่ถูกเผาที่อุณหภูมิสูง (อาจถึง 3,000 °C) เพื่อให้สลายเกิดเป็นอะตอมอิสระ

3. Hydride Generation Techique เนื่องจากธาตุบางชนิดจะเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิค Flam Atomization และ Electrothermal atomization ไม่ได้ จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการ รวมกับออกซิเจน ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านั้นกลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่ายๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการ reduce ให้เป็น hydrided แล้วให้ hydrided นั้นผ่านเข้าไปในเปลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟไฮโดรเจนจะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Bi, Se, Pb, Sb, Sn และ Te

4. Cold Vapor Technique จัดเป็นวิธีflameless atomization แบบ Vapor Genearation ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่เปลี่ยนเป็นไอได้ง่าย ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์ปรอท โดยใช้การ reduction ของสารประกอบปรอท

5 Monochromator ใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ (wavelength selector)

6. Detector ของ AAS เป็นชนิด Photo Multiplier Tube (PMT)

7. เครื่องประมวลผลและอ่านผล

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายของสารจากบรรจุภัณฑ์ที่เป็นโลหะไปยังอาหารนั้นพบว่ามีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ทำการศึกษาในเรื่องนี้ โดย Kumar, Srivastava P.K. and Srivastava S.P. (1994) ได้ศึกษาการปนเปื้อนจากการหลุดลอกของโลหะหนัก (Cr, Fe และ Ni) จากภาชนะสแตนเลส 2 ชนิดคือ tumbler และ bow โดยแบ่งออกเป็นภาชนะใหม่จำนวนสามยี่ห้อและเป็นภาชนะที่เคยถูกใช้งานมาแล้ว 2 ยี่ห้อ ทำการทดสอบโดยการบรรจุในน้ำกลั่นอาหารจำลองสองชนิดคือ 5% sodium carbonate และ5% acetic acid และอาหารอื่นได้แก่ นม ชา กาแฟ เคิร์ด น้ำผลไม้ และมะนาวดอง จากนั้นนำมาวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption พบว่าอาหารทุกชนิดที่นำมาทดสอบมีผลต่อการหลุดออกของเหล็กจากภาชนะทั้งหมดขณะที่นิกเกิลและโครเมียมตรวจไม่พบใน Food simulant นม ชา และกาแฟ ซึ่งเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำกล่าวได้ว่ามีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนของโลหะหนักในอาหาร ได้แก่ พื้นที่ผิว และคุณสมบัติทางกายภาพของภาชนะที่สัมผัสอาหารความเป็นกรด-ด่างของอาหารที่บรรจุ อุณหภูมิ การเขย่ารวมถึงคุณสมบัติทางเคมีขององค์ประกอบในภาชนะนั้นๆ

Herting, Wallinder and Leygraf (2008)ได้ศึกษาการสึกกร่อนสแตนเลสชนิดเฟอริติก (Ferritic stainless steel grade AISI 430) ที่มีลักษณะพื้นผิวต่างกัน 3 ชนิด คือ ขัดเงา เป็นเส้น และเป็นร่อง (glossy, line and abraded) โดยมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของสแตนเลสต่อปริมาตรสารละลายอาหารจำลอง 3% acetic acid 0.5 และ 2 mL^{-1} ทำการทดสอบตาม Italian law text D.M. 21-03-1973, Art. 37 ซึ่งทดสอบที่อุณหภูมิ 40 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 10 วัน และทดสอบที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 90 นาที (จุ่มครั้งละ 30 นาที 3 ครั้ง) พบว่ากระบวนการปลดปล่อยของโครเมียม (Cr) และเหล็ก (Fe) จะแปรผันตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของสแตนเลสต่อปริมาตรสารละลายอาหารจำลองอุณหภูมิและความหยาบผิว (ขัดเงา<เป็นเส้น<เป็นร่อง) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Silviu – Gabriel (2011) ที่ได้ทำการศึกษาสแตนเลสกลุ่มออสซินิติก โดยการใช้เครื่อง scanning electronic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

microscopy (SEM) เพื่อตรวจดูองค์ประกอบของสแตนเลส พบว่ามีองค์ประกอบดังนี้ Cr=17.575 wt %, Mn=0.850 wt %, Ni=10.535 wt %, C=0.023 wt%., Fe=71.017 wt% และได้เปรียบเทียบการปลดปล่อยของ Fe และ Ni จากสแตนเลสที่พื้นผิวต่างกันแล้วนำไปแช่ใน 3 % Acetic Acid โดยใช้เวลาต่างกันคือ 30, 45, 60, 75, 90 นาที ที่อุณหภูมิ 100 °C ผลการศึกษาพบว่าสแตนเลสที่มีผิวมันมีการปลดปล่อยของเหล็ก และนิกเกิล น้อยกว่าแบบที่มีความขรุขระ และเวลาที่เพิ่มขึ้นประมาณการปลดปล่อยของเหล็ก และนิกเกิล จะเพิ่มมากขึ้น โดยที่ปริมาณการปลดปล่อยของเหล็กนั้นจะมีปริมาณมากกว่านิกเกิล เช่นเดียวกับ Yuan Chen, Guangdong Province, Yangjiang City (2014) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนย้ายของนิกเกิลและโครเมียมในสแตนเลส โดยทำการจุ่มสแตนเลสทั้งชิ้นและที่ผ่านการตัดใน 4 % Acetic acid เป็นเวลา 12, 18, 21, 24, และ 27 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 15, 20, 25, 30, 35 °C พบว่าพื้นผิวสัมผัสของสแตนเลสมีผลต่อการปลดปล่อยของโครเมียม และนิกเกิล และพบว่าลักษณะของการแช่ตัวอย่างหากมีการตัดชิ้นตัวอย่างแล้วแช่ในสารละลายนั้นจะมีการปล่อยของโครเมียม และนิกเกิล มากกว่าชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการตัด และอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ตัวอย่างในสารละลายที่เพิ่มมากขึ้นนั้นทำให้เกิดการปลดปล่อยของโครเมียม และนิกเกิลที่เพิ่มมากขึ้น

Pang Jin-shan, Zeng Yi, Peng Xiao-jun, Song Chuan-wang (2013) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการกัดกร่อนและการเคลื่อนย้ายโลหะหนักของสแตนเลสเกรด SUS443, SUS304 และ SUS 201 โดยการแช่ในสารละลาย 3% acetic acid โดยใช้อุณหภูมิที่ 30°C, 50 °C, 70°C และ 100 °C พบว่าปริมาณของโลหะหนักที่เกิดการเคลื่อนย้ายเรียงลำดับจากน้อยไปหามากดังนี้ SUS443, SUS304 และ SUS 201 โดยเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 50°C การเคลื่อนย้ายจะไม่แตกต่างกันกับการใช้อุณหภูมิ 30°C แต่เมื่อให้อุณหภูมิสูงกว่า 70 °C จะเกิดการเคลื่อนย้ายของสารเพิ่มขึ้นที่แตกต่างกันอย่างมีนับสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการใช้อุณหภูมิ 30 °C นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก Fe, Ni, Mn จากสแตนเลสชนิดมีแมงกานีสสูง (กลุ่มออสเทนนิติริก) นำมาศึกษาโดยใช้ตัวกลาง อะซิเตทคลอรีน เปรียบเทียบกับอะซิเตท พบว่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก Fe, Ni, Mn ในอะซิเตทคลอรีนนั้นเกิดขึ้นมากกว่าในอะซิเตท

N. Mazinanian , I. Odnevall Wallinder, Y. Hedberg (2015) ได้ทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแทนอาหารจำลองระหว่าง 0.3 % Citric Acid ซึ่งมาจากวิธีการทดสอบของมาตรฐาน CoE เปรียบเทียบกับ 3 % Acetic Acid ซึ่งมาจากวิธีการทดสอบของมาตรฐานของประเทศอิตาลี โดยทดสอบกับสแตนเลสเกรด AISI 201 พบว่าการใช้ 0.3% Citric Acid นั้นมีความรุนแรงมากกว่าส่งผลให้การปลดปล่อยของโลหะ Fe, Mn, Cr, Ni จากสแตนเลสเกรด AISI 201 เกิดขึ้นมากกว่า และได้พบว่า Cr ที่ปลดปล่อยออกนั้นพบในรูปของไตรวาเลนซ์ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นนั้นจะส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยของโลหะมากขึ้นด้วย และในปี 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยของโลหะ และ ความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสแตนเลสกลุ่มออสเทนนิติก (เกรด AISI 201, 204, 304 และ 316L) เฟอร์ริติก (เกรด AISI 430 และ EN1.4003) และสแตนเลสแบบลีนดูเพล็กซ์ (เกรด EN 1.4162) โดยใช้ตัวแทนของอาหารจำลองคือ 5 % Citric Acid (pH 2.4), 0.5M NaCl (pH 5.5) และ น้ำกลั่น (pH 7.5) โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหาร แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 10 วัน พบว่ามีการปลดปล่อยของโลหะน้อยกว่ามาตรฐาน CoE Guideline ที่กำหนดไว้ และเมื่อสัมผัสกับ 5 % Citric Acid (pH 2.4) พบว่า สแตนเลสที่มีส่วนผสมของเหล็กมากนั้นจะมีการปลดปล่อย Fe ออกมาเป็นปริมาณมาก แต่สแตนเลสที่มีส่วนผสมของโครเมียมเพิ่มขึ้นจะพบว่าการปลดปล่อยของ Fe จะลดลง โดยที่การปลดปล่อยของ Cr, Ni, Mn หรือ Mo ไม่มีความเกี่ยวข้องกับปริมาณของโครเมี่ยมที่เพิ่มมากขึ้น มีการปลดปล่อยของ Fe ใน 5 % Citric Acid และ Mn ในทุกตัวแทนของอาหารจำลอง ในส่วนของ Ni มีการปลดปล่อยออกมาปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับโลหะอื่น และพบว่าสแตนเลสที่ผ่านการใช้งานซ้ำหลายๆครั้งและผ่านการขัดถู ปริมาณของ Fe ที่ปลดปล่อยออกมาจะลดลงกว่าการปลดปล่อยจากการใช้งานครั้งแรก

จินตนา และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาการชะของสารตะกั่วในน้ำก๋วยเตี๋ยวจากหม้อก๋วยเตี๋ยวที่บัดกรีด้วยสารตะกั่ว โดยศึกษาได้นำหม้อก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสแตนเลส 304 และ 304L เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว ความสูง 15 นิ้ว ขนาด 3 ช่อง ที่บัดกรีด้วยสารตะกั่วโดยกำหนดสภาวะการศึกษาดังนี้ pH 5.0, 5.5, 6.0 และ 6.5 และความเค็มที่ระดับ 0.0, 0.5, 1.0 และ 1.5 % นำไปต้มให้เดือดที่ 100 °C ระยะเวลาการต้ม 3 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่า ที่ค่า pH 5.0 และค่าความเค็ม 1.5 % ปริมาณการชะของสารตะกั่วเกิดขึ้นมากที่สุด และ pH ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณการชะของสารตะกั่วที่เพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณที่สารตะกั่วชะออกมามากที่สุดมีค่าเท่ากับ 59.40 µg/L เมื่อเทียบกับปริมาณการได้รับมีค่าเท่ากับ 0.99 µg/kg/day คิดเป็นร้อยละ 27.50 ของค่า TDI ซึ่งกำหนดไว้ที่ 3.6 µg/kg/day

การศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารในวัสดุอื่นๆนั้นมีการรวบรวมรายงานการวิจัยโดยคุณอรวรรณ (2547) ได้รายงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์สารปริมาณโลหะหนัก 2 ชนิด คือตะกั่ว และแคดเมี่ยม จากภาชนะสัมผัสอาหารที่ทำจากแก้ว ทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 32/2528 โดยใช้ตัวแทนของการทดสอบคือตัวอย่างภาชนะแก้ว 11 ชนิด ทดสอบโดยใช้ 4 % Acetic Acid เวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 22 °C จากผลการทดลองในตัวอย่างภาชนะแก้วทั้ง 11 ตัวอย่าง พบว่า เกิดการการเคลื่อนย้ายของตะกั่วไม่เกิน 2.5 mg/L และแคดเมียมไม่เกิน 0.25 mg/L ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด แสดงให้เห็นถึงว่าตัวอย่างดังกล่าวมีความปลอดภัยต่อการนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารและ Farhoodi และคณะ (2013) ได้ศึกษาการเคลื่อนย้ายของอลูมิเนียม (Al) และซิลิกอน (Si) จากบรรจุภัณฑ์ขวด PET nanocomposites ที่ประกอบด้วย 3 % นาโนเคล์ยในอาหารจำลองที่มีความเป็นกรดสูง (กรดอะซิติก 3% w/v) ตามมาตรฐาน ASTM D4754-98 (American Society for Testing and Materials) โดยใช้วิธี ICP -optical emission spectrometry ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25 และ 45 °C เป็นเวลา 90 วันพบว่าการเคลื่อนย้ายของทั้งอลูมิเนียม (Al) และซิลิกอน (Si) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นและที่อุณหภูมิที่ 45 °C พบการเคลื่อนย้ายของสารสูงกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C โดยที่ระยะเวลา 90 วันที่อุณหภูมิ 25 และ 45 °C พบการไมเกรทของ Al เท่ากับ 0.18 และ 0.34 ตามลำดับส่วนการไมเกรทของ Si มีค่าเท่ากับ 6.0 และ 9.5 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังตารางที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อผู้วิจัย/ ผู้รายงาน	วัสดุที่ทำการวิจัย	Food Simulant	สภาวะการทดลอง	วิธีที่ใช้ในการวิจัย	ผลที่ได้
Kumar, Srivastava P.K. and Srivastava S.P.	ภาชนะสแตนเลส Tumbler, Bow	5%sodium carbonate 5% acetic acid	แช่ไว้ 2 ชั่วโมง	AAS	ตรวจไม่พบนิกเกิลและโครเมียม
Herting, Wallinder and Leygraf	สแตนเลสชนิดเฟอริติก ขัดเงา เป็นเส้น และ เป็นร่อง	3%acetic acid	40°C/ 10 วันและ 100°C 90 นาที (จุ่มครั้งละ 30 นาที 3 ครั้ง)	AAS	การปลดปล่อยแปรผันตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของสแตนเลสต่อปริมาตรสารละลายอาหารจำลอง อุณหภูมิและผิวสัมผัส
Troe et al.	สแตนเลสกลุ่มออสซินิติก	3% acetic acid	30, 45, 60, 75, 90 นาที ที่อุณหภูมิ 100 °C	AAS	ความหยาบผิวของสแตนเลสและระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อการเคลื่อนย้ายของสารมากขึ้น
Pang Jin-shan et al.	จากสแตนเลสชนิดมีแมงกานีสสูง (กลุ่มออสเทนนิตริก)	อะซิเตทคลอรีน เปรียบเทียบกับอะซิเตท	40°C/ 10 วัน	AAS	การปลดปล่อยของโลหะในอะซิเตทคลอรีน เกิดขึ้นมากกว่าอะซิเตท
Yuan Chen et al.	สแตนเลส	3% acetic acid	15-35°C 12-27 ชั่วโมง	AAS	การตัดชิ้นส่วนสแตนเลสมีผลทำให้การปลดปล่อย Cr และ Ni เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 2.11 (ต่อ) สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อผู้วิจัย/ผู้รายงาน	วัสดุที่ทำการวิจัย	Food Simulant	สภาวะการทดลอง	วิธีที่ใช้ในการวิจัย	ผลที่ได้
N. Mazinanian et al.	สแตนเลส	3% Acetic Acid เปรียบเทียบกับ 0.3 % Citric Acid	40 °C, 70 °C, 100 °C	AAS	0.3 % Citric Acid และอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การปลดปล่อย Fe, Mn, Cr, Ni เพิ่มมากขึ้น
N. Mazinanian et al.	สแตนเลสกลุ่มออสเทนนิติก กลุ่มเฟอร์ริติก กลุ่มลีนดูเพล็กซ์	5 % Citric Acid, 0.5M NaCl และ น้ำกลั่น	40 °C เป็นเวลา 10 วัน	AAS	สแตนเลสกลุ่มที่มีการเติมโครเมียม จะลดการปลดปล่อยของ Fe ลง
จินตนา และคณะ	สแตนเลส 304 และ 304 L ที่บัดกรีด้วยตะกั่ว		100 °C , 3 ชั่วโมง	AAS	ที่ pH 5.0 และความเค็ม 1.5 % มีปริมาณการชะของสารตะกั่วออกมามากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.99 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน
อรวรรณ	แก้ว Glass	4 % Acetic Acid	เวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 22 °C	AAS	เกิดการไมเกรชั่นของตะกั่วไม่เกิน 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และแคดเมียมไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
Farhoodi et al.	ขวด PET nanocomposites	3% acetic acid	25°C และ 45 °C, เวลา 90 วัน	ICP -OES	ระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อการเคลื่อนย้ายของสารมากขึ้น

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องล้างแบบอัลตราโซนิค (รุ่น GT 2120 QTS, บริษัท GT Sonic, ประเทศจีน)

2. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (รุ่น SI-234, บริษัท Denver, Serial Number 25605270, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3. Incubator (รุ่น MIR-253, บริษัท Sanyo, Serial Number 01211056, ประเทศญี่ปุ่น)

4. Data Logger Temperature (รุ่น Rc-5, บริษัท Elitech, Serial Number R52314, ประเทศจีน)

5.อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (รุ่น WNB 29, บริษัท Memmert, Serial Number L6080453, ประเทศเยอรมนี)

6. Hot air Oven (รุ่น UM 400, บริษัท Memmert, Serial Number b402.1037 ประเทศเยอรมนี)

7. เครื่อง Atomic absorption spectroscopy (รุ่น PinAAcle 900F, บริษัท Perkin Elmer, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

8. pH meter (รุ่น S220, บริษัท Mettler Toledo, Serial Number 30019028, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

9. Conductivity Meter (รุ่น FE-30, บริษัท Mettler Toledo, Serial Number 3025256, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

10. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (รุ่น 500-196, บริษัท Mitutoyo, ประเทศญี่ปุ่น)

3.2 อุปกรณ์

1. ชามระเหยขนาด 200 mL (บริษัท HCT)

2. เดซิเคเตอร์

3. บีกเกอร์ 250 mL (บริษัท Pyrex)

4. ขวดปรับปริมาตร 100 mL (บริษัท Pyrex)

5.กระบอกตวงขนาด 100 mL (บริษัท Pyrex)

6. ปิเปต 5 mL (บริษัท Glassco)

7. Autopipette 20-200 µL (บริษัท Sartorius)

8. Autopipette 1000-50000 µL (บริษัท Sartorius)

9. ขวดเก็บตัวอย่าง PE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Tong

11. ไม้บรรทัด

3.3 สารเคมี

1. Acetone (Analyst Grade, บริษัท Qrec, ประเทศนิวซีแลนด์)

2. Acetic acid (glacial) 99.8% (Analyst Grade, บริษัท Qrec, ประเทศนิวซีแลนด์)

3. Nitric acid 65% (Analyst Grade, บริษัท Qrec, ประเทศนิวซีแลนด์)

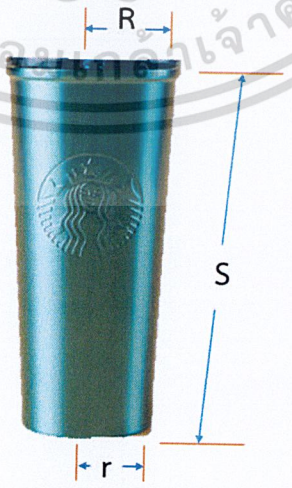
4. Multi Element Calibration Standard 3 (Analyst Grade, บริษัท Perkin Elmer, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.4 คัดเลือกตัวอย่างของแก้วเก็บความเย็นที่ทำมาจากวัสดุสแตนเลส

คัดเลือกตัวอย่างแก้วเก็บความเย็นที่ทำจากวัสดุสแตนเลส จากตลาดสำเพ็ง จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยคัดเลือกตัวอย่างมา 30 ตัวอย่าง และภาชนะต้องสามารถบรรจุตัวอย่างได้ไม่น้อยกว่า 500 มิลลิลิตร

3.4.1 ศึกษาพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวอย่างแก้วเก็บความเย็นที่ทำมาจากวัสดุสแตนเลส

โดยทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในด้านบนและล่าง และความสูงเอียงของแก้วเก็บความเย็นที่ทำมาจากวัสดุสแตนเลส โดยวัดถึงปริมาณที่บรรจุด้วยเวอร์เนียร์ โดยพิจารณารูปทรงของแก้วเก็บความเย็น หากมีลักษณะดังภาพที่ 3.1 สามารถคำนวณพื้นที่ผิวสัมผัส ดังสมการที่ 3.1 กรณีที่แก้วเก็บความเย็นมีลักษณะดังภาพที่ 3.2 สามารถคำนวณพื้นที่ผิวสัมผัส ดังสมการที่ 3.2 (ดัดแปลงจาก CEN standards EN-1186 Part 1)



ภาพที่ 3.1 การวัดขนาดแก้วเก็บความเย็นทรงกรวยตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ผิวสัมผัสทรงกรวยตัด = $(\pi(R+r)S)+\pi r^2$ (3.1)

เมื่อ s คือ ความสูงเอียงด้านในแก้วเก็บความเย็น (cm)

R คือ รัศมีด้านในแก้วเก็บความเย็นด้านบน (cm)

r คือ รัศมีด้านในแก้วเก็บความเย็นด้านล่าง (cm)

ภาพที่ 3.2 การวัดขนาดแก้วเก็บความเย็นทรงกระบอก

พื้นที่ผิวสัมผัสทรงกระบอก = $(2\pi(R)L)+\pi R^2$ (3.2)

เมื่อ L คือ ความสูงด้านในแก้วเก็บความเย็น (cm)

R คือ รัศมีด้านในแก้วเก็บความเย็น (cm)

3.4.2 การเตรียมตัวอย่างแก้วเก็บความเย็นที่ทำมาจากวัสดุสแตนเลส

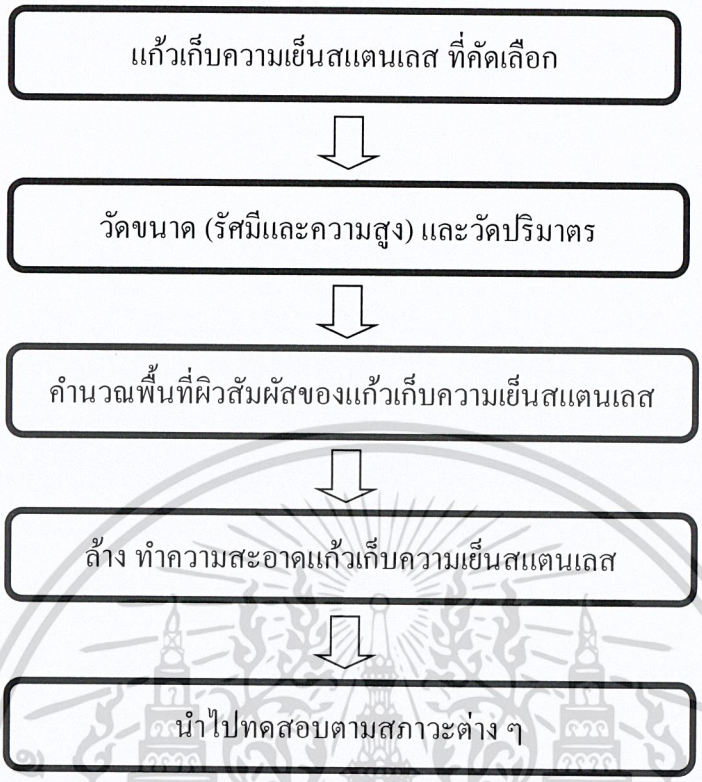
3.4.2.1 นำแก้วเก็บความเย็นมาล้างทำความสะอาดด้วย Detergent แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นคว่ำให้แห้ง

3.4.2.2 เตรียมสารละลาย Acetone : น้ำกลั่น อัตราส่วน 1:1 เพื่อใช้ในการล้างคราบไขมัน

3.4.2.3 นำแก้วเก็บความเย็นที่ผ่านการล้างด้วย Detergent แล้ว มาล้างทำความสะอาดสารละลาย Acetone ที่เตรียมไว้โดยใช้เครื่องอัลตร้าโซนิคล้างทำความสะอาด ด้วยความถี่ 40 KHz เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นคว่ำให้แห้ง (ดัดแปลงจาก Herting, Wallinder and Leygraf, 2008)

ซึ่งแผนผังขั้นตอนการวัดขนาดและการเตรียมตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการวัดพื้นที่ผิวสัมผัสและการเตรียมตัวอย่าง

3.4.3 การจำลองการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็นที่ทำมาจากวัสดุสแตนเลส

3.4.3.1 เตรียมตัวแทนอาหาร (Food Simulant) ที่ใช้ศึกษาการเคลื่อนย้ายของสาร

จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 2.2 ใช้ Food Simulant แทนตัวอย่างของเครื่องดื่มดังนี้

- 3% acetic acid เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่มีค่า pH ≤4.5
- น้ำกลั่นเป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่มีค่า pH > 4.5 จนถึง ≤ 7.0

3.4.3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการจำลองการการเคลื่อนย้ายของสาร

3.4.3.2.1 เตรียมสารละลาย 3% acetic acid

เตรียม Acetic acid (glacial) 99.8% ที่ได้จากการคำนวณได้จากสมการที่ 3.3 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้สารละลาย 3% acetic acid

$$C_1V_1 = C_2V_2 \qquad (3.3)$$

นำสารละลาย 3% acetic acid และน้ำกลั่นที่เป็นตัวแทนอาหารตัวอย่างที่เตรียมได้จากขั้นตอน 3.4.3.1 มาเติมในตัวอย่างแก้วเก็บความเย็นที่ใช้ในการทดสอบโดยเติมถึงปริมาตรความจุของแก้ว จากนั้นปิดฝาทำโดยอ้างอิงสภาวะจากตารางที่ 2.2 ถึง ตารางที่ 2.5 ได้สภาวะทดสอบดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

การทดลองที่	ตัวแทนอาหารตัวอย่าง	อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บ (^{o}C)	เวลาที่ใช้เก็บตัวอย่าง (hours)
1	น้ำกลั่น	25	6
2	น้ำกลั่น	25	24
3	น้ำกลั่น	25	240
4	น้ำกลั่น	40	6
5	น้ำกลั่น	40	24
6	น้ำกลั่น	40	240
7	3% acetic acid	25	6
8	3% acetic acid	25	24
9	3% acetic acid	25	240
10	3% acetic acid	40	6
11	3% acetic acid	40	24
12	3% acetic acid	40	240

3.4.4 การเก็บตัวอย่างของสารละลายที่ผ่านการเก็บตามสภาวะที่กำหนด

นำตัวอย่างสารละลายที่ผ่านการทดลองตามระยะเวลาและอุณหภูมิตามที่กำหนดมาเก็บในขวดเก็บตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่เป็นน้ำกลั่นให้เติมกรดไนตริก HNO_3 65% ประมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน เพื่อให้ตัวอย่าง pH ≤ 3 ป้องกันการตกตะกอนของโลหะหนัก (สมชาย, 2554) แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C

3.5 การวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม (Overall Migration)

ทำการชั่งน้ำหนักของชามระเหยที่ผ่านการล้างทำความสะอาดและนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ^{o}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเก็บในเดซิเคเตอร์จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด มาใส่ในชามระเหย 150 mL และนำไประเหยในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95 ^{o}C จากนั้นเมื่อสารละลายระเหยหมดแล้ว นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ^{o}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเก็บในเดซิเคเตอร์จนอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำมาบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำน้ำหนักของชามระเหยที่บันทึกได้ทั้งก่อนและหลังการทดสอบ มาหาความแตกต่างและคำนวณหาการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม ดังสมการที่ 3.4 ซึ่งแผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมแสดงดังภาพที่ 3.4 (ดัดแปลงจาก EN1186-9:2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathbf{M} = \frac{(Ma - Mb) \times 1000}{S} \qquad (3.4)$$

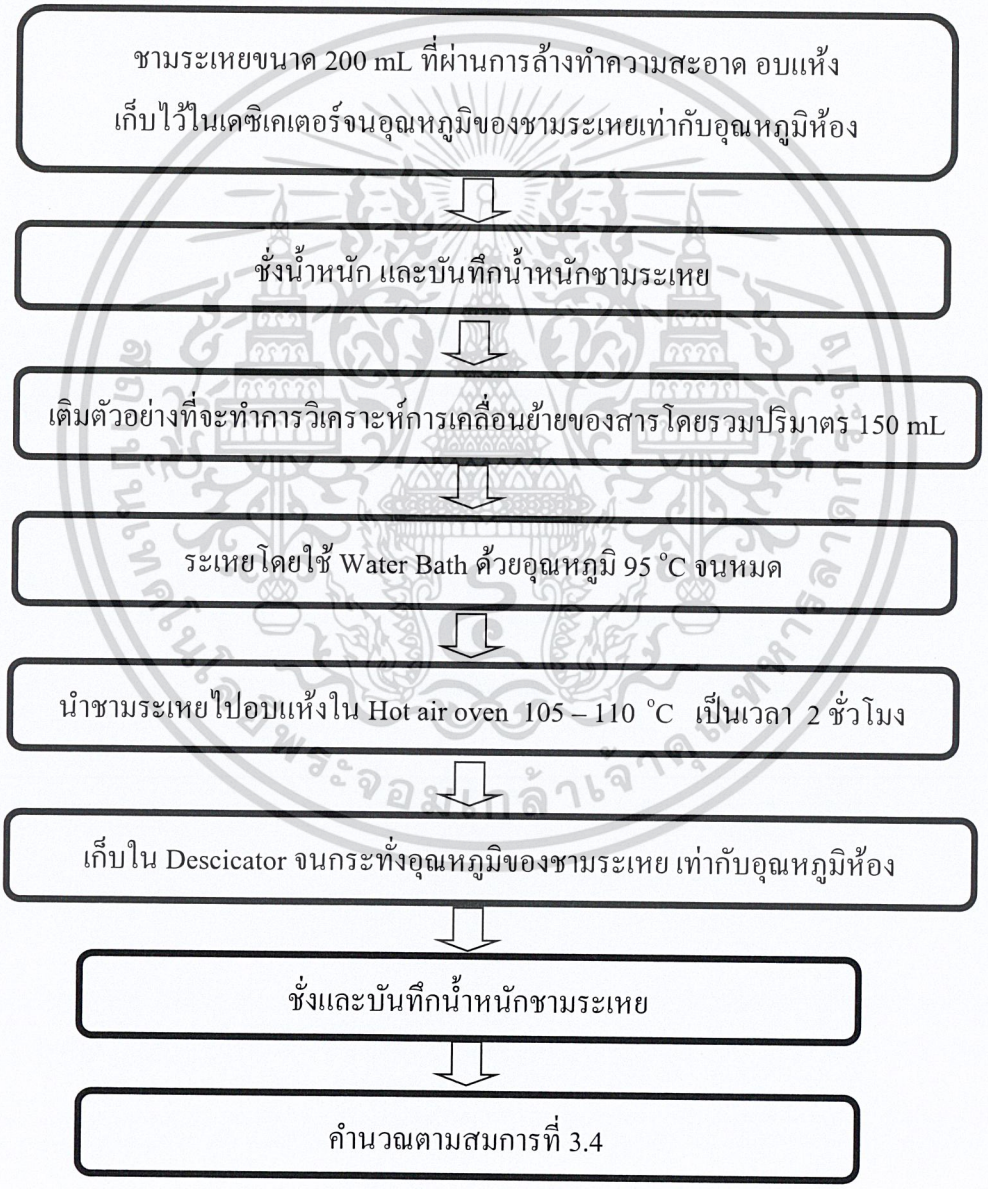
เมื่อ

M = ค่า Overall Migration (mg/dm^2)

Ma = น้ำหนักของ Evaporator Dish หลังจากทำการระเหย Food Simulant (หน่วยกรัม)

Mb = น้ำหนักของ Evaporator Dish ก่อนเริ่มการทดลอง (หน่วยกรัม)

S = พื้นที่ผิวสัมผัสของภาชนะ ที่สัมผัสกับ Food Simulant (dm^2)



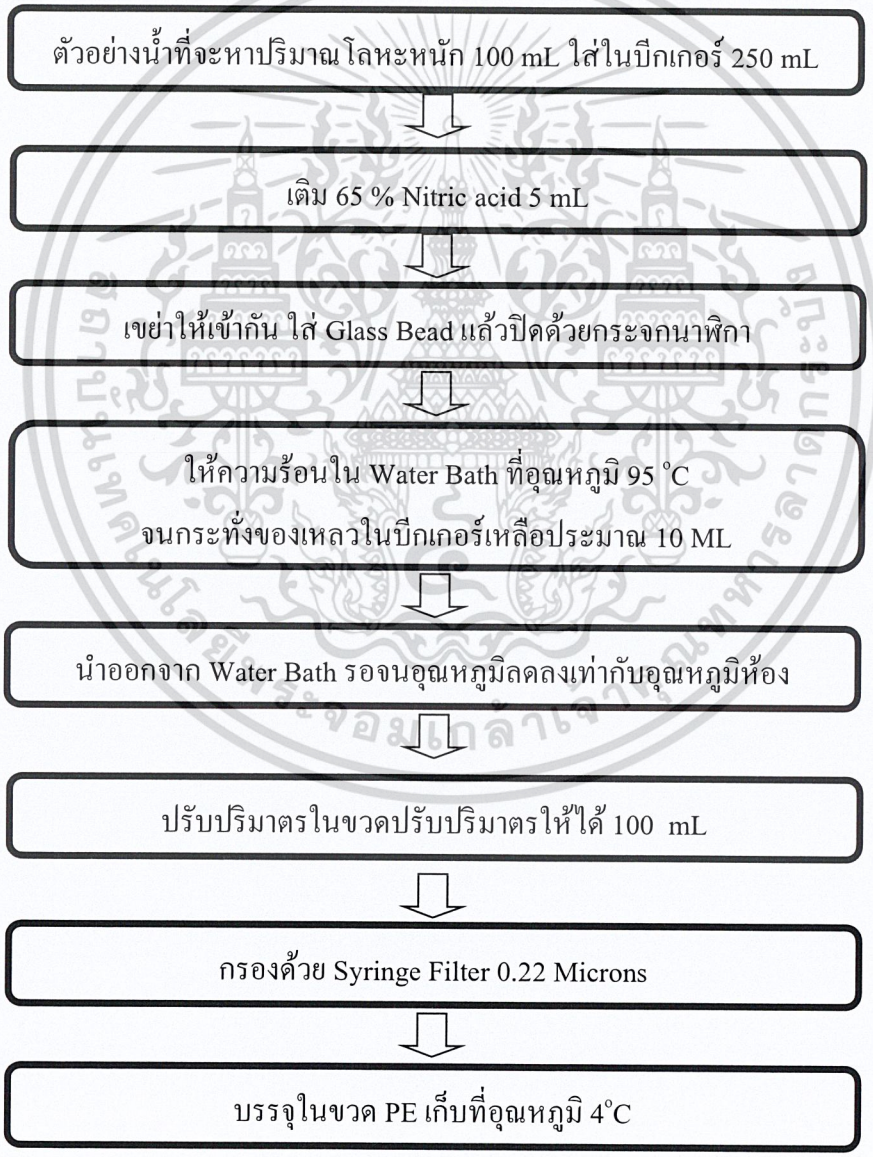
ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนวิเคราะห์หาการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก

3.6.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ปริมาตร 100 mL ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 mL และเติมกรดไนตริกความเข้มข้น 65 % จำนวน 5 mL และนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95 °C จนปริมาตรของตัวอย่างเหลือ 10 mL จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นจนอุณหภูมิห้อง กรองด้วย Syringe Filter 0.22 Microns แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ ปราศจากไอออนจนได้ปริมาตร 100 mL จากนั้นนำใส่ขวด PE แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ ≤ 4°C ซึ่งแผนผังขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (APHA, 2012)

เตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะหนักที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1, 0.05, 1.0 และ 2.0 ppm จากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 10 ppm เพื่อทำเป็นกราฟมาตรฐานของโลหะหนัก เหล็ก (Fe), นิกเกิล (Ni) และตะกั่ว(Pb)

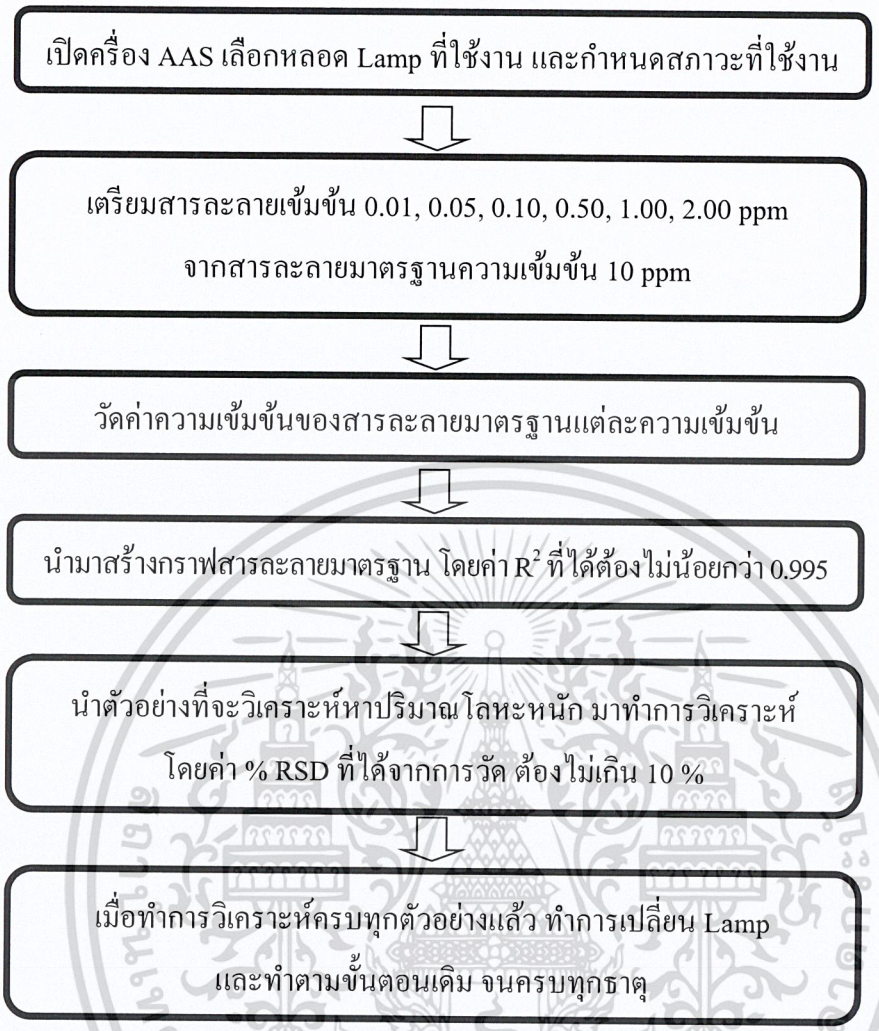
นำสารละลายมาตรฐาน ที่เตรียมมาทำการวัดค่า การดูดกลืนแสงเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน โดยกราฟของสารละลายมาตรฐานนนั้นต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า R^2= 0.995

จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยมาทำการศึกษาปริมาณของโลหะหนัก โดยศึกษาเฉพาะปริมาณของเหล็ก นิกเกิล และตะกั่วโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) โดยเปรียบเทียบปริมาณกับกราฟมาตรฐาน โดยสภาวะที่กำหนดดังตารางที่ 3.2 ซึ่งแผนผังวิเคราะห์โลหะหนักโดยใช้เครื่อง AAS แสดงดังภาพที่ 3.6

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบธาตุเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว ด้วยเครื่อง AAS

สภาวะของเครื่อง AAS	**รายการ**		
	เหล็ก	**นิกเกิล**	**ตะกั่ว**
Instrument mode	Absorbance	Absorbance	Absorbance
Calibration mode	Calibration Standard	Calibration Standard	Calibration Standard
Measurement mode	Peak Area	Peak Area	Peak Area
Slit width	0.2	0.2	0.7
Wavelength (nm)	248.23	232	283.3
Calibration Equation	Linear through zero	Linear through zero	Linear through zero
Lamp	EDL	EDL	HCL
Atomization Temp. (ΛC)	2100	2300	2300
Rollover (A)	0.7	0.7	1.60
Range for THGA	20 – 2,600 °C	20 – 2,600 °C	20 – 2,600 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักโดยใช้เครื่อง AAS

3.7 ประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงของการได้รับโลหะหนักจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส (U.S. EPA 1992a)

3.7.1 ประเมินการได้รับสัมผัส

นำปริมาณของโลหะหนักที่ได้จากการวิเคราะห์ของแต่ละธาตุ มาคำนวณเปรียบเทียบกับข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทยปี พศ. 2559 ช่วงอายุ 18 – 34.9 ซึ่งมีข้อมูลตามตารางที่ 2.9เพื่อประเมินการได้รับสัมผัสของการได้รับสัมผัสจากโลหะหนักเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว ตามสมการที่ 2.1

$$\textbf{I ingestion} = \frac{CW \times IR \times CF \times EP}{BW \times AT} \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

I = ปริมาณสารที่ร่างกายได้รับ (mg/kg-weight/day)

CW = ความเข้มข้นของสารในเครื่องดื่ม (mg/L)

IR = อัตราการบริโภคเครื่องดื่ม (L/day)

CF = จำนวนวันที่สัมผัสใน 1 ปี (day/year)

EP = จำนวนปีที่สัมผัสสาร (year)

BW = น้ำหนักของร่างกาย (kg)

AT = ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสตลอดชีวิต (day)

3.7.2 ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัส

นำค่าปริมาณการได้รับสัมผัสมาคำนวณความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสโลหะหนัก โดยโลหะหนักนิกเกิลและตะกั่ว เนื่องจากเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งต้องทำการวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) ก่อน โดยใช้สมการที่ 2.2 จากนั้นหากค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงนำมาคำนวณหาค่าดรรชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (HI) ต่อไป

$$\textbf{Cancer risk} = I \times SF \qquad (2.2)$$

เมื่อ

I = ปริมาณสารที่ร่างกายได้รับ (mg/kg-weight/day)

SF = Slope factor ของสารก่อมะเร็ง

ส่วนโลหะหนักเหล็กนั้นไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง การคำนวณนั้นจะนำค่าของปริมาณการได้รับสัมผัสมาคำนวณกับค่าปริมาณที่ได้รับแล้วส่งไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค (Reference Dose) ที่กำหนดไว้ใน JECFA (2019) เพื่อหาค่าค่าดรรชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (HI) โดยใช้สมการที่ 2.3

$$\textbf{HI (Hazard Index)} = \frac{I}{RfD} \qquad (2.3)$$

เมื่อ

I = ปริมาณสารที่ร่างกายได้รับ (mg/kg-weight/day)

RfD = Reference Dose (mg/kg-day)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในการวางแผนกการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD; Complete Randomized Design) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test วิเคราะห์ผลทางสถิติโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็น โดยกำหนดสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ 25 °C และ 40 °C เวลา 6 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 240 ชั่วโมง ใช้น้ำกลั่นและ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารจำลอง จากนั้นนำผลการที่ได้มาทำการประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของสารจากแก้วเก็บความเย็น ได้ผลการวิเคราะห์ดังหัวข้อที่ 4.1 4.2 4.3 และ 4.4 ตามลำดับดังนี้

4.1 ตัวอย่างของแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส

จากการเก็บตัวอย่างแก้วเก็บความเย็นที่ทำจากวัสดุสแตนเลส จากตลาดสำเพ็ง จังหวัดกรุงเทพมหานคร มีจำนวนทั้งหมด 30 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ได้มาจะเป็นแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสที่ภายนอกมีทั้งแบบที่เคลือบสีทั้งใบและเคลือบสีบางส่วน ภายในเป็นสแตนเลสกลุ่มออสเตนิติก (Austenitic) เกรด 304 โดยสังเกตได้จากที่ด้านล่างของแก้วจะมีระบุไว้ว่า SUS 304 และจากทฤษฎีของ กนก (2562) ที่กล่าวว่าสแตนเลสกลุ่มนี้เมื่อใช้แม่เหล็กสัมผัสกับพื้นผิว แม่เหล็กจะไม่ติดกับพื้นผิว ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้น โดยการใช้แม่เหล็กสัมผัสกับผิวของแก้วเก็บความเย็นไม่เกิดการติดกับพื้นผิวของแก้วความเย็น ลักษณะของผิวสัมผัสด้านในของแก้วเก็บความเย็นมีลักษณะความเงาผิวเงาสะท้อนปานกลางถ้าเปรียบเทียบกับภาพที่ 2.7 จะใกล้เคียงกับพื้นผิวสแตนเลสแบบ 2B โดยรูปทรงของแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสจะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ รูปทรงกรวยตัดและรูปทรงกระบอก ซึ่งจัดเป็นกลุ่มได้ทั้งหมด 5 กลุ่มย่อยตามขนาด เป็นรูปทรงกรวยตัดทั้งหมด 5 กลุ่ม เมื่อทำการวัดขนาดรัศมีขอบในด้านบนมีรัศมีเท่ากับ 6.80, 7.40, 8.10, 8.40 และ 9.50 cm รัศมีขอบในด้านล่างเท่ากับ 6.10, 6.00, 6.80, 6.20 และ 6.80 cm ความสูงเอียงภายในเท่ากับ 16.40, 16.00, 13.50, 12.70 และ 16.00 cm เมื่อนำมาค่ารัศมีขอบในด้านบน รัศมีขอบในด้านล่าง และความสูงเอียงภายในมาคำนวณตามสมการที่ 3.1 จะพบว่าแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสรูปทรงกรวยตัดมีพื้นที่เท่ากับ 7.82, 7.87, 7.77, 7.03 และ 9.60 dm^2 และมีปริมาตรความจุของแก้วเก็บความเย็น 4 กลุ่มแรกเท่ากับ 500 mL กลุ่มที่ 5 เท่ากับ 800 mL และอีก 1 กลุ่มเป็นรูปทรงกระบอก เมื่อทำการวัดขนาดรัศมีขอบในมีรัศมีเท่ากับ 5.20 cm ความสูงภายในเท่ากับ 16.50 cm เมื่อนำมาค่ารัศมีขอบในและความสูงมาคำนวณตามสมการที่ 3.2 จะพบว่าแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสรูปทรงกระบอกมีพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 6.24 dm^2 และมีปริมาตรความจุเท่ากับ 500 mL ซึ่งรายละเอียดของรูปทรง และรัศมีส่วนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1 และภาพแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.1 ขนาด พื้นที่ผิวสัมผัส และปริมาตรบรรจุของตัวอย่าง

กลุ่มที่	รูปทรงแก้ว	รัศมีขอบในด้านบน (cm)	รัศมีขอบในด้านล่าง (cm)	ความสูงภายใน (cm)	พื้นที่ผิวสัมผัส (dm^2)	ปริมาตร (mL)
1	ทรงกรวยตัด	6.80	6.10	16.40	7.82	500
2	ทรงกรวยตัด	7.40	6.00	16.00	7.87	500
3	ทรงกรวยตัด	8.10	6.80	13.50	7.77	500
4	ทรงกรวยตัด	8.40	6.20	12.70	7.03	500
5	ทรงกรวยตัด	9.50	6.80	16.00	9.60	800
6	ทรงกระบอก	5.20	5.20	16.50	6.24	500

4.2 การวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม (Overall Migration)

การวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมนั้นเป็นการนำน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของชามระเหย มาเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวสัมผัสที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาทำการคำนวณตามสมการที่ 3.4 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารจำลอง ทำการศึกษาที่เวลา 6, 24 และ 240 ชั่วโมง พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมเท่ากับ 0.1007 ± 0.0384, 0.1025 ± 0.0312 และ 0.1308 ± 0.0341 mg/dm^2 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่าการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมเท่ากับ 0.2107 ± 0.0427, 0.2645 ± 0.0596 และ 0.3702 ± 0.0603 mg/dm^2 ตามลำดับ และเมื่อใช้ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารจำลองพบว่าที่อุณหภูมิ 25 °C ค่าการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมเท่ากับ 0.3590 ± 0.0742, 0.3925 ± 0.0560 และ 0.4277 ± 0.0968 mg/dm^2 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่าการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมเท่ากับ 0.4356 ± 0.0674, 0.4723 ± 0.0867 และ 0.5104 ± 0.0728 mg/dm^2 ตามลำดับ โดยข้อมูลทั้งหมดแสดงดังภาพที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะพบว่าการใช้ตัวแทนอาหารจำลองเดียวกัน ที่สภาวะอุณหภูมิเดียวกัน ด้วยเวลาที่ต่างกัน เมื่อเวลาที่ตัวแทนของอาหารจำลองสัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมากขึ้นจะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมเพิ่มมากขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่าค่าการเคลื่อนย้ายของสารที่เวลา 6 และ 24 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นเป็น 240 ชั่วโมง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ 6 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 °C พบว่าค่าการเคลื่อนย้ายของสารที่เวลา 6, 24 และ 240 ชั่วโมง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ตัวแทนของอาหารจำลองเดียวกัน ที่เวลาเท่ากัน แต่อุณหภูมินั้นแตกต่างกันพบว่าที่อุณหภูมิ 25 °C นั้นมีค่าการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมเกิดขึ้นน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 40 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

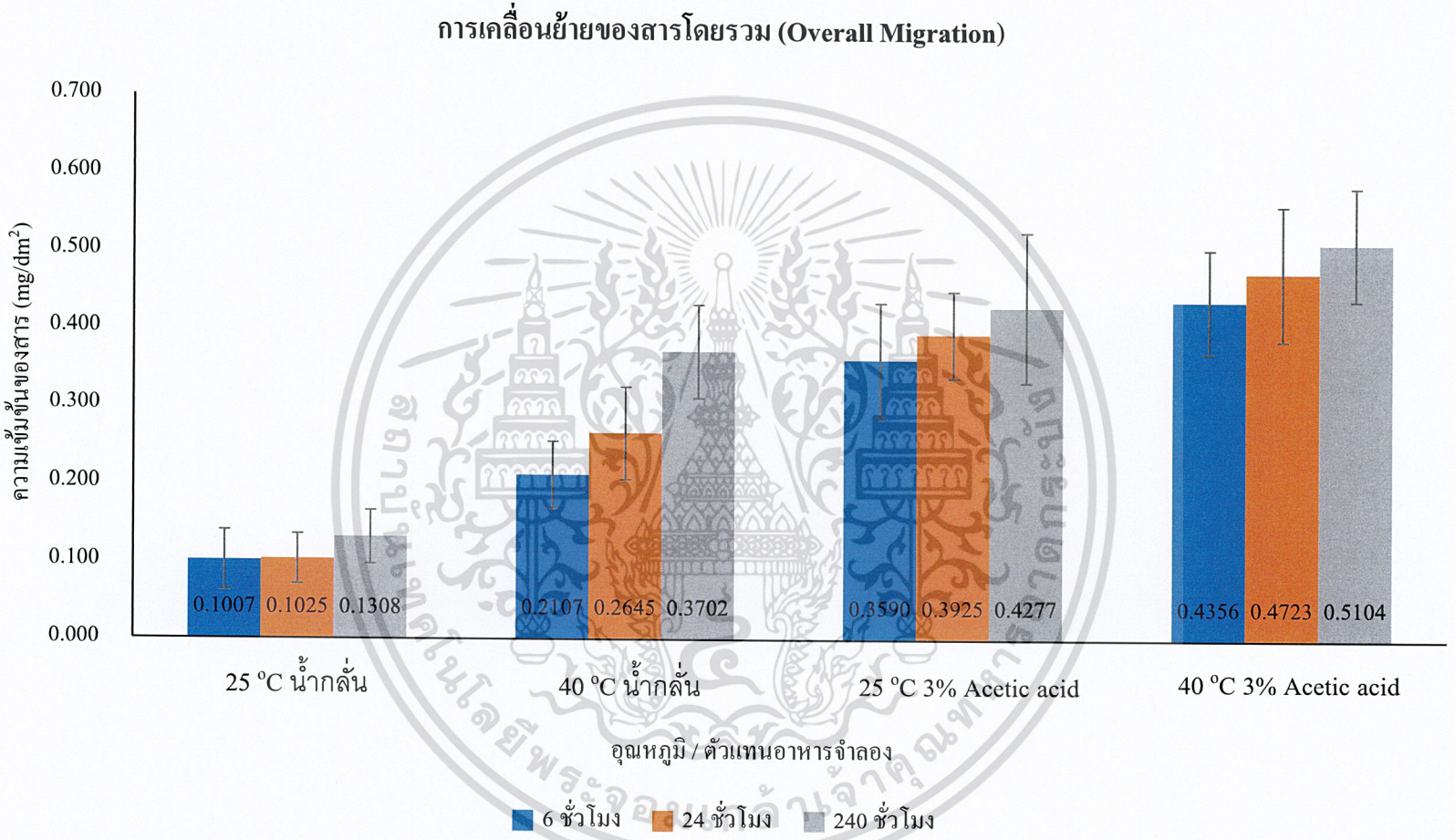
เมื่อเปรียบเทียบการใช้อุณหภูมิเดียวกัน เวลาเท่ากัน แต่ใช้ตัวแทนอาหารจำลองต่างกัน พบว่าการใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารทดลองนั้นค่าการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมเกิดขึ้นน้อยกว่าการใช้ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากผลการทดสอบการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมทั้งหมดทุกสภาวะนั้นจะพบว่า การใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารจำลอง ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่เวลา 6 ชั่วโมงเกิดการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมน้อยที่สุดเท่ากับ 0.1007 ± 0.0384 mg/dm^2 และพบว่าการใช้ 3 % Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารจำลอง ที่อุณหภูมิ 40 °C ที่เวลา 240 ชั่วโมงเกิดการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมมากที่สุดเท่ากับ 0.5104 ± 0.0728 mg/dm^2 โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมในแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสพบว่าเมื่อตัวแทนอาหารจำลองสัมผัสกับอาหารนานขึ้น การใช้อุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น และการใช้ตัวแทนของอาหารจำลองที่มีค่าความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมมากขึ้น

การเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมกับมาตรฐานของ (EU) 10/2011 ที่ได้กำหนดค่าการเคลื่อนย้ายโดยรวมของสารต้องไม่เกิน 10 mg/dm^2 ซึ่งจากการวิเคราะห์ดังกล่าวพบว่าแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสนั้นมีค่าการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมมากที่สุดเพียง 0.5104 ± 0.0728 mg/dm^2 คิดเป็นร้อยละ 5.1 ซึ่งไม่เกินมาตรฐานดังกล่าวที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม

4.3 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก

การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมารการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) และตะกั่ว (Pb) โดยการวิเคราะห์นั้นจะทำการหาปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะหนักเหล็กที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.10, 0.50 และ 1.0 mg/L เมื่อนำมาสร้างกราฟเชิงเส้นของโลหะหนักเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว กราฟสารละลายมาตรฐานมีค่า R^2 เท่ากับ 0.997 0.998 และ 0.999 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นเชิงเส้นของกราฟสารละลายมาตรฐาน ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นที่ได้นั้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ และ % RSD ของการวิเคราะห์ในแต่ละตัวอย่างนั้นมีอยู่ระหว่าง 5% - 8% ซึ่งค่าที่ได้นั้นไม่เกิน 10 % แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์นั้นมีความแม่นยำที่ดี โดยค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่ต่ำที่สุดของเครื่องมือในการวิเคราะห์โลหะหนัก (LOD) ของเหล็กเท่ากับ 0.005 mg/L นิกเกิลเท่ากับ 0.006 mg/L และตะกั่วเท่ากับ 0.015 mg/L หากปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างมีค่าต่ำกว่าค่า LOD เครื่อง AAS จะไม่สามารถอ่านค่าได้

จากการทดสอบการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสไปยังตัวแทนอาหารจำลอง พบว่าเมื่อใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารจำลอง ทำการศึกษาที่เวลา 6, 24 และ 240 ชั่วโมง พบว่าที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กเท่ากับ 0.0275 ± 0.0316, 0.0278 ± 0.0020 และ 0.0507 ± 0.0021 mg/L ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กเท่ากับ 0.0309 ± 0.0022, 0.0316 ± 0.0033 และ0.0510 ± 0.026 mg/L ตามลำดับ และเมื่อใช้ 3 % Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารจำลอง พบว่าที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กเท่ากับ 0.0327 ± 0.0031, 0.0348 ± 0.0020 และ 0.0538 ± 0.0020 mg/L ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กเท่ากับ 0.0432 ± 0.0022, 0.0511 ± 0.0038 และ 0.0981 ± 0.0026 mg/L โดยข้อมูลทั้งหมดแสดงดังภาพที่ 4.2

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะพบว่า ที่สภาวะอุณหภูมิเดียวกัน ด้วยเวลาที่ต่างกัน เมื่อเวลาที่ตัวแทนของอาหารจำลองสัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมากขึ้นจะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของเหล็กเพิ่มมากขึ้น การใช้ตัวแทนอาหารจำลองเป็นน้ำกลั่นโดยที่อุณหภูมิ 25 °C และ 40 °C พบว่าค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กที่เวลา 6 และ 24 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นเป็น 240 ชั่วโมง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่เมื่อใช้ตัวแทนอาหารจำลองเป็น 3% Acetic acid เปรียบเทียบกันระหว่าง 6 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 °C พบว่าค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กที่เวลา 6, 24 และ 240 ชั่วโมง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ตัวแทนของอาหารจำลองเดียวกัน ที่เวลาเท่ากัน แต่อุณหภูมินั้นแตกต่างกันพบว่าที่อุณหภูมิ 25 °C นั้นมีค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กโดยรวมเกิดขึ้นน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 40 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบการใช้อุณหภูมิเดียวกัน เวลาเท่ากัน แต่ใช้ตัวแทนอาหารจำลองต่างกัน พบว่าการใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารทดลองนั้นค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กโดยรวมเกิดขึ้นน้อยกว่าการใช้ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมทั้งหมดทุกสภาวะนั้นจะพบว่า การใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารจำลอง ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่เวลา 6 ชั่วโมงเกิดการเคลื่อนย้ายของเหล็กน้อยที่สุด และพบว่าการใช้ 3 % Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารจำลอง ที่อุณหภูมิ 40 °C ที่เวลา 240 ชั่วโมงเกิดการเคลื่อนย้ายของเหล็กมากที่สุด โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการทดสอบการเคลื่อนย้ายของนิกเกิลจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสไปยังตัวแทนอาหารจำลองพบว่าความเข้มข้นของนิกเกิลได้จากการใช้ 3 % Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารจำลอง อุณหภูมิ 40 °C เวลา 240 ชั่วโมง เพียงสภาวะเดียว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.00691 ± 0.00041 ส่วนสภาวะที่ทำการทดลองอื่นนั้นมีค่าของพบว่ามีนิกเกิลมีค่าต่ำกว่า 0.006 mg/L ซึ่งเป็นความเข้มข้นของตัวอย่างที่ต่ำที่สุดที่เครื่องสามารถอ่านค่าได้รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.2

ผลของการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กกับนิกเกิลพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ R. Kumar et.al ในปี 1994 ที่ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) และโครเมี่ยม (Cr) จากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสและอ่างสแตนเลสซึ่งทำการทดสอบในตัวแทนของอาหารจำลอง พบว่าเมื่อตัวแทนอาหารมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้นปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ในส่วนของตัวอย่างที่ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนของอาหารจำลองแล้วงานวิจัยของ R. Kumar et.al ไม่พบการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสนั้นอาจเนื่องมาจากเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy มีค่าขีดความสามารถอ่านค่าต่ำสุด (LOD) ที่แตกต่างกัน จึงทำให้ไม่พบการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักในน้ำกลั่นที่ใช้เป็นตัวแทนอาหารจำลอง ในส่วนของค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักที่มีความแตกต่างกันนั้น งานวิจัยของ R. Kumar et.al ซึ่งใช้ตัวแทนอาหารจำลอง 5 % Acetic acid พบว่าเหล็กมีค่าเฉลี่ย 0.3 mg/L และนิกเกิลมีค่าเฉลี่ย 0.1 mg/L ซึ่งมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์ในครั้งนี้ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก จากเทคโนโลยีการผลิตสแตนเลสในปัจจุบันได้เปลี่ยนแปลงไปทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของเหล็กและนิกเกิลนั้นน้อยลง และด้วยตัวแทนของอาหารทดลองที่ใช้มีความเข้มข้นแตกต่างกันอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของเหล็กและนิกเกิลแตกต่างกัน เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับงานวิจัย Silviu-Gabriel Stroe (2011) ที่ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กและนิกเกิลจากสแตนเลส โดยทดสอบใน 3 % Acetic acid โดยใช้อุณหภูมิที่ 100 °C เป็นเวลา 30, 45, 60, 75, 90 นาที พบว่าเมื่อเวลามากขึ้นปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กมีค่าระหว่าง 0.00167 ถึง 0.03318 mg/L นิกเกิลมีค่าระหว่าง 0.00020 ถึง 0.00653 mg/L ซึ่งเปรียบเทียบกับงานวิจัยพบว่ามีความสอดคล้องกัน เนื่องจากเวลาที่เพิ่มมากขึ้นนั้นปริมาณการเคลื่อนย้ายของเหล็กและนิกเกิลก็จะเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากเวลาการทดลองและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกันจึงทำให้ค่าปริมาณการเคลื่อนย้ายนั้นแตกต่างกันออกไป เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Yuan Chen (2014) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการตัดสแตนเลส ต่อปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก โครเมี่ยม และนิกเกิล โดยพบว่าสแตนเลสที่มีรอยตัดแล้วนำมาศึกษาการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักนั้นจะเกิดการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักมากกว่าสแตนเลสที่ไม่ผ่านการตัดเป็นชิ้นส่วน ซึ่งจากการวิเคราะห์นี้ได้ทำการทดลองแบบไม่ตัดสแตนเลสเป็นชิ้นส่วน ผลการทดลองของ Yuan Chen นิกเกิลนั้นมีค่าระหว่าง 0.0002 - 0.0044 mg/dm^3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนย้ายของนิกเกิลจากสแตนเลสนั้นมีปริมาณน้อยตามข้อมูลองค์ประกอบของสแตนเลส Avesta Sheffield (1998)

จากการทดสอบจากการทดสอบการเคลื่อนย้ายของตะกั่วจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสไปยังตัวแทนอาหารจำลองพบว่าในทุกสภาวะที่ทำการทดลองนั้นมีค่าของตะกั่วน้อยกว่า 0.015 mg/L ซึ่งเป็นความเข้มข้นของตัวอย่างที่ต่ำที่สุดที่เครื่องสามารถอ่านค่าได้รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.3

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมและปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กนั้นพบว่าแนวโน้มนั้นของการเพิ่มขึ้นมีความสอดคล้องกันโดยการเคลื่อนย้ายจะเพิ่มขึ้นเมื่อแก้วเก็บความเย็นสัมผัสกับตัวแทนอาหารที่มีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Himanshu (2017) เนื่องจากตัวแทนของอาหารจำลองที่มีความเป็นกรดนั้นจะส่งผลให้ชั้นของโครเมียมออกไซด์ซึ่งเป็น Passive film ถูกทำลาย ทำให้ไม่มีชั้นป้องกันการกัดกร่อนจึงเกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็มขึ้นที่ผิวของสแตนเลส และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้สัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นทำให้ Acetic acid ที่ใช้เป็นตัวแทนอาหารจำลองภายในแก้วเก็บความเย็น เกิดการแตกตัวของประจุ H^+ ที่เพิ่มมากขึ้นทำให้การกัดกร่อนชั้น Passive Film ถูกทำลายเร็วขึ้นและเกิดเป็นรูเข็มที่ลึกลงไปในผิวของสแตนเลสทำให้เหล็กที่อยู่ภายในเกิดการเคลื่อนที่ออกมาสู่ Acetic acid ที่บรรจุอยู่ภายในแก้วเก็บความเย็น และเวลาในการสัมผัสที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ชั้นของ Passive film ที่ถูกทำลายไปไม่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่ได้เนื่องจากการเกิดการกัดกร่อนเป็นรูเข็มแล้วมี Acetic acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

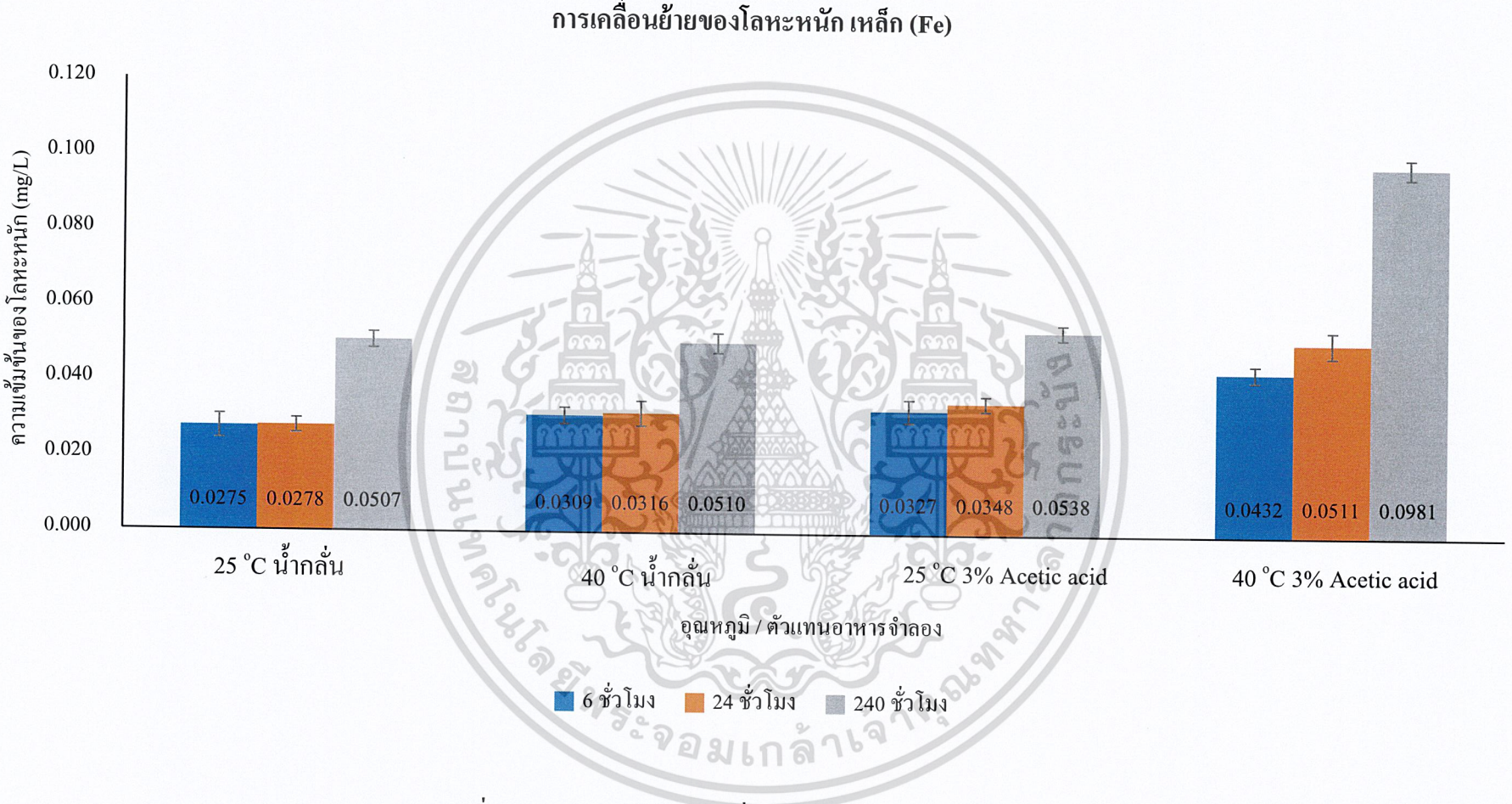
เข้าไปแทรกอยู่ภายในรูที่เกิดการกัดกร่อน โครเมียมออกไซด์ซึ่งเป็นชั้น Passive Film ที่ถูกทำลายไม่สัมผัสกับอากาศ ทำให้ไม่สามารถสร้างชั้น Passive film ขึ้นมาทดแทนของเดิมที่สูญเสียไป ซึ่งจากการสังเกตจะพบว่าการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมจะมีปริมาณมากกว่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักซึ่งอาจเป็นเพราะในส่วนผสมของสแตนเลสนั้นไม่ได้มีเพียงแค่เหล็กและนิกเกิลเท่านั้น อาจจะมีโลหะหนักชนิดอื่นหรือสารประกอบอื่นที่รวมอยู่

ซึ่งเมื่อพิจารณาการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักทั้งเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว จะพบว่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักนั้นปริมารการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักนั้นมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของสแตนเลส AISI 304 ซึ่งส่วนประกอบหลักของสแตนเลสคือเหล็กประมาณ 70 % ผสมกับโครเมียมประมาณ 18 % และนิกเกิลประมาณ 8 %

นิกเกิลนั้นเป็นองค์ประกอบของสแตนเลสที่มีปริมาณน้อย จึงพบนิกเกิลปริมาณน้อยกว่าขีดความสามารถต่ำสุดที่เครื่องจะวิเคราะห์ได้

ตะกั่วนั้นไม่ได้พบในองค์ประกอบของสแตนเลส ซึ่งหากพบอาจมาจากการต่อประสานของแผ่นสแตนเลส เมื่อพิจารณาการต่อประสานของแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสใช้วิธีทำให้ชิ้นงานหลอมละลาย โดยการให้ความร้อนแก่โลหะ จนหลอมละลายติดเป็นเนื้อเดียวกัน หรือโดยการเติมลวดเชื่อม ใช้เป็นตัวประสานกันนั้นอาจใช้การเชื่อม Tig เพื่อเชื่อมต่อรอยประสาน ไม่ได้ใช้การบัดกรีซึ่งมีตะกั่วเป็นตัวประสาน เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของจินตนา และคณะ (2554) พบว่าที่หม้อก๋วยเตี๋ยวที่บัดกรีด้วยตะกั่วนั้น pH 5.0 มีค่าเท่ากับ 59.40 µg/L ซึ่ง pH ของการทดลองนี้มี pH ต่ำกว่า 5.0 หากมีการเคลื่อนย้ายของสารตะกั่วเครื่อง AAS น่าจะพบได้ แต่หากใช้การเชื่อมเพื่อต่อประสานจึงไม่มีการใช้ตะกั่ว การวิเคราะห์จึงพบตะกั่วปริมาณน้อยกว่าขีดความสามารถต่ำสุดที่เครื่องจะวิเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 แผนภูมิปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็ก (Fe)

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักนิกเกิล

Condition (Temp/ Time/ Food simulant)	ความเข้มข้นของโลหะนิกเกิล* (Ni) (mg/L)
25 °C/ 6 hours/ Distilled Water	< 0.006
25 °C/ 24 hours/ Distilled Water	< 0.006
25 °C/ 240 hours/ Distilled Water	< 0.006
40 °C/ 6 hours/ Distilled Water	< 0.006
40 °C/ 24 hours/ Distilled Water	< 0.006
40 °C/ 240 hours/ Distilled Water	< 0.006
25 °C/ 6 hours/ 3% Acetic acid	< 0.006
25 °C/ 24 hours/ 3% Acetic acid	< 0.006
25 °C/ 240 hours/ 3% Acetic acid	< 0.006
40 °C/ 6 hours/ 3% Acetic acid	< 0.006
40 °C/ 24 hours/ 3% Acetic acid	< 0.006
40 °C/ 240 hours/ 3% Acetic acid	0.00691 ± 0.00041

หมายเหตุ *Limit of Detection (LOD) = 0.006 mg/L

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักตะกั่ว

Condition (Temp/ Time/ Food simulant)	ความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว* (Pb) (mg/L)
25 °C/ 6 hours/ Distilled Water	< 0.015
25 °C/ 24 hours/ Distilled Water	< 0.015
25 °C/ 240 hours/ Distilled Water	< 0.015
40 °C/ 6 hours/ Distilled Water	< 0.015
40 °C/ 24 hours/ Distilled Water	< 0.015
40 °C/ 240 hours/ Distilled Water	< 0.015
25 °C/ 6 hours/ 3% Acetic acid	< 0.015
25 °C/ 24 hours/ 3% Acetic acid	< 0.015
25 °C/ 240 hours/ 3% Acetic acid	< 0.015
40 °C/ 6 hours/ 3% Acetic acid	< 0.015
40 °C/ 24 hours/ 3% Acetic acid	< 0.015
40 °C/ 240 hours/ 3% Acetic acid	< 0.015

หมายเหตุ *Limit of Detection (LOD) = 0.015 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงที่เกิดอันตรายต่อสุขภาพ

จากการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กแล้วนั้น จะนำค่าที่ได้มาทำการประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงที่เกิดอันตรายต่อสุขภาพ โดยใช้ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทยปี พ.ศ. 2559 ช่วงอายุ 18 – 34.9 ปี ในส่วนของการบริโภคเครื่องดื่มที่เป็นเครื่องดื่มพร้อมบริโภค นำมาคำนวณโดยข้อมูลการบริโภคเครื่องดื่มนั้นแสดงปริมาณการบริโภคตามตารางที่ 2.9 การคำนวณปริมาณการได้รับสัมผัสของเหล็กนั้นใช้วิธีคำนวณตามสมการที่ 2.1 ตามด้วยการวิเคราะห์หาดรรชีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (HI) โดยใช้ข้อมูลตามตารางที่ 4.4

จากการนำค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กมาวิเคราะห์ปริมาณการได้รับสัมผัสนั้นหากแยกตามอุณหภูมิและ pH โดยการเลือกใช้ค่าปริมาณการเคลื่อนย้ายของเหล็กที่เกิดขึ้นมากที่สุดโดยใช้ปริมาณ ความเข้มข้นของสารในเครื่องดื่ม pH<4.5 ที่อุณหภูมิ 25 °C และ 40 °C เท่ากับ 0.0538 และ 0.098 mg/L ความเข้มข้นของสารในเครื่องดื่ม pH 7.0 เท่ากับ 0.0506 และ 0.0510 mg/L ตามลำดับ อัตราการบริโภคเครื่องดื่มประเภทพร้อมดื่มโดยอัตราการเครื่องดื่ม pH <4.5 และ pH 7.0 เท่ากับ 3.069 และ 3.000 L/day จำนวนวันที่สัมผัสกับสารใน 1 ปี เท่ากับ 336 day/year จำนวนปีที่สัมผัสกับสารใช้อายุเฉลี่ยของประชากรไทย เท่ากับ 70 ปี และน้ำหนักของร่างกายของประชากรไทยอายุ 18-34.9 ปี เฉลี่ยเท่ากับ 63.53 kg ระยะเวลาที่สัมผัสกับสารเฉลี่ยเท่ากับ 25,550 day พบว่าค่าการได้รับสัมผัสจากการบริโภคของเครื่องดื่มที่อุณหภูมิ 25 °C ค่า pH ≤ 4.5 และ pH 7.0 เท่ากับ 0.1819 และ 0.1778 (mg/L-weight/day) ตามลำดับ เมื่อคิดรวมกันมีค่าเท่ากับ 0.3597 (mg/L-weight/day) ที่อุณหภูมิ 40 °C ค่า pH ≤ 4.5 และ pH 7.0 เท่ากับ และ 0.1686 (mg/L-weight/day) ตามลำดับเมื่อคิดรวมกันเท่ากับ 0.5000 (mg/L-weight/day) ซึ่งค่าปริมาณที่ได้รับแล้วส่งไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค (Reference Dose) ที่กำหนดไว้ใน JECFA 2019 มีค่าเท่ากับ 0.8 (mg/kg-day) แสดงให้เห็นว่าปริมาณของโลหะหนักเหล็กที่เกิดการเคลื่อนย้ายจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ รายละเอียดตามตารางที่ 4.4

เมื่อนำค่าปริมาณการได้รับสัมผัสโลหะหนักเหล็กมาเปรียบเทียบกับค่า ปริมาณที่ได้รับแล้วส่งไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.8 (mg/kg-day) เพื่อหาค่าดรรชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (HI) เนื่องจากโลหะหนักเหล็กนั้นไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มที่เป็นสารก่อมะเร็ง พบว่าค่าดรรชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าเท่ากับ 0.45 ที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่าเท่ากับ 0.63 ซึ่งค่าที่ได้มีค่าไม่ถึง 0.7 และต่ำกว่า 1.0 จึงถือว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ตามแนวทางของ US-EPA (1989) เป็นความเสี่ยงที่ไม่ส่งผลกระทบและยังไม่ต้องจัดการความเสี่ยงนั้นรายละเอียดตามตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นว่าการนำแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมาใช้ในการบรรจุเครื่องดื่มที่อุณหภูมิ 25 °C และ 40 °C นั้นมีความปลอดภัยจากโลหะหนักเหล็ก

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์คำนวณการได้รับสัมผัสโลหะหนักเหล็ก

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวแปร	ค่าคงที่		แหล่งที่มา
			25°C	40°C	
ความเข้มข้นของสารในเครื่องดื่ม pH≤4.5	(mg/L)	CW	0.0538	0.098	ผลการวิเคราะห์
ความเข้มข้นของสารในเครื่องดื่ม pH 7.0	(mg/L)	CW	0.0506	0.0510	
อัตราการบริโภคเครื่องดื่ม pH≤4.5	(L/day)	IR	3.069		ข้อมูลการบริโภคประชากรไทย อายุ 18-34.9 ปี
อัตราการบริโภคเครื่องดื่ม pH 7.0	(L/day)	IR	3.000		
จำนวนวันที่สัมผัสใน 1 ปี	(day/year)	CF	365		
จำนวนปีที่สัมผัสสาร	(year)	EP	70		
น้ำหนักของร่างกาย	(kg)	BW	63.53		
ระยะเวลาเฉลี่ย	(day)	AT	25,550		
Reference Dose	(mg/kg-day)	RfD	0.8		JECFA 2019

ตารางที่ 4.5 ปริมาณเหล็กที่ได้รับและดรรชนีความเสี่ยง

อุณหภูมิ	pH	ปริมาณสารที่ร่างกายได้รับ (mg/L-weight/day)	ดรรชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (HI)
25 °C	≤ 4.5	0.1819	0.45
	7.0	0.1778	
	รวม	**0.3597**	
40 °C	≤4.5	0.3314	0.63
	7.0	0.1686	
	รวม	**0.5000**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักนิกเกิลมาวิเคราะห์ปริมาณการได้รับสัมผัสนั้นหากแยกตามอุณหภูมิและpH การเลือกใช้ค่าปริมาณการเคลื่อนย้ายของเหล็กที่เกิดขึ้นมากที่สุดโดยใช้ปริมาณ ความเข้มข้นของสารในเครื่องดื่ม pH $\leq$4.5 ที่อุณหภูมิ 40 °C เท่ากับ 0.00693 mg/L ความเข้มข้นของสารในเครื่องดื่ม pH 7.0 มีค่าน้อยกว่า 0.006 mg/L ตามลำดับ อัตราการบริโภคเครื่องดื่มประเภทพร้อมดื่มโดยอัตราการเครื่องดื่ม pH $\leq$4.5 และ pH 7.0 เท่ากับ 3.069 และ 3.000 L/day จำนวนวันที่สัมผัสกับสารใน 1 ปี เท่ากับ 365 day/years จำนวนปีที่สัมผัสกับสารใช้อายุเฉลี่ยของประชากรไทย เท่ากับ 70 ปี และน้ำหนักของร่างกายของประชากรไทยอายุ 18-34.9 ปี เฉลี่ยเท่ากับ 63.53 ระยะเวลาที่สัมผัสกับสารเฉลี่ยเท่ากับ 25 550 วัน พบว่าค่าการได้รับสัมผัสจากการบริโภคของเครื่องดื่มที่อุณหภูมิ 40 °C ค่า pH $\leq$4.5 และ pH 7.0 เท่ากับ 0.000335 และ 0.000327 (mg/L-weight/day) ตามลำดับเมื่อคิดรวมกันเท่ากับ 0.000662 (mg/L-weight/day) ซึ่งค่าปริมาณที่ได้รับแล้วส่งไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค (Reference Dose) ที่กำหนดไว้ใน JECFA 2019 มีค่าเท่ากับ 0.005 (mg/kg-day) ซึ่งปริมาณของโลหะหนักนิกเกิลที่เกิดการเคลื่อนย้ายจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด รายละเอียดตามตารางที่ 4.6

เนื่องจากโลหะหนักนิกเกิลนั้นเป็นเป็นโลหะหนักที่ถูกระบุว่าเป็นสารก่อมะเร็งตาม IARC ในกลุ่ม 1 (Human carcinogen) จึงต้องทำการคำนวณค่าความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) โดยการนำค่าการได้รับสัมผัสจากการบริโภคของเครื่องดื่มที่อุณหภูมิ 40 °C มาคิดกับค่า Slope Factor = 0.84 พบว่าค่าที่ได้มีค่าเท่ากับ 5.56×10^{-4} หมายถึงค่าความเสี่ยงนั้นยอมรับได้เนื่องจากอยู่ในช่วง 10^{-6} ถึง 10^{-4} (1 คน ในประชากร 1,000,000 ถึง 1 คน ในประชากร 10,000 คน) รายละเอียดตามตารางที่ 4.7

เมื่อนำค่าปริมาณการได้รับสัมผัสโลหะหนักนิกเกิลมาเปรียบเทียบกับค่า ปริมาณที่ได้รับแล้วส่งไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.005 (mg/kg-day) เพื่อหาค่าดรรชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (HI) เนื่องจากโลหะหนักเหล็กนั้นไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มที่เป็นสารก่อมะเร็ง พบว่าค่าดรรชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่าเท่ากับ 0.13 ซึ่งค่าที่ได้มีค่าไม่ถึง 0.7 และต่ำกว่า 1 จึงถือว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ตามแนวทางของ US-EPA (1989) เป็นความเสี่ยงที่ไม่ส่งผลกระทบและยังไม่ต้องจัดการความเสี่ยงนั้นรายละเอียดตามตารางที่ 4.7

แสดงให้เห็นว่าการนำแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมาใช้ในการบรรจุเครื่องดื่มที่อุณหภูมิ 40 °C นั้นมีความปลอดภัยจากโลหะหนักนิกเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์คำนวณการได้รับสัมผัสโลหะหนักนิกเกิล

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวแปร	ค่าคงที่ 40°C	แหล่งที่มา
ความเข้มข้นของสารในเครื่องดื่ม pH ≤4.5	(mg/L)	CW	0.00693	ผลการวิเคราะห์
ความเข้มข้นของสารในเครื่องดื่ม pH 7.0	(mg/L)	CW	0.006	
อัตราการบริโภคเครื่องดื่ม pH≤4.5	(L/day)	IR	3.0693	ข้อมูลการบริโภคประชากรไทย อายุ 18-34.9 ปี
อัตราการบริโภคเครื่องดื่ม pH 7.0	(L/day)	IR	3.000	
จำนวนวันที่สัมผัสใน 1 ปี	(day/year)	CF	365	
จำนวนปีที่สัมผัสสาร	(year)	EP	70	
น้ำหนักของร่างกาย	(kg)	BW	63.53	
ระยะเวลาเฉลี่ย	(day)	AT	25,550	
Slope factor Nickle	$(mg/kg\text{-}day)^{-1}$	SF	0.84	(US-EPA 2011)
Reference Dose	(mg/kg-day)	RfD	0.005	JECFA 2019

ตารางที่ 4.7 ปริมาณนิกเกิลที่ได้รับและดรรชนีความเสี่ยง

อุณหภูมิ	pH	ปริมาณสารที่ร่างกายได้รับ (mg/kg-weight/day)	Cancer risk	ดรรชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (HI)
40 °C	≤4.5	0.000335		
	7.0	0.000327	5.56×10^{-4}	0.13
	รวม	**0.000662**		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ทั้งการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมและการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กนั้น พบว่าการนำแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมาใช้เป็นภาชนะบรรจุเครื่องดื่มนั้นสามารถนำมาใช้ได้ ปริมาณของสารที่เกิดการเคลื่อนย้ายนั้นยังไม่เกินค่าที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพแต่อย่างไรก็ตามผลของการวิเคราะห์จะทำให้เห็นว่าการใช้บรรจุเครื่องดื่มระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารเพิ่มมากขึ้น หากนำมาใช้บรรจุเครื่องดื่มควรใช้ในระยะเวลาที่เหมาะสมเพื่อลดความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสของสารที่เคลื่อนย้ายจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมาสู่เครื่องดื่ม นอกจากนี้เครื่องดื่มที่สัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสควรเป็นเครื่องดื่มที่มีค่า pH เป็นกลาง หากสัมผัสกับเครื่องดื่มที่มี pH เป็นกรด จะทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมาสู่เครื่องดื่มนั้นเพิ่มมากขึ้นหากมีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องดื่มที่มี pH เป็นกรด ควรใช้ในระยะเวลาที่สัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นเป็นระยะเวลาสั้นและเมื่อใช้เสร็จแล้วควรล้างทำความสะอาด อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้การเคลื่อนย้ายมากขึ้นคืออุณหภูมิ เครื่องดื่มที่อุณหภูมิมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนย้ายมากขึ้นด้วย

จากผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสโลหะหนักเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว พบว่า มีค่าดรรชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง มีค่าน้อยกว่า 1.0 ซึ่งแสดงว่าปริมาณที่ได้รับแล้วส่งไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค แต่อย่างไรก็ตามการได้รับการได้รับสัมผัสโลหะหนักเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว จากการบริโภคนั้นไม่ได้เกิดจากการบริโภคเครื่องดื่มในแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสเพียงแหล่งเดียว ยังมีการได้รับจากการบริโภคอาหารชนิดอื่นเข้าสู่ร่างกาย จึงควรมีการพิจารณาการได้รับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคอาหารอื่นร่วมด้วยเพื่อลดความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสโลหะหนักเหล็ก นิกเกิล และตะกั่วเกินปริมาณซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกาย

นอกจากผลของการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็นแล้ว การใช้แก้วเก็บความเย็นบรรจุเครื่องดื่มเป็นระยะเวลานานควรมีการพิจารณาในส่วนของจุลินทรีย์ในเครื่องดื่มที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาด้วย ซึ่งจุลินทรีย์ในเครื่องดื่มอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การเกิดการเคลื่อนย้ายของโลหะทั้งหมดจากแก้วเก็บความเย็นที่ทำจากสแตนเลสสู่อาหารจำลอง น้ำกลั่นและ3% Acetic acid พบว่า ปัจจัยในการเคลื่อนย้ายของสารที่เพิ่มขึ้นได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรดของตัวแทนอาหารจำลอง และเวลาที่ตัวแทนอาหารจำลองสัมผัสกับแก้วเก็บความเย็น โดยแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสที่สัมผัสกับตัวแทนอาหารที่มีความเป็นกรดจะเกิดขึ้นมากกว่าตัวแทนอาหารที่มีความเป็นกลาง ที่อุณหภูมิ 40 $^{\circ}C$ มีปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมและการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักมากกว่าที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}C$ ขณะที่แก้วเก็บความเย็นที่สัมผัสกับตัวแทนอาหารด้วยระยะเวลาที่นานจะมีปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะทั้งหมดมากกว่า เมื่อทำการแยกวิเคราะห์ พบว่ามีปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กเกิดขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือนิกเกิล และตะกั่ว ตามลำดับ

เมื่อนำปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็ก และนิกเกิล มาทำการประเมินความเสี่ยงการได้รับสัมผัส โดยใช้ข้อมูลการบริโภคของประชากรไทย ในปี 2559 ที่กลุ่มอายุ 18-34.9 ปี เปรียบเทียบกับปริมาณการได้รับสัมผัสโลหะในอาหารที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย ซึ่งกำหนดโดย EFSA และ JECFA พบว่ายังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยและไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเลือกใช้แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสที่มีการรับรองว่าทำมาจากสแตนเลสขั้นต่ำเกรด 304 หรือการสังเกตเบื้องต้นที่ด้านล่างภาชนะจะมีการแสดงตัวอักษร SUS 304

5.2.2 การล้างทำความสะอาดแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสควรใช้ฟองน้ำล้างทำความสะอาดเพื่อป้องกันการเกิดรอยบนสแตนเลสและคว่ำให้แห้งก่อนนำไปใช้งาน

5.2.3 การใช้งานแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสนั้นเมื่อบรรจุเครื่องดื่มแล้วควรใช้ในระยะเวลาที่เหมาะสมแล้วล้างทำความสะอาด เนื่องจากระยะเวลาที่เครื่องดื่มที่สัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสสู่อาหารเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้หากใช้บรรจุเครื่องดื่มประเภทชา กาแฟ หรือเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลานาน จะทำให้จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น เมื่อนำมาบริโภคอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้

5.2.4 ไม่ควรนำแก้วเก็บความเย็นไปบรรจุเครื่องดื่มร้อน เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารจากภาชนะไปสู่เครื่องดื่มเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กนก บุญมา. 2562. **ประเภทของสแตนเลส**. เข้าถึงได้จาก : http://www.sinsiamgroup .co.th/stainless.php. 17 กุมภาพันธ์ 2562.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2554. **ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้วัสดุสัมผัสอาหาร (Food Contact material)**

จินตนา ศรีนิเวศน์, น้ำผึ้ง ดุงโคกกรวด, ศิราณี ศรีใส. 2554. "สภาวะการชะของสารตะกั่วในน้ำก๋วยเตี๋ยวจากหม้อก๋วยเตี๋ยวที่บัดกรีด้วยตะกั่ว". **วารสารอนามัยและสิ่งแวดล้อม.** 14(1) หน้า 3-12.

ชนัญชิดา สายชุมดี. 2560. **การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www2.diw.go.th/researchAAS.pdf. 16 กุมภาพันธ์ 2560.

มาริสา คุณธนวงศ์. 2562. **เหล็กกล้าไร้สนิม.** ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.mtec.or.th/post-knowledges/2784. 12 ธันวาคม 2562.

วันชัย ลีลากวีวงศ์. 2560. **งานเชื่อมโลหะ.** เอกสารประกอบการสอนวิชางานเชื่อม. มหาวิทยาลัยศิลปากร

สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. 2559. **ความรู้บรรจุภัณฑ์สำหรับกาแฟผง กาแฟสดและชา.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : httpl//www.ismed.or.th. 31 มีนาคม 2559.

สำนักมาตรการทางการค้า. 2559. **เตือนผู้ผลิตไทยรับมือกฎระเบียบว่าด้วยวัสดุสัมผัสอาหารฉบับใหม่ของ EU.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http//www.dft.go.th. 16 กุมภาพันธ์ 2559.

ศุภมาส ด่านวิทยากุล และ อารี ธนบุญสมบัติ. 2556. "คุณรู้จัก "เฮกซะวาเลนต์โครเมียม" สารอันตรายใกล้ตัวแล้วหรือยัง" **เทคโนโลยีวัสดุ**. 68. หน้า12-18.

สมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหารแห่งประเทศไทย FOSTAT. 2011. **เรียนรู้เรื่องกฎระเบียบของภาชนะ บรรจุอาหาร เพื่อสู่เวทีการค้าโลก**. [Online]. Available from Internet : httpl//www.fostat.org/picture- ile/Updated.pdf. 19 January 2019

เอกรัตน์ ไวยนิตย์. 2562. **เทคนิคการเชื่อมหม้อก๋วยเตี๋ยวปลอดตะกั่ว**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.mhesi.go.th/main/th/107-knowledge/technology-integration/metal-and-materials-technology. 15 ธันวาคม 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อรวรรณ. 2547. "การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก:การวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียมในวัสดุใกล้ตัว". **วารสาร MTEC.** หน้า 34-38

อภิชาติ ชยานุภัทร์กุล. 2553. "พื้นผิวสแตนเลส". **วารสารเพื่อนสเตนเลส.** 5(48). หน้า 16-22.

อิศรา เพ็ชรยิ้ม. 2557. **กรด-ด่าง ในชีวิตประจำวัน.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http:// www.dss.go.th/images/st-article/bsp-3-2557-acid.pdf

APHA, AWWA and WEF. 2012. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 20th Edition, Edited by Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg, Andrew D. Eaton,

Bureau veritas. 2019. **New EU regulation for plastic materials in contact with food**. [Online]. Available from Internet : httpl//wcm.bureauveritas.com/wps/wcm/connect. 16 February 2019

Chemical Inspection and Regulation Service l CIRS. 2019. **Food contact materials (FCM).** [Online]. Available from Internet : httpl//www.cirs-reach.com/FCM/index.html. 14 January 2019.

Driscoll, RH., and Rahman, MS. 2008. "Types of packaging materials used for foods". **Handbook of food preservation,** second Edition. Edited by M, Shafiur Rhaman. CRC Press, 2008, p. 917-938

Farhoodi, M., Mousavi, S. M., Sotudeh-Gharebagh, R., Emam-Djomeh, Z., &Oromiehie, A. 2014. "Migration of aluminum and silicon from PET/clay nanocomposite bottles into acidic food simulant". **Packaging Technology and Science**. 27(2). 161-168.

Hawley, G.G. 1977. **The condensed chemical dictionary.** 9 th ed., VenNostrand Reinhold. Co., London. 957

Lee, DS., Yam, KL., and Piergiovanni, L. 2008. "Migration and food-package interactions". **Food packaging science and technology**. New York : CRC Press, p. 109-113, 122-124.

Nordic. 2008. "Food contact materials-in-house documentation and traceability". **Denmark l Ekspressen Tryk & kopicenter.** p. 7-16, 21-28.

Pang Jin-shan, Zeng Yi, Peng Xiao-jun, Song Chuan-wang. 2013. Corrosion resistance and heavy metal migration behavior of three kind stainless steels in food contact simulative media. **Material for mechanical Engineering**. 202-207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pang Jin-shan, Zeng Yi, Peng Xiao-jun, Song Chuan-wang. 2013. Migration behavior of heavy metal for stainless steel used for food containers in different medium. Hot working technology. 10-23.

US EPA. 1991. **Guidelines for developmental toxicity risk assessment**. [Online]. Available from Internet : http:// www.epa.gov/raf/publications/pdfs/REPRO51.PDF. 14 December 2019.

Vashishtha, H., Taiwade, R. and Sharma, S. 2017. "Effect of Acetic Acid on Corrosion Behavior of Aisi 201, 304 and 430 Stainless Steels". **International Journal of Materials Research**. Vol. 108

Wilde, JH. 1971. de. "Legal aspects of food packageing". **Food packaging and health : migration and legislation.** Eastbourne. p. 1.1-1.4.

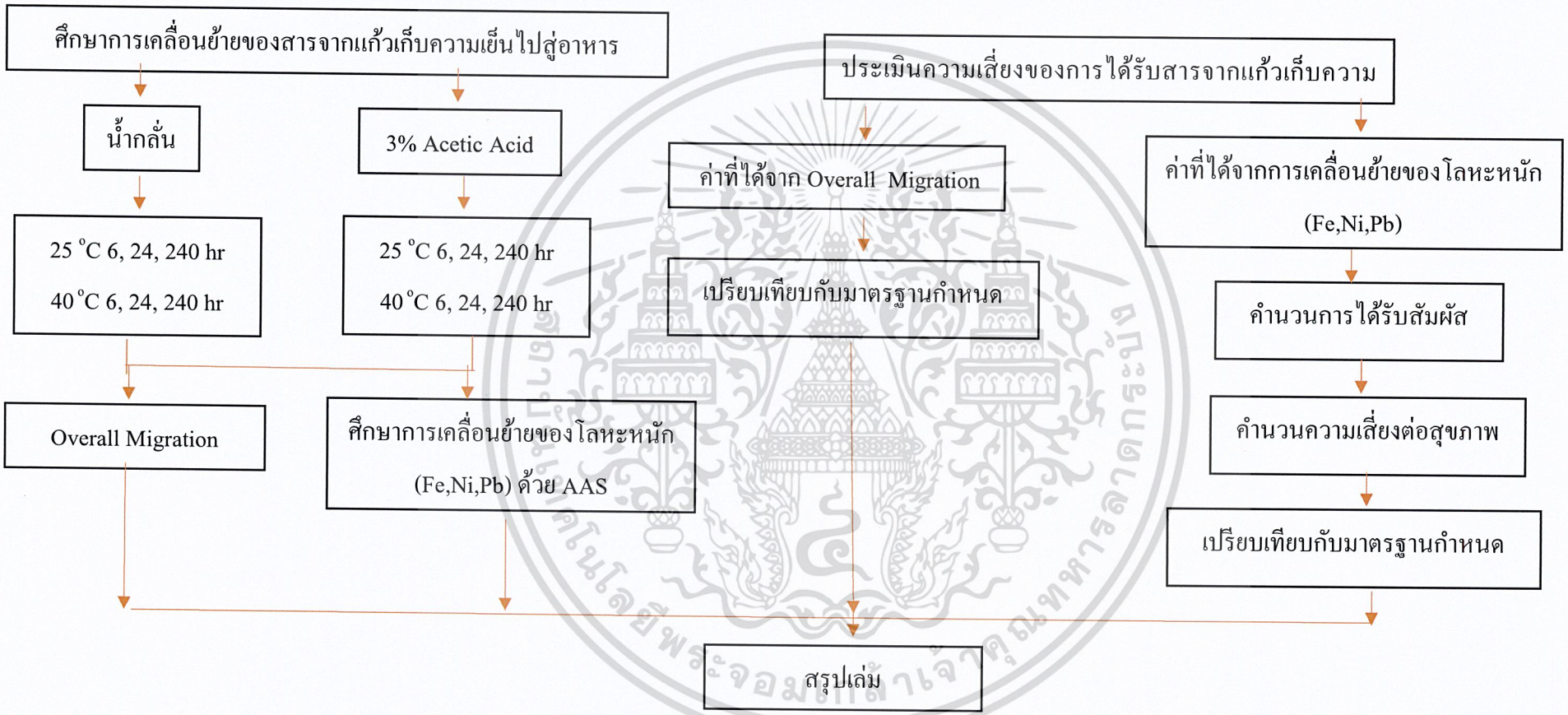
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แผนผังการประเมินความปลอดภัยของแก้วเก็บความเย็นที่สัมผัสกับอาหาร

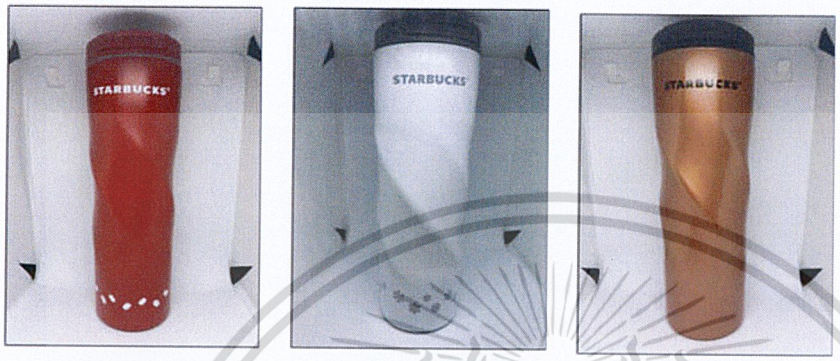


ภาพ ก1. แผนผังการทดลอง

ภาคผนวก ข

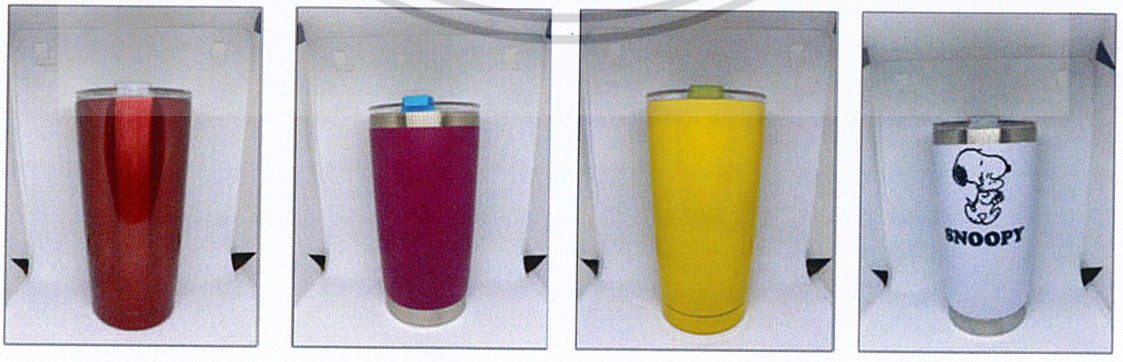
ภาพแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส

ภาพที่ ข. 1 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 1



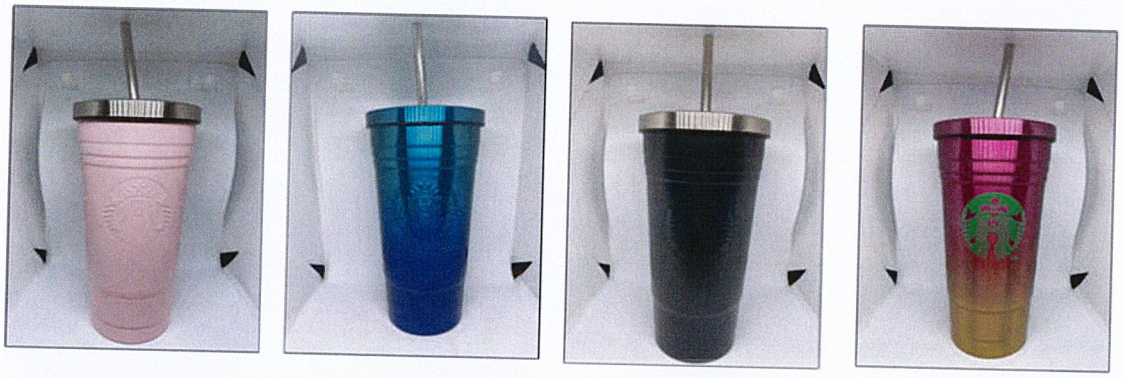
ภาพที่ ข. 2 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 2

ภาพที่ ข. 3 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

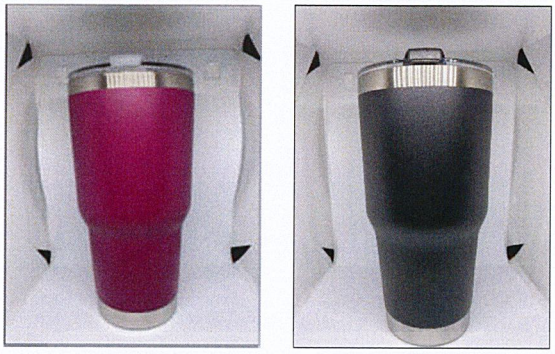
ภาพที่ ข. 4 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 4



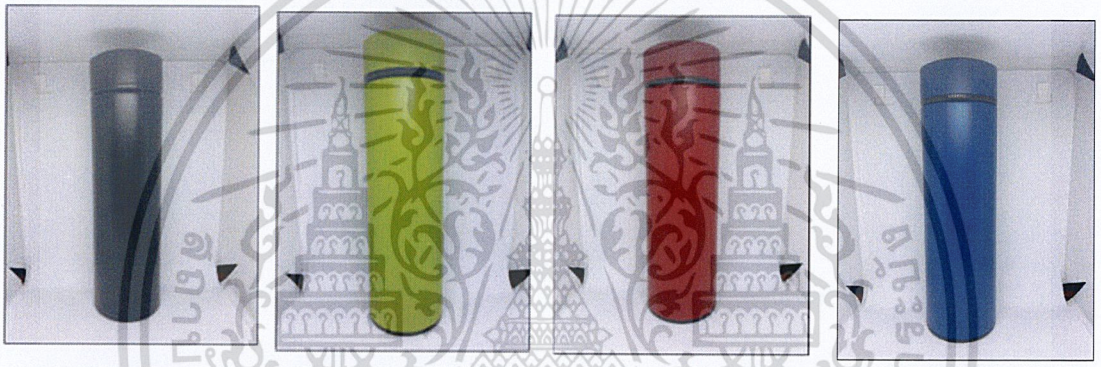
ภาพที่ ข. 5 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ข. 5 (ต่อ) แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 5

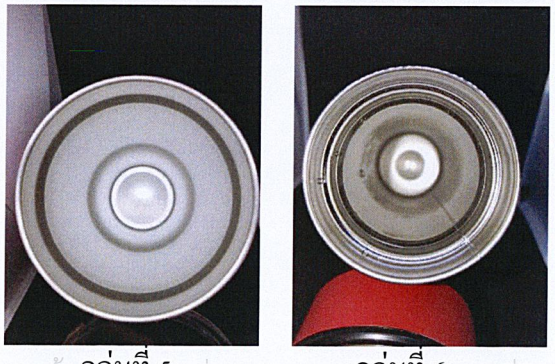


ภาพที่ ข. 6 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 6



ภาพ ข. 7 ภาพลักษณะภายในแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส

กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ 4



กลุ่มที่ 5 กลุ่มที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

Data Specific Migration

ตารางที่ ค.1 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.0282	0.00036	< 0.006	-	< 0.015	-
2	0.0323	0.00040	< 0.006	-	< 0.015	-
3	0.0251	0.00045	< 0.006	-	< 0.015	-
4	0.0283	0.00020	< 0.006	-	< 0.015	-
5	0.0258	0.00025	< 0.006	-	< 0.015	-
6	0.0286	0.00036	< 0.006	-	< 0.015	-
7	0.0276	0.00026	< 0.006	-	< 0.015	-
8	0.0263	0.00026	< 0.006	-	< 0.015	-
9	0.0295	0.00046	< 0.006	-	< 0.015	-
10	0.0285	0.00046	< 0.006	-	< 0.015	-
11	0.0228	0.00040	< 0.006	-	< 0.015	-
12	0.0285	0.00075	< 0.006	-	< 0.015	-
13	0.0317	0.00075	< 0.006	-	< 0.015	-
14	0.0248	0.00025	< 0.006	-	< 0.015	-
15	0.0259	0.00031	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.0343	0.00085	< 0.006	-	< 0.015	-
17	0.0318	0.00061	< 0.006	-	< 0.015	-
18	0.0344	0.00040	< 0.006	-	< 0.015	-
19	0.0252	0.00036	< 0.006	-	< 0.015	-
20	0.0247	0.00057	< 0.006	-	< 0.015	-
21	0.0247	0.00075	< 0.006	-	< 0.015	-
22	0.0252	0.00031	< 0.006	-	< 0.015	-
23	0.0247	0.00049	< 0.006	-	< 0.015	-
24	0.0286	0.00036	< 0.006	-	< 0.015	-
25	0.0216	0.00040	< 0.006	-	< 0.015	-
26	0.0250	0.00059	< 0.006	-	< 0.015	-
27	0.0287	0.00025	< 0.006	-	< 0.015	-
28	0.0280	0.00035	< 0.006	-	< 0.015	-
29	0.0291	0.00046	< 0.006	-	< 0.015	-
30	0.0251	0.00042	< 0.006	-	< 0.015	-
Average	0.0274	0.00316	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.02830	0.000436	< 0.006	-	< 0.015	-
2	0.02647	0.000208	< 0.006	-	< 0.015	-
3	0.02380	0.000200	< 0.006	-	< 0.015	-
4	0.02693	0.000513	< 0.006	-	< 0.015	-
5	0.02827	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
6	0.02803	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
7	0.02500	0.000500	< 0.006	-	< 0.015	-
8	0.02643	0.000058	< 0.006	-	< 0.015	-
9	0.02957	0.000833	< 0.006	-	< 0.015	-
10	0.02840	0.000600	< 0.006	-	< 0.015	-
11	0.02670	0.000361	< 0.006	-	< 0.015	-
12	0.02963	0.000351	< 0.006	-	< 0.015	-
13	0.02963	0.000153	< 0.006	-	< 0.015	-
14	0.02693	0.000503	< 0.006	-	< 0.015	-
15	0.02660	0.000361	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.03120	0.000520	< 0.006	-	< 0.015	-
17	0.02983	0.000351	< 0.006	-	< 0.015	-
18	0.03230	0.000436	< 0.006	-	< 0.015	-
19	0.02600	0.000200	< 0.006	-	< 0.015	-
20	0.02663	0.000321	< 0.006	-	< 0.015	-
21	0.02580	0.000200	< 0.006	-	< 0.015	-
22	0.02660	0.000361	< 0.006	-	< 0.015	-
23	0.02613	0.000416	< 0.006	-	< 0.015	-
24	0.02760	0.000794	< 0.006	-	< 0.015	-
25	0.02983	0.001258	< 0.006	-	< 0.015	-
26	0.03127	0.000681	< 0.006	-	< 0.015	-
27	0.02903	0.000153	< 0.006	-	< 0.015	-
28	0.02797	0.000351	< 0.006	-	< 0.015	-
29	0.02670	0.000361	< 0.006	-	< 0.015	-
30	0.02643	0.000513	< 0.006	-	< 0.015	-
Average	0.0278	0.00196	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 240 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.05507	0.003530	< 0.006	-	< 0.015	-
2	0.05270	0.003148	< 0.006	-	< 0.015	-
3	0.05137	0.003202	< 0.006	-	< 0.015	-
4	0.05250	0.003208	< 0.006	-	< 0.015	-
5	0.04843	0.003612	< 0.006	-	< 0.015	-
6	0.05250	0.003404	< 0.006	-	< 0.015	-
7	0.05033	0.003302	< 0.006	-	< 0.015	-
8	0.05093	0.003188	< 0.006	-	< 0.015	-
9	0.04853	0.003350	< 0.006	-	< 0.015	-
10	0.05117	0.003014	< 0.006	-	< 0.015	-
11	0.04817	0.003213	< 0.006	-	< 0.015	-
12	0.05093	0.003485	< 0.006	-	< 0.015	-
13	0.05270	0.003274	< 0.006	-	< 0.015	-
14	0.05193	0.002695	< 0.006	-	< 0.015	-
15	0.05253	0.003001	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 240 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.05307	0.002838	< 0.006	-	< 0.015	-
17	0.04823	0.003288	< 0.006	-	< 0.015	-
18	0.04853	0.003001	< 0.006	-	< 0.015	-
19	0.04943	0.003353	< 0.006	-	< 0.015	-
20	0.05053	0.003500	< 0.006	-	< 0.015	-
21	0.05227	0.003035	< 0.006	-	< 0.015	-
22	0.04517	0.003371	< 0.006	-	< 0.015	-
23	0.05270	0.003439	< 0.006	-	< 0.015	-
24	0.04797	0.003035	< 0.006	-	< 0.015	-
25	0.04830	0.003342	< 0.006	-	< 0.015	-
26	0.05127	0.003530	< 0.006	-	< 0.015	-
27	0.05180	0.003700	< 0.006	-	< 0.015	-
28	0.04863	0.003190	< 0.006	-	< 0.015	-
29	0.05160	0.003005	< 0.006	-	< 0.015	-
30	0.05050	0.003000	< 0.006	-	< 0.015	-
Average	0.0506	0.00212	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.03093	0.000493	< 0.006	-	< 0.015	-
2	0.03240	0.000854	< 0.006	-	< 0.015	-
3	0.03343	0.000603	< 0.006	-	< 0.015	-
4	0.02993	0.000379	< 0.006	-	< 0.015	-
5	0.02993	0.000513	< 0.006	-	< 0.015	-
6	0.03390	0.001082	< 0.006	-	< 0.015	-
7	0.03337	0.001206	< 0.006	-	< 0.015	-
8	0.03170	0.001819	< 0.006	-	< 0.015	-
9	0.02973	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
10	0.03320	0.000608	< 0.006	-	< 0.015	-
11	0.02997	0.000473	< 0.006	-	< 0.015	-
12	0.03270	0.001082	< 0.006	-	< 0.015	-
13	0.03487	0.000709	< 0.006	-	< 0.015	-
14	0.02917	0.000416	< 0.006	-	< 0.015	-
15	0.02987	0.000153	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.03100	0.0005	< 0.006	-	< 0.015	-
17	0.03137	0.000153	< 0.006	-	< 0.015	-
18	0.02973	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
19	0.02983	0.000153	< 0.006	-	< 0.015	-
20	0.03090	0.000529	< 0.006	-	< 0.015	-
21	0.02897	0.000351	< 0.006	-	< 0.015	-
22	0.02923	0.000643	< 0.006	-	< 0.015	-
23	0.03027	0.000586	< 0.006	-	< 0.015	-
24	0.02570	0.000265	< 0.006	-	< 0.015	-
25	0.02787	0.000513	< 0.006	-	< 0.015	-
26	0.03673	0.000306	< 0.006	-	< 0.015	-
27	0.03063	0.000379	< 0.006	-	< 0.015	-
28	0.02990	0.000529	< 0.006	-	< 0.015	-
29	0.02960	0.000529	< 0.006	-	< 0.015	-
30	0.03027	0.000493	< 0.006	-	< 0.015	-
Average	0.0309	0.00212	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.03557	0.000208	< 0.006	-	< 0.015	-
2	0.03293	0.000379	< 0.006	-	< 0.015	-
3	0.03470	0.000265	< 0.006	-	< 0.015	-
4	0.02763	0.000231	< 0.006	-	< 0.015	-
5	0.03480	0.000300	< 0.006	-	< 0.015	-
6	0.03203	0.000208	< 0.006	-	< 0.015	-
7	0.03450	0.000300	< 0.006	-	< 0.015	-
8	0.03570	0.000458	< 0.006	-	< 0.015	-
9	0.03527	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
10	0.03606	0.000216	< 0.006	-	< 0.015	-
11	0.03477	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
12	0.03483	0.000351	< 0.006	-	< 0.015	-
13	0.02953	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
14	0.03680	0.000200	< 0.006	-	< 0.015	-
15	0.03547	0.000850	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.03277	0.002194	< 0.006	-	< 0.015	-
17	0.03163	0.003109	< 0.006	-	< 0.015	-
18	0.03140	0.001852	< 0.006	-	< 0.015	-
19	0.02700	0.001908	< 0.006	-	< 0.015	-
20	0.02760	0.001493	< 0.006	-	< 0.015	-
21	0.02603	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
22	0.02637	0.000709	< 0.006	-	< 0.015	-
23	0.02873	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
24	0.02813	0.001002	< 0.006	-	< 0.015	-
25	0.02943	0.001365	< 0.006	-	< 0.015	-
26	0.03093	0.000751	< 0.006	-	< 0.015	-
27	0.02877	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
28	0.03143	0.000306	< 0.006	-	< 0.015	-
29	0.02903	0.000551	< 0.006	-	< 0.015	-
30	0.02920	0.000361	< 0.006	-	< 0.015	-
Average	0.0316	0.00333	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 240 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.05010	0.000265	< 0.006	-	< 0.015	-
2	0.05087	0.000611	< 0.006	-	< 0.015	-
3	0.05193	0.000404	< 0.006	-	< 0.015	-
4	0.04973	0.000379	< 0.006	-	< 0.015	-
5	0.05137	0.000321	< 0.006	-	< 0.015	-
6	0.05137	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
7	0.05477	0.000473	< 0.006	-	< 0.015	-
8	0.05217	0.000321	< 0.006	-	< 0.015	-
9	0.05013	0.000153	< 0.006	-	< 0.015	-
10	0.05183	0.000451	< 0.006	-	< 0.015	-
11	0.05047	0.000289	< 0.006	-	< 0.015	-
12	0.04973	0.000153	< 0.006	-	< 0.015	-
13	0.04893	0.005671	< 0.006	-	< 0.015	-
14	0.05437	0.000058	< 0.006	-	< 0.015	-
15	0.04977	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 240 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.05377	0.000929	< 0.006	-	< 0.015	-
17	0.05367	0.000666	< 0.006	-	< 0.015	-
18	0.05403	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
19	0.05207	0.000208	< 0.006	-	< 0.015	-
20	0.04913	0.000757	< 0.006	-	< 0.015	-
21	0.04720	0.002869	< 0.006	-	< 0.015	-
22	0.04573	0.004738	< 0.006	-	< 0.015	-
23	0.04517	0.005398	< 0.006	-	< 0.015	-
24	0.05203	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
25	0.04977	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
26	0.04960	0.000300	< 0.006	-	< 0.015	-
27	0.05040	0.000557	< 0.006	-	< 0.015	-
28	0.04423	0.004908	< 0.006	-	< 0.015	-
29	0.04967	0.000289	< 0.006	-	< 0.015	-
30	0.04890	0.005717	< 0.006	-	< 0.015	-
Average	0.0504	0.00257	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 Data Specific Migration โดย ใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.03360	0.000361	< 0.006	-	< 0.015	-
2	0.03777	0.000252	< 0.006	-	< 0.015	-
3	0.03060	0.000400	< 0.006	-	< 0.015	-
4	0.03330	0.000436	< 0.006	-	< 0.015	-
5	0.03120	0.000608	< 0.006	-	< 0.015	-
6	0.03370	0.000361	< 0.006	-	< 0.015	-
7	0.03247	0.000950	< 0.006	-	< 0.015	-
8	0.03163	0.000321	< 0.006	-	< 0.015	-
9	0.03450	0.000265	< 0.006	-	< 0.015	-
10	0.03367	0.000306	< 0.006	-	< 0.015	-
11	0.02793	0.000058	< 0.006	-	< 0.015	-
12	0.03400	0.000200	< 0.006	-	< 0.015	-
13	0.03653	0.000551	< 0.006	-	< 0.015	-
14	0.03023	0.000643	< 0.006	-	< 0.015	-
15	0.03107	0.000451	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.03873	0.000874	< 0.006	-	< 0.015	-
17	0.03730	0.000346	< 0.006	-	< 0.015	-
18	0.03943	0.000902	< 0.006	-	< 0.015	-
19	0.03020	0.000529	< 0.006	-	< 0.015	-
20	0.03000	0.000458	< 0.006	-	< 0.015	-
21	0.03040	0.000721	< 0.006	-	< 0.015	-
22	0.03003	0.000513	< 0.006	-	< 0.015	-
23	0.02983	0.000208	< 0.006	-	< 0.015	-
24	0.03460	0.001353	< 0.006	-	< 0.015	-
25	0.02670	0.000436	< 0.006	-	< 0.015	-
26	0.03050	0.000361	< 0.006	-	< 0.015	-
27	0.03393	0.000208	< 0.006	-	< 0.015	-
28	0.03330	0.000200	< 0.006	-	< 0.015	-
29	0.03433	0.000231	< 0.006	-	< 0.015	-
30	0.03077	0.000379	< 0.006	-	< 0.015	-
Average	0.0327	0.00309	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 Data Specific Migration โดยใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.03283	0.000289	< 0.006	-	< 0.015	-
2	0.03363	0.000513	< 0.006	-	< 0.015	-
3	0.03317	0.000379	< 0.006	-	< 0.015	-
4	0.03463	0.000751	< 0.006	-	< 0.015	-
5	0.03687	0.001150	< 0.006	-	< 0.015	-
6	0.03830	0.000755	< 0.006	-	< 0.015	-
7	0.03607	0.000306	< 0.006	-	< 0.015	-
8	0.03500	0.000346	< 0.006	-	< 0.015	-
9	0.03373	0.000503	< 0.006	-	< 0.015	-
10	0.03347	0.000643	< 0.006	-	< 0.015	-
11	0.03373	0.000503	< 0.006	-	< 0.015	-
12	0.03667	0.000416	< 0.006	-	< 0.015	-
13	0.03667	0.000153	< 0.006	-	< 0.015	-
14	0.03397	0.000586	< 0.006	-	< 0.015	-
15	0.03363	0.000513	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.03823	0.000643	< 0.006	-	< 0.015	-
17	0.03687	0.000473	< 0.006	-	< 0.015	-
18	0.03933	0.000451	< 0.006	-	< 0.015	-
19	0.03303	0.000058	< 0.006	-	< 0.015	-
20	0.03367	0.000351	< 0.006	-	< 0.015	-
21	0.03533	0.000503	< 0.006	-	< 0.015	-
22	0.03350	0.000361	< 0.006	-	< 0.015	-
23	0.03083	0.000208	< 0.006	-	< 0.015	-
24	0.03397	0.000666	< 0.006	-	< 0.015	-
25	0.03530	0.000346	< 0.006	-	< 0.015	-
26	0.03507	0.000115	< 0.006	-	< 0.015	-
27	0.03203	0.000651	< 0.006	-	< 0.015	-
28	0.03347	0.000115	< 0.006	-	< 0.015	-
29	0.03660	0.000964	< 0.006	-	< 0.015	-
30	0.03543	0.000709	< 0.006	-	< 0.015	-
Average	0.0348	0.00196	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 Data Specific Migration โดยใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 240 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.05420	0.00128	< 0.006	-	< 0.015	-
2	0.05247	0.00101	< 0.006	-	< 0.015	-
3	0.04960	0.00095	< 0.006	-	< 0.015	-
4	0.05313	0.00122	< 0.006	-	< 0.015	-
5	0.05423	0.00075	< 0.006	-	< 0.015	-
6	0.05373	0.00075	< 0.006	-	< 0.015	-
7	0.05120	0.00111	< 0.006	-	< 0.015	-
8	0.05227	0.00085	< 0.006	-	< 0.015	-
9	0.05583	0.00172	< 0.006	-	< 0.015	-
10	0.05447	0.00150	< 0.006	-	< 0.015	-
11	0.05173	0.00075	< 0.006	-	< 0.015	-
12	0.05270	0.00111	< 0.006	-	< 0.015	-
13	0.05193	0.00049	< 0.006	-	< 0.015	-
14	0.05337	0.00042	< 0.006	-	< 0.015	-
15	0.05520	0.00080	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 25 °C เวลา 240 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.05723	0.00155	< 0.006	-	< 0.015	-
17	0.05500	0.00095	< 0.006	-	< 0.015	-
18	0.05373	0.00106	< 0.006	-	< 0.015	-
19	0.05280	0.00095	< 0.006	-	< 0.015	-
20	0.05253	0.00139	< 0.006	-	< 0.015	-
21	0.05280	0.00095	< 0.006	-	< 0.015	-
22	0.05560	0.00066	< 0.006	-	< 0.015	-
23	0.05547	0.00070	< 0.006	-	< 0.015	-
24	0.05300	0.00066	< 0.006	-	< 0.015	-
25	0.05270	0.00111	< 0.006	-	< 0.015	-
26	0.05737	0.00085	< 0.006	-	< 0.015	-
27	0.05583	0.00122	< 0.006	-	< 0.015	-
28	0.05820	0.00053	< 0.006	-	< 0.015	-
29	0.05173	0.00075	< 0.006	-	< 0.015	-
30	0.05253	0.00061	< 0.006	-	< 0.015	-
Average	0.0538	0.00196	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 Data Specific Migration โดยใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.04230	0.002914	< 0.006	-	< 0.015	-
2	0.04503	0.001450	< 0.006	-	< 0.015	-
3	0.04720	0.002066	< 0.006	-	< 0.015	-
4	0.04150	0.002498	< 0.006	-	< 0.015	-
5	0.04220	0.002663	< 0.006	-	< 0.015	-
6	0.04333	0.002754	< 0.006	-	< 0.015	-
7	0.04370	0.002606	< 0.006	-	< 0.015	-
8	0.04207	0.002768	< 0.006	-	< 0.015	-
9	0.04217	0.002669	< 0.006	-	< 0.015	-
10	0.04323	0.002610	< 0.006	-	< 0.015	-
11	0.04130	0.002700	< 0.006	-	< 0.015	-
12	0.04157	0.002572	< 0.006	-	< 0.015	-
13	0.04260	0.002052	< 0.006	-	< 0.015	-
14	0.03803	0.002775	< 0.006	-	< 0.015	-
15	0.04020	0.002851	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.04907	0.002701	< 0.006	-	< 0.015	-
17	0.04297	0.002854	< 0.006	-	< 0.015	-
18	0.04223	0.003035	< 0.006	-	< 0.015	-
19	0.04193	0.002723	< 0.006	-	< 0.015	-
20	0.04260	0.002052	< 0.006	-	< 0.015	-
21	0.04327	0.002108	< 0.006	-	< 0.015	-
22	0.04473	0.001662	< 0.006	-	< 0.015	-
23	0.04577	0.001914	< 0.006	-	< 0.015	-
24	0.04227	0.002854	< 0.006	-	< 0.015	-
25	0.04227	0.002926	< 0.006	-	< 0.015	-
26	0.04623	0.001450	< 0.006	-	< 0.015	-
27	0.04570	0.002433	< 0.006	-	< 0.015	-
28	0.04403	0.001563	< 0.006	-	< 0.015	-
29	0.04207	0.002401	< 0.006	-	< 0.015	-
30	0.04553	0.002608	< 0.006	-	< 0.015	-
Average	0.0432	0.00220	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 Data Specific Migration โดยใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.05337	0.001677	< 0.006	-	< 0.015	-
2	0.05287	0.002082	< 0.006	-	< 0.015	-
3	0.04957	0.003408	< 0.006	-	< 0.015	-
4	0.04740	0.001587	< 0.006	-	< 0.015	-
5	0.04770	0.001510	< 0.006	-	< 0.015	-
6	0.04547	0.001893	< 0.006	-	< 0.015	-
7	0.04540	0.002706	< 0.006	-	< 0.015	-
8	0.04813	0.002205	< 0.006	-	< 0.015	-
9	0.04760	0.001539	< 0.006	-	< 0.015	-
10	0.04803	0.001966	< 0.006	-	< 0.015	-
11	0.05027	0.002658	< 0.006	-	< 0.015	-
12	0.04793	0.002205	< 0.006	-	< 0.015	-
13	0.05090	0.002163	< 0.006	-	< 0.015	-
14	0.04873	0.001858	< 0.006	-	< 0.015	-
15	0.04847	0.001893	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.05493	0.002205	< 0.006	-	< 0.015	-
17	0.05250	0.002042	< 0.006	-	< 0.015	-
18	0.05407	0.002248	< 0.006	-	< 0.015	-
19	0.04710	0.001929	< 0.006	-	< 0.015	-
20	0.05433	0.001966	< 0.006	-	< 0.015	-
21	0.05147	0.002122	< 0.006	-	< 0.015	-
22	0.05403	0.001966	< 0.006	-	< 0.015	-
23	0.05533	0.001966	< 0.006	-	< 0.015	-
24	0.05467	0.001893	< 0.006	-	< 0.015	-
25	0.05549	0.001921	< 0.006	-	< 0.015	-
26	0.05420	0.002163	< 0.006	-	< 0.015	-
27	0.05430	0.001825	< 0.006	-	< 0.015	-
28	0.04870	0.002163	< 0.006	-	< 0.015	-
29	0.05607	0.002003	< 0.006	-	< 0.015	-
30	0.05507	0.001570	< 0.006	-	< 0.015	-
Average	0.0511	0.00375	< 0.006	-	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 Data Specific Migration โดยใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 240 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
1	0.09813	0.002754	0.00667	0.000231	< 0.015	-
2	0.09740	0.002364	0.00667	0.000416	< 0.015	-
3	0.09660	0.003245	0.00657	0.000153	< 0.015	-
4	0.10203	0.002470	0.00717	0.000208	< 0.015	-
5	0.09743	0.002601	0.00737	0.000058	< 0.015	-
6	0.10143	0.001601	0.00743	0.000208	< 0.015	-
7	0.10133	0.002060	0.00740	0.000265	< 0.015	-
8	0.10170	0.002265	0.00683	0.000351	< 0.015	-
9	0.09973	0.002312	0.00743	0.000321	< 0.015	-
10	0.09680	0.003200	0.00730	0.000436	< 0.015	-
11	0.09487	0.001365	0.00750	0.000173	< 0.015	-
12	0.09340	0.002553	0.00760	0.000265	< 0.015	-
13	0.09283	0.003232	0.00723	0.000451	< 0.015	-
14	0.09970	0.002265	0.00677	0.000058	< 0.015	-
15	0.09743	0.002601	0.00690	0.000265	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้ 3 % Acetic Acid เป็นตัวแทนอาหาร ที่อุณหภูมิ 40 °C เวลา 240 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่	Fe		Ni		Pb	
	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD	(mg/L)	± SD
16	0.09727	0.002706	0.00677	0.000208	< 0.015	-
17	0.09807	0.002438	0.00733	0.000351	< 0.015	-
18	0.09190	0.002750	0.00750	0.000100	< 0.015	-
19	0.09733	0.002754	0.00680	0.000265	< 0.015	-
20	0.09657	0.006018	0.00660	0.000265	< 0.015	-
21	0.09777	0.002281	0.00667	0.000058	< 0.015	-
22	0.09853	0.002318	0.00673	0.000208	< 0.015	-
23	0.09960	0.002352	0.00643	0.000404	< 0.015	-
24	0.09740	0.002883	0.00680	0.000265	< 0.015	-
25	0.09903	0.002550	0.00613	0.000351	< 0.015	-
26	0.09903	0.002401	0.00633	0.000351	< 0.015	-
27	0.10243	0.002150	0.00643	0.000208	< 0.015	-
28	0.09983	0.002550	0.00663	0.000252	< 0.015	-
29	0.09780	0.002406	0.00693	0.000321	< 0.015	-
30	0.09950	0.002066	0.00637	0.000153	< 0.015	-
Average	0.00980	0.00257	0.000691	0.00041	< 0.015	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายพัทธมน ทองคำ
ที่อยู่	22/1 ซอยบางนา-ตราด 19 แยก 4 เขตบางนา แขวงบางนา กทม 10260
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2554	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีและการจัดการความปลอดภัยของอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2555	นักวิทยาศาสตร์ สถาบันอาหาร
พ.ศ.2558 - ปัจจุบัน	นักทดลองวิทยาศาสตร์บริการ ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้