ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ ทช
ลว 4

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8 ว

เรื่อง

การศึกษาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมจากภาชนะเซรามิก สำหรับบรรจุอาหาร

โดย

นางสุจินต์ พราวพันธุ์
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

กลุ่มวิจัยและพัฒนาการผลิตเซรามิก
สำนักเทคโนโลยีชุมชน
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2547

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8 ว

เรื่อง

การศึกษาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมจากภาชนะเซรามิก สำหรับบรรจุอาหาร

เลขหมู่ วศ ทร 4
เลขทะเบียน 12320
วันที่ 17 ก.ค. 47

โดย

นางสุจินต์ พราวพันธุ์
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
.....ว.ศ.....

กลุ่มวิจัยและพัฒนาการผลิตเซรามิก
สำนักเทคโนโลยีชุมชน
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2547

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

รายงานนี้เป็นการศึกษาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ละลายออกมาจากภาชนะเซรามิกบรรจุอาหารด้วยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 4 และวิเคราะห์โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อต้องการทราบว่าภาชนะเซรามิกแบบใดที่เหมาะสำหรับใช้บรรจุอาหารและเพื่อผู้ผลิตที่ต้องการส่งออกใช้เป็นแนวทางสำหรับป้องกันปัญหาการกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษี จากการศึกษาทดสอบหาปริมาณโลหะทั้งสองชนิด ในภาชนะเซรามิกประเภทต่างๆ จำนวน 51 ตัวอย่าง พบว่า

- ภาชนะที่มีลักษณะเป็นจาน ชาม แก้ว ถ้วยกาแฟ ถ้วยน้ำชา กาน้ำชา ที่มีลักษณะตกแต่งสีและลวดลายใต้เคลือบ มีสีแดง สี เหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน สีฟ้า สีส้ม สีขาว สีน้ำตาล จำนวน 30 ตัวอย่าง ไม่พบการละลายทั้งตะกั่วและแคดเมียม
- ภาชนะที่มีลักษณะเป็นจาน สีขาว ตกแต่งบนเคลือบที่ขอบภาชนะด้วยรูปลอกเป็นรูปดอกไม้ ผลไม้ ผัก หลายชนิด มีสีเขียว สีส้ม สีแดง สีชมพู สีน้ำเงิน สีฟ้า จำนวน 13 ตัวอย่าง ทุกตัวอย่างไม่พบแคดเมียม แต่พบตะกั่วทุกตัวอย่าง ในปริมาณระหว่าง 0.18 – 0.94 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งไม่เกินเกณฑ์กำหนด คือ ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการวิเคราะห์ซ้ำครั้งที่ 2 ไม่พบตะกั่ว 4 ตัวอย่าง วิเคราะห์ซ้ำครั้งที่ 3 ไม่พบตะกั่วทุกตัวอย่าง
- ภาชนะมีลักษณะเป็นจาน สีขาว ตกแต่งบนเคลือบกลางภาชนะด้วยรูปลอกเป็นรูปตุ๊กตาหมีสีน้ำตาล แต่ตกแต่งสีต่างๆ กัน มีสีดำ สีน้ำเงิน สีเหลือง สีเขียว สีม่วง สีแดง จำนวน 8 ตัวอย่าง ทุกตัวอย่างไม่พบการละลายของแคดเมียม แต่พบตะกั่วในปริมาณระหว่าง 1.35 – 4.96 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสูงเกินเกณฑ์กำหนดคือ 2 มิลลิกรัม/ลิตร จำนวน 5 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ซ้ำจำนวน 38 ครั้ง จึงไม่พบตะกั่ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญภาพ	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	
- ดำนำ	1
- ปัญหาและที่มาของการศึกษา	1
- วัตถุประสงค์	2
- ขอบเขตของการศึกษา	2
- ประโยชน์ที่ได้รับ	3
- ระยะเวลาดำเนินการ	3
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	4
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี	
- ตัวอย่าง	10
- วัสดุ อุปกรณ์	10
- สารเคมี	10
- วิธีดำเนินการ	11
บทที่ 4 ผลการทดลอง	15
บทที่ 5 วิจารณ์	24
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	27
กิตติกรรมประกาศ	30
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก	32

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 เกณฑ์กำหนดปริมาณ ตะกั่วและแคดเมียมที่ละลาย
จากภาชนะเซรามิก ตามมาตรฐาน ISO 6486/2 7
ตารางที่ 2 สภาวะของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟ
โตมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของตะกั่วและแคดเมียม 12
ตารางที่ 3 สมการเชิงเส้นและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่วงความเข้มข้นต่างๆ
ของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 15
ตารางที่ 4 สมการเชิงเส้นและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่วงความเข้มข้นต่างๆ
ของสารละลาย มาตรฐานแคดเมียม 16
ตารางที่ 5 ค่าความไวในการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม 17
ตารางที่ 6 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม 17
ตารางที่ 7 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่วิเคราะห์ได้ 18
ตารางที่ 8 ค่า T จากการคำนวณและจากตารางของตะกั่วและแคดเมียม 18
ตารางที่ 9 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของตะกั่วและแคดเมียม 18
ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง A1- A30 19
ตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง B1- B13 20
ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง C1- C8 ครั้งที่ 1 21
ตารางที่ 13 จำนวนครั้งของการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วของตัวอย่าง C1- C8 21

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ข้อมูลการหาช่วงการเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ตะกั่ว 33
ตารางที่ 2 ข้อมูลการหาช่วงการเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม 33
ตารางที่ 3 ข้อมูลการหาความไวในการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม 34
ตารางที่ 4 ข้อมูลการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีการวิเคราะห์และ การหาค่าขีดจำกัด
ต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ 35
ตารางที่ 5 ข้อมูลการหาค่าความแม่น ของการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม 36
ตารางที่ 6 ข้อมูลการหาค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม 37
ตารางที่ 7 รายละเอียดภาชนะเซรามิกที่ทำการศึกษา 38

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว และค่าการดูดกลืนแสง 15

ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียม และค่าการดูดกลืนแสง 16

ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่วิเคราะห์กับปริมาณตะกั่ว ที่ละลายออกมาจากภาชนะ C1- C8 23

สารบัญรูป

	หน้า
ตัวอย่างชุดที่ 1 รูปที่ A1 - A 15	41
ตัวอย่างชุดที่ 1 รูปที่ A16 - A 30	42
ตัวอย่างชุดที่ 2 รูปที่ B1 - B13	43
ตัวอย่างชุดที่ 3 รูปที่ C1 - C8	44

บทที่ 1
บทนำ

1.1 คำนำ

ผลิตภัณฑ์เซรามิกหรือเครื่องปั้นดินเผา มีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มาเป็นเวลาช้านานมาแล้ว มนุษย์ในอดีตรู้จักนำเอาดินและวัสดุอื่นๆที่มีในธรรมชาติมาปั้นเป็นภาชนะต่างๆ นำไปตากแห้งแล้วเผาเพื่อให้เนื้อดินคงรูปและมีความแข็งแกร่งมากยิ่งขึ้น ทำให้ได้ภาชนะสำหรับบรรจุอาหารและเครื่องใช้ต่างๆมากมาย การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกได้รับการพัฒนา ทั้งในด้านรูปแบบ คุณภาพและความเหมาะสมกับการใช้งาน ในปัจจุบันภาชนะเซรามิกเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ แม้ว่าจะมีวัสดุประเภทอื่นๆ นำมาใช้ทดแทนได้ เช่น ภาชนะที่ทำจากพลาสติก เมลามีน แก้ว หรือสแตนเลส แต่ความต้องการใช้ภาชนะเซรามิกยังคงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากภาชนะเซรามิกมีความเป็นเอกลักษณ์ที่มีคุณค่าและสวยงาม ต้านทานต่อการขัดสี ทนความร้อนได้ดี ไม่ดูดซับกลิ่น ทำความสะอาดง่าย และมีรูปแบบที่หลากหลายให้เลือก อีกทั้งราคาก็ไม่แพงจนเกินไป

1.2 ปัญหาและที่มาของการศึกษา

โลกในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้มีความเจริญรุดหน้าไปอย่างไม่หยุดยั้ง ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทั้งที่เป็นมลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำและมลพิษทางอาหาร เพราะฉะนั้นผู้บริโภคจึงได้มีความตื่นตัวในเรื่องของความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งต่างๆที่อยู่รอบตัวมากยิ่งขึ้น ส่วนที่เกี่ยวข้องกับเซรามิกก็เช่นเดียวกัน ในขั้นตอนการผลิตมีโลหะหนักเข้ามาเกี่ยวข้องหลายชนิด แต่ที่เป็นพิษต่อร่างกายคือ ตะกั่วและแคดเมียม หลายๆ ประเทศจึงได้มีความพยายามจะลดเกณฑ์กำหนดปริมาณ ตะกั่วและแคดเมียมที่ยอมให้ละลายออกมาจากภาชนะเซรามิกบรรจุอาหาร สำหรับในประเทศไทยเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ไม่ได้เป็นมาตรฐานบังคับ จึงทำให้มีภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหารที่มีโลหะหนักละลายออกมาได้วางขายอยู่ในท้องตลาด ผู้บริโภคที่ไม่มีความรู้ความเข้าใจในขบวนการผลิตเซรามิกอาจเลือกซื้อภาชนะเหล่านี้ไปใช้ ทำให้ได้รับสารพิษเข้าไปในร่างกายโดยไม่รู้ตัว

สำนักเทคโนโลยีชุมชน ได้ให้บริการวิเคราะห์ปริมาณ ตะกั่วและแคดเมียม ที่ละลายออกมาจากภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร ทั้งเพื่อการส่งออก การนำเข้าและเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

ภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหารที่นำเข้ามาจากต่างประเทศต้องเป็นไปตามประกาศของกระทรวงพาณิชย์ คือ ต้องมีปริมาณ ตะกั่วที่ละลายออกมาไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนการ

ส่งออกจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของแต่ละประเทศ สำหรับความปลอดภัยในการใช้งาน ในกรณีที่พบตะกั่วหรือแคดเมียมละลายออกมาแล้วผู้บริโภคใช้ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ก็อาจได้รับสารพิษสะสมเพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่ง เพราะฉะนั้นเพื่อลดความเสี่ยงในการรับสารพิษเข้าสู่ร่างกายและเพื่อความปลอดภัยสูงสุดในการใช้ภาชนะเซรามิกบรรจุอาหาร กลุ่มวิจัยและพัฒนาการผลิตเซรามิกจึงได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ละลายออกมาจากภาชนะเซรามิก รวมทั้งได้ศึกษาโดยการวิเคราะห์ซ้ำ ในกรณีที่มีสารตะกั่วและ/หรือแคดเมียมละลายออกมา จนกว่าจะไม่พบสารตะกั่วและ/หรือแคดเมียมละลายออกมา เนื่องจากเกณฑ์กำหนดของปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ยอมให้ละลายออกมาจากภาชนะเซรามิกตามมาตรฐานต่างๆ มีค่าน้อยมาก เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์คือ เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Flame Atomic Absoption Spectrophotometer) จะต้องมีประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสม จึงจะทำให้ผลของการวิเคราะห์เชื่อถือได้ เพราะฉะนั้นในการวิเคราะห์จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจเช็คประสิทธิภาพของเครื่องมือในการวิเคราะห์ด้วย ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้วิธีการตาม ISO 6486/1 การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอ เช่น การหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ การหาความไวในการวิเคราะห์ การหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ การหาความแม่นและความเที่ยงในการวิเคราะห์ เป็นต้น

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ละลายออกมาจากภาชนะเซรามิกสำหรับบรรจุอาหารด้วยสารละลายกรด
2 เพื่อต้องการทราบจำนวนครั้งของการวิเคราะห์ซ้ำจนกว่าจะไม่พบตะกั่ว และ/ หรือ แคดเมียม ละลายออกมา

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ทำการศึกษาภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร ได้แก่ จาน ชาม แก้ว ถ้วยน้ำชา ถ้วยกาแฟและกาน้ำชา ทั้งที่ไม่ตกแต่งลวดลายและตกแต่งสีในเคลือบและลวดลายใต้เคลือบและบนเคลือบ เช่น สีส้ม สีน้ำเงิน สีแดง สีเขียว เป็นต้น จำนวน 51 ตัวอย่าง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1 ได้ทราบปริมาณสารตะกั่ว และ แคดเมียมที่ละลายออกมาจากภาชนะ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพการผลิตและการซื้อขายเพื่อการนำเข้าและส่งออก

2 ได้ข้อมูลที่ทำให้ทราบถึงข้อควรปฏิบัติในการเลือกซื้อและใช้ภาชนะเซรามิกกับอาหารอย่างถูกต้องและปลอดภัย

3 เผยแพร่ข้อมูลและเพื่อให้ผู้บริโภคทราบถึงวิธีการเลือกซื้อและการใช้ภาชนะเซรามิกสำหรับบรรจุอาหาร เพื่อความปลอดภัยสูงสุดแก่ผู้บริโภค

1.6 ระยะเวลาดำเนินการ

พฤษภาคม 2545 - สิงหาคม 2546 (15 เดือน)

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ส่วนประกอบของ ภาชนะเซรามิกมีดังนี้

2.1.1 เนื้อผลิตภัณฑ์ (body) เป็นวัสดุเซรามิกที่นำมาขึ้นรูปเป็นรูปทรงต่างๆ ประกอบด้วย ดินขาว ดินเหนียว แร่ควอรตซ์ แร่ฟันม้าและอื่นๆ

2.1.2 เคลือบ (glaze) มีลักษณะเป็นแก้วบางๆฉาบอยู่บนผิวของเนื้อผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปเกิดจากการหลอมตัวของสารซิลิเกตซึ่งมีส่วนประกอบคล้ายกับเนื้อผลิตภัณฑ์ แต่มีสัดส่วนแตกต่างกัน นอกจากสารซิลิเกตแล้วยังมีสารที่ช่วยในการหลอมตัว (flux) ได้แก่โลหะออกไซด์ต่างๆ ตะกั่วออกไซด์ (PbO) เป็นโลหะออกไซด์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกอย่างแพร่หลาย เพราะว่ามีสมบัติในการช่วยหลอมตัวที่ดีทำให้เคลือบหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำและมีความหนืดลดลงรวมทั้งเคลือบไม่ตกผลึกขณะเย็นตัว ซึ่งเป็นผลทำให้ผิวเคลือบเรียบและมีลักษณะมันวาวเนื่องจากมีดัชนีการหักเหของแสงสูง แต่การใช้ตะกั่วออกไซด์ในเคลือบมีข้อเสียคือ ความต้านทานของเคลือบจะลดลงเมื่อปริมาณตะกั่วสูงขึ้น ถ้าเคลือบมีส่วนประกอบไม่เหมาะสม และเผาไม่ถึงจุดสุกตัว ทำให้เคลือบถูกกัดกร่อนและสามารถละลายได้ในสารละลายกรด

ตะกั่วออกไซด์ที่ละลายออกมาจะเป็นพิษต่อร่างกาย ซึ่งการละลายออกมาสามารถลดลงได้โดยการทำให้อยู่ในรูป ของฟริต (frit) ก่อนนำไปใช้งาน คือ การนำไปหลอมกับส่วนผสมอื่น ส่วนใหญ่เป็นซิลิกากับอะลูมินาให้อยู่ในรูปตะกั่วซิลิเกต ทำให้การละลายของตะกั่วลดลง เมื่อเผาเคลือบจะทำให้เคลือบสุกตัวดี การละลายของตะกั่วจากเคลือบ ถึงแม้ว่าก่อนนำมาใช้เคลือบจะนำไปทำเป็นฟริตก่อนก็ตาม สารตะกั่วก็อาจละลายออกมาได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. การสุกตัวของเคลือบ โดยปริมาณการละลายของตะกั่วจะลดลงเมื่อเผาเคลือบจนสุกตัวดี

2. การลดปริมาณฟริตบอแรกซ์ในเคลือบตะกั่ว จะช่วยลดการละลายของตะกั่วจากเคลือบได้

3. การละลายของตะกั่วจะเพิ่มขึ้นถ้าในเคลือบมีปริมาณโซดาและโปแตสมาก

4. การละลายของตะกั่วเพิ่มขึ้น ถ้ามีสารคอปเปอร์ออกไซด์หรือคอปเปอร์คาร์บอเนต เนื่องจากคอปเปอร์จะเข้าไปอยู่ในโครงสร้างผลึกของเคลือบ ทำให้ตะกั่วละลายออกมาได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับกรด

5. การเพิ่มปริมาณซิลิกา อะลูมินา ทิเทเนียมหรือเซอร์โคเนียมในเคลือบ จะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการละลายของโลหะหนักในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด นอกจากนี้การละลายของตะกั่วจากผิวภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหารยังขึ้นอยู่กับสภาวะการใช้งาน เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด – ด่าง เวลาสัมผัสและการสัมผัสซ้ำ โดยการละลายของตะกั่วมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น แต่การละลายลดลงเมื่อเพิ่มสภาพความเป็นด่างและการสัมผัสซ้ำ

2.1.3 สีเซรามิก (ceramic color) เป็นสีจากโลหะออกไซด์ เช่น เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) นิเกิลออกไซด์ (NiO) คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) โคบอลท์ออกไซด์ (CoO) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสีสำเร็จรูปหรือ สีสะเตน (stain) เป็นสีที่มีโครงสร้างผลึกที่เสถียรในขณะหลอม เช่น สีน้ำเงินชนิดโคบอลท์อะลูมิเนต ($CoAl_2O_3$) สีเหลืองชนิดเซอร์คอน ((Zr, Pr) SiO_4) สีชมพูชนิดโครมอะลูมินาคอรันดัม ((Al , Cr)$_2O_3$) สีน้ำตาลชนิดซิงค์เฟอร์ไรต์สปิเนล ($ZnFe_2O_4$) เป็นต้น แต่สีบางชนิดไม่สามารถเตรียมได้จากโครงสร้างของผลึกออกไซด์ เช่น สีแดง สีเหลือง สีส้ม ชนิดแคดเมียมซัลโฟซิลิไนด์ (CdS-Se) แต่ต้องเติมแคดเมียมออกไซด์ (CdO) ประมาณร้อยละ 3 – 5 เพื่อช่วยให้สีคงทนยิ่งขึ้น สีชนิดนี้ไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิเกิน 1,000 องศาเซลเซียส และไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับภาชนะบรรจุอาหาร เนื่องจากมีความต้านทานต่ำต่อการละลายในกรด

การตกแต่งสีบนภาชนะเซรามิกสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

2.1.3.1 การตกแต่งใต้เคลือบ เป็นการใช้สีเซรามิกตกแต่งลวดลายบนภาชนะเซรามิกก่อนที่จะเคลือบ แล้วนำไปเผา หรือใช้วิธีการผสมสีลงไปในน้ำเคลือบก็ได้ สีที่ใช้ตกแต่งด้วยวิธีนี้สามารถทนอุณหภูมิได้ถึงจุดสุกตัวของเคลือบ

2.1.3.2 การตกแต่งบนเคลือบ เป็นการใช้สีเซรามิกตกแต่งลวดลายบนภาชนะเซรามิกที่ผ่านการเผาเคลือบมาแล้ว โดยการใช้สีเขียนลวดลายหรือใช้รูปลอกตกแต่งบนเคลือบ แล้วนำไปเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิประมาณ 550-800 องศาเซลเซียส เพื่อให้สีติดบนผิวเคลือบ ซึ่งสีที่ใช้บนเคลือบต้องมีส่วนผสมของสารที่ช่วยในการหลอมตัวประมาณร้อยละ 60 - 95 สีส่วนใหญ่มักมีส่วนประกอบของตะกั่วและแคดเมียม

โดยทั่วไปสีเซรามิกที่มีส่วนประกอบของตะกั่วและแคดเมียมจะมีโครงสร้างผลึกที่ไม่แข็งแรงเหมือนกับโครงสร้างผลึกของโลหะอื่นๆ จึงสามารถละลายออกมาได้ง่ายในสารละลายกรด

เนื่องจากตะกั่วและแคดเมียมมีความเป็นพิษต่อร่างกายของมนุษย์ ปัจจุบันประเทศต่างๆ เช่น อังกฤษ สหรัฐอเมริกา เยอรมัน ญี่ปุ่น อินเดีย และประเทศไทย จึงกำหนดปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ยอมให้ละลายออกมาจากภาชนะเซรามิกสำหรับบรรจุอาหารในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ASTM C 738 , BS 6748 , DIN 51032 , EC 84/500 , IS 14179 และ มอก 32 , 564 , 601 , 602 เพื่อควบคุมปริมาณโลหะทั้งสองชนิดไม่ให้ปนเปื้อนในอาหารที่บรรจุในภาชนะเซรามิก

2.1.4 ความเป็นพิษของตะกั่วและแคดเมี่ยม

2.1.4.1 ตะกั่ว

เป็นโลหะที่มีความเป็นพิษสูงต่อร่างกาย และสามารถสะสมอยู่ในร่างกาย โดยยึดจับกับเม็ดเลือดแดงแทนที่เหล็กในฮีโมโกลบินทำให้ตะกั่วกระจายผ่านกระแสเลือดไปสู่เนื้อเยื่อต่างๆของร่างกาย ตะกั่วมักสะสมอยู่ที่ไต รองลงมาคือ ตับ รวมทั้งกระดูกและฟัน ผู้ที่ได้รับตะกั่วในปริมาณมากๆจะมีอาการโดยเฉียบพลันคือ กระหายน้ำ เยื่อในปากเหี่ยวย่น คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ลงท้องอย่างแรง อุจจาระดำ หรือมีอาการทางประสาท เช่น ชา ซู่ซ่าตามผิวหนัง ชักกระตุก กล้ามเนื้อไม่มีแรง เมื่อร่างกายได้รับตะกั่วสะสมเป็นปริมาณมากๆ จะทำให้ไตถูกทำลาย โลหิตจาง สมองเสื่อม หงุดหงิด สมาธิสั้น ขาดความกระตือรือร้น เป็นหวัดบ่อย และเป็นโรคประสาทอ่อนๆ

2.1.4.2 แคดเมียม

เป็นโลหะที่มีความเป็นพิษสูงกว่าตะกั่ว และมักสะสมอยู่ที่ไต ตับและกระดูก ถ้าสะสมในปริมาณมากๆจะทำให้เกิดความผิดปกติของไต และเป็นสาเหตุของมะเร็งตับ นอกจากนี้ยังมีอาการระคายเคืองของระบบทางเดินหายใจ เช่น หายใจขัด แน่นหน้าอก คออักเสบ สูญเสียความรู้สึกในการสัมผัสกลิ่น ความเป็นพิษของแคดเมียมสามารถเข้าไปแทนที่สังกะสีในเอนไซม์บางชนิดที่มีอยู่ในร่างกาย ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ

เมื่อคำนึงถึงอันตรายของโลหะหนักทั้งสองที่มีต่อผู้บริโภค หลายๆประเทศจึงได้ร่วมจัดทำมาตรฐาน International Organization for standardization (ISO) เพื่อกำหนดการละลายของโลหะหนักจากผิวภาชนะเซรามิกสำหรับบรรจุอาหารโดยเฉพาะ ตะกั่วและ แคดเมียม ซึ่งมีเกณฑ์กำหนดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์กำหนดปริมาณ ตะกั่วและแคดเมียมที่ละลายจากภาชนะเซรามิก ตามมาตรฐาน ISO 6486/2

ผลิตภัณฑ์	เกณฑ์ที่กำหนดไม่เกิน	
	ตะกั่ว	แคดเมียม
ภาชนะแบบแบน , มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร	0.8	0.07
ภาชนะแบบลึกขนาดเล็ก , มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	2	0.5
ภาชนะแบบลึกขนาดใหญ่ , มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	1	0.25
ภาชนะบรรจุอาหาร , มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	0.5	0.25
ภาชนะหุงต้ม , มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	0.5	0.25
ถ้วย (cup & mug) , มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	0.5	0.25

หมายเหตุ ภาชนะแบบแบน คือ ภาชนะที่มีความลึกไม่เกิน 25 มิลลิเมตร
ภาชนะแบบลึกขนาดเล็ก คือ ภาชนะที่มีความจุน้อยกว่า 1.1 ลิตร
ภาชนะแบบลึกขนาดใหญ่ คือ ภาชนะที่มีความจุมากกว่า 1.1 ลิตร
ภาชนะบรรจุอาหาร คือ ภาชนะที่มีความจุมากกว่า 3 ลิตร

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะต่างๆ ในปริมาณน้อยๆ โดยอาศัยหลักการทำงานของพลังงานความร้อนที่เหมาะสมจากเปลวไฟ ทำให้โมเลกุลของธาตุในสารประกอบแตกตัวเป็นอะตอมอิสระ อะตอมอิสระของธาตุที่เกิดขึ้นจะดูดกลืนพลังงานแสงที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับธาตุนั้นๆ ให้เข้าสู่ภาวะกระตุ้น (excited state) ส่วนพลังงานแสงที่เหลือจะผ่านมาเข้ายังดีเทคเตอร์ (detector) พลังงานที่อ่านได้จากดีเทคเตอร์ ถูกนำไปเปรียบเทียบกับพลังงานแสงเริ่มต้นเพื่อทราบพลังงานที่ถูกดูดกลืน โดยพลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณอะตอมอิสระของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ นั่นคือ ความเข้มข้นของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ตาม Lambert - Beer 's Law คือ

$$A = abc$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)
a = ค่าคงที่ (absorptivity)
b = ความหนาของเซล
c = ความเข้มข้นของสารที่ดูดกลืนแสง

เนื่องจากเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานต่างๆยอมให้มีสารตะกั่วและแคดเมียมละลายออกมาจากภาชนะเซรามิกในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในช่วงมาตรฐานกำหนดไว้ ดังนั้นการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอ เช่น การหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ การหาความไวในการวิเคราะห์ การหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ การหาความแม่นและความเที่ยงในการวิเคราะห์ เป็นต้น

2.2 การหาความไวในการวิเคราะห์ (sensitivity , characteristic concentration)

ความไวในการวิเคราะห์ของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ คือค่าความเข้มข้นของธาตุที่สามารถเกิดการดูดกลืนแสงได้ร้อยละ 1 หรือ อ่านค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.0044 ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ความไวในการวิเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{\text{Conc. of standard x 0.0044}}{\text{Measured Absorbance}}$$

2.3 การหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Method Detection Limit , MDL)

ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ คือ ความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยวิธีทดสอบนั้น ซึ่งสามารถหาได้จากการวัดความเข้มข้นและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลงค์ (ในกรณีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ละลายจากภาชนะเซรามิกใช้กรดอะเซติกความเข้มข้นร้อยละ 4) จำนวน 10 ครั้งและคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของสารละลายแบลงค์ โดยใช้สูตร

$$\text{ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน} = \sqrt{\frac{\sum\left(Xi - \overline{X}\right)^2}{n-1}}$$

เมื่อ Xi คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายแบลงค์

$\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารละลายแบลงค์

n คือ จำนวนครั้งของการวัด

ดังนั้น ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ = 3 x ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4 การหาขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (Limit of Quantitation , LOQ)

ขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ คือค่าความเข้มข้นหรือปริมาณต่ำสุดของสารที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถหาได้จากค่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากสูตร

ขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ = 10 x ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.5 การหาความแม่น (accuracy) ในการวิเคราะห์

ความแม่นในการวิเคราะห์ หมายถึง ความใกล้เคียงกันของค่าที่วัดได้กับค่าจริง ซึ่งตรวจสอบได้จากการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่อยู่กลางกราฟมาตรฐานโดยใช้สารชุดเดียวกันกับชุดที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐาน (Continuing Calibration Standard , CCS) และ หาเกณฑ์ตัดสินผลการวิเคราะห์โดยใช้การทดสอบแบบที (T – test) จากสูตร

$$T = \frac{(\bar{x} - \mu)\sqrt{n}}{SD}$$

เมื่อ T = ค่า T จากการคำนวณ

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยจากการวัด CCS

μ = ค่ากำหนดของ CCS

n = จำนวนครั้งที่วิเคราะห์ซ้ำ

SD = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดซ้ำ

เกณฑ์การยอมรับ $T \leq T_c$ (ค่า T จากตาราง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

2.6 การหาความเที่ยง (precision) ในการวิเคราะห์

ความเที่ยงในการวิเคราะห์ หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความใกล้เคียงกันของการวัดที่ทดสอบซ้ำหลายครั้ง ซึ่งตรวจสอบได้จากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (relative standard deviation , RSD) จากสูตร

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ,ร้อยละ = $\frac{\text{ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน x 100}}{\text{ค่าเฉลี่ย}}$

เกณฑ์การยอมรับของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ไม่ควรเกินร้อยละ 10

บทที่ 3

การดำเนินการ

3.1 ตัวอย่าง

ภาชนะเซรามิกบรรจุอาหารที่ผลิตภายในประเทศและนำเข้าจากต่างประเทศ จำนวน 51 ตัวอย่าง ได้แก่ จาน ชาม แก้ว ถ้วยกาแฟ ถ้วยน้ำชา กาน้ำชา (รายละเอียดของตัวอย่างแสดงในภาคผนวกตารางที่ 7 และรูปในหน้า 41-44)

3.2 วัสดุ อุปกรณ์

3.2.1 เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Flame Atomic Absorbtion Spectrophotometer) รุ่น Spectra A 300 ยี่ห้อ Varian ประเทศออสเตรเลีย

3.2.2 หลอดกำเนิดแสงฮอลโลว์แคโทดแลมป์ (hollow cathode lamp) สำหรับ ตะกั่ว และแคดเมียม ยี่ห้อ Varian ประเทศออสเตรเลีย

3.2.3 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ประเทศไทย

3.3 สารเคมีและสารละลาย

3.3.1 กรดอะซิติกเข้มข้น (glacial acetic acid) ชนิด analytical grade บริษัท Merck

3.3.2 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (lead standard solution) ที่มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร บริษัท Merck

3.3.3 สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (cadmium standard solution) ที่มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร บริษัท Merck

3.3.4 ก๊าซอะเซติลีน (acetylene gas) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 บริษัทไทยอินดัสเตรียลแก๊ส

3.3.5 สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4

ปิเปตกรดอะซิติกเข้มข้น 40 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร และเติมน้ำบริสุทธิ์จนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3.3.6 สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร และเติมน้ำบริสุทธิ์จนถึงขีดปริมาตร เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3.3.7 สารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำบริสุทธิ์จนถึงขีดปริมาตร เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3.4 วิธีดำเนินการ

3.4.1 การหาช่วงความเป็นเส้นตรง (linearity range) สำหรับการวิเคราะห์ตะกั่ว

เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่เป็นเส้นตรง โดยหาความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้น (linear regression) และค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient , r^2) สำหรับสมการเส้นตรง r^2 ต้องมีค่าเป็น 1 แต่ในทางปฏิบัติ r^2 ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.995

3.4.1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 5,10 , 15 20 , 25 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มา 5 , 10 , 15 , 20 , 25 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 จนถึงขีดปริมาตร สำหรับสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 30 มิลลิกรัม/ลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร 15 มิลลิลิตร ใส่ขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 จนถึงขีดปริมาตร

3.4.1.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 1 , 1.5 , 2 , 2.5 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 10 ,15 , 20 , 25 มิลลิกรัม/ลิตร สารละลายละ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 จนถึงขีดปริมาตร

3.4.1.3 เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 จนถึงขีดปริมาตร

3.4.1.4 นำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยมีสภาวะของเครื่องตามตารางที่ 2

3.4.1.5 นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง

3.4.1.6 คำนวณสมการเชิงเส้น และค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์

3.4.2 การหาช่วงความเป็นเส้นตรงสำหรับการวิเคราะห์แคดเมียม

3.4.2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 จนถึงขีดปริมาตร

3.4.2.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 0.3 ,0.5 , 1.0, 1.5 , 2.0 , 2.5 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร 3 , 5 , 10 , 15 , 20 , 25 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 จนถึงขีดปริมาตร สำหรับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัม/ลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร 15 มิลลิลิตร ใส่ขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 จนถึงขีดปริมาตร

3.4.2.3 นำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.4.2.4 นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงและคำนวณสมการเชิงเส้นเช่นเดียวกับตะกั่ว

ตารางที่ 2 สภาวะของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของตะกั่วและแคดเมียม

สภาวะการทดสอบ	ตะกั่ว	แคดเมียม
Wavelength , nm	217.0	228.8
Slit width , nm	1.0	0.5
Lamp current , mA	10	4
Flame type	Air - acetylene	Air - acetylene
Flame stoichiometry	Oxidizing	Oxidizing

3.4.3 การหาความไวในการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม

3.4.3.1 สำหรับตะกั่วหาได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลงค์ 10 ครั้ง และวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐาน 5 มิลลิกรัม/ลิตร 10 ครั้ง

3.4.3.2 สำหรับแคดเมียมวิเคราะห์เช่นเดียวกับตะกั่ว แต่ใช้สารละลายแคดเมียมมาตรฐาน0.5 มิลลิกรัม/ลิตร

3.4.4 การหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (MDL) และการหาขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (LOQ)

วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลงค์ สำหรับตะกั่วและแคดเมียม 10 ครั้ง

3.4.5 การหาความแม่นในการวิเคราะห์

วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วมาตรฐาน 3 มิลลิกรัม/ลิตรและความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมมาตรฐาน 1 มิลลิกรัม/ลิตร 7 ครั้ง

3.4.6 การหาความเที่ยงในการวิเคราะห์

วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วมาตรฐาน 3 และ 5 มิลลิกรัม/ลิตรและความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมมาตรฐาน 0.5 และ 1 มิลลิกรัม/ลิตร ความเข้มข้นละ 7 ครั้ง

3.4.7 การหาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมจากผิวภาชนะเซรามิกสำหรับบรรจุอาหาร

3.4.7.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำภาชนะเซรามิกที่ต้องการวิเคราะห์มาทำความสะอาด ด้วยสารละลายดีเทอร์เจนท์เหลวเพื่อกำจัดรอยเปื้อนต่างๆ แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดและน้ำบริสุทธิ์ นำไปอบให้แห้งในเตาอบภายหลังทำความสะอาดแล้วต้องระวังไม่ให้มีการสัมผัสผิวด้านที่จะวิเคราะห์

3.4.7.2 วิธีการสกัด ตะกั่วและแคดเมียม

วางภาชนะเซรามิกที่แห้งแล้วไว้บนพื้นราบ จากนั้นเติมสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 4 ลงในภาชนะโดยให้ระดับสารละลายต่ำจากขอบน้ำล้น 5 มิลลิเมตร บันทึกปริมาตรที่ใช้ปิดภาชนะด้วยกระจกนาฬิกา เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (ควรเก็บในที่มืดเพื่อป้องกันผิวภาชนะส่วนที่ถูกสกัดจากแสงสว่าง) โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 22 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง $\pm$ 10 นาที หลังจากแช่ทิ้งไว้ครบ 24 ชั่วโมง ถ้าปริมาตรของสารละลายกรดในภาชนะลดลงให้เติมกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 จนกระทั่งได้ปริมาตรเท่าเดิม

3.4.7.3 วิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

นำสารละลายกรดที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและแคดเมียม ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สำหรับตะกั่วใช้ความยาวคลื่น 217.0 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 0.5 , 1.0 , 3.0 , 5.0 , 10.0 มิลลิกรัม/ลิตร ในสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 4 สำหรับแคดเมียมใช้ความยาวคลื่น 228.8 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 0.3 , 0.5 , 1.0 , 1.5 , 2.0 มิลลิกรัม/ลิตร ในสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 4

จากนั้นคำนวณหาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ละลายออกมาจากผิวภาชนะเซรามิกโดยใช้กราฟมาตรฐานของตะกั่วและแคดเมียม

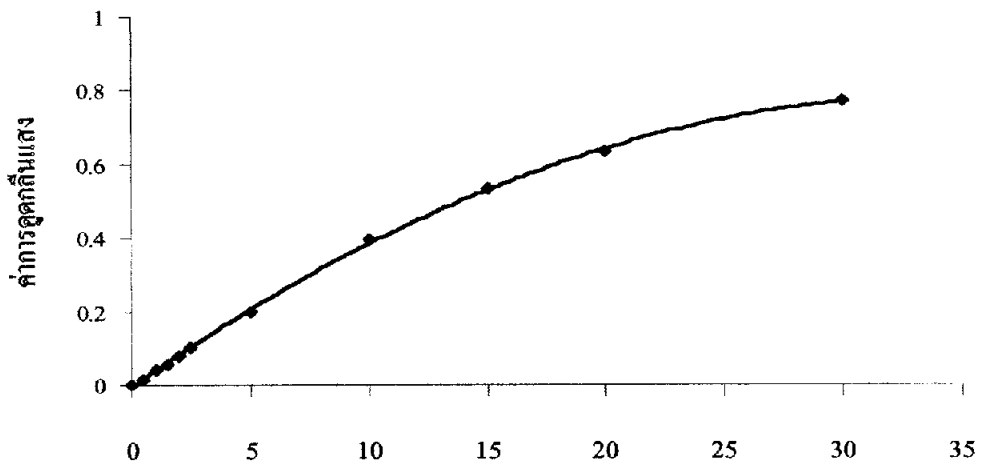
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การหาช่วงความเป็นเส้นตรงสำหรับการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม

4.1.1 การหาช่วงความเป็นเส้นตรงสำหรับการวิเคราะห์ตะกั่ว

จากการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ (ในภาคผนวก ตารางที่ 1) และนำมาเขียนกราฟดังแสดงในภาพที่ 1 เมื่อนำความเข้มข้นแต่ละช่วงมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) จะให้ผลดังแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วและค่าการดูดกลืนแสง

ตารางที่ 3 สมการเชิงเส้น (linear regression) และ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ของช่วงความเข้มข้นต่างๆ สำหรับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

ช่วงความเข้มข้น, มิลลิกรัม/ลิตร	สมการเชิงเส้น	r^2
0 - 5	Y = 0.040 X	0.9988
0 - 10	Y = 0.0396 X	0.9997
0 - 15	Y = 0.0371 X	0.9948
0 - 20	Y = 0.0343 X	0.986
0 - 30	Y = 0.0297 X	0.9528

เมื่อสมการเชิงเส้น คือ Y = A + BX

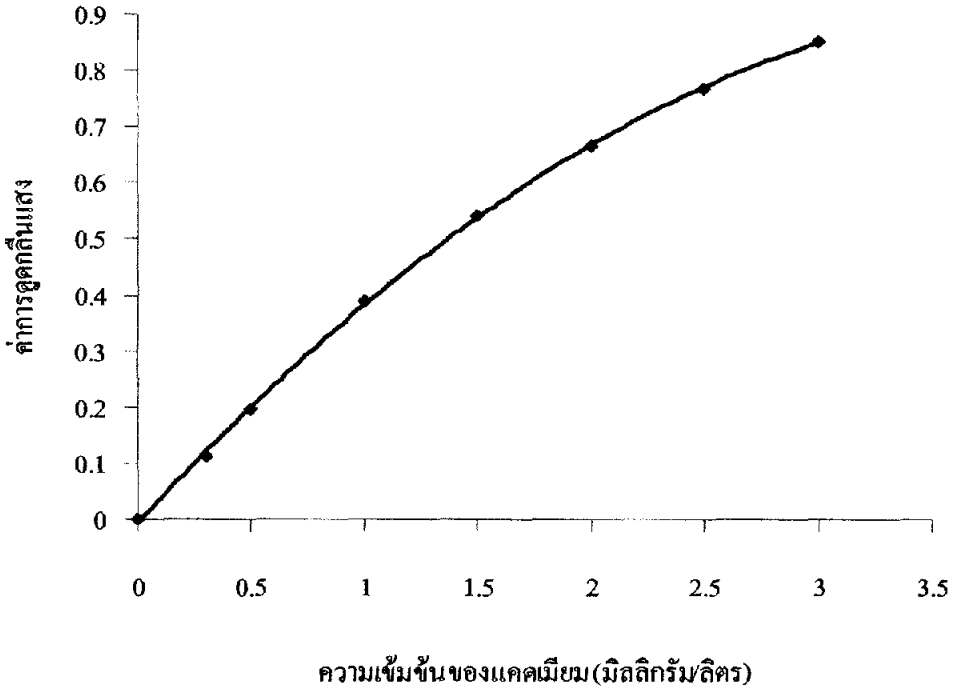
A = จุดตัดแกน Y ซึ่งในที่นี้ = 0

B = ความชัน (slope)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
บรรณวิทยาสาขาวิชาบริการ

4.1.2 การหาช่วงความเป็นเส้นตรงสำหรับการวิเคราะห์แคดเมียม

ในทำนองเดียวกันเมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้นต่างๆ (ในภาคผนวก ตารางที่ 2) และนำมาเขียนกราฟดังแสดงในภาพที่ 2 นำเอาความเข้มข้นแต่ละช่วงมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2)จะให้ผลดังแสดงในตารางที่ 4



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมและค่าการดูดกลืนแสง

ตารางที่ 4 สมการเชิงเส้น (linear regression) และ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ของช่วงความเข้มข้นต่างๆ สำหรับสารละลาย มาตรฐานแคดเมียม

ช่วงความเข้มข้น, มิลลิกรัม/ลิตร	Linear regression	r^2
0 - 1.0	Y = 0.3883 X	0.9996
0 - 1.5	Y = 0.3712 X	0.9965
0 - 2.0	Y = 0.3513 X	0.9900
0 - 2.5	Y = 0.3316 X	0.9807
0 - 3.0	Y = 0.3128 X	0.9684

4.2 ค่าความไวในการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม

ค่าความไวในการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม (ดังแสดงในตารางที่ 5) หาได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลในภาคผนวก ตารางที่ 3

ตารางที่ 5 ค่าความไวในการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม

ธาตุ	ค่าความไวของการวิเคราะห์ , มิลลิกรัม/ลิตร
ตะกั่ว	0.10
แคดเมียม	0.01

4.3 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Method Detection Limit , MDL) ของตะกั่วและแคดเมียม

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ สำหรับตะกั่วและแคดเมียม (ดังแสดงในตารางที่ 6) หาได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลในภาคผนวก ตารางที่ 4

ตารางที่ 6 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม

ธาตุ	ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ , มิลลิกรัม/ลิตร
ตะกั่ว	0.02
แคดเมียม	0.002

4.4 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (Limit of Quantitation , LOQ) สำหรับตะกั่วและแคดเมียม

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ สำหรับตะกั่วและแคดเมียม (ดังแสดงในตารางที่ 7) หาได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลในภาคผนวก ตารางที่ 4

ตารางที่ 7 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์สำหรับตะกั่วและแคดเมียม

ธาตุ	ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ , มิลลิกรัม/ลิตร
ตะกั่ว	0.05
แคดเมียม	0.01

4.5 ความแม่น (accuracy) ในการวิเคราะห์ ตะกั่ว และ แคดเมียม

ความแม่น ของการวิเคราะห์ตะกั่ว และแคดเมียม (ดังแสดงในตารางที่ 8) หาได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลในภาคผนวก ตารางที่ 5

ตารางที่ 8 ค่า T จากการคำนวณและจากตารางของตะกั่วและแคดเมียม

ธาตุ	ค่า T จากการคำนวณ	ค่า T จากตาราง (T_c)
ตะกั่ว	0.56	2.36
แคดเมียม	1.79	2.36

4.6 ความเที่ยง (precision) ในการวิเคราะห์ ตะกั่วและแคดเมียม

ความเที่ยงในการวิเคราะห์ ตะกั่วและแคดเมียม (ดังแสดงในตารางที่ 9) หาได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลในภาคผนวก ตารางที่ 6

ตารางที่ 9 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์(RSD) ของตะกั่วและแคดเมียม

ธาตุ	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) , %
ตะกั่ว 3 มิลลิกรัม / ลิตร	1.67
ตะกั่ว 5 มิลลิกรัม / ลิตร	0.52
แคดเมียม 0.5 มิลลิกรัม / ลิตร	0.40
แคดเมียม 1 มิลลิกรัม / ลิตร	0.24

4.7 ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ละลายจากภาชนะเซรามิกบรรจุอาหารด้วยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 4 โดยใช้เครื่อง AAS ของตัวอย่าง A1- A30, B1- B13, C1- C8 ดังแสดงในตารางที่ 10 , 11 และ 12 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ของตัวอย่าง A1- A30

รหัส	ปริมาณตะกั่ว , มิลลิกรัม / ลิตร	ปริมาณแคดเมียม , มิลลิกรัม / ลิตร
A 1	ไม่พบ	ไม่พบ
A 2	ไม่พบ	ไม่พบ
A 3	ไม่พบ	ไม่พบ
A 4	ไม่พบ	ไม่พบ
A 5	ไม่พบ	ไม่พบ
A 6	ไม่พบ	ไม่พบ
A 7	ไม่พบ	ไม่พบ
A 8	ไม่พบ	ไม่พบ
A 9	ไม่พบ	ไม่พบ
A 10	ไม่พบ	ไม่พบ
A 11	ไม่พบ	ไม่พบ
A 12	ไม่พบ	ไม่พบ
A 13	ไม่พบ	ไม่พบ
A 14	ไม่พบ	ไม่พบ
A 15	ไม่พบ	ไม่พบ
A 16	ไม่พบ	ไม่พบ
A 17	ไม่พบ	ไม่พบ
A 18	ไม่พบ	ไม่พบ
A 19	ไม่พบ	ไม่พบ
A 20	ไม่พบ	ไม่พบ
A 21	ไม่พบ	ไม่พบ
A 22	ไม่พบ	ไม่พบ
A 23	ไม่พบ	ไม่พบ
A 24	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ของตัวอย่าง A1- A30 (ต่อ)

รหัส	ปริมาณตะกั่ว , มิลลิกรัม / ลิตร	ปริมาณแคดเมียม , มิลลิกรัม / ลิตร
A 25	ไม่พบ	ไม่พบ
A 26	ไม่พบ	ไม่พบ
A 27	ไม่พบ	ไม่พบ
A 28	ไม่พบ	ไม่พบ
A 29	ไม่พบ	ไม่พบ
A 30	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ของตัวอย่าง B1- B13

รหัส	ปริมาณตะกั่ว , มิลลิกรัม / ลิตร			ปริมาณแคดเมียม , มิลลิกรัม / ลิตร
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
B 1	0.18	0.10	ไม่พบ	ไม่พบ
B 2	0.18	0.10	ไม่พบ	ไม่พบ
B 3	0.23	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
B 4	0.52	0.21	ไม่พบ	ไม่พบ
B 5	0.87	0.25	ไม่พบ	ไม่พบ
B 6	0.35	0.12	ไม่พบ	ไม่พบ
B 7	0.35	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
B 8	0.45	0.14	ไม่พบ	ไม่พบ
B 9	0.31	0.15	ไม่พบ	ไม่พบ
B 10	0.22	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
B 11	0.38	0.21	ไม่พบ	ไม่พบ
B 12	0.94	0.14	ไม่พบ	ไม่พบ
B 13	0.10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ของตัวอย่าง C1- C8 ครั้งที่ 1

รหัส	ปริมาณตะกั่ว , มิลลิกรัม / ลิตร	ปริมาณแคดเมียม , มิลลิกรัม / ลิตร
C 1	1.35	ไม่พบ
C 2	2.27	ไม่พบ
C 3	1.80	ไม่พบ
C 4	2.50	ไม่พบ
C 5	4.96	ไม่พบ
C 6	3.78	ไม่พบ
C 7	4.14	ไม่พบ
C 8	1.54	ไม่พบ

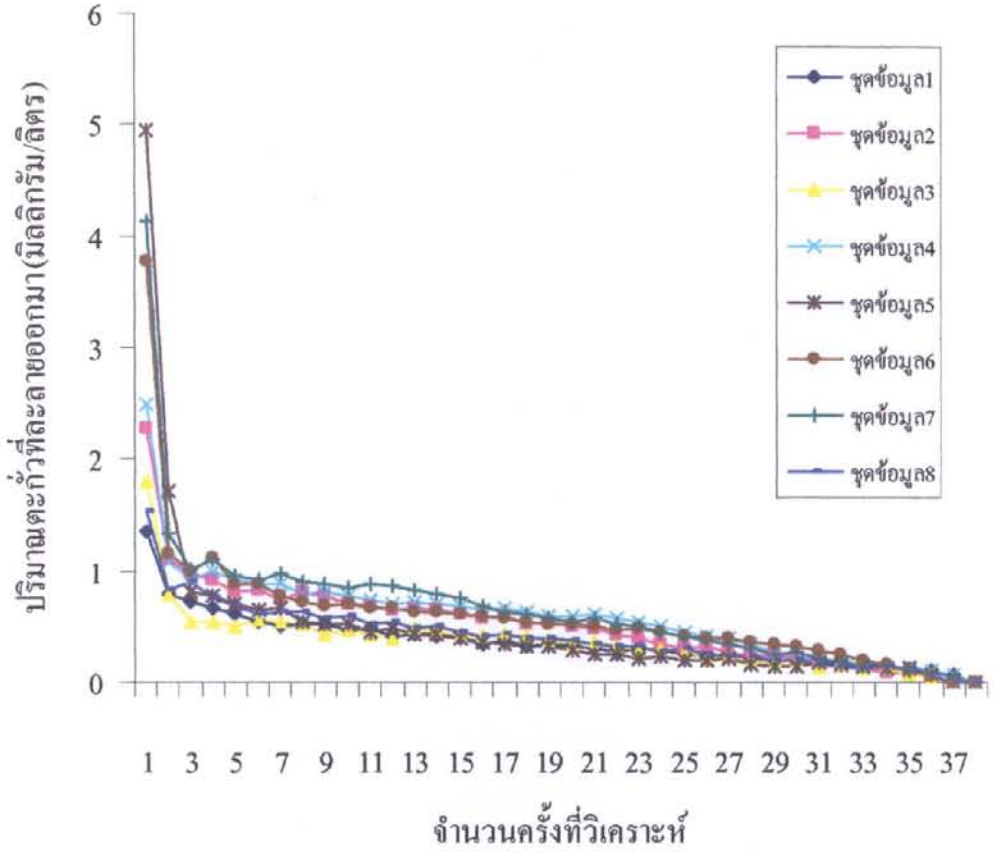
เนื่องจากตัวอย่าง C1- C8 มีปริมาณตะกั่วละลายออกมาค่อนข้างสูง จึงได้ทำการวิเคราะห์ซ้ำหลายครั้งจนกระทั่งไม่พบปริมาณตะกั่วละลายออกมา ดังได้แสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 จำนวนครั้งในการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วของตัวอย่าง C1- C8

ครั้งที่	C 1 (มก/ลิตร)	C 2 (มก/ลิตร)	C 3 (มก/ลิตร)	C 4 (มก/ลิตร)	C 5 (มก/ลิตร)	C 6 (มก/ลิตร)	C 7 (มก/ลิตร)	C 8 (มก/ลิตร)
1	1.35	2.27	1.80	2.50	4.96	3.78	4.14	1.54
2	0.79	1.11	0.79	1.09	1.71	1.16	1.33	0.84
3	0.72	0.97	0.54	0.93	0.81	0.99	1.01	0.90
4	0.66	0.92	0.55	0.99	0.77	1.12	1.10	0.76
5	0.62	0.82	0.51	0.92	0.70	0.88	0.96	0.68
6	0.55	0.83	0.56	0.88	0.65	0.89	0.93	0.62
7	0.51	0.75	0.54	0.89	0.66	0.77	0.98	0.64
8	0.53	0.82	0.52	0.79	0.54	0.72	0.90	0.63
9	0.53	0.77	0.43	0.81	0.52	0.68	0.89	0.57
10	0.47	0.71	0.47	0.77	0.52	0.70	0.85	0.59
11	0.49	0.68	0.44	0.74	0.46	0.66	0.88	0.52
12	0.42	0.65	0.40	0.71	0.48	0.67	0.86	0.55

ตารางที่ 13 จำนวนครั้งในการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วของตัวอย่าง C1- C8 (ต่อ)

ครั้งที่	C 1 (มก/ลิตร)	C 2 (มก/ลิตร)	C 3 (มก/ลิตร)	C 4 (มก/ลิตร)	C 5 (มก/ลิตร)	C 6 (มก/ลิตร)	C 7 (มก/ลิตร)	C 8 (มก/ลิตร)
13	0.44	0.67	0.48	0.73	0.43	0.63	0.83	0.48
14	0.42	0.65	0.45	0.71	0.43	0.63	0.79	0.50
15	0.40	0.61	0.43	0.68	0.40	0.61	0.76	0.46
16	0.35	0.58	0.42	0.65	0.37	0.60	0.68	0.42
17	0.38	0.60	0.44	0.66	0.35	0.58	0.64	0.44
18	0.33	0.53	0.42	0.63	0.32	0.55	0.62	0.39
19	0.34	0.55	0.38	0.60	0.33	0.52	0.58	0.40
20	0.32	0.51	0.35	0.59	0.29	0.53	0.55	0.38
21	0.31	0.49	0.37	0.62	0.25	0.50	0.58	0.35
22	0.28	0.43	0.32	0.57	0.25	0.47	0.53	0.32
23	0.30	0.39	0.29	0.55	0.22	0.49	0.50	0.32
24	0.29	0.34	0.31	0.50	0.24	0.45	0.45	0.28
25	0.26	0.30	0.27	0.46	0.20	0.42	0.42	0.30
26	0.23	0.32	0.22	0.42	0.19	0.39	0.38	0.25
27	0.25	0.27	0.23	0.39	0.21	0.40	0.34	0.23
28	0.22	0.23	0.19	0.34	0.17	0.37	0.31	0.23
29	0.19	0.26	0.18	0.28	0.14	0.34	0.26	0.19
30	0.20	0.20	0.20	0.24	0.15	0.32	0.28	0.20
31	0.19	0.19	0.15	0.19	0.18	0.29	0.22	0.17
32	0.16	0.15	0.17	0.20	0.16	0.26	0.18	0.15
33	0.17	0.13	0.12	0.17	0.14	0.20	0.14	0.12
34	0.15	0.09	0.12	0.13	0.12	0.16	0.15	0.14
35	0.13	0.09	0.07	0.15	0.13	0.10	0.11	0.12
36	0.10	0.06	0.05	0.10	0.08	0.06	0.09	0.07
37	0.08	ไม่พบ	ไม่พบ	0.07	ไม่พบ	ไม่พบ	0.06	ไม่พบ
38	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่วิเคราะห์กับปริมาณตะกั่วที่ละลายออกมาจากภาชนะ C1 — C8

บทที่ 5
วิจารณ์ผล

5.1 การหาช่วงการเป็นเส้นตรงสำหรับการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม

การหาช่วงการเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ ก็คือ การหาช่วงเส้นตรงที่ยาวที่สุดของกราฟมาตรฐาน ที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณธาตุได้โดยไม่ต้องเจือจางความเข้มข้นของธาตุก่อนทำการวิเคราะห์ และเป็นช่วงที่ให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้องมากที่สุด โดยปกติแล้วการวิเคราะห์โดยวิธีเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายที่วิเคราะห์สูงขึ้น จะทำให้แสงจากหลอดฮอลโลว์แคโทดแลมป์บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับอะตอมของธาตุในสารละลาย ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงไม่เป็นไปตามกฎ Lambert-Beer's Law มีผลทำให้กราฟที่ได้ไม่เป็นเส้นตรง โดยทั่วๆไปแล้วการหาช่วงการเป็นเส้นตรงพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ซึ่งในทางทฤษฎีจะมีค่าเป็น 1.000 แต่ในทางปฏิบัติต้องมีค่ามากกว่า 0.995 เป็นค่าที่ยอมรับได้ ช่วงการเป็นเส้นตรงของเครื่องมือแต่ละเครื่องจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของแต่ละเครื่อง สำหรับเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ในครั้งนี้ มีค่าความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของ ตะกั่วและแคดเมียมที่วิเคราะห์ได้ 0—15 มิลลิกรัม/ลิตร และ 0—1.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รายละเอียดตามตารางที่ 3 และตารางที่ 4)

5.2 การหาความไวในการวิเคราะห์

เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเทียบกับความเข้มข้น สำหรับเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ คือ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของแต่ละธาตุที่เครื่องมือสามารถอ่านค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.0044 สำหรับความไวของการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียมที่หาได้ คือ 0.10 และ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังรายละเอียดในภาคผนวกตารางที่ 3

5.3 การหาขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ (MDL) และ ขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (LOQ)

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ (MDL) เป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่ต้องการวิเคราะห์ ที่สามารถตรวจวัดได้ และค่าขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (LOQ) เป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่ต้องการวิเคราะห์ ที่สามารถหาปริมาณได้โดยมีความแม่นและความเที่ยงเป็นที่ยอมรับ จะมีประโยชน์เป็นอย่างมาก ในการที่จะช่วยให้ผู้วิเคราะห์รายงานผลการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง นั่นคือ

ถ้าผลการวิเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้นน้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ (result < MDL) ให้รายงานผลเป็น ไม่พบ (not detected)

ถ้าผลการวิเคราะห์มีค่าความเข้มข้นตั้งแต่ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ขึ้นไป แต่น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (MDL - result < LOQ) ให้รายงานผลเป็นน้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (< LOQ)

หากผลการวิเคราะห์มีค่าความเข้มข้นมากกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (result > LOQ) ให้รายงานค่าตามความเป็นจริง

ซึ่งขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์สำหรับตะกั่วและแคดเมียมที่หาได้ คือ 0.02 และ 0.002 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังรายละเอียดในภาคผนวกตารางที่ 4

ขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ที่หาได้สำหรับตะกั่วและแคดเมียม คือ 0.05 และ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 4

5.4 การหาความแม่นและความเที่ยงในการวิเคราะห์

ความแม่น เป็นความใกล้เคียงกันของการวัดกับค่าจริง สำหรับความแม่นของตะกั่วที่มีความเข้มข้น 3 มิลลิกรัม/ลิตรและแคดเมียมที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ใช้การทดสอบแบบที (T – test) โดยค่า T สำหรับตะกั่วและแคดเมียม คือ 0.56 และ 1.79 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า T_c = 2.36 จากตารางที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แล้ว อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ $T \leq T_c$ ดังรายละเอียดในภาคผนวกตารางที่ 5

ความเที่ยงเป็นค่าที่แสดงความใกล้เคียงกันของกลุ่มค่าที่ทำการทดสอบซ้ำหลายๆ ครั้ง สำหรับการวิเคราะห์ตะกั่วที่ความเข้มข้น 3 และ 5 มิลลิกรัม/ลิตรและแคดเมียมที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 1.67 , 0.52 , 0.40 , 0.24 % ตามลำดับ จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือไม่เกิน 10 % ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 6

5.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมจากภาชนะเซรามิก

ภาชนะเซรามิกที่วิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้ทุกตัวอย่าง ไม่พบ สารแคดเมียม เพราะไม่สามารถวัดค่าความเข้มข้นได้ อาจไม่มีแคดเมียมหรือมีแต่ค่าน้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ คือน้อยกว่า 0.002 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าตัวอย่างทั้งหมดโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ตัวอย่างที่มีสีหรือลวดลายสีส้ม สีแดง สีเหลือง ไม่ใช่สีประเภทที่มี แคดเมียมซัลโฟซิลิไนต์ เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีความต้านทานในสารละลายที่เป็นกรดต่ำ และไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในภาชนะบรรจุอาหาร

สำหรับภาชนะเซรามิกที่พบตะกั่ว คือ ความเข้มข้นที่วัดได้มีค่ามากกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (0.05 มิลลิกรัม/ลิตร) และภาชนะที่ไม่พบตะกั่ว คือ ไม่สามารถวัด

ความเข้มข้นได้เพราะมีค่าน้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (0.02 มิลลิกรัม/ลิตร) หรือไม่มีตะกั่ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ กรรมวิธีการผลิตและเทคนิคการตกแต่งลวดลาย

จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่าง A1 — A30 ไม่มีสารตะกั่ว ละลายออกมา ตัวอย่าง B1 — B13 และ C1 — C8 พบว่ามีตะกั่วละลายออกมา แต่มีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ซ้ำพบว่า ปริมาณตะกั่วที่ละลายออกมาจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่พบ (ค่าความเข้มข้นที่วัดได้ต่ำกว่า 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร)

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาตัวอย่างทั้งหมดพบว่า

1. ตัวอย่าง A1 — A30 เป็นภาชนะหลากหลายชนิด เช่น จาน ชาม กาน้ำชา ถ้วยกาแฟ แก้วน้ำ มีลักษณะ คือ เคาะมีเสียงดังกังวาน เนื้อแกร่ง เคลือบเป็นเงา มันวาว ผิวเคลือบเรียบ ลูบไม่สะดุดมือ ทั้งที่เป็นเคลือบเรียบและเคลือบราน สีขาวและสีอื่นๆ เช่น สีแดง สีน้ำเงิน สีเขียว สีม่วง เป็นต้น พบว่า ตัวอย่างภาชนะทั้ง 30 ตัวอย่าง ไม่พบทั้ง ตะกั่วและแคดเมียม

2. ตัวอย่าง B1 — B13 เป็นจานและชาม สีขาว เนื้อแกร่ง เคลือบเป็นเงา มันวาว ผิวเคลือบบริเวณที่ไม่มีลวดลายจะเรียบ ที่ขอบภาชนะมีลวดลาย คือ ช่อดอกไม้ ผัก หรือผลไม้หลากหลายชนิด สีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน สีฟ้า สีชมพู ฯลฯ ผิวเคลือบบริเวณที่มีลวดลายไม่เรียบ ลูบสะดุดมือ ทุกตัวอย่างไม่พบแคดเมียม แต่พบสารตะกั่ว ในปริมาณระหว่าง 0.18-0.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เกินเกณฑ์กำหนดตาม ISO 6486/2 สำหรับภาชนะแบบลึกขนาดเล็ก ความจุไม่เกิน 1.1 ลิตร คือ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณตะกั่วลดลงเมื่อทำการแช่ด้วยกรดอะเซติกและวิเคราะห์ซ้ำจนถึงครั้งที่ 3 จึงไม่พบตะกั่ว

จากลักษณะดังกล่าวข้างต้นแสดงว่าภาชนะเหล่านี้ผลิตโดยวิธีการตกแต่งสีบนเคลือบและตกแต่งขอบภาชนะด้วยรูปลอก เพราะลักษณะของลวดลายในภาชนะใบเดียวกันจะเหมือนกันทุกประการ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 550 - 800 องศาเซลเซียส เพื่อให้ลวดลายติดภาชนะดียิ่งขึ้นโดยไม่ได้เคลือบทับอีกครั้ง ดังนั้นเมื่อใช้ภาชนะใส่สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด ทำให้โลหะหนักละลายออกมาได้ง่าย แต่เนื่องจากเป็นภาชนะที่ตกแต่งบริเวณขอบ เพราะฉะนั้นก็สามารถใช้ให้ปลอดภัยได้โดยการหลีกเลี่ยงไม่ให้อาหารสัมผัสกับบริเวณที่มีลวดลาย และหลีกเลี่ยงอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด

3. ตัวอย่าง C1 — C8 เป็นจานสีขาว เนื้อแกร่ง เคลือบเป็นเงา มันวาว ผิวเคลือบบริเวณที่ไม่มีลวดลายจะเรียบ แต่บริเวณกลางจานมีลายตุ๊กตาหมี สีน้ำตาล แต่งตัวด้วยลวดลายต่างๆ ตามเอกลักษณ์ของแต่ละประเทศ (ดังแสดงในภาคผนวก รูปที่ 44 - 51) และจะมีสีต่างๆ เช่น สีแดง สีน้ำเงิน สีเหลือง สีม่วง สีดำ ฯลฯ ผิวเคลือบบริเวณที่มีลวดลายไม่เรียบ ลูบสะดุดมือ ภาชนะทุกตัวอย่างตรวจไม่พบแคดเมียม แต่พบตะกั่ว ในปริมาณระหว่าง 1.35 — 4.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูงเกินเกณฑ์กำหนด เมื่อนำมาแช่ด้วยกรดอะซิติกและวิเคราะห์ซ้ำหลายครั้ง พบว่าต้องทำการวิเคราะห์ถึง 38 ครั้ง จึงไม่พบตะกั่ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าผู้บริโภคใช้ภาชนะชุดนี้ โอกาสที่ร่างกายจะได้รับตะกั่วสูงและได้รับสะสมเป็นระยะเวลานาน

จากลักษณะดังกล่าวข้างต้นแสดงว่าจานเหล่านี้ผ่านการตกแต่งสีบนเคลือบด้วยรูปลอก เช่นเดียวกับตัวอย่างB1—B13แต่เป็นไปได้ว่าเคลือบที่ใช้เป็นเคลือบตะกั่วหรือสีในรูปลอกที่ใช้มีปริมาณสารตะกั่วสูงและกรรมวิธีในการใช้รูปลอกอาจใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยมากยิ่งขึ้น เพื่อทำให้รูปที่ใช้ติดได้ทนและนาน ทำให้ต้องวิเคราะห์ซ้ำหลายครั้ง สารตะกั่วจึงจะละลายออกมาหมด สำหรับตัวอย่างชุดนี้ ถ้าผู้ใช้ๆ ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ โอกาสที่สารตะกั่วจะสะสมอยู่ในร่างกายก็มีสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะในชีวิตประจำวันร่างกายมีโอกาสที่จะได้รับสารตะกั่วจากมลภาวะอย่างอื่นๆ ด้วย

จากผลของการทดลองพบว่าการวิเคราะห์ซ้ำครั้งที่ 2 มีสารตะกั่วละลายออกมาลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่งของการวิเคราะห์ครั้งแรก แต่จะมีปริมาณเท่าไรนั้นขึ้นอยู่ปริมาณที่พบในการวิเคราะห์ครั้งแรก หลังจากนั้นปริมาณสารตะกั่วก็ลดลงไปเรื่อยๆ ดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 3

เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่า ภาชนะเซรามิกที่ผลิตโดยการใช้สีในเคลือบหรือสีใต้เคลือบ ทั้งที่เป็นเคลือบผิวเรียบและเคลือบราน สีแดง สีเขียว สีเหลือง สีฟ้า สีขาว สีม่วง สีส้ม ฯลฯ ไม่พบทั้งตะกั่วและแคดเมียม สามารถใช้บรรจุอาหารได้อย่างปลอดภัย แต่ภาชนะเซรามิกที่ตกแต่งบนเคลือบหรือตกแต่งด้วยรูปลอก จะพบตะกั่วแต่ไม่พบแคดเมียม ซึ่งภาชนะที่ตกแต่งกลางภาชนะจะมีปริมาณจะมีตะกั่วละลายออกมามากและจำนวนครั้งที่ละลายมากกว่าภาชนะที่ตกแต่งที่ขอบภาชนะ ซึ่งภาชนะที่ตกแต่งบนเคลือบนี้ไม่เหมาะที่จะใช้บรรจุอาหาร

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาข้างต้นพบว่าภาชนะเซรามิกสำหรับบรรจุอาหารที่ตกแต่งบนเคลือบ โอกาสที่จะพบตะกั่วละลายออกมามีสูง เพราะฉะนั้นผู้ผลิตก็ควรหลีกเลี่ยงการตกแต่งดังกล่าว ถ้าหากต้องการที่จะตกแต่งด้วยวิธีนี้ควรหลีกเลี่ยงการตกแต่งกลางภาชนะหรือบริเวณที่สัมผัสอาหาร โดยการตกแต่งบริเวณขอบภาชนะที่ไม่สัมผัสอาหารหรือตกแต่งภายนอกภาชนะแทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ผลิตที่ต้องการส่งออกไปต่างประเทศควรคำนึงถึงประเด็นนี้เป็นอย่างมากเพราะเกือบทุกประเทศจะมีมาตรการกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษี (non tariff barrier หรือ technical barrier to trade) นอกจากนี้หลายๆประเทศยังต้องการผลการวิเคราะห์เพื่อที่จะยืนยันถึงความปลอดภัยของภาชนะที่จะนำเข้าด้วย ซึ่งตามมาตรฐาน ISO ได้มีข้อกำหนดที่ยอมให้มีตะกั่วและแคดเมียมละลายออกมาจากภาชนะเซรามิกบรรจุอาหารตามตารางที่ 1

ข้อควรปฏิบัติในการใช้ภาชนะเซรามิกกับอาหาร

1. ภาชนะที่มีลักษณะเคลือบมีความเงา มัน เรียบสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิ ไม่มีรอยแตกร้าว เคาะมีเสียงกังวาน ตกแต่งสีใต้เคลือบ ทุกๆสีสามารถใช้ได้อย่างปลอดภัยกับอาหารทุกประเภท ทั้งอาหารร้อนและเย็น

2. ไม่ควรใช้ภาชนะที่ตกแต่งสีและลวดลายบนเคลือบบริเวณที่สัมผัสอาหาร

3. ภาชนะที่ตกแต่งสีบนเคลือบ หากการตกแต่งอยู่บริเวณขอบภาชนะ เมื่อนำมาใช้งานควรระวังไม่ให้อาหารสัมผัสกับลวดลาย โดยเฉพาะอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและร้อน

4. ไม่ควรแช่อาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและร้อนในภาชนะที่ตกแต่งสีบนเคลือบเป็นเวลานานๆ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ นางรุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีชุมชน นายสุทธิเวช ต. แสงจันทร์ หัวหน้ากลุ่มประสานการถ่ายทอดเทคโนโลยีเซรามิก นายสุทธิชัย ทีปประสาน หัวหน้ากลุ่มวิจัยและพัฒนาการผลิตเซรามิก ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อรายงานฉบับนี้และขอขอบคุณ นางพิศมัย เลิศวัฒนะพงษ์ชัย ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างวิเคราะห์ รวมทั้งเพื่อนร่วมงานในกลุ่มวิจัยและพัฒนาการผลิตเซรามิก ที่สนับสนุนและให้กำลังใจจนทำให้ผลงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่เอื้อเฟื้อวัสดุอุปกรณ์และสถานที่ ทำให้การศึกษาครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

1. ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. **เคลือบเซรามิกส์**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2528. หน้า 183-184
2. พิมล เรียนวัฒนา. **เคมีวิเคราะห์ชั้นสูง**. ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2527 หน้า 224-225
3. แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์. 2534. หน้า 322-347
4. ลดา พันธ์สุขุมธนา และ วรรณา ต. แสงจันทร์. **เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง ความปลอดภัยของภาชนะบรรจุอาหารเซรามิกกับการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน.** กรุงเทพฯ: กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2545
5. อำนาจ สิทธัตตระกูล. **มลพิษอันเกิดจากโลหะบางชนิด.** วารสารวิทยาศาสตร์. ตุลาคม,2520 หน้า 29-31,34-37
6. Caulcutt , R. & Bobby , R. **Statistics for analytical chemists** , London : Chapman and Hall , 1983. p 201 - 205
7. Eppler, R. A & Eppler, D. R **Glazes and Glass Coatings** , Ohio :The American Ceramic Society , 2000. p 165-172 , 264-265
8. Ilzro . **Lead Glazes for Dinnerware** New York: International lead zinc research organization, INC. 1974. p 3-7
9. International Organization for Standardization. **ISO 6486-1,2 : Ceramic ware ,glass-ceramic ware and glass dinnerware in contact with food- Release of lead and cadmium** Geneva : International Organization for Standardization , 1999
10. Nordyke , J. S. **Lead in the world of ceramics** , The American Ceramic Society , New York , 1984. p 99-105, 159-160
11. Parmelee , C. W. **Ceramic Glazes** , 3rd edition . Pennsylvania: The Maple Press Company , 1973 . p 361-364
12. Taylor , John K. **Quality assurance of chemical measurements** Michigan :Lewis Publishers , INC. 1989. p 77-82

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ข้อมูลการหาช่วงการเป็นเส้นตรงการวิเคราะห์ตะกั่ว

ความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม / ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.0	0.0000
0.5	0.0158
1.0	0.0402
1.5	0.0571
2.0	0.0805
2.5	0.1023
5.0	0.1998
10.0	0.3942
15.0	0.5334
20.0	0.6360
30.0	0.7744

ตารางที่ 2 ข้อมูลการหาช่วงการเป็นเส้นตรงสำหรับการวิเคราะห์แคดเมียม

ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม / ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.0	0.0000
0.3	0.1114
0.5	0.1963
1.0	0.3887
1.5	0.5415
2.0	0.6668
2.5	0.7692
3.0	0.8520

ตารางที่ 3 ข้อมูลการหาความไวในการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม

ค่าการดูดกลืนแสง ครั้งที่	ตะกั่ว แบลงค์	ตะกั่ว 5 มิลลิกรัม/ลิตร	แคดเมียม แบลงค์	แคดเมียม 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร
1	0.0000	0.2136	-0.0000	0.1931
2	0.0002	0.2120	-0.0002	0.1923
3	0.0002	0.2130	0.0003	0.1940
4	0.0000	0.2138	-0.0001	0.1924
5	-0.0000	0.2125	-0.0003	0.1933
6	0.0001	0.2150	-0.0001	0.1928
7	0.0001	0.2149	-0.0001	0.1923
8	-0.0003	0.2158	-0.0002	0.1929
9	-0.0001	0.2147	-0.0001	0.1931
10	0.0003	0.2157	0.0001	0.1927
เฉลี่ย	0.00005	0.2141	-0.00007	0.19289
ความไวของการวิเคราะห์ , มิลลิกรัม/ลิตร		0.10		0.01

ตารางที่ 4 ข้อมูลการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Method Detection Limit , MDL) และ การหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (Limit of Quantitation , LOQ)

ครั้งที่	ค่าความเข้มข้นของสารละลายแบลงค์สำหรับตะกั่ว	ค่าความเข้มข้นของสารละลายแบลงค์สำหรับแคดเมียม
1	0.00	0.000
2	0.01	0.000
3	0.00	0.001
4	0.01	0.000
5	0.00	0.001
6	0.01	0.001
7	0.01	0.001
8	0.00	0.001
9	0.00	-0.001
10	0.01	0.001
MEAN	0.00	0.0005
SD	0.00527	0.000707
MDL	0.0158	0.002
LOQ	0.0527	0.007

ตารางที่ 5 ข้อมูลการหาค่าความแม่นสำหรับการวิเคราะห์ ตะกั่วและแคดเมียม

ครั้งที่	ความเข้มข้นของตะกั่ว	ความเข้มข้นของแคดเมียม
	3 มิลลิกรัม/ลิตร ที่วัดได้	1 มิลลิกรัม/ลิตร ที่วัดได้
1	3.06	1.020
2	3.02	0.998
3	3.07	0.995
4	2.91	1.003
5	3.05	1.010
6	3.03	1.002
7	2.95	1.020
เฉลี่ย	3.0128	1.0068
SD	0.0692	0.0101
T	0.565	1.7951
T_c	2.36	2.36

ตารางที่ 6 ข้อมูลการหาค่าความเที่ยง (ความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์, RSD) สำหรับการวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียม

ครั้งที่	ความเข้มข้นของตะกั่ว		ความเข้มข้นของแคดเมียม	
	3 มิลลิกรัม/ลิตร ที่วัดได้	5 มิลลิกรัม/ลิตร ที่วัดได้	0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ที่วัดได้	1 มิลลิกรัม/ลิตร ที่วัดได้
1	3.06	4.95	0.489	0.974
2	3.02	5.01	0.487	0.972
3	3.07	5.03	0.485	0.978
4	2.95	4.99	0.490	0.974
5	3.05	5.03	0.486	0.974
6	3.03	5.01	0.489	0.972
7	2.95	5.02	0.490	0.978
เฉลี่ย	3.02	5.006	0.488	0.975
SD	0.05	0.028	0.002	0.0023
RSD,%	1.67	0.52	0.40	0.24

ตารางที่ 7 รายละเอียดภาชนะเซรามิกที่ทำการศึกษา

รหัส	ชื่อภาชนะ	ขนาด(เซนติเมตร)	ความจุ (มิลลิลิตร)	ลักษณะ
A1	ถ้วยน้ำชา	ศก 7.5 , สูง 6	140	ภายในสีน้ำตาลอมเขียว
A2	ถ้วยกาแฟ	ศก 8 , สูง 7	230	สีน้ำตาลแดงเข้ม
A3	ถ้วยน้ำชา	ศก 7.75, สูง 7	160	สีเขียวเซลาดอนเคลือบราน
A4	แก้วน้ำ	ศก 7.5 , สูง 10	200	สีม่วงภายนอกมีลายดอกไม้
A5	แก้วน้ำ	ศก 8.5 , สูง 8.5	325	ภายนอกสีเหลืองภายในสีฟ้า
A6	ชุดน้ำชา	ศก 8.5 , สูง 8.5	65	สีน้ำเงินเข้ม
A7	โถน้ำตาล	ศก 5.5 , สูง 5.5	120	สีขาวภายนอกลายสีน้ำเงิน
A8	กาน้ำชา	ศก 9.5 , สูง 6	250	สีน้ำตาลเคลือบราน
A9	ถ้วยน้ำชา	ศก 8 , สูง 6.75	200	สีขาวภายนอกมีลายดอกไม้สีฟ้า
A10	กาน้ำชา 6 เหลี่ยม	ศก 15.5 , สูง 15	1700	สีขาวภายนอกมีลายดอกไม้ สีน้ำเงิน
A11	กาน้ำชา	ศก 8 , สูง 4.5	110	สีน้ำตาลแดงไม่เคลือบ
A12	กาน้ำชา	ศก 9.25 , สูง 7.5	240	ภายในเคลือบขาวภายนอกตกแต่งสีน้ำเงินทอง
A13	จาน	ศก 15 , สูง 1.5	100	ลายตารางสีเขียวเข้มลายดอกไม้
A14	จาน	ศก 16 , สูง 1.5	100	สีเขียวสว่าง
A15	จาน	ศก 21 , สูง 1.5	200	สีม่วง
A16	จาน	ศก 26 , สูง 2.5	450	สีแดงอิฐ
A17	จาน	ศก 27 , สูง 2.5	450	ลายเหลือง เขียว ดำ
A18	จาน	ศก 27 , สูง 2.0	175	ลายฟ้าอมเขียว
A19	ชาม	ศก 17 , สูง 6	400	ภายในเคลือบรานสีฟ้าภายนอกสีน้ำตาลเข้ม
A20	ชาม	ศก 20 , สูง 5.25	600	สีเขียวเคลือบรานขอบชามสีน้ำตาลเข้ม
A21	ชาม	ศก 17.5 , สูง 5.25	500	ภายในมีลายดอกไม้สีแดงออกส้ม เหลือง น้ำเงิน
A22	ชาม	ศก 18 , สูง 9	600	สีน้ำตาล
A23	ชาม	ศก 10.5 , สูง 5.5	250	สีเขียว

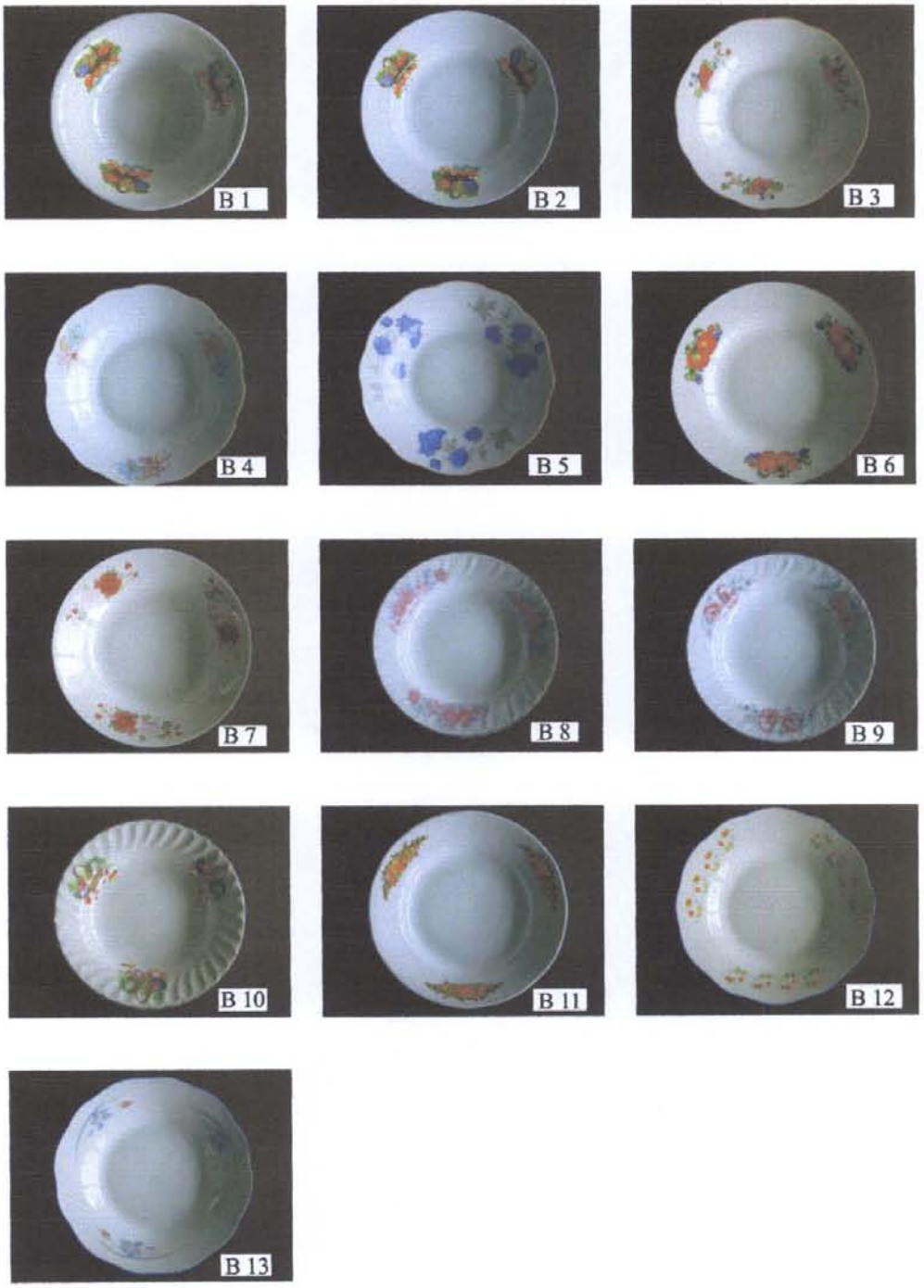
รหัส	ชื่อภาชนะ	ขนาด(เซนติเมตร)	ความจุ (มิลลิลิตร)	ลักษณะ
A24	ชาม	ศก 14.5 , สูง 6.5	400	สีน้ำตาล
A25	โถ	ศก 10.5 , สูง 7.5	400	สีขาวภายนอกมีลาย
A26	ชาม	ศก 14.5 , สูง 6.5	400	สีครีม
A27	ชาม	ศก 12 , สูง 6	350	สีขาวภายนอกมีลาย
A28	ชาม	ศก 15.25 , สูง 7	650	สีขาวภายนอกมีลาย
A29	แก้ว	ศก 7 , สูง 10	280	สีขาว
A30	ถ้วยกาแฟ	ศก 5.5 , สูง 5.5	60	สีขาว
B1	ชาม	ศก 18 , สูง 5.5	500	สีขาวขอบชามมีลายองุ่น ส้ม สีแดง ม่วง เหลือง เขียว
B2	จาน	ศก 21 , สูง 4	500	สีขาวขอบชามมีลายองุ่น ส้ม สีแดง ม่วง เหลือง เขียว
B3	จาน	ศก 20 , สูง 3.5	400	สีขาวขอบชามมีลายดอกชบาสีแดง
B4	จาน	ศก 20 , สูง 3.5	400	สีขาวขอบชามมีลายดอกไม้สีชมพู ฟ้า
B5	จาน	ศก 20 , สูง 3.5	400	สีขาวขอบชามมีลายดอกไม้สีน้ำเงิน
B6	จาน	ศก 20 , สูง 3.5	400	สีขาวขอบชามมีลายแอปเปิลใหญ่ 2 ใบ สีแดง
B7	จาน	ศก 20 , สูง 3.5	450	สีขาวขอบชามมีลายดอกกุหลาบสีแดง ชมพู
B8	จาน	ศก 17.5 , สูง 3.5	300	สีขาวขอบชามมีลายดอกไม้สี ชมพู ใบ สีฟ้า
B9	จาน	ศก 17.5 , สูง 3.5	300	สีขาวขอบชามมีลายดอกไม้สี ชมพู ใบ สีเขียว
B10	จาน	ศก 17.5 , สูง 3.5	300	สีขาวขอบชามมีลายตะกร้าผักรวม สี แดง เขียว เหลือง ม่วง
B11	จาน	ศก 17.5 , สูง 3.5	300	สีขาวขอบจามมีลายแอปเปิลสีส้มและ ดอกไม้สีแดง ชมพู

รหัส	ชื่อภาชนะ	ขนาด(เซนติเมตร)	ความจุ (มิลลิลิตร)	ลักษณะ
B12	จาน	ศก 20 , สูง 3.5	400	สีขาวขอบจานมีลายดอกไม้เล็กๆหลาย ๆ ดอก สีส้ม
B13	จาน	ศก 20, สูง 3.5	400	สีขาวขอบจานมีลายดอกกุหลาบสีฟ้าเทา
C1	จาน	ศก 21.5 , สูง 3	400	สีขาว กลางจานมีลายตุ๊กตาหมีสีน้ำตาล สวมเสื้อสีน้ำเงิน ธงชาติสีแดงขาว (Australia)
C2	จาน	ศก 21.5 , สูง 3	400	สีขาว กลางจานมีลายตุ๊กตาหมีนักมวยสีน้ำตาล สวมเสื้อสีน้ำเงิน กางเกงสีแดง ธงชาติไทย (Thailand)
C3	จาน	ศก 21.5 , สูง 3	400	สีขาว กลางจานมีลายตุ๊กตาหมีสีน้ำตาล สวมเสื้อสีแดง กางเกงสีดำ หมวกสีดำ (English)
C4	จาน	ศก 21.5 , สูง 3	400	สีขาว กลางจานมีลายตุ๊กตาหมีสีน้ำตาล สวมเสื้อสีเหลือง กางเกงสีเขียว หมวกสีเขียว (Malaysia)
C5	จาน	ศก 21.5 , สูง 3	400	สีขาว กลางจานมีลายตุ๊กตาหมีสีน้ำตาล สวมเสื้อสีแดง กางเกงสีน้ำเงินมีสีขาวสลับ(Switzerland)
C6	จาน	ศก 21.5 , สูง 3	400	สีขาว กลางจานมีลายตุ๊กตาหมีสีน้ำตาล สวมเสื้อสีดำ กางเกงสีเทามีแถบสีแดง (Japan)
C7	จาน	ศก 21.5 , สูง 3	400	สีขาว กลางจานมีลายตุ๊กตาหมีสีน้ำตาล สวมเสื้อสีเหลือง กางเกงสีแดง (China)
C8	จาน	ศก 21.5 , สูง 3	400	สีขาว กลางจานมีลายตุ๊กตาหมีสีน้ำตาล สวมเสื้อลายสีม่วง ขาว หมวกสีม่วง (Mexico)

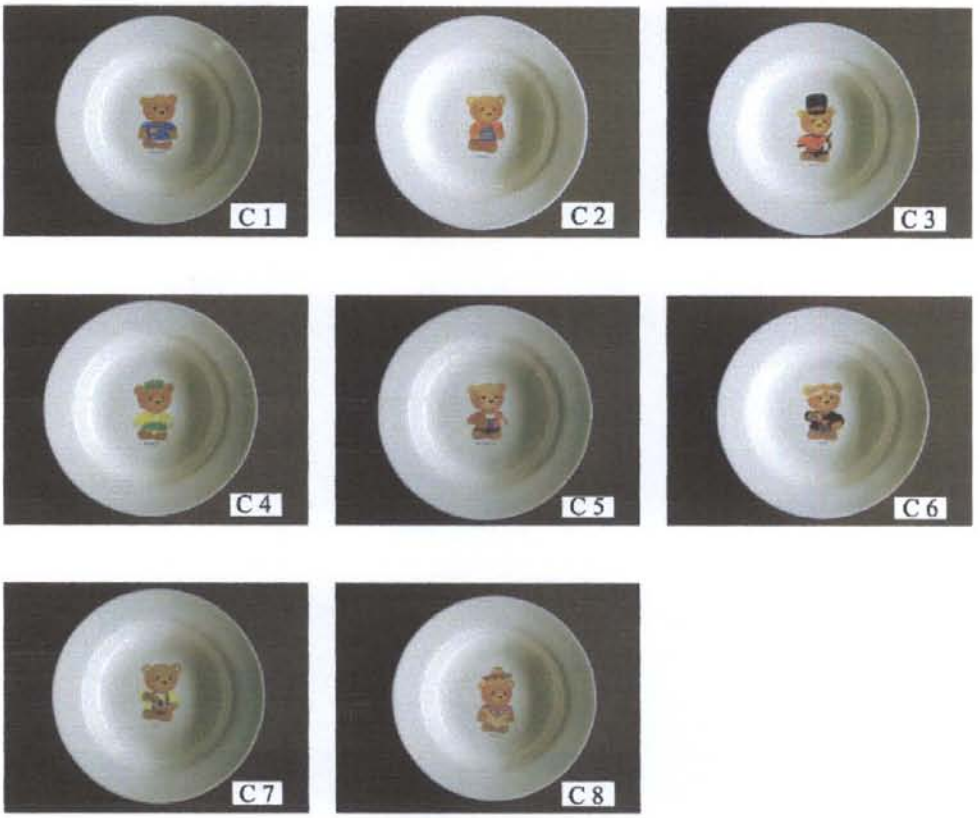
รูปที่ 1-15 แสดงตัวอย่างภาชนะเซรามิก A1- A15

รูปที่ 16-30 แสดงตัวอย่างภาชนะเซรามิก A16 – A30

รูปที่ 31-43 แสดงตัวอย่างภาชนะเซรามิก B1 – B13



รูปที่ 44-51 แสดงตัวอย่างภาชนะเซรามิก C1 – C8



มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในภาชนะเซรามิกที่บรรจุอาหาร

ISO 6486-1:1999 Ceramic ware in contact with food- Release of lead and cadmium - Part 1 : Method of test

ISO 6486-2:1999 Ceramic ware in contact with food - Release of lead and cadmium - Part 2 : Permissible limits

ISO 7086-1:1982 Glassware and glass ceramic ware in contact with food - Release of lead and cadmium - Part 1 : Method of test

ISO 7086-2:1982 Glass ware and glass ceramic ware in contact with food - Release of lead and cadmium - Part 2 : Permissible limits

ISO 8391-1:1986 Ceramic cookware in contact with food- Release of lead and cadmium - Part 1 : Method of test

ISO 8391-2:1986 Ceramic cookware in contact with food - Release of lead and cadmium - Part 2 : Permissible limits

DIN 51031 Determination of release of lead and cadmium from silicate surfaced articles intended for used in contact with foodstuffs

BS 6748:1986 Limits of metal release from ceramic ware, glassware, glass ceramic ware and vitreous enamel ware

ASTM C738-1999 Standard Test Method for Lead and Cadmium Extracted from Glazed Ceramic Surfaces

ASTM C927-1999 Standard Test Method for Lead and Cadmium Extracted from the Lip and Rim Area of Glass Tumblers Externally Decorated with Ceramic Glass Enamels

ASTM C 1034-1990 Standard Test Method for Lead and Calmium Extracted From Glazed Ceramic Cookware

มอก.32-2528 มาตรฐานภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร : ปริมาณและวิธีวิเคราะห์ตะกั่วและ แคดเมียม

มอก.564-2528 มาตรฐานภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร : ปอร์ซเลน

มอก.601-2529 มาตรฐานภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร : เออร์เทนแวร์

มอก.602-2529 มาตรฐานภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร : สโตนแวร์

มอก.603-2529 มาตรฐานภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร : ภาชนะแก้ว