

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

วศกม

๑๖๔๐

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 6 ว

การศึกษาพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก
ในผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ

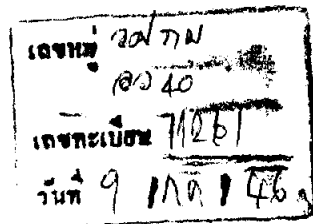
โดย

นางสาวปัทมา นพรัตน์
นักวิทยาศาสตร์ 5

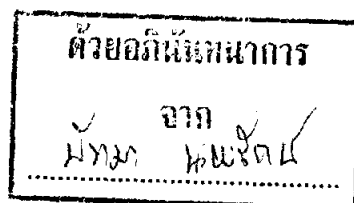
กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1
กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 6 ว

การศึกษาพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก
ในผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ



โดย
นางสาวบีทมา นพรัตน์
นักวิทยาศาสตร์ 5



กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1
กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักสามชนิดได้แก่ แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อสามประเภทคือ กระดาษเหนียว กระดาษทำลูกฟูก และแถบกระดาษกาวน้ำ ประเภทละ 10 ตัวอย่าง โดยวิธีที่ 1 การย่อยสลายตัวอย่าง ให้กลายเป็นเต้าแล้ววิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเครื่องเพลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับวิธีที่ 2 การย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟแล้ววิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเครื่องกราไฟต์เฟอริชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ พบว่าวิธีที่เหมาะสมคือวิธีที่ 2 เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง และมีความแม่นยำสูง โดยพิจารณาจาก % recovery และค่า F-test อีกทั้งวิธีการนี้ยังสามารถทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุได้ต่ำถึงระดับหนึ่งในพันล้านส่วนอีกด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญตาราง	iii
สารบัญภาพ	viii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 ปัญหาและที่มาของการศึกษาทดลอง	5
1.3 วัตถุประสงค์	6
1.4 ขอบเขตของการศึกษาทดลอง	6
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	6
1.6 ระยะเวลาดำเนินการ	6
1.7 ขั้นตอนการดำเนินการ	7
บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ	8
2.1 ตัวอย่าง	8
2.2 วัสดุ อุปกรณ์	8
2.3 สารเคมี	9
2.4 วิธีดำเนินการ	11
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์	25
บทที่ 4 วิจารณ์ผล	38
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	42
กิตติกรรมประกาศ	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	46

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.	แสดงสภาวะที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของแคดเมียม โคโรเมียม และตะกั่ว ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	13
ตารางที่ 2.	แสดงสภาวะที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของแคดเมียม โคโรเมียม และตะกั่ว ด้วยเครื่องกราฟไฟต์เฟอริซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	15
ตารางที่ 3.	แสดงโปรแกรมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของแคดเมียมด้วยเครื่องกราฟไฟต์เฟอริซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	15
ตารางที่ 4.	แสดงโปรแกรมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของโคโรเมียมด้วยเครื่องกราฟไฟต์เฟอริซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	15
ตารางที่ 5.	แสดงโปรแกรมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของตะกั่ว ด้วยเครื่องกราฟไฟต์เฟอริซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	16
ตารางที่ 6.	แสดงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม โคโรเมียม และตะกั่วที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน	19
ตารางที่ 7.	แสดงโปรแกรมการทำงานในการย่อยสลายตัวอย่างกระดาษด้วยเครื่องย่อยสลายสารด้วยระบบไมโครเวฟ	23
ตารางที่ 8.	แสดงสมการเชิงเส้น และ coefficient of determination ของช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานต่าง ๆ ของแคดเมียม โคโรเมียม และตะกั่ว ซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	26
ตารางที่ 9.	แสดงสมการเชิงเส้น และ coefficient of determination ของช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานต่าง ๆ ของแคดเมียม โคโรเมียม และตะกั่ว ซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่องกราฟไฟต์เฟอริซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	29
ตารางที่ 10.	แสดงความไวของการวิเคราะห์แคดเมียม โคโรเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	29

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 11.	แสดงความไวของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	30
ตารางที่ 12.	แสดงค่าขีดจำกัดต่ำสุดการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	30
ตารางที่ 13.	แสดงค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	30
ตารางที่ 14.	แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยวิธีทั้งสอง โดยใช้ F-test (two-tailed test)	31
ตารางที่ 15.	แสดงการเปรียบเทียบความถูกต้องของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยวิธีทั้งสอง โดยใช้ t-test (two-tailed test)	31
ตารางที่ 16.	แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์แคดเมียม ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยวิธีทั้งสอง	32
ตารางที่ 17.	แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์โครเมียม ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยวิธีทั้งสอง	33
ตารางที่ 18.	แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์ตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยวิธีทั้งสอง	35
ตารางที่ 19.	แสดง % recovery ในการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยวิธีทั้งสอง	37
ตารางที่ 20.	แสดงความถูกต้อง และความแม่นยำของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยวิธีทั้งสอง	41

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 21.	แสดงข้อมูลดิบของการหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียมโครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	47
ตารางที่ 22.	แสดงข้อมูลดิบของการหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียมโครเมียม และตะกั่ว โดย เครื่องกราไฟต์เฟอโนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	48
ตารางที่ 23.	แสดงข้อมูลดิบของการหาความไวของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดย เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	49
ตารางที่ 24.	แสดงข้อมูลดิบของการหาความไวของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดย เครื่องกราไฟต์เฟอโนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	50
ตารางที่ 25.	แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์แคดเมียม โดย เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	50
ตารางที่ 26.	แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์โครเมียม โดย เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	51
ตารางที่ 27.	แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์ตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	52
ตารางที่ 28.	แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แคดเมียมโครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	53
ตารางที่ 29.	แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์แคดเมียมโดยเครื่องกราไฟต์เฟอโนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	54
ตารางที่ 30.	แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์โครเมียม โดยเครื่องกราไฟต์เฟอโนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	55

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 31. แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์ตะกั่ว โดยเครื่องกราไฟต์เฟอนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	56
ตารางที่ 32. แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องกราไฟต์เฟอนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	57
ตารางที่ 33. แสดงการหาค่าความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราไฟต์เฟอนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS)	58
ตารางที่ 34. แสดงการหาค่าความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์แคดเมียมในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบ ระหว่างการวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราไฟต์เฟอนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS)	59
ตารางที่ 35. แสดงการหาค่าความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์โครเมียมในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ ระหว่างการวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราไฟต์เฟอนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS)	64
ตารางที่ 36. แสดงการหาค่าความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์ตะกั่วในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ ระหว่างการวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราไฟต์เฟอนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS)	69

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 37. แสดงข้อมูลดิบของการหา % recovery ในการวิเคราะห์แคดเมียม ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS)	74
ตารางที่ 38. แสดงข้อมูลดิบของการหา % recovery ในการวิเคราะห์โครเมียม ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS)	75
ตารางที่ 39. แสดงข้อมูลดิบของการหา % recovery ในการวิเคราะห์ตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS)	76

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของแคดเมียม	25
ภาพที่ 2. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของโครเมียม	25
ภาพที่ 3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของตะกั่ว	26
ภาพที่ 4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ใต้พีคของแคดเมียม	27
ภาพที่ 5. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ใต้พีคของโครเมียม	28
ภาพที่ 6. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ใต้พีคของตะกั่ว	28

บทที่ 1 บทนำ

1.1 คำนำ

กระดาษ^{1,3} หมายถึง วัสดุสำหรับใช้เขียน ใช้พิมพ์ ใช้ทำภาชนะบรรจุและห่อของ รวมทั้งใช้ในการทำความสะอาดและดูดซับ ตลอดจนใช้งานด้านอุตสาหกรรม ด้านศิลป์ ด้านการฝีมือ ฯลฯ ซึ่งกระดาษประกอบด้วย เยื่อกระดาษ และสารเคมีทั้งอนินทรีย์และอินทรีย์ ในการใช้เยื่อกระดาษแต่ละชนิดผสมผสานกัน รวมทั้งสารเคมีที่ใช้เสริม สามารถทำกระดาษที่ให้ความแตกต่างทั้งลักษณะภายนอกและคุณภาพที่ต้องการใช้งาน สามารถจำแนกประเภทของกระดาษตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

1. กระดาษพิมพ์และกระดาษเขียน ได้แก่ กระดาษปอนด์ กระดาษใช้อัดสำเนา กระดาษโปสเตอร์ กระดาษอาร์ต กระดาษวาดเขียน กระดาษปก ฯลฯ
2. กระดาษเพื่อการอุตสาหกรรม ได้แก่ กระดาษทำถุงขอปิ้ง กระดาษทำถุงปูนซีเมนต์ กระดาษทำกล่อง กระดาษลูกฟูก กระดาษห่อของ ฯลฯ
3. กระดาษอนามัย ได้แก่ กระดาษทิชชูชนิดต่าง ๆ กระดาษใช้ซึมซับ
4. กระดาษอื่น ๆ เช่น กระดาษสา กระดาษใช้มวนบุหรี่ กระดาษทำถุงชา กระดาษฟาง กระดาษหนังสือพิมพ์ ฯลฯ

การผลิตกระดาษ เป็นการนำเอาเยื่อมาบดให้เส้นใยแตกตัว หรือบดให้มีขนาดเล็กลงในระดับที่เหมาะสม จากนั้นผสมสารเคมีที่จะช่วยให้เยื่อเกาะตัวยึดเหนี่ยวกันดีขึ้น ผสมน้ำให้มีความเข้มข้นต่ำ ๆ เพื่อให้เยื่อกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ เทเยื่อลงไปบนตะแกรงลวด ปล่อยให้ น้ำไหลผ่านตะแกรงลวด เพื่อให้เยื่อที่ค้างอยู่บนตะแกรงลวดจับตัวกันเป็นแผ่น แล้วแยกออกไปทำให้แห้ง จะได้แผ่นกระดาษที่ต้องการในที่สุด

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักได้แก่ แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ในผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ ซึ่งประกอบไปด้วยกระดาษเหนียว กระดาษทำลูกฟูก และแถบกระดาษกาวน้ำ

กระดาษเหนียว (kraft paper) ⁵ หมายถึงกระดาษเหนียวที่เหมาะสมสำหรับห่อของ ทำถุงหรือผิวแผ่นกระดาษลูกฟูก

กระดาษทำลูกฟูก (corrugating medium)⁴ หมายถึงกระดาษที่นำมาใช้ทำเป็นลอนเพื่อประกอบเป็นแกนกลางของแผ่นลูกฟูก

แถบกระดาษกาวน้ำ (gummed paper tape) ⁶ หมายถึงกระดาษเหนียวที่ทาการไว้ด้านหนึ่ง ด้านที่ทาการต้องทำให้เปียกน้ำก่อนนำไปทาบติดเพื่อปิดผนึกวัสดุหรือหีบห่อกระดาษ

ผลของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ต่อมนุษย์ ⁷

แคดเมียม

แคดเมียมเป็นธาตุที่มีอยู่น้อยตามธรรมชาติ จะปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายของคนเราได้ทั้ง 3 ทาง คือ อากาศ น้ำ และอาหาร ทางอากาศส่วนใหญ่จะมาจากโรงงานอุตสาหกรรม ทางน้ำมาจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนทางอาหารจะมีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่น้อย ส่วนใหญ่จะมาจากภาชนะที่บรรจุหรือห่อหุ้มอาหาร เช่น จากหมึกพิมพ์ที่มีอยู่ในกระดาษห่ออาหาร การรับประทานผัก ผลไม้ที่ปลูกในดิน หรือน้ำที่มีแคดเมียมเจือปนอยู่สูง เนื้อสัตว์ต่าง ๆ โดยเฉพาะเครื่องในจะสะสมแคดเมียมได้มาก อาหารทะเล เช่น หอย ความเป็นพิษของแคดเมียมคือ ทำให้เกิดอาการระคายเคืองของระบบหายใจ ไอสุญเสียความรู้สึกทางการสัมผัสกลิ่น ฟันจะเป็นแถบสีเหลือง อวัยวะของคนเราที่เป็นที่สะสมแคดเมียมก็คือ ไต ตับ ปอด ตับอ่อน และกระดูก การระบาดของสารพิษแคดเมียมที่เกิดขึ้นครั้งแรกและรู้จักกันดีเกิดที่ประเทศญี่ปุ่น เรียกโรคนี้ว่าโรคอิไต-อิไต (Itai-itai disease) อาการของโรคนี้ทำให้ระบบตับและไตทำงานผิดปกติ เกิดความเจ็บปวดที่กระดูกในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

โครเมียม

โครเมียมมีบทบาทสำคัญต่อเมตาโบลิซึมของกลูโคสและไขมัน และมีบทบาทในการนำอะมิโนแอซิดไปใช้ในหลาย ๆ ระบบในร่างกาย ความเป็นพิษของโครเมียมคือ เมื่อหายใจเข้าไปสามารถก่อให้เกิดเนื้องอกที่ปอดได้ และยังทำให้ผิวหนังเกิดความระคายเคือง อวัยวะที่เป็นส่วนสะสมโครเมียมคือ ตับ ไต และปอด

ตะกั่ว

ตะกั่วหนักเป็นโลหะที่มีพิษต่อร่างกายสูง เนื่องจากความเป็นพิษมีลักษณะสะสมในร่างกายได้ ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายส่วนใหญ่มักจะยึดจับกับเม็ดเลือดแดง เนื่องจากสามารถแทนที่เหล็กในฮีโมโกลบินได้ จากนั้นจะหมุนเวียนไปกับกระแสเลือดกระจายไปทั่วร่างกายสู่น้ำเยื่อต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่ไต รองลงมาคือ ตับ หลังจากนั้นจะแพร่กระจายไปยึดเกาะกับกระดูกเป็นส่วนใหญ่ ที่เหลือจะกระจายไปสู่ผมและฟัน โดยปกติแล้วการรับตะกั่วเข้าไปเพียงครั้งเดียวมักไม่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลัน เนื่องจากมีการดูดซึมได้น้อย ยกเว้นการดื่มหรือกินโลหะตะกั่วเข้าไป อาจโดยอุบัติเหตุ หรือจงใจจะก่อให้เกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลันได้ การได้รับสารตะกั่วในปริมาณสูงและเป็นระยะเวลาอันยาวนานจะมีผลทำให้ไตถูกทำลาย ทำให้สมองเสื่อมคุณภาพ เช่น ทำให้สมองเสื่อมช้า ความจำเสื่อม อารมณ์หงุดหงิด ไม่มีสมาธิ ขาดความกระตือรือร้น เป็นโรคประสาทอย่างอ่อน ๆ และเป็นหวัดบ่อย เป็นต้น

สำหรับการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี

หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน (Principles of Atomic Absorption) ²

อะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่อะตอมอิสระของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน ความยาวคลื่นเหล่านี้เป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ (vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น หรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้

เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปีสามารถทำได้หลายวิธี คือ

1. ใช้ Flame Atomization Technique เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (flame) ที่เหมาะสม เครื่องมือที่ใช้เทคนิคนี้คือเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

ชั้นสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งมีหลักการทำงานคือคือ สารละลายของตัวอย่างจะถูกดูดผ่านเนบิวไลเซอร์ (nebulizer) เข้าไปที่เบิร์เนอร์ (burner) ที่มีเปลวไฟของก๊าซอะเซทิลีน (acetylene) กับออกซิเจน (oxygen) ทำให้เกิดเป็นอะตอมอิสระ ลำแสงจากหลอดกำเนิดแสงฮอลโลว์แคโทดแลมป์ (hollow cathode lamp) ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งให้พลังงานที่มีความยาวคลื่นเหมาะสม (resonance wavelength) จะผ่านเข้าไปในกลุ่มอะตอมอิสระเหล่านั้น บางส่วนของพลังงานแสงจากหลอดกำเนิดแสงจะถูกดูดกลืนได้ด้วยอะตอมอิสระ ส่วนที่เหลือผ่านออกมาเข้าเครื่องดีเทคเตอร์ (detector) ปริมาณที่อ่านได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับพลังงานแสงตอนเริ่มต้น โดยปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณอะตอมอิสระของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์

2. ใช้ Flameless Technique หรือ Non-flame Atomization Technique ซึ่งเทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electrothermal atomizer หรือ graphite furnace) โดยสามารถตั้งอุณหภูมิของการเผาให้มีค่าต่าง ๆ กัน และใช้เวลาต่าง ๆ กันได้ โดยจะใช้ท่อกราฟไฟท์ (graphite tube) ที่ทำให้ร้อนโดยไฟฟ้าในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน ซึ่งก๊าซอาร์กอนจะป้องกันไม่ให้ท่อกราฟไฟท์ถูกออกซิไดส์เมื่ออุณหภูมิสูง และช่วยกำจัดสิ่งปนเปื้อนอันเนื่องมาจากสารรบกวนและสารอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากเส้นทางของลำแสงในขั้นทำให้แห้ง (drying stage) และขั้นเผาเป็นเถ้า (ashing stage) ได้ดี ในการตรวจวัด สารตัวอย่างปริมาณน้อยระหว่าง 1-70 ไมโครลิตร จะถูกบรรจุเข้าโดยตรงที่ท่อกราฟไฟท์ แล้วถูกทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับจุดเดือดของตัวทำละลาย เรียกขั้นนี้ว่าขั้นทำให้แห้ง หลังจากนั้นจะใช้อุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อกำจัดสารอื่นที่ปนเปื้อนออกให้มากที่สุด โดยไม่สูญเสียธาตุที่จะวิเคราะห์ เรียกว่าขั้นเผาเป็นเถ้า และขั้นสุดท้าย ขั้นผลิตอะตอม (atomization stage) คือขั้นการทำให้ธาตูกลายเป็นอะตอมอิสระ ซึ่งทำโดยเพิ่มความร้อนให้กับเตาอย่างรวดเร็ว กลุ่มของอะตอมอิสระจะเกิดขึ้นในเส้นทางของลำแสง และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงเวลานี้ สัญญาณการดูดกลืนแสงจะมีลักษณะเป็นพีค (transient peak) พื้นที่พีคจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์

จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืน กับความเข้มข้นที่ทราบแน่นอนของสารตัวอย่าง ทำให้สามารถนำมาใช้สำหรับหาความเข้มข้นของธาตุนั้น ๆ ในตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ได้ ซึ่งเป็นไปตาม Lambert-Beer Law ดังนี้

$$\log I_0/I_t = \text{absorbance} = a \times b \times c$$

เมื่อ I_0 = ความเข้มของพลังงานแสงก่อนผ่านอะตอมอิสระของธาตุ

I_t = ความเข้มของพลังงานแสงหลังผ่านอะตอมอิสระของธาตุ

a = absorption coefficient (absorptivity) ของแต่ละธาตุ

b = ความยาวของเซลล์ที่แสงตัดผ่าน

c = ความเข้มข้นของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์

องค์ประกอบที่สำคัญต่าง ๆ ของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

มี 5 ส่วน คือ

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source)
2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ (atomizer)
3. โมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ซึ่งใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ
4. ดีเทคเตอร์ (detector)
5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล (data system and read out unit)

1.2 ปัญหาและที่มาของการศึกษาทดลอง

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อมีความต้องการใช้อย่างกว้างขวางทั้งในวงการอุตสาหกรรม และในชีวิตประจำวัน ซึ่ง CONEG (The Council of Northeastern Governors)¹⁵ ได้กำหนดปริมาณของโลหะหนักได้แก่ ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และโครเมียม ในผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อให้มีความเข้มข้นรวมกันไม่เกิน 100 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งการวิเคราะห์สารปริมาณน้อย ๆ ในระดับส่วนในล้านส่วน (ppm) หรือส่วนในพันล้านส่วน (ppb) นั้น วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือและถูกต้อง ยังผลประโยชน์ต่อผู้ผลิตที่จะนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการส่งสินค้าไปยังต่างประเทศ

กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 กองเคมี ได้ตระหนักถึงความสำคัญในเรื่องนี้จึงได้ศึกษาทดลองพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักได้แก่ แคดเมียม โครเมียม และตะกั่วในผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักได้แก่ แคดเมียม โครเมียม และตะกั่วในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยวิธีการย่อยสลายตัวอย่างให้กลายเป็นเถ้า (dry ashing) แล้ววิเคราะห์โดยใช้เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เปรียบเทียบกับวิธีการย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ (microwave digestion) แล้ววิเคราะห์โดยใช้เครื่องกราไฟต์เฟอไนซ์อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

1.4 ขอบเขตของการศึกษาทดลอง

ทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักสามชนิดได้แก่ แคดเมียม โครเมียม และตะกั่วในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อสามประเภทคือ กระดาษเหนียว กระดาษทำลูกฟูก และแถบกระดาษกาวน้ำ ประเภทละ 10 ตัวอย่าง โดยวิธีที่ 1 การย่อยสลายตัวอย่างให้กลายเป็นเถ้าแล้ววิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับวิธีที่ 2 การย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟแล้ววิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซ์อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ได้วิธีวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง (accuracy) มีความแม่นยำสูง (precision) และรวดเร็ว

1.5.2 เผยแพร่ข้อมูล เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ผลิตสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐานสากล

1.6 ระยะเวลาดำเนินการ

พฤศจิกายน 2542 - กรกฎาคม 2543

1.7 ขั้นตอนการดำเนินการ

1.7.1 การตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ

1.7.2 เปรียบเทียบความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน โดยใช้เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับเครื่องกราฟิต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ โดยใช้ F-test และ t-test

1.7.3 เตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อได้แก่ กระดาษเหนียว กระดาษทำลูกฟูก และแถบกระดาษกาวน้ำ โดยวิธีการย่อยสลายตัวอย่างให้กลายเป็นเถ้า (dry ashing) กับวิธีการย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ (microwave digestion)

1.7.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อได้แก่ กระดาษเหนียว กระดาษทำลูกฟูก และแถบกระดาษกาวน้ำ โดยการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับเครื่องกราฟิต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ โดยใช้ F-test และ t-test

1.7.5 หา % recovery เพื่อพิจารณาความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักได้แก่ แคดเมียม โครเมียม และตะกั่วในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยวิธีการย่อยสลายตัวอย่างให้กลายเป็นเถ้าแล้ววิเคราะห์โดยใช้เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เปรียบเทียบกับวิธีการย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ แล้ววิเคราะห์โดยใช้เครื่องกราฟิต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างกระดาษเหนียว และกระดาษทำลูกฟูก เป็นตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์ในกลุ่มงาน อนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 ส่วนกระดาษกาวน้ำเป็นตัวอย่างที่ผู้ศึกษาได้ทำการสุ่มซื้อในท้องตลาด

2.2 วัสดุ อุปกรณ์

2.2.1 เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Flame - Atomic Absorption Spectrophotometer,FAAS) รุ่น 880 ยี่ห้อ Varian ประเทศออสเตรเลีย

2.2.2 เครื่องกราฟต์เฟนิกอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (Graphite Furnace - Atomic Absorption Spectrometer, GFAAS) รุ่น 4110 ZL ยี่ห้อ Perkin Elmer ประเทศเยอรมนี

2.2.3 หลอดกำเนิดแสงฮอลโลว์แคโทดแลมป์ (hollow cathode lamp) สำหรับแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ยี่ห้อ Varian ประเทศออสเตรเลีย

2.2.4 หลอดกำเนิดแสงฮอลโลว์แคโทดแลมป์ (hollow cathode lamp) สำหรับโครเมียม ยี่ห้อ Perkin Elmer ประเทศเยอรมนี

2.2.5 หลอดกำเนิดแสงฮอลโลว์แคโทดแลมป์ (electrodeless discharge lamp) สำหรับแคดเมียม และตะกั่ว ยี่ห้อ Perkin Elmer ประเทศเยอรมนี

2.2.6 เครื่องย่อยสลายสารด้วยระบบไมโครเวฟ รุ่น MDS-2000 ยี่ห้อ CEM ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.2.7 เครื่องชั่ง รุ่น A200S ยี่ห้อ Sartorius ประเทศเยอรมนี

2.2.8 เตาเผา (muffle furnace)

2.2.9 แท่นให้ความร้อน (hotplate)

2.2.10 เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

2.2.11 ชามกระเบื้อง (porcelain basin)

2.2.12 ตะเกียงบุนเสน

2.2.13 อ่างให้ความร้อน (water bath)

2.2.14 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 6

2.2.15 เครื่องดีไอออนไนเซอร์ (deionizer) รุ่น D4632 ยี่ห้อ Branstead E-pure ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3 สารเคมี

2.3.1 ก๊าซอะเซทิลีน (acetylene gas)

2.3.2 ก๊าซอาร์กอน (argon gas)

2.3.3 สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (cadmium standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.3.4 สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

2.3.5 สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร

เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

2.3.6 สารละลายมาตรฐานโครเมียม (chromium standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.3.7 สารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

2.3.8 สารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร

เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

2.3.9 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (lead standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.3.10 สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

2.3.11 กรดไนตริกเข้มข้น (nitric acid) ชนิด AR grade

2.3.12 กรดไนตริกเข้มข้น 1:100 โดยปริมาตร

เตรียมโดยใส่น้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร จากนั้นค่อย ๆ เติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไปจนครบ 10 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

2.3.13 น้ำ D.I. (deionized water)

เตรียมโดยนำน้ำกลั่นผ่านเครื่อง deionizer เพื่อกำจัดแอนไอออนและแคตไอออน ซึ่งจะใช้น้ำนี้ในการเตรียมและเจือจางสารละลายทุกชนิด ในทุกขั้นตอนของการทดลอง

2.4 วิธีดำเนินการ

2.4.1 หาช่วงความเป็นเส้นตรง (linearity range) ของกราฟมาตรฐาน เป็นการแสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสง โดยหาความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้น (linear regression) และ coefficient of determination (R^2)

2.4.1.1 วิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ การหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม

- เตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.5, 2 และ 3 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร สำหรับเตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 และ 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร 10 และ 15 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร สำหรับเตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 2 และ 3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

- นำสารละลายทั้งหมดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

- นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของธาตุ

- คำนวณสมการเชิงเส้น (linear regression) และ coefficient of determination (R^2) โดยพิจารณาค่า R^2 ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้ามีค่าสูง ($R^2 > 0.995$) แสดงว่ากราฟที่ได้มี goodness of fit of linear graphs ¹³

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

เมื่อ y_i = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

\hat{y}_i = ค่าการดูดกลืนแสงที่คำนวณจากสมการเชิงเส้นที่ความเข้มข้นเดียวกันกับค่า y_i

\bar{y} = ค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสงที่วัดได้

หรือ $R^2 = r^2$

เมื่อ r = correlation coefficient

การหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์โครเมียม

- เตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร 1 และ 3 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร สำหรับเตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 0.5 และ 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร 1, 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร สำหรับเตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1, 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

- ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม

การหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ของตะกั่ว

- เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร 1, 2, 5, 10 และ 15 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร สำหรับเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1, 2, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร 10, 15 และ 25 ลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร สำหรับเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 20, 30 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

- ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม

ผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 21

ตารางที่ 1. แสดงภาวะที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์¹⁷

ภาวะการทดสอบ	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
Wavelength, nm	228.8	357.9	283.3
Slit width, nm	0.5	0.2	0.5
Lamp current, mA	6.0	7.0	5.0
Flame type	Air-acetylene	Air-acetylene	Air-acetylene
Flame stoichiometry	Oxidizing	Reducing	oxidizing

2.4.1.2 วิเคราะห์โดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

การหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม

- เตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 2 และ 10 ไมโครกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตร/ลิตร 1 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

- นำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวัดเป็นพื้นที่ใต้พีค ด้วยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ โดยให้เครื่องดูดสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 2 ไมโครกรัม/ลิตร 5, 10, 15 และ 20 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 15, 10, 5, 0 ไมโครลิตร ตามลำดับ เพื่อให้ได้สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 0.5, 1, 1.5 และ 2 ไมโครกรัม/ลิตร และดูดสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 10 ไมโครกรัม/ลิตร 6, 8, 10, 12, 14, 15 และ 20 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 14, 12, 10, 8, 6, 5 และ 0 ไมโครลิตร ตามลำดับ เพื่อให้ได้สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 3, 4, 5, 6, 7, 7.5 และ 10 ไมโครกรัม/ลิตร

- นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของธาตุ

- คำนวณสมการเชิงเส้น และ coefficient of determination (R^2)

การหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์โครเมียม

- เตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 10 และ 50 ไมโครกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร 1 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

- นำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวัดเป็นพื้นที่ใต้พีค ด้วยเครื่องกราไฟต์เฟอนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ โดยให้เครื่องดูดสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 10 ไมโครกรัม/ลิตร 5, 10, 15 และ 20 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 15, 10, 5, 0 ไมโครลิตร ตามลำดับ เพื่อให้ได้สารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 2.5, 5, 7.5 และ 10 ไมโครกรัม/ลิตร และดูดสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 50 ไมโครกรัม/ลิตร 6, 8, 10, 12, 16 และ 20 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 14, 12, 10, 8, 4 และ 0 ไมโครลิตร ตามลำดับ เพื่อให้ได้สารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 15, 20, 25, 30, 40, และ 50 ไมโครกรัม/ลิตร

- ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม

การหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ตะกั่ว

- เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลิตร 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

- นำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวัดเป็นพื้นที่ใต้พีค ด้วยเครื่องกราไฟต์เฟอนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ โดยให้เครื่องดูดสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/ลิตร 3, 5, 7, 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 17, 15, 13, 10, 8, 6, 4, 2 และ 0 ไมโครลิตร ตามลำดับ เพื่อให้ได้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 15, 25, 35, 50, 60, 70, 80 และ 100 ไมโครกรัม/ลิตร

- ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม

ผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 22

ตารางที่ 2. แสดงสภาวะที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของแคดเมียม โคโรเนียม และตะกั่ว ด้วยเครื่องกราฟิต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์¹⁶

ภาวะการทดสอบ	แคดเมียม	โคโรเนียม	ตะกั่ว
Wavelength, nm	228.8	357.9	283.3
Slit width, nm	0.7	0.7	0.7
Lamp current, mA	230	25	450
Modifier	50 µg PO ₄ + 3 µg Mg(NO ₃) ₂	15 µg Mg(NO ₃) ₂	50 µg PO ₄

ตารางที่ 3. แสดงโปรแกรมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของแคดเมียมด้วยเครื่องกราฟิต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์¹⁶

Step	Temperature (°C)	Ramp / Hold Time (s)	Internal Flow (mL/min)
1	110	1 / 30	250
2	130	15 / 30	250
3	500	10 / 20	250
4	1500	0 / 5	0
5	2450	1 / 3	250

ตารางที่ 4. แสดงโปรแกรมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของโคโรเนียมด้วยเครื่องกราฟิต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์¹⁶

Step	Temperature (°C)	Ramp / Hold Time (s)	Internal Flow (mL/min)
1	110	1 / 30	250
2	130	15 / 30	250
3	1500	10 / 20	250
4	2400	0 / 5	0
5	2450	1 / 3	250

ตารางที่ 5. แสดงโปรแกรมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของตะกั่วด้วยเครื่องกราไฟต์เฟอโนลอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์¹⁶

Step	Temperature (°C)	Ramp / Hold Time (s)	Internal Flow (mL/min)
1	110	1 / 30	250
2	130	15 / 30	250
3	850	10 / 20	250
4	1600	0 / 5	0
5	2450	1 / 3	250

2.4.2 การหาความไวของวิธีวิเคราะห์ (sensitivity)¹⁶

การหาความไวของวิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จะคำนวณในรูปแบบของ characteristic concentration คือ ความเข้มข้นของธาตุที่ทำให้สัญญาณการดูดกลืนแสงเปลี่ยนไป 0.0044 absorbance unit คำนวณจากสูตร

$$\text{characteristic concentration (mg/L)} = \frac{c \times 0.0044}{\bar{x}}$$

เมื่อ c = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

\bar{x} = ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานลบด้วยค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของแบลนด์

การหาความไวของวิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่องกราไฟต์เฟอโนลอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ จะคำนวณในรูปแบบของ characteristic mass คือ ปริมาณของธาตุในหน่วยพิโกกรัมที่ทำให้พื้นที่ใต้พีคเปลี่ยนไป 0.0044 absorbance-second คำนวณจากสูตร

$$\text{characteristic mass (pg/0.0044 A-s)} = \frac{v \times c \times 0.0044}{\bar{x}}$$

เมื่อ c = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ (ไมโครกรัม/ลิตร)

v = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ (ไมโครลิตร)

\bar{x} = ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐานลบด้วยค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคของแบลนด์

วิธีหาความไวของวิธีวิเคราะห์ ทำดังนี้

- วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลนด์ (blank) ซ้ำ 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย
- วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานของธาตุ ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 0.2 absorbance unit สำหรับการวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ หรือมีค่าพื้นที่ใต้พีคประมาณ 0.15 absorbance-second สำหรับการวิเคราะห์โดยเครื่องกราไฟต์เฟนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ซ้ำ 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

- หาค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ลบด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงของแบลนด์
- คำนวณค่าความไวของวิธีวิเคราะห์

ผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 23 และ 24 สำหรับการวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องกราไฟต์เฟนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ตามลำดับ

2.4.3 การหาขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ (detection limit of method) ⁸

ขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ คือ ความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

วิธีหาค่าดูดกลืนแสงและความเข้มข้นที่ขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณ ทำดังนี้

- วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลนด์ 8 ขวด ๆ ละ 2 ครั้ง โดยทำการวิเคราะห์วันละครั้ง
- คำนวณความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลนด์ จากสูตร

$$\text{standard deviation of blanks } (S_b) = \sqrt{\frac{\sum (\text{diff})^2}{n}}$$

เมื่อ diff = ความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลนด์ที่วิเคราะห์

n = จำนวนของสารละลายแบลนด์

- คำนวณ criterion of detection จากสูตร

$$\text{criterion of detection} = t_b S_b$$

เมื่อ $t_b = 1.86$ (one – tailed) เมื่อ degree of freedom $n = 8$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

- คำนวณค่าการดูดกลืนแสงที่ขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณ จากสูตร

$$\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณ} = \frac{2 S_b \times 120}{100}$$

- คำนวณความเข้มข้นที่ขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณจากสมการเชิงเส้นของกราฟมาตรฐาน

โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่คำนวณได้จากข้างต้น

วิธีหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ ทำดังนี้

- เตรียมสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับความเข้มข้นของขีดจำกัดต่ำสุด

โดยประมาณที่คำนวณได้ จำนวน 8 ขวด

- วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง
- คำนวณค่าการดูดกลืนแสงที่ขีดจำกัดต่ำสุด จากสูตร

$$\text{reading corresponding to detection limit} = \text{criterion of detection} + t_d S_d$$

เมื่อ $S_d =$ ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสง

$t_d = 1.89$ (one tailed) เมื่อ degree of freedom $n - 1 = 7$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

- คำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ (detection limit) จากสมการเชิงเส้นของกราฟ

มาตรฐาน โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่คำนวณได้จากข้างบน

ผลการทดลองสำหรับการวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องกราฟิไตเฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 25-28 และ 29-32 ตามลำดับ

2.4.4 การหาความแม่นยำ (precision) และความถูกต้อง (accuracy) ของการวิเคราะห์

ความแม่นยำของการวิเคราะห์ เป็นค่าที่แสดงถึงความใกล้เคียงกันของการวิเคราะห์ซ้ำหลายครั้ง ซึ่งแสดงด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ส่วนความถูกต้องของการวิเคราะห์ หมายถึงความใกล้เคียงกันของผลการวิเคราะห์กับค่าจริง

วิธีหาความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์ ทำดังนี้

- นำสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงความเป็นเส้นตรง มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) และเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS) อีกครั้ง เครื่องจะเก็บข้อมูลไว้แล้วสร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ แสดงตารางที่ 6

ตารางที่ 6. แสดงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม โคโรเนียม และตะกั่ว ที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน

ธาตุ	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานใช้ในการสร้างกราฟ	
	FAAS (มิลลิกรัม/ลิตร)	GFAAS (ไมโครกรัม/ลิตร)
แคดเมียม	0.1, 0.2, 0.3, 0.5	1.25, 2.5, 3.75, 5.0
โคโรเนียม	0.5, 1.0, 1.5, 2.0	5.0, 10.0, 15.0, 20.0
ตะกั่ว	1.0, 2.0, 5.0, 10.0	12.5, 25.0, 37.5, 50.0

- นำสารละลายแบลนด์ และสารละลายมาตรฐานแคดเมียม โคโรเนียม และตะกั่ว เข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และสารละลายมาตรฐานแคดเมียม โคโรเนียม และตะกั่ว เข้มข้น 2, 10 และ 20 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ มาวัดค่าพื้นที่ใต้พีคด้วยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ เครื่องจะประเมินผลข้อมูลออกมาในรูปของความเข้มข้นโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของธาตุที่สร้างไว้

วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานข้างต้นนี้ 7 ครั้ง หักลบด้วยค่าความเข้มข้นของแบลนด์ แล้วนำข้อมูลที่ได้ออกมาคำนวณค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ทดสอบความแม่นยำ เป็นการทดสอบเพื่อพิจารณาว่าการวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ มีความแม่นยำแตกต่างกับการวิเคราะห์โดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้ F-test (two-tailed test) ¹³

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{หรือ} \quad F = \frac{S_2^2}{S_1^2}$$

โดยที่ S_1 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (มิลลิกรัม/ลิตร)

S_2 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวิเคราะห์โดยเครื่องกราไฟต์เฟอนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (มิลลิกรัม/ลิตร)

กำหนดให้ค่า F ต้องมีค่า ≥ 1 เสมอ ถ้า $F_{\text{คำนวณ}}$ มีค่าน้อยกว่า $F_{\text{จากตาราง}}$ แสดงว่าวิธีทั้งสองมีความแม่นยำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

- เปรียบเทียบความถูกต้องของวิธีทั้งสอง โดยใช้ t-test¹³ คำนวณจากสูตร

$$t = \left| \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\text{pooled}} \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}} \right|, \text{ degree of freedom} = (n_1 + n_2 - 2)$$

เมื่อ \bar{x}_1 = ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่วิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (มิลลิกรัม/ลิตร)

\bar{x}_2 = ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่วิเคราะห์โดยเครื่องกราไฟต์เฟอนิชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (มิลลิกรัม/ลิตร)

S_{pooled} = pooled estimate of standard deviation ของข้อมูลวิธีที่หนึ่งและวิธีที่สอง

$$S_{\text{pooled}}^2 = \frac{\{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2\}}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

ถ้า $t_{\text{คำนวณ}}$ มีค่าน้อยกว่า $t_{\text{จากตาราง}}$ แสดงว่าทั้งสองวิธีมีความถูกต้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือวิธีทั้งสองให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลองหาความถูกต้อง และความแม่นยำของวิธีทั้งสอง ดังแสดงในภาคผนวกตาราง

2.4.5 การหาปริมาณแคดเมียม โครเมียม และตะกั่วในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อได้แก่ กระดาษเหนียว กระดาษทำลูกฟูก และแถบกระดาษกาวน้ำ

2.4.5.1 การวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

วิธีการเตรียมตัวอย่าง

- นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ ได้แก่ กระดาษเหนียว กระดาษทำลูกฟูก และแถบกระดาษกาวน้ำ มาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ

- ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อประมาณ 5 กรัม ให้ได้น้ำหนักแน่นอนในชามกระเบื้อง นำไปเผาด้วยไฟอ่อน ๆ โดยใช้ตะเกียงเบนเสน¹⁴ รอให้คาร์บอนในกระดาษถูกเผาหมดที่อุณหภูมิต่ำ ๆ แล้วจึงเผาต่อในเตาเผาที่ 450 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น เติมน้ำกลั่นให้เข้าตัวอย่างเปียกหมด ค่อย ๆ เติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไปจนครบ 5 มิลลิลิตร นำสารละลายตัวอย่างมาย่อยสลายบนแท่นให้ความร้อนจนแห้ง ปล่อยให้เย็น เติมน้ำกลั่น และกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา แล้วย่อยสลายสารละลายตัวอย่างบนแท่นให้ความร้อนประมาณ 30 นาที ปล่อยให้เย็น กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 6 ลงในขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ล้างตะกอนด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1:100 โดยปริมาตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

ทำการเตรียมสารละลายตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 3 ขั้ว

- เตรียมสารละลายแบลนด์ โดยใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง
- การหา % recovery เตรียมโดยการเติมสารละลายมาตรฐานของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลงในชามกระเบื้องใบเดียวกัน ก่อนนำกระดาษไปเผาไล่คาร์บอน

- นำสารละลายแบลนด์ สารละลายตัวอย่าง และสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เครื่องจะประเมินผลข้อมูลออกมาในรูปของความเข้มข้นโดยเปรียบเทียบกับการมาตรฐานของธาตุที่สร้างไว้ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณผลต่อไป

- คำนวณหาปริมาณธาตุโดยใช้สูตร

$$\text{ธาตุ (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{A \times V \times D}{S}$$

เมื่อ A = ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่างลบด้วยสารละลายแบลนด์

V = ปริมาตรเริ่มต้น (มิลลิลิตร)

D = สัมประสิทธิ์การเจือจาง

S = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

- คำนวณหา % recovery โดยใช้สูตร

$$\% \text{ recovery} = \left(\frac{b - a}{c} \right) \times 100$$

เมื่อ a = ความเข้มข้นเฉลี่ยที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่าง

b = ความเข้มข้นเฉลี่ยที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐาน

c = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงในสารละลายตัวอย่าง

ผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 34-39

2.4.5.2 การวิเคราะห์โดยเครื่องกราฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์

วิธีการเตรียมตัวอย่าง

- นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ ได้แก่ กระดาษเหนียว กระดาษทำลูกฟูก และแถบกระดาษกาวน้ำ มาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ

- ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อประมาณ 0.5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนลงใน vessel เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร และกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างตัวอย่างกระดาษกับกรดไนตริกลดลง เติมน้ำกลั่นอีก 5 มิลลิลิตร จากนั้นย่อยสลายตัวอย่างด้วยเครื่องย่อยสลายสารด้วยระบบไมโครเวฟ¹¹ ด้วยโปรแกรมการทำงานดังแสดงตารางที่ 7

ตารางที่ 7. แสดงโปรแกรมการทำงานในการย่อยสลายตัวอย่างกระดาษด้วยเครื่องย่อยสลายสารด้วยระบบไมโครเวฟ⁹

Stage	1	2	3
% Power	100	100	100
PSI	50	100	150
Time (min)	10:00	15:00	15:00
Tap (min)	5:00	10:00	10:00

หลังจากย่อยสลายสารตัวอย่างเสร็จ ทิ้งให้เย็น ถ่ายสารละลายตัวอย่างใน vessel ลงในบีเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ระบายไ้กรดตัวอย่างให้ความร้อน จนปริมาตรสารละลายเหลือประมาณ 25 มิลลิลิตร ถ่ายสารละลายตัวอย่างลงในขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 6

- เตรียมสารละลายแบลงค์ โดยใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง
- การหา % recovery เตรียมโดยการเติมสารละลายมาตรฐานของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ความเข้มข้น 2.0, 10.0 และ 20.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลงใน vessel เดียวกัน ก่อนทำการย่อยสลายตัวอย่างด้วยเครื่องย่อยสลายสารด้วยระบบไมโครเวฟ
- นำสารละลายแบลงค์ สารละลายตัวอย่าง และสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว มาวัดค่าพื้นที่ใต้พีคด้วยเครื่องกราฟไฟต์เฟอไนซอะตอมมิก แอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ เครื่องจะประเมินผลข้อมูลออกมาในรูปของความเข้มข้นโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของธาตุที่สร้างไว้ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณผลต่อไป
- คำนวณหาปริมาณธาตุโดยใช้สูตร

$$\text{ธาตุ (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{A \times V \times D \times 1000}{S}$$

เมื่อ A = ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลิตร) ที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่างลบด้วยสารละลายแบลนด์

V = ปริมาตรเริ่มต้น (มิลลิลิตร)

D = สัมประสิทธิ์การเจือจาง

S = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

- คำนวณหา % recovery โดยใช้สูตร

$$\% \text{ recovery} = \left(\frac{b - a}{c} \right) \times 100$$

เมื่อ a = ความเข้มข้นเฉลี่ยที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่าง

b = ความเข้มข้นเฉลี่ยที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐาน

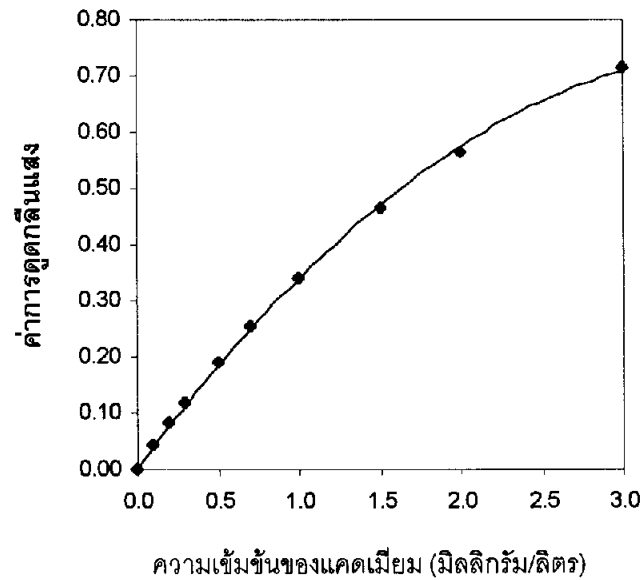
c = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงในสารละลายตัวอย่าง

ผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 34-39

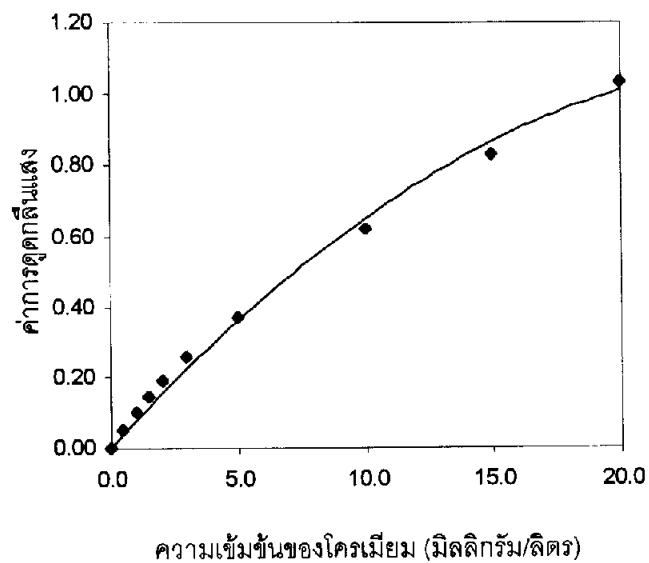
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์

3.1 การหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว

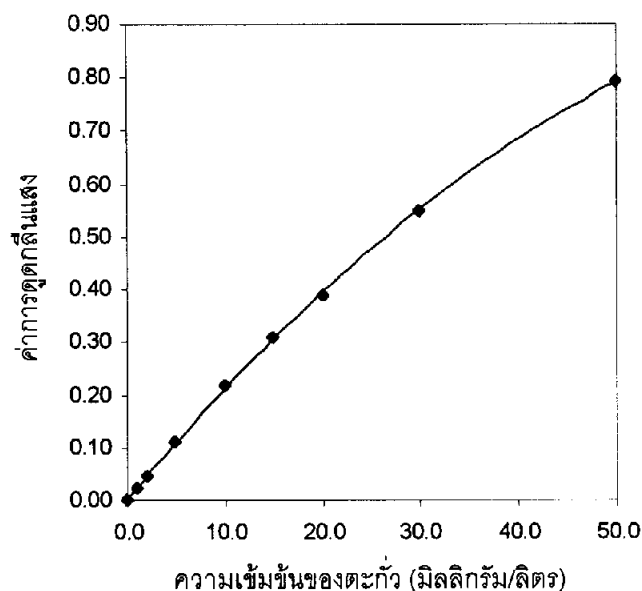
3.1.1 การวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 1, 2 และ 3 ส่วนการคำนวณสมการเชิงเส้น และ coefficient of determination, R^2 แสดงในตารางที่ 8



ภาพที่ 1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของแคดเมียม



ภาพที่ 2. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของโครเมียม



ภาพที่ 3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของตะกั่ว

ตารางที่ 8. แสดงสมการเชิงเส้น และ coefficient of determination ของช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานต่าง ๆ ของแคดเมียม โคโรเมียม และตะกั่ว ซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิก แอ็บซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

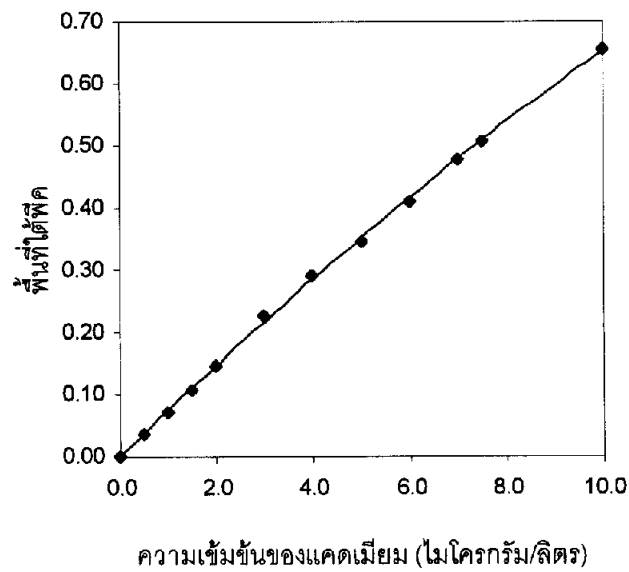
ธาตุ	ช่วงความเข้มข้นที่ใช้, มิลลิกรัม/ลิตร	Linear regression	R ²
แคดเมียม	0 - 3	Y = 0.2701 X	0.9466
	0 - 2	Y = 0.3061 X	0.9752
	0 - 1.5	Y = 0.3299 X	0.9845
	0 - 1.0	Y = 0.3710 X	0.9955
โคโรเมียม	0 - 20	Y = 0.0556 X	0.9641
	0 - 15	Y = 0.0601 X	0.9573
	0 - 10	Y = 0.0678 X	0.9558
	0 - 5	Y = 0.0805 X	0.9673
	0 - 3	Y = 0.0903 X	0.9890
	0 - 2	Y = 0.0959 X	0.9977

ตารางที่ 8. (ต่อ)

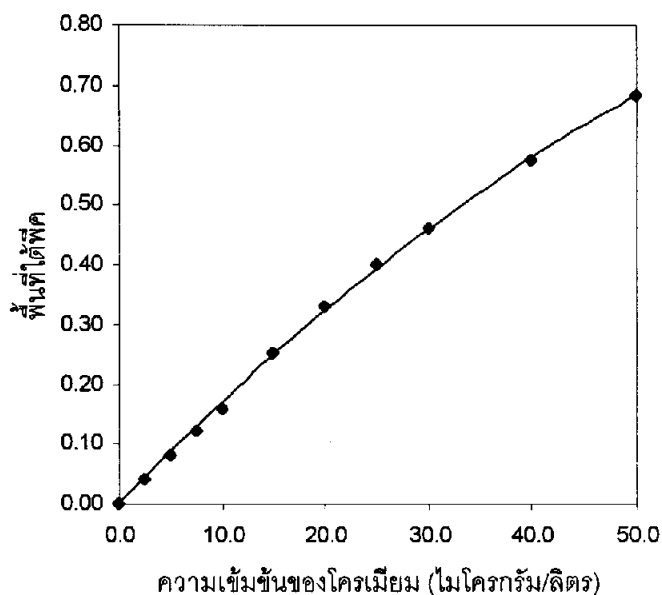
ธาตุ	ช่วงความเข้มข้นที่ใช้, มิลลิกรัม/ลิตร	Linear regression	R ²
ตะกั่ว	0 - 50	$Y = 0.0172 X$	0.9776
	0 - 30	$Y = 0.0191 X$	0.9919
	0 - 20	$Y = 0.0202 X$	0.9951

หมายเหตุ ข้อมูลดิบของการหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 21

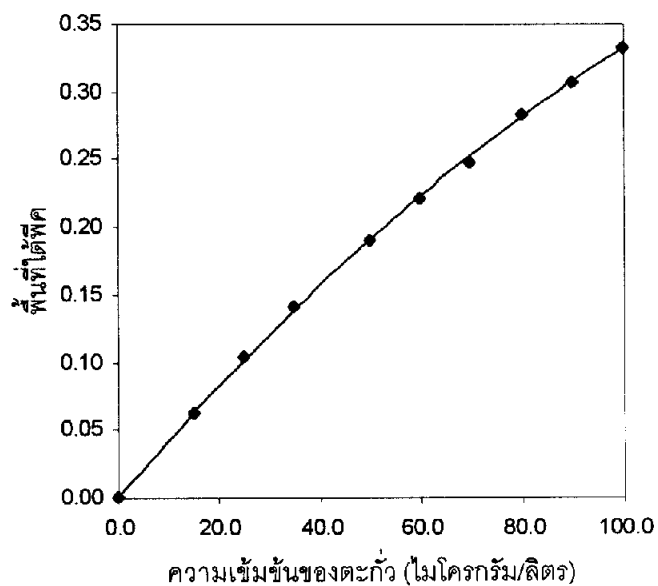
3.1.2 การวิเคราะห์โดยเครื่องกราฟิตรีไฟต์ฟอสฟอรัสอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 4, 5 และ 6 ส่วนการคำนวณสมการเชิงเส้น และ coefficient of determination, R² แสดงในตารางที่ 9



ภาพที่ 4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ใต้พีคของแคดเมียม



ภาพที่ 5. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ที่ได้ฟัดของโคโรเมียม



ภาพที่ 6. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ที่ได้ฟัดของตะกั่ว

ตารางที่ 9. แสดงสมการเชิงเส้น และ coefficient of determination ของช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานต่าง ๆ ของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่องกราฟิฟเฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

ธาตุ	ช่วงความเข้มข้นที่ใช้, ไมโครกรัม/ลิตร	Linear regression	R ²
แคดเมียม	0 - 10	Y = 0.0677 X	0.9965
โครเมียม	0 - 50	Y = 0.0146 X	0.9867
	0 - 40	Y = 0.0153 X	0.9918
	0 - 30	Y = 0.0159 X	0.9972
ตะกั่ว	0 - 100	Y = 0.0035 X	0.9870
	0 - 90	Y = 0.0036 X	0.9893
	0 - 80	Y = 0.0037 X	0.9912
	0 - 70	Y = 0.0037 X	0.9907
	0 - 60	Y = 0.0038 X	0.9942
	0 - 50	Y = 0.0039 X	0.9959

หมายเหตุ ข้อมูลดิบของการหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 22

3.2 ค่าความไวของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว

3.2.1 ค่าความไวของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10. แสดงความไวของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ธาตุ	Characteristic concentration (mg/L)
แคดเมียม	0.01
โครเมียม	0.05
ตะกั่ว	0.22

หมายเหตุ ข้อมูลดิบของการหาความไวของการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 23

3.2.2 ค่าความไวของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ แสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11. แสดงความไวของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

ธาตุ	Characteristic mass (pg/0.0044 A-s)
แคดเมียม	1.20
โครเมียม	5.42
ตะกั่ว	27.51

หมายเหตุ ข้อมูลดิบของการหาความไวของการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 24

3.3 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว

3.3.1 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12. แสดงค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ธาตุ	ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	กระดาษเหนียว	กระดาษทำลูกฟูก	แถบกระดาษกาวน้ำ
แคดเมียม	0.014	0.017	0.016
โครเมียม	0.063	0.063	0.054
ตะกั่ว	0.35	0.27	0.29

หมายเหตุ ข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 25-28

3.3.2 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ แสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13. แสดงค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

ธาตุ	ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (ไมโครกรัม/ลิตร)		
	กระดาษเหนียว	กระดาษทำลูกฟูก	แถบกระดาษกาวน้ำ
แคดเมียม	0.13	0.10	0.06
โครเมียม	0.31	0.40	0.23
ตะกั่ว	5.06	6.80	5.84

หมายเหตุ ข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 29-32

3.4 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว

การเปรียบเทียบความแม่นยำของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแคดเมียม โครเมียม และ ตะกั่ว ระหว่างการวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับเครื่อง กราฟิต์เฟอริซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ แสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14. แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยวิธีทั้งสอง โดยใช้ F-test (two-tailed test)

ธาตุ	อัตราส่วนความแปรปรวน (F)
แคดเมียม	5.76
โครเมียม	2.16
ตะกั่ว	5.74

หมายเหตุ 1. $F_{\text{จากตาราง}}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % = 5.820 ($n_1, n_2 = 6, 6$)

2. ข้อมูลดิบของการเปรียบเทียบความแม่นยำของการวิเคราะห์ธาตุทั้งสาม ดังแสดงในภาคผนวก ตารางที่ 33

3.5 ผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว

การเปรียบเทียบความถูกต้องของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแคดเมียม โครเมียม และ ตะกั่ว ระหว่างการวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับเครื่อง กราฟิต์เฟอริซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ แสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15. แสดงการเปรียบเทียบความถูกต้องของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยวิธีทั้งสอง โดยใช้ t-test (two-tailed test)

ธาตุ	t
แคดเมียม	1.16
โครเมียม	1.23
ตะกั่ว	1.89

หมายเหตุ 1. $t_{\text{จากตาราง}}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % = 2.18 ($n_1 + n_2 - 2 = 12$)

2. ข้อมูลดิบของการเปรียบเทียบความถูกต้องของการวิเคราะห์ธาตุทั้งสาม ดังแสดงในภาคผนวก ตารางที่ 33

3.6 ผลการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์แคดเมียม ไครเมียม และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม ไครเมียม และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ ได้แก่ กระดาษเหนียว กระดาษทำลูกฟูก และแถบกระดาษกาวน้ำ ประเภทละ 10 ตัวอย่าง โดยการย่อยสลายตัวอย่างให้กลายเป็นเถ้า แล้ววิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเครื่องเพลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เปรียบเทียบกับการย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ แล้ววิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ดังแสดงผลในตารางที่ 16, 17 และ 18

ตารางที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์แคดเมียม ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยวิธีทั้งสอง

ประเภท ตัวอย่าง	ตัว อย่าง	หมายเลข ปฏิบัติการ	วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)		F	t
			วิธี FAAS	วิธี GFAAS		
กระดาษเหนียว	K 1	TO.358	0.149	0.153	4.82	0.34
	K 2	TP.381	< DL	0.088	-	-
	K 3	TZ.208	< DL	0.097	-	-
	K 4	UI.967	< DL	0.76	-	-
	K 5	UJ.238	< DL	0.067	-	-
	K 6	UJ.628	< DL	0.093	-	-
	K 7	UL.434	< DL	0.073	-	-
	K 8	UN.733	0.143	0.144	1.28	0.20
	K 9	UP.463	0.392	0.395	1.44	0.22
	K 10	UQ.585	0.176	0.182	1.34	1.32
กระดาษทำลูกฟูก	C 1	UH.373	< DL	0.133	-	-
	C 2	TO.359	< DL	0.150	-	-
	C 3	TP.383	< DL	0.079	-	-
	C 4	TV.227	< DL	0.106	-	-
	C 5	UI.968	< DL	0.078	-	-
	C 6	UJ.629	< DL	0.069	-	-
	C 7	UL.433	< DL	0.056	-	-
	C 8	UN.736	< DL	0.074	-	-

ตารางที่ 16. (ต่อ)

ประเภท ตัวอย่าง	ตัว อย่าง	หมายเลข ปฏิบัติการ	วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)		F	t
			วิธี FAAS	วิธี GFAAS		
กระดาดำทำลูกฟูก	C 9	UP.459	0.480	0.479	19.49	0.25
	C10	-	< DL	0.079	-	-
แถบกระดาดำกาวน้ำ	G 1	-	0.191	0.192	11.85	0.22
	G 2	-	< DL	0.100	-	-
	G 3	-	0.296	0.300	3.15	0.34
	G 4	-	0.397	0.402	5.29	1.40
	G 5	-	< DL	0.137	-	-
	G 6	-	0.490	0.472	4.48	0.77
	G 7	-	0.480	0.467	1.93	0.51
	G 8	-	< DL	0.088	-	-
	G 9	-	< DL	0.031	-	-
	G10	-	< DL	0.082	-	-

- หมายเหตุ 1. $F_{จากตาราง}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % = 39.0 ($n_1, n_2 = 2, 2$)
2. $t_{จากตาราง}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % = 2.78 ($n_1 + n_2 - 2 = 4$)
3. ข้อมูลดิบของการเปรียบเทียบความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์แคดเมียม ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 34
4. ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แคดเมียมโดย FAAS มีค่าเท่ากับ 0.016 มิลลิกรัม/ลิตร (ค่าเฉลี่ย)

ตารางที่ 17. แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์โครเมียม
ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาดำบรรจุหีบห่อ โดยวิธีทั้งสอง

ประเภท ตัวอย่าง	ตัว อย่าง	หมายเลข ปฏิบัติการ	วิเคราะห์ปริมาณโครเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)		F	T
			วิธี FAAS	วิธี GFAAS		
กระดาดำเหนียว	K 1	TO.358	3.647	4.575	1.19	5.01
	K 2	TP.381	3.635	5.020	26.97	19.59
	K 3	TZ.208	2.298	2.866	6.66	6.41
	K 4	UI.967	2.167	3.021	18.75	5.76

ตารางที่ 17. (ต่อ)

ประเภท ตัวอย่าง	ตัว อย่าง	หมายเลข ปฏิบัติการ	วิเคราะห์ปริมาณโครเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)		F	T
			วิธี FAAS	วิธี GFAAS		
กระดาษเหนียว	K 5	UJ.238	2.833	3.730	1.47	7.84
	K 6	UJ.628	3.000	3.984	2.28	14.15
	K 7	UL.434	2.750	3.676	2.03	6.49
	K 8	UN.733	2.800	3.775	3.26	7.39
	K 9	UP.463	3.158	4.343	6.07	12.49
	K10	UQ.585	3.162	4.348	23.97	36.35
กระดาษทำลูกฟูก	C 1	UH.373	2.278	2.481	2.91	0.89
	C 2	TO.359	6.065	5.892	8.36	0.93
	C 3	TP.383	3.600	3.672	1.70	0.22
	C 4	TV.227	5.438	5.654	6.05	1.02
	C 5	UI.968	3.533	3.658	2.73	1.95
	C 6	UJ.629	3.466	3.511	19.18	0.36
	C 7	UL.433	3.140	3.184	2.52	0.41
	C 8	UN.736	3.800	3.502	4.13	2.28
	C 9	UP.459	5.133	4.833	6.33	1.66
	C 10	-	3.300	3.327	1.87	0.28
แถบกระดาษกาวน้ำ	G 1	-	1.151	1.770	8.24	7.88
	G 2	-	3.056	3.816	1.87	11.83
	G 3	-	3.917	5.463	1.83	14.12
	G 4	-	3.000	3.559	13.21	9.34
	G 5	-	6.699	8.657	1.55	8.00
	G 6	-	2.233	3.201	15.53	7.11
	G 7	-	2.800	3.840	5.93	6.83
	G 8	-	3.566	4.393	7.78	8.33
	G 9	-	< DL	0.262	-	-
	G10	-	2.166	2.761	3.44	15.67

- หมายเหตุ 1. $F_{\text{จากตาราง}}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % = 39.0 ($n_1, n_2 = 2, 2$)
2. $t_{\text{จากตาราง}}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % = 2.78 ($n_1 + n_2 - 2 = 4$)
3. ข้อมูลดิบของการเปรียบเทียบความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์โครเมียม ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 35
4. ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์โครเมียมโดย FAAS มีค่าเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร (ค่าเฉลี่ย)

ตารางที่ 18. แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์ตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาดาบรรจุหีบห่อ โดยวิธีทั้งสอง

ประเภท ตัวอย่าง	ตัว อย่าง	หมายเลข ปฏิบัติการ	วิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว (มิลลิกรัม/ลิตร)		F	t
			วิธี FAAS	วิธี GFAAS		
กระดาดาบเหนียว	K 1	TO.358	11.536	14.584	1.18	8.76
	K 2	TP.381	16.700	18.701	4.93	15.93
	K 3	TZ.208	10.601	12.733	1.55	8.96
	K 4	UI.967	6.600	8.275	2.14	5.45
	K 5	UJ.238	10.364	13.273	1.07	3.19
	K 6	UJ.628	11.732	14.281	1.15	4.29
	K 7	UL.434	11.398	14.416	32.64	23.08
	K 8	UN.733	8.765	11.242	11.40	10.60
	K 9	UP.463	14.261	18.077	20.66	7.25
	K 10	UQ.585	12.082	15.623	27.33	4.56
กระดาดาบทำลูกฟูก	C 1	UH.373	4.093	5.282	5.99	2.59
	C 2	TO.359	21.973	23.631	32.74	0.65
	C 3	TP.383	5.833	6.393	1.59	2.39
	C 4	TV.227	14.931	15.727	2.70	3.55
	C 5	UI.968	10.898	11.267	3.51	0.75
	C 6	UJ.629	9.632	9.816	2.73	0.35
	C 7	UL.433	11.534	12.407	11.20	5.69
	C 8	UN.736	11.766	12.698	13.55	0.70
	C 9	UP.459	18.731	19.427	7.45	7.45
	C 10	-	6.166	6.793	1.29	3.25

ตารางที่ 18. (ต่อ)

ประเภท ตัวอย่าง	ตัว อย่าง	หมายเลข ปฏิบัติการ	วิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว (มิลลิกรัม/ลิตร)		F	t
			วิธี FAAS	วิธี GFAAS		
แถบกระดาษกาวน้ำ	G 1	-	3.355	3.796	5.14	2.37
	G 2	-	13.520	15.991	3.93	3.09
	G 3	-	14.916	18.332	13.31	5.25
	G 4	-	10.033	11.998	17.08	5.21
	G 5	-	16.531	19.419	1.28	8.18
	G 6	-	4.632	5.451	1.14	2.19
	G 7	-	8.632	10.467	7.30	4.79
	G 8	-	11.766	14.168	1.88	4.78
	G 9	-	< DL	0.302	-	-
	G10	-	3.766	4.574	12.20	6.65

หมายเหตุ 1. $F_{จากตาราง}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % = 39.0 ($n_1, n_2 = 2, 2$)

2. $t_{จากตาราง}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % = 2.78 ($n_1 + n_2 - 2 = 4$)

3. ข้อมูลดิบของการเปรียบเทียบความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์ตะกั่ว ดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 36

4. ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ตะกั่วโดย FAAS มีค่าเท่ากับ 0.30 มิลลิกรัม/ลิตร (ค่าเฉลี่ย)

3.7 การหา % recovery

การหา % recovery ของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยวิธีการย่อยสลายตัวอย่างให้กลายเป็นเถ้า แล้ววิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับการย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ แล้ววิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเครื่องกราฟิต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ แสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19. แสดง % recovery ในการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยวิธีทั้งสอง

ธาตุ	% recovery					
	กระดาษเหนียว		กระดาษทำลูกฟูก		แถบกระดาษกาวน้ำ	
	วิเคราะห์โดย FAAS	วิเคราะห์โดย GFAAS	วิเคราะห์โดย FAAS	วิเคราะห์โดย GFAAS	วิเคราะห์โดย FAAS	วิเคราะห์โดย GFAAS
แคดเมียม	97.30	96.93	99.14	99.09	90.12	92.30
โครเมียม	71.52	95.03	97.66	94.25	57.56	79.82
ตะกั่ว	75.08	90.87	88.99	94.17	79.26	90.71

หมายเหตุ ข้อมูลดิบของการหา % recovery ของการวิเคราะห์ ดัง แสดงในภาคผนวกตารางที่ 37

บทที่ 4 วิจารณ์ผล

4.1 การหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี ต้องทำการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ดังนั้นนักวิเคราะห์จึงต้องการให้ช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานยาวที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อจะได้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุในช่วงความเข้มข้นกว้าง ๆ ในตัวอย่างต่าง ๆ โดยไม่ต้องทำการเจือจางตัวอย่างก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง แต่โดยทั่วไปมักจะพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นกราฟที่ได้จะโค้ง ดังนั้นจะทราบได้อย่างไรว่ามีความโค้งในกราฟมาตรฐานหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่า coefficient of determination, R^2 ถ้าค่า R^2 มีค่ามากกว่า 0.995 แสดงว่ากราฟที่ได้มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงนั่นคือมี goodness of fit of linear graphs ด้วยวิธีดังกล่าวทำให้สามารถหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้ดังนี้คือ 0-1 มิลลิกรัม/ลิตร, 0-2 มิลลิกรัม/ลิตร และ 0-20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องกราฟไฟต์เฟอนิอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ คือ 0-10 ไมโครกรัม/ลิตร, 0-30 ไมโครกรัม/ลิตร และ 0-50 ไมโครกรัม/ลิตรตามลำดับ

อย่างไรก็ตามผู้วิเคราะห์สามารถเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดน้อยกว่าความเข้มข้นสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ goodness of fit of linear graphs ก็ได้ เนื่องจากเมื่อใช้ช่วงความเข้มข้นสั้นลง ค่า slope ซึ่งแสดงถึงความไวของวิธีวิเคราะห์จะสูงขึ้น และยังเป็น การลดปริมาณสารละลายมาตรฐานที่ใช้ด้วย โดยเฉพาะเมื่อปริมาณธาตุที่ต้องการวิเคราะห์อยู่ในระดับต่ำ จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้กราฟมาตรฐานที่ช่วงความเข้มข้นกว้าง

4.2 การหาความไวและขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิด

ความไวในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิดโดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ อยู่ในระดับส่วนในล้านส่วน (ตารางที่ 10) ขณะที่การวิเคราะห์โดยเครื่องกราฟไฟต์เฟอนิอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ อยู่ในระดับส่วนในพันล้านส่วน (ตารางที่ 11) ทั้งนี้เนื่องจากอะตอมมิกแอบซอร์พชันที่ใช้เทคนิค flame atomization มีข้อจำกัดดังนี้คือจะยอมให้เฉพาะละออง

ฝอยที่มีขนาดน้อยกว่า 1 μm เท่านั้น ผ่านเข้าไปสู่เปลวไฟ ซึ่งจะมีเพียงประมาณร้อยละ 10 ของสารที่ต้องการวิเคราะห์ และสารดังกล่าวยังถูกทำให้เจือจางด้วยก๊าซที่จะพาละอองฝอยเข้าสู่เปลวไฟ นอกจากนี้เมื่อมีอะตอมอิสระเกิดขึ้น อะตอมดังกล่าวจะอยู่ในเส้นทางเดินลำแสงเพียงช่วงเวลาอันสั้นประมาณ 10^{-4} วินาที จากข้อจำกัดดังกล่าวทำให้การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ใช้ได้กับสารละลายที่มีความเข้มข้นช่วงจำกัดคือเจือจางต่ำสุดเป็นระดับส่วนในล้านส่วนเท่านั้น ความไวในการวิเคราะห์จะดีขึ้น เมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ทั้งหมดถูกทำให้เป็นอะตอมได้ในเวลาเดียวกัน และอะตอมอิสระที่เกิดขึ้นสามารถอยู่ในเส้นทางผ่านของลำแสงนานขึ้น ซึ่งการใช้ graphite furnace atomization สามารถทำให้เกิดผลดังกล่าวได้ ดังนั้นความไวและขีดจำกัดในการตรวจวัดจึงอยู่ในระดับส่วนในพันล้านส่วน

ในการวิเคราะห์ธาตุเหล่านี้เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง และตัดปัญหาความผิดพลาดในการตัดสินใจของผู้วิเคราะห์ที่จะบอกว่าพบธาตุนั้นในขณะที่ไม่มี หรือไม่พบขณะที่มีธาตุนั้นในตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์อยู่ จึงต้องกำหนดขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.3 การเปรียบเทียบความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์

4.3.1 การวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของธาตุทั้งสามชนิด

ความแม่นยำในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามโดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องกราไฟต์เฟอนิอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ซึ่งทดสอบโดยใช้ F-test (ตารางที่ 14) พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % จากผลการทดสอบนี้ทำให้สามารถคำนวณ pooled estimate of standard deviation เพื่อใช้เป็น standard deviation ในการทดสอบความถูกต้องด้วย t-test ได้ (ตารางที่ 15) พบว่าในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องกราไฟต์เฟอนิอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ให้ความถูกต้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

4.3.2 การวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิดในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ

จะเห็นได้ว่าในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของธาตุทั้งสามชนิดโดยวิธีทั้งสอง มีความถูกต้องและความแม่นยำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % แต่เมื่อทำการ

วิเคราะห์ธาตุทั้งสามในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ ดังแสดงในตารางที่ 16, 17 และ 18 พบว่าการวิเคราะห์แคดเมียมในตัวอย่างทั้งสามประเภท และการวิเคราะห์โครเมียมในตัวอย่างกระดาษทำลูกฟูก มีความถูกต้องและแม่นยำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่การวิเคราะห์โครเมียมในตัวอย่างกระดาษเหนียว และแถบกระดาษกาวน้ำ และการวิเคราะห์ตะกั่วในตัวอย่างทั้งสามประเภท มีความแม่นยำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความถูกต้องแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในกระบวนการผลิตกระดาษเหนียว และแถบกระดาษกาวน้ำที่ใช้กระดาษเหนียวแล้วทำการไว้ด้านหนึ่งนั้น มีการใช้โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) และโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ในกระบวนการผลิต¹² ซึ่งเป็นเหตุให้อาจมีการปนเปื้อนของซัลเฟตในตัวอย่าง และในการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการเผาตัวอย่างให้กลายเป็นเถ้าแล้วละลายตัวอย่างด้วยกรดไนตริก จะทำให้เฉพาะแคดเมียมที่บางส่วนอยู่ในรูปของแคดเมียมซัลเฟตเท่านั้น ที่สามารถละลายได้ ส่วนโครเมียมและตะกั่วที่บางส่วนอยู่ในรูปของโครเมียมซัลเฟตและตะกั่วซัลเฟตตามลำดับ ไม่สามารถละลายกลับเป็นไอออนอิสระในสารละลายได้¹⁰ ทำให้ผลการวิเคราะห์มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ในขณะที่เมื่อทำการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟนั้น ตัวอย่างจะอยู่ในสภาวะที่มีกรดไนตริกเป็นตัวทำละลาย ซึ่งไนเตรตไอออน (NO_3^-) ที่มีขนาดเล็กกว่าซัลเฟต (SO_4^{2-}) และมีจำนวนมากในสารละลายจะมาห้อมล้อมตะกั่วไอออน และโครเมียมไอออนไว้ ตะกอนของโครเมียมซัลเฟตและตะกั่วซัลเฟตจึงเกิดขึ้นได้ยากหรืออาจไม่เกิดขึ้นเลย ส่วนกรณีของกระดาษทำลูกฟูกเป็นการนำเศษกระดาษเก่ามาใช้ใหม่เป็นส่วนใหญ่¹² และมีการผสมกับกระดาษที่ผ่านกระบวนการที่ต้องใช้โซเดียมซัลเฟตบ้างบางส่วน ดังนั้นจะเห็นว่ากระดาษทำลูกฟูกจะมีการปนเปื้อนของซัลเฟตน้อยกว่ากระดาษเหนียว เป็นผลให้ไม่เกิดปัญหาดังกล่าวข้างต้น หรือถ้าเกิดก็จะเกิดเพียงเล็กน้อย จากผลการทดลองสามารถสรุปความถูกต้อง และความแม่นยำของการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิดในตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20. แสดงความถูกต้อง และความแม่นยำของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยวิธีทั้งสอง

ประเภทตัวอย่าง	การวิเคราะห์แคดเมียม		การวิเคราะห์โครเมียม		การวิเคราะห์ตะกั่ว	
	ความแม่นยำ	ความถูกต้อง	ความแม่นยำ	ความถูกต้อง	ความแม่นยำ	ความถูกต้อง
กระดาษเหนียว	✓	✓	✓	✗	✓	✗
กระดาษทำลูกฟูก	✓	✓	✓	✓	✓	✗
แถบกระดาษกาวน้ำ	✓	✓	✓	✗	✓	✗

4.4 การหา % recovery ของวิธีการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิด

การหา % recovery ที่แสดงในตารางที่ 19 พบว่าการวิเคราะห์แคดเมียมในตัวอย่างทั้งสามประเภท และการวิเคราะห์โครเมียมในตัวอย่างกระดาษทำลูกฟูกของวิธีการวิเคราะห์ทั้งสองให้ % recovery ที่ใกล้เคียงกัน ขณะที่วิธีการวิเคราะห์โครเมียมในตัวอย่างกระดาษเหนียวและแถบกระดาษกาวน้ำ และวิธีการวิเคราะห์ตะกั่วในตัวอย่างทั้งสามประเภท โดยการย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟแล้ววิเคราะห์ปริมาณธาตุโดยเครื่องกราฟิฟเฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS) ให้ % recovery ที่สูงกว่าวิธีการย่อยสลายตัวอย่างให้กลายเป็นเถ้าแล้ววิเคราะห์ปริมาณธาตุโดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) โดยเฉพาะการวิเคราะห์โครเมียมในตัวอย่างแถบกระดาษกาวน้ำโดย FAAS มีค่า % recovery เท่ากับ 57.56 % ขณะที่เมื่อทำการวิเคราะห์โดย GFAAS จะมี % recovery สูงขึ้นเป็น 79.82 % ทั้งนี้เนื่องมาจากในตัวอย่างแถบกระดาษกาวน้ำจะมีการใช้สารเติมแต่ง (additive) ที่มีผลกับการวิเคราะห์ ทำให้การวิเคราะห์ปริมาณธาตุได้น้อยกว่าความเป็นจริง นอกจากนี้ในการวิเคราะห์โดย FAAS จะผ่านกระบวนการหลายขั้นตอนที่ทำให้ปริมาณธาตุที่ทำการวิเคราะห์อาจสูญหายได้มากกว่าการวิเคราะห์โดย GFAAS เช่น ขั้นตอนการเผาตัวอย่างให้เป็นเถ้า ขั้นตอนการย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดไนตริก ขั้นตอนการกรองตัวอย่าง เป็นต้น เป็นเหตุให้ % recovery ของการวิเคราะห์โดย FAAS มีค่าน้อยกว่าทำการวิเคราะห์โดย GFAAS

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 การวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิดในสารละลายมาตรฐานโดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ พบว่าวิธีทั้งสอง ให้ความถูกต้องและความแม่นยำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

5.2 การวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิดในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อทั้งสามประเภท คือ กระดาษเหนียว กระดาษทำลูกฟูก และแถบกระดาษกาวน้ำ พบว่าวิธีทั้งสอง ให้ความแม่นยำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ในการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมโดยวิธีทั้งสอง ให้ความถูกต้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการหา % recovery ของการวิเคราะห์แคดเมียมที่มีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมและตะกั่วของวิธีทั้งสอง ให้ปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณา % recovery พบว่ามีค่าที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งการวิเคราะห์โดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ จะมี % recovery ที่สูงกว่า

ดังนั้นสรุปได้ว่าในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ วิธีที่เหมาะสมคือวิธีการย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง และมีความแม่นยำสูง โดยพิจารณาจาก %recovery และค่า F-test อีกทั้งวิธีการนี้ยังสามารถทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุได้ต่ำถึงระดับหนึ่งในพันล้านส่วนอีกด้วย

5.3 สำหรับการวิเคราะห์โครเมียมในตัวอย่างแถบกระดาษกาวน้ำ แม้ว่าการวิเคราะห์โครเมียมโดยเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ จะให้ %recovery ที่สูงขึ้น (79.82%) กว่าวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ก็ตาม แต่ %recovery ควรอยู่ในช่วง 85-115 % ดังนั้นการวิเคราะห์โครเมียมในตัวอย่างแถบกระดาษกาวน้ำจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปเพื่อให้ได้วิธีวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณส่องแสง เลี้ยวขวสิต ผู้อำนวยการกองเคมี คุณเรณู ตามไท หัวหน้ากลุ่มงานอินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 และผู้ร่วมงานในกลุ่มงานอินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้ความเชื่อเพื่อวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีต่าง ๆ ทำให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ. กองจัดการสารอันตราย และกากของเสีย. **ประโยชน์ และโทษของมูลฝอย**.
กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. 2536. หน้า 25-26.
2. แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์. 2534. หน้า 322-347.
3. สาคร คันธโชติ. **วัสดุผลิตภัณฑ์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสไตร. 2529. หน้า 72-74.
4. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษทำลูกฟูก**.
มอก.321. หน้า 1.
5. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษเหนียว**.
มอก.170. หน้า 1.
6. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแถบกระดาษกาว**
น้ำ. **มอก.493**. หน้า 1.
7. อำนาง สีหัตตตระกูล. มลพิษอันเกิดจากโลหะบางชนิด. **วารสารวิทยาศาสตร์**. ตุลาคม, 2520,
หน้า 29-31, 34-37, 40.
8. Caulcutt, R. and Boddy R. **Statistics for Analytical Chemists**. London : Chapman and
Hall , 1983. p.201-205.
9. CEM Corporation. **General Guidelines for Microwave Sample Preparation**. 1991. p MS-9.
10. Hawley, G.G. **The Condensed Chemical Dictionary**. 10th ed. Taiwan : Litton Educational
Publishing, 1981. p.176, 248, 609.
11. International Organization for Standardization. **ISO 10775 : paper, board and pups-**
determination of cadmium content-atomic absorption spectrometric method.
Geneva:International Organization for Standardization, 1995
12. Kline, J.E. **Paper and Paperboard Manufacturing and Converting Fundamentals**. 2nd ed.
San Francisco : Miller Freeman Publications, 1991. p.50-52, 233, 235

13. Miller, J.C. and Miller, J.N. **Statistics for Analytical Chemistry**. 3rd ed. Chichester : Ellis Horwood, 1993. p.55-62, 133-137.
14. TAPPI Test Method. **T 266** : determination of sodium, calcium, copper, iron and manganese in pulp and paper by atomic absorption spectroscopy. America : TAPPI Press, 1998.
15. Technical Information Papers, **Corrugated Containers & Packaging**. America : TAPPI Press, 1997. p.TIP 0304-58.
16. The Perkin - Elemer Corporation. Atomic Spectroscopy, **The THGA : Graphite Furnace Techniques and Recommended Conditions**. Germany : Bodenseewerk Perkin-Elmer GmbH, 1991. p.3-3, 7-12, 7-14, 7-41.
17. The Varian Australia Pty Ltd. Flame Atomic Absorption Spectrometry, **Analytical Methods**. 1989. p.5, 17, 46.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ตารางที่ 21. แสดงข้อมูลดิบของการหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม โคโรเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ธาตุ	ความเข้มข้นของธาตุ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
แคดเมียม	0.0	0.000
	0.1	0.042
	0.2	0.081
	0.3	0.119
	0.5	0.188
	0.7	0.252
	1.0	0.340
	1.5	0.464
	2.0	0.563
	3.0	0.713
โคโรเมียม	0.0	0.000
	0.5	0.053
	1.0	0.099
	1.5	0.145
	2.0	0.188
	3.0	0.257
	5.0	0.370
	10.0	0.625
	15.0	0.828
	20.0	1.031
ตะกั่ว	0.0	0.000
	1.0	0.023
	2.0	0.047
	5.0	0.112
	10.0	0.218
	15.0	0.307
	20.0	0.389
	30.0	0.548
	50.0	0.793

ตารางที่ 22. แสดงข้อมูลดิบของการหาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดย เครื่องกราฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

ธาตุ	ความเข้มข้นของธาตุ (ไมโครกรัม/ลิตร)	ค่าพื้นที่ใต้พีค
แคดเมียม	0.0	0.0000
	0.5	0.0360
	1.0	0.0722
	1.5	0.1076
	2.0	0.1446
	3.0	0.2250
	4.0	0.2913
	5.0	0.3457
	6.0	0.4102
	7.0	0.4769
	7.5	0.5061
10.0	0.6533	
โครเมียม	0.0	0.0000
	2.5	0.0414
	5.0	0.0818
	7.5	0.1194
	10.0	0.1579
	15.0	0.2514
	20.0	0.3294
	25.0	0.3991
	30.0	0.4598
	40.0	0.5747
	50.0	0.6818

ตารางที่ 22. (ต่อ)

ธาตุ	ความเข้มข้นของธาตุ (ไมโครกรัม/ลิตร)	ค่าพื้นที่ใต้พีค
ตะกั่ว	0.0	0.0000
	15.0	0.0622
	25.0	0.1032
	35.0	0.1413
	50.0	0.1904
	60.0	0.2217
	70.0	0.2480
	80.0	0.2832
	90.0	0.3075
	100.0	0.3328

ตารางที่ 23. แสดงข้อมูลดิบของการหาความไวของการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่	แคดเมียม		โครเมียม		ตะกั่ว	
	แบลงค์	แคดเมียม 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร	แบลงค์	โครเมียม 2 มิลลิกรัม/ลิตร	แบลงค์	ตะกั่ว 10 มิลลิกรัม/ลิตร
1	-0.001	0.162	-0.001	0.191	-0.001	0.206
2	-0.001	0.161	-0.001	0.191	0.000	0.203
3	-0.001	0.160	-0.001	0.190	0.000	0.201
4	-0.001	0.161	-0.001	0.191	-0.001	0.201
5	-0.001	0.160	-0.001	0.188	-0.001	0.202
เฉลี่ย	-0.001	0.1608	-0.001	0.1902	-0.0002	0.2026
Characteristic concentration (mg/L)	0.01		0.05		0.22	

ตารางที่ 24. แสดงข้อมูลดิบของการหาความไวของการวิเคราะห์แคดเมียม โคโรเนียม และตะกั่ว โดยเครื่องกราฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

ค่าพื้นที่ใต้พีค ครั้งที่	แคดเมียม		โคโรเนียม		ตะกั่ว	
	แบลงค์	แคดเมียม 0.5 ไมโครกรัม/ลิตร	แบลงค์	โคโรเนียม 2 ไมโครกรัม/ลิตร	แบลงค์	ตะกั่ว 10 ไมโครกรัม/ลิตร
1	0.0001	0.1448	0.0035	0.1628	0.0062	0.1643
2	-0.0002	0.1446	0.0019	0.1644	0.0054	0.1669
3	-0.0005	0.1476	0.0017	0.1642	0.0049	0.1666
4	-0.0008	0.1467	0.0008	0.1651	0.0057	0.1667
5	-0.0007	0.1472	0.0012	0.1644	0.0054	0.1628
เฉลี่ย	-0.00042	0.14618	0.00182	0.16418	0.00552	0.16546
Characteristic mass (pg/0.0044 A-s)	1.20		5.42		27.51	

ตารางที่ 25. แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์แคดเมียม โดย เครื่องเฟลทอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่	สารละลายแบลงค์		diff	diff ²
1	0.000	-0.001	0.001	0.000001
2	0.000	0.001	-0.001	0.000001
3	0.000	0.000	0.000	0.000000
4	0.001	0.001	0.000	0.000000
5	0.001	0.003	-0.002	0.000004
6	0.000	0.003	-0.003	0.000009
7	-0.001	0.000	-0.001	0.000001
8	0.000	0.001	-0.001	0.000001
$\Sigma(\text{diff})^2$				0.000017
Standard deviation of blanks, S_b				0.00146
t_b (n=8), ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %				1.86
Criterion of detection, $t_b S_b$				0.002711
Estimating the absorbance				0.0065
Linear regression of calibration curve				$Y = 0.3144 X$
Estimating the concentration, mg/L				0.021

ตารางที่ 26. แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์โครเมียม โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่	สารละลายแบลนด์		diff	diff ²
1	-0.003	-0.001	-0.002	0.000004
2	-0.002	0.000	-0.002	0.000004
3	-0.003	-0.001	-0.002	0.000004
4	-0.003	-0.001	-0.002	0.000004
5	-0.003	-0.001	-0.002	0.000004
6	-0.003	-0.001	-0.002	0.000004
7	-0.003	-0.001	-0.002	0.000004
8	-0.002	0.000	-0.002	0.000004
$\Sigma(\text{diff})^2$				0.000032
Standard deviation of blanks, S_b				0.00200
t_b (n=8), ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %				1.86
Criterion of detection, $t_b S_b$				0.003720
Estimating the absorbance				0.0089
Linear regression of calibration curve				$Y = 0.085 X$
Estimating the concentration, mg/L				0.105

ตารางที่ 27. แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์ตะกั่ว โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ค่าการดูดกลืนแสงครั้งที่	สารละลายแบลนด์		diff	diff ²
1	0.001	-0.002	0.003	0.000009
2	0.000	0.002	-0.002	0.000004
3	0.001	0.002	-0.001	0.000001
4	0.001	-0.003	0.004	0.000016
5	0.001	0.003	-0.002	0.000004
6	0.001	0.000	0.001	0.000001
7	0.002	0.000	0.002	0.000004
8	0.001	0.000	0.001	0.000001
$\Sigma(\text{diff})^2$				0.000040
Standard deviation of blanks, S_b				0.00224
t_b (n=8), ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %				1.86
Criterion of detection, $t_b S_b$				0.004159
Estimating the absorbance				0.010
Linear regression of calibration curve				$Y = 0.0216 X$
Estimating the concentration, mg/L				0.462

ตารางที่ 28. แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์เคเคเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟดมอะตอมมิกแอนเซอร์พีเอ็นสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ค่าการดูดกลืนแสง ครั้งที่	แคดเมียม			โคโรเนียม			ตะกั่ว		
	กระดาษ เหนียว	กระดาษ ทำสุกฟูก	แถบกระดาษ กวางน้ำ	กระดาษ เหนียว	กระดาษ ทำสุกฟูก	แถบกระดาษ กวางน้ำ	กระดาษ เหนียว	กระดาษ ทำสุกฟูก	แถบกระดาษ กวางน้ำ
1	0.007	0.007	0.007	0.018	0.019	0.011	0.011	0.012	0.010
2	0.007	0.008	0.006	0.017	0.017	0.011	0.012	0.010	0.010
3	0.007	0.007	0.006	0.017	0.017	0.011	0.016	0.010	0.009
4	0.005	0.005	0.006	0.019	0.019	0.011	0.016	0.012	0.009
5	0.005	0.004	0.006	0.017	0.018	0.011	0.015	0.011	0.012
6	0.007	0.005	0.004	0.019	0.017	0.011	0.015	0.011	0.009
7	0.007	0.006	0.003	0.018	0.017	0.010	0.015	0.010	0.011
8	0.006	0.005	0.005	0.017	0.018	0.010	0.015	0.010	0.010
Standard deviation, S_d	0.000916	0.001356	0.001302	0.000886	0.000886	0.000463	0.001847	0.000886	0.001069
ค่าการดูดกลืนแสง ที่ขีดจำกัดต่ำสุด	0.0044	0.0053	0.0052	0.0054	0.0054	0.0046	0.0076	0.0058	0.0062
ขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.014	0.017	0.016	0.063	0.063	0.054	0.35	0.27	0.29
ขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์เฉลี่ย (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.016			0.060			0.30		

ตารางที่ 29. แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์แคดเมียม โดยเครื่องกวาดไฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

ค่าพื้นที่ใต้พีคครั้งที่	สารละลายแบลนด์		diff	diff ²
1	0.0026	0.0049	-0.0023	0.00000529
2	0.0019	0.0046	-0.0027	0.00000729
3	0.0022	0.0033	-0.0011	0.00000121
4	0.0018	0.0022	-0.0004	0.00000016
5	0.0030	0.0062	-0.0032	0.00001024
6	0.0021	0.0045	-0.0024	0.00000576
7	0.0024	0.0030	-0.0006	0.00000036
8	0.0029	0.0036	-0.0007	0.00000049
$\Sigma(\text{diff})^2$				0.000031
Standard deviation of blanks, S_b				0.00196
t_b (n=8), ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %				1.86
Criterion of detection, $t_b S_b$				0.003650
Estimating the absorbance				0.0088
Linear regression of calibration curve				$Y = 0.0759 X$
Estimating the concentration, $\mu\text{g/L}$				0.115

ตารางที่ 30. แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์โครเมียม
โดยเครื่องกราฟต์เฟอโนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

ค่าพื้นที่ใต้พีคครั้งที่	สารละลายแบลนด์		diff	diff ²
1	0.0079	0.0060	0.0019	0.0000036
2	0.0075	0.0068	0.0007	0.0000005
3	0.0056	0.0075	-0.0019	0.0000036
4	0.0044	0.0033	0.0011	0.0000012
5	0.0025	0.0027	-0.0001	0.0000000
6	0.0007	0.0008	0.0018	0.0000032
7	0.0034	0.0016	0.0018	0.0000032
8	0.0052	0.0044	0.0008	0.0000006
$\Sigma(\text{diff})^2$				0.000016
Standard deviation of blanks, S_b				0.00142
t_b (n=8), ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %				1.86
Criterion of detection, $t_b S_b$				0.002635
Estimating the absorbance				0.0063
Linear regression of calibration curve				$Y = 0.0155 X$
Estimating the concentration, $\mu\text{g/L}$				0.408

ตารางที่ 31. แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดโดยประมาณของการวิเคราะห์ตะกั่ว โดยเครื่องกราฟต์เฟอไนซอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรมิเตอร์

ค่าพื้นที่ใต้พีคครั้งที่	สารละลายแบลนด์		diff	diff ²
1	0.0126	0.0087	0.004	0.000015
2	0.0171	0.0265	-0.009	0.000088
3	0.0116	0.0143	-0.003	0.000007
4	0.0117	0.0123	-0.001	0.000000
5	0.0087	0.0092	-0.001	0.000000
6	0.0066	0.0094	-0.003	0.000008
7	0.0128	0.0341	-0.021	0.000454
8	0.0242	0.0215	0.003	0.000007
$\Sigma(\text{diff})^2$				0.000580
Standard deviation of blanks, S_b				0.00852
t_b (n=8), ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %				1.86
Criterion of detection, $t_b S_b$				0.015841
Estimating the absorbance				0.038
Linear regression of calibration curve				$Y = 0.0037 X$
Estimating the concentration, $\mu\text{g/L}$				10.275

ตารางที่ 32. แสดงข้อมูลดิบของการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์เคดเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องกราไฟต์เพอซิวิตอมมิคแอนาไลเซอร์พหุประสงค์

ค่าการดูดกลืนแสง ครั้งที่	เคดเมียม			โครเมียม			ตะกั่ว		
	กระดาศ เหนียว	กระดาศ ทำลูปุก	แถบกระดาศ กาวน้ำ	กระดาศ เหนียว	กระดาศ ทำลูปุก	แถบกระดาศ กาวน้ำ	กระดาศ เหนียว	กระดาศ ทำลูปุก	แถบกระดาศ กาวน้ำ
1	0.0201	0.0146	0.0107	0.0201	0.0119	0.0063	0.0417	0.0648	0.0502
2	0.0170	0.0113	0.0104	0.0175	0.0150	0.0056	0.0417	0.0556	0.0546
3	0.0171	0.0095	0.0110	0.0166	0.0133	0.0051	0.0406	0.0511	0.0478
4	0.0173	0.0086	0.0099	0.0178	0.0098	0.0055	0.0401	0.0578	0.0492
5	0.0173	0.0093	0.0112	0.0173	0.0099	0.0052	0.0404	0.0533	0.0509
6	0.0171	0.0090	0.0104	0.0169	0.0102	0.0045	0.0449	0.0603	0.0463
7	0.0269	0.0101	0.0096	0.0173	0.0121	0.0053	0.0424	0.0631	0.0468
8	0.0175	0.0096	0.0102	0.0163	0.0104	0.0057	0.0416	0.0535	0.0537
Standard deviation, S_d	0.003433	0.001935	0.000537	0.001167	0.001864	0.000521	0.001521	0.004939	0.003049
ค่าการดูดกลืนแสง ที่ขีดจำกัดต่ำสุด	0.0101	0.0073	0.0047	0.0048	0.0062	0.0036	0.0187	0.0252	0.0216
ขีดจำกัดต่ำสุดของวิธี วิเคราะห์ (ไม่โครรมลิตร)	0.13	0.10	0.06	0.31	0.40	0.23	5.06	6.80	5.84
ขีดจำกัดต่ำสุดของวิธี วิเคราะห์เฉลี่ย (ไม่โครรมลิตร)		0.10			0.31			5.90	

ตารางที่ 33. แสดงการหาค่าความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยเครื่องเฟลตอมมิทแบบกราฟฟิคสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราฟไฟด์เฟลตอมมิทแบบกราฟฟิคสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS)

ครั้งที่	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)		ความเข้มข้นของโครเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)		ความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	FAAS	GFAAS	FAAS	GFAAS	FAAS	GFAAS
1	0.098	0.099	0.48	0.505	1.01	0.998
2	0.101	0.098	0.49	0.499	0.95	0.992
3	0.102	0.101	0.48	0.515	0.96	0.989
4	0.090	0.101	0.50	0.505	0.96	0.993
5	0.094	0.102	0.51	0.488	0.95	1.006
6	0.099	0.102	0.49	0.500	1.01	0.997
7	0.103	0.097	0.47	0.491	0.99	1.022
\bar{X}	0.0979	0.1001	0.493	0.5005	0.979	0.9995
SD	0.0047	0.0019	0.0135	0.0092	0.0270	0.0113
SD ²	0.0000218	0.00000379	0.000181	0.0000837	0.000729	0.00013
S ² _{pooled}	0.0000128		0.000132		0.000428	
S _{pooled}	0.00358		0.0115		0.0207	
F	5.76		2.16		5.74	
T	1.16		1.23		1.89	

ตารางที่ 34 แสดงการหาค่าความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์แคดเมียมในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาดาบรจุทีป ระหว่างการวิเคราะห์โดยเครื่องฟลูออโรเมตริกแบบอะตอมิกแอมป์ซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตริก (FAAS) กับเครื่องกราฟิไตเฟอไนซอะตอมิกแอมป์ซอร์พชันสเปกโทรเมตริก (GFAAS)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์แคดเมียม										F	t					
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS											
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)			ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	Spooled	Spooled ²
K1 (TO.358)	5.0045	0.014	0.140				0.5006	1	1.463	0.146		0.0200	0.000402	0.0156	0.00024	4.82	0.34
	5.0592	0.016	0.158	0.149	0.0091	0.00008	0.4999	1	1.761	0.176	0.153						
	5.0207	0.015	0.149				0.5000	1	1.381	0.138							
K2 (TP.381)	5.1411	0.010	0.097	0.128			0.5038	1	0.877	0.087	0.088	0.0007	0.000001	-	-	-	-
	5.0890	0.012	0.118	(< DL)	-	-	0.5078	1	0.889	0.088	0.097	0.0015	0.000002	-	-	-	-
	5.0394	0.017	0.169				0.5025	1	0.889	0.088							
K3 (TZ.208)	5.0641	0.011	0.109	0.079			0.5059	1	0.988	0.098							
	5.0820	0.005	0.049	(< DL)	-	-	0.5084	1	1.002	0.099	0.097	0.0025	0.000006	-	-	-	-
	5.0874	0.008	0.079				0.5098	1	0.974	0.096							
K4 (UJ.967)	4.9998	0.005	0.050	0.073			0.4995	1	0.783	0.078							
	5.0004	0.009	0.090	(< DL)	-	-	0.5013	1	0.765	0.076	0.076	0.0025	0.000006	-	-	-	-
	5.0006	0.008	0.080				0.5001	1	0.734	0.073							
K5 (UJ.238)	5.0013	0.006	0.060	0.053			0.5006	1	0.625	0.062							
	5.0013	0.006	0.060	(< DL)	-	-	0.5005	1	0.740	0.074	0.067	0.0060	0.000037	-	-	-	-
	5.0006	0.004	0.040				0.5006	1	0.650	0.065							
K6 (UJ.628)	5.0013	0.009	0.090	0.083			0.4999	1	0.947	0.095							
	5.0009	0.008	0.080	(< DL)	-	-	0.5012	1	0.916	0.091	0.093	0.0019	0.000004	-	-	-	-
	4.9999	0.008	0.080				0.5004	1	0.915	0.091							

ตารางที่ 34. (ต่อ)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์แคดเมียม											Spooled	Spooled ²	F	t			
	วิเคราะห์โดย FAAS						วิเคราะห์โดย GFAAS											
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เจือย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เจือย (mg/L)					SD	SD ²	
K 7 (U.L.434)	5.0204	0.002	0.020	0.046			0.5107	1	0.734	0.072								
	5.0290	0.007	0.070	(< DL)	-		0.5080	1	0.754	0.074	0.073	0.0014	0.000002					
	5.0407	0.005	0.050				0.5060	1	0.751	0.074								
K 8 (U.N.733)	5.0011	0.014	0.140				0.5010	1	1.433	0.143								
	5.0005	0.015	0.150	0.143	0.0058	0.00003	0.4998	1	1.384	0.138	0.144	0.0065	0.000043			0.00004	1.28	0.20
	5.0006	0.014	0.140				0.4995	1	1.512	0.151								
K 9 (U.P.463)	5.0126	0.038	0.379				0.5005	4	1.009	0.403								
	5.0156	0.041	0.409	0.392	0.0151	0.00023	0.5001	4	0.951	0.380	0.395	0.0126	0.000159			0.00019	1.44	0.22
	5.0132	0.039	0.389				0.5004	4	1.003	0.401								
K 10 (U.Q.585)	5.0033	0.017	0.170				0.5003	1	1.792	0.179								
	5.0087	0.018	0.180	0.176	0.0056	0.00003	0.5031	1	1.805	0.179	0.182	0.0049	0.000024			0.00003	1.34	1.32
	5.0105	0.018	0.180				0.5006	1	1.879	0.188								
C 1 (U.H.373)	5.0579	0.005	0.049	0.056			0.5000	1	1.417	0.142								
	5.0168	0.006	0.060	(< DL)	-		0.5002	1	1.261	0.126	0.133	0.0080	0.000064					
	5.0689	0.006	0.059				0.4997	1	1.308	0.131								
C 2 (T.O.359)	5.0079	0.006	0.060	0.053			0.5133	1	1.649	0.161								
	5.0694	0.004	0.039	(< DL)	-		0.5156	1	1.638	0.159	0.150	0.0167	0.000279					
	5.0117	0.006	0.060				0.5170	1	1.353	0.131								

ตารางที่ 34. (ต่อ)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์แคดเมียม										Spooled	Spooled ²	F	t			
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS											
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้ลบเบลนด์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เจือย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้ลบเบลนด์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)					ปริมาณ เจือย (mg/L)	SD	SD ²
C 3 (TP.383)	4.9998	0.010	0.100	0.087			0.5005	1	0.820	0.082							
	4.9998	0.008	0.080	(< DL)	-	-	0.5007	1	0.675	0.067	0.079	0.0110	0.000121	-	-	-	-
	5.0003	0.008	0.080				0.5004	1	0.890	0.089							
C 4 (TV.227)	5.1172	0.006	0.059	0.079			0.5093	1	0.929	0.091							
	5.0008	0.006	0.060	(< DL)	-	-	0.5032	1	1.173	0.117	0.106	0.0131	0.000172	-	-	-	-
	5.0505	0.012	0.119				0.5143	1	1.129	0.110							
C 5 (UI.968)	5.0010	0.008	0.080	0.083			0.5011	1	0.769	0.077							
	5.0013	0.011	0.110	(< DL)	-	-	0.5007	1	0.801	0.080	0.078	0.0016	0.000003	-	-	-	-
	5.0007	0.006	0.060				0.5000	1	0.785	0.079							
C 6 (UJ.629)	5.0009	0.005	0.050	0.050			0.4996	1	0.831	0.083							
	5.0004	0.004	0.040	(< DL)	-	-	0.5008	1	0.618	0.062	0.069	0.0127	0.000162	-	-	-	-
	5.0005	0.006	0.060				0.4998	1	0.606	0.061							
C 7 (UL.433)	5.0605	0.012	0.119	0.096			0.5177	1	0.606	0.059							
	5.0312	0.008	0.080	(< DL)	-	-	0.5082	1	0.527	0.052	0.056	0.0034	0.000012	-	-	-	-
	5.0382	0.009	0.089				0.5009	1	0.566	0.057							
C 8 (UN.736)	5.0002	0.003	0.030	0.030			0.5000	1	0.674	0.067							
	5.0004	0.002	0.020	(< DL)	-	-	0.5001	1	0.815	0.082	0.074	0.0071	0.000051	-	-	-	-
	5.0007	0.004	0.040				0.4997	1	0.724	0.072							

ตารางที่ 34. (ต่อ)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์แคดเมียม										Spooled	Spooled ²	F	t									
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS																	
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้ลบแบลนด์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้ลบแบลนด์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)					ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²						
C 9 (UP-459)	5.0008	0.049	0.490				0.4998	4	1.190	0.476													
	5.0004	0.047	0.470	0.480	0.0100	0.00010	0.5005	4	1.198	0.479	0.479	0.0023	0.000005			0.00005				19.49	0.25		
	5.0009	0.048	0.480				0.5005	4	1.203	0.481													
C-10 (-)	5.0014	0.008	0.080	0.070			0.5009	1	0.793	0.079													
	5.0007	0.006	0.060	(< DL)	-	-	0.5008	1	0.763	0.076	0.079	0.0032	0.000010										
	5.0002	0.007	0.070				0.5009	1	0.828	0.083													
G1 (-)	5.0910	0.020	0.196				0.5005	1	1.939	0.194													
	5.1085	0.020	0.196	0.191	0.0094	0.00009	0.5007	1	1.890	0.189	0.192	0.0027	0.000007			0.00005					11.85	0.22	
	5.0043	0.018	0.180				0.5001	1	1.932	0.193													
G2 (-)	5.0578	0.004	0.039	0.049			0.5300	1	1.090	0.103													
	5.2876	0.005	0.047	(< DL)	-	-	0.5373	1	1.042	0.097	0.100	0.0030	0.000009										
	5.0178	0.006	0.060				0.5026	1	0.998	0.099													
G3 (-)	5.1197	0.032	0.313				0.5121	2	1.536	0.300													
	5.0133	0.030	0.299	0.296	0.0179	0.00032	0.5044	2	1.465	0.290	0.300	0.0101	0.000102			0.00021					3.15	0.34	
	5.0533	0.028	0.277				0.5035	2	1.564	0.311													
G4 (-)	5.0008	0.040	0.400				0.5001	4	1.006	0.402													
	4.9998	0.039	0.390	0.397	0.0057	0.00003	0.4998	4	0.997	0.399	0.402	0.0025	0.000006			0.00043					5.29	1.40	
	5.0001	0.040	0.400				0.5002	4	1.010	0.404													

ตารางที่ 34. (ต่อ)

ตัวอย่าง (หมายเลข) ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์แคดเมียม										Spooled	Spooled ²	F	t	
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS									
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้ลบเบลนด์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้ลบเบลนด์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)					SD
G 5	5.0006	0.010	0.100	0.123	-	-	0.5003	1.257	0.126	0.0274	0.000752	-	-	-	-
(-)	5.0012	0.015	0.150	(< DL)	-	-	0.5004	1.179	0.118	0.137	0.000752	-	-	-	-
	4.9999	0.012	0.120				0.5005	1.689	0.169						
G 6	5.0007	0.048	0.480				0.5003	1.075	0.430						
(-)	5.0002	0.048	0.480	0.490	0.0172	0.00030	0.5007	1.234	0.493	0.472	0.0365	0.001332	0.0285	0.00082	4.48
	5.0018	0.051	0.510				0.5006	1.234	0.493						
G 7	5.0011	0.050	0.500				0.4999	1.174	0.470						
(-)	5.0012	0.049	0.490	0.480	0.0264	0.00070	0.5007	1.073	0.429	0.467	0.0367	0.001346	0.0320	0.00102	1.93
	5.0001	0.045	0.450				0.4998	1.254	0.502						
G 8	5.0009	0.009	0.090	0.060			0.4998	0.888	0.089						
(-)	5.0000	0.004	0.040	(< DL)	0.0264	0.00070	0.4998	0.877	0.088	0.088	0.0008	0.000001	-	-	-
	5.0002	0.005	0.050				0.4998	0.872	0.087						
G 9	5.0005	0.005	0.050	0.040			0.4999	0.334	0.033						
(-)	5.0005	0.003	0.030	(< DL)	-	-	0.5005	0.309	0.031	0.031	0.0017	0.000003	-	-	-
	5.0004	0.004	0.040				0.4999	0.301	0.030						
G 10	5.0009	0.006	0.060	0.047			0.5000	0.761	0.076						
(-)	5.0005	0.005	0.050	(< DL)	-	-	0.5004	0.776	0.078	0.082	0.0084	0.000070	-	-	-
	5.0006	0.003	0.030				0.5006	0.915	0.091						

ตารางที่ 35. แสดงการหาค่าความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์โครเมียมในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ ระหว่างการวิเคราะห์โดยเครื่องเฟลตอสมิกแอมป์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราไฟต์เฟอไนซอสมิกแอมป์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (GFAAS)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์โครเมียม										Spooled	Spooled ²	F	t			
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS											
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)					ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²
K 1 (TO.358)	5.0045	0.36	3.597				0.5006	4	11.81	4.717							
	5.0592	0.35	3.459	3.647	0.2168	0.04699	0.4999	4	11.77	4.707	4.575	0.2366	0.055957	0.2289	0.05147	1.19	5.01
	5.0207	0.39	3.884				0.5000	4	10.76	4.302							
K 2 (TP.381)	5.1411	0.36	3.501				0.5038	4	12.65	5.020							
	5.0890	0.38	3.734	3.635	0.1202	0.01446	0.5078	4	12.81	5.044	5.020	0.0232	0.000536	0.0866	0.00750	26.97	19.59
	5.0394	0.37	3.671				0.5025	4	12.56	4.997							
K 3 (TZ.208)	5.0641	0.23	2.271				0.5059	4	6.832	2.701							
	5.0820	0.24	2.361	2.298	0.0554	0.00307	0.5084	4	7.475	2.940	2.866	0.1430	0.020462	0.1085	0.01177	6.66	6.41
	5.0874	0.23	2.260				0.5098	4	7.535	2.956							
K 4 (UJ.967)	4.9998	0.22	2.200				0.4995	4	8.157	3.266							
	5.0004	0.21	2.100	2.167	0.0578	0.00334	0.5013	4	6.933	2.766	3.021	0.2502	0.062589	0.1816	0.03296	18.75	5.76
	5.0006	0.22	2.200				0.5001	4	7.579	3.031							
K 5 (UJ.238)	5.0013	0.28	2.799				0.5006	4	9.307	3.718							
	5.0013	0.27	2.699	2.833	0.1529	0.02339	0.5005	4	9.666	3.862	3.730	0.1263	0.015947	0.1402	0.01967	1.47	7.84
	5.0006	0.30	3.000				0.5006	4	9.038	3.611							
K 6 (UJ.628)	5.0013	0.29	2.899				0.4999	4	10.04	4.015							
	5.0009	0.30	2.999	3.000	0.1004	0.01008	0.5012	4	10.10	4.029	3.984	0.0666	0.004431	0.0852	0.00726	2.28	14.15
	4.9999	0.31	3.100				0.5004	4	9.776	3.907							

ตารางที่ 35. (ต่อ)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์โครเมียม										Spooled	Spooled ²	F	t					
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS													
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้ลบแบลด์ค์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้ลบแบลด์ค์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)					ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²		
K 7 (UL.434)	5.0204	0.27	2.689				0.5107	4	9.776	3.828									
	5.0290	0.26	2.585	2.750	0.2024	0.04096	0.5080	4	9.011	3.548	3.676	0.1419	0.020146		0.1748		2.03	6.49	
	5.0407	0.30	2.976				0.5060	4	9.240	3.652									
K 8 (UN.733)	5.0011	0.28	2.799				0.5010	4	9.322	3.721									
	5.0005	0.26	2.600	2.800	0.2000	0.03998	0.4998	4	9.249	3.701	3.775	0.1108	0.012274		0.1616		3.26	7.39	
	5.0006	0.30	3.000				0.4995	4	9.746	3.902									
K 9 (UP.463)	5.0126	0.33	3.292				0.5005	4	10.93	4.366									
	5.0156	0.32	3.190	3.158	0.1524	0.02321	0.5001	4	10.69	4.273	4.343	0.0618	0.003824		0.1163		6.07	12.49	
	5.0132	0.30	2.992				0.5004	4	10.99	4.391									
K 10 (UQ.585)	5.0033	0.31	3.098				0.5003	4	10.97	4.360									
	5.0087	0.32	3.194	3.162	0.0554	0.00307	0.5031	4	10.94	4.347	4.348	0.0113	0.000128		0.03997		23.97	36.35	
	5.0105	0.32	3.193				0.5006	4	10.86	4.337									
C 1 (UH.373)	5.0579	0.25	2.471				0.5000	4	6.721	2.688									
	5.0168	0.23	2.292	2.278	0.2003	0.04013	0.5002	4	6.674	2.669	2.481	0.3417	0.116768		0.2801		2.91	0.89	
	5.0689	0.21	2.071				0.4997	4	5.214	2.087									
C 2 (TO.359)	5.0079	0.63	6.290				0.5133	4	14.82	5.773									
	5.0694	0.58	5.721	6.065	0.3031	0.09190	0.5156	4	15.39	5.968	5.892	0.1049	0.010994		0.2268		8.36	0.93	
	5.0117	0.62	6.186				0.5170	4	15.35	5.936									

ตารางที่ 35. (ต่อ)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์โครเมียม										Spooled	Spooled ²	F	t							
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS															
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)					ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²				
C 3 (TP.383)	4.9998	0.34	3.400				0.5005	4	9.573	3.825											
	4.9998	0.40	4.000	3.600	0.3465	0.12008	0.5007	4	7.918	3.163	3.672	0.4522	0.204494							1.70	0.22
	5.0003	0.34	3.400				0.5004	4	10.08	4.027											
C 4 (TV.227)	5.1172	0.58	5.667	5.438	0.3390	0.11489	0.5093	4	14.66	5.755	5.654	0.1378	0.018992							6.05	1.02
	5.0008	0.56	5.599				0.5032	4	14.37	5.710											
	5.0505	0.51	5.049				0.5143	4	14.14	5.497											
C 5 (UJ.968)	5.0010	0.35	3.499				0.5011	4	8.927	3.563										2.73	1.95
	5.0013	0.36	3.599	3.533	0.0575	0.00331	0.5007	4	9.396	3.753	3.658	0.0951	0.009043								
	5.0007	0.35	3.500				0.5000	4	9.146	3.658											
C 6 (UJ.629)	5.0009	0.33	3.299	3.466	0.2083	0.04339	0.4996	4	8.832	3.535	3.511	0.0476	0.002262							19.18	0.36
	5.0004	0.37	3.700				0.5008	4	8.869	3.542											
	5.0005	0.34	3.400				0.4998	4	8.638	3.456											
C 7 (UL.433)	5.0605	0.30	2.964				0.5177	4	8.529	3.295	3.184	0.1013	0.010252							2.52	0.41
	5.0312	0.33	3.280	3.140	0.1607	0.02584	0.5082	4	7.867	3.096	3.502	0.2027	0.041100								
	5.0382	0.32	3.176				0.5009	4	7.921	3.163											
C 8 (UN.736)	5.0002	0.37	3.700	3.800	0.0998	0.00996	0.5000	4	9.264	3.705	3.502	0.2027	0.041100							4.13	2.28
	5.0004	0.38	3.800				0.5001	4	8.252	3.300											
	5.0007	0.39	3.899				0.4997	4	8.750	3.502											

ตารางที่ 35. (ต่อ)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์โครเมียม										F	t					
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS											
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)			ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²		
C 9 (UP.459)	5.0008	0.52	5.199	5.133	0.1152	0.01327	0.4998	4	11.40	4.560	4.833	0.2898	0.083984	0.2205	0.04863	6.33	1.66
	5.0004	0.50	5.000				0.5005	4	12.02	4.801							
	5.0009	0.52	5.199				0.5005	4	12.86	5.137							
C 10 (-)	5.0014	0.32	3.199				0.5009	4	7.944	3.172							
	5.0007	0.33	3.300	3.300	0.1004	0.01008	0.5008	4	8.596	3.433	3.327	0.1371	0.018795	0.12015	0.01444	1.87	0.28
	5.0002	0.34	3.400				0.5009	4	8.453	3.375							
G 1 (-)	5.0910	0.12	1.179				0.5005	4	4.792	1.915							
	5.1085	0.12	1.175	1.151	0.0448	0.00200	0.5007	4	4.177	1.668	1.770	0.1286	0.016530	0.0963	0.00927	8.24	7.88
	5.0043	0.11	1.099				0.5001	4	4.321	1.728							
G 2 (-)	5.0678	0.31	3.059				0.5300	4	10.35	3.904							
	5.2876	0.33	3.121	3.056	0.0656	0.00430	0.5373	4	10.01	3.724	3.816	0.0898	0.008070	0.0787	0.00619	1.87	11.83
	5.0178	0.30	2.989				0.5026	4	9.596	3.818							
G 3 (-)	5.1197	0.41	4.004				0.5121	4	13.80	5.388							
	5.0133	0.38	3.790	3.917	0.1127	0.01270	0.5044	4	13.53	5.363	5.463	0.1525	0.023266	0.1341	0.01798	1.83	14.12
	5.0533	0.40	3.958				0.5035	4	14.20	5.639							
G 4 (-)	5.0008	0.30	3.000				0.5001	4	8.840	3.535							
	4.9998	0.29	2.900	3.000	0.0999	0.00998	0.4998	4	8.876	3.552	3.559	0.0275	0.000756	0.0733	0.00537	13.21	9.34
	5.0001	0.31	3.100				0.5002	4	8.976	3.589							

ตารางที่ 35. (ต่อ)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์โครเมียม										F	t		
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS								
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบเบงค์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบเบงค์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)			ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD
G 5	5.0006	0.66	6.599				0.5003	4	22.39	8.949				
(-)	5.0012	0.65	6.498	6.699	0.2654	0.07043	0.5004	4	21.83	8.723	8.657	0.3305	0.109251	0.2997
	4.9999	0.70	7.000				0.5005	4	20.77	8.298				0.08984
G 6	5.0007	0.22	2.200				0.5003	4	8.107	3.241				
(-)	5.0002	0.23	2.300	2.233	0.0580	0.00336	0.5007	4	7.400	2.956	3.201	0.2286	0.052246	0.1668
	5.0018	0.22	2.199				0.5006	4	8.530	3.408				0.02780
G 7	5.0011	0.28	2.799				0.4999	4	8.998	3.600				
(-)	5.0012	0.27	2.699	2.800	0.1003	0.01006	0.5007	4	9.596	3.833	3.840	0.2441	0.059604	0.1866
	5.0001	0.29	2.900				0.4998	4	10.22	4.088				0.03483
G 8	5.0009	0.35	3.499				0.4998	4	10.77	4.308				
(-)	5.0000	0.36	3.600	3.566	0.0581	0.00337	0.4998	4	10.73	4.292	4.393	0.1619	0.026218	0.1216
	5.0002	0.36	3.600				0.4998	4	11.45	4.580				0.01479
G 9	5.0005	0.02	0.200	0.267			0.4999	1	2.860	0.286				
(-)	5.0005	0.03	0.300	(< DL)			0.5005	1	2.481	0.248	0.262	0.0212	-	-
	5.0004	0.03	0.300				0.4999	1	2.511	0.251				
G 10	5.0009	0.21	2.100				0.5000	4	6.813	2.725				
(-)	5.0005	0.22	2.200	2.166	0.0578	0.00334	0.5004	4	6.941	2.774	2.761	0.0312	0.000971	0.04644
	5.0006	0.22	2.200				0.5006	4	6.966	2.783				0.00216

ตารางที่ 36. แสดงการหาค่าความแม่นยำ และความถูกต้องของการวิเคราะห์ตะกั่วในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กักกระดาศบรรจุหีบห่อ ระหว่างการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องฟลูออโรมิเตอร์
 มิกแอลบอร์ชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราไฟต์ฟอยนิชอะตอมมิคแอลบอร์ชันสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์ตะกั่ว										Spooled	Spooled ²	F	I				
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS												
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้ลบเบงค์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เจดีย์ (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้ลบเบงค์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)					ปริมาณ เจดีย์ (mg/L)	SD	SD ²	
K 1 (TO.358)	5.0045	1.16	11.590				0.5006	4	35.67	14.252								
	5.0592	1.12	11.069	11.536	0.4432	0.19642	0.4999	4	37.59	15.040	14.584	0.4083	0.166682	0.4261	0.18155	1.18	8.76	
	5.0207	1.20	11.951				0.5000	4	36.15	14.461								
K 2 (TP.381)	5.1411	1.71	16.631				0.5038	4	46.53	18.473								
	5.0890	1.71	16.801	16.700	0.0894	0.00799	0.5078	4	47.81	18.831	18.701	0.1984	0.039364	0.1539	0.02368	4.93	15.93	
	5.0394	1.66	16.669				0.5025	4	47.23	18.799								
K 3 (TZ.208)	5.0641	1.04	10.268				0.5059	4	32.44	12.826								
	5.0820	1.08	10.626	10.601	0.3212	0.10316	0.5084	4	32.87	12.932	12.733	0.2581	0.066630	0.2914	0.08489	1.55	8.96	
	5.0874	1.11	10.909				0.5098	4	31.71	12.441								
K 4 (UI.967)	4.9998	0.69	6.900				0.4995	4	21.92	8.778								
	5.0004	0.63	6.299	6.600	0.3004	0.09023	0.5013	4	20.26	8.084	8.275	0.4395	0.193182	0.3764	0.14171	2.14	5.45	
	5.0006	0.66	6.599				0.5001	4	19.91	7.963								
K 5 (UJ.238)	5.0013	0.91	9.098				0.5006	4	30.60	12.226								
	5.0013	1.10	10.997	10.364	1.0971	1.20368	0.5005	4	32.81	13.112	13.273	1.1352	1.288710	1.1163	1.24620	1.07	3.19	
	5.0006	1.10	10.999				0.5006	4	36.24	14.480								
K 6 (UJ.628)	5.0013	1.24	12.397				0.4999	4	34.31	13.728								
	5.0009	1.10	10.998	11.732	0.7019	0.49266	0.5012	4	37.93	15.137	14.281	0.7517	0.565092	0.7272	0.52887	1.15	4.29	
	4.9999	1.18	11.800				0.5004	4	34.97	13.978								

ตารางที่ 36. (ต่อ)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์ตะกั่ว										Spooled	Spooled ²	F	t			
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS											
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบเบงด์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบเบงด์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)					SD	SD ²	
C 3 (TP.383)	4.9998	0.56	5.600			0.5005	4	15.09	6.031								
	4.9998	0.61	6.100	0.2517	0.06336	0.5007	4	16.58	6.624	6.393	0.3173	0.100702	0.2864	0.08203	1.59	2.39	
	5.0003	0.58	5.800			0.5004	4	16.32	6.524								
C 4 (TV.227)	5.1172	1.54	15.047			0.5093	4	40.63	15.956								
	5.0008	1.47	14.698	0.2021	0.04084	0.5032	4	38.61	15.347	15.727	0.3318	0.110085	0.2747	0.07546	2.70	3.55	
	5.0505	1.52	15.048			0.5143	4	40.83	15.879								
C 5 (UJ.966)	5.0010	1.05	10.498			0.5011	4	28.31	11.300								
	5.0013	1.09	10.897	0.4003	0.16021	0.5007	4	30.04	12.000	11.267	0.7501	0.562718	0.6012	0.36146	3.51	0.75	
	5.0007	1.13	11.298			0.5000	4	26.25	10.501								
C 6 (UJ.629)	5.0009	0.94	9.398			0.4996	4	25.87	10.367								
	5.0004	1.05	10.499	0.7769	0.60357	0.5008	4	23.82	9.514	9.816	0.4699	0.220765	0.6420	0.41217	2.73	0.35	
	5.0005	0.90	8.999			0.4998	4	23.93	9.577								
C 7 (UL.433)	5.0605	1.15	11.363			0.5177	4	32.00	12.363								
	5.0312	1.19	11.826	0.2544	0.06474	0.5082	4	31.41	12.362	12.407	0.0760	0.005783	0.1878	0.03526	11.20	5.69	
	5.0382	1.15	11.413			0.5009	4	31.29	12.494								
C 8 (UN.736)	5.0002	1.24	12.400			0.5000	4	26.29	10.517								
	5.0004	1.12	11.199	0.6030	0.36364	0.5001	4	37.39	14.954	12.698	2.2194	4.925865	1.6263	2.64475	13.55	0.70	
	5.0007	1.17	11.698			0.4997	4	31.54	12.625								

ตารางที่ 36. (ต่อ)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์ตะกั่ว										Spooled	Spooled ²	F	t				
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS												
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)					ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	
C 9 (UP.459)	5.0008	1.87	18.697				0.4998	4	48.68	19.481								
	5.0004	1.86	18.599	18.731	0.1519	0.02307	0.5005	4	48.62	19.430	19.427	0.0556	0.003096	0.1144	0.01308	7.45	7.45	
	5.0009	1.89	18.897				0.5005	4	48.47	19.370								
C 10 (-)	5.0014	0.64	6.398				0.5009	4	17.43	6.960								
	5.0007	0.62	6.199	6.166	0.2509	0.06295	0.5008	4	16.38	6.542	6.793	0.2211	0.048887	0.2365	0.05592	1.29	3.25	
	5.0002	0.59	5.900				0.5009	4	17.22	6.877								
G 1 (-)	5.0910	0.33	3.241				0.5005	4	8.652	3.457								
	5.1085	0.34	3.328	3.355	0.1302	0.01695	0.5007	4	9.852	3.935	3.796	0.2950	0.087045	0.2280	0.05200	5.14	2.37	
	5.0043	0.35	3.497				0.5001	4	9.992	3.996								
G 2 (-)	5.0678	1.38	13.615				0.5300	4	41.81	15.778								
	5.2876	1.49	14.090	13.520	0.6232	0.38837	0.5373	4	39.96	14.875	15.991	1.2356	1.526720	0.9785	0.95754	3.93	3.09	
	5.0178	1.29	12.854				0.5026	4	43.52	17.319								
G 3 (-)	5.1197	1.50	14.649				0.5121	4	47.40	18.513								
	5.0133	1.49	14.860	14.916	0.2980	0.08881	0.5044	4	43.29	17.166	18.332	1.0872	1.18210	0.79716	0.63546	13.31	5.25	
	5.0633	1.54	15.238				0.5035	4	48.63	19.318								
G 4 (-)	5.0008	0.99	9.898				0.5001	4	31.34	12.534								
	4.9998	1.02	10.200	10.033	0.1537	0.02362	0.4998	4	30.39	12.162	11.998	0.6351	0.403402	0.4621	0.21351	17.08	5.21	
	5.0001	1.00	10.000				0.5002	4	28.25	11.296								

ตารางที่ 36. (ต่อ)

ตัวอย่าง (หมายเลข ปฏิบัติ การ)	การวิเคราะห์ตะกั่ว										Spooled	Spooled ²	F	t				
	วิเคราะห์โดย FAAS					วิเคราะห์โดย GFAAS												
	น้ำหนัก (g/50mL)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (mg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)	ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	น้ำหนัก (g/50mL)	Dilution (times)	ความเข้มข้น ที่วัดได้แบบลงค์ (µg/L)	ปริมาณ ธาตุ (mg/L)					ปริมาณ เฉลี่ย (mg/L)	SD	SD ²	
G5	5.0006	1.61	16.098				0.5003	4	49.57	19.817								
(-)	5.0012	1.66	16.596	16.531	0.4050	0.16403	0.5004	4	48.84	19.521	19.419	0.4582	0.209946		0.4324	0.18699	1.28	8.18
	4.9999	1.69	16.900				0.5005	4	47.34	18.918								
G6	5.0007	0.50	4.999				0.5003	4	12.86	5.142								
(-)	5.0002	0.41	4.100	4.632	0.4721	0.22288	0.5007	4	14.91	5.957	5.451	0.4415	0.194881		0.4570	0.20888	1.14	2.19
	5.0018	0.48	4.798				0.5006	4	13.15	5.255								
G7	5.0011	0.85	8.498				0.4999	4	24.56	9.827								
(-)	5.0012	0.89	8.898	8.632	0.2303	0.05304	0.5007	4	27.71	11.069	10.467	0.6221	0.387057		0.4691	0.22005	7.30	4.79
	5.0001	0.85	8.500				0.4998	4	26.25	10.505								
G8	5.0009	1.19	11.898				0.4998	4	37.14	14.863								
(-)	5.0000	1.12	11.200	11.766	0.5127	0.26284	0.4998	4	33.63	13.458	14.168	0.7024	0.493360		0.6149	0.37810	1.88	4.78
	5.0002	1.22	12.200				0.4998	4	35.44	14.183								
G9	5.0005	0.00	0.000	0.200			0.4999	4	0.813	0.325								
(-)	5.0005	0.01	0.100	(< DL)	-	-	0.5005	4	0.287	0.115	0.302	0.1763	0.031081		-	-	-	-
	5.0004	0.05	0.500				0.4999	4	1.162	0.465								
G10	5.0009	0.37	3.699	3.766	0.0579	0.00335	0.5000	4	10.89	4.357								
(-)	5.0005	0.38	3.800	3.766	0.0579	0.00335	0.5004	4	11.90	4.757	4.574	0.2022	0.040885		0.1487	0.02212	12.20	6.65
	5.0006	0.38	3.800				0.5006	4	11.53	4.607								

ตารางที่ 3.7 แสดงข้อมูลดิบของการหา % recovery ในการวิเคราะห์แคดเมียม ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยเครื่องเฟลมอะตอมมิคแอมป์ขึ้นสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราฟไฟต์เพื่อวิเคราะห์ขึ้นสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS)

ตัวอย่าง	การวิเคราะห์โดย FAAS											การวิเคราะห์โดย GFAAS								
	ความเข้มข้นของแคดเมียมที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)											ความเข้มข้นของแคดเมียมที่วัดได้ (ไมโครกรัม/ลิตร)								
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	เฉลี่ย	% recovery	Dilution	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	เฉลี่ย	% recovery	
กระดาษเหนียว																				
- สารตัวอย่าง	0.007	0.006	0.008	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	97.30	1	1.493	1.793	1.413	1.531	1.296	1.231	1.676	1.491	96.93	
- สารตัวอย่างที่เติม																				
สารละลายมาตรฐาน	0.102	0.105	0.103	0.102	0.104	0.106	0.104	0.104		1	3.198	3.466	3.612	3.129	3.522	3.315	3.763	3.429		
กระดาษทำสุก																				
- สารตัวอย่าง	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.004	0.005	99.14	1	1.449	1.292	1.341	1.150	1.138	1.144	1.224	1.248	99.09	
- สารตัวอย่างที่เติม																				
สารละลายมาตรฐาน	0.103	0.105	0.103	0.104	0.105	0.105	0.108	0.104		1	3.129	3.056	3.017	3.497	3.410	3.202	3.299	3.230		
แถบกระดาษกาวน้ำ																				
- สารตัวอย่าง	0.021	0.021	0.020	0.020	0.020	0.018	0.018	0.020	90.12	1	1.969	1.919	1.964	1.895	1.995	1.913	1.937	1.942	92.30	
- สารตัวอย่างที่เติม																				
สารละลายมาตรฐาน	0.111	0.108	0.110	0.112	0.110	0.110	0.109	0.110		1	3.764	3.753	3.742	3.922	3.780	3.822	3.728	3.788		

ตารางที่ 38. แสดงข้อมูลดิบของการหา % recovery ในการวิเคราะห์โครมาโทกราฟีของตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยเครื่องฟลูออโรสโคปแบบเซอร์พิกซ์แบบพกพา (โพโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราฟิฟเฟอไนซ์ของคอมมิวนิเคชันเซอร์พิกซ์แบบพกพา (GFAAS)

ตัวอย่าง	การวิเคราะห์โดย FAAS											การวิเคราะห์โดย GFAAS								
	ความเข้มข้นของโครเมียมที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)											ความเข้มข้นของโครเมียมที่วัดได้ (ไมโครกรัม/ลิตร)								
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	เฉลี่ย	% recovery	Dilution	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	เฉลี่ย	% recovery	
กระดาษเหนียว																				
- สารตัวอย่าง	0.33	0.36	0.35	0.35	0.39	0.34	0.28	0.342	71.52	4	12.20	12.18	11.17	12.18	13.45	13.28	11.35	12.261	95.03	
- สารตัวอย่างที่เติม																				
สารละลายมาตรฐาน	0.72	0.71	0.70	0.69	0.70	0.69	0.70	0.700		4	14.13	14.41	15.17	14.70	14.47	14.50	15.07	14.637		
กระดาษทำลูกฟูก																				
- สารตัวอย่าง	0.20	0.25	0.23	0.21	0.19	0.19	0.19	0.207	97.66	4	6.721	6.671	5.217	5.378	5.610	5.764	5.836	5.885	94.25	
- สารตัวอย่างที่เติม																				
สารละลายมาตรฐาน	0.67	0.71	0.66	0.73	0.75	0.68	0.68	0.696		4	8.491	7.742	7.877	8.677	8.374	8.150	8.379	8.242		
แถบกระดาษกาวน้ำ																				
- สารตัวอย่าง	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.115	57.56	4	5.201	4.585	4.734	5.190	4.850	4.304	4.309	4.739	79.82	
- สารตัวอย่างที่เติม																				
สารละลายมาตรฐาน	0.40	0.40	0.41	0.41	0.40	0.41	0.40	0.403		4	6.647	7.691	6.468	7.158	6.294	6.517	6.365	6.734		

ตารางที่ 39. แสดงข้อมูลดิบของการหา % recovery ในการวิเคราะห์ตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์กระดาษบรรจุหีบห่อ โดยเครื่องเพลมอะตอมมิกแอมบอร์ฟทันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) กับเครื่องกราไฟต์เฟอวไนซ์อะตอมมิกแอมบอร์ฟทันสเปกโทรมิเตอร์ (GFAAS)

ตัวอย่าง	การวิเคราะห์โดย FAAS											การวิเคราะห์โดย GFAAS								
	ความเข้มข้นของตะกั่วที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)											ความเข้มข้นของตะกั่วที่วัดได้ (ไมโครกรัม/ลิตร)								
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	เฉลี่ย	% recovery	Dilution	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	เฉลี่ย	% recovery	
กระดาษเหนียว																				
- สารตัวอย่าง	1.04	1.18	1.13	1.14	1.21	1.16	0.91	1.110	75.08	4	40.57	42.55	41.10	41.04	41.75	41.97	41.07	41.435	90.87	
- สารตัวอย่างที่เติม																				
สารละลายมาตรฐาน	1.97	1.90	1.99	1.89	1.83	1.75	1.71	1.861		4	47.61	44.30	45.19	46.51	45.99	45.07	47.18	45.979		
กระดาษทำลูกฟูก																				
- สารตัวอย่าง	0.45	0.42	0.41	0.46	0.42	0.45	0.42	0.432	88.99	4	17.09	14.65	13.48	17.47	14.06	15.90	16.62	15.611	94.16	
- สารตัวอย่างที่เติม																				
สารละลายมาตรฐาน	1.25	1.38	1.26	1.25	1.45	1.25	1.42	1.321		4	20.91	19.84	18.74	19.33	20.22	22.39	20.80	20.319		
แถบกระดาษกาวน้ำ																				
- สารตัวอย่าง	0.38	0.37	0.36	0.34	0.35	0.36	0.46	0.356	79.26	4	13.59	14.78	14.94	15.33	13.77	14.53	15.65	14.654	90.71	
- สารตัวอย่างที่เติม																				
สารละลายมาตรฐาน	0.98	1.18	1.25	1.28	1.15	1.16	1.19	1.168		4	19.63	18.40	20.78	19.32	19.10	18.27	18.83	19.190		