



การศึกษาการไมเกรทของสารประกอบกลุ่มโลหะในภาชนะสแตนเลส
สำหรับใส่อาหาร

The Study of Metal Migration from Stainless Steel Food
Container

ดร.สวรักษ์
รศ.ดร.ปิยะพร

จันทรเทพธิมากุล
คามภีรภาพพันธ์

โครงการทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบรายได้ปี 2564

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

การศึกษาการไมเกรทของสารประกอบกลุ่มโลหะในภาชนะสแตนเลส
สำหรับใส่อาหาร

The Study of Metal Migration from Stainless Steel Food
Container

ดร.สวรักษ์
รศ.ดร.ปิยะพร

จันทร์เทพธิดากุล
คามภีรภาพพันธ์

โครงการทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบรายได้ปี 2564

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

กิตติกรรมประกาศนี้จัดทำขึ้นเพื่อแสดงความขอบคุณแก่สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ใช้งบประมาณเงินรายได้ ปี 2564 ในการสนับสนุนการทำวิจัยเรื่อง การศึกษาการไมเกรทของสารประกอบกลุ่มโลหะในภาชนะสแตนเลสสำหรับใส่อาหาร

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ และโรงพยาบาลรามาธิบดี โรงพยาบาลตากสิน โรงพยาบาลราชบุรณะ โรงพยาบาลสุขสวัสดิ์ ในการใช้สถานที่ ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ อุปกรณ์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้

คณะผู้วิจัย

2564



ชื่อโครงการวิจัย	การศึกษาการไมเกรทของสารประกอบกลุ่มโลหะในภาชนะ สแตนเลสสำหรับใส่อาหาร
คณะผู้วิจัย	ดร.สวรักษ์ จันทรเทพธิมากุล รศ.ดร.ปิยะพร คามภิรภาพพันธ์
ทุนวิจัย	2564
ทุนวิจัย	2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการไมเกรทของภาชนะสแตนเลสที่ใช้สัมผัสอาหารสำหรับผู้ป่วยในโรงพยาบาล รวมถึงประเมินถึงความเสี่ยงของการได้รับปริมาณโลหะจากภาชนะประเภทนี้ โดยได้ทำการศึกษาภาชนะสแตนเลสสำหรับใส่อาหารจากโรงพยาบาลในกรุงเทพมหานคร จำนวน 4 โรงพยาบาล ได้แก่ โรงพยาบาลรามาริบัติ โรงพยาบาลตากสิน โรงพยาบาลราชบุรณะ และโรงพยาบาลสุขสวัสดิ์ รวมถึงภาชนะที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน พบการไมเกรทของสารจากภาชนะสแตนเลสสำหรับใส่อาหารจากโรงพยาบาลโดยวิธีโดยรวมที่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 และ 70 °C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0532 ± 0.0196 และ 0.0949 ± 0.0131 mg/cm² ตามลำดับ ส่วนการไมเกรทโดยวิธีเฉพาะเจาะจงของสารประกอบกลุ่มโลหะ ได้แก่ เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) และ โครเมียม (Cr) ด้วยเทคนิค Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry พบว่าการไมเกรทของธาตุเหล็ก นิกเกิล และโครเมียมจากภาชนะสแตนเลสสำหรับใส่อาหารจากโรงพยาบาลที่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าเฉลี่ย 4.2704 ± 0.3662 , 2.0649 ± 3.0914 และ 0.0065 ± 0.0153 mg/cm² ตามลำดับและที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.9714 ± 0.6777 , 1.8815 ± 1.9336 และ 0.0038 ± 0.0018 mg/cm² ตามลำดับ ขณะที่ภาชนะสแตนเลสที่ยังไม่ผ่านการใช้งานนั้นมีปริมาณการไมเกรทของธาตุทั้งหมดในปริมาณที่น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการประเมินค่าการได้รับโลหะในอาหารเทียบกับค่าความปลอดภัยพบว่าไม่เกินเกณฑ์ปริมาณที่แนะนำโดย European Food Safety Authority (EFSA) และ The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)

Project	The Study of Metal Migration from Stainless Steel Food Container
Author	Dr. Savarak Chantaratheptimakul Assoc. Prof. Dr.Piyaporn Kampeerapappun
Fund	RMUTK Budget 2021

Abstract

This research is for study metal migration from stainless steel container which is used for the patient food in the hospital. This evaluation included the risk of steel quantity from stainless steel container by study these stainless-steel containers from 4 hospitals in Bangkok such as Ramathibodi Hospital, Taksin Hospital, Rajburana Hospital and Suksawat Hospital. This already including stainless steel container which is unused before also. We found overall the result of migration stainless steel container by experimentation at 25 and 70 Degree with average 0.0532 ± 0.0196 and 0.0949 ± 0.0131 mg/cm². For migration by specific the material element made from steel such as Steel (Fe) Nickel (Ni) and chromium (Cr) with method Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry. We found the result of experimentation the migration of element from steel, nickel, and Chromium at 25-degree condition it has average 4.2704 ± 0.3662 , 2.0649 ± 3.0914 and 0.0065 ± 0.0153 µg/cm². And at 70 degree it has average 3.9714 ± 0.6777 , 1.8815 ± 1.9336 and 0.0038 ± 0.0018 µg/cm² but for unused stainless-steel container, The quantity of element the migration in total was less than significant ($p < 0.05$). However, the result of this research, based on the standard of European Food Safety Authority, (EFSA) and the joint FAO/WHO expert Committee on Food Additives, (JECFA) the quantity of steel element in Food is safety enough.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 วัสดุสัมผัสอาหาร	6
2.2 สแตนเลส	8
2.3 การไมเกรท (Migration)	14
2.4 การทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์วัสดุสัมผัสอาหาร	16
2.5 ชนิดและพิษของโลหะหนัก	18
2.6 ข้อกำหนดของกฎระเบียบที่สำคัญเกี่ยวกับวัสดุสัมผัสอาหาร	22
2.7 วิธีการทดสอบความปลอดภัยวัสดุสัมผัสอาหาร	26
2.8 เทคนิค graphite-furnace atomic absorption spectrometry (GF-AAS) ที่ใช้ในการวิเคราะห์	29
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	39
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี	39
3.2 วิธีการดำเนินงาน	41

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	51
4.1 ผลการศึกษาลักษณะการใช้งานภาชนะสแตนเลสในโรงพยาบาลต่าง ๆ	51
4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาณของอาหารตัวอย่าง	53
4.3 ผลการศึกษาการไมเกรทโดยรวมในตัวแทนอาหาร (Overall Migration, OM)	53
4.4 ผลการศึกษาการไมเกรทของเหล็ก นิกเกิล และโครเมียมแบบเฉพาะเจาะจง โดยใช้เครื่อง graphite-furnace atomic absorption spectrometer (GF- AAS)	56
4.5 ผลการประเมินความเสี่ยงปริมาณการไมเกรทของเหล็ก นิกเกิล และโครเมียม	66
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	68
5.1 สรุปผล	68
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก การศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของการใช้งานภาชนะสแตนเลสโดยใช้ แบบสอบถาม	74
ภาคผนวก ข การหาพื้นที่ผิวสัมผัสของภาชนะสแตนเลสโดยใช้โปรแกรม Image J	77
ภาคผนวก ค การใช้งานโปรแกรม Graphite furnace Technique for PinAAcle 900H/900T	85

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	4
2.1 แสดงข้อมูลองค์ประกอบเกี่ยวกับสแตนเลสเกรดอื่น ๆ ที่ใช้ในการสัมผัสกับอาหาร	12
2.2 การทดสอบวัสดุสัมผัสอาหาร	17
2.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณโลหะกับปริมาณที่ร่างกายรับได้ต่อสัปดาห์ โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย	24
2.4 แสดงข้อจำกัดการปลดปล่อยแบบเฉพาะเจาะจง (SRL) โดยสภายุโรป	25
2.5 ชนิดของ food simulants ที่ใช้ในการทดสอบ Migration ในสหภาพยุโรป	27
2.6 สภาวะทดสอบมาตรฐานสำหรับการทดสอบการไม่เกรททั้งหมด	28
3.1 สภาวะและข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบธาตุเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล ด้วยเครื่อง GF-AAS	49
3.2 ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ธาตุเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล	50
4.1 แสดงข้อมูลทั่วไปของการใช้งานภาชนะสแตนเลสในโรงพยาบาล	52
4.2 พื้นที่ผิวและขนาดบรรจุของตัวอย่างภาชนะสแตนเลส	53
4.3 ปริมาณของโลหะทั้งหมดที่มีการไม่เกรทหลงสู่ตัวแทนอาหาร	54
4.4 ผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้น จากค่าการดูดกลืนแสงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก	57
4.5 ผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้น จากค่าการดูดกลืนแสงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายมาตรฐานโครเมียม	57
4.6 ผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้น จากค่าการดูดกลืนแสงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายมาตรฐานนิกเกิล	58
4.7 ปริมาณการไม่เกรทของธาตุเหล็กที่อุณหภูมิ 25 และ 70 °C	61
4.8 ปริมาณการไม่เกรทของธาตุนิกเกิลที่อุณหภูมิ 25 และ 70 °C	62
4.9 ปริมาณการไม่เกรทของธาตุโครเมียมที่อุณหภูมิ 25 และ 70 °C	63
4.10 การประเมินความเสี่ยงปริมาณการไม่เกรทของเหล็ก นิกเกิล และโครเมียมจากภาชนะสแตนเลสที่ผ่านใช้งานจากโรงพยาบาล	67

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.11 การประเมินความเสี่ยงปริมาณการไมเกรทของเหล็ก นิกเกิล และโครเมียมจาก ภาชนะสแตนเลสที่ยังไม่ผ่านใช้งาน	67



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเกิดโครเมียมออกไซด์	8
2.2 ท่อสแตนเลส	9
2.3 ซ้อม ส้อม สแตนเลส	10
2.4 ไบมีดสแตนเลส	10
2.5 ท่อน้ำทะเล	11
2.6 แสดงการแพร่บริเวณส่วนต่อประสานระหว่างบรรจุภัณฑ์-สารละลายอาหาร	15
2.7 แผนภาพระดับพลังงาน เมื่อมีการรับและปล่อยพลังงาน	29
2.8 หลอด electrode less discharge lamps (EDLs)	31
2.9 กระบวนการ atomization ของเทคนิค Graphite furnace	33
2.10 หลอดแกรไฟต์แบบ platform graphite	34
2.11 โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator)	35
3.1 ก) การล้างภาชนะด้วย Detergen ข) การทำความสะอาดภาชนะด้วยเครื่องอัลตราโซนิค	41
3.2 ก) การทดสอบละลาย 4% acetic acid ใส่ภาชนะชามสแตนเลส	42
3.3 ก) การทดสอบละลาย 4% acetic acid ใส่ภาชนะชนิดถาด	43
3.4 ก) การเทตัวอย่างลงในชามระเหย ข) การระเหยสารละลายตัวอย่างบนอ่างต้มน้ำร้อน ค) สารละลายตัวอย่างระเหยหมด	44
3.5 สารละลายมาตรฐาน GF-AAS Mixed	45
3.6 การใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างใส่ลงใน vessel	46
3.7 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการย่อยตัวอย่าง	46
3.8 ก) การเปิดเครื่อง หลังจากการทำงานของเครื่องเสร็จสิ้น สมบูรณ์ ข) การนำ Rotor MAXI-44 ออกจากเครื่อง	46
3.9 ก) การนำตัวอย่างจาก Vessel เทใส่ Conical tube ข) การปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI Type I เป็น 50 ml	47
3.10 ก) Cup ข) เครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer (GF-AAS)	50

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.1 แสดงปริมาณของโลหะทั้งหมดที่มีการไมเกรทลงสู่ตัวแทนอาหารจากขามสแตนเลส	55
4.2 แสดงปริมาณของโลหะทั้งหมดที่มีการไมเกรทลงสู่ตัวแทนอาหารจากถาดสแตนเลส	55
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเหล็ก	58
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานโครเมียม	59
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานนิกเกิล	59
4.6 แสดงปริมาณของเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่มีการไมเกรทลงสู่ ตัวแทนอาหารจากขามสแตนเลส	64
4.7 แสดงปริมาณของเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล ที่อุณหภูมิ 70 °C ที่มีการไมเกรทลงสู่ ตัวแทนอาหารจากขามสแตนเลส	64
4.8 แสดงปริมาณของเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่มีการไมเกรทลงสู่ ตัวแทนอาหารจากถาดสแตนเลส	65
4.9 แสดงปริมาณของเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล ที่อุณหภูมิ 70 °C ที่มีการไมเกรทลงสู่ ตัวแทนอาหารจากถาดสแตนเลส	65

สารบัญภาพ

ภาพผนวกที่	หน้า
ข1 ตัวอย่างการตัดกระดาษเพื่อหาพื้นที่ผิวสัมผัสภาชนะสแตนเลส ก) ขามสแตนเลส ขนาด 14 และ 16 cm ข) ถาดหลุม สแตนเลสทรงกลม ค) ถาดหลุม สแตนเลสทรง สี่เหลี่ยม	78
ข2 การเปิดไฟล์งาน	79
ข3 การสอบเทียบ Scale	79
ข4 การลากเส้นตรงขนาดแน่นอน	80
ข5 การเลือกเมนู Analyze	80
ข6 การระบุความยาวที่ทราบ	81
ข7 การเลือกเครื่องมือเพื่อวิเคราะห์ภาพ	81
ข8 เลือกเครื่องมือไม้เท้า	82
ข9 เลือกภาพที่จะวิเคราะห์	82
ข10 การเลือกค่าที่ต้องการวิเคราะห์	83
ข11 การเลือกผลการวิเคราะห์	83
ข12 การเลือก Save ผลวิเคราะห์	84
ค1 หน้าต่างการใช้งานหลัก	86
ค2 การตั้งค่าส่วนต่าง ๆ	87
ค3 การตั้งเวลาในการอ่านค่า Peak	88
ค4 การตั้งค่า Furnace Program	88
ค5 การตั้งค่า Sampler-Autosampler	89
ค6 การเลือกใช้สมการ	90
ค7 การตั้งค่า Standard Concentration	91
ค8 การบันทึกโปรแกรม	91
ค9 การสร้าง Sample Information File	92
ค10 ระบุตำแหน่งบน Autosampler	92
ค11 การบันทึก Sample Information File	93
ค12 การระบุชื่อเพื่อวิเคราะห์	93
ค13 การระบุชื่อที่ต้องการบันทึก	94

สารบัญภาพ

ภาพผนวกที่	หน้า
ค14 ขั้นตอนการเตรียมพร้อมวิเคราะห์และบันทึก	95
ค15 การ Setup Lamp	96
ค16 การเลือกตำแหน่ง Tip	97
ค17 ปรับตำแหน่งและความลึกของ pipet tip	98
ค18 การปรับ x-y knop และ depth knob	99
ค19 เลือก finish เมื่อเสร็จสิ้น	100
ค20 การตรวจสอบการปรับ pipet tip	100
ค21 การปรับความลึกของ pipet tip ให้ได้ตามต้องการ	101
ค22 การบำรุงรักษา pipet tip	101
ค23 เลือก finish เมื่อเสร็จสิ้น	102
ค24 การตรวจสอบ sensitivity	103
ค25 การคำนวณ Characteristic Mass	104
ค26 การวิเคราะห์ข้อมูล	105
ค27 การ clean furnace หลังการวิเคราะห์	106

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ภาชนะที่ทำจากสแตนเลสเป็นภาชนะอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กัน เนื่องจากมีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นสนิม ทนความร้อน ความเย็น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดี เกรดสแตนเลสสำหรับการใช้งานด้านอาหารที่นิยมใช้มากที่สุด คือ AISI304 และ AISI316 ซึ่งสแตนเลสนั้นมีส่วนผสมของโลหะหลายชนิด เช่น นิกเกิล โครเมียม เหล็ก และโมลิบดีนัม จากการวิจัยพบว่าภาชนะเครื่องครัวที่ทำจากสแตนเลส อาจให้ประโยชน์ต่อร่างกายเพราะสแตนเลสมีส่วนผสมของโครเมียมและธาตุเหล็ก ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย เมื่อนำมาใช้หุงต้มก็จะมีธาตุเหล่านั้นออกมาปะปนในอาหารเพียงเล็กน้อยที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย แต่ขณะเดียวกันสารนิกเกิลอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการของผิวหนังได้ในผู้ที่แพ้ นิกเกิล อย่างไรก็ตาม นิกเกิลจะละลายออกมาในอาหารที่เครื่องปรุงมีฤทธิ์เป็นกรด เช่น การใช้น้ำส้มสายชูหรือซอสมะเขือเทศ เป็นต้น จากคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ถูกกล่าวมา สแตนเลสจึงกลายเป็นวัสดุที่ได้รับการถูกเลือกมาใช้ประโยชน์ในโรงพยาบาล เช่น อุปกรณ์เครื่องมือแพทย์หรือภาชนะเสิร์ฟอาหารให้แก่ผู้ป่วย

สแตนเลส เป็นโลหะผสมระหว่างเหล็ก (Fe) และคาร์บอน (C) มีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า 2% มีโครเมียม (Cr) เป็นส่วนผสมหลักประมาณ 16-20% และนิกเกิล (Ni) ประมาณ 8-14% และอาจมีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น แมงกานีส (Mn) คาร์บอน (C) และกำมะถัน (S) ซึ่งการที่สแตนเลสไม่เป็นสนิมเพราะการทำปฏิกิริยากันระหว่างออกซิเจนในอากาศกับโครเมียมในเนื้อเหล็กเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ ของโครเมียมเคลือบผิวไว้ แต่สารประกอบคลอไรด์ที่พบในอาหาร จะทำปฏิกิริยากับชั้นฟิล์มของสแตนเลสจนเกิดการกัดกร่อนและเกิดการเคลื่อนย้าย (Migration) ของอนุภาคหรือโมเลกุลจากภาชนะบรรจุอาหารไปสู่อาหาร ทำให้สารเคมีในอาหารมากกว่ามาตรฐานกำหนด เช่น นิกเกิลและเฮกซะโครเมียม ซึ่งถ้าได้รับเป็นปริมาณมากจะทำให้เยื่อทางเดินอาหารอักเสบหรือเลือดออกได้ ส่วนโลหะหนักที่ซึมเข้าสู่กระแสโลหิต จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางระบบประสาทจนอาจเสียชีวิตได้ (อรนุช, 2560)

เหล็ก (Fe) มีการปนเปื้อนในอาหารอาจมาจากอุปกรณ์แปรรูปอาหารภาชนะและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้สำหรับอาหาร การเคลื่อนย้ายของเหล็กไปยังอาหารจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่าการปล่อยธาตุเหล็กในปริมาณที่สูงมากจากวัสดุที่สัมผัสกับอาหารเช่นเครื่องครัวที่มีส่วนผสมของเหล็ก (Codex, 1995)

โครเมียม (Cr) เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ที่จำเป็นสำหรับการเผาผลาญน้ำตาลและไขมัน การบริโภคโครเมียมที่มีอยู่ในอาหารที่ปลอดภัยควรได้รับ 50-200 μg โครเมียมพบได้ในสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ในรูปแบบของโครมาเลนและไม่มีร่องรอยของความเป็นพิษในอาหารที่ระดับ 1 mg/day (Anderson, 1997) และองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดค่าสูงสุด 0.05 mg/l ในน้ำดื่ม (WHO, 2008) การเคลื่อนย้ายของ Cr จากสแตนเลสเข้าไปในอาหาร กฎหมายของอิตาลีได้กำหนดขีดจำกัดสูงสุดไว้ที่ 0.1 mg/l

นิกเกิล (Ni) ส่วนใหญ่จะใช้ในการผลิตสแตนเลส ผลกระทบที่เป็นไปได้ของนิกเกิลมักเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการแพ้ที่เกิดจากการดูดซับของนิกเกิล (Ni) ผ่านผิวหนัง (Cunat, 1997) อย่างไรก็ตามผู้ป่วยบางรายที่มีอาการผิวหนังอักเสบอาจได้รับการจากการบริโภคที่ปนเปื้อนนิกเกิลเพียงเล็กน้อย (Jellesen *et al.*, 2006) ยิ่งไปกว่านั้นสารประกอบของนิกเกิล (Ni) เมื่อมีการสูดดมอาจเป็นสารก่อมะเร็งแม้จะมีหลักฐานว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสทางปาก แต่อาหารเป็นแหล่งสำคัญของการได้รับสารนิกเกิล (Ni) ในการบริโภคประจำวันคาดว่าจะได้รับน้อยกว่า 0.2 mg/day และการเคลื่อนย้ายลงสู่อาหารควรไม่เกิน 0.1 mg/l เป็นข้อจำกัดโดยข้อกำหนดของอิตาลี

จากอันตรายขององค์ประกอบในสแตนเลสส่งผลให้ประเทศต่าง ๆ มีการออกกฎระเบียบเกี่ยวกับความปลอดภัยของวัสดุสัมผัสอาหาร เพื่อเป็นการคุ้มครองผู้บริโภค โดยเฉพาะประเทศที่พัฒนาแล้วได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น ที่ให้ความสำคัญกับสารปนเปื้อนและสารตกค้างในอาหารอันเนื่องมาจากวัสดุสัมผัสอาหาร

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการไมเกรทของสารประกอบกลุ่มโลหะได้แก่ เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) จากภาชนะสแตนเลสในโรงพยาบาลไปสู่อาหาร และประเมินความเสี่ยงของการได้รับโลหะหนักจากภาชนะสแตนเลส

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการไมเกรทของสารประกอบโดยรวมของโลหะได้แก่ เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) และ โครเมียม (Cr) จากภาชนะสแตนเลสในโรงพยาบาลไปสู่อาหารโดยวิธีโดยรวมและเฉพาะเจาะจง

1.2.2 เพื่อประเมินความเสี่ยงการได้รับสารประกอบโลหะจากภาชนะสแตนเลส

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาภาชนะสแตนเลสสำหรับใส่อาหารจากโรงพยาบาลในกรุงเทพมหานคร ได้แก่ โรงพยาบาลรามาธิบดี โรงพยาบาลตากสิน โรงพยาบาลราชบุรณะ และโรงพยาบาลสุขสวัสดิ์ รวมถึงภาชนะที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 °C และ 70 °C

ที่มีผลต่อการไม่เกรทของสารประกอบโลหะด้วยเทคนิค Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry และประเมินความเสี่ยงการได้รับสารประกอบกลุ่มโลหะหนัก โดยประเมินค่าการได้รับโลหะในอาหารเทียบกับค่าความปลอดภัยโดย European Food Safety Authority (EFSA) และ The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)



1.4 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

กิจกรรม	ระยะเวลาในการดำเนินงาน																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ																		
2. ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง																		
3. เสนอหัวข้อโครงการ																		
4. วางแผนการทดลอง																		
5 ขั้นตอนการทดลอง																		
6. การวิเคราะห์และสรุปผล																		
7. จัดทำรายงาน																		

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้องค์ความรู้ในการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนักในภาชนะสแตนเลสสำหรับใส่อาหารชนิดความเป็นกรดสูง (pH 4.6)

1.5.2 ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการเปลี่ยนภาชนะเบื้องต้นสำหรับโรงพยาบาล



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุสัมผัสอาหาร

วัสดุสัมผัสอาหาร (Food Contact Materials FCM) คือ วัตถุและผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตหรือสัมผัสกับอาหาร ตั้งแต่อุปกรณ์บนโต๊ะอาหาร งาน กระบวนการผลิตตลอดจนบรรจุภัณฑ์โดยจะครอบคลุมวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ พลาสติก กระดาษ ยาง ซิลิโคน จุกคอรัค หมึกพิมพ์ โลหะและโลหะผสม สารเคลือบผิว สารเคลือบเงา ฯลฯ วัสดุเหล่านี้มักใช้รวมกันกลายเป็นหนึ่งผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น กล่องบรรจุผลไม้ จะประกอบด้วยพลาสติก กระดาษ อลูมิเนียม กาว สารเคลือบและหมึกพิมพ์ เนื่องจากวัตถุดิบดังกล่าวจะต้องสัมผัสกับอาหาร จึงเป็นแหล่งที่อาจมีการเคลื่อนย้ายของสารเข้าไปในอาหารได้

ชนิดของวัสดุสัมผัสอาหาร ตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 หมายถึง วัตถุที่ใช้บรรจุอาหารไม่ว่าด้วย การใส่หรือห่อ หรือด้วยวิธีใด ๆ และให้หมายความรวมถึงฝาและจุกด้วย (กระทรวงสาธารณสุข, 2554) ตัวอย่างภาชนะบรรจุอาหารที่นิยมนำมาใช้ในการบรรจุหรือเป็นส่วนประกอบในการทำภาชนะบรรจุอาหาร มีดังต่อไปนี้

2.1.1 พลาสติก (Plastics) พลาสติกเป็นกลุ่มของวัสดุบรรจุอาหารที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วที่สุด ได้รับการพัฒนาอย่างจริงจังขึ้นในกลางปี 1950 ข้อดีของพลาสติกคือ เป็นวัสดุที่มีราคาไม่แพง ทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย น้ำหนักเบา ไม่สามารถกัดกร่อนได้ สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน โปร่งแสง บางชนิดสามารถทนต่อความร้อนหรือ นำไปรีไซเคิลได้ ทนต่อความชื้นและสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้ดี (สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2554) ข้อเสียคือ ดูดซึмก๊าซ ไอ น้ำและกลิ่นได้ สามารถเคลื่อนย้ายสารเคมีไปยังอาหารได้ องค์ประกอบของพลาสติกสามารถดูดซึмเข้าอาหารไปในได้ ทนต่อแรงบีบอัดต่ำ บางชนิดทนต่อความร้อนได้น้อยและบางชนิดไม่สามารถรีไซเคิลได้ สำหรับความหนาแน่นของพลาสติกนั้น น้อยกว่าแก้วและอลูมิเนียม จึงไม่สามารถแตกเป็นชิ้นได้เหมือนกับแก้ว ขณะเดียวกันนั้นก็ไม่สามารถทำให้โค้งงอได้เช่นเดียวกับโลหะ

2.1.2 โลหะ (เหล็ก ดีบุกและอลูมิเนียม) เหล็กแผ่นเคลือบดีบุก (Tin-plated iron) มีการนำมาใช้ตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 1 ในการนำมถนอมอาหารที่ผ่านกระบวนการความร้อน เหล็ก ดีบุก และอลูมิเนียม นิยมนำมาใช้สำหรับบรรจุอาหารและเครื่องดื่มที่อยู่ในรูปของกระป๋อง โดยทั่วไปนิยมนำโลหะมาเคลือบดีบุกและอลูมิเนียม ข้อดีของวัสดุโลหะคือ เหล็ก และอลูมิเนียมจะไม่ดูดซึмก๊าซ ไอ

น้ำและกลีน สามารถทนต่อความร้อนและสภาวะที่กดดันทางกายภาพและ ความร้อนสูงได้ เนื่องจาก โลหะมีความแข็งแรง จึงถูกนำมาใช้ในกระบวนการที่ใช้ความร้อนสำหรับอาหาร โดยจะไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารที่บรรจุ ข้อดีอื่น ๆ ของภาชนะที่ทำจากโลหะคือ สามารถป้องกันแสงไม่ให้กระทบกับอาหารได้ ข้อเสียคือ ความต้องการพลังงานสูงในระหว่างการผลิต มีขั้นตอนในการผลิตหลายขั้นตอน มีน้ำหนักมาก (โดยเฉพาะเหล็ก) และทำให้อาหารบางชนิดขาดแสงสว่าง ข้อเสียอื่น ๆ จากกระป๋องและเหล็กคือ มีความหนาแน่นมาก ราคาสูง มีแนวโน้มในการทำปฏิกิริยาต่อกันระหว่างสารและสิ่งแวดล้อม (การกัดกร่อนทั้งภายในและภายนอก) ดังนั้นการเคลือบดีบุกหรือเคลือบเงามีความสำคัญ ในส่วนของอุตสาหกรรม อาหารกระป๋องมีสารเคลือบเงาคือ เรซิน เช่น acrylic (ต่อต้านที่อุณหภูมิสูง) Oleoresinous, Alkyd resin, Epoxy (เรซินสังเคราะห์และมีความเหนียวมาก จะแข็งตัวหลังผ่านความร้อนใช้เคลือบผิวหรือเป็นตัวเชื่อมวัตถุ) Polybutadiene หรือ Uinyl resin

2.1.3 แก้ว (Glass) เป็นวัสดุที่ทำมาจากการผสมกันของสารประกอบอนินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) ของอัลคาไล (Na_2O) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) โดยมีซิลิกาเป็นส่วนผสมหลักในผลิตภัณฑ์ แก้วยังคงมีข้อเสียในด้านของวัสดุบรรจุอาหาร ใช้สำหรับการเสิร์ฟไวน์ราคาแพง บรรจุเหล้า น้ำหอมและเครื่องสำอางค์ ข้อดีของแก้วคือ มีความเฉื่อยสูง ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำและ กลิ่นต่าง ๆ ทนต่อแรงบีบอัดและความร้อนได้ดี ตอบสนองกับรูปร่างที่มีความหลากหลายมากที่สุด มีความ โปร่งแสง นำกลับมารีไซเคิลได้ แต่ข้อเสียคือ มีน้ำหนักมาก เสี่ยงต่อการแตกหักจากสภาวะที่มีความร้อนสูง ไม่ป้องกันแสง (เนื่องจากไม่มีสี)

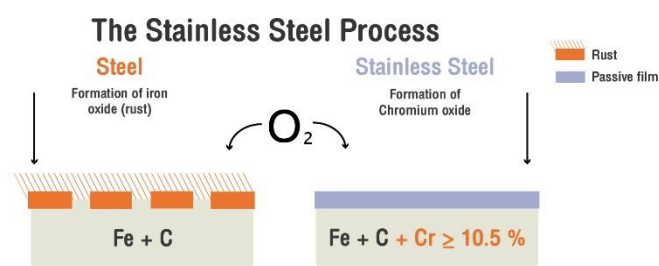
2.1.4 กระดาษ เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ค่อนข้างมากในการบรรจุอาหาร ผลิตภัณฑ์จากเนื้อไม้มีการนำไปใช้บรรจุอาหารกันอย่างกว้างขวางในรูปแบบของกระดาษชนิดต่าง ๆ เช่น กระดาษแข็ง กระดาษธรรมดา และกระดาษลูกฟูก ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน องค์ประกอบพื้นฐานของกระดาษคือ เซลลูโลสโมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสสายยาวและตรงโดยเซลลูโลสเป็นหน่วยย่อยของเส้นใย ทำหน้าที่ในการเชื่อมกระดาษให้เป็นแผ่น ข้อดีของกระดาษคือมีราคาถูก มีความหนาแน่นต่ำ ป้องกันกลไกต่าง ๆ สำหรับอาหารมากมาย นำกลับมาใช้ใหม่และนำมารีไซเคิลได้ ข้อเสียคือตอบสนองได้ดีกับความชื้นทำให้เสียหายได้ง่าย ปิดผนึกด้วยความร้อนไม่ได้ ไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้เมื่อเคลือบหรือมีหลายชั้น

วัสดุสัมผัสอาหารเป็นสิ่งจำเป็นในการบรรจุและเก็บรักษาอาหาร แต่วัสดุเหล่านี้ก็มีอันตรายที่แอบแฝงมาด้วย ดังนั้นผู้บริโภคควรตระหนักถึงอันตรายและให้ความสำคัญในการ ใช้งานให้ถูกต้อง และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของผู้ผลิต ตลอดจนถึงการดูแลรักษาเครื่องใช้และวัสดุสัมผัสอาหารที่ถูก

วิธี ก็สามารถทำให้ลดความเสี่ยงของอันตรายจากวัสดุสัมผัสอาหารลงได้ ผู้บริโภคสามารถมีความสุขกับการรับประทานได้อย่างมั่นใจในความปลอดภัยและสุขภาพที่ดีที่จะได้รับจากอาหารที่รับประทาน

2.2 สแตนเลส

สแตนเลส (Stainless Steel) เป็นชื่อเรียกของโลหะผสม โดยโลหะจะผสมระหว่างเหล็ก (Fe) และคาร์บอน (C) ซึ่งส่วนประกอบจะมีโครเมียมเป็นส่วนผสมหลักประมาณ 10.5% หรือมากกว่า และปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 1.2% มีคุณสมบัติที่เป็นจุดเด่นคือ การไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อนในสารเคมี สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ มีความสวยงามและขึ้นรูปได้ง่าย มีความปลอดภัยและถูกสุขลักษณะ สแตนเลสไม่เป็นสนิมมีสาเหตุมาจาก โครเมียมซึ่งเป็นธาตุสำคัญในสแตนเลส มีคุณสมบัติที่เรียกว่า Passivity หรือ Passive State เมื่อโครเมียมรวมกับออกซิเจนจะเกิดเป็นโครเมียมออกไซด์ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 มีลักษณะเป็นฟิล์มที่เกาะติดแน่นและมีความทึบจนเป็นเสมือนเกราะป้องกันไม่ให้ไอออนเคลื่อนที่ผ่านหรือผ่านได้น้อยลง ทำให้ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีซึ่งเป็นสาเหตุของการผุกร่อนเกิดได้ยากขึ้น การสึกกร่อนจึงหยุด การทำให้สแตนเลสเป็นสนิมคือการถูกทำลายฟิล์มโครเมียมออกไซด์ที่เคลือบผิวออกไปในสถานะที่สแตนเลส สามารถเกิดสนิมได้ก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมาอีกครั้ง เช่น ถ้าสแตนเลสถูกทำให้เกิดรอยขีดข่วน แล้วบริเวณนั้นมีความชื้นสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับธาตุเหล็กก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมา ก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมขึ้นได้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556)

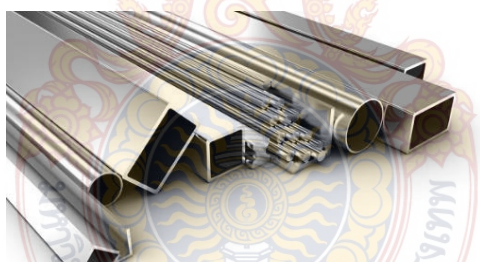


ภาพที่ 2.1 การเกิดโครเมียมออกไซด์

ที่มา: <http://www.westchem.ca/products/stainless-steel-pickling-and-passivation>

2.2.1 ประเภทของสแตนเลสโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามโครงสร้างดังนี้

2.2.1.1 Austenitic เป็นเกรดสแตนเลสที่ใช้งานแพร่หลายมากที่สุดถึง 70% มีคุณสมบัติแม่เหล็กดูดไม่ติด (nonmagnetic) มีส่วนผสมของโครเมียมตั้งแต่ 14-30% และนิกเกิลระหว่าง 8-35% และบางทีอาจมีการผสมธาตุอื่น ๆ ลงไปอีก เช่น โมลิบดีนัม (Mo) ไทเทเนียม (Ti) ไนโอเบียม (Nb) ทองแดง (Cu) ซิลิคอน (Si) และ แมงกานีส (Mn) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านอื่น ๆ เช่น การขึ้นรูปแบบดึงขึ้นรูป (Deep drawing) เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายนิยมเรียก 18/8 คือมีส่วนผสมของโครเมียม (Cr) 18% และนิกเกิล (Ni) 8% สามารถทนต่อการกัดกร่อนในบรรยากาศทั่ว ๆ ไปได้ดี ตัวอย่างเช่น ท่อสแตนเลส (ภาพที่ 2.2) แม้บรรยากาศที่อยู่ใกล้ทะเล ยกเว้นในบรรยากาศที่มีแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) หรือแก๊สบางชนิดที่เป็นพวกกัดกร่อนสูง (corrosive) ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 2.2 ท่อสแตนเลส

ที่มา: <https://www.asiaintermetal.com/17132689/สินค้าสแตนเลส>

2.2.1.2 Ferritic เป็นสแตนเลสที่มีสมบัติดูดแม่เหล็ก ส่วนผสมหลักมีโครเมียม (Cr) ปริมาณ 10.5–27% บางเกรดผสมนิกเกิล (Ni) ลงไปเล็กน้อย บางเกรดผสมโมลิบดีนัม (Vi) หรือ อลูมิเนียม (Al) ไทเทเนียม (Ti) คุณสมบัติของเฟอร์ริติก สามารถทนต่อการเป็นสนิมได้ดีในบรรยากาศทั่ว ๆ ไป ยกเว้นในน้ำทะเล และในบรรยากาศอุตสาหกรรมที่เป็นกรด โดยทั่วไปจะใช้ทำพวกอ่างล้าง (Sink) มีด ช้อน ส้อม (ภาพที่ 2.3)

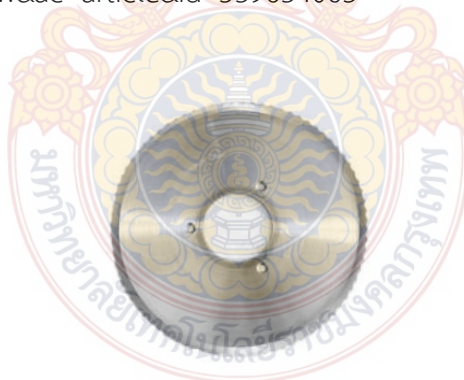
2.2.1.3 Martensitic เป็นสแตนเลสตระกูลที่มีความต้านทานการกัดกร่อนน้อยกว่า austenitic และ ferritic แต่มีความทนทานและแข็งแรงมากกว่า มีคุณสมบัติดูดแม่เหล็ก โดยทั่วไปจะมีส่วนผสมของโครเมียม (Cr) 14% โมลิบดีนัม (Vi) 0.2–1% มีนิกเกิล (Ni) 0–2% และมีคาร์บอน (C) ผสมอยู่ประมาณ 0.1–1% ซึ่งสามารถชุบแข็งได้ด้วยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว

และอบคืนตัว โดยทั่วไปจะรู้จักกันใน series 200 พบการใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัดอุตสาหกรรมเครื่องบินและงานวิศวกรรมทั่วไป (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.3 ช้อน ส้อม สแตนเลส

ที่มา: <http://www.kplushotelsupply.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539634063>



ภาพที่ 2.4 ไบมีดสแตนเลส

ที่มา: <https://www.getzhop.com/shop/diyu-ไบมีดสไลด์เนื้อ-ไบมีดส>

2.2.1.4 Duplex เป็นสแตนเลสที่มีโครงสร้างผสมระหว่าง ferrite และ austenite จึงทำให้มีความแข็งแรงมากกว่า austenitic และมีความทนทานต่อการกัดกร่อนชนิดรูเข็มและชอกอับ ส่วนผสมหลักมีโครเมียม (Cr) อยู่ระหว่าง 19–28% โมลิบดีนัม (Mo) สูงกว่า 5% และมีนิกเกิล (Ni) น้อยกว่าตระกูล austenitic นิยมใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์สูง ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซ อุปกรณ์แยกตัวออกจากทะเล ท่อน้ำทะเล (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 ท่อน้ำทะเล

ที่มา: <http://thai.ebcastings.com/sale-10504804-50mm-500mm-diameter-centrifugally-cast-tubes-precision-casting-parts-eb12202.html>

2.2.1.5 สแตนเลสเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกผลึก มีความต้านทานการกัดกร่อน เทียบเคียงกับตระกูล austenitic มีความแข็งแรงมากกว่าตระกูล martensitic เกรด 17-4H ที่รู้จักกันทั่วไป มีโครเมียม (Cr) ผสมอยู่ 17% และนิกเกิล (Ni) 4% ทองแดง (Cu) และ Niobium ผสมอยู่ด้วย เนื่องจากสแตนเลสชนิดนี้สามารถชุบแข็งได้ในคราวเดียวจึงเหมาะสำหรับทำแกน ปัม หัววาล์ว และส่วนประกอบของอากาศยาน

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลองค์ประกอบเกี่ยวกับสแตนเลสเกรดอื่น 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: Avesta Sheffield (1998)

2.2.2. มาตรฐานสแตนเลส ทัวโลกมีองค์กรและระบบมากมายที่กำหนดมาตรฐานสแตนเลสได้แก่

2.2.2.1 AISI (The American Iron and Steel Institute) เป็นมาตรฐานของสถาบันเหล็กของสหรัฐอเมริกาที่กำหนดชื่อเรียกเป็นตัวเลข 3 ตำแหน่ง เช่น 304 หรือ 316 ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กัน อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ตัวอักษรพิเศษต่อท้ายใช้กำหนดส่วนผสมตัวแปรเฉพาะที่ต้องการพิเศษ เช่น 304L, 316LN หรือ 310S

2.2.2.3 ASTM (The American Society for Testing and Materials) เป็นมาตรฐานของสมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งกำหนดมาตรฐานซึ่งเป็นที่ยอมรับใช้และเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก สมาคม ASTM จัดตั้งในสหรัฐอเมริกา สำหรับการเรียกสแตนเลสเกรดต่าง ๆ เช่น A240, A554 และ A270 เป็นต้น

หลายองค์กรมีระบบของตนเอง และระบบเหล่านี้ใช้มาตรฐานที่ไม่ค่อยเหมือนกัน ทำให้เกิดความสับสนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่น ในสแตนเลสชิ้นหนึ่งอาจจะมีเกรด SAE หนึ่ง และเลข UNS หนึ่ง แต่สแตนเลสอีกชิ้นหนึ่งซึ่งมีเกรด SAE เหมือนกัน อาจมีเลข UNS ต่างออกไปเพราะมีความต่างที่ละเอียดลงไป

2.2.3 เกรดสแตนเลสกับการใช้งาน

2.2.3.1 เกรด 201

ลักษณะการนำไปใช้งาน เช่น ทำพื้นรถเข็นต่าง ๆ ทำเฟอร์นิเจอร์ ทำแผงและอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ ถึงเก็บ ถึงแก๊ส กันชนรถทุกประเภท ท่อพักท่อไอเสีย ลายประดับรั้ว ราวประเภต่าง ๆ อุตสาหกรรมที่นำไปใช้ เช่น อุตสาหกรรมรถเข็น อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์อุตสาหกรรมเกี่ยวกับการขนส่ง อุตสาหกรรมแก๊ส อุตสาหกรรมประกอบรถบรรทุก และประกอบรถยนต์ อุตสาหกรรมทำรั้ว ราวประตู หน้าต่าง (ใช้งานภายใน) เป็นต้น

2.2.3.2 เกรด 202

ลักษณะการนำไปใช้งาน ใกล้เคียงกับเกรด 201 แต่มีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่า และอุตสาหกรรมที่นำไปใช้เหมือนเกรด 201

2.2.3.3 เกรด 304

อุตสาหกรรมที่นำไปใช้ เช่น อุตสาหกรรมผลิตเครื่องเย็น อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมผลิตถังน้ำ อุตสาหกรรมผลิต และสั่งทำเครื่องครัวอุปกรณ์ อุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ในครัวเรือน อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า

2.2.3.4 เกรด 316

ลักษณะการนำไปใช้งาน เช่น โดยทั่วไปมีการใช้งานเหมือนเกรด 304 ซึ่งมีลักษณะการใช้งานที่กว้างกว่าเกรด 304 คือ งานตกแต่งอาคาร งานสถาปัตยกรรม ผลิตภัณฑ์อาหาร และเครื่องดัดผลิตภัณฑ์เครื่องมือแพทย์ เวชภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในโรงพยาบาล อุตสาหกรรมที่นำไปใช้ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุตสาหกรรมท่อเรือ อุตสาหกรรมตกแต่งภายใน อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดัดผลิตภัณฑ์โพรเคมี เป็นต้น

2.2.3.5 เกรด 410 และ 430

ลักษณะการนำไปใช้งาน เช่น ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ตกแต่งภายในบ้าน อาคาร เครื่องใช้ เครื่องมือบนโต๊ะอาหาร มีด ช้อน อุปกรณ์ดูดฝุ่น ท่อดูดควัน ท่อดัก ใช้ทำชิ้นส่วนประกอบรถยนต์ ได้แก่ ท่อพัก ท่อไอเสีย ถังน้ำมัน อุตสาหกรรมที่นำไปใช้ เช่น อุตสาหกรรมตกแต่งภายใน อุตสาหกรรมเครื่องใช้ในครัวเรือน อุตสาหกรรมผลิตท่อต่าง ๆ อุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น

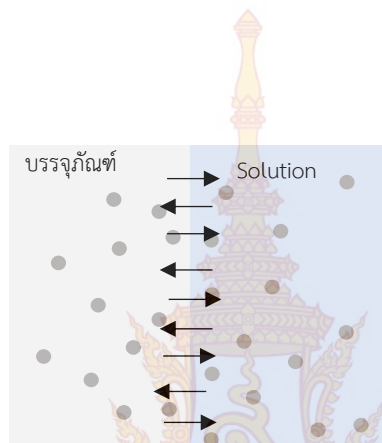
2.3 ไมเกรท (Migration)

ไมเกรท หมายถึง กระบวนการเคลื่อนย้ายของอนุภาคหรือโมเลกุล ซึ่งเป็นองค์ประกอบของบรรจุภัณฑ์ลงสู่อาหาร กระบวนการนี้ทำให้สีและกลิ่นของอาหารเปลี่ยนไปจากเดิม (off flavor) การเคลื่อนย้ายของสารเหล่านี้เพียงเล็กน้อย จะส่งผลเสียต่อผู้บริโภคอาจจะรับประทานสารเหล่านี้เข้าไปพร้อมกับอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับอาหารที่มีความเป็นกรดเมื่อสัมผัสวัสดุบรรจุอาหารประเภทโลหะโดยกระบวนการเกิดไมเกรท สามารถอธิบายได้ในเชิงของกระบวนการแพร่ (diffusion process) ที่เกิดยังบริเวณส่วนต่อประสาน (interface) ระหว่างบรรจุภัณฑ์กับอาหารบริเวณที่สัมผัส ดังแสดงในภาพที่ 2.6

2.3.1 ปัจจัยของการเกิดการไมเกรท (Migration) จะต้องอาศัยปัจจัยที่เหมาะสม ดังนี้

2.3.1.1 อาหาร อาหารที่เหมาะสมในการเกิดการไมเกรทมักเป็นอาหารที่มีไขมันสูงหรืออาหารที่มีความเป็นกรด-ด่าง เช่น อาหารจำพวก น้ำพริก ที่บรรจุอยู่ในขวดแก้วที่มีฝาปิด โดยสารที่ผสมอยู่ในฝาปิดขวดแก้วจะละลายได้ดีในอาหารประเภทไขมัน โดยชนิดของอาหารแบ่งได้ดังนี้

1) อาหารที่เป็นกรด (Acid foods) หมายถึงอาหารที่มีค่าพีเอช (pH) ตามธรรมชาติ 4.6 หรือต่ำกว่านี้



ภาพที่ 2.6 แสดงการแพร่บริเวณส่วนต่อประสานระหว่างบรรจุภัณฑ์-สารละลายอาหาร

ที่มา: ศิริพัศตร์ (2562)

2) อาหารที่ทำให้เป็นกรด (Acidified foods) หมายถึงอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำที่ถูกเติมด้วยกรด หรืออาหารที่เป็นกรดลงไป อาหารเหล่านี้ได้แก่ ถั่ว แดงกวา กระหล่ำปลี อาร์ติโชก (artichokes) ดอกกระหล่ำ พุดดิ้ง (puddings) พริกไทย ผลไม้เมืองร้อน และปลา ซึ่งอาจเป็นอาหารเพียงชนิดเดียวหรือหลาย อย่างมารวมกัน ค่า pH สมดุล สุดท้ายเท่ากับ 4.6 หรือน้อยกว่า

3) อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (Low-acid foods) หมายถึงอาหารใด ๆ ก็ตาม ยกเว้นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ที่มีค่า pH สมดุลสุดท้ายสูงกว่า 4.6

2.3.1.2 เวลา อาหารที่มีช่วงระยะเวลาานาน เช่น อาหารกระป๋องที่มีอายุการเก็บรักษาได้นาน 3 ปี ก็จะทำให้คุณภาพของกระป๋องเสื่อมเกิดการไมเกรทได้ง่าย

2.3.1.3 ภาชนะบรรจุ วัสดุที่นำมาทำภาชนะบรรจุมีสารเคมีในปริมาณมากก็เป็นสาเหตุให้เกิดการไมเกรทได้

2.3.1.4 อุณหภูมิ การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน เช่น การสเตอริไลเซชัน (Sterilization) การใช้ความร้อนอาจทำให้สารที่อยู่ในวัสดุสัมผัสอาหารสลายตัวและเมื่อสัมผัสกับอาหารจึงทำให้ปนเปื้อนเข้าไปในอาหารได้

2.4 มาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์วัสดุสัมผัสอาหาร

เป็นการประเมินความเป็นพิษและออกกฏระเบียบเพื่อคุ้มครองผู้บริโภค การทดสอบความปลอดภัยของวัสดุสัมผัสอาหารตามมาตรฐานภายในประเทศ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ได้แก่ ประกาศกระทรวงสาธารณสุขมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเพื่อแก้ไขปัญหาคุณภาพสินค้าอาหารที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน

ส่วนใหญ่จะเป็นมาตรฐานทั่วไปทั้งหมดยกเว้น มอก.2440-2552 เครื่องใช้สแตนเลสภาชนะหุงต้มที่มีรอยประสานเป็นมาตรฐานบังคับในแต่ละมาตรฐานเครื่องใช้สแตนเลส มีการกำหนดชนิดของสแตนเลสที่นำมาผลิตเป็นเครื่องใช้ เช่น มอก.808-2531 เครื่องใช้สแตนเลส ได้แก่ หม้อ กระทะ ชาม อ่าง ตะหลิว ทัพพี และ กระทะบวญ กำหนดให้ต้องทำจากสแตนเลสชั้นเกรด 304 หรือ 430 เท่านั้น ส่วน ตะหลิว ทัพพี และกระทะบวญ อาจทำจากเกรด 304 430 หรือ 410 ก็ได้ และในกรณีภาชนะที่มีฝาต้องทำจากวัสดุชนิดเดียวกับภาชนะ

ตารางที่ 2.2 การทดสอบวัสดุสัมผัสอาหาร

ชื่อ ผลิตภัณฑ์	มาตรฐานการทดสอบ	รายการทดสอบ
โลหะ อะลูมิเนียม	- BS EN 602:2004Aluminium and Aluminium alloys Wrought products Chemical composition of semi-finished products used for the fabrication of articles for use in contact with foodstuff -มอก.325: 2532	โครเมียม ซิลิคอน ทองแดง ไทเทเนียม นิกเกิล แมกนีเซียม แมงกานีส สังกะสี เหล็ก อะลูมิเนียม ธาตุอื่น ๆ (เช่น ดีบุก ตะกั่ว)
พลาสติก	สหภาพยุโรป Commission Regulation(EU)No.10/2011	การแพร่กระจายโดยรวม (overall migration, OML) - สารละลายเอทานอล 10% (simulant A) - สารละลายกรดอะซิติก 3% (simulant B) - สารละลายเอทานอล 20% (simulant C) - สารละลายเอทานอล 50% (simulant D1) - ตัวแทนอาหารแห้ง ตัวแทนอาหารแห้ง การเคลื่อนย้ายสารจำเพาะ (specific migration, SML) - Bisphenol A - สารกลุ่ม Phthalate ได้แก่ BBP DBP DEHP DINP DIDP DNOP - เมลามีน

ตารางที่ 2.2 การทดสอบวัสดุสัมผัสอาหาร(ต่อ)

ชื่อ ผลิตภัณฑ์	มาตรฐานการทดสอบ	รายการทดสอบ
สแตนเลส	- มอก.410-2525 เครื่องใช้สแตนเลส: ช้อน ส้อม และมีด - มอก.451-2526 เครื่องใช้สแตนเลส: จาน ถ้วย ชามและถาด - มอก.808-2531 เครื่องใช้สแตนเลส: หม้อ กระทะ ชามอ่าง ตะหลิว ทัพพี และ กระทะบวญ - มอก.854-2536 อ่างสแตนเลสสำหรับล้างชาม	คาร์บอน โครเมียม ทองแดง ไทเทเนียม นิกเกิล โมลิบดีนัม วาเนเดียม
แก้ว	- ISO 7086: 2000 - มอก.603-2546	ตะกั่ว แคดเมียม
ที่มา สุภัตรา (2557)		

2.5 ชนิดและพิษของโลหะหนัก

โลหะหนัก (Heavy metal) คือธาตุที่มีปริมาณน้อยในสิ่งแวดล้อม มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป โดยมีลักษณะเป็นของแข็งยกเว้นปรอทมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง จากธาตุทั้งหมดที่มีในโลก 105 ธาตุ ซึ่งมีธาตุที่เป็นโลหะหนักอยู่ 68 ธาตุ และมีเลขอะตอมอยู่ในช่วง 23-92 คาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนักคือ จุดเดือดและหลอมเหลวสูง ละลายน้ำได้น้อย เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อน มันวาว และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางเคมีของโลหะหนักคือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ถ้ามีปริมาณสูงกว่าในระดับปกติก็จะเป็นพิษ เช่น ธาตุจำพวก ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) อลูมิเนียม (Al) ตะกั่ว (Pb) เหล็ก (Fe) สารหนู (As) ดีบุก (Sn) โครเมียม (Cr) และเงิน (Ag) โลหะหนักจะถูกนำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่

2.5.1 เหล็ก

เหล็กมีการนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันมากมาย ตั้งแต่การใช้เป็นวัสดุสำหรับ

งานก่อสร้างต่าง ๆ เช่น โครงสร้างอาคาร บ้านเรือน เสา หลังคา สะพาน เสาไฟฟ้าแรงสูง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมคมนาคมขนส่งเหล็กถูกนำไปใช้เป็นวัสดุสำหรับผลิตยานพาหนะต่าง ๆ เช่น จักรยาน รถยนต์ รถบรรทุก รถไฟ เรือเดินสารและเครื่องบิน ใช้ในการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ พัดลม เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว เป็นต้น และใช้ในการผลิตอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ กระตะ เต้าแก๊ส ถังแก๊ส เตาไรต์ โต๊ะ เก้าอี้ ท่อน้ำ ช้อนส้อม มีด ชัน แจกัน ฯลฯ (กิตติพันธุ์, 2551)

ในส่วนของความเป็นพิษ เหล็กเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิดและเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง ถ้าร่างกายได้รับเหล็กในปริมาณที่สูงเกินไปจะส่งผลทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ทำให้เกิดความเป็นพิษเฉียบพลันต่อร่างกาย ทำให้เกิดอาการวิงเวียน คลื่นไส้ ท้องเดินเป็นน้ำหรือเป็นเลือด ความดันโลหิตต่ำ หดสติ แต่หากได้รับเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดความเป็นพิษเรื้อรัง ทำให้เป็นโรคตับแข็ง ในพื้นที่การทำเหมืองเหล็กจะได้รับเหล็กออกไซด์โดยการหายใจเข้าไป ทำให้มีความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งปอด (กิตติพันธุ์, 2551)

2.5.2 นิกเกิล

นิกเกิลเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติด้านการกัดกร่อนสูง มีความเหนียวและอ่อนตัวมากสามารถขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำได้ง่าย ทำให้ถูกนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมผลิตสแตนเลสและเหล็กกล้าผสม ใช้เคลือบผิวอุปกรณ์ประดับยนต์ต่าง ๆ ใช้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้ทำโลหะผสมชนิดพิเศษ (Superalloy) ซึ่งต้านทานความเค้นและทนการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง สำหรับอุตสาหกรรมอากาศยาน โดยใช้เป็นวัสดุในการผลิตอุปกรณ์รักษาระดับความดันอากาศ ชิ้นส่วนต่าง ๆ เครื่องยนต์ของเครื่องบินไอพ่น จากคุณสมบัติที่สามารถดูดแม่เหล็กของนิกเกิลจึงใช้ในอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องแปลงกำลังสำหรับพลังงานอัลตราโซนิก รวมถึงเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น เตาไฟฟ้า หม้อหุงข้าว ช้อนส้อม จาน และอุปกรณ์การทำอาหาร เป็นต้น (กิตติพันธุ์, 2551) ในรูปแบบของสารเคมีนิกเกิลใช้เป็นตัวเร่งในกระบวนการสังเคราะห์สารอินทรีย์ นอกจากนี้นิกเกิลถูกนำไปใช้ในด้านทางการแพทย์ เป็นองค์ประกอบในอวัยวะเทียมสำหรับฟันปลอมและการผ่าตัด

ในส่วนของความเป็นพิษนิกเกิลสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้จากการหายใจเข้าทางจมูก ทางผิวหนัง การบริโภคอาหารและน้ำดื่มที่ปนเปื้อนนิกเกิลหรือจากทางเดินอาหาร โดยนิกเกิลจะอยู่ในรูปของนิกเกิลซัลไฟด์ (Nickel Sulfide) และนิกเกิลออกไซด์ (Nickel Oxide) เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดความเป็นพิษเฉียบพลันคือ อาการไข้ ปวดศีรษะ หน้ามืด ไอ เจ็บหน้าอก

อาเจียน และเมื่อสัมผัสทางกายอาจก่อให้เกิดการระคายเคือง (กรมควบคุมมลพิษ) จากนั้น 12-36 ชั่วโมง อาจเกิดภาวะปอดอักเสบเฉียบพลัน อาจทำให้เสียชีวิตจากการหายใจล้มเหลว การฟื้นตัวจากภาวะปอดอักเสบจะใช้เวลาหลายสัปดาห์ ผู้ป่วยจะมีอาการอ่อนเพลียและเหนื่อยง่ายในระยะยาว การสัมผัสกับสิ่งที่ผิวหนัง อาจทำให้เกิดผิวหนังอักเสบเป็นผื่นสัมผัส (Contact Dermatitis) หรือเป็นผื่น

2.5.3 ทองแดง

ทองแดงมีนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย ซึ่งมากกว่า 50% ทองแดงถูกนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรมไฟฟ้า เช่นการทำสายไฟ เคเบิล มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไดนาโม ระบบจ่ายกำลัง เครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ นอกจากนั้นคุณสมบัติด้านทานการกัดกร่อน ทองแดง จึงนำมาใช้ในการก่อสร้างหลายอย่าง เช่น ทำหลังคาท่อน้ำ และข้อต่อต่าง ๆ ใช้ทำเครื่องจักรกล เครื่องใช้ภายในบ้านเนื่องจากขึ้นรูปง่ายและมีความสามารถในการทนการกัดกร่อนของน้ำทะเล ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนเครื่องบิน เรือเดินสมุทร หัวจักรรถไฟ อุปกรณ์สวิทช์และสัญญาณต่าง ๆ

ในส่วนของคุณสมบัติพิษทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ และมีส่วนในการสร้างฮีโมโกลบิน แต่สิ่งมีชีวิตต้องการในปริมาณน้อย โดยทองแดงที่เข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมที่กระเพาะอาหารเป็นส่วนใหญ่ และสะสมไว้ที่ตับ ไต หัวใจ สมอง ถ้าหากทองแดงเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมาก จะทำให้อาเจียน ปวดท้อง ท้องเดินเป็นน้ำหรือเลือด ปัสสาวะเป็นเลือด ความดันโลหิตต่ำ และตับไม่ทำงานอาจทำให้เสียชีวิตได้

2.5.4 ตะกั่ว

ตะกั่วถูกนำมาใช้ในประโยชน์ด้านต่าง ๆ แบตเตอรี่เชื่อมโลหะ ทำขั้วไฟฟ้าแบตเตอรี่ เซรามิก สารกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ยเคมี ใช้ป้องกันการทะลุทะลวงของกัมมันตภาพรังสี และใช้ควบคุมความดังของเสียงของเครื่องจักรกล เนื่องจากตะกั่วมีความหนาแน่นสูงมาก และใช้เติมลงในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทน

ในส่วนของคุณสมบัติพิษถ้าหาก ได้รับตะกั่วปริมาณน้อยในระยะเวลาสั้นจะทำให้เกิดความเป็นพิษเรื้อรัง ได้แก่ โรคโลหิตจางเนื่องจากตะกั่วไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง และตะกั่วยังสามารถกระตุ้นการทำงานของม้ามทำให้กำจัดเม็ดแดงได้มากขึ้น แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากทำให้เกิดอาการเป็นพิษเฉียบพลัน โดยมีอาการอ่อนเพลีย คลื่นไส้และกล้ามเนื้อกระตุก เนื่องจากการทำงานของระบบประสาทผิดปกติ

2.5.5 พรอท

พิษของพรอททำลายไต ลำไส้ ต่อม้ำลาย ถูมน้ำดี เนื้อเยื่อในช่องปากเน่า ฟันโยกหลุดง่าย แขนขากระดูก หวาดกลัว ซึมเศร้า ความจำเสื่อม โรคที่เกิดจากการได้รับพรอทเป็นเวลานานคือ โรคมินามาตะ ระบายเคือง โรคผิวหนังตามซอกมุมต่าง ๆ เป็นตุ่มใสแข็ง พอง ผื่นหนังแข็งด้านหลุดลอก อาจเป็นมะเร็งผิวหนัง มะเร็งปอด

2.5.6 แมงกานีส

แมงกานีสถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมโลหะทั่วไป เป็นส่วนประกอบของโลหะผสมใช้ทำเซลล์สำหรับแบตเตอรี่แห้ง และแมงกานีสยังนำมาผสมกับเหล็ก เพื่อให้เหล็กนั้นมีความเหนียว ยืดหยุ่น และคงทนได้ยิ่งขึ้น เช่น รางรถไฟ หัวชุด หัวเจาะ เหล็กทุบ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ในการทำเหล็กบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น ในการเตรียมต่างหัตถ์ ซึ่งใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรค สารป้องกันเครื่องน็อคของเครื่องยนต์ และในการเกษตรใช้ในการทำปุ๋ยสังเคราะห์

ในส่วนของการเป็นพิษหากมนุษย์ได้รับแมงกานีสจากการหายใจ จะก่อให้เกิดการระบายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการคล้ายไข้หวัดใหญ่ หรือไข้ที่เกิดจากการสัมผัสไอของโลหะ เมื่อเข้าตาจะทำให้เจ็บปวด ระบายเคือง และเกิดผื่นแดง สำหรับอาการเรื้อรัง เมื่อได้รับแมงกานีสซึ่งเป็นสารพิษโดยการกลืนเข้าไป และการสัมผัสทางการหายใจเป็นเวลานาน ๆ จะมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ระยะเริ่มต้นจะมีอาการเซื่องซึม ขาไม่มีแรง ง่วงนอน หากมีอาการรุนแรง อารมณ์จะแปรปรวน กล้ามเนื้อหดเกร็ง อาการจะคล้ายโรค Parkinson มีผลกระทบกับระบบหมุนเวียนเลือดภายใน และการได้รับแมงกานีสเรื้อรังจะทำให้เกิดอาการผิดปกติทางจิต

2.5.7 แคดเมียม

แคดเมียมจะจัดว่าเป็นธาตุที่มีน้อยมากในธรรมชาติ แต่ปริมาณการใช้ในปัจจุบันมีสูงมาก มีการใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสม (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียว และทนต่อการสึกกร่อน ใช้ในการชุบโลหะ ใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

ในส่วนของการเป็นพิษหากได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจะมีการสะสมในร่างกายเพิ่มขึ้นตามอายุ ถ้ามีในปริมาณมากทั้งในคนและสัตว์ ทำให้เป็นหมันและเป็นสารก่อมะเร็ง เป็น

อันตรายต่อดับและไตทำให้เอนไซม์ทำงานผิดปกติ เนื่องจากแคดเมียมเข้าไปแทนที่สังกะสี ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ ในประเทศญี่ปุ่นแคดเมียมทำให้มนุษย์เป็นโรคอิไตอิไต ซึ่งมีผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก

2.5.8 โครเมียม

โครเมียมถือเป็นโลหะหนักที่นำมาใช้มากในอุตสาหกรรมทั่วโลกในหลายด้าน ได้แก่ ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตสแตนเลส (stainless steel) ซึ่งอาจมีการใช้ผสมมากกว่า 18% ใช้ผสมกับเหล็ก นิกเกิล และโลหะอื่น ๆ เพื่อผลิตเหล็กอัลลอยที่แข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน และความร้อนได้สูง ใช้เป็นสารชุบโลหะ เคลือบโลหะ ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตสีย้อมหรือเม็ดสี เช่น Chrome oxide green (Cr_2O_3), Chrome yellow (PbCrO_4) และ Chrome orange ($\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbO}$) รวมถึงใช้เป็นสารช่วยย้อมติดสีในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และย้อมผ้า ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง ในรูปสารประกอบของ $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ และใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี และการสังเคราะห์ทางเคมี

ในส่วนของคุณภาพความเป็นพิษความเป็นพิษเมื่อโครเมียมเข้าสู่ร่างกายผ่านการดูดซึมทางผิวหนัง การสูดดม การรับประทาน พิษของโครเมียมขึ้นอยู่กับวาเลนซ์เป็นสำคัญ โดยทั่วไปโครเมียมวาเลนซ์ 3 และ 5 จะมีพิษค่อนข้างมาก โดยเฉพาะสารประกอบของ โครเมียมวาเลนซ์ 5 บางชนิดอาจเป็นสารก่อมะเร็ง เมื่อโครเมียมเข้าสู่ร่างกายโครเมียมจะถูกดูดซึมในร่างกาย 10% โครเมียมวาเลนซ์ 3 จะไม่สามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ ในขณะที่โครเมียมวาเลนซ์ 5 สามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเม็ดเลือดแดงได้อย่างรวดเร็ว และถูกเปลี่ยนไปเป็นโครเมียมวาเลนซ์ 3 ภายในเซลล์เม็ดเลือดแดง ดังนั้นโครเมียมที่อยู่ในร่างกายส่วนใหญ่จะเป็นโครเมียมวาเลนซ์ 3 และจะสะสมอยู่ในไขกระดูก ปอด ตับ น้ำเหลือง และม้าม สะสมอยู่ในปอดมากที่สุด โครเมียมที่เข้าสู่ร่างกาย ถูกขับออกมากับปัสสาวะเป็นส่วนใหญ่ภายใน 8 ชั่วโมงหลังจากได้รับเข้าไปในร่างกาย แต่จะอยู่ในรูปของโครเมียมวาเลนซ์ 3 (กรมควบคุมโรค, 2558)

2.6 ข้อกำหนดของกฎระเบียบที่สำคัญเกี่ยวกับวัสดุสัมผัสอาหาร

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

ไปในอาหาร (Migration) ในปริมาณที่เป็นอันตรายกับสุขภาพของผู้บริโภค ทำให้องค์ประกอบของอาหารเปลี่ยนแปลงจนไม่เป็นที่ยอมรับได้หรือทำให้โครงสร้างทางชีวภาพขององค์ประกอบของอาหารเสื่อมเสียรสชาติ

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

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 0.05 mg/l ในน้ำดื่ม และมีการประมาณการล่าสุดของช่วงการบริโภคประจำวันเป็น 0.025-0.2 mg/day (Codex, 1995) การเคลื่อนย้ายของนิเกิลไปยังอาหารสำหรับบริโภคควรจะต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยสมเหตุสมผลและไม่เกิน 0.1 mg/kg ข้อจำกัดทั่วไปของการเคลื่อนย้ายเข้าสู่อาหารสำหรับบริโภคไม่เกิน 0.05 mg/l จากกาน้ำไฟฟ้า ในกรณีของสแตนเลสค่าเหล่านี้สามารถเข้าถึงได้อย่างปลอดภัยหากเป็นการปรุงอาหารครั้งแรก (ใช้ครั้งแรก) ในรายการสัมผัสกับอาหาร และน้ำเดือด แสดงดังตารางที่ 2.3

การเคลื่อนย้ายสารจากวัสดุที่สัมผัสกับอาหารไปสู่อาหาร จะต้องไม่เกิดขึ้นในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ วัสดุที่สัมผัสกับอาหารที่ทำจากโลหะและโลหะผสม มีการเคลื่อนย้ายของโลหะทั้งส่วนประกอบหลักและสิ่งเจือปน ดังนั้นเพื่อช่วยเหลืออุตสาหกรรมและหน่วยงานด้านอาหารแห่งชาติสหภาพยุโรป สหภาพยุโรปได้เสนอข้อจำกัดการปลดปล่อยเฉพาะ (SRL) สำหรับโลหะหนักส่วนใหญ่แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณโลหะกับปริมาณที่ร่างกายรับได้ต่อสัปดาห์โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย

	ค่าเฉลี่ย (mg/day) ¹	ค่าเฉลี่ย (mg/weeks)	ปริมาณที่ร่างกายรับได้ต่อสัปดาห์โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (PTWI) (mg/kg b.w./weeks)	การบริโภคได้ประจำวัน เช่น TDI หรือ PMTDI (mg/kg b.w./day)	ประมาณจากการบริโภคประจำวัน (mg/weeks) ²	ค่าเฉลี่ย % ของปริมาณที่ร่างกายได้รับต่อสัปดาห์โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย ³
Fe	15	10.5	-	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: ¹Beliles (1994); Codex (1995)

²ประมาณจากการบริโภคประจำวันต่อน้ำหนักตัวต่อกิโลกรัมสำหรับคน 60 กิโลกรัม

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

ตารางที่ 2.4 แสดงข้อจำกัดการปลดปล่อยแบบเฉพาะเจาะจง (SRL) โดยสภายุโรป

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

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

2.7 วิธีการทดสอบความปลอดภัยวัสดุสัมผัสอาหาร (วัสดุสัมผัสอาหาร, 2554)

การทดสอบความปลอดภัยของวัสดุสัมผัสอาหารจัดเป็น “indirect food additives” หมายถึง สารที่สัมผัสกับอาหารอันเนื่องมาจากภาชนะบรรจุหรือเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต ไม่ใช่สารที่เติมลงไปในอาหารโดยตรง โดยวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ทำภาชนะบรรจุอาหาร (ประมาณ 70-80% เป็นสารโพลีเมอร์) สามารถทำปฏิกิริยากับอาหารที่บรรจุอยู่ทำให้ส่วนประกอบของภาชนะบรรจุอาหารมีการเคลื่อนย้ายจากภาชนะบรรจุไปสู่อาหาร จึงต้องมีการทดสอบการเคลื่อนย้ายของสารจากภาชนะบรรจุไปยัง อาหารเพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้บริโภคเรียกว่า “Migration Test”

2.7.1 การเตรียมอาหารจำลอง

เนื่องจากอาหารมีองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างทางกายภาพที่ซับซ้อนและหลากหลายจึงเป็นเรื่องยากหากนำอาหารมาใช้ในการทดสอบไม่เกรทโดยตรง ก่อนการทดสอบไม่เกรท จึงต้องมีการกำหนดสารซึ่งใช้เป็นตัวแทนของอาหารก่อน เรียกว่า food simulants ซึ่งลักษณะเป็นของแข็งและของเหลว สำหรับประเทศแถบเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน รวมถึงไทย ใช้ Food simulant 4 ชนิด มีดังนี้

1. n-heptane ใช้สำหรับการทดสอบกับอาหารประเภทไขมัน (Oil and fats and fatty foods)
2. 20% ethanol ใช้สำหรับทดสอบอาหารที่มีแอลกอฮอล์
3. น้ำ ใช้สำหรับทดสอบกับอาหารที่ไม่มีไขมันและแอลกอฮอล์ ที่มี pH มากกว่า 5
4. 4% acetic acid ใช้สำหรับทดสอบกับอาหารที่ไม่มีไขมันและแอลกอฮอล์ ที่มี pH น้อยกว่า 5

สำหรับ food simulants ที่ใช้ในสหภาพยุโรป มี 4 ชนิดเช่นเดียวกัน สำหรับปริมาณที่สกัดได้ เรียกว่า Overall migration ซึ่งเป็นการหาปริมาณสารที่เคลื่อนย้ายเข้าไปในอาหารทั้งหมด โดยใช้ food simulants เป็นตัวทดสอบ ดังตารางที่ 2.5 (Bradley and Castle, 2009) และมีระยะเวลาอุณหภูมิที่สกัดที่แตกต่างจากประเทศแถบเอเชีย

ตารางที่ 2.5 ชนิดของ food simulants ที่ใช้ในการทดสอบ Migration ในสหภาพยุโรป

Food simulants	สารที่เป็นตัวแทน	ชนิดของอาหาร
อาหาร		
simulant A	น้ำกลั่น	อาหารที่เป็นน้ำ
simulant B	3% acetic acid	อาหารที่เป็นกรด
simulant C	10% ethanol	อาหารที่มีแอลกอฮอล์
simulant D	น้ำมันมะกอกบริสุทธิ์	อาหารประเภทไขมัน

2.7.2 การทดสอบไมเกรททั้งหมด

เนื่องจากการทดสอบไมเกรททั้งหมดในอาหารจริงไม่สามารถทำได้ จึงกำหนดให้ทดสอบด้วยอาหารจำลองตามสภาวะทดสอบมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 2.6 หากสภาวะทดสอบที่ใช้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรืออื่น ๆ ของตัวอย่างซึ่งไม่พบในการใช้งานปกติ ให้เปลี่ยนสภาวะทดสอบที่ยังรุนแรงแต่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

2.7.3 วิธีการวิเคราะห์หาค่าการไมเกรท

เมื่อทราบตัวแทนของอาหารที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าการไมเกรทจากวัสดุสัมผัสอาหาร โดยทั่วไปแล้วจะมีการวิเคราะห์ค่า 2 แบบคือ

2.7.3.1 การศึกษาการไมเกรทโดยรวม (Overall Migration limit, OML) เป็นการศึกษาปริมาณรวมทั้งหมดของสารที่ไม่ระเหย ซึ่งเกิดจากการไมเกรทจากวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร หรือภาชนะบรรจุอาหารไปยังอาหาร การศึกษาการไมเกรทโดยรวมนั้นจะมีการกำหนดตัวแทนของอาหารและระยะเวลาที่เหมาะสม หลังจากนั้นจะนำสารตกค้างที่สกัดแล้ว จะถูกทำให้แห้งและชั่งน้ำหนัก จะเป็นการวัดความเฉลี่ยของวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร มักจะแสดงให้เห็นในหน่วยมิลลิกรัม (mg) ต่อพื้นที่ผิวสัมผัสอาหาร (cm^2) ในส่วนของ Food Contact Materials (FCMs) โดยต้องมีปริมาณไม่เกิน 60 mg/kg ถึงจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัย สำหรับทารกและเด็กเล็กจะแสดงเป็น mg/kg

2.7.3.2 การศึกษาการไมเกรทแบบเฉพาะเจาะจง (Specific Migration Limit, SML) เป็นปริมาณสูงสุดที่อนุญาตของสารเฉพาะที่สามารถไมเกรทจากวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร หรือภาชนะบรรจุอาหารไปยังอาหาร เป็นการวัดค่าความปลอดภัย (Safety Limit) ที่ได้รับการศึกษาทาง

พิษวิทยาจำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้ เพื่อระบุการมีอยู่ของสารเหล่านี้ในอาหาร หรืออาหารจำลอง มักจะแสดงเป็นอาหารหน่วย mg/kg

ตารางที่ 2.6 สภาวะทดสอบมาตรฐานสำหรับการทดสอบการไม่เกรทโดยวิธีการโดยรวม

ทดสอบ	สภาวะทดสอบ	สภาวะการใช้งานจริง
OM0	24 ชั่วโมง 22±2 °C	การเก็บนานที่อุณหภูมิห้อง (มอก. 835-2531) แช่เย็นและแช่แข็ง
OM1	10 วัน 20 °C	การเก็บนานที่อุณหภูมิห้องหรือต่ำกว่าและรวม
OM2	10 วัน 40 °C	การทำให้ร้อนถึง 70 °C นาน 2 ชั่วโมง หรือ 100 °C นาน 15 นาทีไว้ด้วย
OM3	2 ชั่วโมง 70 °C	การเก็บทุกสภาวะและรวมการทำให้ร้อนถึง 70 °C นาน 2 ชั่วโมงหรือ 100 °C นาน 15 นาที แต่ไม่มีการเก็บต่อไปอีกเป็นเวลานานที่อุณหภูมิห้องหรือแช่เย็นหลังการทำให้ร้อน
OM4	1 ชั่วโมง 100 °C	การใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 100 °C กับอาหารจำลองทุกชนิด
OM5	2 ชั่วโมง 100 °C หรืออุณหภูมิ การกลั่นไพลกลับ 1 ชั่วโมง 121°C	การใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 121 °C
OM6	4 ชั่วโมง 100 °C หรืออุณหภูมิ การกลั่นไพลกลับ	การใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 40 °C กับอาหารจำลองทุก A,B หรือ C
OM7	2 ชั่วโมง 175 °C	การใช้งานกับอาหารมีไขมันที่อุณหภูมิสูงกว่า OM5

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

2.8 เทคนิค graphite-furnace atomic absorption spectrometry (GF-AAS) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ (อรอุมา, 2559)

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่มีปริมาณน้อยมาก ๆ ด้วยเตาเผาแกรไฟต์ (graphite furnace) โดยท่อแกรไฟต์ที่ให้ความร้อนเข้าไปจะทำหน้าที่เป็นหน่วยสร้างอะตอมที่วางตัว

อยู่ในแนวการเคลื่อนที่ของรังสี หยตละอองของสารตัวอย่างจะถูกบีบอัดเข้าไปในท่อแกรไฟต์ ซึ่งจะทำให้สารแห้งโดยการให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า และทำให้กากที่เหลือกลายเป็นขี้เถ้า หลังจากขั้นตอนการให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิสูงมาก แล้วธาตุที่ปรากฏในกากที่เหลือก็จะถูกทำให้แยกเป็นอะตอมอิสระ ระหว่างนี้เองแก๊สที่ใช้นำพาตัวอย่างจะหยุดไหลในรูปปริมาตรแคบ ๆ ของท่อแกรไฟต์ทำให้อะตอมอิสระถูกจำกัดให้อยู่ในช่องทางเดินแสงนาน มีผลทำให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพความไวสูง ทำให้มีขอบเขตการตรวจวัดที่ต่ำมาก AAS แบบเตาเผาแกรไฟต์จึงเป็นวิธีวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์ธาตุในปริมาณน้อยที่ระดับความเข้มข้นส่วนในพันล้านส่วน

2.8.1 หลักการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเครื่อง graphite furnace atomic absorption spectrometer

เป็นเทคนิคหนึ่งของการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ โดยอาศัยหลักการของอะตอมิกแอบซอร์พชันที่เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมอิสระของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นที่เป็นค่าเฉพาะของธาตุนั้น การดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมทำให้อะตอมของธาตุมีการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (ground state) ไปสู่สถานะกระตุ้น (excited state) ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แผนภาพระดับพลังงาน เมื่อมีการรับและปล่อยพลังงาน

ที่มา: Richard and Jack (2002)

กระบวนการที่จะทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้นต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป การให้พลังงานความร้อนที่ทำให้อะตอมในสารละลายตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเทคนิคนี้ คือการให้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electro thermal atomizer หรือ graphite furnace) พลังงานความร้อนจะทำให้อะตอมของธาตุในสารตัวอย่างเกิดการแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนเป็นไอ (vaporization) ไปสู่สถานะกระตุ้นกลายเป็นอะตอม

อิสระด้วยเครื่องมือของเทคนิคนี้ สามารถโปรแกรมจัดการการให้พลังงานความร้อนแก่สารตัวอย่างได้ที่อุณหภูมิการเผาที่ค่าแตกต่างกันด้วยระยะเวลาที่ต่างกันได้ จึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุได้หลายชนิด

2.8.2 องค์ประกอบของเครื่อง graphite furnace atomic absorption spectrometer ประกอบด้วย 5 ส่วนดังนี้

2.8.2.1. แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสง (radiation source) ของเครื่อง graphite furnace atomic absorption spectrometer โดยทั่วไปนิยมใช้ดังนี้

1) หลอดฮอลโลแคโทด (hollow cathode lamps) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ประกอบด้วยอิเล็กโทรด 2 ชนิด คือ ขั้วแอโนดและแคโทด ขั้วแคโทดทำด้วยโลหะเป็นรูปทรงกระบอกฉาบด้วยโลหะที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อจะได้ให้สเปกตรัมเฉพาะสำหรับโลหะนั้น สำหรับขั้วแอโนดทำด้วยโลหะนิกเกิล หรือ ทังสเตนเป็นแท่งเล็ก ๆ ภายในหลอดบรรจุก๊าซเฉื่อย ซึ่งอาจเป็นอาร์กอน ฮีเลียมหรือนีออนที่ความดันต่ำ ส่วนหน้าต่างอาจเป็นแก้วไพเร็กซ์ หรือควอตซ์ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านจะทำให้ก๊าซที่บรรจุอยู่ไอออไนซ์และมีกระแสไหลระหว่างอิเล็กโทรดไอออนบวกจะไปที่ธาตุที่ฉาบที่แคโทดทำให้อะตอมถูกกระตุ้นและปล่อยแสงเป็นสเปกตรัมออกมา ปัจจุบันหลอดฮอลโลแคโทดสามารถใช้วิเคราะห์ธาตุได้หลายชนิดพร้อมกัน โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนหลอด เรียกว่า multi-element lamps เช่น หลอด Ca/Mg และ Na/K เป็นต้น

2) หลอด electrode less discharge lamps (EDLs) ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงเฉพาะบางธาตุเท่านั้น อย่างเช่น สารหนู (As) บิสมัท (Bi) แคดเมียม (Cd) ซีเซียม (Cs) เจอร์เมเนียม (Ge) โปรท (Hg) โพแทสเซียม (K) ฟอสฟอรัส (P) ตะกั่ว (Pb) รูบิเดียม (Rb) พลวง (Sb) ซีลีเนียม (Se) ดีบุก (Sn) ไทเทเนียม (Ti) เทลเลียม (Tl) และสังกะสี (Zn) โดยมีลักษณะเป็นหลอดที่ทำจากควอตซ์ขนาดยาว 3 ถึง 8 cm และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ถึง 1 cm ภายในหลอดบรรจุด้วยโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ 2 ถึง 3 mg หรือเกลือเฮไลต์ของโลหะนั้น โดยมีก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซอาร์กอนบรรจุอยู่เมื่อให้สนามของไมโครเวฟแก่หลอด EDLs จะทำให้อะตอมของธาตุในสภาพก๊าซถูกกระตุ้นเมื่ออะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้นกลับสู่สถานะพื้นจะปล่อยแสงออกมา



ภาพที่ 2.8 หลอด electrode less discharge lamps (EDLs)

2.8.2.2 ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ

ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ (the atomization process หรือ atomizer) เป็นกระบวนการที่ทำให้สารตัวอย่างกลายเป็นอะตอมอิสระหรือไอออนในสถานะแก๊ส เรียกว่า การเกิดอะตอม (atomization) เทคนิคแกรไฟต์เฟอร์เนซจะนิยมใช้ความร้อนจากเตาไฟฟ้า (electro-thermal) หรือเตาแบบไร้เปลวไฟ (furnace atomization) ทำหน้าที่เป็นส่วนที่ทำให้ธาตุในสารละลายกลายเป็นอะตอมอิสระ โดยใช้ปริมาณสารตัวอย่างเพียงเล็กน้อยประมาณ 0.5 ถึง 10 μl ใส่ลงบนตัวนำ อย่างเช่น แท่งคาร์บอน เป็นต้น ก่อนสารตัวอย่างเปลี่ยนเป็นอะตอมเกิดการระเหยตัวทำละลายด้วยอุณหภูมิต่ำ จากนั้นไล่สารอินทรีย์ด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสมบนผิวเซลล์แกรไฟต์และใช้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วยกระแสไฟฟ้าทำให้การระเหยตัวอย่างเป็นไปอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ กระบวนการที่เกิดในระบบเตาไฟฟ้าจะให้สัญญาณเป็นครั้งคราวเฉพาะเวลาที่สารตัวอย่างเป็นอะตอมอิสระ สัญญาณจากตัวอย่างขณะถูกทำให้เป็นอะตอมอิสระจะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นศูนย์เมื่อสารตัวอย่างหมด โดยมีการวัดปริมาณสารที่วิเคราะห์จากความสูงหรือพื้นที่ของพีค (peak)

เตาเผาชนิดหลอดแกรไฟต์ประกอบด้วยท่อกลางของแกรไฟต์ซึ่งเป็นที่ใส่สารตัวอย่าง โดยมีการต่อกระแสไฟฟ้าเข้าที่ด้านปลายทั้ง 2 ข้างของหลอดแกรไฟต์รังสีจากแหล่งกำเนิดจะผ่านไปตามแนวยาวตรงกลางของหลอดผ่านไปที่สารตัวอย่าง

สำหรับตัว furnace นั้นอาจมีการออกแบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ผลิต แต่หลักการพื้นฐานขั้นตอนการทำงานของ flameless atomization หรือ graphite furnace โดยทั่วไปนั้นจะไม่แตกต่างกัน ซึ่งแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1) Drying stage คือ ขั้นตอนการระเหยตัวทำละลายจากตัวอย่างโดยใช้ อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของสารละลายที่อุณหภูมิประมาณ 110 ถึง 125 °C ในระยะเวลาประมาณ 20 ถึง 30 วินาที เพื่อให้การระเหยของตัวทำละลายเกิดขึ้นต่อเนื่องอย่างช้าๆ เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดฟอง หรือการกระเด็นของตัวอย่างไปอยู่ในลักษณะ residue ติดอยู่เป็นเม็ดบาง ๆ บริเวณผิวด้าน ในหลอดแกรไฟต์ด้วยแก๊สเฉื่อยอาร์กอน

2) Thermal decomposition or ashing stage คือ ขั้นตอนการให้ความ ร้อนกับตัวอย่างให้สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อระเหยองค์ประกอบที่ระเหยได้ทั้งหมด แต่ไม่ระเหยสาร ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 350 ถึง 1,200 °C สามารถตั้งเวลาได้นานถึง 45 วินาที เพื่อเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ให้เหลือแต่สารอนินทรีย์ที่อยู่ในรูปโลหะออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้จึง ไม่ต้องสูงมากจนทำให้สารที่วิเคราะห์กลายเป็นไอ

3) Atomization stage คือ ขั้นตอนการเผาไหม้ที่เหลือนด้วยอุณหภูมิสูงอย่าง เฉียบพลัน โดยใช้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 2,000 ถึง 3,000 °C ในระยะเวลาประมาณ 5 วินาที เพื่อให้ ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์เกิดเป็นอะตอมอิสระ ซึ่งสามารถวัดสัญญาณการดูดกลืนที่แสดงออกมาเป็น พีคแหลม (sharp peak) และความสูงของพีคจะเป็นปฏิกิริยากับปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างนั้น

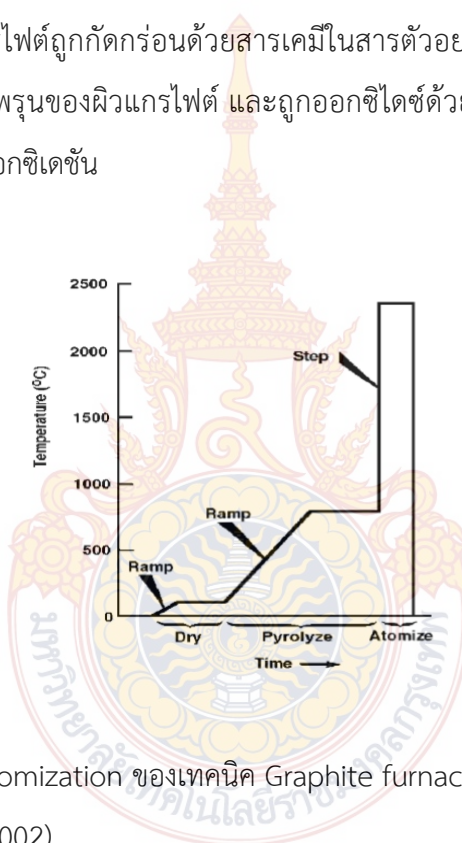
4) Cleaning stage เป็นขั้นตอนการทำความสะอาด furnace tube โดยเพิ่ม อุณหภูมิให้สูงสุดประมาณ 2,700 ถึง 3,000 °C ในเวลาประมาณ 2 ถึง 3 วินาที พร้อมผ่านแก๊สเฉื่อย เพื่อกำจัดเมทริกซ์ออก

5) Cooling stage เป็นการลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้น้ำเป็นตัว ทำความเย็น

กระบวนการ atomization ของเทคนิคนี้ สามารถจัดโปรแกรม (programming) โดยกำหนดอุณหภูมิและช่วงเวลา (timing) สำหรับที่จะใช้ในแต่ละขั้นตอนได้ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของสาร ตัวอย่างและธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ 2.9

ลักษณะของแกรไฟต์เฟอร์เนซ (graphite furnace) ที่นิยมใช้มี 2 แบบ คือ หลอดแกรไฟต์แบบแพลตฟอร์ม (platform graphite tube) ดังแสดงในภาพที่ 2.10 เป็น วัสดุที่นำ ความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดีมีสมบัติเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี มีความพรุนน้อย มีความแข็ง และมีความ บริสุทธิ์ โดยมีสิ่งเจือปนที่เป็นโลหะต่ำมาก มีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนน้อยมีจุดหลอมเหลวสูง

ทำให้สามารถนำมาทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ด้วยเครื่องจักร การที่แกรไฟต์มีรูพรุนจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับโลหะได้ดีกลายเป็นสารประกอบพวกคาร์ไบด์ (carbide) เพื่อขจัดปัญหาดังกล่าวจึงมีกรรมวิธีการลด ความพรุนของแท่งแกรไฟต์โดยเคลือบผิว (coating) ด้านนอกด้วยไพโรลิติกแกรไฟต์ (pyrolytic graphite) เมื่อมีการใช้งานของแท่งแกรไฟต์ไประยะเวลาหนึ่งค่าการดูดกลืนแสงจะเริ่มลดลง เนื่องจากแท่งแกรไฟต์ถูกกัดกร่อนด้วยสารเคมีในสารตัวอย่าง อาจทำให้เมทริกซ์ในสารตัวอย่างแทรกเข้าไปอยู่ในรูพรุนของผิวแกรไฟต์ และถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน จึงมีการผ่านก๊าซเฉื่อยเข้าไปเพื่อช่วยลดการออกซิเดชัน



ภาพที่ 2.9 กระบวนการ atomization ของเทคนิค Graphite furnace
ที่มา: Richard and Jack (2002)

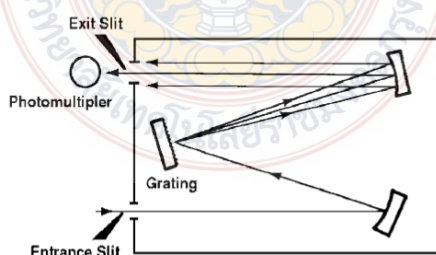


ภาพที่ 2.10 หลอดแกรไฟต์แบบ platform graphite

หลอดแกรไฟต์แบบแท่งคาร์บอน (carbon rod) ประกอบด้วยแท่งแกรไฟต์ของแข็งลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีช่องให้ใส่สารตัวอย่างบริเวณตรงกลางแท่งแกรไฟต์จะต่อกับส่วนที่เป็นโลหะเพื่อต่อกับกระแสไฟฟ้า แท่งแกรไฟต์จะมีการป้องกันการออกซิเดชันโดยใช้แก๊สอาร์กอนหรือไนโตรเจนไหลผ่านเข้าไปแท่งแกรไฟต์จะติดตั้งอยู่ใน metallic jacket โดยมีหน้าต่างเป็นควอตซ์ และตรงตำแหน่งที่ใส่สารตัวอย่างจะมีถ้วยสำหรับใส่สารตัวอย่าง (carbon sample cup) ซึ่งจะให้ sensitivity สูงกว่าหลอดแกรไฟต์ (graphite tube) 2 ถึง 3 เท่า และสามารถใช้กับสารตัวอย่างของเหลวขนาด 20 μl หรือ ประมาณ 20 mg ของตัวอย่างที่เป็นของแข็ง

2.8.2.3. โมโนโครมาเตอร์

โมโนโครมาเตอร์ (monochromator) คือส่วนที่ใช้ควบคุมแสงจากต้นกำเนิดแสงที่เป็นแสงชนิดโพลีโครมาติกให้เป็นแสงชนิดโมโนโครมาติก มีลักษณะเป็นแถบแสงแคบ ๆ ลักษณะของโมโนโครมาเตอร์ แสดงดังภาพที่ 2.11 ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์คัดเลือกช่วงความยาวช่วงคลื่นของเครื่องแกรไฟต์เฟอร์เนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งช่วงของ band pass ในโมโนโครมาเตอร์ ได้แก่ 0.2, 0.5 หรือ 1 nm ความกว้างของการดูดกลืนแสงในเซลล์ ส่วนมากประมาณ 0.004 nm ซึ่งแคบกว่า band pass ของโมโนโครมาเตอร์



ภาพที่ 2.11 โมโนโครมาเตอร์ (monochromator)

ที่มา: Richard and Jack (2002)

2.8.2.4. อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ

อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ (detector) ปัจจุบันนิยมใช้หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube, PM tube) ที่มีลักษณะคล้ายกับหลอดรับแสงภายในหลอดประกอบด้วยแคโทด แอโนด และชุดอิเล็กโทรดที่เรียกว่า ไดโนด (dynodes) โดยไดโนดจะมี 9 ชุด

กระจายอยู่ทั่วหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ แสงจากแหล่งกำเนิดผ่านเข้าไปที่แคโทดที่ฉาบผิวด้วยสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนเมื่อถูกแสง เมื่อแสงโฟตอนตกกระทบบที่ขั้วแคโทดทำให้อิเล็กตรอนอิสระหลุดออกมาแล้ววิ่งไปที่ขั้วไดโนด ซึ่งไดโนดแต่ละชุดเคลือบด้วยสารที่จะให้อิเล็กตรอนทำให้เกิด 4 ถึง 5 อิเล็กตรอน แล้วอิเล็กตรอนไปจับที่ไดโนดชุดที่ 2 ทำให้มีอิเล็กตรอนจำนวนมากออกมาที่ผิวของไดโนด การขยายสัญญาณจะเกิดขึ้นมากเมื่ออิเล็กตรอนออกจากไดโนดอันหนึ่งไปที่ไดโนดอีกชุดหนึ่งจนครบ 9 ชุด แต่ละโฟตอนจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนจำนวนมาก อิเล็กตรอนเหล่านี้จะไปรวมที่แอโนด กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะถูกขยายทำให้วัดกระแสไฟฟ้าได้

2.8.2.5. เครื่องประมวลผล

เครื่องประมวลผล (data processing system) ในปัจจุบันเครื่อง graphite furnace atomic absorption spectrometer นั้นจะต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องให้ข้อมูลของ parameters ต่าง ๆ ที่ต้องการและทำหน้าที่เก็บข้อมูลและประมวลผลแสดงออกเป็นรูปพิก (peak) ของสารตัวอย่างบนจอภาพ ขณะทำการวิเคราะห์และแสดงผลที่วัดค่าการดูดกลืนแสงออกมาเป็นค่าแอบซอร์เบ้นซ์ประมวลผลความสัมพันธ์เทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานจะได้ calibration curve หรือกราฟมาตรฐาน พร้อมคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พัชรภรณ์ สมดี ศึกษาการกัดกร่อนของสแตนเลสด้วยกรดแลกติกและสารละลายโซเดียมคลอไรด์จากการหมักปลาซึ่ม สแตนเลสที่ใช้ในการทดลองคือเกรด 304, 316L และ 430 โดยใช้เวลาในการกัดกร่อนแตกต่างกันที่ 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ เปรียบเทียบการกัดกร่อนจากน้ำหนักและโครงสร้างชั้นผิวแบบไม่มีการทำลายชั้นฟิล์ม และทำลายชั้นฟิล์มที่เวลาต่างกันและสารละลายแตกต่างกัน พบว่าสแตนเลสทั้ง 3 เกรดที่ทำการทดสอบแบบไม่มีการทำลายชั้นฟิล์มไม่มีการเปลี่ยนแปลง การทดสอบแบบทำลายชั้นฟิล์มมีการกัดกร่อนเกิดขึ้นมากที่สุด เมื่อทดสอบสแตนเลสเกรด 430 กับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เวลา 48 ชั่วโมง โดยน้ำหนักลดลงจากเดิม 0.00367 กรัม นอกจากนี้สแตนเลสเกรด 304 และ 316L เริ่มเกิดการกัดกร่อน ที่ 36 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ สารละลายที่สามารถกัดกร่อนสแตนเลสได้มากที่สุดคือโซเดียมคลอไรด์ รองลงมาคือสารละลายกรดแลกติกร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และกรดแลกติก ตามลำดับ

ศศิธร หอมดำรงวงศ์ ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียมและอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้ม ทดสอบโดยใช้สารละลาย กรดอะซีติก 4% โดยปริมาตร ต้มให้เดือด 2 ชั่วโมง วัดปริมาณ ตะกั่ว และแคดเมียมโดยใช้เครื่อง Flame-AAS วัดปริมาณอะลูมิเนียมด้วย GF-AAS พบว่าการใช้วิธีวิเคราะห์นี้ ตรวจพบตะกั่ว 56% ปริมาณที่พบน้อยกว่า 0.1-3.35 mg/l และแคดเมียมพบ 16% ปริมาณที่พบน้อยกว่า 0.01-0.01 mg/l ไม่มีตัวอย่างใดเกินค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 92 (2528) ภาชนะที่ทำด้วยอะลูมิเนียม มีตะกั่วละลายออกมา มาก มีอะลูมิเนียมละลายออกมาโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 232 mg/l JECFA (1989) ได้กำหนดค่าสูงสุดที่สามารถรับได้ต่อสัปดาห์ (PTWI) ไว้ไม่เกิน 7 mg/kg b.w. ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรกำหนดค่ามาตรฐานของอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้ม เพื่อคุ้มครองผู้บริโภคให้ปลอดภัย และผู้บริโภคควรดูแลตนเองให้ปลอดภัยโดยไม่เก็บอาหารที่มีสภาพเป็นกรดในภาชนะหุงต้มที่เป็นโลหะ

เสรี หนูหลง ศึกษาความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสิ่งแวดล้อมที่มีพฤติกรรมคล้ายดินเปรี้ยว เหล็กกล้าคาร์บอนที่นำมาทดลองมี 2 ชนิด คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low-carbon steel) และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (Highcarbon steel) เริ่มต้นด้วยการทดสอบการสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอรี่ของน้ำและทรายซึ่งมีความเข้มข้นของทราย 20% ทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ pH4 ที่ไม่มีทราย และศึกษาการกัดกร่อน-สึกกร่อนในสเลอรี่ของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ pH4 โดยมีทราย 20% โดยการจำลองพฤติกรรมเคลื่อนไหวของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน ด้วยชุดทดสอบที่เรียกว่า โรเตตติ้งไซลินเดอร์อิเล็กโทรด (Rotating cylinder electrode) ในการทดลองได้ศึกษาผลของความเร็วของการหมุนชิ้นงานต่ออัตราการสึกกร่อน อัตราการกัดกร่อนและอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อน เทคนิคที่ใช้ในการศึกษาอัตราการกัดกร่อน คือ เทคนิคโพเทนชิโอดินามิกส์ จากผลการทดลองทั้ง 3 วิธี พบว่า อัตราการสึกกร่อน อัตราการกัดกร่อน และอัตราการสึกกร่อนกัดกร่อน เป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง อัตราการต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่า เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ นอกจากนี้ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกกร่อน อัตราการกัดกร่อน และอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนเพิ่มขึ้น

ศศิธร หอมดำรงวงศ์ ภััสสระริน สายสุวรรณ ศศิธร ไขแก้ว และอุมา บริบูรณ์ ศึกษาปริมาณของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม ที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้มอาหาร จากภาชนะโลหะจำนวน 13 ตัวอย่าง เป็นสแตนเลส 2 ตัวอย่าง และอะลูมิเนียม 11 ตัวอย่าง ซึ่งมีทั้งภาชนะใหม่และภาชนะเก่า ทำการตรวจวิเคราะห์โดยวิธี GF-AAS การศึกษา รูปแบบที่ 1) ทดสอบการละลายลงสู่ 4%

กรดอะซิติก ที่อุณหภูมิ 22 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบตะกั่ว แคดเมียมและอะลูมิเนียม มีค่าเฉลี่ย 0.017 ± 0.006 , 0.003 ± 0.004 และ 4.412 ± 4.412 mg/L ตามลำดับ รูปแบบที่ 2) เป็นการทดสอบอาหาร ซึ่งประกอบด้วย ข้าวสุก ผักผัก ต้มยำ และยาวันเส้นที่นำมาใส่ถาดหลุมแล้ววางไว้เป็นเวลา 30 นาที ตรวจพบตะกั่ว แคดเมียมและอะลูมิเนียม มีค่าเฉลี่ย 0.009 ± 0.008 , 0.002 ± 0.001 และ 0.463 ± 0.217 mg/L ตามลำดับ สรุปได้ว่าทั้งถาดอะลูมิเนียมและสแตนเลสพบการละลายของตะกั่วและแคดเมียมไม่เกินมาตรฐาน ฉบับที่ 92 (พ.ศ.2528) ส่วนอะลูมิเนียมไม่มีค่ากำหนด เมื่อประเมินค่าการได้รับโลหะในอาหารเทียบกับค่าความปลอดภัยพบว่าไม่เกินเกณฑ์ที่แนะนำโดย EFSA และ JECFA

Dalipia and Borgesea (2016) ศึกษาการปลดปล่อยโลหะจากสแตนเลสที่ผ่านการสัมผัสกับอาหารจำลองด้วยการแผ่รังสีเอกซ์เรย์แบบสะท้อนกลับทั้งหมด ได้ทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณของการปล่อยโลหะจากสแตนเลส 6 ชนิดได้แก่ เกรด AISI 202, 303, 304, 316, 420 และ 430 ในการสัมผัสกับอาหารจำลองโดยใช้ 3% acetic acid ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที และ 40 °C เป็นเวลา 10 วัน ข้อดีของการใช้ TXRF คือการวิเคราะห์หลายองค์ประกอบพร้อมกัน ผลการศึกษาพบว่า เกรด AISI 202 และ 430 แสดงการปล่อย Mn, Cr และ Ni ที่ต่ำที่สุดในการสัมผัสอย่างต่อเนื่อง ไม่เกินค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ที่ 0.1 mg/L ตามกฎหมายอิตาลี AISI 420 มีความต้านทานการกัดกร่อนต่ำ (ปริมาณ Cr และ Ni ต่ำ) ปล่อยปริมาณสูงสุดของ Mn, Cr และ Ni เกินขีดจำกัด และ AISI 303 มีการหลุดของ Mn ที่ละลายได้ง่ายด้วยสารละลายอะซิติก ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนที่ได้รับการปรับปรุงให้ดีที่สุดสำหรับการทดสอบการปลดปล่อยตามด้วยการวิเคราะห์ TXRF นั้นมีความน่าเชื่อถือและอาจเป็นประโยชน์ในการกำหนดการใช้วัสดุพิเศษสำหรับเครื่องใช้ในอาหาร

Mazinanian N. (2014) ศึกษาการหลุดของโลหะและความต้านทานการกัดกร่อนของเกรดสแตนเลสที่แตกต่างกันในการสัมผัสกับอาหารจำลอง ซึ่งสหภาพยุโรป Council of Europe (CoE) มีการนำแนวปฏิบัติทางเทคนิคใหม่ไปใช้ เพื่อรับรองความมั่นคงและความปลอดภัยของอาหาร วัสดุที่ใช้ทดลองคือสแตนเลสออสเทนนิติก (เกรด AISI 201, 204, 304 และ 316L) เฟอริติก (เกรด AISI 430 และ EN 1.4003) และลีนดูเพล็กซ์สแตนเลส (เกรด EN 1.4162) โดยใช้กรดซิตริก 5 กรัม/ลิตร (ค่า pH 2.4) และน้ำประปา (ค่า pH 7.5) เป็น simulants ใช้เวลา 10 วัน ที่ 70 °C /40 °C และ 0.5 M NaCl เปรียบเทียบการหลุดของโลหะกับองค์ประกอบออกไซด์ของพื้นผิวซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาและความต้านทานการกัดกร่อน ผลการศึกษาพบว่าระดับการปล่อยโลหะจาก AISI 304 และ AISI 316 สูงกว่า

ที่กำหนดไว้ในข้อกำหนด เมื่อสัมผัสกับกรดซิตริก และสำหรับทุกเกรดโลหะจะถูกปล่อยออกมาในระดับใกล้เคียง การหลุดของโลหะจากเกรด AISI 304 ที่ pH 5.5 เมื่อรวมกับกรดซิตริก (5 กรัม/ลิตร) และที่ pH ต่ำกว่า (2.2) 0.5 M NaCl เหนียวทำให้เกิดการปล่อยโลหะที่สูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกรดซิตริก (pH 2.4) เพียงอย่างเดียว



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

3.1.1 สารเคมี

สารเคมีทุกชนิดเป็น AR Grade และน้ำที่ใช้เป็นน้ำ deionized water (DI) หรือน้ำกลั่นที่มีคุณภาพเทียบเท่ากัน

3.1.1.1 กรดอะซิติก (CH_3COOH) 99.8% ยี่ห้อ LOBA ประเทศอินเดีย

3.1.1.2 Acetone ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) 99.5% ยี่ห้อ LOBA ประเทศอินเดีย

3.1.1.3 กรดไนตริก (HNO_3) 69% ยี่ห้อ LOBA ประเทศอินเดีย

3.1.1.4 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 65% ยี่ห้อ LOBA ประเทศอินเดีย

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับเตรียมตัวอย่าง

1) เครื่องชั่งน้ำหนักอ่านค่าได้ละเอียดอย่างน้อย 0.01 กรัม ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น AL204

2) อ่างต้มน้ำร้อน (Water bath) ยี่ห้อ M-LAB

3) เตาไฟฟ้า (Hot plate)

4) โถดูดความชื้น (Desiccator) และสารดูดความชื้น

5) ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 25, 50, 100, 200 และ 500 ml

6) ขวดปริมาตร ขนาด 10, 50, 100 และ 1,000 ml

7) เครื่องอัลตราโซนิก (ULTRASONIC CLEANER) ขนาด 9 ลิตร ยี่ห้อ GT SONIC รุ่น GT-1990 QTS

8) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

9) ที่คีบ

10) ชามระเหย (Dish) เส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 cm ทำด้วยเซรามิก ขนาดบรรจุ 150 ml. ยี่ห้อ LOBA ประเทศอินเดีย

11) ถังมือยี่ห้อ HARRISON

12) กระบอกตวงขนาด 100 ml

13) หลอด Centrifuge tube ขนาดบรรจุ 15 และ 50 ml พร้อมฝาปิด ยี่ห้อ

LOBA ประทศอินเดีย

14) แผ่นอะลูมิเนียมเปลว (Aluminium foil) ที่ไม่มีผลรบกวนในการวิเคราะห์

15) เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์

16) อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ เช่น เทอร์โมมิเตอร์

17) แผ่นสแตนเลสเจาะรูทำด้วยสแตนเลส

18) น้ำ Reverse Osmosis

19) น้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI)

20) น้ำยาล้างจาน ยี่ห้อซันไลต์ ขนาดบรรจุ 3600 ml

21) ขามสแตนเลสใหม่ (เกรด 304) ขนาด 14 และ 16 cm ยี่ห้อ หัวม้าลาย

22) ถาดหลุมสแตนเลสทรงกลมใหม่ (เกรด 304) ขนาด 30 cm ยี่ห้อ หัวม้าลาย

3.1.3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการย่อย

1) ไมโครปิเปต ขนาดบรรจุ 100-1000 μ l ยี่ห้อ Sartorius และ Tip ขนาด 1 ml

2) เครื่องชั่งน้ำหนักอ่านค่าได้ละเอียด ยี่ห้อ Precisa รุ่น XT 220A

3) เครื่องย่อยสลาย (High Performance Microwave Digestion system)

พร้อม vessel ขนาด 100 ml และ vessel cover with thread ยี่ห้อ MILESTONE รุ่น ETHOS UP

3.1.3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวัดปริมาณโลหะหนัก

1) Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer พร้อม Cup ขนาด 1 ml ยี่ห้อ Perkinmer's รุ่น PinAAcle 900T

2) ถังมือไนโตรเจนกระบอก (สีฟ้า) ยี่ห้อ Master

3) น้ำปราศจากสารอินทรีย์หรือน้ำบริสุทธิ์สูง (organically – free pure water)

จัดเป็นน้ำ Type I

4) สารละลายมาตรฐาน GF-AAS Mixed ยี่ห้อ PerkinElmer Pure (แสดงดังภาพ

ที่ 3.5)

3.2 วิธีการดำเนินงาน

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างภาชนะสแตนเลส

3.2.1.1 การเก็บข้อมูลเบื้องต้น

นำแบบสอบถาม แสดงดังภาคผนวก ก ไปเก็บข้อมูลเบื้องต้นที่โรงพยาบาลในเขตกรุงเทพมหานคร พร้อมรับตัวอย่างซามและถาดหลุมสแตนเลส

3.2.1.2 การหาพื้นที่ผิว และปริมาณการบรรจุของภาชนะสแตนเลส

เมื่อทำการตัดกระดาษที่ผ่านการวัดตามรอยโค้ง พื้นที่ของภาชนะ นำชิ้นงานมาวางถ่ายรูปพร้อมไม้บรรทัด ด้วยกล้องดิจิทัลความละเอียดสูง แสดงดังภาคผนวก ง การถ่ายภาพนั้นต้องถ่ายให้เห็นครอบคลุมทั้งชิ้นงาน จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาพื้นที่ทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J software เพื่อคำนวณหาพื้นที่ผิว

3.2.1.3 การทำความสะอาดภาชนะสแตนเลส

นำตัวอย่างภาชนะสแตนเลสที่อยู่ระหว่างการใช้งานจากโรงพยาบาลตากสิน โรงพยาบาลราชบุรณะ โรงพยาบาลรามาริบัติ และโรงพยาบาลสุขสวัสดิ์ รวมถึงภาชนะสแตนเลสที่ยังไม่ผ่านการใช้งานจากร้านค้าจำนวน 2 ขนาด ซึ่งเป็นถาดหลุมสแตนเลสทรงสี่เหลี่ยมและซามสแตนเลสที่มีฝาปิด ตัวอย่างทั้งหมดนั้นจะถูกนำมาทำความสะอาด โดยการนำมาล้างทำความสะอาดด้วย Detergen และล้างน้ำจนสะอาด ก่อนนำไปล้างด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (ULTRASONIC CLEANER) แสดงดังภาพที่ 3.1 โดยใช้ตัวทำละลาย Acetone และน้ำกลั่นในอัตราส่วน 4:1 เป็นเวลา 15 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำไปผึ่งให้แห้ง (ดัดแปลงจากวรทรรศ และคณะ, 2557) และเก็บรักษาไว้ในภาชนะปิดสนิทเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป



ก.



ข.

ภาพที่ 3.1 ก) การล้างภาชนะด้วย Detergen ข) การทำความสะอาดภาชนะด้วยเครื่องอัลตราโซนิก

3.2.2 การเตรียมตัวแทนอาหารจำลอง

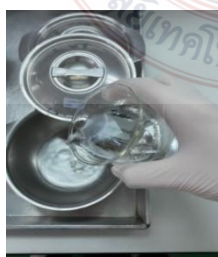
การเตรียมตัวแทนอาหารจำลอง คือกรดอะซิติกความเข้มข้น 4% ($\text{pH}=4.3\pm0.031$) โดยเตรียมจากเจือจางอะซิติกเข้มข้น 40 ml ด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1 l

3.2.3 การศึกษาการไม่เกรท

3.2.3.1 การทดสอบสภาวะการไม่เกรทของภาชนะสแตนเลส

การทดสอบที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลาย 4% acetic acid ที่เตรียมจากข้อ 3.2.2 เทใส่ในตัวอย่าง خامและกรดหลุมสแตนเลสที่ใช้ในการทดสอบ โดยเติมถึงปริมาตรความจุของแต่ละช่องของกรดหลุมหรือถ้วยภาชนะภาชนะสแตนเลส ปิดภาชนะด้วยฝาสำหรับ خام และปิดด้วยฟอล์ยอลูมิเนียมสำหรับภาชนะชนิดกรด เมื่อครบเวลาที่กำหนดแบ่งใส่หลอด Conical tube จำนวน 50 ml

การทดสอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำสารละลาย 4% acetic acid ที่เตรียมจาก 3.2.2 นำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิจนอุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 70 °C เทใส่ในตัวอย่าง خامและกรดหลุมสแตนเลสที่ใช้ในการทดสอบ โดยเติมถึงปริมาตรความจุของแต่ละช่องของกรดหลุมหรือถ้วยภาชนะภาชนะสแตนเลส ปิดภาชนะด้วยฝาสำหรับ خام และปิดด้วยฟอล์ยอลูมิเนียมสำหรับภาชนะชนิดกรดหลุม เมื่อครบเวลาที่กำหนดแบ่งใส่หลอด Conical tube จำนวน 50 ml

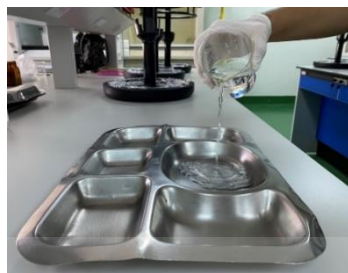


ก.



ข.

ภาพที่ 3.2 ก) การเทสารละลาย 4% acetic acid ใส่ภาชนะ خامสแตนเลส ข) การปิดภาชนะด้วย ฝาสำหรับ خام



ก.



ข.

ภาพที่ 3.3 ก) การเทสารละลาย 4% acetic acid ใส่ภาชนะชนิดถาดหลุม ข) การปิดภาชนะด้วยฟอลียอลูมิเนียมสำหรับภาชนะชนิดถาดหลุม

3.2.4 การศึกษาการไมเกรทโดยรวมในตัวแทนอาหาร (Overall Migration)

นำชำมะระเหยมาล้างทำความสะอาดและผึ่งให้แห้ง จากนั้นอบชำมะระเหยที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและบันทึกปฏิบัติตามขั้นตอนนี้จนกว่าจะได้น้ำหนักถ่วงคงที่ (โดยมีค่าความแตกต่างของน้ำหนักที่ได้ไม่เกิน 0.5 mg) ห้ามจับชำมะระเหยที่อบแล้วด้วยมือเปล่า ให้ใช้ tong หรือ สวมถุงมือที่สะอาด

จากนั้นนำสารละลายละลาย 4% acetic acid ที่ผ่านการทดสอบอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดในภาชนะสแตนเลสในข้อ 3.2.3.1 ปริมาตร 200 ml มาใส่ในชำมะระเหยครึ่งละ 150 ml และนำไประเหยในอ่างต้มน้ำร้อน (ดังภาพที่ 3.4) เมื่อสารละลายระเหยหมดแล้ว นำถ้วยไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเก็บในโถดูดความชื้นจนอุณหภูมิลดลงเท่าอุณหภูมิห้อง นำมาบันทึกน้ำหนัก แสดงดังภาพที่ 3.4 จากนั้นนำน้ำหนักของชำมะระเหยที่บันทึกได้ก่อนและหลังการทดสอบมาหาความแตกต่าง และเทียบกับพื้นที่ผิวของตัวอย่างโดยใช้สมการที่ (2)

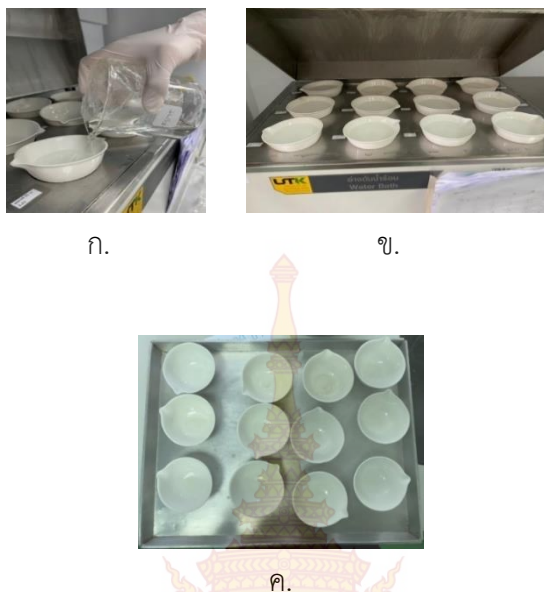
$$\text{ปริมาณโลหะหนักที่เหลือจากการระเหย (mg/cm}^2\text{)} = \frac{(a-b) \times 1000}{V} \times S \quad (2)$$

โดย a คือ ค่าน้ำหนักหลังทดสอบของชำมะระเหย (g)

b คือ ค่าน้ำหนักเริ่มต้นของชำมะระเหย (g)

V คือ ปริมาตรของ food simulant ที่ใช้ระเหย (l) เช่น 0.2 L (200 ml)

S คือ พื้นที่ผิวของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (cm^2)



ภาพที่ 3.4 ก) การเทตัวอย่างลงในขามระเหย ข) การระเหยสารละลายตัวอย่างบนอ่างต้มน้ำร้อน ค) สารละลายตัวอย่างระเหยหมด

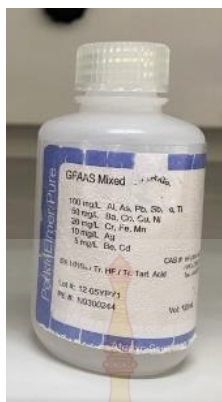
3.2.5 การศึกษาการไม่เกรทของเหล็ก โครเมียม นิกเกิล แบบเฉพาะเจาะจง โดยใช้เครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer (GF-AAS)

3.2.5.1 การเตรียมสารมาตรฐานของโลหะแต่ละชนิด

1) เตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็ก (Fe) เตรียมสารละลายมาตรฐานจาก stock solution ที่มีความเข้มข้น 20 ppm โดยนำมาเจือจางให้มีความเข้มข้นสุดท้าย 1, 2, 5, 10, 20 ppb เพื่อทำกราฟมาตรฐาน

2) เตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) เตรียมสารละลายมาตรฐานจาก stock solution ที่มีความเข้มข้น 20 ppm โดยนำมาเจือจางให้มีความเข้มข้นสุดท้าย 1, 2, 5, 10, 20 ppb เพื่อทำกราฟมาตรฐาน

3) เตรียมสารละลายมาตรฐานนิกเกิล (Ni) เตรียมสารละลายมาตรฐานจาก stock solution ที่มีความเข้มข้น 50 ppm โดยนำมาเจือจางให้มีความเข้มข้นสุดท้าย 1, 5, 10, 25, 50 ppb เพื่อทำกราฟมาตรฐาน



ภาพที่ 3.5 สารละลายมาตรฐาน GF-AAS Mixed

3.2.5.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

การเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ธาตุหลัก โครเมียม นิกเกิล ปริมาณน้อย ๆ จะมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อย่อยตัวอย่าง ดังนี้

1) ไมโครปิเปตดูดตัวอย่าง 240 μL หรือ 0.2 ml ใส่ vessel ขนาด 100 ml แสดงดังภาพที่ 3.6

2) เติมกรดไนตริก (HNO_3) จำนวน 9 ml และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จำนวน 3 ml

3) ปิดด้วย Cover และ Vessel cover with thread แสดงดังภาพที่ 3.7 จากนั้นนำไปใส่ Rotor MAXI-44 และนำเข้าเครื่อง Microwave Digestion โดยปรับตั้งอุณหภูมิ 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตั้งอุณหภูมิ 180 $^{\circ}\text{C}$ เวลา 15 นาที

ขั้นตอนที่ 2 ตั้งอุณหภูมิ 180 $^{\circ}\text{C}$ เวลา 10 นาที

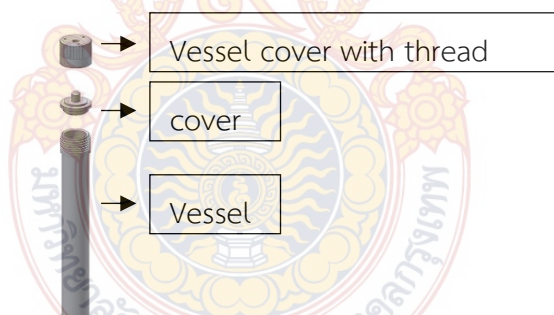
4) เมื่อเครื่องมีอุณหภูมิต่ำกว่า 80 $^{\circ}\text{C}$ ให้ทำการเปิดเครื่อง เพื่อเอา Rotor MAXI-44 ออกจากเครื่อง แสดงดังภาพที่ 3.8 นำ Vessel ออกจาก Rotor ทำความสะอาดภายในเครื่องโดยใช้ผ้าชุบน้ำหมาด ๆ เช็ดทำความสะอาดเครื่อง และ Rotor

5) ทำการชั่งน้ำหนัก Conical tube นำตัวอย่างจาก Vessel เทใส่ Conical tube แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI Type I เป็น 50 ml แสดงดังภาพที่ 3.9 จากนั้นชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แล้วเก็บตัวอย่างภายใต้อุณหภูมิที่ 5 $^{\circ}\text{C}$ เพื่อรอทำการทดสอบ

6) นำไปวัดปริมาณธาตุเหล็ก โคโรเมียม และนิกเกิลด้วยเครื่อง graphite furnace atomic absorption spectrometer (GF-AAS)



ภาพที่ 3.6 การใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างใส่ลงใน vessel



ภาพที่ 3.7 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการย่อยตัวอย่าง

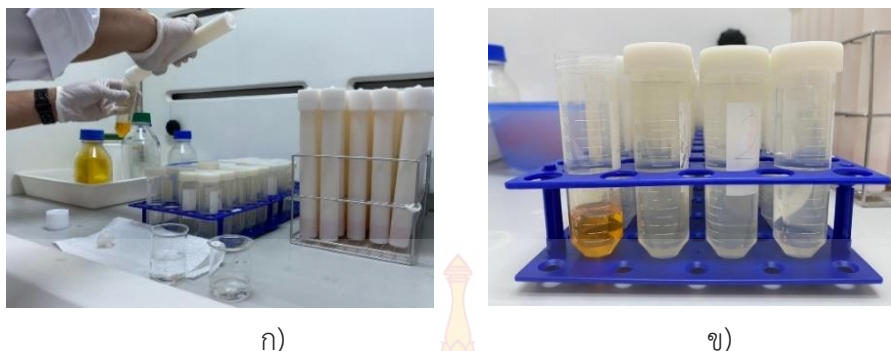


ก)



ข)

ภาพที่ 3.8 ก) การเปิดเครื่อง หลังจากการทำงานของเครื่องเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ข) การนำ Rotor MAXI-44 ออกจากเครื่อง



ภาพที่ 3.9 ก) การนำตัวอย่างจาก Vessel เทใส่ Conical tube ข) การปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI Type I เป็น 50 ml

3.2.5.3. การเตรียมความพร้อมของเครื่อง GF-AAS

การเตรียมความพร้อมของเครื่อง graphite furnace atomic absorption spectrometer (GF-AAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น AAnalyst 880 ต่อกับ auto-sampler รุ่น AS-800 โดยทำการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องให้พร้อมใช้งานก่อนการวิเคราะห์ทุกครั้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ตรวจสอบพื้นที่ทำงาน ต้องปราศจากสารที่มีอันตรายอยู่ใกล้ๆ
- 2) ตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้
 - อุปกรณ์ควบคุมความดันแก๊สอาร์กอน (pressure regulator) ปรับไว้ที่ประมาณ 70 psi ซึ่งเป็นความดันที่เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องมือ
 - ปั่นลม ตรวจสอบว่าทำงานปกติ
 - ระบบดูดควัน (exhaust system) เปิดเครื่อง และตรวจสอบการทำงานที่ปกติ โดยอาจ ใช้ทิชชูแผ่นบาง หรือ คิวบิตจุบจอบบริเวณปากปล่องดูดควันว่ามีการดูดหรือไม่
 - ระบบน้ำหล่อเย็น (water cooling) อุณหภูมิของน้ำปรับไว้ที่ 20 °C แรงดันน้ำ 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (หรือ 200 KPa) อัตราการไหลของน้ำปรับไว้ที่ 1.5 ถึง 2.0 ลิตรต่อนาที
- 3) ตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่อง auto-sampler อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน นำขวดพลาสติกที่ใส่น้ำ DI type I ที่ใช้สำหรับทำความสะอาดสายน้ำตัวอย่าง (rinse solution) และขวดทิ้งสารละลายของเสีย (waste solution) มาสวมติดกับชุดป้อนตัวอย่าง

4) ดำเนินการเปิดเครื่อง GF-AAS ตามหนังสือคู่มือการใช้งานเครื่อง (แสดงดังภาพผนวก จ) เมื่อดำเนินการเปิดเครื่องแล้วให้ตรวจสอบแถบสถานะแสดงความพร้อมในการทำงานของเครื่องมือ ทำการ warm lamp ไว้ รอจนกว่า Energy คงที่ ซึ่งเป็นสถานะที่พร้อมใช้งาน

5) กำหนดค่าและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบในโปรแกรมควบคุมเครื่องมือและอุปกรณ์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และ 3.2

3.2.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุทองคำด้วยเครื่อง GF-AAS หลังจากสร้าง work sheet กำหนดสถานะของเครื่อง และพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วทำการวิเคราะห์เหล็ก โครเมียม นิกเกิลดังนี้

- 1) นำสารละลาย blank วัดค่าการดูดกลืนแสง
- 2) นำสารละลายมาตรฐานเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล ความเข้มข้นระหว่าง 1–50 µg/l ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นเครื่องจะทำการประมวลผลสร้างกราฟมาตรฐาน
- 3) นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียม วัดค่าการดูดกลืนแสง เครื่องจะคำนวณค่าความเข้มข้นของเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล ในตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐาน จะได้ปริมาณเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล ในตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

4) นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาคำนวณปริมาณโลหะหนัก ดังสมการที่ 3

$$\text{ปริมาณโลหะหนัก } (\mu\text{g} / \text{cm}^2) = M_t \times (B/V) \times M_b \quad (3)$$

เมื่อ M_t คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักจาก test portion (µg/l)

M_b คือ พื้นที่สัมผัสอาหารตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (cm²)

B คือ ปริมาตรสุดท้ายของตัวอย่าง (Final volume, ml)

V คือ ปริมาตรของสารละลาย (original volume, ml)

ตารางที่ 3.1 สภาวะและข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบธาตุเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล
ด้วยเครื่อง GF-AAS

สภาวะของเครื่อง GF-AAS	รายการ		
	เหล็ก	โครเมียม	นิกเกิล
Instrument mode	Absorbance	Absorbance	Absorbance
Calibration mode	Concentration	Concentration	Concentration
Measurement mode	Peak Area	Peak Area	Peak Area
Slit width	0.2	0.7	0.2
Wavelength (nm)	248.23	357.87	232
Calibration Equation	Linear through zero	Linear through zero	Linear through zero
Sample introduction	Sampler premixed	Sampler premixed	Sampler premixed
Sample volume (µl)	20	20	20
Matrix Modifiers (µl)	0.015 mg Mg(NO ₃) ₂	0.015 mg Mg(NO ₃) ₂	-
Background correction	On (Zeeman- Effect)	On (Zeeman- Effect)	On (Zeeman- Effect)
Lamp	HCL	HCL	HCL
Characteristic Mass	12 pg/0.0044 A*s	7.0 pg/0.0044 A*s	20 pg/0.0044 A*s
Sensitivity check	20 µg/l for 0.15 A*s	10.0 µg/l for 0.15 A*s	50 µg/l for 0.15 A*s
Pretreatment Temp. (°C)	110	110	110
Pyrolysis Temp. (°C)	1300	1500	1100
Atomization Temp. (°C)	2100	2300	2300
Rollover (A)	0.7	0.7	1.60
Tube/Site	Pyro/platfrom	Pyro/platfrom	Pyro/platfrom
Range for THGA	20 – 2,600 °C	20 – 2,600 °C	20 – 2,600 °C

ตารางที่ 3.2 ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ธาตุเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล

สารละลาย	ปริมาตร (μl)	ความเข้มข้น (ppb)		
		เหล็ก	โครเมียม	นิกเกิล
Blank (DI)	20	0	0	0
STANDARD 1	20	1	1	1
STANDARD 2	20	2	2	5
STANDARD 3	20	5	3	10
STANDARD 4	20	10	5	25
STANDARD 5	20	20	10	50
SAMPLE	20	-	-	-



ก.



ข.

ภาพที่ 3.10 ก) Cup ข) เครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer (GF-AAS)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการศึกษาลักษณะการใช้งานภาชนะสแตนเลสในโรงพยาบาลต่าง ๆ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการใช้งานภาชนะสแตนเลสจากโรงพยาบาลในเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 4 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลราชบุรณะ โรงพยาบาลสุขสวัสดิ์ โรงพยาบาลตากสิน และโรงพยาบาลรามาริบัติ พบว่าภาชนะสแตนเลสที่ใช้มีความหลากหลายและแตกต่างกัน โดยมีทั้งซามสแตนเลสที่มีฝาปิดขนาด 14 และ 16 cm และมีถาดหลุมสแตนเลสทรงกลมขนาด 30 cm ทรงสี่เหลี่ยมขนาด 29.5 cm

จากการศึกษาโดยใช้แบบสอบถาม เรื่องข้อมูลทั่วไปของการใช้งานภาชนะสแตนเลสสำหรับใส่อาหารให้ผู้ป่วยจากนักวิชาการโภชนาการในแต่ละโรงพยาบาล ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าโรงพยาบาลทั้ง 4 แห่ง มีความถี่ในการใช้งานภาชนะจำนวน 3 รอบต่อวัน โดยชนิดของอาหารที่มีการบริการให้กับผู้ป่วยค่อนข้างมีความหลากหลาย ได้แก่ ต้มยำ ผัดพริกขิงหมู แกงกะทิ แกงจืด เต้าหู้ ปลานึ่ง ข้าวต้มปลา ข้าวต้ม โจ๊กหมู เป็นต้น ซึ่งอาหารต่าง ๆ นั้นมีส่วนประกอบของ กรด ไขมัน และเกลือ เป็นต้น ในขณะที่การล้างทำความสะอาดโดยมากจะมีการใช้สารทำความสะอาดประเภท น้ำยาล้างจาน ซึ่งอาจมีการล้างเบื้องต้นด้วยแรงงานคน และมีการล้างซ้ำโดยใช้เครื่องจักรในการล้าง รวมถึงมีการฆ่าเชื้อโดยการใช้น้ำร้อน และมีการอบแห้งอีกครั้งหนึ่ง

ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยที่ครอบคลุมการใช้งาน เนื่องจากในแต่ละวันการใช้ภาชนะสแตนเลสของโรงพยาบาลมีการใช้งานซ้ำ ๆ และไม่มีการเปลี่ยนภาชนะทดแทนหรือจนกระทั่งนั้นไม่สามารถใช้งานได้อีก รวมถึงมีการใช้ความร้อนทั้งการล้างทำความสะอาด รวมถึงสถานะของอาหารในการบริการ การทดสอบการไม่เกรทของโลหะจากภาชนะสแตนจึงกำหนดให้ใช้สารละลาย กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนอาหารประเภทกรดสูง ($\text{pH} = 4.63$) และมีการจำลองสถานะในการเสิร์ฟอาหารที่อุณหภูมิ $70\text{ }^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลทั่วไปของการใช้งานภาชนะสแตนเลสในโรงพยาบาล

ชนิดภาชนะ	ยี่ห้อภาชนะ	โรงพยาบาล	ขนาด โรงพยาบาล (เตียง)	ความถี่ในการใช้ งานต่อวัน	การล้างทำความสะอาด
ชาม	ห้วม้ลาย	ราษฎร์บูรณะ	120	3 ครั้ง	ล้างโดยใช้เครื่องจักร ยี่ห้อ D3800 บริษัทไทยสจ๊วต โดยใช้น้ำยาทำความสะอาด ยี่ห้อ แวร์คลีนเอส
	ห้วม้ลาย	สุขสวัสดิ์	100	2 ครั้ง	ใช้แรงงานคนล้างเบื้องต้นโดยใช้สันไคต์เป็นน้ำยาทำความสะอาด แล้วล้างต่อโดยใช้น้ำยาทำความสะอาด 2 ครั้ง และแช่น้ำร้อน 85°C จากก๊อก 5 นาที/รอบการใช้งาน
ชามและ ถาดหลุม	จากัวร์	ตากสิน	400	3 ครั้ง	ล้างโดยเครื่องล้างจาน ยี่ห้อ FAGOR โดยใช้น้ำยาทำความสะอาด ยี่ห้อ MACH DRY CLEAR
	ห้วม้ลาย	รามาริบัติ	1,000	3 ครั้ง	ใช้แรงงานคนเบื้องต้นโดยใช้สันไคต์เป็นน้ำยาทำความสะอาด แล้วล้างโดยเครื่องจักร มีน้ำยา 2 ชนิด คือ น้ำยาชะไขมันและน้ำยาอบแห้ง ภายในเครื่องล้างมีอุณหภูมิ 80°C

4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาณของอาหารตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวสัมผัสของซามและถาดหลุมสแตนเลส โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J (เวอร์ชัน 1.52a) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยซามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 และ 16 cm จะมีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอาหารทั้งหมดเท่ากับ 338.84 และ 447 cm² รวมถึงถาดหลุมสแตนเลสทรงกลมและทรงสี่เหลี่ยม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 และ 29.5 cm จะมีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอาหารทั้งหมดเท่ากับ 766.12 และ 1297.05 cm² ตามลำดับ ขณะที่ขนาดบรรจุแตกต่างกัน ข้อมูลที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบปริมาณของโลหะที่ไมเกรตต่อพื้นที่ผิวของภาชนะบรรจุ

ตารางที่ 4.2 พื้นที่ผิวและขนาดบรรจุของตัวอย่างภาชนะสแตนเลส

ชนิดของภาชนะ	เส้นผ่านศูนย์กลาง	พื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมด	ปริมาณ
สแตนเลส	(cm)	(cm ²)	(ml)
ซาม	14.0	338.84	600
ซาม	16.0	447.00	800
ถาดหลุมกลม 5 หลุม	30.0	766.12	940
ถาดหลุมสี่เหลี่ยม 6 หลุม	29.5	1297.05	1,100

4.3 ผลการศึกษาการไมเกรตโดยรวมในตัวแทนอาหาร (Overall migration)

การศึกษาการไมเกรตโดยรวมในตัวแทนอาหาร (Overall migration) ที่อุณหภูมิ 25 และ 70 °C เป็นระยะเวลา 24 และ 2 ชั่วโมง เมื่อนำมาคำนวณการไมเกรตโดยรวมของโลหะต่อพื้นที่ผิว พบว่าปริมาณการไมเกรตโดยรวม แสดงดังตารางที่ 4.3

การไมเกรตของโลหะทั้งหมดจากซามและถาดสแตนเลสของโรงพยาบาล ที่อุณหภูมิ 25 °C มีปริมาณเท่ากับ 0.0502 ± 0.0094 ถึง 0.1003 ± 0.0240 mg/cm² และ 70 °C มีค่าเท่ากับ 0.0587 ± 0.0111 ถึง 0.1405 ± 0.0350 mg/cm² ขณะที่ซามและถาดหลุมสแตนเลสที่ยังไม่ผ่านการใช้งานหรือภาชนะใหม่ มีการไมเกรตของโลหะทั้งหมดที่อุณหภูมิ 25 และ 70 °C เท่ากับ 0.0245 ± 0.0102 , 0.0190 ± 0.0052 และ 0.0260 ± 0.0052 , 0.0292 ± 0.0028 mg/cm² ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการไมเกรตของโลหะทั้งหมดจะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

($p < 0.05$) ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะกระตุ้นให้โมเลกุลของโลหะเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยเร่งให้โมเลกุลโลหะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณผิวร่วมและเกิด

ตารางที่ 4.3 ปริมาณของโลหะทั้งหมดที่มีการไม่เกรทลงสู่ตัวแทนอาหาร

ชนิดของภาชนะ	โรงพยาบาล	ปริมาณของโลหะทั้งหมดที่มีการไม่เกรท (mg/cm ²)	
		อุณหภูมิ 25 °C	อุณหภูมิ 70 °C
ชามมีฝาปิด	ราษฎร์บูรณะ	0.1003±0.0240 ^{aA}	0.1405±0.0350 ^{aB}
	สุขสวัสดิ์	0.0502±0.0094 ^{bA}	0.0587±0.0111 ^{bB}
	ตากสิน	0.0549±0.0058 ^{bA}	0.1366±0.0070 ^{aB}
	รามาริบัติ	0.0626±0.0402 ^{bA}	0.0806±0.0032 ^{bB}
	ใหม่	0.0245±0.0102 ^{bA}	0.0260±0.0073 ^{cB}
	ใหม่	0.0617±0.0128 ^{cA}	0.0635±0.0204 ^{bB}
ถาดหลุม	ตากสิน	0.0617±0.0128 ^{bA}	0.0635±0.0204 ^{cB}
	รามาริบัติ	0.0168±0.0061 ^{dA}	0.1078±0.0221 ^{bB}
	ใหม่	0.0190±0.0052 ^{dA}	0.0292±0.0028 ^{bB}

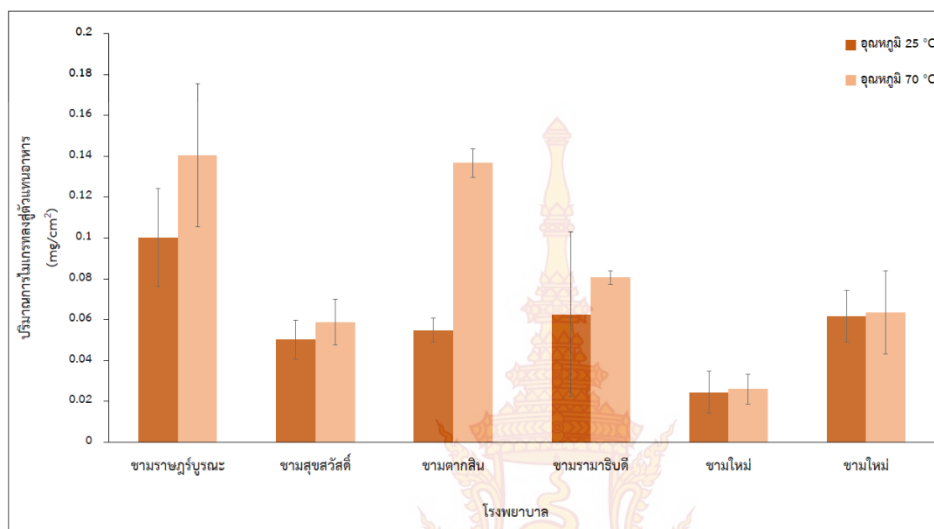
หมายเหตุ ^{a, b, c} อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

^{A, B, C} อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

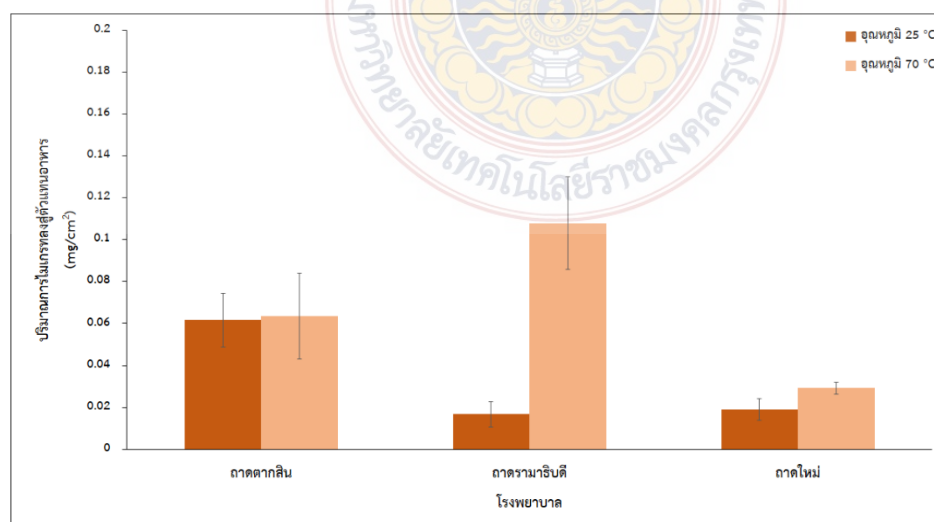
การไม่เกรทลงสู่ตัวแทนอาหารได้เพิ่มมากขึ้น และภาชนะสแตนเลสจากโรงพยาบาลมีปริมาณการไม่เกรทของโลหะทั้งหมดสูงกว่าภาชนะที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน เนื่องจาก โครเมียมรวมกับออกซิเจนจะเกิดเป็นโครเมียมออกไซด์ มีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ๆ ของโครเมียมเคลือบผิวไว้

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตัวอย่างภาชนะสแตนเลสของโรงพยาบาล และภาชนะสแตนเลสที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน พบว่า ภาชนะสแตนเลสของแต่ละโรงพยาบาลมีปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่มีการไม่เกรทลงสู่ตัวแทนอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (แสดงดัง

ภาพที่ 4.1 และ 4.2) โดย خامสแตนเลสที่อุณหภูมิ 25 °C โรงพยาบาลราชบุรีบุรณะ มีการไมเกรทมากที่สุดเท่ากับ $0.1003 \pm 0.0240 \text{ mg/cm}^2$ รองลงมาคือโรงพยาบาลรามาริบัติ มีการไมเกรท



ภาพที่ 4.1 แสดงปริมาณของโลหะทั้งหมดที่มีการไมเกรทลงสู่ตัวแทนอาหารจาก خامสแตนเลส



ภาพที่ 4.2 แสดงปริมาณของโลหะทั้งหมดที่มีการไมเกรทลงสู่ตัวแทนอาหารจาก ถาดสแตนเลส

เท่ากับ $0.0626 \pm 0.0402 \text{ mg/cm}^2$ รองลงมาคือโรงพยาบาลตากสิน มีการไม่เกรทเท่ากับ $0.0549 \pm 0.0058 \text{ mg/cm}^2$ และโรงพยาบาลสุขสวัสดิ์ มีการไม่เกรทเท่ากับ $0.0502 \pm 0.0094 \text{ mg/cm}^2$ ตามลำดับ รวมถึงภาคหลุมสแตนเลสที่อุณหภูมิ 25°C โรงพยาบาลตากสิน มีการไม่เกรทมากที่สุด เท่ากับ $0.0617 \pm 0.0128 \text{ mg/cm}^2$ และโรงพยาบาลรามาริบัติ มีการไม่เกรทเท่ากับ $0.0168 \pm 0.0061 \text{ mg/cm}^2$ ตามลำดับ ส่วนขามสแตนเลสที่อุณหภูมิ 70°C โรงพยาบาลราชบุรีรณะ มีการไม่เกรทมากที่สุดเท่ากับ $0.1405 \pm 0.0305 \text{ mg/cm}^2$ รองลงมาคือโรงพยาบาลตากสิน มีการไม่เกรทเท่ากับ $0.1366 \pm 0.0070 \text{ mg/cm}^2$ รองลงมาคือโรงพยาบาลรามาริบัติ มีการไม่เกรทเท่ากับ $0.0806 \pm 0.0032 \text{ mg/cm}^2$ และโรงพยาบาลสุขสวัสดิ์ มีการไม่เกรทเท่ากับ $0.0587 \pm 0.0111 \text{ mg/cm}^2$ ตามลำดับ รวมถึงภาคหลุมสแตนเลสที่อุณหภูมิ 70°C โรงพยาบาลรามาริบัติ มีการไม่เกรทมากที่สุด เท่ากับ $0.1078 \pm 0.0221 \text{ mg/cm}^2$ และโรงพยาบาลตากสิน มีการไม่เกรทเท่ากับ $0.0635 \pm 0.0204 \text{ mg/cm}^2$ ตามลำดับ

ความถี่ในการใช้งานของภาชนะสแตนเลสในแต่ละวัน (แสดงดังตารางที่ 4.1) พบว่า ภาชนะสแตนเลสที่มีความถี่ในการใช้งาน 3 รอบต่อวัน พบปริมาณโลหะหนักที่สูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความถี่ในการใช้งานภาชนะสแตนเลสเป็นปัจจัยที่สามารถทำให้โลหะหนักมีการไม่เกรทลงสู่อาหารได้ ในการทดลองได้รายงานในหน่วย mg/cm^2 โดยปกติแล้วในธรรมชาติจะมีปริมาณแร่ธาตุ ต่าง ๆ รวมทั้งโลหะหนักอยู่ในปริมาณที่พืช สัตว์ สามารถทนต่อความเป็นพิษได้ หรือไม่เป็นอันตรายร้ายแรง (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา)

4.4 ผลการศึกษาการไม่เกรทของเหล็ก นิกเกิล และโครเมียม แบบวิธีเฉพาะเจาะจง โดยใช้เครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer (GF-AAS)

4.4.1 การทดสอบประเมินวิธีวิเคราะห์ว่ามีความเหมาะสม (method validation)

เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก โครเมียม และนิกเกิลปริมาณน้อย ด้วยเครื่อง graphite furnace atomic absorption spectrometer (GF-AAS) ได้ทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ (method validation) เพื่อเป็นการยืนยันถึงคุณภาพระดับความน่าเชื่อถือของวิธีทดสอบตามวัตถุประสงค์หรือตามมาตรฐานที่กำหนด โดยทดสอบการวัดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้นต่าง เพื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นความสัมพันธ์เชิงเส้น

พบว่าผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้น (linearity) จากการทดสอบวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเหล็ก โครเมียม นิกเกิล ที่มีความเข้มข้นระหว่าง 1-50 µg/l นำมาสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสง และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อศึกษาความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 4.4-4.6 และภาพที่ 4.3-4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้น จากค่าการดูดกลืนแสงที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก

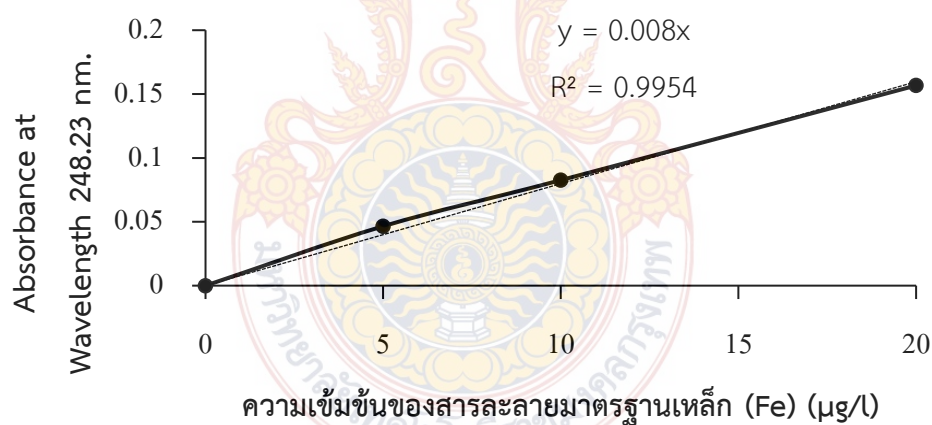
ชนิด	ค่าความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน (µg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)	R - Squared
Blank (DI)	0	0	0.9954
STANDARD 1	1	-	
STANDARD 2	2	-	
STANDARD 3	5	0.0465	
STANDARD 4	10	0.0826	
STANDARD 5	20	0.1567	

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้น จากค่าการดูดกลืนแสงที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานโครเมียม

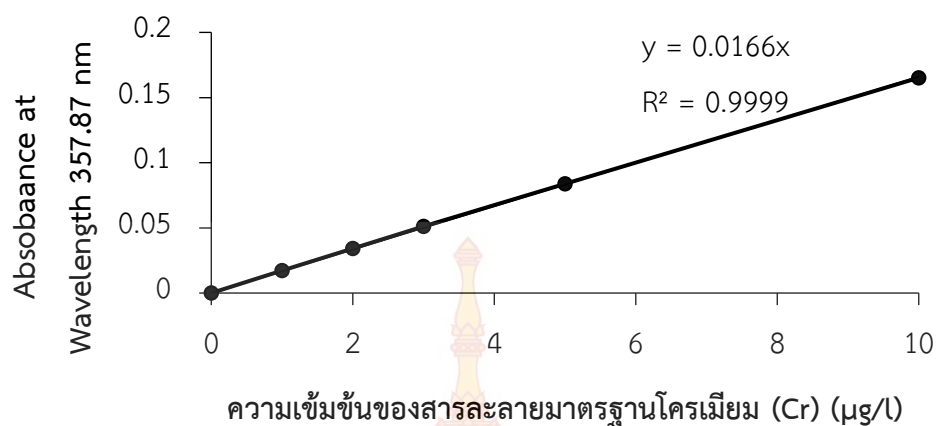
ชนิด	ค่าความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน (µg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)	R - Squared
Blank (DI)	0	0	0.9998
STANDARD 1	1	0.0172	
STANDARD 2	2	0.0341	
STANDARD 3	3	0.0516	
STANDARD 4	5	0.0837	
STANDARD 5	10	0.1652	

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้น จากค่าการดูดกลืนแสงที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก

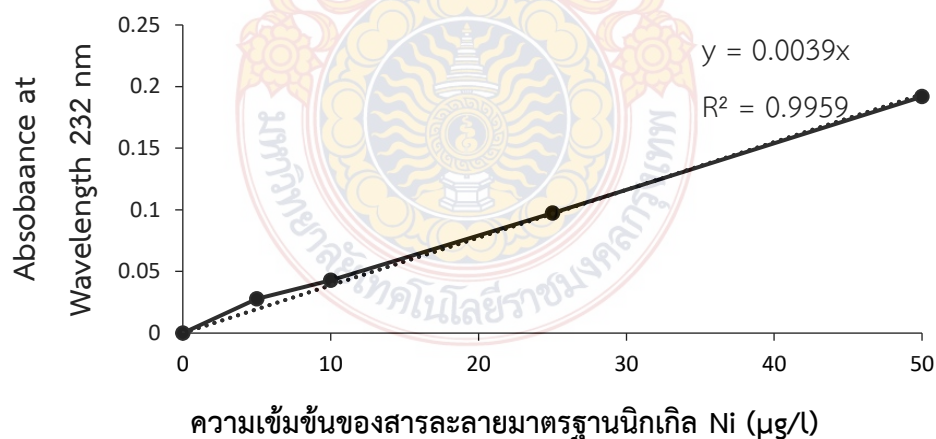
ชนิด	ค่าความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน ($\mu\text{g/L}$)	ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)	R - Squared
Blank (DI)	0	0	
STANDARD 1	5	0.0279	
STANDARD 2	10	0.0429	0.9959
STANDARD 3	25	0.0973	
STANDARD 4	50	0.1918	



ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก



ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโครเมียม



ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานนิกเกิล

จากกราฟความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก นิกเกิล และโครเมียม เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (correlation determination หรือ R-square; R^2) ได้เท่ากับ 0.9954, 0.9959 และ 0.9998 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากราฟมีความเป็นเส้นตรงสามารถนำไปใช้ในการทดสอบได้ตลอดช่วงความเป็นเส้นตรงนั้น

การทดสอบความถูกต้องของวิธีหาปริมาณเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล ที่มีการไม่เกรทจากภาชนะสแตนเลสที่ผ่านการใช้งานของโรงพยาบาลและที่ยังไม่ผ่านการใช้งานจากร้านค้า โดยใช้ GF-AAS พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความเข้มข้นของเหล็ก นิกเกิล และโครเมียม มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงตลอดช่วงความเข้มข้นดังนี้ เหล็ก 0-20 $\mu\text{g/l}$ นิกเกิล 0-50 $\mu\text{g/l}$ และโครเมียม 0-10 $\mu\text{g/l}$ ช่วงความเข้มข้นที่ได้นี้ถูกนำมาใช้เป็นช่วงการวัดปริมาณของโลหะทั้ง 3 ชนิด

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก นิกเกิล และโครเมียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก นิกเกิล และโครเมียม จากภาชนะสแตนเลสในโรงพยาบาลและภาชนะสแตนเลสที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ทั้งหมดจำนวน 8 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 โดยปริมาณการไม่เกรทของธาตุเหล็กอยู่ในช่วง 2 ถึง 7 $\mu\text{g/cm}^2$ ธาตุนิกเกิลอยู่ในช่วง 0 ถึง 7 $\mu\text{g/cm}^2$ และธาตุโครเมียมอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 $\mu\text{g/cm}^2$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการไม่เกรทของธาตุเหล็กมีปริมาณมากที่สุดเนื่องจากในภาชนะสแตนเลสเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักรวมกับโลหะชนิดอื่น ๆ เช่น นิกเกิล และโครเมียม เป็นต้น โดยมีอัตราส่วนแตกต่างกันตามคุณสมบัติเชิงกล

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณการไม่เกรทของธาตุเหล็ก โดยปริมาณการไม่เกรทของธาตุเหล็กที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าเท่ากับ 5.2404 ± 0.727 , 4.6965 ± 0.068 , 4.5915 ± 0.072 , 6.2376 ± 0.962 , 5.0668 ± 0.584 , 4.3207 ± 0.038 และ 2.3779 ± 0.427 $\mu\text{g/cm}^2$ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.1915 ± 0.7531 และ 3.3493 ± 1.3737 $\mu\text{g/cm}^2$ และที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าเท่ากับ 6.7128 ± 0.4558 , 4.9197 ± 0.1701 , 4.8714 ± 0.039 , 7.1411 ± 0.6757 , 6.0672 ± 0.7722 , 2.3770 ± 0.0751 และ 2.7879 ± 0.1191 $\mu\text{g/cm}^2$ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.3603 ± 2.0365 และ 2.5824 ± 0.2905 $\mu\text{g/cm}^2$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการไม่เกรทของธาตุเหล็กจะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 4.6-4.9 ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เบื้องต้นโดยวิธีโดยรวม แต่โรงพยาบาลตากสินเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการไม่เกรทของธาตุเหล็กจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เบื้องต้นโดยวิธีโดยรวม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาชนะโรงพยาบาลกับภาชนะที่ยังไม่ผ่านการใช้งานพบว่า ปริมาณการไม่เกรทของธาตุเหล็กจากภาชนะโรงพยาบาลมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าภาชนะที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ซึ่งที่อุณหภูมิ

25 °C มีค่าเท่ากับ 5.0668 ± 0.584 และ $3.2996 \pm 0.223 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ และที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าเท่ากับ 6.0672 ± 0.7722 และ $3.5638 \pm 0.1539 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ปริมาณการไมเกรทของธาตุเหล็กที่อุณหภูมิ 25 และ 70 °C

ชนิดตัวอย่าง	โรงพยาบาล	ปริมาณของเหล็กที่มีการไมเกรทลงสู่ ตัวแทนอาหาร ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
		อุณหภูมิ 25 °C	อุณหภูมิ 70 °C
ขามมีฟ้าปิด	ราชบุรีบูรณะ	5.2404 ± 0.727^{bA}	6.7128 ± 0.4558^{aB}
	สุขสวัสดิ์	4.6965 ± 0.068^{cA}	4.9197 ± 0.1701^{cB}
	ตากสิน	4.5915 ± 0.072^{cA}	2.6680 ± 3.0498^{cB}
	รามาริบดี	6.2376 ± 0.962^{aA}	7.1411 ± 0.6757^{aB}
	ใหม่	5.0668 ± 0.584^{bA}	6.0672 ± 0.7722^{bB}
ถาดหลุม	ตากสิน	4.3207 ± 0.038^{cA}	2.3770 ± 0.0751^{cB}
	รามาริบดี	2.3779 ± 0.427^{cA}	2.7879 ± 0.1191^{cB}
	ใหม่	3.2996 ± 0.223^{cA}	3.5638 ± 0.1539^{cB}

หมายเหตุ ^{a, b, c} อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ (p<0.05)

^{A, B, C} อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ (p<0.05)

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณการไมเกรทของธาตุเหล็ก โดยปริมาณการไมเกรทของธาตุเหล็กที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าเท่ากับ 0.7247 ± 0.164 , 0.5510 ± 0.1215 , 7.0254 ± 7.7225 , 0.9858 ± 0.1643 , 3.1941 ± 3.6599 และ $0.4218 \pm 0.2708 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.3217 ± 3.14087 และ $1.80795 \pm 1.9603 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ และที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าเท่ากับ 6.0311 ± 7.6849 , 0.4007 ± 0.2168 , 0.6645 ± 0.8959 , 2.4226 ± 3.0142 , 1.1647 ± 0.9020 และ $1.6019 \pm 0.2019 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.3797 ± 2.5944 และ $1.3833 \pm 0.3091 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการไมเกรทของธาตุเหล็กจะเพิ่มมากขึ้นอย่างมี

นัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 4.6-4.9 ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เบื้องต้นโดยวิธีโดยรวม แต่โรงพยาบาลตากสินเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการไมเกรทของธาตุ निकิลจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เบื้องต้นโดยวิธีโดยรวม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาชนะโรงพยาบาลกับภาชนะที่ยังไม่ผ่านการใช้งานพบว่า ปริมาณการไมเกรทของธาตุ निकิลจากภาชนะโรงพยาบาลมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าภาชนะที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ซึ่งที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าเท่ากับ 0.5916 ± 0.2013 และ $0.2204 \pm 0.0477 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ และที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าเท่ากับ 2.2323 ± 0.1774 และ $0.7321 \pm 0.1631 \mu\text{g}/\text{cm}^2$

ตารางที่ 4.8 ปริมาณการไมเกรทของธาตุ निकิลที่อุณหภูมิ 25 และ 70 °C

ชนิดตัวอย่าง	โรงพยาบาล	ปริมาณของนิกเกิลที่มีการไมเกรทลงสู่ ตัวแทนอาหาร ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
		อุณหภูมิ 25 °C ^{ns}	อุณหภูมิ 70 °C ^{ns}
ชามมีฝาปิด	ราชภัฏบูรณะ	0.7247 ± 0.1648	6.0311 ± 7.6849
	สุขสวัสดิ์	0.5510 ± 0.1215	0.4007 ± 0.2168
	ตากสิน	7.0254 ± 7.7225	0.6645 ± 0.8959
	รามาริบัติ	0.9858 ± 0.1643	2.4226 ± 3.0142
	ใหม่	0.5916 ± 0.2013	2.2323 ± 0.1774
ถาดหลุม	ตากสิน	3.1941 ± 3.6599	1.1647 ± 0.9020
	รามาริบัติ	0.4218 ± 0.2708	1.6019 ± 0.2019
	ใหม่	0.2204 ± 0.0477	0.7321 ± 0.1631

หมายเหตุ ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

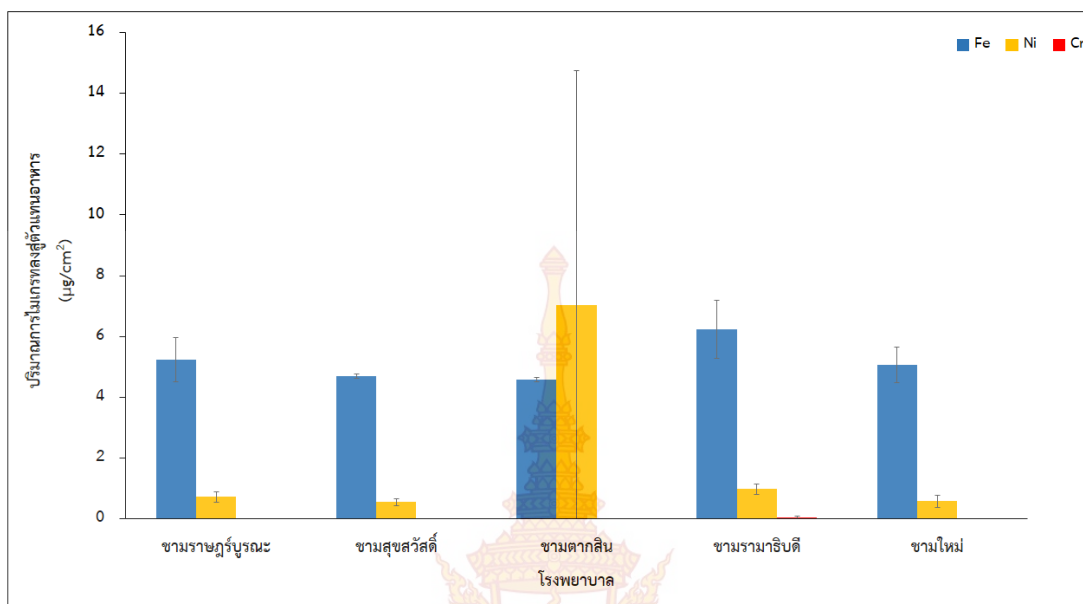
ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณการไมเกรทของธาตุโครเมียม โดยปริมาณการไมเกรทของธาตุโครเมียมที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าเท่ากับ 0.0019 ± 0.0000 , 0.0040 ± 0.0007 , 0.0003 ± 0.0016 , 0.0456 ± 0.0620 , 0.0010 ± 0.0001 และ $0.0010 \pm 0.0001 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0129 ± 0.2272 และ $0.001 \pm 0.0000 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ และที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าเท่ากับ 0.0048 ± 0.0019 , 0.0030 ± 0.0009 , 0.0024 ± 0.0005 , 0.0038 ± 0.0000 , 0.0061 ± 0.0038

และ $0.0019 \pm 0.0000 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0035 ± 0.0010 และ $0.004 \pm 0.0029 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการไมเกรทของธาตุ निकเกิลจะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 4.6-4.9 ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เบื้องต้นโดยวิธีโดยรวม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาชนะโรงพยาบาลกับภาชนะที่ยังไม่ผ่านการใช้งานพบว่า ปริมาณการไมเกรทของธาตุโครเมียมจากภาชนะโรงพยาบาลมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าภาชนะที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ซึ่งที่อุณหภูมิ 25°C มีค่าเท่ากับ 0.0029 ± 0.0015 และ $0.0321 \pm 0.0214 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ และที่อุณหภูมิ 70°C มีค่าเท่ากับ 0.0428 ± 0.0545 และ $0.0029 \pm 0.0001 \mu\text{g}/\text{cm}^2$

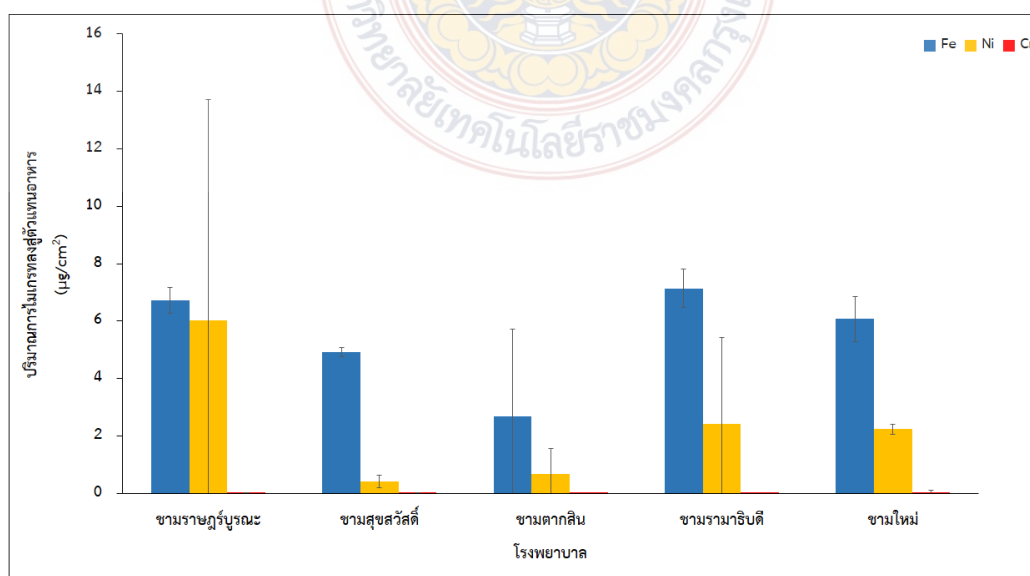
ตารางที่ 4.9 ปริมาณการไมเกรทของธาตุโครเมียมที่อุณหภูมิ 25°C และ 70°C

ชนิดตัวอย่าง	โรงพยาบาล	ปริมาณของโครเมียมที่มีการไมเกรทลงสู่ ตัวแทนอาหาร ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
		อุณหภูมิ 25°C ^{ns}	อุณหภูมิ 70°C ^{ns}
ขามมีฝาปิด	ราชภัฏบรณะ	0.0019 ± 0.0000	0.0048 ± 0.0019
	สุขสวัสดิ์	0.0040 ± 0.0007	0.0030 ± 0.0009
	ตากสิน	0.0003 ± 0.0016	0.0024 ± 0.0005
	รามาริบดี	0.0456 ± 0.0620	0.0038 ± 0.0000
	ใหม่	0.0029 ± 0.0015	0.0428 ± 0.0545
ถาดหลุม	ตากสิน	0.0010 ± 0.0001	0.0061 ± 0.0038
-	รามาริบดี	0.0010 ± 0.0001	0.0019 ± 0.0000
	ใหม่	0.0321 ± 0.0214	0.0029 ± 0.0001

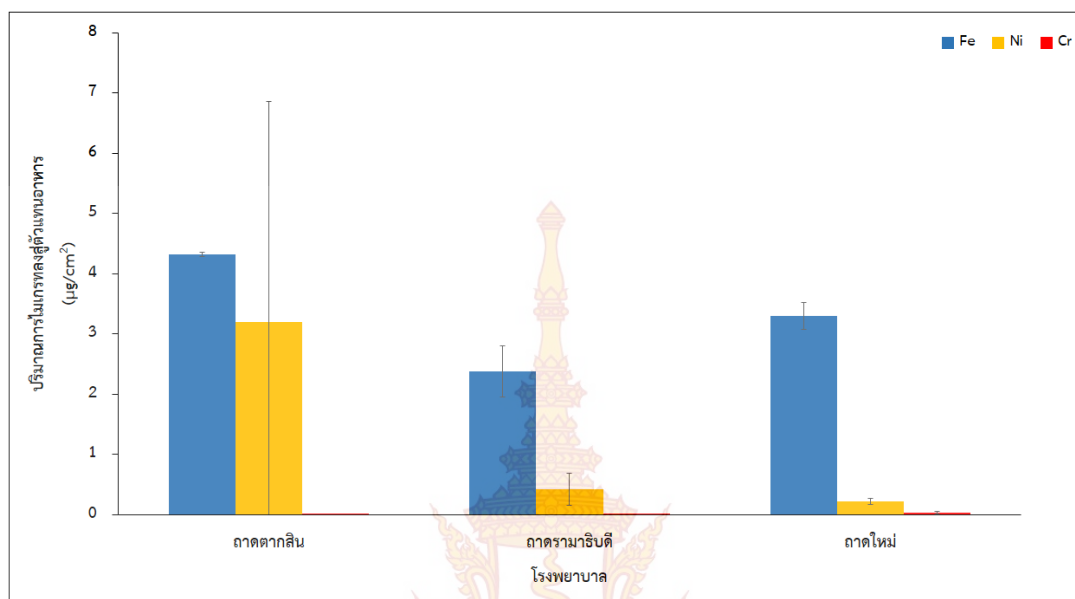
หมายเหตุ ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



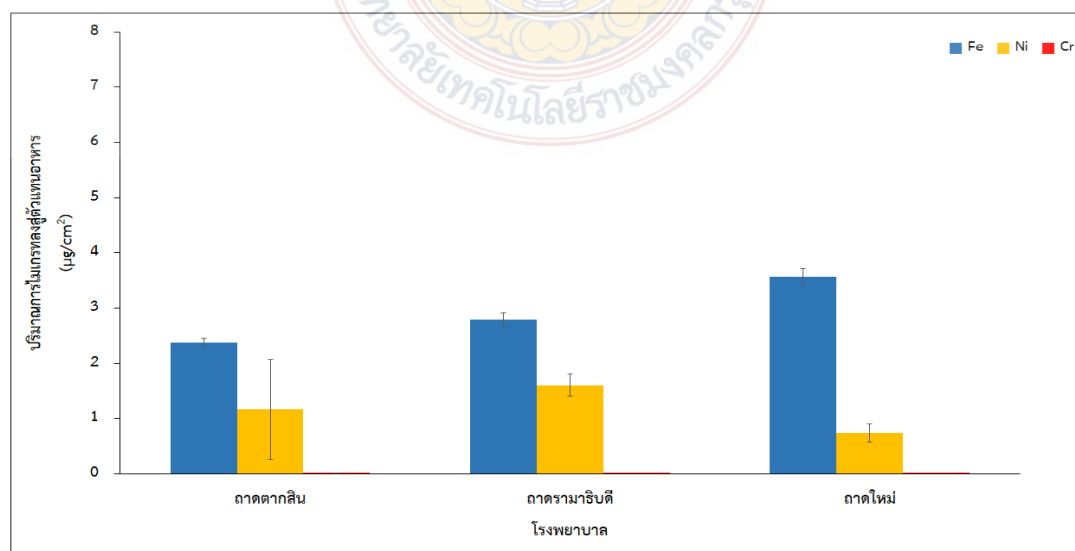
ภาพที่ 4.6 แสดงปริมาณของเหล็ก โคโรเมียม และนิกเกิล ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่มีการไม่เกรทลงสู่ตัวแทนอาหารจากขามสแตนเลส



ภาพที่ 4.7 แสดงปริมาณของเหล็ก โคโรเมียม และนิกเกิล ที่อุณหภูมิ 70 °C ที่มีการไม่เกรทลงสู่ตัวแทนอาหารจากขามสแตนเลส



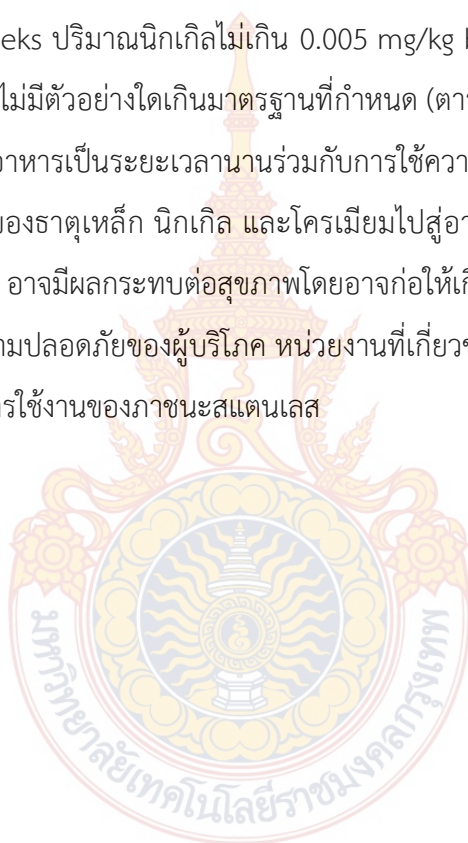
ภาพที่ 4.8 แสดงปริมาณของเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล ที่อุณหภูมิ 25 °C ที่มีการไม่เกรทลงสู่ตัวแทนอาหารจากถาดสแตนเลส



ภาพที่ 4.9 แสดงปริมาณของเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล ที่อุณหภูมิ 70 °C ที่มีการไม่เกรทลงสู่ตัวแทนอาหารจากถาดสแตนเลส

4.5 ผลการประเมินความเสี่ยงปริมาณการไม่เกรทของเหล็ก นิกเกิล และโครเมียม

การประเมินความเสี่ยงปริมาณการไม่เกรทของเหล็ก นิกเกิล และโครเมียมจากภาชนะไปสู่อาหาร ประเมินโดยเปรียบเทียบปริมาณโลหะกับปริมาณที่ร่างกายรับโดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย ซึ่ง EFSA (1997) และ JECFA (1983) ได้กำหนดปริมาณของโลหะต่อน้ำหนักตัวต่อสัปดาห์ว่า ธาตุเหล็กไม่เกิน 0.8 mg/kg b.w./weeks ปริมาณนิกเกิลไม่เกิน 0.005 mg/kg b.w. และปริมาณโครเมียมไม่เกิน 0.3 mg/kg b.w. พบว่าไม่มีตัวอย่างใดเกินมาตรฐานที่กำหนด (ตารางที่ 4.10 และ 4.11) แต่ถ้ามมีการใช้ภาชนะสแตนเลสใส่อาหารเป็นระยะเวลานานร่วมกับการใช้ความร้อนต่อเนื่อง อาจส่งผลให้มีโอกาสที่จะเกิดการไม่เกรทของธาตุเหล็ก นิกเกิล และโครเมียมไปสู่อาหารได้มากขึ้น ซึ่งหากมีการสะสมในร่างกายปริมาณมาก อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพโดยอาจก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบประสาทและผิวหนังได้ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรวางแผนอายุการใช้งาน และกำหนดความถี่ในการใช้งานของภาชนะสแตนเลส



ตารางที่ 4.10 การประเมินความเสี่ยงปริมาณการไม่เกรทของเหล็ก นิกเกิล และโครเมียมจากภาชนะสแตนเลสที่ผ่านใช้งานจากโรงพยาบาล

การบริโภคได้ประจำวัน เช่น TDI หรือ PMTDI ($\mu\text{g/kg b.w./day}$)		ค่าเฉลี่ยการไม่เกรท ($\mu\text{g/cm}^2$) ที่ อุณหภูมิ 25 °C			ค่าเฉลี่ยการไม่เกรท ($\mu\text{g/cm}^2$) ที่ อุณหภูมิ 70 °C		
		ซาม	ถาด	รวม	ซาม	ถาด	รวม
Fe	800 (PMTDI)	5.1915 ± 0.4573	3.3493 ± 0.2751	4.2704 ± 0.3662	5.3603 ± 1.3242	2.5824 ± 0.0311	3.9714 ± 0.6777
Ni	5 (TDI)	2.3217 ± 3.7862	1.8080 ± 2.3965	2.0649 ± 3.0914	2.3797 ± 3.3721	1.3833 ± 0.4950	1.8815 ± 1.9336
Cr	300 (TDI)	0.0129 ± 0.0306	0.001 ± 0.0000	0.0065 ± 0.0153	0.0035 ± 0.0008	0.0040 ± 0.0027	0.0038 ± 0.0018

ตารางที่ 4.11 การประเมินความเสี่ยงปริมาณการไม่เกรทของเหล็ก นิกเกิล และโครเมียมจากภาชนะสแตนเลสที่ยังไม่ผ่านใช้งาน

การบริโภคได้ประจำวัน เช่น TDI หรือ PMTDI ($\mu\text{g/kg b.w./day}$)		ค่าเฉลี่ยการไม่เกรท ($\mu\text{g/cm}^2$) ที่ อุณหภูมิ 25 °C			ค่าเฉลี่ยการไม่เกรท ($\mu\text{g/cm}^2$) ที่ อุณหภูมิ 70 °C		
		ซาม	ถาด	รวม	ซาม	ถาด	รวม
Fe	800 (PMTDI)	5.0668 ± 0.5840	3.2996 ± 0.2230	4.1832 ± 0.4035	6.0672 ± 0.7722	3.5638 ± 0.1539	4.8155 ± 0.4631
Ni	5 (TDI)	0.5916 ± 0.2013	0.2204 ± 0.0477	0.4060 ± 0.1245	2.2323 ± 0.1774	0.7321 ± 0.1631	1.4822 ± 0.1703
Cr	300 (TDI)	0.0029 ± 0.0015	0.0321 ± 0.0214	0.0175 ± 0.0115	0.0428 ± 0.0545	0.0029 ± 0.0007	0.0229 ± 0.0276

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปัจจัยในการเกิดการไมเกรทของโลหะทั้งหมดจากภาชนะสแตนเลสไปสู่อาหารจำลองชนิดกรดอะซิติก 4% ได้แก่ อุณหภูมิของอาหารจำลอง และอายุการใช้งานของภาชนะสแตนเลส โดยที่อุณหภูมิ 70 °C มีปริมาณการไมเกรทของโลหะทั้งหมดมากกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C ขณะที่ภาชนะโรงพยาบาลซึ่งผ่านการใช้งานแล้วจะมีปริมาณการไมเกรทของโลหะทั้งหมดมากกว่าภาชนะที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยแยกวิเคราะห์พบว่าปริมาณการไมเกรทของธาตุเหล็กมากที่สุด รองลงมาคือนิกเกิล และโครเมียม ตามลำดับ

เมื่อนำปริมาณการไมเกรทของธาตุเหล็ก นิกเกิล และโครเมียมมาทำการประเมินค่าความปลอดภัยเทียบกับปริมาณแนะนำของโลหะในอาหารที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย ซึ่งกำหนดโดย EFSA และ JECFA พบว่ายังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยและไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอายุการใช้งานภาชนะสแตนเลสที่ผ่านการใช้งาน

5.2.2 ควรจะทำการหาการไมเกรทของโลหะชนิดอื่น ๆ ด้วย เนื่องจากธาตุที่อยู่ในองค์ประกอบของสแตนเลสนั้นมีหลายชนิด

5.2.3 ควรมีการศึกษาการไมเกรทของภาชนะสแตนเลสที่ปลดปล่อยตามช่วงเวลาต่าง ๆ เพิ่มเติม

5.2.4 ควรมีการศึกษาการไมเกรทของโลหะหนักจากภาชนะสแตนเลสไปสู่อาหารจำลองชนิดอื่น ๆ เนื่องจากองค์ประกอบในอาหารของโรงพยาบาลมีความหลากหลาย

บรรณานุกรม

- กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529) เรื่อง **มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน** ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 103 ตอนที่ 23. 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2529
- การเกิดปฏิกิริยาโครเมียมออกไซด์ [ออนไลน์] สืบค้นจาก :
<http://www.westchem.ca/products/stainless-steel-pickling-and-passivation/>.
- กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และสุรัตน์ ตรีวนพงษ์. (2562) เรื่อง **การเลือกใช้ลวดหุ้มฟลักซ์ในการเชื่อมรอยต่อชนเหล็กกล้าต่างชนิด** วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 30 ฉบับที่ 2 เมษายน-มิถุนายน 2562
- กรมวิทยาศาสตร์บริการ (วศ.). (2553). **วัสดุสัมผัสอาหาร (Food contact materials)**. กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. (2556) กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข (สืบค้นเมื่อ 5 ธันวาคม 2019. เข้าถึงได้จาก
<http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/62>)
- สมาคมพัฒนาสแตนเลสไทย. **ข้อมูลสแตนเลส**. (สืบค้นเมื่อ 5 ธันวาคม 2019. เข้าถึงได้จาก
<http://www.tssda.org/index.php?actions=faqs>)
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 92 (พ.ศ.2528). เรื่อง **กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุ การใช้ภาชนะบรรจุ และการห้ามใช้วัตถุใดเป็นภาชนะบรรจุอาหาร**. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 102 ตอนพิเศษ 117 (2 ก.ย.28) หน้า 19-22. ท้ายประกาศ 4 หน้า.
- พัชรารณ สมติ. (2554). **ศึกษาการกัดกร่อนของสแตนเลสด้วยกรดแลกติกและโซเดียมคลอไรด์ที่ได้จากการหมักปลาต้ม**. (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน).
- วารสารเพื่อการพัฒนาสแตนเลส TSSDA Forward**. สมาคมพัฒนาสแตนเลสไทย. ปีที่ 16. ฉบับที่ 1. มกราคม 2560; น. 8.
- วรทรรศ ฮวดคว่น สิริพร สมุทรใหญ่ และสุพัตรา กิจแสวง. (2557). **เครื่องล้างบัตรด้วยคลื่นอัลตราโซนิก** (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. **ความรู้บรรจุภัณฑ์สำหรับกาแฟผง กาแฟสดและชา**. [ออนไลน์] สืบค้น 5 ธันวาคม 2019. เข้าถึงได้จาก <http://www.ismed.or.th>
- สุภัตรา เจริญเกษมวิทย์. **การให้บริการด้านวัสดุสัมผัสอาหารของ วศ.** กรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 62 ฉบับที่ 196 กันยายน 2557

เสรี หนูหลง. (2558) **การกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอรี่ที่มีสภาวะเป็นกรด.**

การประชุมมหาดไทยวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6 26 มิถุนายน 2558. คณะเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 92 (พ.ศ. 2528) **เรื่อง
กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุการใช้ภาชนะบรรจุและการห้ามใช้วัตถุใด
เป็นภาชนะบรรจุอาหาร.** ราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ. 2 กันยายน 2528 เล่มที่ 102 ตอน
ที่ 117 พ.ศ. 2528, หน้า 19-22 (บัญชีแนบท้าย 4 หน้า)

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 835-2531, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม:
ภาชนะโลหะเคลือบสำหรับใช้ในครัวเรือน.** กรุงเทพฯ สำนักงาน, 2531.

ศิริพัสดร์ ไชยันต์. (2552). **การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เพื่อประเมินการปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์**
น.5-8

ศศิธร หอมดำรงวงศ์. (2557). **การวิเคราะห์ตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม ที่ละลายออกมาจาก
ภาชนะหุงต้ม.** วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 58(1)

ศศิธร หอมดำรงวงศ์. (2558). **การศึกษาปริมาณโลหะที่ละลายออกมาจากภาตหลุมลงสู่อาหาร.**

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. (สืบค้นเมื่อ 5 ธันวาคม 2019. เข้าถึงได้จาก

[http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic.](http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic))

อรอุมา คำแพง. (2559) รายงานวิชาการฉบับที่ กวท 6 /2559 **เรื่อง เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุทองคำ
ปริมาณน้อยด้วยเครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer กอง
วิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี**

Avesta Sheffield Corrosion Handbook (1994). **Stainless steels for the Food Processing
Industries.** ISBN 91-630-2122-6

Bradley, EL. and Castle, L. **Residues of food contact materials.** Edited by Nollet,
LML. and Toldr, F. In Handbook of processed meats and poultry analysis. CRC
Press, 2009, p. 619-626.

Beliles, R.P. (1994). **The metals.** In: **Patty's Industrial Hygiene and Toxicology**, Fourth
edition, Volume 2, Part C. Edited by Clayton, G.D., and Clayton, F.E. John Wiley
& Sons, Inc.

- Codex Alimentarius Commission (1995). no. CX/FAC 96/17. Joint FAO/WHO food standards programme. **Codex general standard for contaminants and toxins in foods Metals and alloys used in food contact materials and articles**. A practical guide for manufacturers and regulators (2013) Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare
- Commission Regulation (Eu) No 10/2011 of 14 January 2011 on **plastic materials and articles intended to come with food**. OJ L12, 15.1.2011:1-89
- Cunat, P.-J. (1997). **Healthy eating and drinking with stainless steel**. 1st SS congress, Thailand, Dec. 1997
- R. Dalipia , L. Borgesea. (2016). **Study of metal release from stainless steels in simulated food contact by means of total reflection X-ray fluorescence**. Department of Mechanical and Industrial Engineering, via Branze 38, 25123 Brescia. University of Brescia, Italy
- EU Food Law: Regulation (EC) 178/2002 **laying down general principles and requirements of food law**, establishing the European Food Safety Authority and procedures of food safety.
- EN ISO 8442-2. European Standard. **Materials and articles in contact with foodstuffs – cutlery and table hollow-ware - Part 2**. Requirements for stainless steel and silver-plated cutlery (ISO/DIS 8442-2:1997). Final draft, May 1997.
- H. M. Kingston, S. Haswell, Microwave Enhanced Chemistry: Fundamentals, **Sample Preparation, and Applications**, ACS Professional Reference Book Series, American Chemical Society, Washington, DC 1997
- JECFA (1983). Evaluation of certain food additives and contaminants. Twenty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert **Committee on Food Additives**. World Health Organization, Technical Report Series
- Nordic Council of Ministers (1995). **Risk evaluation of essential trace elements-essential versus toxic levels of intake**. Report of a Nordic project group. Ed.: Oskarsson, A. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.
- Richard D. B and Jack D, 2002, **concepts instrumentation and Techniques in AAs: Perkin Elmer, Inc.**, p. 91

United States Environment Protection Agency. 2007. **Method 3051A Microwave Assisted acid digestion of Sediments**, Sludges, Soils and Oils. Available: www.epa.gov/osw/hazard/test_methods/sw846/pdfs/9045d.pdf, October 7, 2012.







ภาคผนวก ก

การศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของการใช้งานภาษาสแตนเลสโดยใช้แบบสอบถาม

แบบสอบถาม

เรื่อง สภาพการใช้งานของภาชนะสแตนเลสสำหรับใส่อาหารให้ผู้ป่วยในโรงพยาบาลเขต

กรุงเทพมหานคร

คำชี้แจง แบบสอบถามนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป (เติมข้อความลงในช่องว่าง)

1. ชื่อ-สกุล (ผู้ให้ข้อมูล)
2. ตำแหน่ง
3. โรงพยาบาล
4. ที่อยู่
5. ขนาดของโรงพยาบาล.....

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับสุขาภิบาลของอาหารในโรงพยาบาล

โปรดทำเครื่องหมายถูกต้องลงใน () หรือเติมข้อความลงในช่องว่าง

1. ชนิดของภาชนะสแตนเลส

- () ถาดหลุมสแตนเลส () ชามสแตนเลส

2. ประเภทของอาหารในโรงพยาบาลที่เสิร์ฟให้กับผู้ป่วย

อาหารธรรมดา (เลือกได้มากกว่า 1)

- () ข้าวต้มปลา () ผัดพริกขิงหมู () ก๋วยเตี๋ยวราดหน้าหมู () ข้าวสวย
 () ไช้ลาวก ต้ม ตุ่น เจียว () ก๋วยเตี๋ยวราดหน้าหมู () แกงเลียง () แกงจืดเต้าหู้
 () แกงกะทิ () ผัดผัก () ต้มยำ () อื่น ๆ.....

อาหารอ่อน (เลือกได้มากกว่า 1)

- () โจ๊กหมู () ก๋วยเตี๋ยวน้ำหมูสับ () แกงจืด () ของหวานไม่มีกะทิเข้มข้น
 () ผัดผักบดกับน้ำซุป () ข้าวต้ม () ปลานึ่ง () ผัดผักทองใส่ไข่
 () กลัวยสุก () มะม่วงสุก () มะละกอสุก () ส้ม

อาหารน้ำใส (เลือกได้มากกว่า 1)

- () น้ำข้าวกรอง () น้ำซุปใสไก่ () น้ำซุปใสผัก () อื่น ๆ

อาหารน้ำข้น (เลือกได้มากกว่า 1)

() น้ำข้าวชั้น () ครีมชุปไก่ () ครีมชุปมันฝรั่ง () อื่น ๆ

3. ความถี่ในการใช้งานภาชนะสแตนเลสต่อ 1 วัน (เลือกอย่างใดอย่างหนึ่ง)

() 1 ครั้ง () 2 ครั้ง () 3 ครั้ง () หรือมากกว่า.....

4. ระยะเวลาในการเปลี่ยนการใช้งานภาชนะสแตนเลส (เลือกอย่างใดอย่างหนึ่ง)

() ทุก 3-6 เดือน () ทุก ๆ 1 ปี
() ทุก ๆ 2 ปี () ทุก ๆ 3 ปี () อื่น ๆ

5. กระบวนการล้างทำความสะอาดภาชนะสแตนเลส (เลือกได้มากกว่า 1 พร้อมระบุคำตอบลงในช่องว่าง)

() ล้างโดยใช้เครื่องจักร ชื่อเครื่อง.....
() ใช้น้ำยาทำความสะอาด ชื่อน้ำยา.....
() ล้างโดยใช้น้ำสะอาด 2 ครั้ง
() อื่น ๆ

6. เมื่อล้างทำความสะอาดภาชนะสแตนเลสเสร็จ ใช้ผ้าแห้งเช็ดจะทำให้สะอาดมากขึ้น () ใช่

() ไม่ใช่

7. เมื่อล้างทำความสะอาดภาชนะสแตนเลสเสร็จ มีการอบฆ่าเชื้อ

() ใช่ (ระบุคำตอบ) () ไม่ใช่

ฆ่าเชื้อด้วยวิธีใด หรือใช้เครื่องมือชนิดใด.....

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



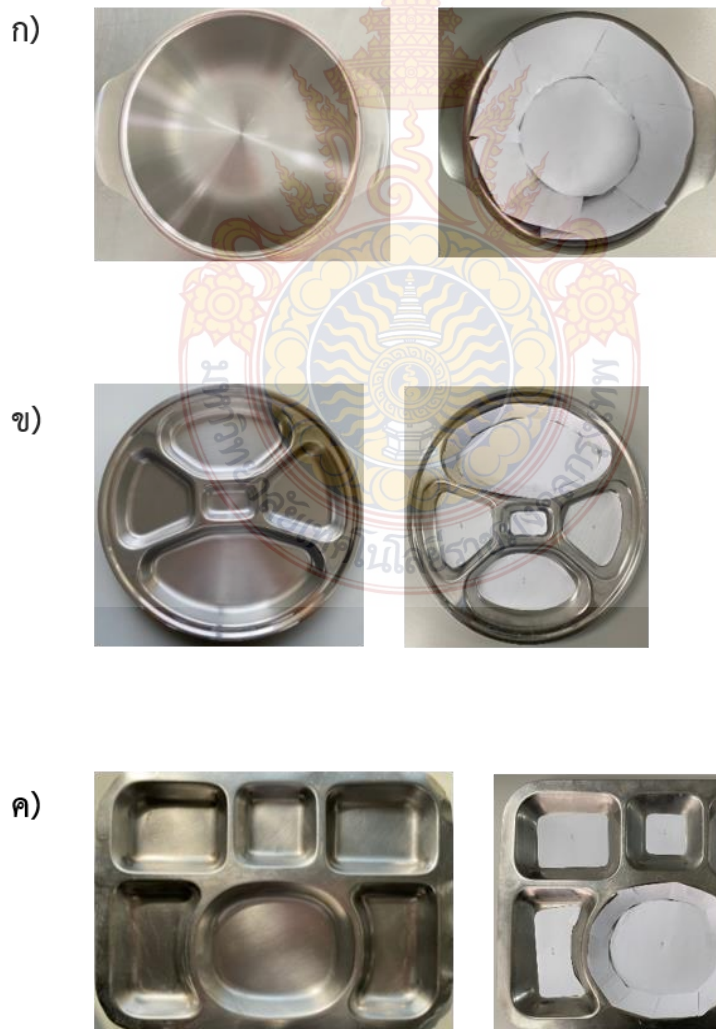
ภาคผนวก ข

การหาพื้นที่ผิวสัมผัสของภาชนะสแตนเลสโดยใช้โปรแกรม Image J

การหาพื้นที่ผิวสัมผัสของภาชนะสแตนเลสโดยใช้โปรแกรม Image J. ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

ข1 การหาพื้นที่ผิวสัมผัสของภาชนะสแตนเลส

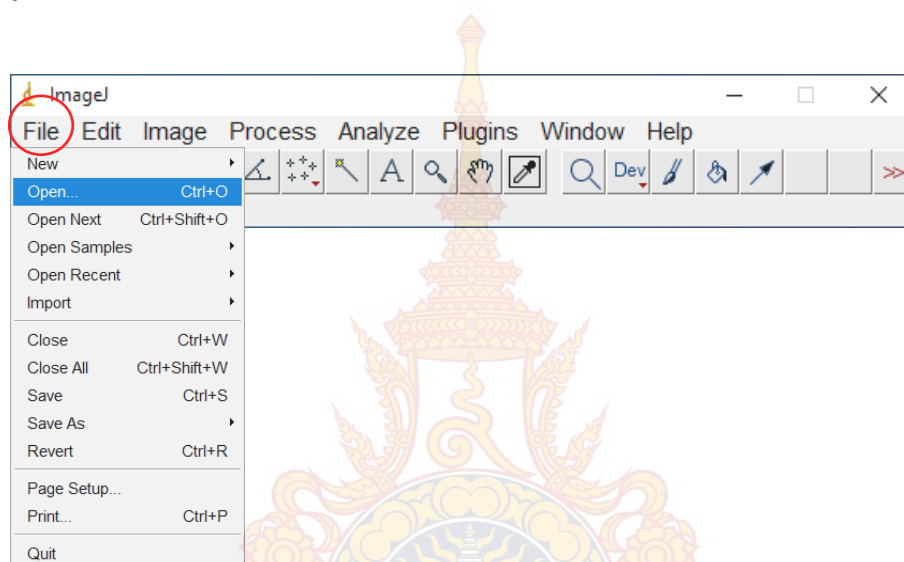
ทำโดยนำกระดาษตัดตามรอยของ خامสแตนเลสขนาด 14 และ 16 cm และถาดหลุมสแตนเลสทรงกลมและสี่เหลี่ยม โดยแบ่งการตัดกระดาษออกเป็นสองส่วนคือ ด้านข้าง และตัวฐาน เพื่อนำไปคำนวณพื้นที่ผิวของกระดาษในขั้นตอนถัดไป (ภาพผนวกที่ ข1)



ภาพผนวกที่ ข1 ตัวอย่างการตัดกระดาษเพื่อหาพื้นที่ผิวสัมผัสภาชนะสแตนเลส ก) ขามสแตนเลสขนาด 14 และ 16 cm ข) ถาดหลุม สแตนเลสทรงกลม ค) ถาดหลุม สแตนเลสทรงสี่เหลี่ยม

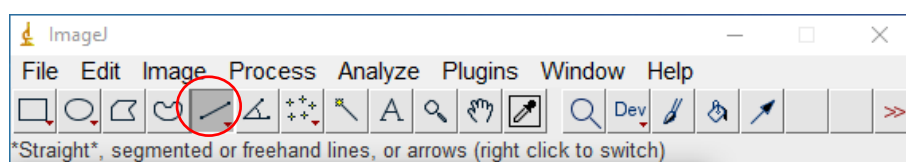
ข2 การหาพื้นที่ผิวภาพชนะด้วยโปรแกรม Image J. ทำตามขั้นตอน ดังนี้

1) เปิดโปรแกรม ImageJ เลือกแถบ File ไปที่ Open ไปที่เปิดรูปที่ต้องการหรือเปิด Folder แล้วลากรูปเข้ามาในหน้าต่างโปรแกรม



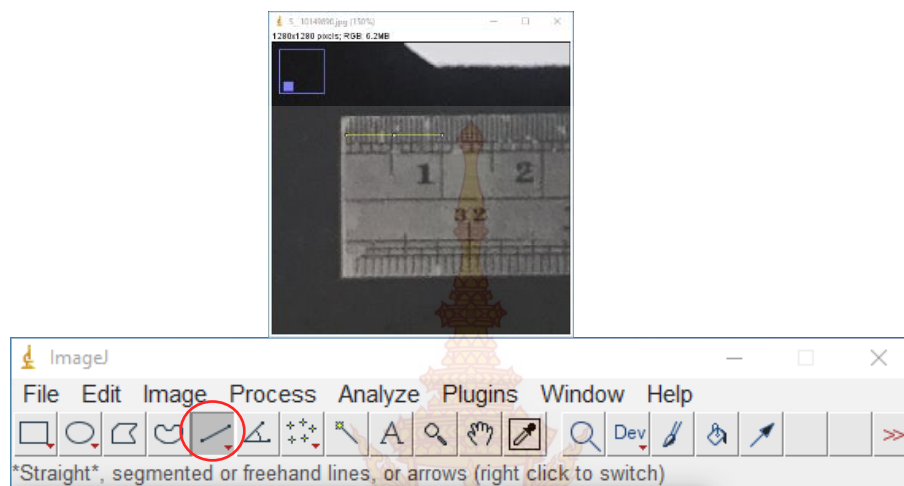
ภาพผนวกที่ ข2 การเปิดไฟล์งาน

2) จากนั้นทำการสอบเทียบ Scale โดยกดเลือกเครื่องมือเส้นตรง



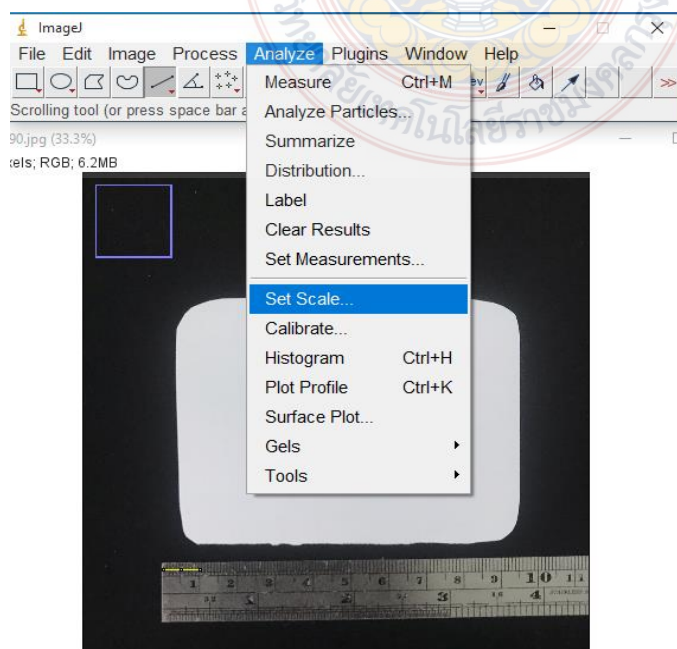
ภาพผนวกที่ ข3 การสอบเทียบ Scale

3) การลากเส้นตรงไปรูปที่เราต้องการทราบขนาดแน่นอน



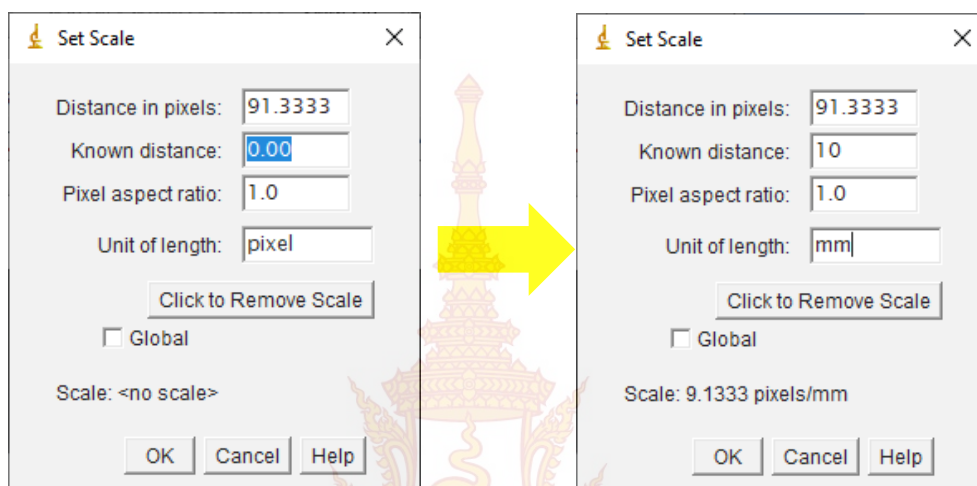
ภาพผนวกที่ ข4 การลากเส้นตรงขนาดแน่นอน

4) เมื่อได้เส้นสำหรับเทียบแล้วไปที่เมนู Analyze ไปที่ Set Sale



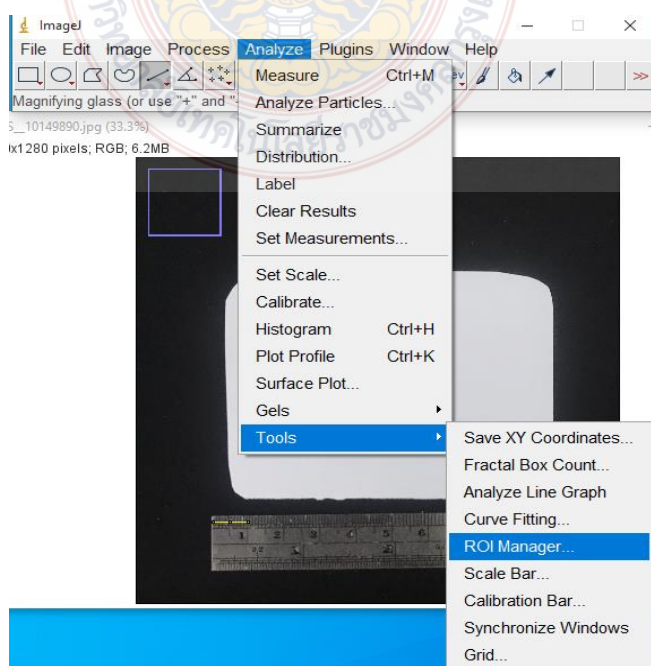
ภาพผนวกที่ ข5 การเลือกเมนู Analyze

5) เปลี่ยนข้อมูลในช่อง Know distance เป็นความยาวจริงที่เราทราบในที่นี้คือ 10 มิลลิเมตร และเปลี่ยนหน่วยของ Unit เป็น มิลลิเมตร จากนั้นกด OK



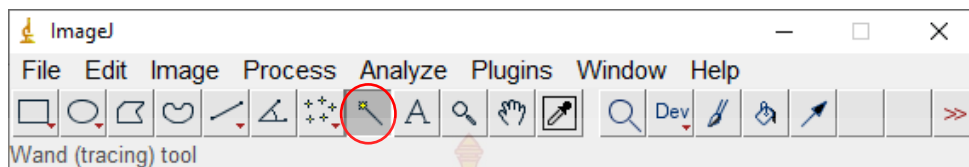
ภาพผนวกที่ ข6 การระบุความยาวที่ทราบ

6) เข้าสู่การเลือกพื้นที่ภาพเพื่อวิเคราะห์ โดยไปที่ Analyze ไปที่ Tool ไปที่ ROI Manager



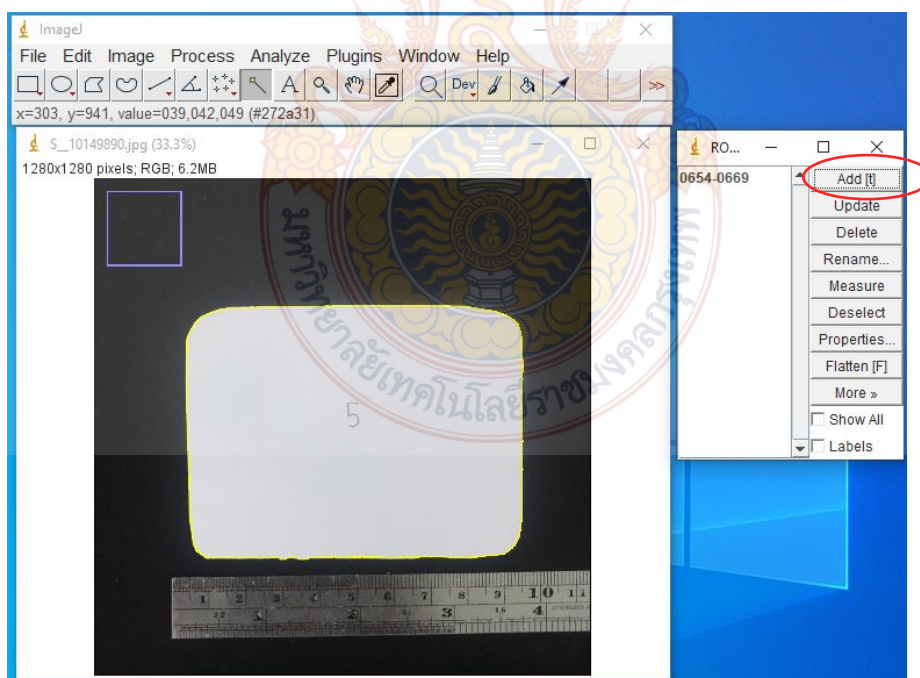
ภาพผนวกที่ ข7 การเลือกเครื่องมือเพื่อวิเคราะห์ภาพ

7) กดเลือกเครื่องมือไม้เท้า บนแถบเครื่องมือ



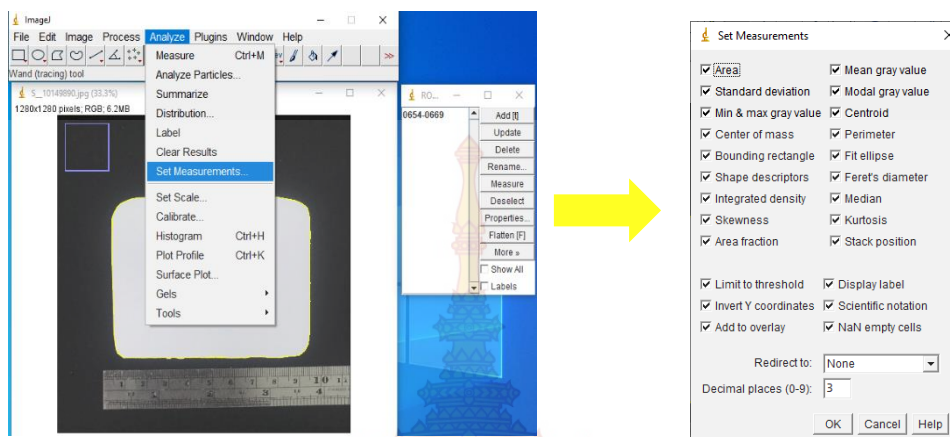
ภาพผนวกที่ ข8 เลือกเครื่องมือไม้เท้า

8) จากนั้นกดในพื้นที่ภาพที่ต้องการวิเคราะห์ จนเกิดวงกลมสีเหลืองล้อมรอบ เมื่อได้พื้นที่แล้วในเลือกปุ่ม Add ในหน้าต่าง ROI Manager



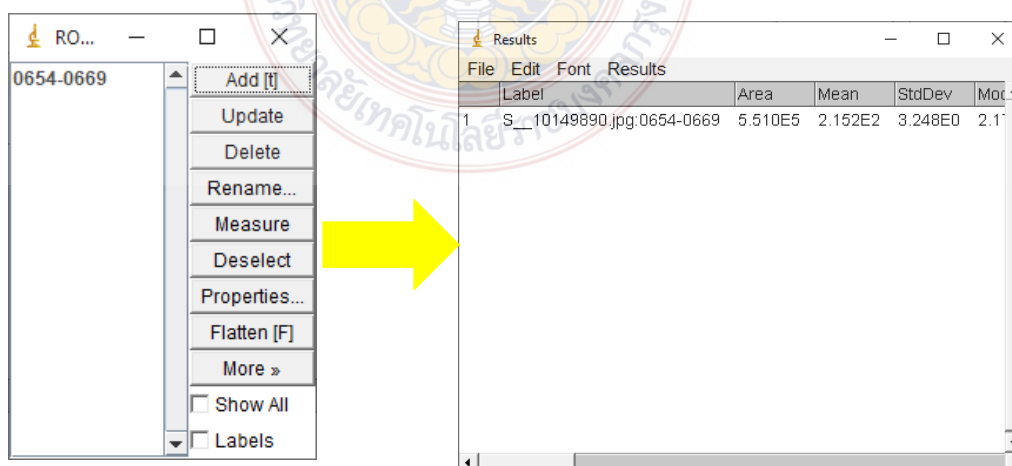
ภาพผนวกที่ ข9 เลือกภาพที่จะวิเคราะห์

9) เข้าไป Set ค่าที่ต้องการวิเคราะห์ที่แถบข้อมูล Analyze ไปที่ Set Measurement



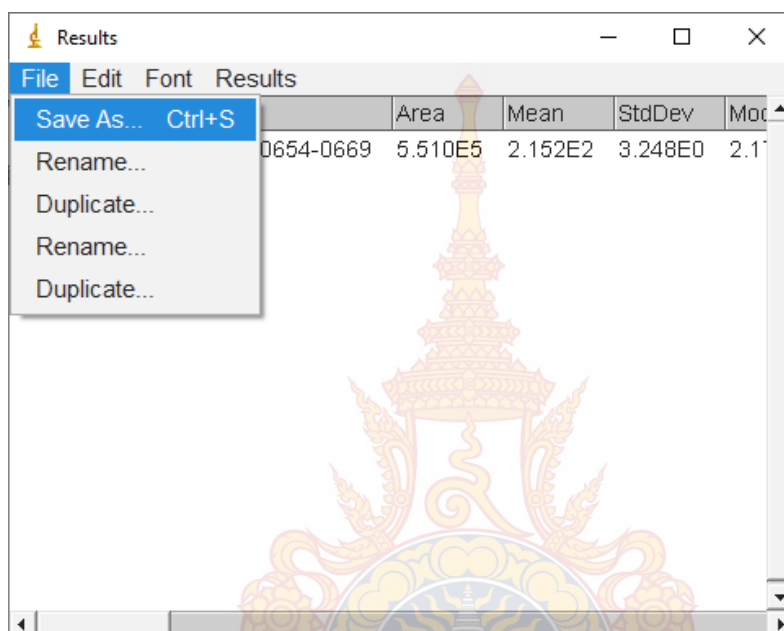
ภาพผนวกที่ ข10 การเลือกค่าที่ต้องการวิเคราะห์

10) กลับไปที่หน้าต่าง ROI Manager กดเลือก Measure จากนั้นจะได้หน้าต่าง Result จะได้ผลการวิเคราะห์ออกมา



ภาพผนวกที่ ข11 การเลือกผลการวิเคราะห์

11) หน้าต่าง Result ให้ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้เพื่อนำไปใช้งานวิจัย โดยไปที่ File แล้วเลือกที่ Save As จากนั้นเลือกจัดเก็บและตั้งชื่อตามข้อมูล



ภาพผนวกที่ ข12 การเลือก Save ผลวิเคราะห์

ภาคผนวก ค

การใช้งานโปรแกรม Graphite furnace Technique for PinAAcle 900H/900T



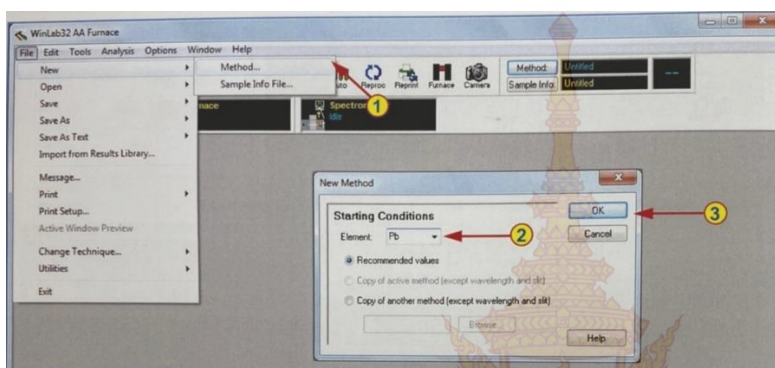
1) Software จะแสดงหน้า System Status เพื่อจะเชื่อมต่อเครื่องมือและจะเข้าสู่หน้าการใช้งานหลัก



ภาพผนวกที่ ค1 หน้าต่างการใช้งานหลัก

1.1) สร้าง Method เพื่อใช้งานตามขั้นตอนดังนี้

กดที่ File ไปที่ New ไปที่ Method (หมายเลข 1) เลือกธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ (หมายเลข 2) และ กดOK (หมายเลข 3)

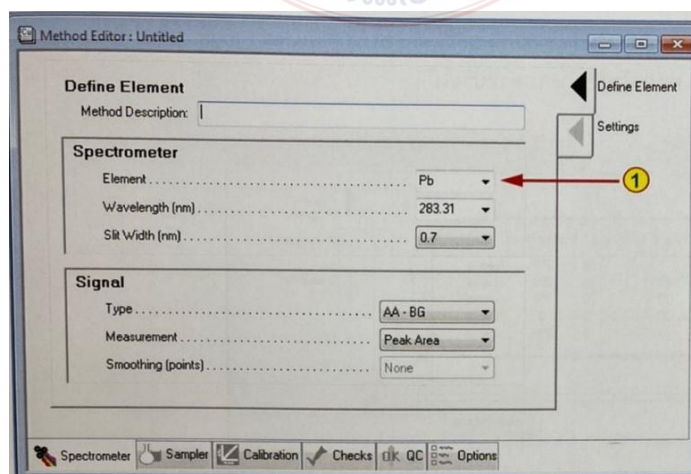


ภาพผนวกที่ ค2 การเลือกธาตุที่ต้องการวิเคราะห์

จากนั้นทำการตั้งค่าส่วนต่าง

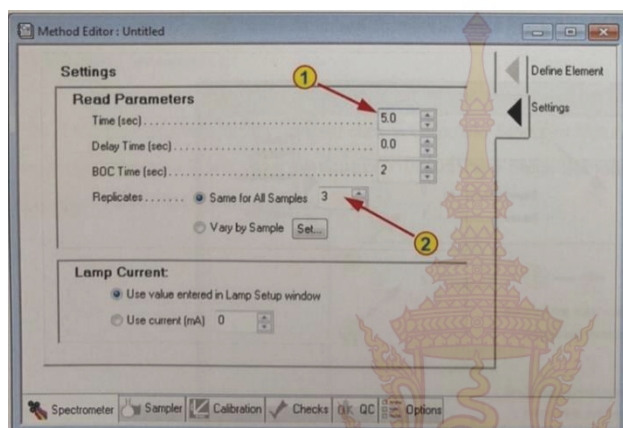
1.1.1) Spectrometer-Define Element – หน้าแรกจะแสดงธาตุที่เลือก (หมายเลข 1)

โดยระบุความยาวคลื่นและ Slit ให้โดยอัตโนมัติ



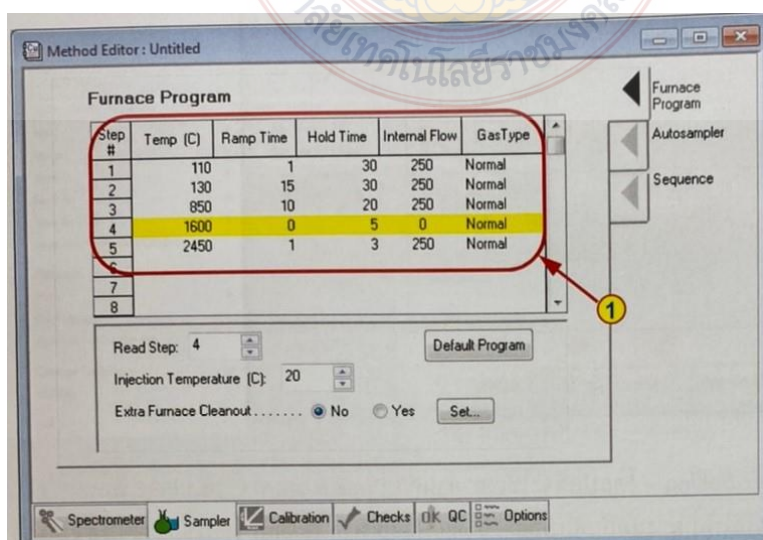
ภาพผนวกที่ ค2 การตั้งค่าส่วนต่าง ๆ

1.1.2) Spectrometer-Setting - โดยปกติจะใช้เวลาอ่านค่า Peak 5 วินาที (หมายเลข 1) ซึ่งอาจปรับลดหรือเพิ่มได้ (เช่น 3-7 วินาที) เพื่อเพิ่มความเหมาะสมกับลักษณะ Peak (Sharp หรือ Board) โดยใช้เวลาอ่าน 3 ครั้ง ต่อตัวอย่าง (หมายเลข 2)



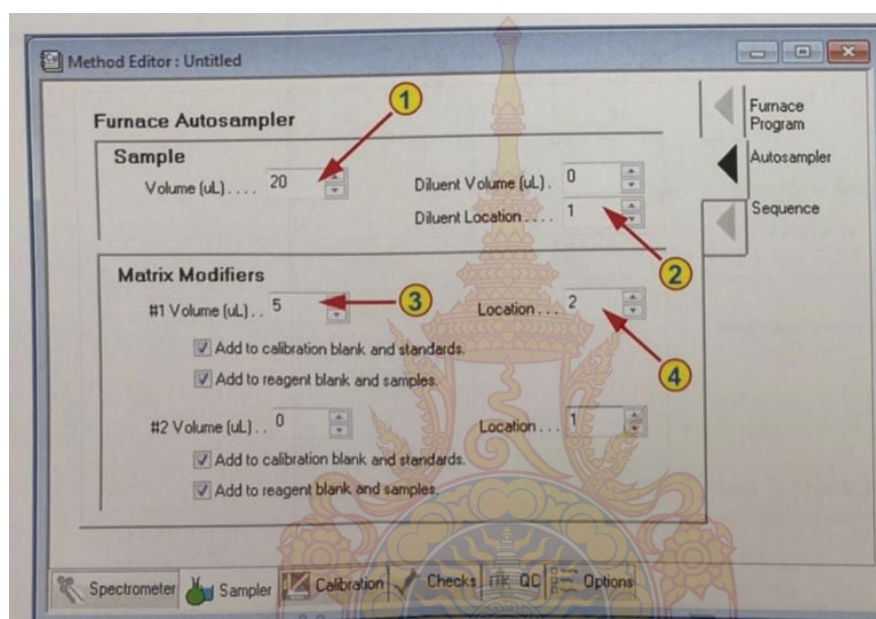
ภาพผนวกที่ ค3 การตั้งเวลาในการอ่านค่า Peak

1.1.3) Sampler- Furnace Program- ปกติ Software จะตั้ง Furnace Program มาให้เหมาะสมกับธาตุที่เลือก (หมายเลข 1) ซึ่งอาจปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมตัวอย่างได้



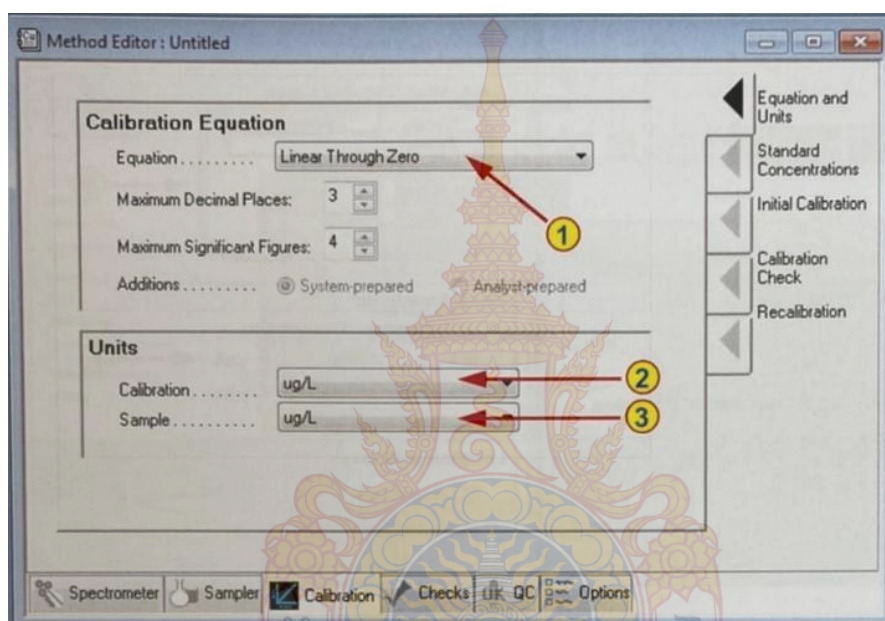
ภาพผนวกที่ ค4 การตั้งค่า Furnace Program

1.1.4) Sampler-Autosampler - ใช้ Sample Volume 20 μ L (หมายเลข 1) โดยกำหนดตำแหน่งของ Diluent (หมายเลข 2) รวมถึงปริมาตรของ Matrix Modifier (หมายเลข 3) และตำแหน่งของ Matrix Modifier (หมายเลข 4)



ภาพผนวกที่ ค5 การตั้งค่า Sampler-Autosampler

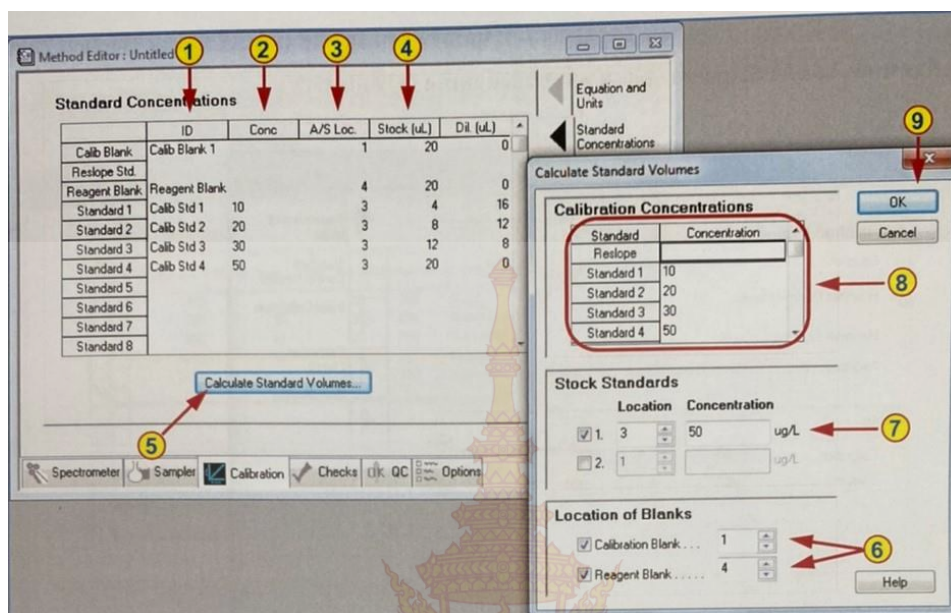
1.1.5) Calibration-Equation and Units- ระบุสมการที่ต้องใช้ (นิยมใช้ Linear Through Zero) (หมายเลข 1) และกำหนดหน่วยของ Standard (หมายเลข 2) และหน่วยของตัวอย่าง (หมายเลข 3) ที่ต้องการ



ภาพผนวกที่ ๑๖ การเลือกใช้สมการ

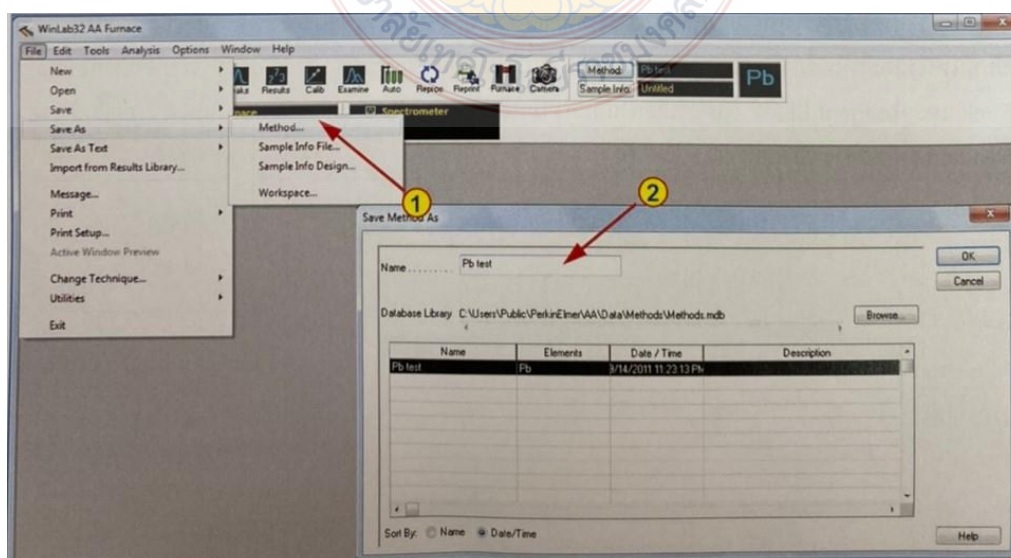
1.1.6) Calibration-Standard Concentration- ใส่ชื่อ (หมายเลข 1) ความเข้มข้น (หมายเลข 2) ตำแหน่งของ Autosampler (หมายเลข 3) และปริมาตรของ Standard ที่ inject (โดยปกติใช้ 20 μ L) (หมายเลข 4) ของ Standard ทุกตัวในกรณีเตรียม Standard เอง

หากต้องการให้เครื่องมือเตรียม Standard โดยอัตโนมัติ ให้เตรียม Stock Standard ความเข้มข้นหนึ่งและให้เครื่องมือแจ้งงานให้โดยกดที่ Calculate Standard Volumes (หมายเลข 5) ระบุตำแหน่งของ Blank และ Reagent Blank (หมายเลข 6) ตำแหน่งและความเข้มข้นของ Stock Standard (หมายเลข 7) และความเข้มข้นของ standard ที่ต้องการ (หมายเลข 8) และกด OK (หมายเลข 9)



ภาพผนวกที่ ค7 การตั้งค่า Standard Concentration

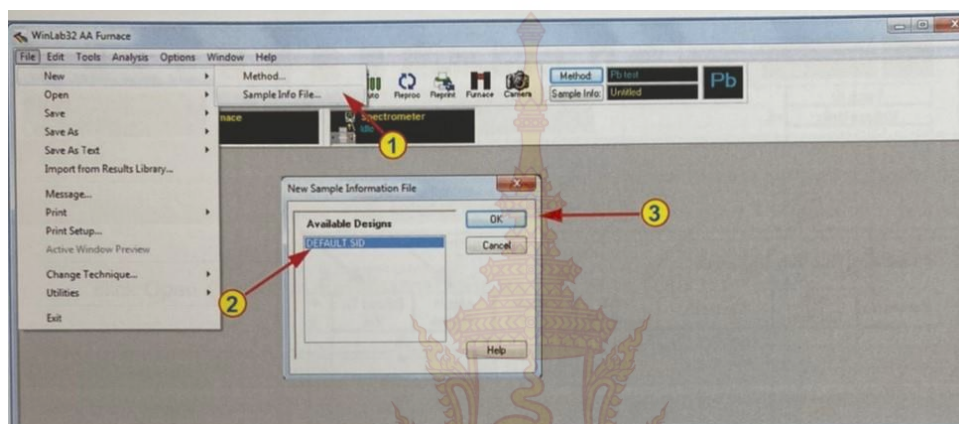
ทำการบันทึก Method โดยกดที่ File ไปที่ Save as ไปที่ Method (หมายเลข 1) และระบุชื่อที่ต้องการ (หมายเลข 2)



ภาพผนวกที่ ค8 การบันทึกโปรแกรม

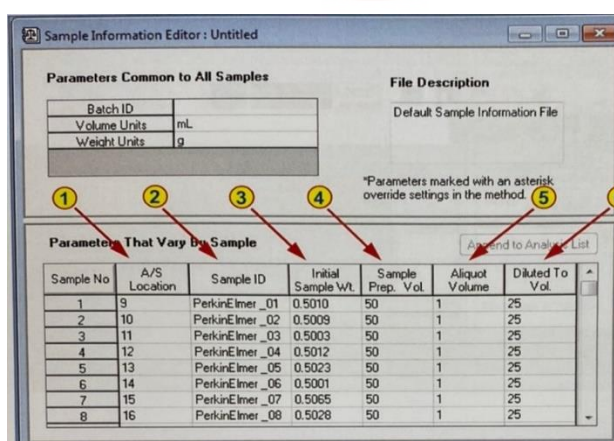
1.2) สร้าง Sample Information File เพื่อใช้งานตามขั้นตอนดังนี้

กดที่ File ไปที่ New ไปที่ Sample Info File (หมายเลข 1) เลือกที่ Default (หมายเลข 2) และกด OK (หมายเลข 3)



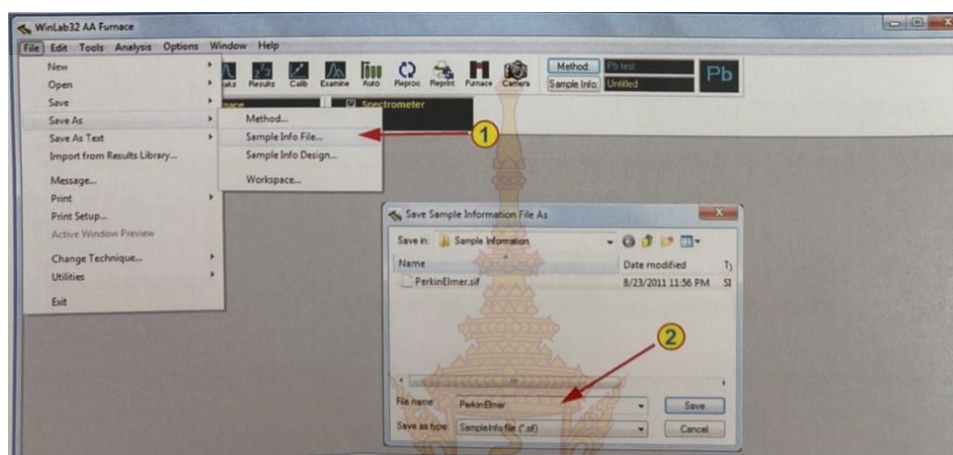
ภาพผนวกที่ ค9 การสร้าง Sample Information File

ระบุตำแหน่งบน Autosampler (หมายเลข 1) ชื่อตัวอย่าง (หมายเลข 2) น้ำหนักที่ชั่ง (หมายเลข 3) ปริมาตรที่เตรียม (หมายเลข 4) และเจือจาง โดยระบุปริมาตรที่ปีเปตมา (หมายเลข 5) และปริมาตรที่เจือจางเป็น (หมายเลข 6)



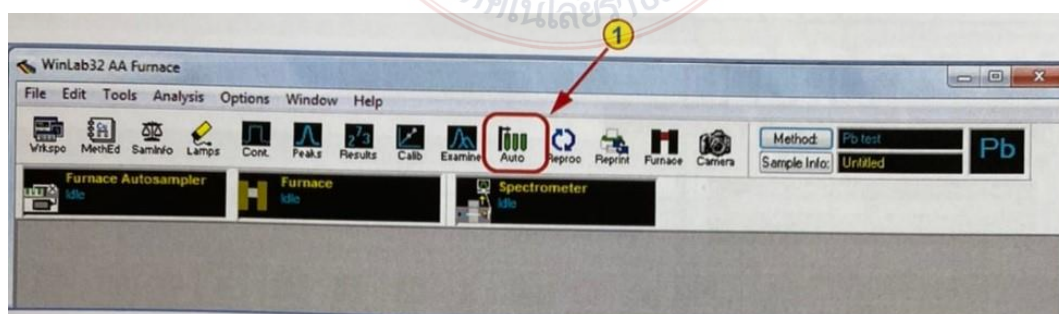
ภาพผนวกที่ ค10 ระบุตำแหน่งบน Autosampler

ทำการบันทึก Sample Information File โดยกดที่ File ไปที่ Save As ไปที่ Sample Info File (หมายเลข 1) และระบุตำแหน่งที่ต้องการ (หมายเลข 2)



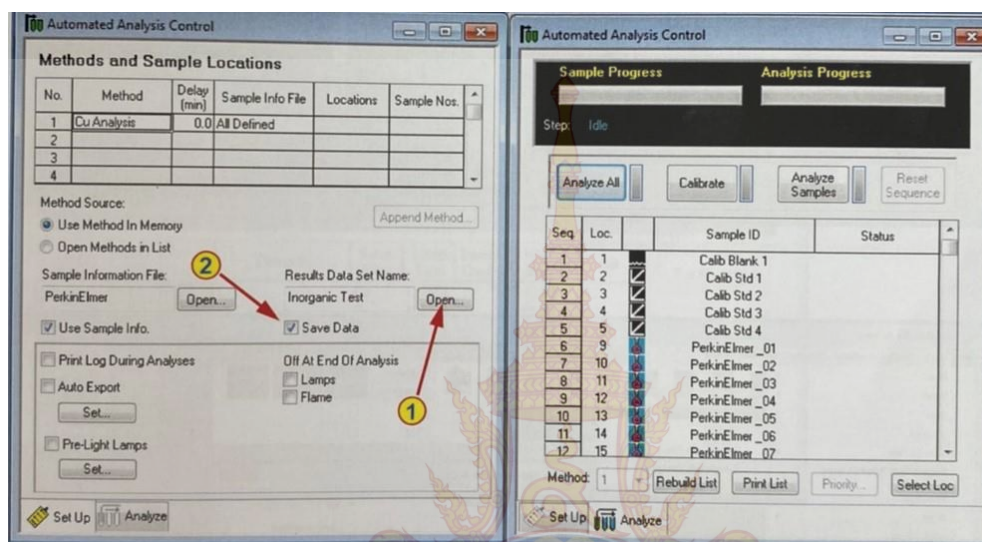
ภาพผนวกที่ ค11 การบันทึก Sample Information File

1.3) ระบุชื่อ Results (หมายเลข 1) Data Set Name เพื่อบันทึกข้อมูลในการวิเคราะห์ดังนี้กด หน้า Auto



ภาพผนวกที่ ค12 การระบุชื่อเพื่อวิเคราะห์

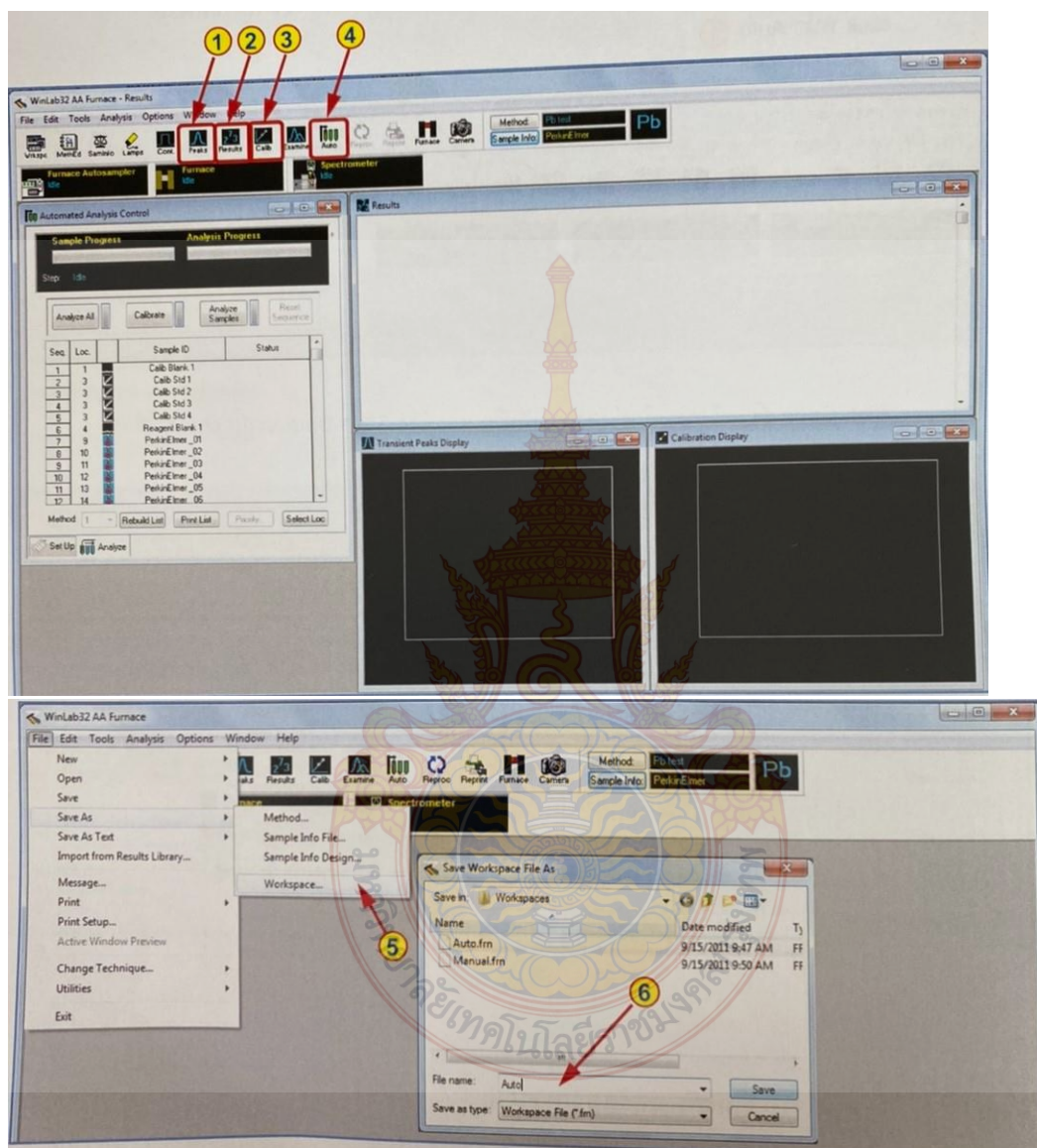
กด Open (หมายเลข 1) เพื่อระบุชื่อที่ต้องการบันทึก และช่อง Save Data จะถูก Check ไว้ (หมายเลข 2)



ภาพผนวกที่ ค13 การระบุชื่อที่ต้องการบันทึก

1.4) เปิดหน้าต่างเพื่อเตรียมพร้อมวิเคราะห์

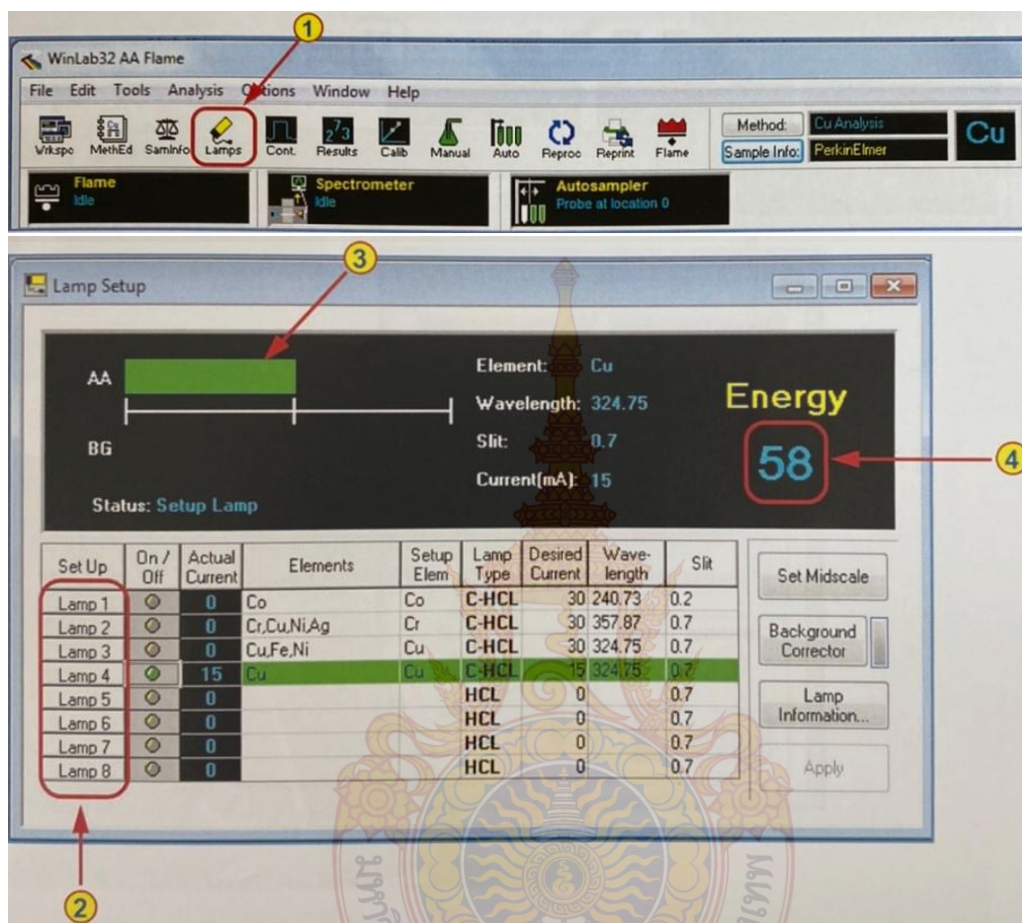
กดเปิดหน้าต่างเพื่อแสดงผล Peaks (หมายเลข 1) Result (หมายเลข 2) Calibration (หมายเลข 3) และหน้าต่างวิเคราะห์แบบ Auto (หมายเลข 4) โดยอาจจัดหน้าต่างและบันทึกเป็น Workspace เพื่อความสะดวกในการเรียกหน้าจอกลับมาใหม่ได้โดยกดที่ File ไปที่ Save As ไปที่ Workspace (หมายเลข 5) ไปที่ และระบุชื่อที่ต้องการ (หมายเลข 6)



ภาพผนวกที่ ค14 ขั้นตอนการเตรียมพร้อมวิเคราะห์และบันทึก

1.5) Setup Lamp

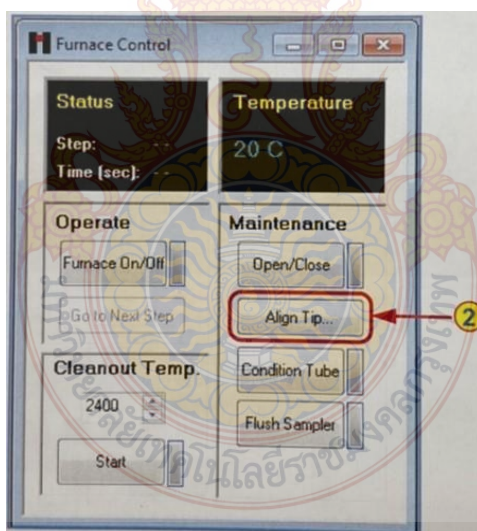
เปิดหน้าต่าง Lamp (หมายเลข 1) และทำการ Setup Lamp ที่ต้องการใช้งานโดยกด Set Up ที่หมายเลข Lamp ที่ต้องการ (หมายเลข 2) เครื่องมือจะทำการ Setup ให้โดยอัตโนมัติ และจะแสดงแถบพลังงาน (หมายเลข 3) และค่าพลังงาน (หมายเลข 4) ของ Lamp นั้น โดยอาจ warm Lamp ไว้ 5-10 นาที



ภาพผนวกที่ ค15 การ Setup Lamp

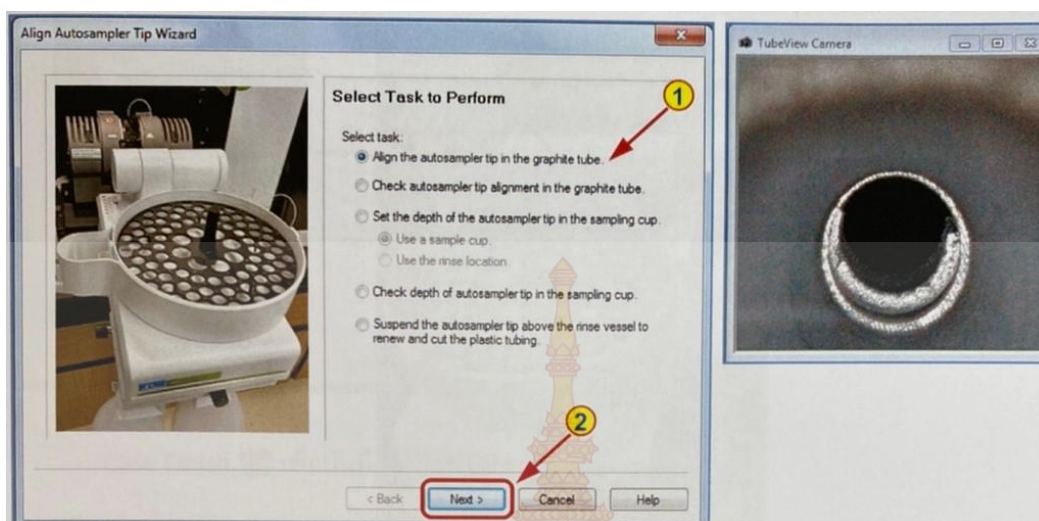
1.6) Align Tip

เปิดหน้าต่าง Furnace (หมายเลข 1) และกดที่ Align Tip (หมายเลข 2) (ปกติจะทำเมื่อเปลี่ยน (graphite tube)



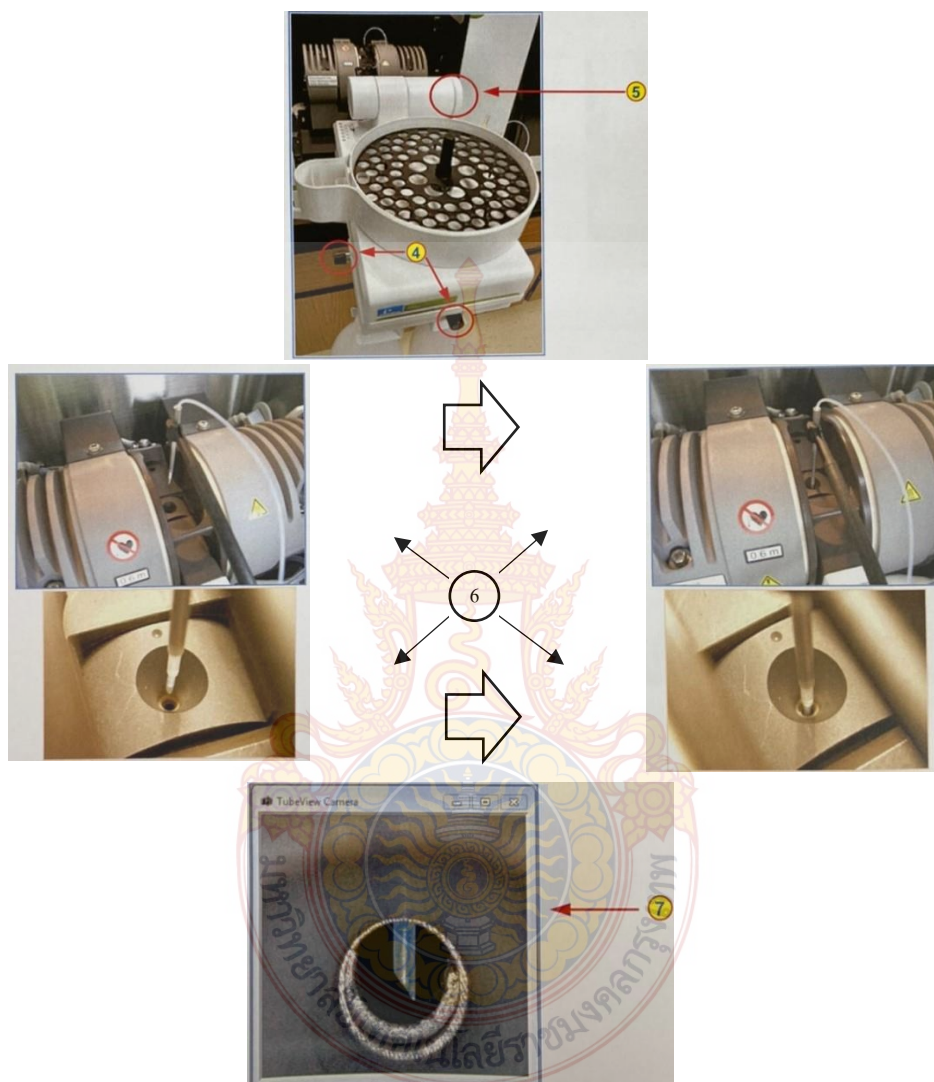
ภาพผนวกที่ ค16 การเลือกตำแหน่ง Tip

1.6.1) ปรับตำแหน่งและความลึกของ pipet tip โดยเลือก Align the autosampler tip in the graphite tube (หมายเลข 1) และกด Next (หมายเลข 2) Pipet Tip จะเคลื่อนจาก autosampler ไปยัง Furnace (หมายเลข 3)

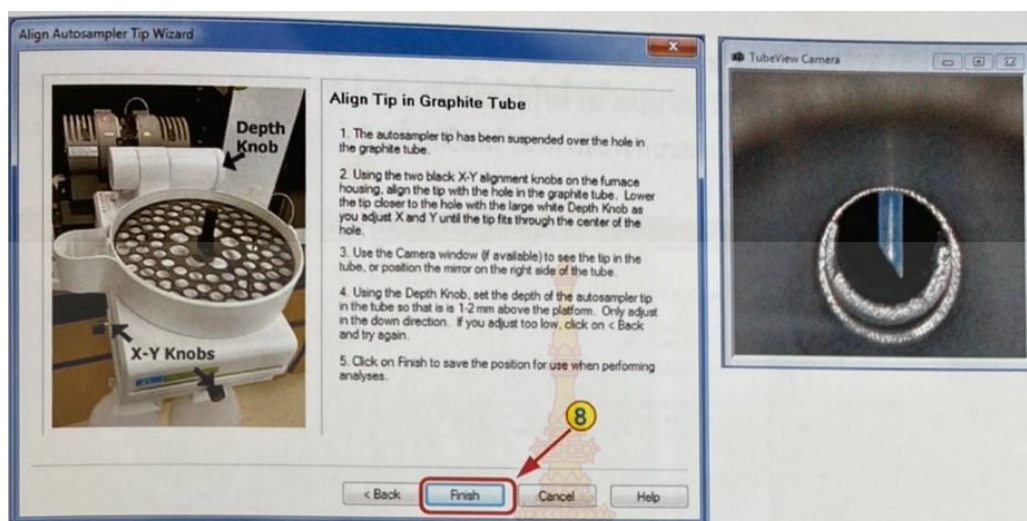


ภาพผนวกที่ ค17 ปรับตำแหน่งและความลึกของ pipet tip

ทำการปรับ x-y knob (หมายเลข 4) และ depth knob (หมายเลข 5) เพื่อให้ pipet tip ลงเข้าสู่ injection hole ของ Graphite furnace (หมายเลข 6) โดยใช้หน้าต่าง Tube View Camera (หมายเลข 7) เพื่อตรวจสอบความลึกของ pipet tip โดยให้ pipet tip อยู่เหนือ platform 1-2 mm.



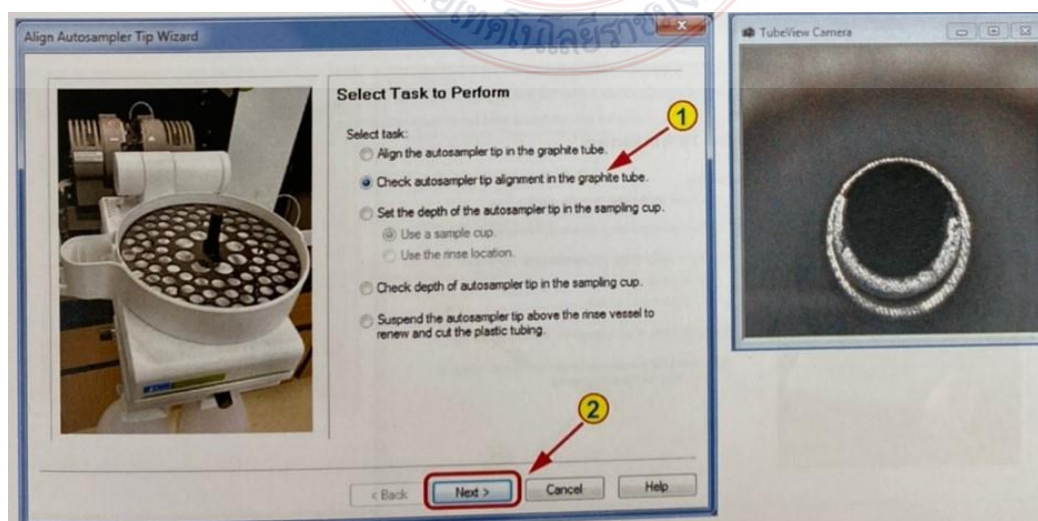
ภาพผนวกที่ ค18 การปรับ x-y knop และ depth knob



ภาพผนวกที่ ค19 เลือก finish เมื่อเสร็จสิ้น

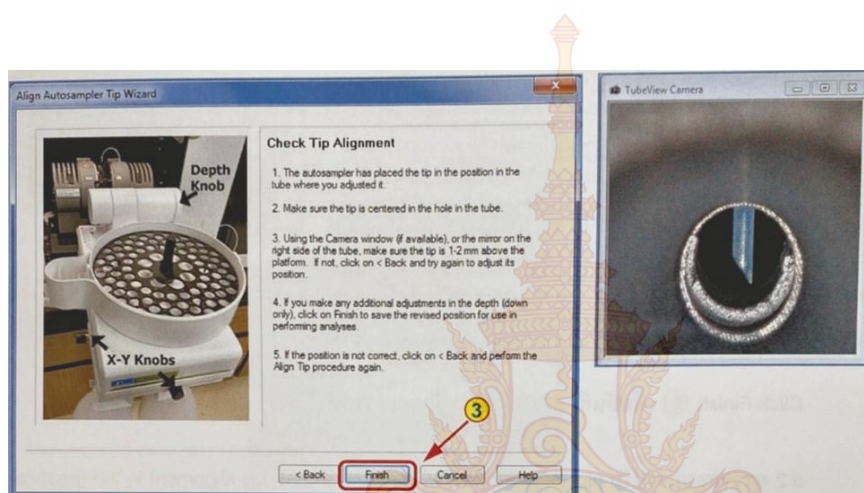
กด Finish (หมายเลข 8) เพื่อบันทึกตำแหน่งความลึกของการปรับไว้

1.6.2) ตรวจสอบการปรับ pipet tip โดยเลือก Check autosampler tip alignment in the graphite tube (หมายเลข 1) และกด Next (หมายเลข 2) เพื่อตรวจสอบความลึกของ pipet tip โดยให้ pipet tip อยู่เหนือ platform 1-2 mm



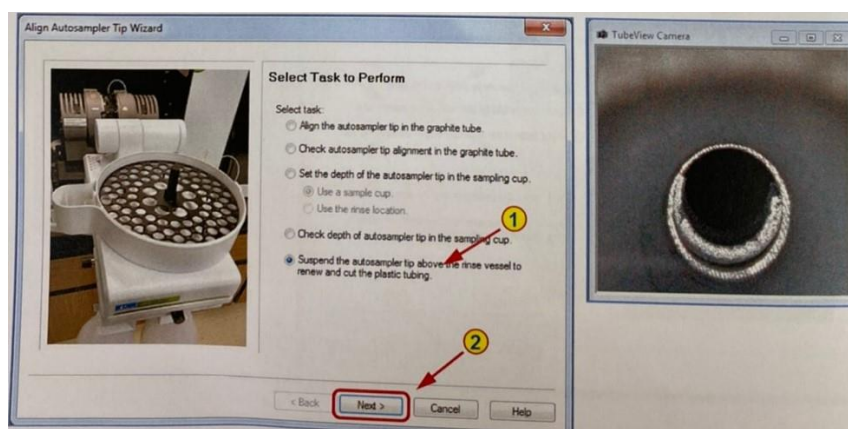
ภาพผนวกที่ ค20 การตรวจสอบการปรับ pipet tip

หากความลึกของ pipet tip ได้ระยะที่ต้องการให้กด Finish (หมายเลข 3) เพื่อบันทึกตำแหน่งความลึกของการปรับไว้ แต่หากหาความลึกของ pipet tip ไม่ได้ระยะที่ต้องการ ให้ทำการปรับ depth knob และกด Finish (หมายเลข 3) จากนั้นทำการตรวจสอบการปรับ (6.2) ใหม่อีกครั้งหนึ่ง



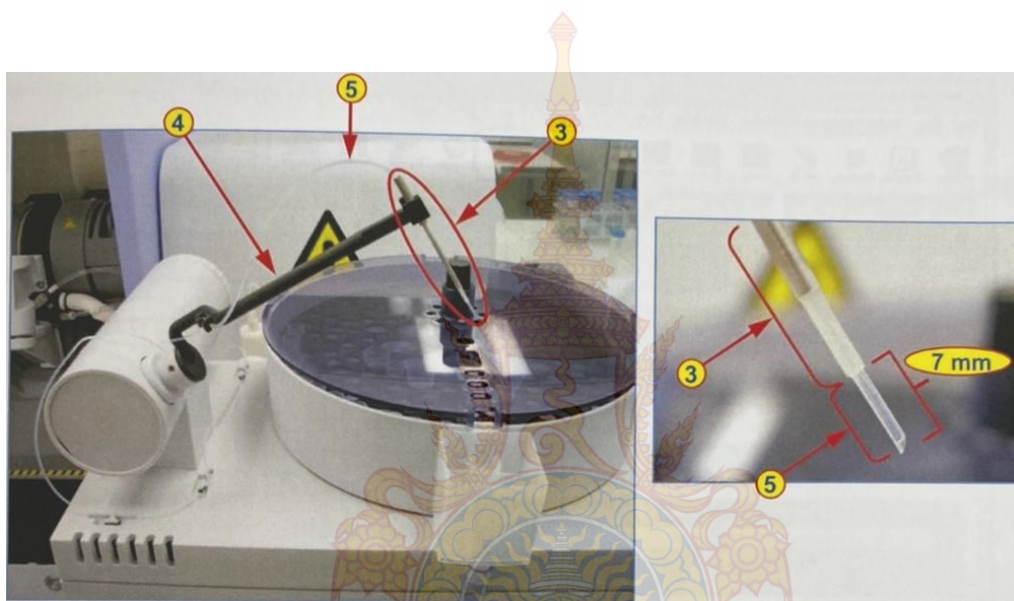
ภาพผนวกที่ ค21 การปรับความลึกของ pipet tip ให้ได้ตามต้องการ

1.6.3) ยก pipet tip ขึ้นเพื่อทำการ maintenance โดยเลือก Suspend the autosampler tip above the rinse vessel to renew and cut the plastic tubing (หมายเลข 1) และกด Next (หมายเลข 2) (ในกรณีต้องการทำ)

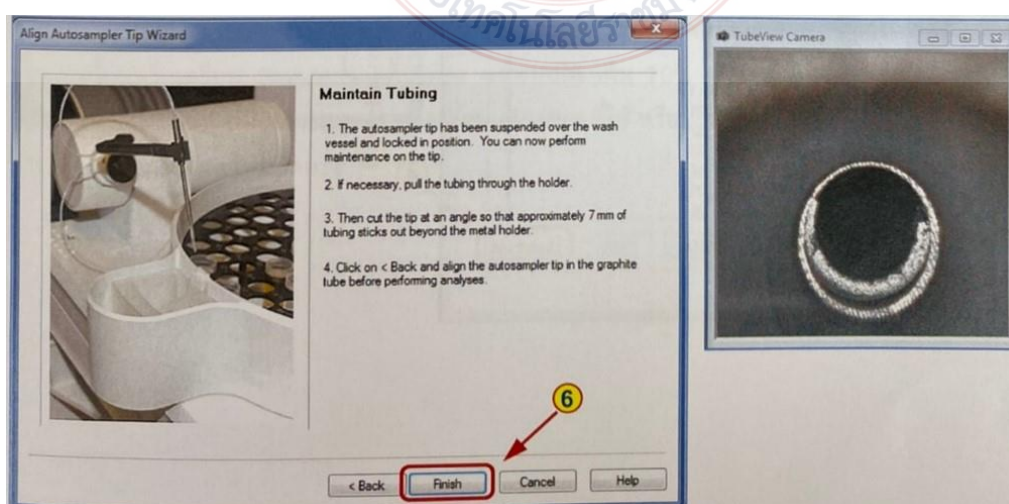


ภาพผนวกที่ ค22 การบำรุงรักษา pipet tip

ทำการถอด pipet tip (หมายเลข 3) ออกจาก Autosampler arm (หมายเลข 4) และดึง PTFE tubing (หมายเลข 5) ออกจาก pipet tip ให้ได้ยาวประมาณ 1 cm และตัดด้วยใบมีดเฉียงประมาณ 45 องศา ให้ได้ความยาวประมาณ 7 mm



กด Finish (หมายเลข 6) เพื่อกลับสู่การใช้งานปกติ



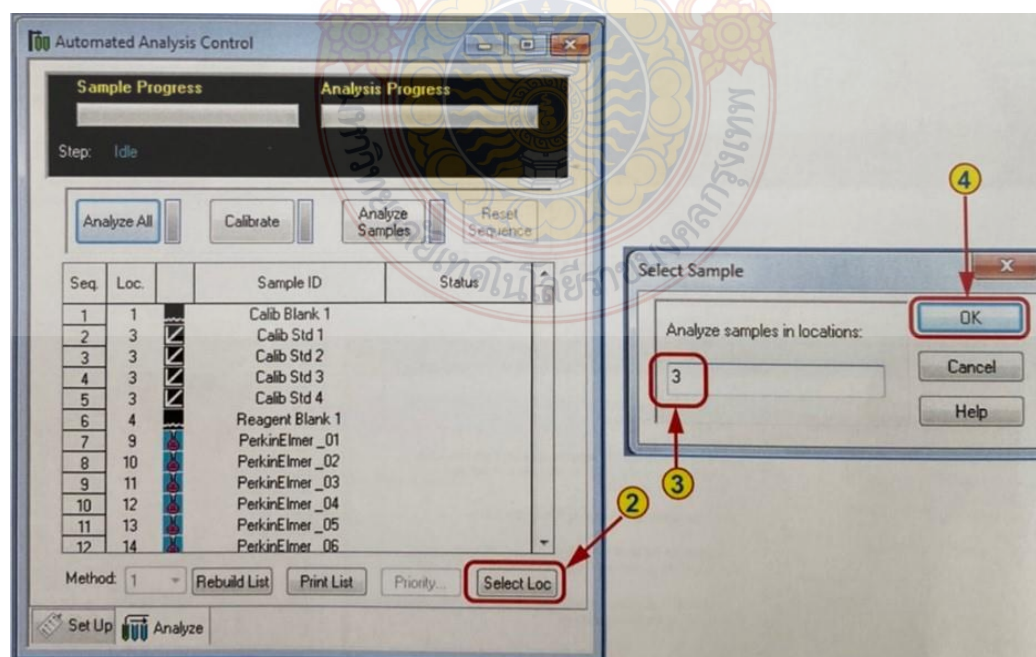
ภาพผนวกที่ ค23 เลือก finish เมื่อเสร็จสิ้น

1.7) Check sensitivity

เปิดหน้า Auto (หมายเลข 1)

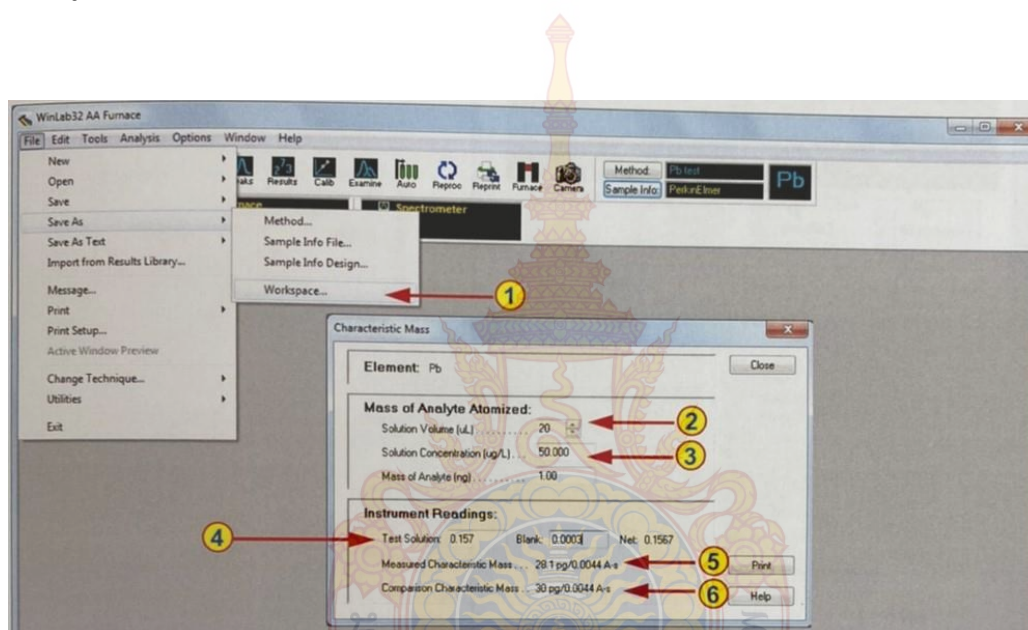


กด Select Loc. (หมายเลข 2) และใส่ตำแหน่งบน autosampler (หมายเลข 3) ของ standard ที่ต้องการ Check sensitivity และกด OK (หมายเลข 4) เพื่อเริ่มวิเคราะห์และบันทึกค่า Absorbance ที่ได้



ภาพผนวกที่ ค24 การตรวจสอบ sensitivity

คำนวณ Characteristic Mass โดยกด ที่ ไปที่ Analysis ไปที่ Characteristic Mass. (หมายเลข 1) ระบุปริมาตร (หมายเลข 2) ความเข้มข้นของ standard ที่ใช้ (หมายเลข 3) และค่า Absorbance ที่ได้ (หมายเลข 4) กด Tab 1 ครั้งเพื่อคำนวณค่า โดยค่าที่คำนวณได้ (หมายเลข 5) ควรอยู่ในช่วง $\pm 20\%$ ของค่าที่กำหนดไว้ (หมายเลข 6)

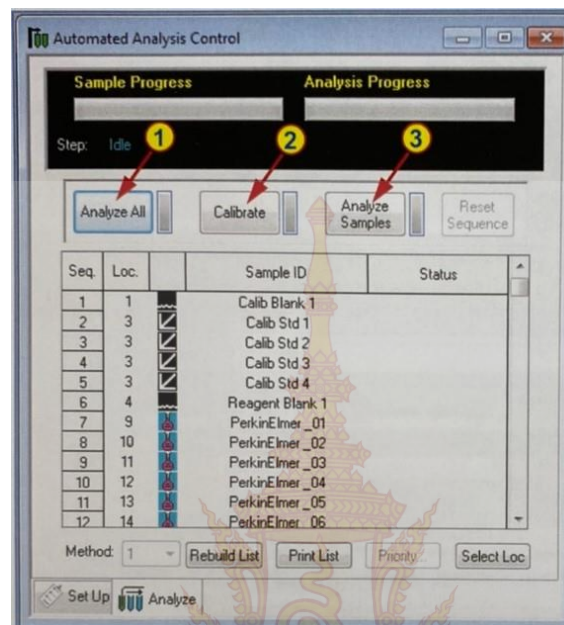


ภาพผนวกที่ ค25 การคำนวณ Characteristic Mass

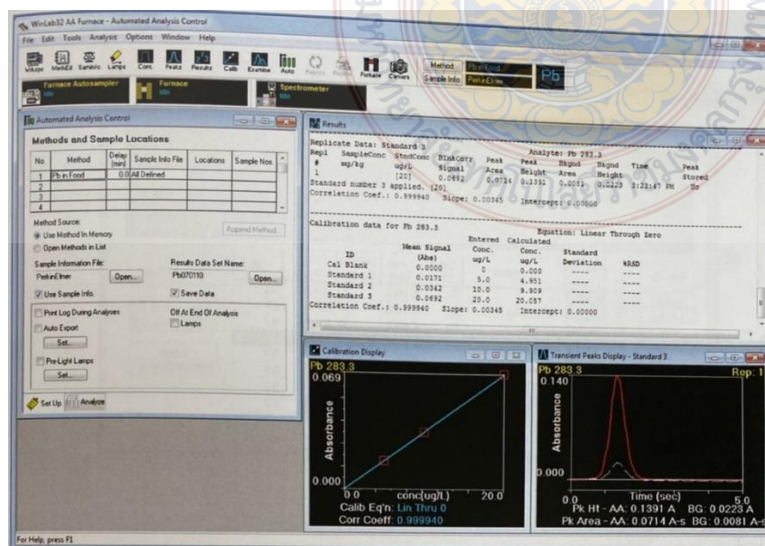
หากค่า Characteristic Mass ที่ได้ไม่อยู่ในช่วง $\pm 20\%$ โดยมีค่าน้อยกว่า 20% ส่วนใหญ่เกิดจากการปนเปื้อนหรือเตรียม Standard ไม่ถูกต้อง แต่หากมีค่าเกิน 20% ส่วนใหญ่เกินจากที่สภาวะของเครื่องมือไม่เหมาะสม ให้ทำการตรวจสอบ Matrix Modifier ที่ใช้ หรือปรับ Temperature Program และทำการ Check sensitivity ใหม่อีกครั้ง

1.8) ทำการวิเคราะห์

กด Analyze All (หมายเลข 1) หรือ Calibration (หมายเลข 2) และตามด้วย Analyze sample (หมายเลข 3)



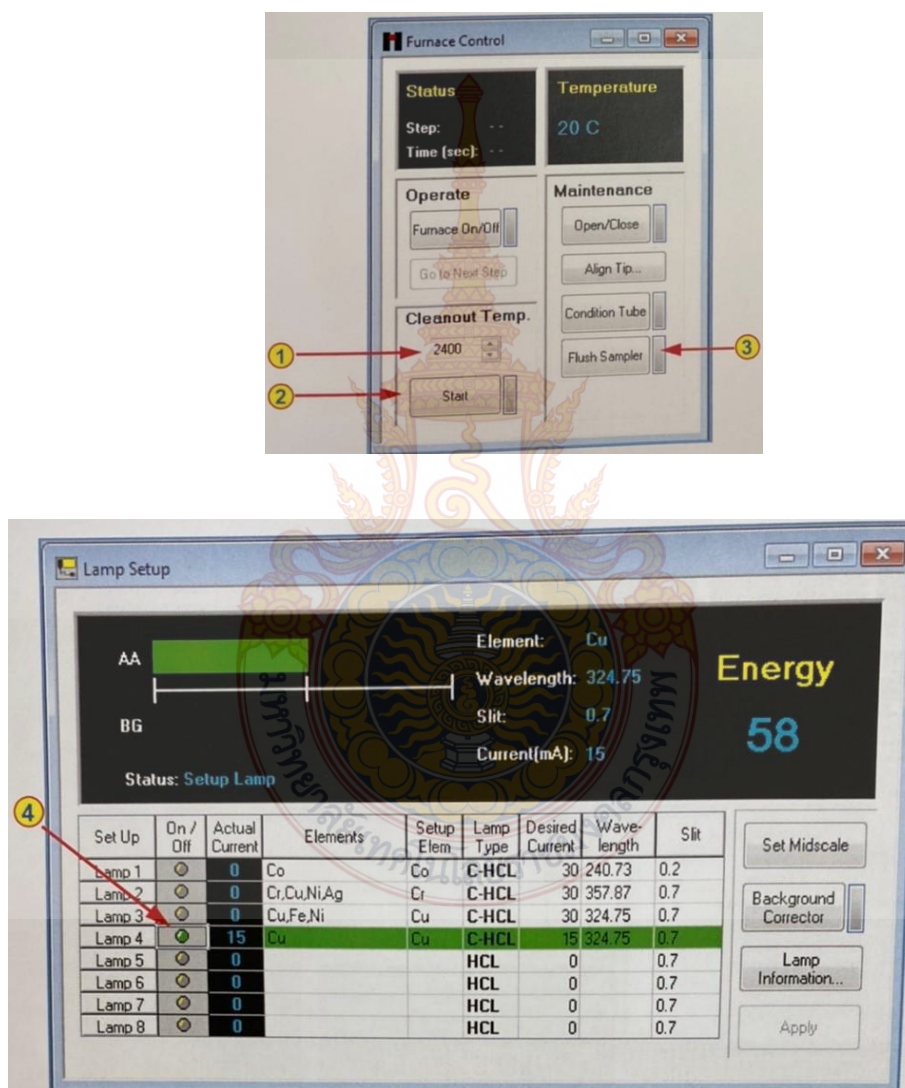
ตัวอย่างผลการวิเคราะห์



ภาพผนวกที่ ค26 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากการวิเคราะห์อาจทำการ clean furnace โดยเปิดหน้าต่าง Furnace และตั้งอุณหภูมิของการ clean (หมายเลข 1) ไว้ที่ 2450 °C และกด Start (หมายเลข 2) ประมาณ 10 วินาที

และกด Start (หมายเลข 2) อีกครั้ง อาจทำการ flush autosampler โดยการกดที่ Flush Sampler (หมายเลข 3) และปิด Lamp (หมายเลข 4)



ภาพผนวกที่ ค27 การ clean furnace หลังการวิเคราะห์

1.9) การปิดเครื่องทำมือตามขั้นตอนดังนี้

- 1.9.1) คอมพิวเตอร์ ไปที่ ปิด Software WinLab32 for AA และคอมพิวเตอร์
- 1.9.2) เครื่องมือ ไปที่ ปิดเครื่อง AAS
- 1.9.3) ระบบระบายอากาศ ไปที่ ปิดระบบระบายอากาศ

1.9.4) ระบบไฟฟ้า ไปที่ ปิด Voltage Stabilizer, UPS, Breaker

1.9.5) ระบบแก๊ส ไปที่ ปิด Acetylene N₂O (ถ้าใช้) Argon และAir พร้อมกับDrain น้ำออก
จาก Air filte

