

# การประเมินความปลอดภัยของแก้วเก็บความเย็นที่สัมผัสอาหาร

## Safety assessment of food contact Tumbler



การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการความปลอดภัยอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2564

**KMITL-2021-FI-M-054-378**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Safety assessment of food contact Tumbler



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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2021**

**FACULTY OF FOOD INDUSTRY**

**KING MONGKOL'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การประเมินความปลอดภัยของแก้วเก็บความเย็นที่สัมผัส  
อาหาร  
นักศึกษา นายพัทธมน ทองคำ  
รหัสประจำตัว 61608022  
ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต  
สาขาวิชา การจัดการความปลอดภัยอาหาร  
พ.ศ. 2563  
อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษา ผศ.ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม  
ค้นคว้าอิสระ

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสที่สัมผัสตัวแทนของอาหารจำลอง รวมถึงการประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงของการได้รับสัมผัสโลหะหนักจากภาชนะแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส โดยได้ทำการศึกษาจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสจำนวน 30 ตัวอย่าง โดยใช้ตัวแทนของอาหารจำลองคือ น้ำกลั่นและ 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  $0.5104 \pm 0.0728 \text{ mg/dm}^3$  ส่วนการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) และ ตะกั่ว (Pb) ด้วยเทคนิค Flame Atomic Absorption Spectrophotometry พบว่า ปริมาณมากที่สุดคือ  $0.0981 \pm 0.0026$ ,  $0.00691 \pm 0.00041$ ,  $<0.015 \text{ mg/L}$  ตามลำดับ โดยพบค่า pH อุณหภูมิของตัวแทนอาหารจำลองและเวลาที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการประเมินความเสี่ยงการได้รับโลหะในอาหารเทียบกับค่าความปลอดภัยพบว่าปริมาณเหล็กและนิกเกิลไม่เกินเกณฑ์ปริมาณที่แนะนำโดย European Food Safety Authority (EFSA) และ The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Independent Study</b>	Safety assessment of food contact Tumbler
<b>Student</b>	Pattamon Thongkum
<b>Student ID.</b>	61608022
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Food Safety Management
<b>Year</b>	2020
<b>Independent Study Advisor</b>	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 °C at 6, 24 and 240 hours. It was found that 3% of acetic acid was used as a food simulant at 40 °C for 240 hours, with the most overall migration from stainless steel chilled glass. The mean values were  $0.5104 \pm 0.0728$  mg/dm<sup>3</sup>, 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  $0.0980 \pm 0.00257$ ,  $0.00691 \pm 0.00041$ ,  $<0.015$  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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

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

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบุลย์ ดร.ระจิตร์ สุวพานิช และ ดร.อุมาพร นัทรศรีสุวรรณ ที่ให้ความอนุเคราะห์มาเป็นกรรมการในการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ ปรึกษา จนการศึกษาค้นคว้าอิสระ สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์วิภาวีรัตน์ นิตาภัย ผู้ช่วยอธิการบดี มรภ.ชัยภูมิ และคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและสารเคมี ในการวิเคราะห์หาโลหะหนัก

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สวรัภย์ กันทรเทพธิมมากุล หัวหน้าสาขาเทคโนโลยีและการจัดการความปลอดภัยของอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ให้คำแนะนำที่ดีและเป็นกำลังใจที่ดีในระหว่างการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านและเจ้าหน้าที่ธุรการ ของคณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้แนวทางการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้

ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวของผู้เขียน ที่ช่วยให้ทุนทรัพย์ ในการการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ และเป็นกำลังใจที่ดีที่ให้ผู้เขียนทำสำเร็จ

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้องนักศึกษาปริญญาโท สาขาการจัดการความปลอดภัยอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร ปีการศึกษา 2560-2561 ที่คอยช่วยเหลือ คอยให้คำแนะนำที่ดีแก่ผู้เขียนอยู่เสมอ และเป็นกำลังใจที่ดีในระหว่างการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ให้ราบรื่น สำเร็จลุล่วง ไปด้วยดี

พัทมน ทองคำ

# 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 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดภาวะเคลื่อนย้ายของสารสู่อาหาร.....	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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	52
3.1	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	52
3.2	อุปกรณ์.....	52
3.3	สารเคมี.....	53
3.4	คัดเลือกตัวอย่างของแก้วเก็บความเย็นที่ทำมาจากวัสดุเตนเลส.....	53
3.5	การวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวม (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	ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวม (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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลองค์ประกอบเกี่ยวกับสแตนด์เล็กรุ่นอื่น ๆ ที่ใช้ในการสัมผัสกับอาหาร.....	21
2.2 ชนิดของอาหารและตัวแทนอาหารจำลองที่ใช้.....	24
2.3 สภาพที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม (Overall Migration).....	24
2.4 ระยะเวลาทดสอบที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารแบบเจาะจง (Specific Migration).....	25
2.5 สภาพที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารแบบเจาะจง (Specific Migration).....	25
2.6 ค่า pH เฉลี่ยของเครื่องดื่มแต่ละชนิด.....	27
2.7 เปรียบเทียบปริมาณโลหะกับปริมาณที่ร่างกายรับได้โดยไม่ให้ก่ออันตราย.....	36
2.8 ข้อกำหนดการปลดปล่อยแบบเฉพาะเจาะจง (SRL) โดยสภายุโรป.....	37
2.9 พารามิเตอร์ของตัวแปรสมการ.....	40
2.10 ปริมาณการบริโภคเครื่องดื่มของประชากรไทยอายุ 18-34.9 ปี.....	43
2.11 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	51
3.1 สภาพที่ใช้ในการทดสอบ.....	56
3.2 สภาพที่ใช้ในการทดสอบธาตุเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว ด้วยเครื่อง AAS.....	59
4.1 ขนาดพื้นที่ผิวสัมผัส และปริมาณบรรจุของตัวอย่าง.....	64
4.2 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักนิกเกิล.....	72
4.3 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักตะกั่ว.....	72
4.4 พารามิเตอร์คำนวณการได้รับสัมผัสโลหะหนักเหล็ก.....	74
4.5 ปริมาณเหล็กที่ได้รับและตรวจความเสี่ยง.....	74
4.6 พารามิเตอร์คำนวณการได้รับสัมผัสโลหะหนักนิกเกิล.....	76
4.7 ปริมาณนิกเกิลที่ได้รับและตรวจความเสี่ยง.....	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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้อง VII ไปถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 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 การเคลื่อนย้ายของ โลหะหนักหลัง Passive film ถูกทำลาย	18
2.11 การแพร่บริเวณส่วนต่อประสานระหว่างบรรจุภัณฑ์-สารละลายอาหาร	22
3.1 ตัวอย่างการวัดขนาดแก้วเก็บความชื้นทรงกรวยตัด	53
3.2 ตัวอย่างการวัดขนาดแก้วเก็บความชื้นทรงกระบอก	54
3.3 ขั้นตอนการวัดพื้นที่ผิวสัมผัสนและเตรียมตัวอย่าง	55
3.4 ขั้นตอนวิเคราะห์หากมีการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวม	57
3.5 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง	58
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ โลหะหนัก โดยใช้เครื่อง AAS	60
4.1 แผนภูมิแสดงปริมาณการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวม	66
4.2 ภาพแผนภูมิแสดงปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็ก (Fe)	71
ก.1 แผนผังการทดลอง	84
ข.1 แก้วเก็บความชื้นสแตนเลสกลุ่มที่ 1	85
ข.2 แก้วเก็บความชื้นสแตนเลสกลุ่มที่ 2	85
ข.3 แก้วเก็บความชื้นสแตนเลสกลุ่มที่ 3	85
ข.4 แก้วเก็บความชื้นสแตนเลสกลุ่มที่ 4	84
ข.5 แก้วเก็บความชื้นสแตนเลสกลุ่มที่ 5	87
ข.6 แก้วเก็บความชื้นสแตนเลสกลุ่มที่ 6	87
ข.7 ภาพลักษณะภายในแก้วเก็บความชื้นสแตนเลส	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

แก้วเก็บความเย็น (Tumbler) เป็นภาชนะที่นิยมนำมาใช้ในการบรรจุเครื่องดื่ม เนื่องจากเป็นภาชนะที่สามารถรักษาอุณหภูมิให้เครื่องดื่มที่บรรจุอยู่ภายในนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้า ๆ จากข้อมูลทางการตลาดบริษัท Intelligent Glass จำกัด ได้ทำการวิจัยกลุ่มตัวอย่างในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าปัญหาของเจ้าของร้านค้าที่เป็นเจ้าของธุรกิจซึ่งใช้วัสดุทั้งแก้วกระดาษและแก้วพลาสติกในการบรรจุเครื่องดื่มเย็น ส่วนใหญ่จะพบปัญหาน้ำเกาะบริเวณรอบแก้ว เมื่อทิ้งไว้นานๆจะมีน้ำซึมออกมาจากชั้นแก้ว ซึ่งการแก้ปัญหาดังกล่าวได้นั้นคือการใช้แก้วเก็บความเย็น ซึ่งเมื่อสำรวจความต้องการซื้อแก้วเก็บความเย็น พบว่า ร้อยละ 90 ผู้ตอบแบบสอบถามสนใจซื้อแก้วเก็บความเย็น แก้วเก็บความเย็นที่มีจำหน่ายในท้องตลาดนั้นผลิตมาจากวัสดุหลายชนิดไม่ว่าจะเป็น พลาสติกแก้ว (Glass) และโลหะผสม ได้แก่ สแตนเลส ซึ่งรูปแบบที่ปัจจุบันนิยมใช้มากที่สุด คือ แก้วเก็บความเย็นที่ทำมาจากสแตนเลส โดยองค์ประกอบของสแตนเลสผลิตจากเหล็กกล้าที่มีการเติมส่วนผสมเช่น โครเมียม นิกเกิล และสารอื่น เพื่อเพิ่มความต้านทานการเกิดสนิมของเหล็กกล้าองค์ประกอบของสารที่เติมเข้าไปมีความแตกต่างกัน จึงทำให้สแตนเลสที่ได้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งการนำสแตนเลสมาใช้เป็นวัสดุในการทำแก้วเก็บความเย็น จึงมีโอกาสที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายของสารที่เป็นองค์ประกอบจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสไปปนเปื้อนกับเครื่องดื่ม เนื่องจากเครื่องดื่มที่บรรจุในแก้วเก็บความเย็นส่วนใหญ่มีค่า pH  $\leq$  7.0 หรือค่อนข้างเป็นกรด และระยะเวลาที่เครื่องดื่มสัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมีระยะเวลานานพอสมควร จากงานวิจัยของ Hering และคณะ(2008) พบว่าการปลดปล่อยโครเมียมและนิกเกิลแปรผันตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของสแตนเลสต่อปริมาตรสารละลายอาหารจำลอง อุณหภูมิและความหยาบของพื้นผิว

การเคลื่อนย้ายของสารจากภาชนะบรรจุไปสู่อาหาร กระบวนการนี้เรียกว่า ไมเกรชัน (Migration) ซึ่งส่วนใหญ่เมื่อเกิดการเคลื่อนย้ายของสารจากภาชนะบรรจุไปสู่อาหาร จะส่งผลกระทบต่อทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเปลี่ยนแปลงไปในเชิงลบ ในสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปจัดทำข้อกำหนดและข้อบังคับขึ้นหลายฉบับเพื่อการควบคุมและตรวจสอบทั้งชนิดและปริมาณของสารที่เกิดการเคลื่อนย้าย ซึ่งผลกระทบที่สำคัญของการเคลื่อนย้ายของสารนี้ส่งผลกระทบต่ออาหารในด้านความปลอดภัยของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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: ตลาดลำพิง เขตสัมพันธวงศ์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
- 1.3.2 ขอบเขตด้านตัวอย่างการทดลอง: จำนวน 30 ตัวอย่าง เลือกใช้แก้วเก็บความเย็น (Tumbler) ที่ทำจากวัสดุสแตนเลส ปริมาตรบรรจุของเหลวไม่น้อยกว่า 500 mL
- 1.3.3 ประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงที่ก่ออันตรายต่อสุขภาพ โดยใช้ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทยปี พ.ศ. 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

อาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ มนุษย์ต้องบริโภคอาหารเพื่อความอยู่รอดและเพื่อให้ร่างกายเจริญเติบโต แข็งแรง ปราศจากโรคภัยไข้เจ็บ มนุษย์รู้จักการป้องกัน การปนเปื้อนของอาหารโดยมีการนำวัสดุต่าง ๆ มาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร ในอดีตวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารมักมาจากธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ เช่น ใบไม้ ไม้ หนังกสัตว์ เป็นต้น (Wilde, 1971) ต่อมาได้มีการพัฒนาวัสดุที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันวัสดุที่นำมาใช้บรรจุอาหารมักเป็นวัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น พลาสติก แก้ว กระจก ซึ่งใช้กระบวนการที่ซับซ้อน และใช้สารเคมีในการผลิต หากกระบวนการผลิตไม่มีความปลอดภัยและไม่ได้มาตรฐานเพียงพอ เมื่อนำไปใช้สัมผัสอาหารหรือเป็นภาชนะบรรจุอาหาร ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารจากวัสดุไปยังอาหาร ก่อให้เกิดอันตรายกับผู้บริโภคได้ ถึงแม้เราจะมั่นใจว่า อาหารที่เรารับประทานเข้าไปจะมีความสะอาดและปลอดภัยแล้ว แต่หากวัสดุที่สัมผัสอาหาร หรือภาชนะบรรจุอาหารมีปริมาณของสารบางชนิดที่ใช้ในการผลิตมากเกินไป เกินปริมาณที่กำหนดไว้ เมื่อผู้บริโภคได้รับสารพิษนั้นเข้าไปในร่างกายอย่างต่อเนื่อง ก็จะทำให้เกิดอันตรายกับสุขภาพและร่างกายของผู้บริโภคได้ สำหรับเรื่องความปลอดภัยของภาชนะบรรจุอาหารนั้น ผู้บริโภคไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าภาชนะใดที่มีความปลอดภัยหรือก่อให้เกิดอันตรายกับผู้บริโภค

จากงานแสดงนิทรรศการ World Expo 2015 ณ เมืองมิลาน ประเทศอิตาลีระหว่างวันที่ 1 พฤษภาคม ถึง 31 ตุลาคม ค.ศ. 2015 Feeding the planet, energy for life ซึ่งหนึ่งในประเด็นย่อยคือ วิทยาศาสตร์เพื่อความปลอดภัย ความมั่นคง และคุณภาพของอาหาร นโยบายความปลอดภัยของอาหาร โดยเฉพาะนโยบายวัสดุสัมผัสอาหารของสหภาพยุโรป จึงเป็นประเด็นสำคัญสำหรับทั้งประเทศไทยและสหภาพยุโรป ทั้งนี้ ความปลอดภัยของอาหารเป็นประเด็นข้ามพรมแดน เนื่องจากสามารถค้าขายอย่างเสรีภายใน EU วัสดุสัมผัสอาหารครอบคลุมถึงวัสดุและสิ่งของซึ่งสัมผัสอาหาร เช่น วัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร เครื่องใช้ในการประกอบอาหาร เครื่องครัว และงาน เป็นต้น วัสดุดังกล่าวรวมถึง พลาสติก ยาง โลหะ เซรามิก แก้ว กระจก ไม้ ผ้า และหมึกพิมพ์ ซึ่งล้วนสัมผัสอาหารระหว่างขั้นตอนการผลิต การห่อบรรจุ การเตรียมอาหารและการรับประทาน บรรจุภัณฑ์อาหารที่เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย จะปกป้องการปนเปื้อนสารเคมีที่เป็นอันตรายจากบรรจุภัณฑ์สู่อาหาร ในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บรักษาและการขนย้าย หรือเปลี่ยนแปลงและรสชาติของอาหารความปลอดภัยของอาหารสหภาพยุโรปให้ความสำคัญต่อความปลอดภัยด้านอาหารอย่างมาก ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหภาพยุโรปลงทุนด้านนโยบายความปลอดภัยของอาหารถึง 3,300 ล้านยูโร ทั้งนี้กฎระเบียบด้านอาหารของสหภาพยุโรปปกป้องมาตรฐานความเป็นอยู่ของสัตว์และพืชที่จะถูกนำมาประกอบอาหาร รวมถึงกฎหมายเฉพาะ เช่น กฎหมายเกี่ยวกับสารฆ่าแมลง สารเติมแต่งอาหาร และฉลาก เป็นต้น วัสดุสัมผัสอาหารต้องได้รับการรับรองจากสถาบันในสหภาพยุโรปที่เกี่ยวข้อง หากวัสดุไม่ได้มาตรฐานอาจมีสารอันตรายละลายออกจากวัสดุ ปนเปื้อนไปกับอาหารที่รับประทาน ซึ่งจะสะสมในร่างกายทีละน้อย และส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค เช่น อันตรายจากพลาสติก สามารถก่อความเสียหายต่อระบบประสาท อันตรายจากวัสดุสัมผัสอาหารสามารถเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น วัสดุไม่ได้คุณภาพ วัสดุไม่เหมาะสมกับการใช้งาน หรือการใช้งานไม่ถูกต้อง และผู้บริโภคไม่ได้ดูแลรักษาวัสดุตามคำแนะนำ เป็นต้น สหภาพยุโรปให้คำแนะนำเชิงวิทยาศาสตร์ และการประเมินผลวัสดุสัมผัสอาหารและสารต่างๆ เพื่อออกกฎระเบียบด้านความปลอดภัยอาหารอย่างเหมาะสม กฎระเบียบของสหภาพยุโรปกฎหมายด้านความปลอดภัยของอาหารของสหภาพยุโรป มีวัตถุประสงค์เพื่อปกป้องสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และพืชในทุกขั้นตอนการผลิตเพื่อป้องกันการเจ็บป่วย ส่งเสริมสุขภาพของประชาชน และเพื่อถ่ายทอดและเสริมความรู้เกี่ยวกับอาหารให้แก่ประชาชน อีกทั้งช่วยกำจัดอุปสรรคทางเทคนิคในการค้ามาตรา 152 ของสนธิสัญญาก่อตั้งประชาคมยุโรปเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคระบุว่าสหภาพยุโรปจำเป็นต้องปกป้องสุขภาพของผู้บริโภค วิเคราะห์ความปลอดภัยในเชิงวิทยาศาสตร์อย่างละเอียดและมีการควบคุมความปลอดภัยของอาหาร 3 กฎหมายสหภาพยุโรปมี 3 วัตถุประสงค์ได้แก่

- รับรองความปลอดภัยและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารและอาหารสัตว์
- รับรองสุขภาพสัตว์ และพืช
- รับรองความโปร่งใสของข้อมูลสารอาหารบนฉลาก

กฎหมายสหภาพยุโรปด้านความปลอดภัยของอาหารรวมถึง

1. กฎหมายวัตถุเจือปนอาหาร
2. กฎหมายเครื่องปรุงแต่งอาหาร
3. กฎหมายสารปนเปื้อน
4. กฎหมายสารตกค้างจากผลิตภัณฑ์เกษตรกรรม / ยาสัตว์และสารตกค้างจากผลิตภัณฑ์

ปลูกพืช เช่น ยาฆ่าแมลง

5. กฎหมายวัสดุสัมผัสอาหารกรอบระเบียบวัสดุสัมผัสอาหาร Regulation Framework EC No. 1935/2004 เป็นกฎหมายหลักซึ่งกำกับดูแลด้านวัสดุสัมผัสอาหาร มีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 3 ธันวาคม ค.ศ. 2004 ระบุว่าวัสดุสัมผัสอาหารนั้นต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไม่สามารถถ่ายทอดสารประกอบสู่อาหารในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- ผลิตตามมาตรฐานการผลิต
- ต้องมีฉลากหรือสัญลักษณ์ที่แสดงให้เห็นว่าปลอดภัย
- ต้องสามารถติดตาม โซ่การผลิตได้ ภายใต้กรอบระเบียบดังกล่าว วัสดุสัมผัสอาหาร ถูกแบ่งเป็น 17 หมวดย่อยซึ่งมีระเบียบแตกต่างกันไป ได้แก่

- วัสดุและสิ่งเพื่อยืดอายุการวางจำหน่าย ถนอมอาหาร หรือตรวจวัดสภาพอาหาร (active and intelligent)

- สารเหนียวที่มีคุณสมบัติยึดติด เช่น กาว (adhesives)

- เซรามิก (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 งาน กระบวนการผลิต ตลอดจนบรรจุภัณฑ์ โดยจะครอบคลุมวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ พลาสติก กระดาษ ยาง ซิลิโคน จุกคอร์ก หมึกพิมพ์ โลหะ โลหะผสม สารเคลือบเงา สารเคลือบผิว ฯลฯ เนื่องจากวัตถุดิบดังกล่าวจะต้องสัมผัสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับอาหาร ซึ่งเป็นแหล่งที่อาจมีการเคลื่อนย้ายของสารเข้าไปในอาหารได้ วัสดุสัมผัสอาหาร จึงกลายเป็นแหล่งปนเปื้อนที่สำคัญของอาหารทุกชนิด (Nordic, 2008) และเป็นสาเหตุให้เกิด ความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอันตรายกับอาหารและสุขภาพของผู้บริโภคได้ (CIRS, 2011)

วัสดุสัมผัสอาหารครอบคลุมถึงวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่นำไปใช้ในการบรรจุอาหาร บางผลิตภัณฑ์ อาจประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด เช่น กล่องบรรจุน้ำผลไม้หนึ่งกล่อง จะประกอบด้วยพลาสติก กระดาษ อลูมิเนียม กาว สารเคลือบและหมึกพิมพ์ นอกจากนี้ยังมีการนำสารหลายชนิด ที่แตกต่างกันมาใช้ในวัสดุสัมผัสอาหาร ได้แก่ โมโนเมอร์ หรือสารเติมแต่ง เช่น พลาสติกไซเซออร์ สารทำให้เสถียร ตัวทำละลาย และสีข้อมในวัสดุสารต่าง ๆ ที่ ใช้ในวัสดุสัมผัสอาหารเหล่านี้ อาจมีการเคลื่อนย้ายไปยังอาหารได้ ทำให้ผู้บริโภคสะสมสารพิษเข้าไปในร่างกาย และเมื่อได้รับ สารพิษอย่างต่อเนื่องก็จะทำให้เกิดอันตรายกับผู้บริโภค ทำให้เกิดผลกระทบเกี่ยวกับความปลอดภัย ของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้ทางประเทศในแถบสหภาพยุโรปและหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก จึงได้ กำหนดข้อกำหนดและกฎระเบียบต่าง ๆ เกี่ยวกับวัสดุสัมผัสอาหารและอาหารขึ้นมาเพื่อให้เกิด ความปลอดภัยกับผู้บริโภคให้มากที่สุดโดยสาระสำคัญของข้อกำหนดของกฎระเบียบ (EU) No. 10/2011 มีดังนี้ (สำนักมาตรฐานการทางการค้า, 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 เนื่องจากมีการเคลื่อนย้าย ไปสู่อาหาร (migration) สำหรับสารที่ไม่ได้ระบุค่า SML ให้กำหนดค่าการเคลื่อนย้ายได้ ไม่เกิน 60 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทั้งนี้ องค์ประกอบในพลาสติกต้องไม่เคลื่อนย้ายไปสู่ อาหารในปริมาณเกิน 60 มิลลิกรัมต่อพื้นที่สัมผัสอาหาร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3. จำกัดการใช้โลหะ และวัสดุบางชนิด เช่น แบเรียม เหล็ก สังกะสี รวมทั้งระบุปริมาณ ขั้นต่ำที่ อนุญาตให้เคลื่อนย้ายไปสู่อาหาร

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

5. เก็บรักษาเอกสารข้อมูลในแต่ละขั้นตอนการผลิต เพื่อพิสูจน์ว่าได้ปฏิบัติตามข้อกำหนด ต่าง ๆ ของ กฎระเบียบดังกล่าวและสามารถแสดงต่อเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเมื่อได้รับการร้องขอ

ข้อกำหนดของกฎระเบียบ (EU) No. 10/2011 บังคับใช้อย่างเต็มรูปแบบตั้งแต่เดือน มกราคม 2559 เป็นต้นไป ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องจะต้องตรวจสอบและปรับเปลี่ยนการผลิตวัสดุ และภาชนะบรรจุอาหารให้มีการเคลื่อนย้ายของสาร ไปยังอาหารให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎระเบียบต่างๆ ที่ EU ได้ระบุไว้

### 2.1.1 ชนิดของวัสดุสัมผัสอาหาร (Driscoll, and Rahman, 2008)

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

1. ภาชนะบรรจุอาหาร
2. เครื่องใช้ในครัวเรือน
3. เครื่องจักรและวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร

ภาชนะบรรจุอาหารตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 หมายถึง วัตถุที่ใช้บรรจุอาหาร ไม่ว่าด้วย การใส่หรือห่อ หรือด้วยวิธีใด ๆ และให้หมายความรวมถึงฝาและจุกด้วย (กระทรวง สาธารณสุข, 2554)

ตัวอย่างภาชนะบรรจุอาหารที่นิยมนำมาใช้ในการบรรจุหรือเป็นส่วนประกอบในการทำ ภาชนะบรรจุอาหาร มีดังต่อไปนี้

#### พลาสติก (Plastics)

พลาสติกเป็นกลุ่มของวัสดุบรรจุอาหารที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วที่สุด ได้รับการพัฒนา อย่างจริงจัง ขึ้นในกลางปี 1950

ข้อดีของพลาสติกคือ เป็นวัสดุที่มีราคาไม่แพง ทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย น้ำหนักเบา ไม่สามารถกัดกร่อนได้ สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน โบรมิ่งแสง บางชนิดสามารถทนต่อ ความร้อน หรือน้ำไปรีไซเคิลได้ ทนต่อความชื้นและสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้ดี (สถาบัน พัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2554)

ข้อจำกัดคือ कुछชิมที่ซ ไอ้น้ำและกลิ่น ได้สามารถเคลื่อนย้ายสารเคมีไปยังอาหารได้ องค์ประกอบของพลาสติกสามารถดูดซึมเข้าไปในอาหารได้ ทนต่อแรงบีบอัดต่ำ บางชนิดทนต่อ ความร้อนได้น้อย และบางชนิดไม่สามารถรีไซเคิลได้ สำหรับความหนาแน่นของพลาสติก จะมีความหนาแน่นน้อยกว่าแก้ว และอลูมิเนียม ไม่สามารถแตกเป็นชิ้นได้เหมือนกับแก้ว และทำให้ ใ้คงงอได้เช่นเดียวกับโลหะ ตัวอย่างวัสดุทำจากพลาสติกแสดงดังภาพที่ 2.1 และ 2.2



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกแบบซอง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 ไขมันและกลิ่น สามารถทนต่อความร้อนและสภาวะที่กดดันทางกายภาพและความร้อนสูงได้ เนื่องจากโลหะมีความแข็งแรง จึงถูกนำมาใช้ในกระบวนการที่ใช้ความร้อนกับอาหารโดยจะไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารที่บรรจุ นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันแสงไม่ให้กระทบกับอาหารได้

ข้อจำกัด คือ มีการใช้พลังงานสูงในระหว่างการผลิต มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน มีน้ำหนักมาก (โดยเฉพาะเหล็ก) นอกจากนี้กระป๋องที่ทำจากเหล็กคือ มีความหนาแน่นมาก ราคาสูง มีแนวโน้มในการทำปฏิกิริยาต่อกันระหว่างสารและสภาพแวดล้อม (การกัดกร่อนทั้งภายในและภายนอก) การเคลือบดีบุกหรือเคลือบเงินมีความสำคัญในส่วนของอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง สารเคลือบเงินที่ใช้คือ เรซิน เช่น acrylic (ต่อต้านที่อุณหภูมิสูง), oleoresinous, alkyd resin, epoxy (เรซินสังเคราะห์และมีความเหนียวมาก จะแข็งตัวหลังผ่านความร้อน ใช้เคลือบผิวหรือเป็นตัวเชื่อมวัตถุ) polybutadiene หรือ uinylresin ตัวอย่างวัสดุที่ทำจาก โลหะแสดงดังภาพที่

### 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากโลหะ

ที่มา: <http://www.packingsiam.com/>

### แก้ว (Glass)

แก้วเป็นวัสดุที่ทำมาจากการผสมกันของสารประกอบอนินทรีย์ ที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ), ออกไซด์ของอัลคาไล ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ), อลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) โดยมีซิลิกาเป็นส่วนผสมหลัก ผลิตภัณฑ์จากแก้วยังคงนิยมใช้เป็นวัสดุบรรจุอาหาร เช่น ใช้ในการบรรจุไวน์บรรจุเหล้า น้ำหอมและเครื่องสำอาง

ข้อดีของแก้ว คือ มีความเฉื่อยสูง ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไออน้ำและ กลิ่นต่าง ๆ ทนต่อแรงบีบอัดและความร้อนได้ดี โปร่งแสง น้ำหนักเบา ผลิตได้

ข้อจำกัด คือ มีน้ำหนักมาก เสียงต่อกรแตกหักจากสถานะที่มีความร้อนสูง ไม่ป้องกันแสง (เนื่องจากไม่มีสี)

เนื่องจากแก้วเป็นวัสดุที่ไม่มีสี จึงมีการเติมธาตุบางชนิด เพื่อเพิ่มสีให้กับแก้ว 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กระดาษ

กระดาษเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ค่อนข้างมากในการบรรจุอาหาร ในรูปแบบของกระดาษชนิดต่าง ๆ เช่น กระดาษแข็ง กระดาษธรรมดา และกระดาษลูกฟูก ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน องค์ประกอบพื้นฐานของกระดาษคือ เซลลูโลส

ข้อดีของกระดาษคือ มีราคาถูก มีความหนาแน่นต่ำ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่และนำมารีไซเคิลได้

ข้อจำกัดคือ ทอບสนองได้ดีกับความชื้น ทำให้เสียหายได้ง่าย ปิดผนึกด้วยความร้อนไม่ได้ ไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้เมื่อผ่านการเคลือบสารอื่น ๆ



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ทํางานจากกระดาษ  
ที่มา: <https://www.peerasuk.com/category/399>

## 2.2 สแตนเลสหรือเหล็กกล้า (Devid, 1994)

สแตนเลส หรือชื่ออย่างเป็นทางการ คือ เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นศัพท์ทั่วไปที่ใช้เรียกเหล็กในกลุ่มที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง สแตนเลสเป็น โลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน ซึ่งส่วนประกอบจะมีปริมาณคาร์บอนต่ำ มีโครเมียมเป็นส่วนผสมหลัก ประมาณ 10.5% หรือมากกว่าทำให้เกิดการสร้างฟิล์ม โครเมียมออกไซด์ (chromium oxide film : CrO<sub>2</sub> หรือเรียกว่า passive film) ที่มองไม่เห็น เกาะติดแน่นอยู่ที่ผิวหน้า ทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการกัดกร่อน ถ้าฟิล์มที่ผิวหน้านั้น ถูกทำลายไม่ว่าจากแรงกล สารเคมี ออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศจะเข้าทำปฏิกิริยากับโครเมียม สร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ทดแทนขึ้นมาใหม่ การเลือกใช้ต้องพิจารณาจากคุณสมบัติ และความเหมาะสมของงานด้วย ส่วนผสมที่ทำให้งานมีคุณสมบัติแตกต่างกันหลัก ๆ มีดังนี้

**สารโครเมียม** เป็นสารผสมหลักที่จะทำให้เหล็กมีคุณสมบัติในการทนทานต่อการเกิดสนิมและการกัดกร่อน

**สารนิกเกิล** ช่วยเสริมความต้านทานในการเกิดสนิม และทำให้สแตนเลสไม่ดูดแม่เหล็ก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สารโมลิบดีนัม** ทำให้สแตนเลส มีความต้านทานในการเกิดสนิมสูงขึ้น และความคงทนต่อสารเคมี เช่น คลอรีน

**สารคาร์บอน** เป็นตัวเพิ่มความแข็งแรงให้กับสแตนเลส ถ้ามีคาร์บอนน้อย สแตนเลสก็จะมี ความเหนียวเพิ่มขึ้นแทน

### 2.2.1 ประเภทของสแตนเลส (กนท, 2562)

สแตนเลสแบ่งออกเป็นกลุ่มพื้นฐานได้ 5 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มออสเทนนิติก
- กลุ่มเฟอร์ริติก
- กลุ่มดูเพล็กซ์
- กลุ่มมาร์เทนซิติก
- กลุ่มเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกผลึก

#### 2.2.1.1 กลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic)

มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด มีส่วนผสมของ โครเมียม 16% และคาร์บอนเป็นส่วนผสมประมาณ 0.15% และมีนิกเกิล 8% ทำให้มีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนได้ดี เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมเรียก 18/10 คือการที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18% และนิกเกิล 10%

สแตนเลสสตีล ที่นิยมใช้กันมากที่สุด ในท้องตลาดคือสแตนเลสเกรด 304 (SUS 304) เป็นสแตนเลสที่มีสารโครเมียมอยู่ 18% และนิกเกิล 8% บางทีเรียกว่า สแตนเลส 18/8 ซึ่งจะไม่มีการโมลิบดีนัม มีคาร์บอนต่ำ และเป็นสแตนเลสที่ทนต่อการเกิดสนิม (Oxidation) และทนการกัดกร่อน (Corrosion) ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีสารนิกเกิลจึงทำให้แม่เหล็กดูดไม่ติด มีคาร์บอนต่ำจึงมีความเหนียวสูง

สแตนเลสเกรด 316 (SUS 316) เป็นสแตนเลส ที่นิยมใช้รองลงมาจากรัด 304 เป็นสแตนเลสสตีล ที่มีส่วนผสมคล้ายกับเกรด 304 แต่เกรด 316 จะมีส่วนผสมของ โมลิบดีนัม มากกว่าจึงทำให้สแตนเลสเกรดนี้ การเกิดสนิมและการกัดกร่อนได้ดีสูงกว่าเกรด 304 โดยเฉพาะการทนต่อสารคลอรีน (Warm Chlorine Environment) 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 คุณสมบัติในการป้องกันสนิมได้ดี แม้จะไม่เท่าเกรด 304 แต่สแตนเลสเกรดนี้จะมีคาร์บอนสูงถึง 0.12% จึงมีความแข็งแรงสูงกว่าสแตนเลสเกรด 304 และ 316 เหมาะสำหรับงานที่รับแรงสูงกว่า เพราะปกติสแตนเลสมักจะมีความเหนียวมากกว่าความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่สารคาร์บอนสูงกว่า 0.15 % จะกลายเป็นเกรด 420 ซึ่งมีความแข็งที่เหมาะสมสำหรับทำอุปกรณ์ชุดครวัในเรือการตัดหั่นต่าง ๆ เช่น ทำมีดต่าง ๆ เป็นต้น

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

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

### 2.2.1.2 กลุ่มเฟอร์ริติก (Ferritic)

เป็นกลุ่มที่แม่เหล็กดูดติดมีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำและมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญอยู่ระหว่าง 10.5% - 27% และมีนิกเกิลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย

### 2.2.1.3 กลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic)

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

### 2.2.1.4 กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex)

มีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างเฟอร์ริติกและออสเทนนิติกซึ่งนำข้อดีของทั้งสองกลุ่มมารวมกันมีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19 - 28% และโมลิบดีนัมสูงกว่า 5% และมีนิกเกิลผสมอยู่ 4.5 - 8% น้อยกว่าตระกูลออสเทนนิติกเพื่อวัตถุประสงค์ของการใช้งานเฉพาะเจาะจงบางประเภทซึ่งไม่ค่อยมีการผลิตมากนัก

### 2.2.1.5 กลุ่มเพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก

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

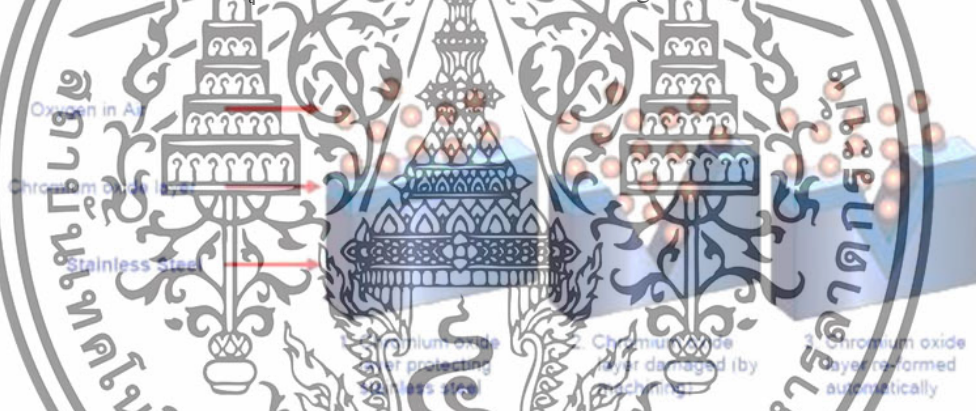
## 2.2.2 Passive layer ของสแตนเลส

การมี chromium ในปริมาณสูงเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้สแตนเลสมีความต้านทานการกัดกร่อนได้ chromium เกิด oxide ได้เช่นกัน แต่ไม่เหมือน iron oxide โดย chromium oxide ไม่ปนเปื้อนในกระบวนการและง่ายในการทำมาสะอาด พื้นผิวของสแตนเลสกลุ่ม 300 ส่วนใหญ่เป็น chromium oxide เมื่อผิวนี้ถูกขูด chromium ใน โลหะซึ่งมีเพียงพอที่จะเกิด chromium oxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 ด้วยเหตุนี้พื้นผิวสแตนเลสที่ได้รับ 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 - ริคร้อนหรือริคเย็น** อบอุ่น หรือปรับปรุงด้วยความร้อน คราบออกไซด์ไม่ได้ขจัดออก ใช้งานในสภาพที่ริคออกมาโดยทั่วไปจะใช้งานที่ทนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2D** - สภาพผิว 2D หลังจากรีดเย็นโดยลดความหนาลง ผ่านการอบอ่อนและการกัดผิว โดยครดลักษณะผิวสีเทาเงินเรียบ

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

**BA** - ผ่านกระบวนการรีดเย็นโดยความหนาลดลงทีละน้อยๆ ผ่านการอบอ่อนด้วยก๊าซไฮโดรเจน เพื่อป้องกันการออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ ผิวมันเงา สะท้อนความเงาได้ดี

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

**No.4, Hair Line** - สภาพผิว 2B ที่ผ่านอาร์จด์ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120 - 220 โดยค่าความหยาบขึ้นอยู่กับแรงกดขนาดของอนุภาคเม็ดทราย และระยะเวลาการใช้งานของกระดาษทราย ผิว No.4 เป็นสภาพผิวที่สนองต่อการนำไปใช้งานทั่วไป เช่น ร้านอาหาร อุปกรณ์เครื่องใช้ในครัว อุปกรณ์รีดนม

**No.8** - สภาพผิว 2B, BA ขัดด้วยผ้าขัดอย่างละเอียดมากขึ้นตามลำดับ เช่น เบอร์ 1000, ผ้าขนสัตว์ โดยมีผงขัดอะลูมิเนียมและโครเมียมออกไซด์ ผิว No.8 ส่วนมากจะเป็นผิวเงาสะท้อนคล้ายกระจกเงา ผลิตที่ส่วนใหญ่จะเป็นสแตนเลสชนิดแผ่น โดยผิวจะถูกขัดด้วยเครื่องขัดละเอียด นำไปใช้กับงานตกแต่งทางดัชนีสถาปัตยกรรม และงานที่เน้นความสวยงาม

การขัดผิวสแตนเลสให้ได้ผิวที่เหมาะสมแก่การใช้งานนั้นเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาวิธีการขัดที่นิยมใช้ได้แก่

การขัดผิวด้วยกระบวนการเชิงกล (Mechanical Polishing) นิยมใช้กับสแตนเลสที่เป็นแผ่นหนา หรือสแตนเลสในลักษณะเป็นม้วน (coil)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขัดผิวด้วยกระบวนการทางไฟฟ้า (Electro Polishing) นิยมใช้กับชิ้นงานสแตนเลสที่ต้องการความละเอียด และความสะอาดของผิวสูง เช่น อุปกรณ์ สำหรับผลิตยาหรือเครื่องสำอาง

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



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

โดยทั่วไปแล้ว Passive film ในสแตนเลสจะทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันการกัดกร่อน โดยการป้องกันไม่ให้ออกซิเจนที่ถูกผสมกับน้ำหรืออากาศได้สัมผัสกับผิวโลหะที่อยู่ภายใน ดังนั้นสแตนเลสจึงถูกป้องกันไม่ให้เกิดสนิม ชั้นป้องกันนี้สามารถก่อตัวได้ง่ายและมีความหนาแน่นสูง เพราะไม่เพียงชั้นของอะตอมก็สามารถลดอัตราการกัดกร่อนให้อยู่ในระดับที่ต่ำมาก แต่เนื่องจากชั้นป้องกันมีความบางมาก จึงไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ต้องใช้เครื่องมือ โดยเฉพาะในการตรวจสอบ สแตนเลสสามารถขึ้นสนิมในบางสภาวะ เช่น สัมผัสกับสารเคมีที่เป็นอันตราย จาระบี น้ำเกลือ ความชื้นหรือความร้อนเป็นเวลานาน แต่จะไม่เร็วหรือรุนแรงเหมือนเหล็กธรรมดา การกัดกร่อนของสแตนเลสชิ้นส่วนใหญ่มีสาเหตุดังนี้

**การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอทั่วพื้นผิว:** มักเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสแตนเลสสัมผัสกับวัสดุที่เป็นกรด เช่น ส่วนผสมบางอย่างในน้ำยาทำความสะอาดในครัวเรือน จากนั้นพื้นผิวทั้งหมดถูกทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การกัดกร่อนเนื่องจากความต่างศักย์: (Galvanic Corrosion) หรือการกัดกร่อน**  
**แกลวานิก (Bimetallic Corrosion) :** มันเกิดขึ้นเมื่อโลหะสองชนิดสัมผัสกันและบวกกับมีปริมาณ  
 ความชื้นเพียงพอ ตัวอย่างเช่น สลักเกลียวที่มีส่วนยึดติดกับแตนเลส เป็นต้น

**การกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน:** เมื่อขอบเขตของผลึกมีแนวโน้มที่จะเป็นสนิมมากกว่า  
 พื้นผิวด้านใน การกัดกร่อนสามารถเกิดขึ้นได้หลังจากทำความร้อนสแตนเลสออสเทนนิติก  
 ที่อุณหภูมิประมาณ 842–1562 ° F

**การกัดกร่อนแบบรูเข็ม:** เมื่อสแตนเลสสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์ การกัด  
 กร่อนจะเกิดขึ้นตามพื้นผิวและส่งผลให้เกิดโพรงหรือรู

**การกัดกร่อนในที่อับ:** อาจเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวสองอันที่รวมกันของโลหะสองชนิด หรือ  
 การรวมกันของโลหะกับพื้นผิวที่ไม่ใช่โลหะ จากนั้นจะเกิดรูขนาดเล็กหลังจากสัมผัสกับน้ำเกลือ  
 อาหาร หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีคลอไรด์สูง

**การกัดกร่อนร่วมกับความเค้น:** ความเค้นแรงดึงที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมที่กัดกร่อน  
 สามารถนำไปสู่การแตกร้าวได้

## 2.2.5 กลไกการกัดกร่อนของสแตนเลสเมื่อสัมผัสกับ Acetic acid (Himanshu, 2017)

สแตนเลสกลุ่มออกเทนนิติก หรือสแตนเลสเกรด 304, 316 นั้นเป็นสแตนเลสกลุ่มที่มีความ  
 ด้านทานการกัดกร่อนสูงมาก สแตนเลสกลุ่มนี้มีข้อดีคือมีความสามารถโดดเด่นในการยึดตัวได้มาก  
 จึงเหมาะแก่การนำมาทำเป็นภาชนะขึ้นรูปเล็ก เช่น การนำมาทำเป็นแก้วน้ำ ปิ่นโต จาน ชาม ซึ่งเมื่อ  
 นำมาพิจารณาถึง โครงสร้างระดับจุลภาค (Microstructure) โดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ  
 ส่องกราด (SEM) จะพบว่าพื้นผิวของสแตนเลสกลุ่มออกเทนนิติกนั้นมีรอยต่อของวัสดุคงภาพที่  
 2.8 เมื่อสแตนเลสกลุ่มนี้สัมผัสกับ Acetic Acid เนื่องจากผิวสัมผัสที่มีรอยต่อและ Acetic acid นั้นมี  
 ความเป็นกรด จะเกิดการแตกตัวของประจุจาก Acetic Acid เป็นประจุ  $H^+$  เมื่อผิวสัมผัสของ  
 สแตนเลส ชั้นที่เป็น Passive Film ถูกประจุ  $H^+$  ที่แตกตัวจาก Acetic Acid กัดกร่อน ชั้นของ  
 โครเมียมออกไซด์ที่เป็นชั้น Passive Film นั้นจะถูกทำลาย โดยประจุ  $H^+$  ที่แตกตัวจาก Acetic Acid  
 จะเกิดการแตกตัวเพิ่มมากขึ้นหากอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนที่เพิ่มมากขึ้น พื้นผิว  
 ของสแตนเลสเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อน โดยพื้นผิวที่มีการขัดมันจะเกิดการกัดกร่อนที่น้อยกว่า  
 ที่มีพื้นผิวเป็นร่องหรือขรุขระ ชั้น Passive Film ที่ถูกทำลายไปนั้นเป็นชั้นที่ปกป้องไม่ให้โลหะนั้น  
 สัมผัสกับอากาศหรือสารอื่นโดยตรง บริเวณที่ Passive Film ถูกทำลาย บริเวณรอยต่อของวัสดุจะ  
 เกิดการเหนียวทำให้เกิดความต่างศักย์ที่พื้นผิว ทำให้เกิดการ oxidation ขึ้นและทำให้ผิวกลายเป็น  
 รูเล็กลงไปเนื้อสแตนเลส ดังภาพที่ 2.9 เมื่อ electrolyte ที่ล้อมรอบอยู่แพร่เข้าไปในรู จะเกิด  
 การ oxidation มากขึ้น ทำให้ electrolyte ที่อยู่ในรูมีความเข้มข้นของประจุบวกมาก เหนียวนำให้  
 เกิดการละลายของผิวโลหะภายในรู จึงมีประจุบวกเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของประจุบวกภายในรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

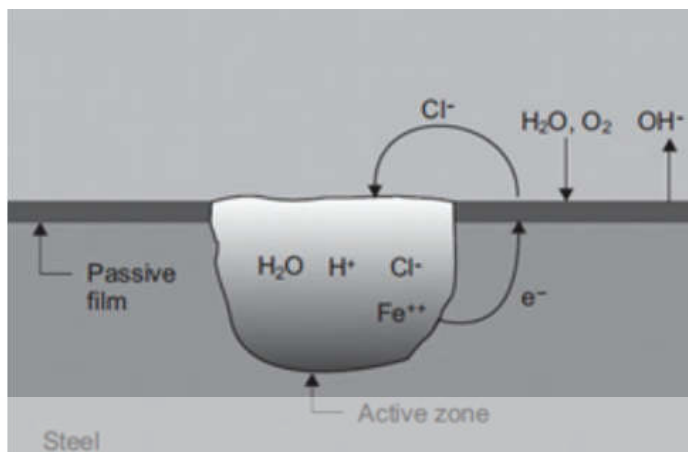
เพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนสูงขึ้น ทำให้เกิดกัดกร่อนมากขึ้นในแนวตั้ง ชั้นของเหล็กที่อยู่ภายใต้ชั้น Passive Film จะถูกกัดกร่อนออกมาสู่ภายนอกและแพร่สู่ Acetic acid ที่สัมผัสกับสแตนเลสดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างระดับจุลภาคของสแตนเลสกลุ่มออกเทนนิติก  
ที่มา: ชีรพงษ์ (2548)

ภาพที่ 2.9 กลไกการกัดกร่อนของสแตนเลสเมื่อสัมผัสกับ Acetic acid  
ที่มา: Himanshu (2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักหลัง Passive film ถูกทำลาย

ที่มา: Roland (2017)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนเพิ่มมากขึ้นคือ ภายในรูที่ฝังของสแตนเลสมีน้ำขังอยู่ (เปียก) ทำให้ออกซิเจนเข้าไปไม่ถึง ทำให้ผิวสแตนเลสสร้าง Passive Film ได้ลดลง ซึ่ง Passive Film คือ  $\text{CrO}_2$  มีหน้าที่ป้องกันการกัดกร่อนของสแตนเลส ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากส่วนผสมของสแตนเลส ปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี บนผิวสแตนเลส เกิดขั้วแอโนด แคทโนด ทำให้เหล็กกล้า (Fe) ที่ผสมอยู่ในเนื้อสแตนเลสถูกดึงไปเนื้อสแตนเลสจะพุกร่อน

#### 2.2.6 การต่อประสานสแตนเลส

การต่อประสานสแตนเลสนั้นในปัจจุบันมีรูปแบบการต่อประสานที่นิยมซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

2.2.6.1 การบัดกรีเป็นกระบวนการต่อโลหะที่นิยมใช้มากที่สุด 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 การใช้เปลวไฟ แก๊สอ็อกซิเจน การอาร์คโดยใช้กระแสไฟฟ้า ลำแสงเลเซอร์ การใช้อิเล็กทรอนิกส์

การใช้คลื่นเสียง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมที่มีการเชื่อม จะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่บนเว็บไซต์สาธารณะไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น การเชื่อมในพื้นที่โล่ง พื้นที่อับอากาศ การเชื่อมใต้น้ำ การเชื่อมในพื้นที่อันตราย เช่น ถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่ ภายในโรงงานผลิตสารเคมีและวัตถุไวไฟ การเชื่อมมีอันตรายเกิดขึ้นได้ง่าย จึงควรมีความระมัดระวัง เพื่อป้องกันอันตราย เช่น เกิดจากกระแสไฟฟ้า ความร้อน สะเก็ดไฟ ควันเชื่อม แก๊สพิษ รังสีอาร์ค ชื้นงานร้อน ฟุ้งละออง เป็นต้น กรรมวิธีในการเชื่อมโลหะที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีดังต่อไปนี้ (วันชัย ลีลาทวิวงศ์, 2560)

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

2. การเชื่อมไฟฟ้า (Arc Welding) การเชื่อมไฟฟ้าหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การเชื่อมโลหะด้วยวิธีการเชื่อมอาร์ค ความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมเกิดจากประกายอาร์ค ระหว่างชิ้นงานและลวดเชื่อม ซึ่งทำการหลอมละลายลาดเชื่อม ทำหน้าที่บ่มเนื้อโลหะให้แก่แนวเชื่อม

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 ระหว่างลวดทั้งขดกับชิ้นงาน โดยมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลาย เพื่อไม่ให้บรรยากาศภายนอก เข้ามารบกวนปฏิกิริยาตรงบริเวณที่เชื่อม

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 ส่วนฟลักซ์ที่อยู่ห่างจากเนื้อเชื่อมจะไม่หลอมละลาย และไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุปกรณ์จำเป็นในขั้นตอนการปรุ้งถ้วยเต็ว โดยใช้ต้มน้ำลวกเส้นและน้ำซุปลในระหว่างการใช้งานหม้อถ้วยเต็วต้องสัมพันธ์กับอุณหภูมิประมาณ 80 - 90 °C เป็นระยะเวลาประมาณ 7 - 9 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของผู้ขายแต่ละรายซึ่งในปัจจุบันซึ่งตะกั่วของวัสดุบัดกรีดังกล่าวสามารถละลายปนเปื้อนกับน้ำลวกเส้นถ้วยเต็ว และน้ำซุปลถ้วยเต็วได้

ดังนั้น การเชื่อมทิก (TIG Welding) จึงเป็น ทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประสานแนวรอยต่อของหม้อถ้วยเต็วเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของตะกั่วได้ แม้ว่าการเชื่อมทิกจะมี การใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมผลิตสร้างชิ้นส่วนสแตนเลส แต่สำหรับผู้ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมผลิตหม้อถ้วยเต็วบางราย จำเป็นต้องเรียนรู้เทคนิคการเชื่อมทิกอย่างถูกวิธี เพื่อพัฒนาศักยภาพในการผลิตหม้อถ้วยเต็วอนามัยต่อไป เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกเริ่มเข้ามามีบทบาทหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ในครัวเรือนรวมถึงหม้อถ้วยเต็ว เป็นต้น เนื่องจากได้รับการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการใช้งานเพิ่มมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลองค์ประกอบเกี่ยวกับสแตนเลสเกรดอื่น ๆ ที่ใช้ในการสัมผัสกับอาหาร

ประเภท	เกรด	EN	องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)				
			Cr	Ni	C	Mo	Cu
Martensitic	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 ลงไปเพื่อปรับสมบัติ และโครงสร้างให้เป็นไปตามความต้องการใช้งาน การสัมผัสระหว่างบรรจุภัณฑ์อาหารกับอาหาร จึงอาจก่อให้เกิดปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพและทางเคมีกับอาหารได้ โดยปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาหาร และบรรจุภัณฑ์แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ

### 2.3.1 ไมเกรชั่น (Migration)

กระบวนการเคลื่อนย้ายของสารเคมีซึ่งเป็นองค์ประกอบในบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหาร กระบวนการนี้ทำให้สีและกลิ่นของอาหารเปลี่ยนไปจากเดิม (Off Flavor) การเคลื่อนย้ายของสาร เหล่านี้เพียงเล็กน้อยจะส่งผลเสียต่อผู้บริโภค เนื่องจากผู้บริโภคอาจรับประทานสารเหล่านี้เข้าไป พร้อมกับอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารประเภทน้ำมันหรือไขมัน เมื่อสัมผัสกับพลาสติกจะ ไปสกัดให้องค์ประกอบของพลาสติกละลายออกมาในปริมาณที่มากขึ้น

### 2.3.2 สกัลปีง (Scalping)

กระบวนการเคลื่อนย้ายของสารจากอาหารเข้าสู่บรรจุภัณฑ์กระบวนการนี้ส่งผลให้ กลิ่นและรสชาติของอาหารเสื่อมลงจากเดิม

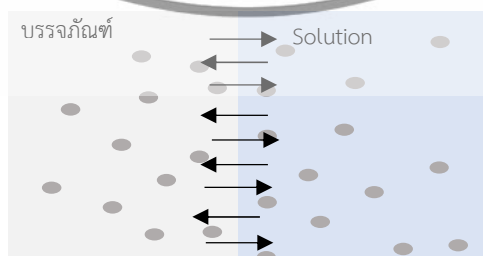
### 2.3.3 อีเกรสเพอร์มิเอชัน (Egress Permeation)

กระบวนการเคลื่อนย้ายขององค์ประกอบของอาหารออกไปยังสิ่งแวดล้อมภายนอกบรรจุ ภัณฑ์ เช่น การสูญเสียความชื้นและองค์ประกอบแก๊สจากภายในบรรจุภัณฑ์เคลื่อนย้ายออกจาก บรรจุภัณฑ์

### 2.3.4 อินเกรสเพอร์มิเอชัน (Ingress Permeation)

กระบวนการเคลื่อนย้ายของสารภายนอกบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหารภายในบรรจุภัณฑ์ เช่น การซึมผ่านของความชื้น แก๊ส และกลิ่นจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่อาหารในบรรจุภัณฑ์

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



ภาพที่ 2.11 การแพร่บริเวณส่วนต่อประสานระหว่างบรรจุภัณฑ์-สารละลายอาหาร

ที่มา: ศิริพัศตร์ (2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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

การถนอมอาหาร โดยการใช้ความร้อน เช่น การสเตอริไลเซชัน (Sterilization) การใช้ความร้อนอาจทำให้สารที่อยู่ในวัสดุสัมผัสอาหารสลายตัวและเมื่อสัมผัสกับอาหารจึงทำให้ปนเปื้อนเข้าไปในอาหารได้

## 2.5 การทดสอบความปลอดภัยของอาหาร

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

เนื่องจากอาหารมีองค์ประกอบทางเคมีและ โครงสร้างทางกายภาพที่ซับซ้อนและหลากหลาย จึงเป็นเรื่องยากหากนำอาหารมาใช้ในการทดสอบการเคลื่อนย้ายของสาร โดยตรง ก่อนการทดสอบ ต้องมีการกำหนดสารซึ่งใช้เป็นตัวแทนของอาหารก่อนเรียกว่า food simulants ซึ่งมีลักษณะทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว มีองค์ประกอบที่ง่ายและเป็นที่ยึดกันทั่วไป (Lee, et al., 2008) โดยมีการนำ food simulants ที่แตกต่างกัน 4 ชนิดมาทดสอบในสถานะและชนิดของอาหารที่แตกต่างกัน การเลือกสถานะที่ใช้ในการทดสอบนั้น ตัวแทนอาหาร เวลา และอุณหภูมิ ที่เลือกใช้ในการทดสอบนั้นอาจจะเป็นสถานะที่แท้จริงในการใช้งานหรือสถานะที่เลวร้ายที่สุดของการใช้งาน ดังแสดงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 โดยจะต้องพิจารณาชนิดของอาหารและสารที่ใช้เป็นตัวแทนอาหารให้ถูกต้อง เพื่อผลของการทดสอบที่ถูกต้องแม่นยำชนิดของอาหารและสารที่ใช้เป็นตัวแทนอาหารสามารถจัดเป็นหมวดหมู่ได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดของอาหารและตัวแทนอาหารจำลองที่ใช้

หมวดหมู่ของชนิดของอาหาร	Food Simulant
อาหารที่มี pH $\geq 4.5 \leq 7.0$	- Distilled water
อาหารที่มี pH $\leq 4.5$	- 3% acetic acid
อาหารที่มีแอลกอฮอล์	- 10% Ethanol
	- 20% Ethanol
	- 50% Ethanol
อาหารที่มีไขมันน้ำมันเป็นองค์ประกอบ	- 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 or 1 Hour	100 °C or 121 °C	High temperature application up to 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ระยะเวลาทดสอบที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารแบบเจาะจง  
(Specific Migration)

Contact time in worst foreseeable use	Test time
$t \leq 5 \text{ min}$	5 min
$5 \text{ min} < t \leq 0.5 \text{ hour}$	0.5 hour
$0.5 \text{ hours} < t \leq 1 \text{ hour}$	1 hour
$1 \text{ hour} < t \leq 2 \text{ hours}$	2 hours
$2 \text{ hours} < t \leq 6 \text{ hours}$	6 hours
$6 \text{ hours} < t \leq 24 \text{ hours}$	24 hours
$1 \text{ day} < t \leq 3 \text{ days}$	3 days
$3 \text{ days} < t \leq 30 \text{ days}$	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)
$T \leq 5$	5
$5 < T \leq 20$	20
$20 < T \leq 40$	40
$40 < T \leq 70$	70
$70 < T \leq 100$	100 or reflux temperature
$100 < T \leq 121$	121 (*)
$121 < T \leq 130$	130 (*)
$130 < T \leq 150$	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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนย้ายของสาร

เมื่อทราบตัวแทนของอาหารที่จะนำมาใช้ใช้ในการศึกษาการศึกษาการไม่เกรงกัน โดยทั่วไปแล้วนั้นการวิเคราะห์หาค่านั้นมีอยู่ 2 แบบคือ

### 2.6.1 การศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม (Overall Migration)

เป็นการศึกษาปริมาณรวมทั้งหมดของสารที่ไม่ระเหย ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายจากวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์อาหารหรือภาชนะบรรจุอาหารไปยังอาหาร การศึกษาการเคลื่อนย้ายโดยรวมนั้น จะมีการกำหนดตัวแทนอาหารจำลอง และสภาวะในการทดสอบที่เหมาะสม หลังจากนั้น จะนำสารตกค้างที่สกัดแล้วจะถูกทำให้แห้งและชั่งน้ำหนัก การศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมจะเป็นการวัดความถี่ของวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร มักจะแสดงให้เห็นในหน่วย มิลลิกรัม (mg) ต่อพื้นที่ผิวสัมผัสอาหาร ( $\text{dm}^2$ ) หรือ ( $\text{mg}/\text{dm}^2$ ) ในส่วนของ Food Contact Materials (FCMs) สำหรับทารกและเด็กเล็กจะแสดงเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)

### 2.6.2 การศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารแบบเฉพาะเจาะจง (Specific Migration)

เป็นการศึกษาสารเฉพาะที่สามารถเคลื่อนย้ายจากวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารหรือภาชนะบรรจุอาหารไปยังอาหาร เป็นการวัดค่าความปลอดภัย (Safety limit) ที่ได้รับการศึกษาทางพิษวิทยา จำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้เพื่อระบุปริมาณของสารเหล่านี้ในอาหารหรืออาหารจำลอง มักจะแสดงเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร (mg/kg)

ข้อบังคับ (EU) เลขที่ 10/2011 เรื่องวัสดุพลาสติกและสิ่งของที่มีจุดประสงค์เพื่อสัมผัสกับอาหารนั้น ได้กำหนดค่าไม่เกรงกันโดยรวม (OM) สำหรับวัสดุพลาสติกสิ่งของที่มีจุดประสงค์เพื่อสัมผัสกับอาหารไว้ดังนี้

สำหรับพลาสติกทั่วไปและสิ่งของที่มีจุดประสงค์เพื่อสัมผัสกับอาหาร กำหนดให้มีค่าการไม่เกรงกันโดยรวมไม่เกิน  $10 \text{ mg}/\text{dm}^2$  และสิ่งของที่มีจุดประสงค์เพื่อสัมผัสกับอาหารสำหรับทารกและเด็กเล็ก (OML) คือ  $60 \text{ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร}$

สำหรับค่ากำหนด Specific Migration Limit หากไม่มีการกำหนดค่าโดยเฉพาะสามารถใช้ค่าได้สูงสุด  $60 \text{ mg}/\text{kg}$  (ppm) สำหรับแต่ละสาร บางครั้งสามารถกำหนดขีดจำกัดการโยกย้ายรวมเฉพาะ (SMLT) สำหรับกลุ่มของสารที่คล้ายกัน โดยหน่วยที่ใช้ยังเป็นอาหาร มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

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

ค่าความเป็นกรดด่างหรือค่า pH (Positive potential of the Hydrogen ions) คือค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนไอออน ( $\text{H}^+$ ) ใช้บอกความเป็นกรด-ด่างของสสาร โดยค่า pH เป็นค่าลอการิทึม ปริมาณความเข้มข้น ของไฮโดรเจนไอออน Sorensen นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 แอปเปิ้ล	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 โดยนำกระดาษลิตมัส ไปจุ่มตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ถ้าตัวอย่างเป็นกรด กระดาษลิตมัสจะเปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นแดง ในขณะที่ถ้าตัวอย่างเป็นด่าง กระดาษลิตมัสจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นน้ำเงิน

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

#### 2. ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ (Universal indicators) แบบสารละลายจะเปลี่ยนสีเมื่อใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายที่มีค่า pH อยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน จึงสามารถบอกค่าความเป็นกรด-ด่าง ได้เบื้องต้น

3. พีเอชมิเตอร์ (pH meter) เป็นเครื่องมือที่มีความถูกต้องและให้ความแม่นยำมากกว่าวิธีข้างต้น โดยสามารถที่จะแสดงค่า pH ออกมาเป็นตัวเลขได้อย่างชัดเจน

## 2.8 โลหะหนัก (Heavy Metal)

โลหะหนัก เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า  $5 \text{ g/cm}^3$  โดยจากตารางธาตุที่มีโลหะทั้งหมด 83 ธาตุ เป็นโลหะหนัก 68 ธาตุ โดยธาตุที่พบได้บ่อยนั้นคือธาตุกลุ่มแมงกานีส แคลเซียม ตะกั่ว เหล็ก โคบอลต์ โครเมียม นิกเกิล ทองแดง สังกะสี เงิน และปรอท (Hawley,1977) โลหะหนักและสารประกอบโลหะหนักนั้นเป็นอันตรายต่อมนุษย์หากได้รับปริมาณเกินกว่าที่ร่างกายจะขจัดออกได้

ความเป็นพิษของโลหะหนักหากได้รับในปริมาณมากเกินไประบบต่างๆของร่างกายจะไปรบกวนการทำงานของเอ็นไซม์ของเซลล์และยัดกับเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้การควบคุมการลำเลียงของสารต่างๆ 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 ติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนานกว่า 3 เดือนขึ้นไป แล้วเกิดอาการแสดงออก เช่น การเกิดความผิดปกติในระบบภูมิคุ้มกัน (immune toxicity) การเกิดการผ่าเหล่า (mutagenicity) การเกิดเป็นมะเร็ง (tumor)

ผลที่เกิดต่อเซลล์เมื่อได้รับโลหะหนัก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 คุณสมบัติทั่วไป ประโยชน์และความเป็นพิษของโลหะหนัก

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

โครเมียมเป็นโลหะทรานซิชันจัดเป็นธาตุโลหะหนัก (Heavy Metal) เป็นธาตุที่พบมากเป็นอันดับ 21 ของธาตุที่พบบนโลก มีลักษณะเป็นโลหะเงินสีขาว มันวาว มีความแข็งแรงทนต่อสภาพการกัดกร่อนได้ดี สามารถตัด และขึ้นรูปได้ หากมีความบริสุทธิ์สูงจะมีสีขาวออกฟ้าอ่อน ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น การทำสี ย้อม เม็ดสี การฟอกหนัง การทำหมึกพิมพ์ นอกจากนี้ยังมีการนำโครเมียมมาใช้ในอุตสาหกรรมทางด้านโลหะ เนื่องจากโลหะจำพวกเหล็กที่ผสมโครเมียม หรืออัลลอยของเหล็กโครเมียม (FeCr) จะเพิ่มคุณสมบัติของโลหะนั้นให้มีความแวววาว ความแข็งแรง และความต้านทานการกัดกร่อน

โครเมียมที่อยู่ในรูปโลหะ ได้มาจากการสกัดจากเหมืองแร่เหล็ก จะพบในสภาพออกไซด์ของโครเมียมที่มาพร้อมกับออกไซด์ของเหล็ก เรียกว่าเฟอร์โรโครเมียม (Ferrochromium) แร่ผสมระหว่างออกไซด์ของเหล็กและโครเมียมมีชื่อว่าแร่โครไมต์ ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) ซึ่งสามารถนำมาเปลี่ยนรูปจากออกไซด์ให้เป็นโครเมียมที่อยู่ในรูปโลหะด้วยปฏิกิริยารีดักชัน โครเมียมที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไตรวาเลนต์โครเมียม (Trivalent Chromium: Cr (III)) หากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาพแวดล้อม เช่น การเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะส่งผลให้พบเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Hexavalent Chromium: Cr (VI)) ได้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

200 ไมโครกรัมต่อวัน โดยโครเมียมที่ร่างกายต้องการต้องเป็นโครเมียมที่อยู่ในรูปไตรวาเลนต์โครเมียมเท่านั้น

### ประโยชน์โครเมียม

โครเมียมถือเป็นโลหะหนักที่นำมาใช้มากในอุตสาหกรรมทั่วโลก ในหลายด้าน ได้แก่

1. ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) ซึ่งอาจมีการใช้ผสมมากกว่าร้อยละ 18
2. ใช้เป็นส่วนผสมกับเหล็ก นิกเกิล และโลหะอื่นๆ เพื่อผลิตเหล็กอัลลอยที่แข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน และความร้อนได้สูง
3. ใช้เป็นส่วนผสมโลหะ เคลือบโลหะ รวมถึงพลาสติกเพื่อให้เกิดความมันเงา ป้องกันการกัดกร่อน เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น
4. ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตสีย้อมหรือเม็ดสี เช่น Chrome oxide green ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), Chrome yellow ( $\text{PbCrO}_4$ ), Chrome orange ( $\text{PbCrO}_4\cdot\text{PbO}$ ) รวมถึงใช้เป็นสารช่วยย้อมติดสีในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และย้อมผ้า
5. ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง ในรูปสารประกอบของ  $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$
6. ใช้เป็นส่วนผสมของสารฆ่าเชื้อราและน้ำยารักษาเนื้อไม้
7. ใช้ผลิตตัวขับเคลื่อน และป้องกันการกัดกร่อนของเครื่องยนต์ดีเซล
8. ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตสีผง สารประกอบไอโครเมต
9. ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแก้วสี โดยเฉพาะ  $\text{Cr}^{3+}$
10. ใช้ในกระบวนการผลิตอิฐทนความร้อน
11. ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีและการสังเคราะห์ทางเคมี
12. ใช้ในทางการแพทย์ เช่น chromium isotope ( $\text{Cr-51}$ )

### อันตรายจากโครเมียม

เฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Hexavalent Chromium: Cr (VI)) เป็นสารอันตรายจัดอยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็งที่ส่งผลกระทบต่อยีน (Genotoxic Carcinogen) เมื่อได้รับสารดังกล่าวติดต่อกันเป็นเวลานานจะมีโอกาสเป็นมะเร็งปอด โครงสร้างดีเอ็นเอถูกทำลายได้ง่ายมากขึ้น และเมื่อเฮกซะวาเลนต์โครเมียมเข้าสู่ร่างกายจะเปลี่ยนเป็นไตรวาเลนต์โครเมียม ซึ่งสามารถจับกับโปรตีนในร่างกายส่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน ผู้ที่ได้รับเฮกซะวาเลนต์โครเมียม จะมีอาการระคายเคืองที่ผิวหนัง เป็นโรคหอบหืด โรกระบบทางเดินหายใจ ทำให้ปอดดับ ไต ใส ถูกทำลาย มีอาการบวม น้ำเจ็บแหวะระบั้งลมหรือคลื่นปัสได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. พิษเฉียบพลัน

ความเป็นพิษเฉียบพลันมักพบในผู้ป่วยที่ได้รับเฮกซะวาเลนต์โครเมียม เช่น กรดโครมิก และโปแตสเซียมไดโครเมต โดยพบอาการเฉียบพลันหลังได้รับสารโครเมียมเข้าร่างกาย คือ มีอาการอาเจียน ปวดท้องรุนแรง อาการท้องเสีย มีเลือดออกในกระเพาะอาหาร หากได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดการช็อก และเสียชีวิตได้ ขนาดที่ทำให้เสียชีวิตได้ คือ ปริมาณ 1 – 3 กรัม ต่อวัน

## 2. พิษเรื้อรัง

เป็นลักษณะของพิษโครเมียมที่เกิดจากการที่ร่างกายได้รับในปริมาณน้อยถึงปานกลาง และมีการสะสมเป็นเวลานาน อาการของพิษจะค่อยๆ เริ่มปรากฏกับอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น การระคายเคืองบริเวณผิวหนัง การเกิดแผลเรื้อรัง แผลหายช้า กระดูกพรุน และผนังกั้นจมูกทะเล รวมถึงการเกิดมะเร็งในอวัยวะต่าง ๆ

เฮกซะวาเลนต์โครเมียม ถูกจัดให้เป็นสารที่มีอันตรายมาก มีความเป็นพิษรุนแรงกว่าไตรวาเลนต์โครเมียมมากกว่าร้อยเท่า หากได้รับเข้าร่างกายเพียงเล็กน้อยจะมีการสะสมทำให้เกิดพิษเรื้อรัง และเกิดมะเร็งในอวัยวะต่าง ๆ ตามมา หากได้รับเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ในปริมาณความเข้มข้นมากจะเกิดการก่อกร่อนผิวหนัง อวัยวะระบบทางเดินหายใจเสียหายอย่างฉับพลัน

ไตรวาเลนต์โครเมียมเป็นธาตุโลหะหนักที่พบในร่างกายมนุษย์ หากร่างกายขาดโครเมียมชนิดนี้จะทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับน้ำตาล เช่น โรคกลูโคสซูเรีย (Glycosuria) ทำให้มีการเพิ่มปริมาณของอินซูลิน (Serum insulin) คอเลสเตอรอล (Cholesterol) และ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ในร่างกาย รวมไปถึงยับยั้งการเจริญเติบโต การทำงานของเส้นโลหิต และแก้วตาอักเสบ

### 2.9.2 นิกเกิล (Nickel : Ni)

นิกเกิล เป็นโลหะมีน่าว สีขาวเงินที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการผลิตโลหะต่าง ๆ มีความสามารถตีเป็นแผ่นหรือใช้ชุบเคลือบผิวโลหะอื่น ๆ ได้ดี รวมถึงใช้ประโยชน์ในด้านเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆในอุตสาหกรรม

#### ประโยชน์ของนิกเกิล

1. ใช้ชุบโลหะ ป้องกันการเกิดสนิม และช่วยให้มีผิวแวววาวมากขึ้น
2. ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมบางชนิด เช่น ใช้เร่งปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันในกระบวนการผลิตน้ำมันพืช
3. ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตโลหะผสมต่างๆสำหรับใช้งานในอุตสาหกรรม เช่น ใบพัดเรือ ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ครัวเรือน และการผลิตท่อไอน้ำ เป็นต้น
4. อิเล็กโทรดเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell electrodes)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้เป็นสารเคลือบผิวในอุตสาหกรรมเซรามิกส์
6. ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตโลหะเพื่อใช้ในการประดับ
7. ใช้เป็นส่วนผสมของโลหะ Alnico สำหรับการทำแม่เหล็ก
8. ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันเบนซิน
9. ใช้เป็นส่วนผสมของหมึก และสี
10. ใช้ผลิตเป็นฉนวนต้านทานไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

#### ความเป็นพิษของนิกเกิล

ความเป็นพิษของนิกเกิลมักเกิดจากฝุ่นนิกเกิล และนิกเกิลคาร์บอนิล ที่เกิดจากกระบวนการทำนิกเกิลบริสุทธิ์ รวมถึงนิกเกิลอิสระในรูปของประจุ +2 และสารประกอบของนิกเกิลอื่นๆ ซึ่งนิกเกิล และสารประกอบของนิกเกิลสามารถทำให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ และสัตว์ได้

- การสัมผัสกับนิกเกิล โดยตรงทั้งจากฝุ่น และนิกเกิลที่ละลายในน้ำจะทำให้เกิดอาการผื่นคันตามผิวหนัง รวมถึงการสัมผัสกับดวงจะทำให้เกิดการระคายเคืองของเยื่อบุตา เกิดอาการแสบตาตาแดง และรุนแรงบวมอักเสบ

- การสูดดมฝุ่นและไอระเหยของสารประกอบนิกเกิลยังเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดมะเร็งปอด และอาการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ

#### 2.9.3 เหล็ก (Iron:Fe)

เหล็กเป็นโลหะสีเงินสีขาวหรือสีเทา เป็นแก๊ส วิธีการหล่อสามารถใช้ก่อนทอบเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ และยังสามารถยึดได้ เหล็กมีความต้านทานแรงดึงสูงมาก อีกทั้งยังนำไฟฟ้า นำความร้อนได้ดีอีกด้วยและยังสามารถใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้มากมาย แต่คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเหล็กนั้นคือสามารถหล่อแล้วขึ้นรูปใหม่ได้และยังมีความทนทานที่ยืดเยื้อ นอกจกนี้เหล็กสามารถใช้ในการโค้ง งอ ม้วน ตัดเป็นรูปร่าง เพื่อนำมาประดิษฐ์เป็นสิ่งของที่เรานำมาใช้ในชีวิตประจำวัน หรือนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้

เหล็กเป็นโลหะที่ใช้งานมาก เมื่อเหล็กรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศชั้นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยานี้ จะเกิดเป็น เหล็กออกไซด์ เป็นที่รู้จักกันคือสนิมนั่นเอง เหล็กยังทำปฏิกิริยากับน้ำร้อนได้ดีและไอน้ำในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังละลายในกรดได้ดีที่สุดและทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่น ๆ อีกมากมาย

#### รูปแบบของธาตุเหล็กในอาหาร

สารประกอบธาตุเหล็กมีวาเลนซ์ตั้งแต่ -2 ถึง +7 แต่ในรูปของ **Ferrous (Fe<sup>+2</sup>)** และ **Ferric (Fe<sup>+3</sup>)** เท่านั้นที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ ซึ่งธาตุเหล็กเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสารอาหารซึ่งสามารถพบได้ในอาหารที่ได้มาจากสัตว์ และพืช แต่จะอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน ธาตุเหล็กมี 2 รูปแบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

**Ferric ( $Fe^{3+}$ )** เป็นเหล็กที่จะอยู่ร่วมกับ โปรตีน 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 เนื่องจากเป็นวัยที่มีความเจริญเติบโต ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องรับประทานอาหารที่มีธาตุเหล็กให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกายซึ่งปริมาณธาตุเหล็กที่ร่างกายควรได้รับจะแตกต่างกันไปแล้วแต่บุคคล เพศ อายุ

#### ภาวะการได้รับธาตุเหล็กเกิน

หากได้รับธาตุเหล็กมากเกินไป หรือจากการเสริมธาตุเหล็กในปริมาณสูงต่อเนื่อง อาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อต่างๆ โดยเฉพาะเยื่อทางเดินอาหาร เป็นสาเหตุให้มีเลือดออกในทางเดินอาหารได้ รวมทั้งอาจมีอาการเหล่านี้ เช่น

- คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสียปวดท้องปวดศีรษะหายใจลำบากอ่อนเพลียเวียนศีรษะหน้ามืด
- กล้ามเนื้อแข็งก้นด้านทานโรค และอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงให้เกิดโรคภูมิคุ้มกันตนเอง (Autoimmune) หรือโรคมะเร็งได้
- หากมีธาตุเหล็กสะสมในร่างกายในปริมาณมากขึ้น จะส่งผลต่อการทำงานของไขกระดูก ตับ ไต หัวใจ ปอด และสมอง
- ก่อให้เกิดอาการอ่อนเพลียมากขึ้นภาวะซีดหัวใจเต้นผิดปกติ ตัวเขียวคล้ำชักตัววูบ ไตวายโคมา และอาจอันตรายถึงเสียชีวิตได้ในที่สุด

#### 2.9.4 ตะกั่ว (Lead :Pb)

ตะกั่วถูกนำมาใช้ในประโยชน์ด้านต่าง ๆ บัดกรีเชื่อมโลหะ ทำขั้วไฟฟ้าแบตเตอรี่ เซรามิก สารกำจัดศัตรูพืช ปูนซีเมนต์ ใช้ป้องกันการทะลุทะลวงของกัมมันตภาพรังสี และใช้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดังของเสียงของเครื่องจักรกล เนื่องจากตะกั่วมีความหนาแน่นสูงมาก และใช้เติมลงในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทน

ในส่วนของความเป็นพิษถ้าหาก ได้รับตะกั่วปริมาณน้อยในระยะเวลาสั้นจะทำให้เกิดความเป็นพิษเรื้อรัง ได้แก่ โรคโลหิตจางเนื่องจากตะกั่วไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง และตะกั่วยังสามารถกระตุ้นการทำงานของม้ามทำให้กำจัดเม็ดแดงได้มากขึ้น แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากทำให้เกิดอาการเป็นพิษเฉียบพลัน โดยมีอาการอ่อนเพลีย คลื่นไส้และกล้ามเนื้อกระตุกเนื่องจากการทำงานของระบบประสาทผิดปกติ

## 2.10 ข้อกำหนดของกฎระเบียบที่สำคัญเกี่ยวกับวัตถุสัมผัสอาหาร

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนย้ายสารจากวัสดุที่สัมผัสกับอาหารไปสู่อาหาร จะต้องไม่เกิดขึ้นในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ วัสดุที่สัมผัสกับอาหารที่ทำจากโลหะและโลหะผสม มีการเคลื่อนย้ายของโลหะทั้งส่วนประกอบหลักและสิ่งเจือปน ดังนั้นเพื่อช่วยเหลืออุตสาหกรรมและหน่วยงานด้านอาหารแห่งชาติสภายุโรป สภายุโรปได้เสนอข้อจำกัดการปลดปล่อยเฉพาะ (SRL) สำหรับโลหะหนักส่วนใหญ่แสดงดังตารางที่ 2.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบปริมาณโลหะกับปริมาณที่ร่างกายรับโดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย

	ค่าเฉลี่ย (mg/day) <sup>1</sup>	ค่าเฉลี่ย (mg/weeks)	ปริมาณที่ร่างกายรับได้ต่อ สัปดาห์โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (PTWI) (mg/kg b.w./weeks)	การบริโภคได้ประจำวัน เช่น TDI หรือ PMTDI (mg/kg b.w./day)	ประมาณจากการ บริโภคประจำวัน (mg/weeks) <sup>2</sup>	ค่าเฉลี่ย % ของปริมาณที่ ร่างกายได้รับต่อสัปดาห์ โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย <sup>3</sup>
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: <sup>1</sup>Beliles (1994); Codex (1995)

<sup>2</sup>ประมาณจากการบริโภคประจำวันต่อน้ำหนักตัวต่อกิโลกรัมสำหรับคน 60 กิโลกรัม

<sup>3</sup>คำนวณจาก: ค่าเฉลี่ย (mg/weeks)\*100/ประมาณจากการบริโภคประจำวัน (mg/weeks)

**ตารางที่ 2.8** ข้อกำหนดการปลดปล่อยแบบเฉพาะเจาะจง (SRL) โดยสภายุโรป

ชนิดโลหะ	ข้อกำหนดการปลดปล่อยแบบเฉพาะเจาะจง 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	ข้อกำหนดการปลดปล่อยเฉพาะพบว่ามีจำกัด
Manganese	1.8
Mercury	0.003
Molybdenum	0.12
Nickel	0.14
Silver	0.08
Thallium	0.0001
Tin	100
Titanium	ข้อกำหนดการปลดปล่อยเฉพาะพบว่ามีจำกัด
Vanadium	0.01
Zinc	5

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 การประเมินความเสี่ยงความเป็นพิษของสารเคมีที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ (Jutarut, 2012)

การประเมินความเสี่ยงถือเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์เนื่องจากประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลงานวิจัย การวิเคราะห์ทางสถิติ หรืออาจมีการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการคาดการณ์หาระดับความเสี่ยง โดยข้อมูลการประเมินความเสี่ยงความเป็นพิษของสารเคมีที่มีต่อสุขภาพส่วนใหญ่แสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีที่ได้รับ (Dose) และผลกระทบที่มีต่อร่างกาย และการประเมินความเสี่ยงยังสามารถหาจุดวิกฤตของปริมาณการได้รับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้อีกด้วย และนอกจากนี้ข้อมูลจากการทำประเมินความเสี่ยงยังใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ในการพัฒนานโยบายด้านสุขภาพของมนุษย์ ช่วยลดปัญหาด้านสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสารเคมี

กระบวนการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากสารเคมีที่เป็นอันตราย สามารถสรุปขั้นตอนหลักๆ ได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การระบุถึงอันตราย (Hazard identification) คือ ความพยายามในการหาหรือสำรวจว่าสารเคมีชนิดใดในสถานที่ใดที่ทำให้เกิดสารพิษและมีผลต่อสุขภาพรวมถึงการบันทึกข้อมูลระดับความเข้มข้นที่ได้รับเชิงปริมาณ ระยะเวลาที่ได้รับ ซึ่งข้อมูลจากขั้นตอนนี้มีความสำคัญในการนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป

2. ความสัมพันธ์ของการตอบสนองกับปริมาณพิษที่ได้รับ (Dose-response relationships) คือ การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ว่าปริมาณการได้รับสัมผัสที่ได้รับระดับต่างๆ มีผลต่อสุขภาพหรือไม่ ซึ่งจะช่วยในการระบุระดับความปลอดภัย ในเรื่องระดับการสัมผัส และระยะเวลา และระดับความปลอดภัยเมื่อต้องสัมผัสกับสารเคมีดังกล่าว

ในขั้นตอนการประเมินความสัมพันธ์ผลกระทบต่อสุขภาพต่อปริมาณพิษที่ได้รับ ใช้ข้อมูลจากกลไกของการเกิดมะเร็งมาประเมินความเสี่ยง ซึ่งข้อมูลด้านกลไกการเกิดมะเร็งต่อปริมาณสารก่อมะเร็ง ซึ่งวิจัยโดย Vainio และคณะ ถูกใช้ในการวิเคราะห์หาสารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็ง และเป็นข้อมูลที่มีบทบาทสำคัญสำหรับหน่วยงาน 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 ก็จะต้องสามารถอธิบายออกได้ว่ามีความเสี่ยงในระดับขั้นใด และระดับความเสี่ยงสูงสุด ต่ำสุด มีค่าเป็นเท่าใด เป็นต้น ซึ่งข้อมูลจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนนี้จะทำให้การตัดสินใจในการจัดการความเสี่ยงง่ายขึ้น และเจ้าหน้าที่สามารถออกแบบหรือหาแนวทางในการช่วยลดระดับความเสี่ยงที่เหลืออยู่ได้

## 2.12 การประเมินการสัมผัส (Exposure assessment)

เป็นการประเมินสารเคมีหรือสารอันตรายที่เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งผู้ประเมินจำเป็นต้องทราบความเข้มข้นของสารเคมีในอาหาร น้ำดื่ม ที่เกี่ยวข้องของประชาชนแต่ละกลุ่ม โดยจะต้องอาศัยการเก็บตัวอย่างสำหรับการตรวจวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง เพื่อทราบความเข้มข้นที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา

ขั้นตอนการประเมินการสัมผัสมีดังนี้

### 2.12.1 วิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อพิจารณาความสำคัญต่อการได้รับสัมผัสของประชากรหลักข้อมูลที่ต้องนำมาพิจารณาได้แก่

1.1 วิธีทางและปริมาณของสารอันตรายที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย เช่น การหายใจ การบริโภค และการสัมผัส

1.2 แหล่ง สถานที่ ช่วงเวลา และปริมาณที่สารอันตรายถูกปล่อยจากแหล่งต้นกำเนิด ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้ผู้ประเมินทราบว่า ได้รับสัมผัสสารอันตรายที่ต้องประเมินหรือไม่ ในลักษณะใด

1.3 ความเข้มข้นของสารอันตรายในตัวกลางต่าง ๆ เพื่อประเมินการได้รับสัมผัส

1.4 ลักษณะและจำนวนกลุ่มประชากรที่ได้รับสัมผัสเป็นการหาขนาดที่กลุ่มประชากรหรือกลุ่มบุคคลได้รับสารอันตราย โดยผู้ประเมินต้องอธิบายลักษณะของกลุ่ม เช่น อายุ เพศ สุขอนามัย ช่วงเวลาการได้รับสัมผัส เป็นต้น

2.12.2 การคำนวณการได้รับสัมผัสของสารและความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัส (U.S.EPA, 2015)

การคำนวณการได้รับสัมผัส โดษะหนักในน้ำใช้สูตรคำนวณตามสมการที่ 2.1

$$I_{\text{ingestion}} = \frac{CW \times IR \times CF \times EP}{BW \times AT} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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
ดัชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง		HI
Slope factor Nickle	(mg/kg-day)	SF
Reference Dose	(mg/kg-day)	RfD

การคำนวณความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งใช้สูตรคำนวณตามสมการที่ 2.2

$$\text{Cancer risk} = I \times SF \quad (2.2)$$

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

$$\text{HI (Hazard Index)} = \frac{I}{RfD} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

ค่าความเสี่ยง (HI) ที่คำนวณออกมามีค่า  $> 1$  แสดงว่ามีโอกาสจะเกิดผลเสียต่อสุขภาพ  
ค่าความเสี่ยง (HI) ที่คำนวณออกมามีค่า  $\leq 1$  แสดงว่าไม่มีนัยสำคัญที่จะเกิดผลเสียต่อ  
สุขภาพ

### 2.12.3 การจัดกลุ่มของสารก่อมะเร็ง (IARC , 2016)

สถาบันการวิจัยมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer) หรือ IARC เป็นหน่วยงานในสังกัดองค์การอนามัยโลก ได้ทำการศึกษาข้อมูลทั้งทางวิทยาการระบาด ในคน 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 ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ได้แก่ แอสเบสตอส 4 - อะมิโนไบฟีนิล สารหนู เบนซีน โครเมียม วาเลนซ์ VI สารประกอบของนิกเกิล เรดอน ไรโบฟลาวิน ไรต์ ถ่านหิน การผลิตอลูมิเนียม และเคดเมียม เป็นต้น

**กลุ่ม 2A** น่าจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (probably carcinogenic to humans) มีจำนวน 75 สาร เป็นสารที่มีหลักฐานจำนวนน้อย ที่บ่งชี้ว่าทำให้เกิดมะเร็งในคน แต่เพียงพอที่จะสรุปได้ว่าทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ได้แก่ เบริลเลียม ซิลิกา สไตรีนออกไซด์ ควินทอล ไอเสียรถยนต์จากน้ำมันดีเซล การสัมผัสสารบีโตรีเลียม สารกำจัดศัตรูพืชชนิดที่ไม่มีสารหนูผสม เป็นต้น

**กลุ่ม 2B** อาจจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (possibly carcinogenic to humans) มีจำนวน 228 สาร การสัมผัสสารในกลุ่มนี้ในปริมาณหรือระยะเวลาหนึ่ง มีความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็งในคน ขณะเดียวกันมีข้อมูลแน่ชัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง แต่ไม่มีข้อมูลเพียงพอว่าเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งในคน ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ได้แก่ อะครีลาไมด์ คาร์บอน เตตระคลอไรด์ ครอบโรฟอร์ม โคออลท์ ตะกั่วอนินทรีย์ สไตรีน ยูรีเทน เป็นต้น

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

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

นอกจากนี้กระทรวงอุตสาหกรรมได้ออกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ภายใต้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นหรือมีข้อสงสัยประการใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 การจัดการสารในกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับหลักฐานในมนุษย์เปรียบเทียบได้กับการจำแนกตาม 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 เรียกว่า ADI หรือระดับที่ยอมรับได้ต่อวัน คือปริมาณวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) วัตถุอันตรายทางการเกษตร (pesticides) ที่อยู่ในอาหาร กำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัวของผู้บริโภคต่อวัน หากบริโภคสารนี้ในปริมาณดังกล่าวเข้าไปในร่างกายทุกวัน เป็นระยะเวลานาน ยังไม่พบความเสี่ยงที่มีผลกระทบซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดค่าความปลอดภัยของซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) ที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ไว้คือ 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 เมื่อคัดเลือกรับประทานเครื่องดื่มเฉพาะเครื่องดื่มพร้อมบริโภคจะมีปริมาณการบริโภคซึ่งแสดงตามตารางที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 สเปซ ดีโต้	192.87
5 เครื่องดื่มประเภท น้ำหวาน เครื่องดื่มรสผลไม้ พร้อมดื่ม	154.28
6 น้ำอัดลมประเภทน้ำใสและไม่มีสี เช่น น้ำส้ม น้ำแดง น้ำเขียว	285.7
7 น้ำอัดลมประเภทน้ำใสและไม่มีสี (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 โอวี เบอร์ดี้	77.15
14 เครื่องดื่มกาแฟ พร้อมดื่ม	180
15 เครื่องดื่มเกลือแร่	250
16 เครื่องดื่มชูกำลัง	150
17 น้ำเปล่า	3000

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.14 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี (Atomic Absorption Spectrometry: AAS) (ชนัญชิตา, 2560)

เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี (AAS) ประกอบด้วยสองกลไกคือ

1. ธาตุในตัวอย่างจะถูกคลื่นพลังงานในรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือ พลังงานความร้อนจากไฟฟ้ากลายเป็นอะตอมอิสระ

2. อะตอมอิสระเกิดการดูดกลืนแสงที่มาจากแหล่งภายนอก โดยแสงนี้มีความยาวคลื่นเฉพาะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ มีผลทำให้อะตอมของธาตุเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะพื้น (Ground State) สู่อะตอมกระตุ้น (Excited State) ถ้าการดูดกลืนแสงที่วัดได้สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณของธาตุนั้นๆ

องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง AAS จะมีด้วยกัน 5 ส่วน ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source) แหล่งกำเนิดแสงของ 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 ไปชนกับเกลือของธาตุโลหะที่เคลือบไว้ทำให้ธาตุโลหะหลุดออกจากขั้ว cathode แล้วไปชนกับ inert gas ทำให้ธาตุโลหะเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น (excited state) แต่ไม่เสถียร จึงปล่อยพลังงานออกมาเป็นพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะกับธาตุแต่ละธาตุซึ่ง hollow cathode lamp มีทั้งแบบ single lamp (ปล่อยพลังงานช่วงความยาวคลื่นสำหรับวิเคราะห์ธาตุใดธาตุหนึ่ง) และแบบ multiple lamp (ที่ขั้ว cathode จะเคลือบเกลือของธาตุโลหะหลายชนิด มีการปล่อยพลังงานในหลายช่วงตามระดับพลังงานของธาตุที่เคลือบไว้ จะอาศัย monochromator ในการเลือกแสงที่ระดับความยาวคลื่นที่ต้องการใช้)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 ออกซิเจนที่แก๊ส (oxidant gas) เกิดใน spray chamber ของ nebulizer

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

1.5. Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยพลังงานความร้อนจากเปลวไฟทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นไอออนอิสระ เป็นโมเลกุลและเป็นอะตอมอิสระ

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

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

2.2. Ashing stage เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนสูงขึ้น (อาจถึง 1,500 °C) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยอุณหภูมิของสารเหล่านั้นจะแตกตัวออกไปเหลือแต่สารอนินทรีย์ที่เสถียรเท่านั้น 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

4. Cold Vapor Technique จัดเป็นวิธี flameless atomization แบบ Vapor Generation 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

การศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายของสารจากบรรจุภัณฑ์ที่เป็น โลหะไปยังอาหารนั้นพบว่า มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ทำการศึกษาในเรื่องนี้ โดย Kumar, Srivastava P.K. and Srivastava S.P. (1994) ได้ศึกษาการปนเปื้อนจากภาชนะบรรจุของโลหะหนัก (Cr, Fe และ Ni) จากภาชนะสเตนเลส 2 ชนิดคือ tumbler และ bowl โดยแบ่งออกเป็นภาชนะใหม่จำนวนสามยี่ห้อและเป็นภาชนะที่เคยถูกใช้งานมาแล้ว 2 ยี่ห้อ ทำการทดสอบโดยการบรรจุในน้ำกลั่นอาหารจำลองสองชนิดคือ 5% sodium carbonate และ 5% acetic acid และอาหารอื่น ได้แก่ นม ชา กาแฟ เคิร์ด น้ำผลไม้ และมะนาวดอง จากนั้นนำมาวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption พบว่าอาหารทุกชนิดที่นำมาทดสอบมีผลต่อการหลุดออกของเหล็กจากภาชนะทั้งหมดขณะที่นิกเกิลและโครเมียมตรวจไม่พบใน Food simulant นม ชา และกาแฟ ซึ่งเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำกล่าวได้ว่ามีผลยับยั้งที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนของโลหะหนักในอาหาร ได้แก่ ฟันที่ผิว และคุณสมบัติทางกายภาพของภาชนะที่สัมผัสอาหารความเป็นกรด-ด่างของอาหารที่บรรจุ อุณหภูมิ การเขย่ารวมถึงคุณสมบัติทางเคมีขององค์ประกอบในภาชนะนั้นๆ

Herting, Wallinder and Leygraf (2008) ได้ศึกษาการสึกกร่อนสเตนเลสชนิดเฟอร์ริติก (Ferritic stainless steel grade AISI 430) ที่มีลักษณะพื้นผิวต่างกัน 3 ชนิด คือ ขัดเงา เป็นเส้น และเป็นร่อง (glossy, line and abraded) โดยมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของสเตนเลสต่อปริมาตรสารละลายอาหารจำลอง 3% acetic acid 0.5 และ 2 mL<sup>-1</sup> ทำการทดสอบตาม Italian law text D.M. 21-03-1973, Art. 37 ซึ่งทดสอบที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 10 วัน และทดสอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 90 นาที (จุ่มครั้งละ 30 นาที 3 ครั้ง) พบว่ากระบวนการปลดปล่อยของโครเมียม (Cr) และเหล็ก (Fe) จะแปรผันตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของสเตนเลสต่อปริมาตรสารละลายอาหารจำลองอุณหภูมิและความหยาบผิว (ขัดเงา<เป็นเส้น<เป็นร่อง) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Silviu

Gabrieil (2011) ที่ได้ทำการศึกษาสเตนเลสกลุ่มออสเทนนิติก โดยการใช้เครื่อง scanning electronic เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่จะเห็นตามการกั  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

microscopy (SEM) เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบของสแตนเลส 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 โดยใช้เวลาดำจุ่มคือ 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) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมกัดกร่อนและการเคลื่อนย้ายโลหะหนักของสแตนเลสเกรด 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 แต่เมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่า 70 °C จะเกิดการเคลื่อนย้ายของสารเพิ่มขึ้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการใช้อุณหภูมิ 30 °C นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก Fe, Ni, Mn จากสแตนเลสชนิดมีแมงกานีสสูง (กลุ่มออสเทนนิติก) นำมาศึกษาโดยใช้ตัวกลาง อะซิเตทคลอไรด์ เปรียบเทียบกับอะซิเตท พบว่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก Fe, Ni, Mn ในอะซิเตทคลอไรด์นั้นเกิดขึ้นมากกว่าในอะซิเตท

N. Mazinianian , 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 นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นนั้น จะส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยของโลหะมากขึ้นด้วย และในปี 2016 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จินตนา และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาการชะของสารตะกั่วในน้ำกัวยเดี่ยวจากหม้อกัวยเดี่ยวที่ปิดกริดด้วยสารตะกั่ว โดยศึกษาได้นำหม้อกัวยเดี่ยวที่ทำจากสแตนเลส 304 และ 304L เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว ความสูง 15 นิ้ว ขนาด 3 ช่อง ที่ปิดกริดด้วยสารตะกั่วโดยกำหนดสภาวะการศึกษาดังนี้ 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 จากผลการศึกษพบว่า 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

การศึกษากาเรเคลื่อนย้ายของสารในวัสดุอื่น ๆ นั้นมีการรวบรวมรายงานการวิจัยโดยคุณอรพรรณ (2547) ได้รายงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์สารปริมาณโลหะหนัก 2 ชนิด คือตะกั่ว และแคดเมียม 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 % นาโนเคลย์ในอาหารจำลองที่มีความเป็นกรดสูง (กรดอะซิติก 3% w/v) ตามมาตรฐาน ASTM D4754-98 (American Society for Testing and Materials) โดยใช้วิธี ICP -optical emission spectrometry ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25 และ 45 °C เป็นเวลา 90 วันพบว่า การเคลื่อนย้ายของทั้งอลูมิเนียม (Al) และซิลิกอน (Si) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นและที่อุณหภูมิที่ 45 °C พบการเคลื่อนย้ายของสารสูงกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C โดยที่ระยะเวลา 90 วัน ที่อุณหภูมิ 25 และ 45 °C พบการไมเกรทของ Al เท่ากับ 0.18 และ 0.34 ตามลำดับ ส่วนการไมเกรทของ Si มีค่าเท่ากับ 6.0 และ 9.5 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ดังตารางที่ 2.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อผู้วิจัย/ ผู้รายงาน	วัสดุที่ทำกรวิจัย	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	สแตนเลสชนิดเฟอร์ติก ขัดเงา เป็นเส้น และ เป็น ร่อง	3% acetic acid	40°C/10 วัน และ 100°C 90 นาที (จุ่มครั้งละ 30 นาที 3 ครั้ง)	AAS	การปลดปล่อยแปรผันตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของสแตน เลสต่อปริมาณสารละลายอาหารจำลอง อุณหภูมิและผิวสัมผัส
Troe et al.	สแตนเลสกลุ่มออสเทนนิติก	3% acetic acid	30, 45, 60, 75, 90 นาที ที่อุณหภูมิ 100°C	AAS	ความหนาพิวของสแตนเลสและระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อ การเคลื่อนย้ายของสารมากขึ้น
Pang Jin-shan et al.	จากสแตนเลสชนิดมี แมงกานีสสูง (กลุ่มออสเทนนิติก)	อะซิเตทคลอรีน เปรียบเทียบกับอะ ซิเตท	40°C/10 วัน	AAS	การปลดปล่อยของโลหะในอะซิเตทคลอรีน เกิดขึ้นมากกว่า อะซิเตท
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	วิธีที่ใช้ใน การวิจัย	ผลที่ได้
N. Mazinianian 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. Mazinianian et al.	สแตนเลสกลุ่มออสเทนนิติก กลุ่มเฟอร์ริติก กลุ่มสแตนเลสกลุ่ม NaCl และ น้ำกลั่น	5 % Citric Acid, 0.5M	40 °C เป็นเวลา 10 วัน	AAS	สแตนเลสกลุ่มที่มีการเติมโครเมียม จะลดการปลดปล่อยของ Fe ลง
จินตนา และคณะ	สแตนเลส 304 และ 304 L ที่ บัดกรีด้วยตะกั่ว		100 °C, 3 ชั่วโมง	AAS	ที่ pH 5.0 และความเค็ม 1.5 % มีปริมาณการชะของสารตะกั่วออกมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.99 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว กิโลกรัมต่อวัน
อรุวรรณ	แก้ว Glass	4 % Acetic Acid	เวลา 24 ชั่วโมงที่ อุณหภูมิ 22 °C	AAS	เกิดการไม่เกรนขึ้นของตะกั่วไม่เกิน 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และ แคดเมียมไม่เกิน 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. เครื่องล้างแบบอัลตราโซนิก (รุ่น GT 2120 QTS, บริษัท GT Sonic, ประเทศจีน)
2. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลตลับชนิด 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. เวอร์เนียคาลิเปอร์ (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  $\mu$ L (บริษัท Sartorius)
8. Autopipette 1000-50000  $\mu$ L (บริษัท Sartorius)

### 9. ขวดเก็บตัวอย่าง PE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 คัดเลือกตัวอย่างของแก้วเก็บความชื้นที่ทำมาจากวัสดุแตนเลส

คัดเลือกตัวอย่างแก้วเก็บความชื้นที่ทำมาจากวัสดุแตนเลส จากตลาดลำเพ็ง จังหวัด กรุงเทพมหานคร โดยคัดเลือกตัวอย่างมา 30 ตัวอย่าง และภาชนะต้องสามารถบรรจุตัวอย่างได้ไม่น้อยกว่า 500 มิลลิลิตร

#### 3.4.1 ศึกษาพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวอย่างแก้วเก็บความชื้นที่ทำมาจากวัสดุแตนเลส

โดยทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงภายในด้านบนและล่าง และความสูงเอียงของแก้วเก็บความชื้นที่ทำมาจากวัสดุแตนเลส โดยวัดถึงปริมาณที่บรรจุด้วยเวอร์เนีย โดยพิจารณารูปทรงของแก้วเก็บความชื้น หากมีลักษณะดังภาพที่ 3.1 สามารถคำนวณพื้นที่ผิวสัมผัส ดังสมการที่ 3.1 กรณีที่แก้วเก็บความชื้นมีลักษณะดังภาพที่ 3.2 สามารถคำนวณพื้นที่ผิวสัมผัส ดังสมการที่ 3.2 (ดัดแปลงจาก CEN standards EN-1186 Part I)



ภาพที่ 3.1 การวัดขนาดแก้วเก็บความชื้นทรงกรวยตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{พื้นที่ผิวสัมผัสทรงกรวยตัด} = (\pi(R+r)S) + \pi r^2 \quad (3.1)$$

เมื่อ  $s$  คือ ความสูงเอียงด้านในแก้วเก็บความเย็น (cm)

$R$  คือ รัศมีด้านในแก้วเก็บความเย็นด้านบน (cm)

$r$  คือ รัศมีด้านในแก้วเก็บความเย็นด้านล่าง (cm)



$$\text{พื้นที่ผิวสัมผัสทรงกระบอก} = (2\pi(R)L) + \pi R^2 \quad (3.2)$$

เมื่อ  $L$  คือ ความสูงด้านในแก้วเก็บความเย็น (cm)

$R$  คือ รัศมีด้านในแก้วเก็บความเย็น (cm)

### 3.4.2 การเตรียมตัวอย่างแก้วเก็บความเย็นที่ทำมาจากวัสดุแตนเลส

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 ที่เตรียมไว้โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิคล้างทำความสะอาด ด้วยความถี่ 40 KHz เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นคว่ำให้แห้ง (ดัดแปลงจาก Herting, Wallinder and Leygraf, 2008)

ซึ่งแผนผังขั้นตอนการวัดขนาดและการเตรียมตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการวัดพื้นที่ผิวสัมผัสและการเตรียมตัวอย่าง

### 3.4.3 การจำลองการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความชื้นที่ทำมาจากวัสดุสแตนเลส

#### 3.4.3.1 เตรียมตัวแทนอาหาร (Food Simulant) ที่ใช้ศึกษาการเคลื่อนย้ายของสาร

จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 2.2 ใช้ Food Simulant แทนตัวอย่างของเครื่องดื่มดังนี้

- 3% acetic acid เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่มีค่า pH  $\leq 4.5$

- น้ำกลั่นเป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่มีค่า pH  $> 4.5$  จนถึง  $\leq 7.0$

#### 3.4.3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการจำลองการเคลื่อนย้ายของสาร

##### 3.4.3.2.1 เตรียมสารละลาย 3% acetic acid

เตรียม Acetic acid (glacial) 99.8% ที่ได้จากการคำนวณได้จากสมการที่

3.3 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้สารละลาย 3% acetic acid

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สภาพที่ใช้ในการทดสอบ

การทดลองที่	ตัวแทนอาหารตัวอย่าง	อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บ	
		(°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 การเก็บตัวอย่างของสารละลายที่ผ่านการเก็บตามสภาพที่กำหนด

นำตัวอย่างสารละลายที่ผ่านการทดลองตามระยะเวลาและอุณหภูมิตามที่กำหนดมาเก็บในขวดเก็บตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่เป็นน้ำกลั่นให้เติมกรดไนตริก  $\text{HNO}_3$  65% ประมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าให้เข้ากันเพื่อให้ตัวอย่าง  $\text{pH} \leq 3$  ป้องกันการตกตะกอนของโลหะหนัก (สมชาย, 2554) แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $4^\circ\text{C}$

### 3.5 การวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม (Overall Migration)

ทำการชั่งน้ำหนักของซามระเหยที่ผ่านการล้างทำความสะอาดและนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $105^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเก็บในเดซิเคเตอร์จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด มาใส่ในซามระเหย 150 mL และนำไประเหยในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่  $95^\circ\text{C}$  จากนั้นเมื่อสารละลายระเหยหมดแล้ว นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $105^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเก็บในเดซิเคเตอร์จนอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำมาบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำน้ำหนักของซามระเหยที่บันทึกได้ทั้งก่อนและหลังการทดสอบ มาหาความแตกต่างและคำนวณหาการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม ดังสมการที่ 3.4 ซึ่งแผนผังขั้นตอน

การวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมแสดงดังภาพที่ 3.4 (ดัดแปลงจาก EN1186-9:2002) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ

M = ค่า Overall Migration ( $\text{mg}/\text{dm}^2$ )

Ma = น้ำหนักของ Evaporator Dish หลังจากทำการระเหย Food Simulant (หน่วยกรัม)

Mb = น้ำหนักของ Evaporator Dish ก่อนเริ่มการทดลอง (หน่วยกรัม)

S = พื้นที่ผิวสัมผัสของภาชนะ ที่สัมผัสกับ Food Simulant ( $\text{dm}^2$ )



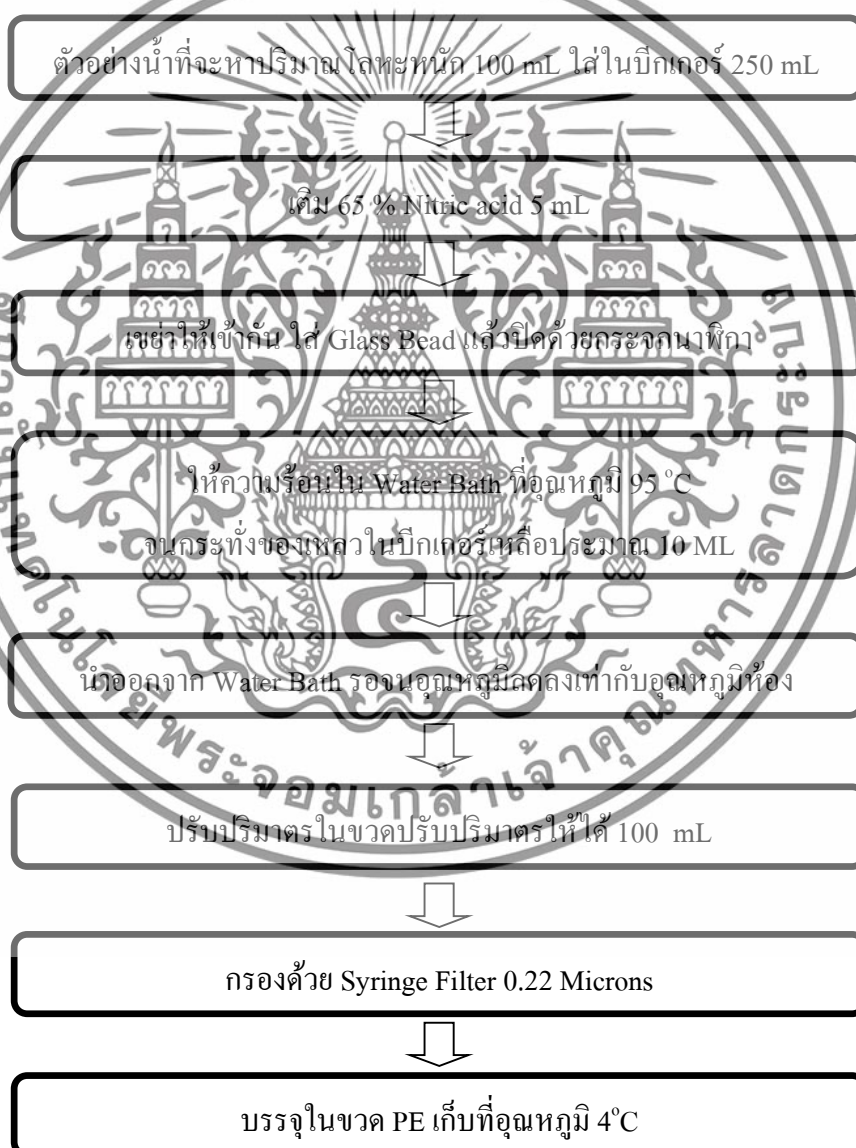
ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนวิเคราะห์หาการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนได้ปริมาตร 100 mL จากนั้นนำใส่ขวด PE แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $\leq 4^{\circ}\text{C}$  ซึ่งแผนผังขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (APHA, 2012)

เตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะหนักที่มีความเข้มข้น 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 โดยกราฟของสารละลายมาตรฐานนั้นต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า  $R^2 = 0.995$

จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยมาทำการศึกษาปริมาณของโลหะหนัก โดยศึกษาเฉพาะปริมาณของเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) โดยเปรียบเทียบปริมาณกับกราฟมาตรฐาน โดยสถานะที่กำหนดดังตารางที่ 3.2 ซึ่งแผนผังวิเคราะห์โลหะหนักโดยใช้เครื่อง AAS แสดงดังภาพที่ 3.6

ตารางที่ 3.2 สถานะที่ใช้ในการทดสอบธาตุเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว ด้วยเครื่อง AAS

สถานะของเครื่อง AAS	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. (°C)	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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดเครื่อง AAS เลือกหลอด Lamp ที่ใช้งาน และกำหนดสภาวะที่ใช้งาน



เตรียมสารละลายเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00, 2.00 ppm  
จากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 10 ppm



วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น



นำมาสร้างกราฟสารละลายมาตรฐาน โดยค่า  $R^2$  ที่ได้ต้องไม่น้อยกว่า 0.995



นำตัวอย่างที่จะวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะหนัก มาทำการวิเคราะห์  
โดยค่า % RSD ที่ได้จากการวัด ต้องไม่เกิน 10%



เมื่อทำการวิเคราะห์ครบทุกตัวอย่างแล้ว ทำการเปลี่ยน Lamp  
และทำตามขั้นตอนเดิม จนครบทุกธาตุ

ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนัก โดยใช้เครื่อง AAS

3.7 ประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงของการได้รับโลหะหนักจากแก้วเก็บความ  
เย็นสแตนเลส (U.S. EPA 1992a)

#### 3.7.1 ประเมินการได้รับสัมผัส

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

$$I_{\text{ingestion}} = \frac{CW \times IR \times CF \times EP}{BW \times AT} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 โดยโลหะหนักมักเกิดและตะกั่ว เนื่องจากเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งต้องทำการวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) ก่อน โดยใช้สมการที่ 2.2 จากนั้นหาค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงนำมาคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (HI) ต่อไป

$$\text{Cancer risk} = I \times SF \quad (2.2)$$

เมื่อ

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

$SF$  = Slope factor ของสารก่อมะเร็ง

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

$$\text{HI (Hazard Index)} = \frac{I}{RfD} \quad (2.3)$$

เมื่อ

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

$RfD$  = Reference Dose (mg/kg-day)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็น โดยกำหนดสภาวะการเก็บที่ อุณหภูมิ 25 °C และ 40 °C เวลา 6 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 240 ชั่วโมง ใช้น้ำกลั่นและ 3% Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารจำลอง จากนั้นนำผลการที่ได้มาทำการประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงที่ ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของสารจากแก้วเก็บความเย็น ได้ผลการวิเคราะห์ดังหัวข้อที่ 4.1 4.2 4.3 และ 4.4 ตามลำดับดังนี้

#### 4.1 ตัวอย่างของแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส

จากการเก็บตัวอย่างแก้วเก็บความเย็นที่ทำจากวัสดุสแตนเลส จากตลาดสำเพ็ง จังหวัด กรุงเทพมหานคร มีจำนวนทั้งหมด 30 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ได้มาจะเป็นแก้วเก็บความเย็น สแตนเลสที่ภายนอกมีทั้งแบบที่เคลือบสีทั้งใบและเคลือบสีบางส่วน ภายในเป็นสแตนเลสกลุ่ม ออสเทนนิติก (Austenitic) เกรด 304 โดยสังเกตได้จากที่ด้านล่างของแก้วจะมีระบุไว้ว่า SUS 304 และ จากทฤษฎีของ กนก (2562) ที่กล่าวว่าสแตนเลสกลุ่มนี้เมื่อใช้แม่เหล็กสัมผัสกับพื้นผิว แม่เหล็กจะ ไม่ติดกับพื้นผิว ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นโดยการใช้อแม่เหล็กสัมผัสกับพื้นผิวของแก้วเก็บความเย็น ไม่เกิดการติดกับพื้นผิวของแก้วเก็บความเย็น ลักษณะของผิวสัมผัสด้านในของแก้วเก็บความเย็น มีลักษณะความเงาผิวเงาสะท้อนปานกลางถ้าเปรียบเทียบกับเงาที่ 2.7 จะใกล้เคียงกับพื้นผิว สแตนเลสแบบ 2B โดยรูปทรงของแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสจะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ รูปทรงกรวย ตัดและรูปทรงกระบอก 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 และความ สูงเอียงภายในมาคำนวณตามสมการที่ 3.1 จะพบว่าแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสรูปทรงกรวยตัดมี พื้นที่เท่ากับ 7.82, 7.87, 7.77, 7.03 และ 9.60 dm<sup>2</sup> และมีปริมาตรความจุของแก้วเก็บความเย็น 4 กลุ่ม แรกเท่ากับ 500 mL กลุ่มที่ 5 เท่ากับ 800 mL และอีก 1 กลุ่มเป็นรูปทรงกระบอก เมื่อทำการวัดขนาด รัศมีขอบในมีรัศมีเท่ากับ 5.20 cm ความสูงภายในเท่ากับ 16.50 cm เมื่อนำมาค่ารัศมีขอบในและ ความสูงมาคำนวณตามสมการที่ 3.2 จะพบว่าแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสรูปทรงกระบอกมีพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ  $6.24 \text{ dm}^3$  และมีปริมาตรความจุเท่ากับ  $500 \text{ mL}$  ซึ่งรายละเอียดของรูปทรง และรัศมี ส่วนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1 และภาพแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.1 ขนาด พื้นที่ผิวสัมผัส และปริมาตรบรรจุของตัวอย่าง

กลุ่มที่	รูปทรงแก้ว	รัศมีขอบใน ด้านบน (cm)	รัศมีขอบใน ด้านล่าง (cm)	ความสูง ภายใน (cm)	พื้นที่ ผิวสัมผัส ( $\text{dm}^2$ )	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)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 ( $P<0.05$ )

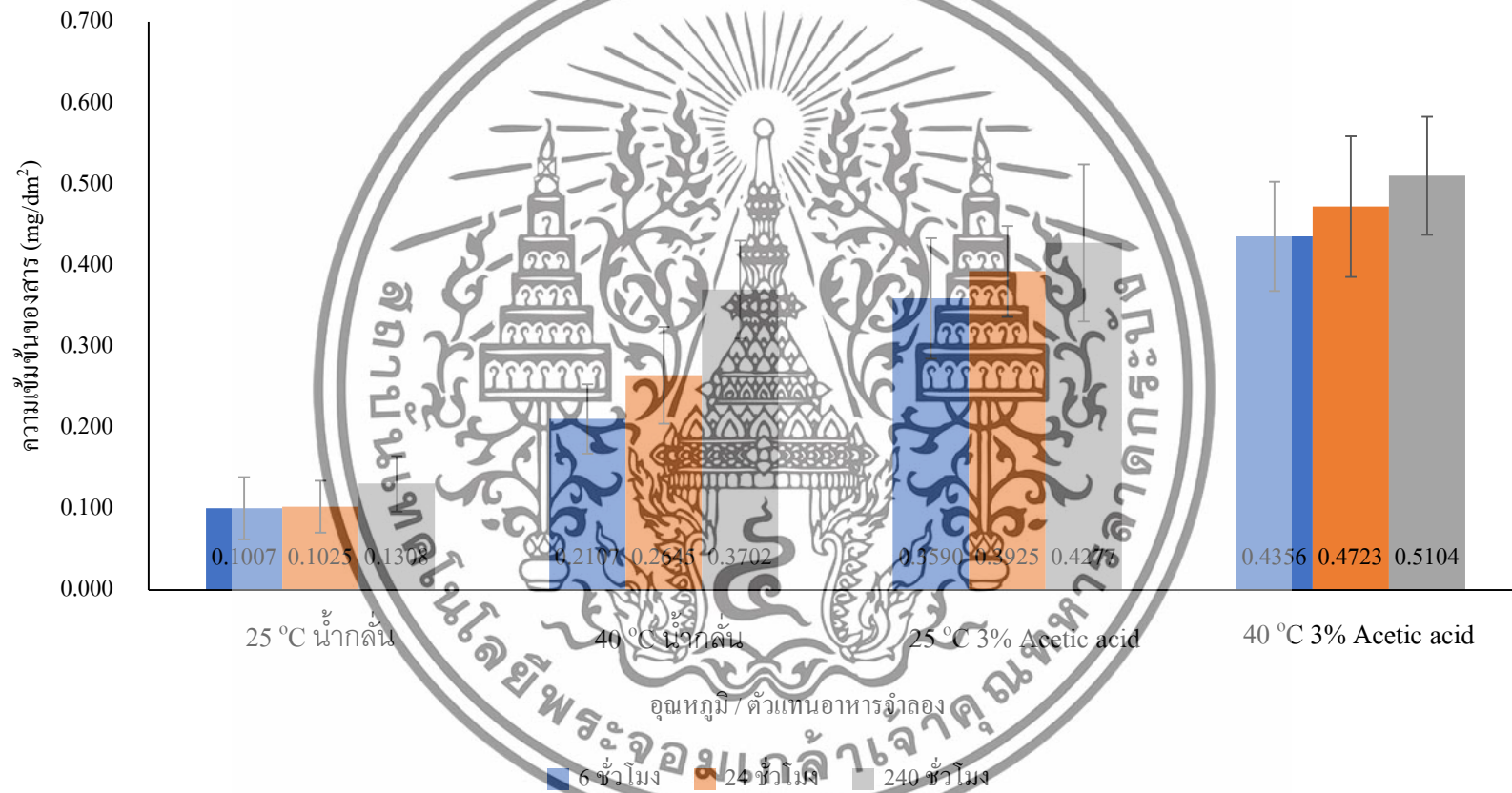
จากผลการทดสอบการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมทั้งหมดทุกสภาวะนั้นจะพบว่า การใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารจำลอง ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่เวลา 6 ชั่วโมงเกิดการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมน้อยที่สุดเท่ากับ  $0.1007 \pm 0.0384 \text{ mg/dm}^2$  และพบว่าการใช้ 3 % Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารจำลอง ที่อุณหภูมิ 40 °C ที่เวลา 240 ชั่วโมงเกิดการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมมากที่สุดเท่ากับ  $0.5104 \pm 0.0728 \text{ mg/dm}^2$  โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )

จากการศึกษาการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมในแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสพบว่าเมื่อตัวแทนอาหารจำลองสัมผัสกับอาหารนานขึ้น การใช้อุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น และการใช้ตัวแทนของอาหารจำลองที่มีค่าความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมมากขึ้น

การเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมกับมาตรฐานของ (EU) 10/2011 ที่ได้กำหนดค่าการเคลื่อนย้ายโดยรวมของสารต้องไม่เกิน  $10 \text{ mg/dm}^2$  ซึ่งจากการวิเคราะห์ดังกล่าวพบว่าแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสที่มีค่าการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมมากที่สุดเพียง  $0.5104 \pm 0.0728 \text{ mg/dm}^2$  คิดเป็นร้อยละ 5.1 ซึ่งไม่เกินมาตรฐานดังกล่าวที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนย้ายของสารโดยรวม (Overall Migration)



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิปริมาณการเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวม

### 4.3 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก

การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักทั้งหมด 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<sup>2</sup> เท่ากับ 0.997 0.998 และ 0.999 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นเชิงเส้นของกราฟสารละลายมาตรฐาน ซึ่งจะให้ความเข้มข้นที่ได้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ และ % RSD ของการวิเคราะห์ในแต่ละตัวอย่างนั้นอยู่ระหว่าง 5% - 8% ซึ่งค่าที่ได้นั้นไม่เกิน 10 % แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์นั้นมีความแม่นยำที่ดี โดยค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่ต่ำที่สุดของเครื่องมือในการวิเคราะห์โลหะหนัก (LOD) ของเหล็กเท่ากับ 0.005 mg/L นิกเกิลเท่ากับ 0.006 mg/L และตะกั่วเท่ากับ 0.015 mg/L หากปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างมีค่าต่ำกว่า LOD เครื่อง AAS จะไม่สามารถอ่านค่าได้

จากการทดสอบการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสไปยังตัวแทนอาหารจำลอง พบว่าเมื่อได้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารจำลอง ทำการศึกษาที่เวลา 6, 24 และ 240 ชั่วโมง พบว่าที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กเท่ากับ  $0.0275 \pm 0.0316$ ,  $0.0278 \pm 0.0020$  และ  $0.0507 \pm 0.0021$  mg/L ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กเท่ากับ  $0.0309 \pm 0.0022$ ,  $0.0316 \pm 0.0033$  และ  $0.0510 \pm 0.026$  mg/L ตามลำดับ และเมื่อใช้ 3 % Acetic acid เป็นตัวแทนอาหารจำลอง พบว่าที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กเท่ากับ  $0.0327 \pm 0.0031$ ,  $0.0348 \pm 0.0020$  และ  $0.0538 \pm 0.0020$  mg/L ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่าการเคลื่อนย้ายของเหล็กเท่ากับ  $0.0432 \pm 0.0022$ ,  $0.0511 \pm 0.0038$  และ  $0.0981 \pm 0.0026$  mg/L โดยข้อมูลทั้งหมดแสดงดังภาพที่ 4.2

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะพบว่าที่สภาวะอุณหภูมิเดียวกัน ด้วยเวลาที่ต่างกัน เมื่อเวลาที่ตัวแทนของอาหารจำลองสัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมากขึ้นจะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของเหล็กเพิ่มมากขึ้น การใช้ตัวแทนอาหารจำลองเป็นน้ำกลั่น โดยที่อุณหภูมิ 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 ชั่วโมงเพียงสภาวะเดียว ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $0.00691 \pm 0.00041$  ส่วนสภาวะที่ทำการทดลองอื่นนั้นมีความเข้มข้นของนิกเกิลมีค่าต่ำกว่า  $0.006 \text{ mg/L}$  ซึ่งเป็นความเข้มข้นของตัวอย่างที่ต่ำที่สุดที่เครื่องสามารถอ่านค่าได้รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.2

ผลของการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กกับนิกเกิลพบว่ามีค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) และโครเมียม (Cr) จากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสและอ่างสแตนเลสซึ่งทำการทดสอบในตัวแทนของอาหารจำลอง พบว่าเมื่อตัวแทนอาหารมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้นปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ในส่วนของตัวอย่างที่ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวแทนของอาหารจำลองแล้วงานวิจัยของ R. Kumar et.al ไม่พบการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสเนื่องจากเครื่องมือที่นำมาใช้คือ Atomic Absorption Spectroscopy มีค่าขีดความสามารถอ่านค่าต่ำสุด (LOD) ที่แตกต่างกัน จึงทำให้ไม่พบการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักในน้ำกลั่นที่ใช้เป็นตัวแทนอาหารจำลอง ในส่วนของค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักที่มีความแตกต่างกันนั้น งานวิจัยของ R. Kumar et.al ซึ่งใช้ตัวแทนอาหารจำลอง 5 % Acetic acid พบว่าเหล็กมีค่าเฉลี่ย  $0.3 \text{ mg/L}$  และนิกเกิลมีค่าเฉลี่ย  $0.1 \text{ mg/L}$  ซึ่งมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์ในครั้งนี้นี้ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก จากเทคโนโลยีการผลิตสแตนเลสในปัจจุบันได้เปลี่ยนแปลงไปทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของเหล็กและนิกเกิลนั้นน้อยลง และด้วยตัวแทนของอาหารทดลองที่ใช้มีความเข้มข้นแตกต่างกันอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของเหล็กและนิกเกิลแตกต่างกัน เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 เนื่องจากเวลาที่เพิ่มมากขึ้นนั้น ปริมาณการเคลื่อนย้ายของเหล็กและนิกเกิลก็จะเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากเวลาการทดลองและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกันจึงทำให้ค่าปริมาณการเคลื่อนย้ายนั้นแตกต่างกันออกไป เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Yuan Chen (2014) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการตัดสแตนเลส ต่อ ปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก โครเมียม และนิกเกิล โดยพบว่าสแตนเลสที่มีรอยตัดแล้ว นำมาศึกษาการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักนั้นจะเกิดการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักมากกว่าสแตนเลสที่ไม่ผ่านการตัดเป็นชิ้นส่วน ซึ่งจากการวิเคราะห์ที่ได้ทำการทดลองแบบไม่ตัดสแตนเลสเป็นชิ้นส่วน ผลการทดลองของ Yuan Chen นิกเกิลนั้นมีค่าระหว่าง 0.0002 - 0.0044 mg/dm<sup>3</sup> ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนย้ายของนิกเกิลจากสแตนเลสชิ้นนั้นมีปริมาณน้อยตามข้อมูลองค์ประกอบของสแตนเลส Avesta Sheffield (1998)

จากการหาค่าจากการทดสอบการเคลื่อนย้ายของตะกั่วจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสไปยังตัวแทนอาหารจำลองพบว่าในทุกสภาวะที่ทำการทดลองนั้นค่าของตะกั่วมีน้อยกว่า 0.015 mg/L ซึ่งเป็นความเข้มข้นของตัวอย่างที่ต่ำที่สุดที่เครื่องสามารถอ่านค่าได้รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.3

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมและปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กนั้นพบว่าแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นมีความสอดคล้องกัน โดยการเคลื่อนย้ายจะเพิ่มขึ้นเมื่อแก้วเก็บความเย็นสัมผัสกับตัวแทนอาหารที่มีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Himanshu (2017) เนื่องจากตัวแทนของอาหารจำลองที่มีความเป็นกรดนั้นจะส่งผลให้ชั้นของ โครเมียมออกไซด์ซึ่งเป็น Passive film ถูกทำลาย ทำให้ไม่มีชั้นป้องกันการกัดกร่อนจึงเกิดการกัดกร่อนแบบรูเพิ่มขึ้นที่ผิวของสแตนเลส และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้สัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นทำให้ Acetic acid ที่ใช้เป็นตัวแทนอาหารจำลองภายในแก้วเก็บความเย็น เกิดการแตกตัวของประจุ H<sup>+</sup> ที่เพิ่มมากขึ้นทำให้การกัดกร่อนชั้น Passive Film ถูกทำลายเร็วขึ้นและเกิดเป็นรูเข็มที่ลึกลงไปในผิวของสแตนเลสทำให้เหล็กที่อยู่ภายในเกิดการเคลื่อนที่ออกมาสู่ Acetic acid ที่บรรจุอยู่ภายในแก้วเก็บความเย็น และเวลาในการสัมผัสที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ชั้นของ Passive film ที่ถูกทำลายไปไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้เนื่องจากการเกิดการกัดกร่อนเป็นรูเข็มแล้วมี Acetic acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปแทรกอยู่ภายในรูที่เกิดการกัดกร่อน โครเมียมออกไซด์ซึ่งเป็นชั้น Passive Film ที่ถูกทำลาย ไม่สัมผัสกับอากาศ ทำให้ไม่สามารถสร้างชั้น Passive film ขึ้นมาทดแทนของเดิมที่สูญเสียไป ซึ่งจากการสังเกตจะพบว่า การเคลื่อนย้ายของสาร โดยรวมจะมีปริมาณมากกว่าการเคลื่อนย้ายของ โลหะหนักซึ่งอาจเป็นเพราะในส่วนผสมของสแตนเลส นั้น ไม่ได้มีเพียงแค่เหล็กและนิกเกิลเท่านั้น อาจจะมีโลหะหนักชนิดอื่นหรือสารประกอบอื่นที่รวมอยู่

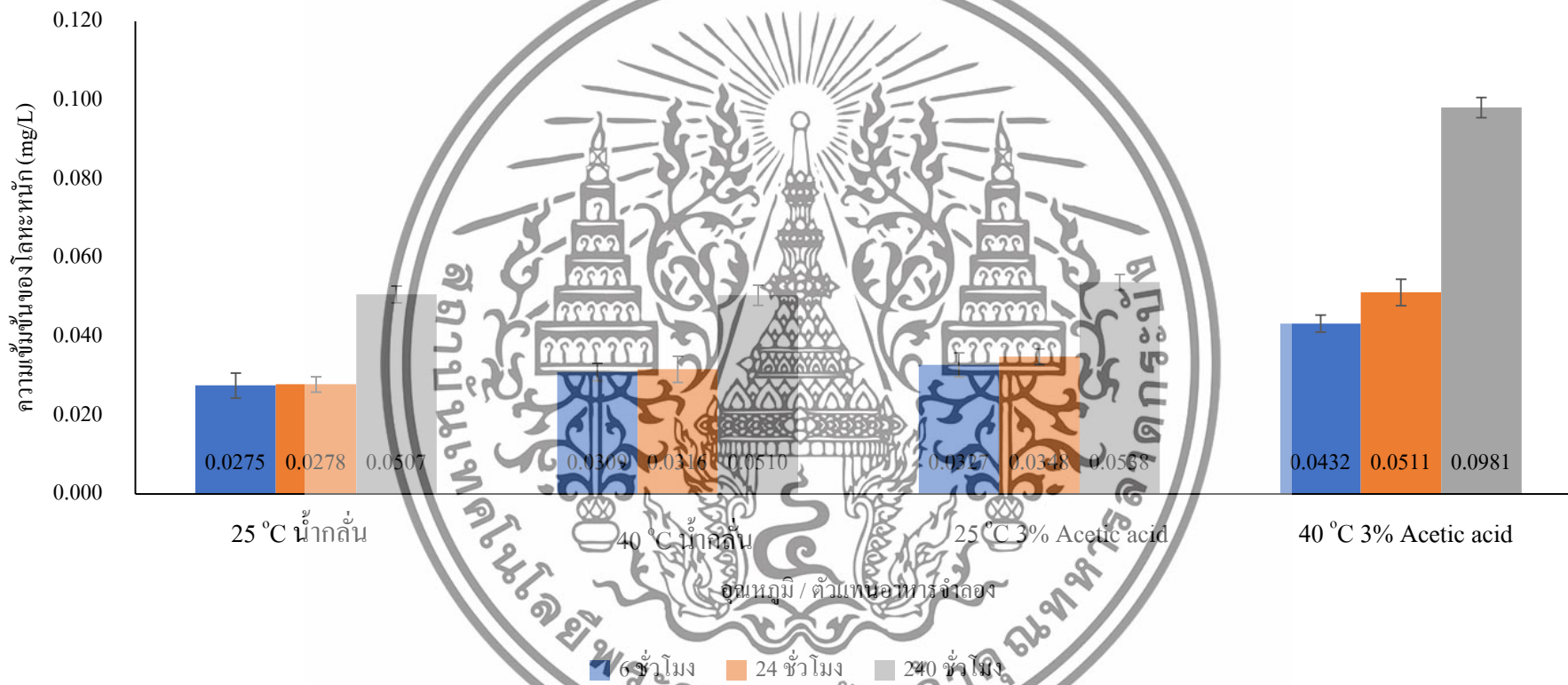
ซึ่งเมื่อพิจารณาการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักทั้งเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว จะพบว่า การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักนั้น ปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักนั้น มีความสัมพันธ์กับ องค์ประกอบของสแตนเลส AISI 304 ซึ่งส่วนประกอบหลักของสแตนเลสคือเหล็กประมาณ 70 % ผสมกับโครเมียมประมาณ 18 % และนิกเกิลประมาณ 8 %

นิกเกิลนั้นเป็นองค์ประกอบของสแตนเลสที่มีปริมาณน้อย จึงพบนิกเกิลปริมาณน้อยกว่า จึงมีความสามารถต่ำสุดที่เครื่องจะวิเคราะห์ได้

ตะกั่ว นั้นไม่ได้พบในองค์ประกอบของสแตนเลส ซึ่งหากพบอาจมาจากการต่อประสาน ของแผ่นสแตนเลส เมื่อพิจารณาการต่อประสานของแก้วเก็บความเป็นสแตนเลสใช้วิธีทำให้ ชิ้นงานหลอมละลาย โดยการให้ความร้อนแก่โลหะ จนหลอมละลายติดเป็นเนื้อเดียวกัน หรือ โดยการเติมโลหะเชื่อม ใช้เป็นตัวประสานกันนั้น อาจใช้การเชื่อม Tig เพื่อเชื่อมต่อรอยประสาน ไม่ได้ใช้การบัดกรีซึ่งมีตะกั่วเป็นตัวประสาน เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของจินตนา และคณะ (2554) พบว่าที่หม้อก๋วยเตี๋ยวที่บัดกรีด้วยตะกั่วที่ pH 5.0 มีค่าเท่ากับ 59.40  $\mu\text{g/L}$  ซึ่ง pH ของการ ทดลองนี้มี pH ต่ำกว่า 5.0 หากมีการเคลื่อนย้ายของสารตะกั่วเครื่อง AAS น่าจะพบได้ แต่หากใช้ การเชื่อมเพื่อต่อประสานจึงไม่มีสารใช้ตะกั่ว การวิเคราะห์จึงพบตะกั่วปริมาณน้อยกว่าขีด ความสามารถต่ำสุดที่เครื่องจะวิเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก เหล็ก (Fe)



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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลประเมินการได้รับสัมผัสและความเสี่ยงที่เกิดอันตรายต่อสุขภาพ

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

จากการนำค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กมาวิเคราะห์ปริมาณการได้รับสัมผัสนั้น หากแยกตามอุณหภูมิและ pH โดยการเลือกใช้ค่าปริมาณการเคลื่อนย้ายของเหล็กที่เกิดขึ้นมากที่สุด โดยใช้ปริมาณ 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 ปีเฉลี่ยเท่ากับ 63.53 kg ระยะเวลาที่สัมผัสกับสารเฉลี่ยเท่ากับ 25,550 day พบว่าค่าการได้รับสัมผัสจากเครื่องดื่มของเครื่องดื่มที่อุณหภูมิ 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 0.1686 (mg/L-weight/day) ตามลำดับเมื่อคิดรวมกันเท่ากับ 0.5090 (mg/L-weight/day) ซึ่งค่าปริมาณที่ได้รับแล้วส่งไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค (Reference Dose) ที่กำหนดไว้ใน JECFA 2019 มีค่าเท่ากับ 0.8 (mg/kg-day) แสดงให้เห็นว่าปริมาณของโลหะหนักเหล็กที่เกิดการเคลื่อนย้ายจากแก้วเก็บความเย็นสเตนเลส นั้นมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ รายละเอียดตามตารางที่ 4.4

เมื่อนำค่าปริมาณการได้รับสัมผัสโลหะหนักเหล็กมาเปรียบเทียบกับค่า ปริมาณที่ได้รับแล้วส่งไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.8 (mg/kg-day) เพื่อหาค่าครรชึความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (HI) เนื่องจากโลหะหนักเหล็กนั้น ไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มที่เป็นสารก่อมะเร็ง พบว่าค่าครรชึความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งที่อุณหภูมิ 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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		ข้อมูลการบริโภค ประชากรไทย 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 ปริมาณเหล็กที่ได้รับและตรวจวัดความเสี่ยง

อุณหภูมิ	pH	ปริมาณสารที่ร่างกายได้รับ (mg L-weight/day)	ตรวจวัดความเสี่ยงจากการเป็น	
			อันตรายอื่น	นอกจากมะเร็ง (HI)
25 °C	≤ 4.5	0.1819		
	7.0	0.1778		0.45
	<b>รวม</b>	<b>0.3597</b>		
40 °C	≤ 4.5	0.3314		
	7.0	0.1686		0.63
	<b>รวม</b>	<b>0.5000</b>		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักนิกเกิลมาวิเคราะห์ปริมาณการได้รับสัมผัสนั้นหากแยกตามอุณหภูมิและpH การเลือกใช้ค่าปริมาณการเคลื่อนย้ายของเหล็กที่เกิดขึ้นมากที่สุดโดยใช้ปริมาณ ความเข้มข้นของสารในเครื่องต้ม pH  $\leq 4.5$  ที่อุณหภูมิ 40 °C เท่ากับ 0.00693 mg/L ความเข้มข้นของสารในเครื่องต้ม pH 7.0 มีค่าน้อยกว่า 0.006 mg/L ตามลำดับ อัตราการบริโภคเครื่องต้มประเภทพร้อมดื่ม โดยอัตราการเครื่องต้ม 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 พบว่าค่าการได้รับสัมผัสจากการบริโภคของเครื่องต้มที่อุณหภูมิ 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) ซึ่งปริมาณของโลหะหนักนิกเกิลที่เกิดการเคลื่อนย้ายจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสที่มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด รายละเอียดตามตารางที่ 4.6

เนื่องจากโลหะหนักนิกเกิลนั้นเป็นโลหะหนักที่ถูกกระบุว่าเป็นสารก่อมะเร็งตาม IARC ในกลุ่ม 1 (Human carcinogen) จึงต้องทำการคำนวณค่าความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) โดยการนำค่าการได้รับสัมผัสจากการบริโภคของเครื่องต้มที่อุณหภูมิ 40 °C มาคิดกับค่า Slope Factor = 0.84 พบว่าค่าที่ได้มีค่าเท่ากับ  $5.56 \times 10^{-4}$  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) เพื่อหาค่าดัชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (HI) เนื่องจากโลหะหนักเหล็กนั้นไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มที่เป็นสารก่อมะเร็ง พบว่าค่าดัชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่าเท่ากับ 0.13 ซึ่งค่าที่ได้มีค่าไม่ถึง 0.7 และต่ำกว่า 1 จึงถือว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ตามแนวทางของ US-EPA (1989) เป็นความเสี่ยงที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและยังไม่ต้องจัดการความเสี่ยงนั้นรายละเอียดตามตารางที่ 4.7

แสดงให้เห็นว่าการนำแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมาใช้ในการบรรจุเครื่องต้มที่อุณหภูมิ 40 °C นั้นมีความปลอดภัยจากโลหะหนักนิกเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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	ข้อมูลการบริโภค ประชากรไทย 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 Nickel	(mg/kg-day) <sup>-1</sup>	SF	0.84	(US-EPA 2011)
Reference Dose	(mg/kg-day)	RfD	0.005	JECFA 2019

ตารางที่ 4.7 ปริมาณนิกเกิลที่ได้รับและดัชนีความเสี่ยง

อุณหภูมิ	pH	ปริมาณสารที่ ร่างกายได้รับ (mg/kg- weight/day)	Cancer risk	ดัชนีความเสี่ยงจาก การเป็นอันตรายอื่น นอกจากมะเร็ง (HI)
40 °C	≤ 4.5	0.000335		
	7.0	0.000327	$5.56 \times 10^{-4}$	0.13
	<b>รวม</b>	<b>0.000662</b>		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ทั้งการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมและการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก เหล็กนั้น พบว่าการนำแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสมาใช้เป็นภาชนะบรรจุเครื่องดื่มนั้นสามารถ นำมาใช้ได้ ปริมาณของสารที่เกิดการเคลื่อนย้ายนั้นยังไม่เกินค่าที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพแต่อย่างไรก็ตามผลของการวิเคราะห์จะทำให้เห็นว่า การใช้บรรจุเครื่องดื่มระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิด การเคลื่อนย้ายของสารเพิ่มมากขึ้น หากนำมาใช้บรรจุเครื่องดื่มควรใช้ในระยะเวลาที่เหมาะสมเพื่อ ลดความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสของสารที่เคลื่อนย้ายจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสสู่เครื่องดื่ม นอกจากนี้เครื่องดื่มที่สัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสควรเป็นเครื่องดื่มที่มีค่า pH เป็นกลาง หากสัมผัสกับเครื่องดื่มที่มี pH เป็นกรด จะทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บ ความเย็นสแตนเลสสู่เครื่องดื่มนั้นเพิ่มมากขึ้นหากมีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องดื่มที่มี pH เป็นกรด ควรใช้ในระยะเวลาที่สัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นเป็นระยะเวลาสั้นและเมื่อใช้เสร็จแล้ว ควรล้างทำความสะอาด อีกปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลให้การเคลื่อนย้ายมากขึ้นคืออุณหภูมิ เครื่องดื่มที่ อุณหภูมิมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนย้ายมากขึ้นด้วย

จากผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสโลหะหนักเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว พบว่ามีค่าดัชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง มีค่าน้อยกว่า 1.0 ซึ่งแสดงว่า ปริมาณที่ได้รับแล้วส่งไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค แต่อย่างไรก็ตามการได้รับการได้รับ สัมผัสโลหะหนักเหล็ก นิกเกิล และตะกั่ว จากการบริโภคนั้นไม่ได้เกิดจากการบริโภคเครื่องดื่มใน แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสเพียงแหล่งเดียว ยังมีการได้รับจากการบริโภคอาหารชนิดอื่น เข้าสู่ร่างกาย จึงควรมีการพิจารณาการได้รับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคอาหารอื่นร่วมด้วย เพื่อลดความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสโลหะหนักเหล็ก นิกเกิล และตะกั่วเกินปริมาณซึ่งอาจ ก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกาย

นอกจากผลของการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็นแล้ว การใช้แก้วเก็บความเย็น บรรจุเครื่องดื่มเป็นระยะเวลานานควรมีการพิจารณาในส่วนของจุลินทรีย์ในเครื่องดื่มที่เพิ่มขึ้นตาม ระยะเวลาด้วย ซึ่งจุลินทรีย์ในเครื่องดื่มอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การเกิดการเคลื่อนย้ายของโลหะทั้งหมดจากแก้วเก็บความเย็นที่ทำจากสแตนเลสสู่อาหารจำลอง น้ำกลั่นและ 3% Acetic acid พบว่า ปัจจัยในการเคลื่อนย้ายของสารที่เพิ่มขึ้นได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรดของตัวแทนอาหารจำลอง และเวลาที่ตัวแทนอาหารจำลองสัมผัสกับแก้วเก็บความเย็น โดยแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสที่สัมผัสกับตัวแทนอาหารที่มีความเป็นกรดจะเกิดขึ้นมากกว่า ตัวแทนอาหารที่มีความเป็นกลาง ที่อุณหภูมิ 40 °C มีปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารโดยรวมและการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักมากกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C ขณะที่แก้วเก็บความเย็นที่สัมผัสกับตัวแทนอาหารด้วยระยะเวลาที่นานจะมีปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะทั้งหมดมากกว่า เมื่อทำการแยกวิเคราะห์ พบว่ามีปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็กเกิดขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ นิกเกิล และตะกั่ว ตามลำดับ

เมื่อนำปริมาณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเหล็ก และนิกเกิลมาทำการประเมินความเสี่ยง การได้รับสัมผัส โดยใช้ข้อมูลการบริโภคของประชากรไทย ในปี 2559 ที่กลุ่มอายุ 18-34.9 ปี เปรียบเทียบกับปริมาณการได้รับสัมผัสโลหะในอาหารที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย ซึ่งกำหนดโดย EFSA และ JECFA พบว่ายังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยและไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเลือกใช้แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสที่มีการรับรองว่าทำมาจากสแตนเลสชั้นต่ำเกรด 304 หรือการสังเกตเบื้องต้นที่ด้านล่างภาชนะจะมีการแสดงตัวอักษร SUS 304

5.2.2 การล้างทำความสะอาดแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสควรใช้ฟองน้ำล้างทำความสะอาด เพื่อป้องกันการเกิดรอยบนสแตนเลสและคว่ำให้แห้งก่อนนำไปใช้งาน

5.2.3 การใช้งานแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสนั้นเมื่อบรรจุเครื่องดื่มแล้วควรใช้ในระยะเวลาที่เหมาะสมแล้วล้างทำความสะอาด เนื่องจากระยะเวลาที่เครื่องดื่มที่สัมผัสกับแก้วเก็บความเย็นเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารจากแก้วเก็บความเย็นสแตนเลสสู่อาหารเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้หากใช้บรรจุเครื่องดื่มประเภท กาแฟ หรือเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลานาน จะทำให้จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น เมื่อนำมาบริโภคอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้

5.2.4 ไม่ควรนำแก้วเก็บความเย็น ไปบรรจุเครื่องดื่มร้อน เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารจากภาชนะไปสู่เครื่องดื่มเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 ดุงโลกกรวด, ศิราณี ศรีใส. 2554. “สภาวะการชะของสารตะกั่วในน้ำ กว๊วยเดี่ยวจากหม้อก๊วยเดี่ยวที่บดกรีด้วยตะกั่ว”. วารสารอนามัยและสิ่งแวดล้อม. 14(1) หน้า 3-12.
- ชญัญชิตา สายขุมดี. 2560. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www2.diw.go.th/researchAAS.pdf>. 16 กุมภาพันธ์ 2560.
- มารีสา คุณธนาวงศ์. 2562. เหล็กกล้าไร้สนิม. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.mtec.or.th/post-knowledges/2784>. 12 ธันวาคม 2562.
- วันชัย ติลากรวิวงศ์. 2560. งานเชื่อมโลหะ. เอกสารประกอบการสอนวิชางานเชื่อม. มหาวิทยาลัยศิลปากร
- สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. 2559. ความรู้บรรจุภัณฑ์สำหรับกาแฟผง กาแฟสดและชา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.ismed.or.th>. 31 มีนาคม 2559.
- สำนักมาตรฐานการค้า. 2559. เดือนผู้ผลิตไทยรับมือกฎระเบียบวางด้วยวัสดุสัมผัสอาหารฉบับใหม่ของ EU. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.dta.go.th>. 16 กุมภาพันธ์ 2559.
- ศุภมาส ค่านวิทยากุล และ อารี ชาญบุญสมบัติ. 2556. "คุณรู้จัก "เฮกซะวาเลนต์โครเมียม" สารอันตรายใกล้ตัวแล้วหรือยัง" เทคโนโลยีวัสดุ. 68. หน้า12-18.
- สมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหารแห่งประเทศไทย FOSTAT. 2011. **เรียนรู้เรื่องกฎระเบียบของภาชนะ บรรจุอาหาร เพื่อสู่เวทีการค้าโลก.** [Online]. Available from Internet : <http://www.fostat.org/picture-ile/Updated.pdf>. 19 January 2019
- เอกรัตน์ ไวยนิษฐ์. 2562. เทคนิคการเชื่อมหม้อก๊วยเดี่ยวปลอดตะกั่ว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.mhesi.go.th/main/th/107-knowledge/technology-integration/metal-and-materials-technology>. 15 ธันวาคม 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อรรวรรณ. 2547. “การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก: การวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียมในวัสดุ  
ใกล้ตัว”. วารสาร MTEC. หน้า 34-38
- อภิชาติ ชยานุกัทรกุล. 2553. “พื้นผิวสแตนเลส”. วารสารเพื่อนสแตนเลส. 5(48). หน้า 16-22.
- อิสรา เพ็ชรขิม. 2557. **กรด-ด่าง ในชีวิตประจำวัน**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http:// www.dss.go.th/images/st-article/bsp-3-2557-acid.pdf](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” 20<sup>th</sup> 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 : <http://wcm.bureauveritas.com/wps/wcm/connect>. 16 February  
2019
- Chemical Inspection and Regulation Service | CIRCS. 2019. **Food contact materials (FCM)**.  
[Online]. Available from Internet : <http://www.cirsc-reach.com/FCM/index.html>. 14  
January 2019.
- Driscoll, R.H., and Rahman, M.S. 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<sup>th</sup> ed., VanNostrand Reinhold. Co.,  
London. 957
- Lee, D.S., Yam, K.L., 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 I  
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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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](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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แผนผังการประเมินความปลอดภัยของแก้วเก็บความเย็นที่สัมผัสกับอาหาร



ภาพ ก1. แผนผังการทดลอง

## ภาคผนวก ข

### ภาพแก้วเก็บความเย็นสแตนเลส

ภาพที่ ข. 1 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 1



ภาพที่ ข. 2 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 2

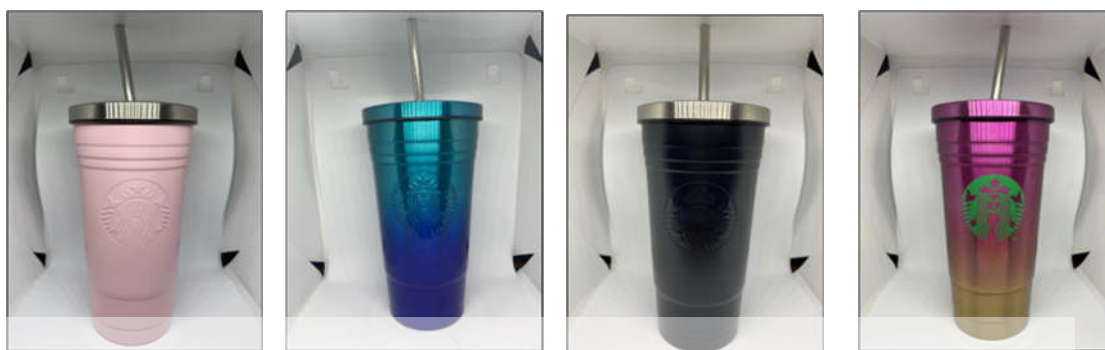


ภาพที่ ข. 3 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ข. 4 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 4



ภาพที่ ข. 5 แก้วเก็บความเย็นสแตนเลสกลุ่มที่ 5

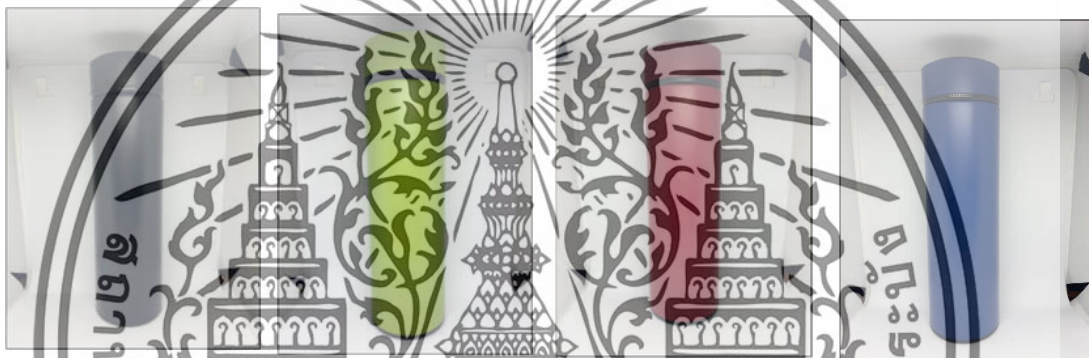


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

## Data Specific Migration

ตารางที่ ค.1 Data Specific Migration โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 Data Specific Migration โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้ น้ำกลั่น เป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 Data Specific Migration โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตัวอย่าง ที่	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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) Data Specific Migration โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 Data Specific Migration โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิ 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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	0.04575	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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 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
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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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	0.00114	< 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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	0.04475	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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 ศูนย์ทดสอบและมาตรฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้