การหาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

นางสาวสุนันทา ทิพย์มาลย์มาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-028-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15473

I 1030482A

DETERMINATION OF LEAD CONCENTRATION IN AIR USING X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE

Miss Sunanta Thipmalmas

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-576-028-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์
โดย	นางสาว สุนันทา ทิพย์มาลย์มาศ
ภาควิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธัชชัย สุมิตร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา ไทรสมบูรณ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุนันทา ทิพย์มาลย์มาศ : การหาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (DETERMINATION OF LEAD CONCENTRATION IN AIR USING X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธัชชัย สุมิตร, 94 หน้า

ในการศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX นั้น ได้ใช้หัววัด เจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง HPGe ORTEC MODEL GLP-06155 และอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง MCA CANBERRA SERIES - 40 พบว่าต้นกำเนิดรังสีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ตะกั่ว คือ Pu - 238 โดยจัดระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่างเท่ากับ 7 มิลลิเมตร และเวลาที่ใช้ในการนับรังสีเท่ากับ 2000 วินาที จากการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศซึ่งดูดโดยผ่านกระดาษกรองเมมเบรน (ชนิด AA) และกระดาษกรองเซลลูโลส (Whatman เบอร์ 42) ปรากฏว่าค่าต่ำสุดของตะกั่วที่วิเคราะห์ได้บนกระดาษกรองจากผลการทดลองมีค่าประมาณ 9 ไมโครกรัม จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX, WDX และวิธีอะตอมมิคแอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี ปรากฏผลว่าวิธีทั้ง 3 ให้ผลสัดเทียมกัน โดยมีระดับนัยสำคัญ .01 จากการออกเก็บตัวอย่างภาคสนามในโรงงานผลิตแบตเตอรีแห่งหนึ่ง ปรากฏว่าความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศสูงที่สุดที่ตรวจวัดได้โดยระบบ EDX มีค่า 0.172 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร (เฉลี่ย 8 ชั่วโมง) ในขณะที่เมื่อวิเคราะห์โดยวิธีอะตอมมิคแอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี 2 เครื่อง คือ เครื่อง Perkin Elmer 4000 และเครื่อง Shimadzu AA650 ได้ค่า 0.153 และ 0.140 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต สุนันทา ทิพย์มาลย์มาศ

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ธัชชัย สุมิตร

ปีการศึกษา 2531

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

SUNANTA THIPMALMAS : DETERMINATION OF LEAD CONCENTRATION IN AIR USING X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. TATCHAI SUMITRA, Dr. Ing. 94 PP.

Determination of lead concentration in air using x-ray fluorescence was done mainly by the EDX technique. The measuring system consists of an x-ray ring source, a HPGe detector ORTEC MODEL GLP - 06165 and an MCA CANBERRA SERIES - 40. It was found that the most suitable source for the analysis was the 1.11 GBq Pu-238. The system was arranged coaxially with the source placed in the middle, directly on the detector. The optimum distance between the source and the sample was 7 mm, and the counting time was 2000 s. The minimum detectable quantity of lead on membrane filter (AA grade) and cellulose filter (Whatman # 42) was found to be about 9 ug. The 3 methods of analysis, i, e., EDX, WDX, AAS were found to give the same result with .01 of significance level. Field tests in a battery factory shoued that the highest concentration of lead in air was 0.172 mg/m3 (8-hr average) when using the EDX method. While the values of 0.153 and 0.140 mg/m3 were determined by the AAS method using Perkin Elmer 4000 and Shimadzu AA 650 respectively.

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต สุนันทา ทิพย์มาลมาส

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธัชชัย สุมิตร เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านต่าง ๆ รวมทั้งให้คำปรึกษาและแนะนำในด้านต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการดำเนินงานทุกขั้นตอน

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณเรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์ คุณสมเกียรติ อุ่นวงษ์ และคุณเสมา สอนประสม ที่มีส่วนช่วยในการออกเก็บตัวอย่างภาคสนาม

ขอขอบคุณ คุณชาติชาย พรสุชศิริ ที่มีส่วนช่วยเตรียมสารเคมีในการย่อยตัวอย่าง

ขอขอบคุณ คุณวนิดา จีนศาสตร์ และคุณอุทัย ติยะวิสุทธิ์ศรีที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์โดยเทคนิคการเรืองสังสีเอกซ์ ระบบ WDX ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ คุณโสภา จิระวงค์อร่าม ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยวิธีอะตอมมิคแอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ คุณธีรพล คังคะเกตุ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยวิธีอะตอมมิคแอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและทุนบริษัทไทยอาซาฮีโซดาไฟ จำกัด สนับสนุนโดยสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณสุคนธ์ งามศักดิ์ และคุณสุรีย์ กล้าหาญ ที่มีส่วนช่วยในด้านการพิมพ์วิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

รายการสัญญลักษณ์และคำย่อ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย..... 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจาการวิจัยนี้..... 3

บทที่ 2 ตะกั่วและการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์..... 4

2.1 แหล่งกำเนิดตะกั่วในสิ่งแวดล้อม..... 4

2.2 ลักษณะของตะกั่ว..... 4

2.3 การนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์..... 4

2.4 ทางที่ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมนุษย์..... 5

2.5 ผลของตะกั่วต่อโลหิต..... 6

2.6 การวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์..... 6

2.7 เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ..... 13

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และการดำเนินการวิจัย..... 15

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างในโรงงานผลิตแบตเตอรี่... 15

3.2 อุปกรณ์วิเคราะห์โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์..... 18

3.3 อุปกรณ์วิเคราะห์โดยวิธีอะตอมมิคแอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี.. 26

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย..... 28

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	ผลของการวิจัย.....	32
	4.1 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ในระบบ EDX.....	32
	4.2 การสร้างกราฟปรับเทียบ.....	40
	4.3 การวิเคราะห์สารมาตรฐานบนกระดาษกรองโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ในระบบ WDX.....	49
	4.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์และวิธีอะตอมมิค-แอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี.....	54
	4.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรีโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ในระบบ EDX	64
	4.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรีโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ในระบบ WDX.....	66
	4.7 การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรี โดยวิธีอะตอมมิคแอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี.....	67
	4.8 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างอากาศที่เก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรี โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์และวิธีอะตอมมิคแอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี.....	70
	4.9 เปรียบเทียบค่าสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ.....	77
	4.10 ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตะกั่วโดยวิธีต่าง ๆ	80
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	82
	5.1 สรุปผลการวิจัย.....	82
	5.2 ข้อเสนอแนะ.....	83
บรรณานุกรม.....		84
ภาคผนวก.....		85
ประวัติผู้เขียน.....		94

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่างซึ่งเป็นกระดาษกรองเมมเบรน.. 34
4.2 ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่างซึ่งเป็นกระดาษกรองเซลลูโลส.. 35
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการวิเคราะห์กับเปอร์เซนต์ค่าบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อใช้ Pu-238 เป็นต้นกำเนิดรังสี..... 36
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการวิเคราะห์กับเปอร์เซนต์ค่าบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อใช้ Am-241 เป็นต้นกำเนิดรังสี..... 38
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเมมเบรนกับปริมาณ ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX มี Pu-238 เป็นต้นกำเนิดรังสี... 41
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเมมเบรนกับปริมาณ ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX มี Am-241 เป็นต้นกำเนิดรังสี... 43
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเซลลูโลสกับปริมาณ ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX มี Pu-238 เป็นต้นกำเนิดรังสี... 45
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเซลลูโลสกับปริมาณ ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX มี Am-241 เป็นต้นกำเนิดรังสี... 47
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเมมเบรนกับปริมาณ ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ WDX 50
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเซลลูโลสกับปริมาณ ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ WDX 52
4.11 เปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วบนกระดาษกรองเมมเบรน ที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX และโดยวิธีอะตอมมิคแอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี..... 54
4.12 เปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วบนกระดาษกรองเซลลูโลส ที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX และโดยวิธีอะตอมมิคแอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี..... 57
4.13 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่ใช้กระดาษกรองเมมเบรนเก็บจากโรงงาน ผลิตแบตเตอรี่ โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์..... 61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเมมเบรนกับปริมาณความเข้ม
ของรังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX มี Pu-238 เป็นต้นกำเนิดรังสี 62
4.15 ความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างอากาศที่ใช้กระดาษกรองเมมเบรน
เก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรี วิเคราะห์โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์
ระบบ EDX 64
4.16 ความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างอากาศที่ใช้กระดาษกรองเซลลูโลส
เก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรี วิเคราะห์โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์
ระบบ EDX..... 65
4.17 ความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างอากาศที่ใช้กระดาษกรองเซลลูโลส
เก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรี วิเคราะห์โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์
ระบบ WDX..... 66
4.18 ความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างอากาศที่ใช้กระดาษกรองเมมเบรน
เก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรี วิเคราะห์โดยวิธีอะตอมมิค-
แอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี..... 67
4.19 ความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างอากาศที่ใช้กระดาษกรองเซลลูโลส
เก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรี วิเคราะห์โดยวิธีอะตอมมิค-
แอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี..... 69
4.20 เปรียบเทียบความความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างอากาศที่ใช้
กระดาษกรองเมมเบรนเก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรี ซึ่งวิเคราะห์
โดยเทคนิคเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX กับวิเคราะห์โดยวิธีอะตอมมิค-
แอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี..... 70
4.21 เปรียบเทียบความความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างอากาศที่ใช้
กระดาษกรองเซลลูโลสเก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรี ซึ่งวิเคราะห์
โดยเทคนิคเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX กับระบบ WDX..... 73
4.22 เปรียบเทียบความความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างอากาศที่ใช้
กระดาษกรองเซลลูโลสเก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรี ซึ่งวิเคราะห์
โดยเทคนิคเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX กับวิเคราะห์โดยวิธีอะตอมมิค-
แอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี..... 75
4.23 ผลการเปรียบเทียบค่าสารมาตรฐานสำหรับกระดาษกรองเมมเบรน..... 77
4.24 ผลการเปรียบเทียบค่าสารมาตรฐานสำหรับกระดาษกรองเซลลูโลส..... 77

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 การกำเนิดรังสีเอกซ์เรือง..... 6
2.2 แผนภาพแสดงการแทนที่ของอิเลคตรอนที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว..... 7
2.3 ระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยพลังงานของรังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX..... 9
2.4 แผนภูมิของระบบวัดรังสีเอกซ์เรืองแบบ WDX..... 11
2.5 การจัดระบบวิเคราะห์แบบ Coaxial geometry..... 12
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับรังสีเอกซ์เรืองกับเปอร์เซนต์ความเข้มข้น
ของธาตุในสารมาตรฐาน..... 13
3.1 ตลับใส่กระดาษกรองชนิด 3 ชั้น..... 15
3.2 เครื่องดูดอากาศแบบติดตัวบุคคลและแบบวางกับพื้น..... 16
3.3 ชุดอุปกรณ์การปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศ..... 17
3.4 (ก) เครื่องวิเคราะห์แบบ EDX หัววัด HPGe..... 18
(ข) แผนภาพระบบการวัด แบบ EDX หัววัด HPGe..... 19
3.5 ลักษณะต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทปรังสี..... 20
3.6 ชั้นวางตัวอย่าง (sample holder)..... 21
3.7 วงแหวนพลาสติกใสขนาดต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับรองตัวอย่าง..... 21
3.8 เครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX ของ JEOL model JSX-60PA..... 22
3.9 ส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX
ของ JEOL model JSX-60PA..... 23
3.10 แผนผังของเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX ของ JEOL model JSX-60PA... 24
3.11 หลอดต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดหน้าต่างด้านข้าง
ซึ่งใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ..... 25
3.12 เครื่องวิเคราะห์วิธีอะตอมมิคแอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรีของ
Shimadzu AA 650..... 26
3.13 เครื่องวิเคราะห์วิธีอะตอมมิคแอบสอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรีของ
Perkin Elmer 4000..... 27
3.14 แผนผังโรงงานผลิตแบตเตอรี..... 31

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 แผนผังระบบการวัดแบบ EDX ของหัววัด HPGe..... 33

4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการนับรังสีกับเปอร์เซนต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Pu-238..... 37

4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการนับรังสีกับเปอร์เซนต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Am-241..... 39

4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเมมเบรนกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX โดยใช้ Pu-238 เป็นต้นกำเนิดรังสี..... 42

4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเมมเบรนกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX โดยใช้ Am-241 เป็นต้นกำเนิดรังสี..... 44

4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเซลลูโลสกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX โดยใช้ Pu-238 เป็นต้นกำเนิดรังสี..... 46

4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเซลลูโลสกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX โดยใช้ Am-241 เป็นต้นกำเนิดรังสี..... 48

4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเมมเบรนกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ WDX..... 51

4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเซลลูโลสกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ WDX..... 53

4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างบนกระดาษกรองเมมเบรนที่เตรียมในห้องปฏิบัติการซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ EDX กับวิธี AAS..... 56

4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างบนกระดาษกรองเซลลูโลสที่เตรียมในห้องปฏิบัติการซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ EDX กับ AAS..... 59

4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วบนกระดาษกรองเมมเบรนกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX โดยใช้ Pu-238 เป็นต้นกำเนิดรังสี..... 63

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศจากตัวอย่างที่ใช้กระดาษกรองเมมเบรนเก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรีซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ EDX กับวิเคราะห์โดย AAS..... 72
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศจากตัวอย่างที่ใช้กระดาษกรองเซลลูโลสเก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรีซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ EDX กับวิเคราะห์โดย WDX..... 74
4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศจากตัวอย่างที่ใช้กระดาษกรองเซลลูโลสเก็บจากโรงงานผลิตแบตเตอรีซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ EDX กับวิเคราะห์โดย AAS..... 76
4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ใช้กระดาษกรองเมมเบรน ซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ EDX และวิธี AAS..... 78
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ใช้กระดาษกรองเซลลูโลส ซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ EDX และวิธี AAS..... 79

รายการสัญญลักษณ์และคำย่อ

m^3	=	cubic meter
MCA	=	Multichannel analyzer
mCi	=	millicurie
µg	=	microgram
ml	=	milliliter
ppm	=	part per million
WDX	=	wavelength dispersive x-ray fluorescence
EDX	=	energy dispersive x-ray fluorescence
λ	=	wavelength
มม.	=	มิลลิเมตร
ลบ.ม., $ม^3$	=	ลูกบาศก์เมตร
Pb	=	lead (ตะกั่ว)
มล.	=	มิลลิลิตร
GBq	=	จิกะเบคเคอเรล (10^9 เบคเคอเรล)