

การพัฒนาแบบวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์



นายเจด็จ เย็นใจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

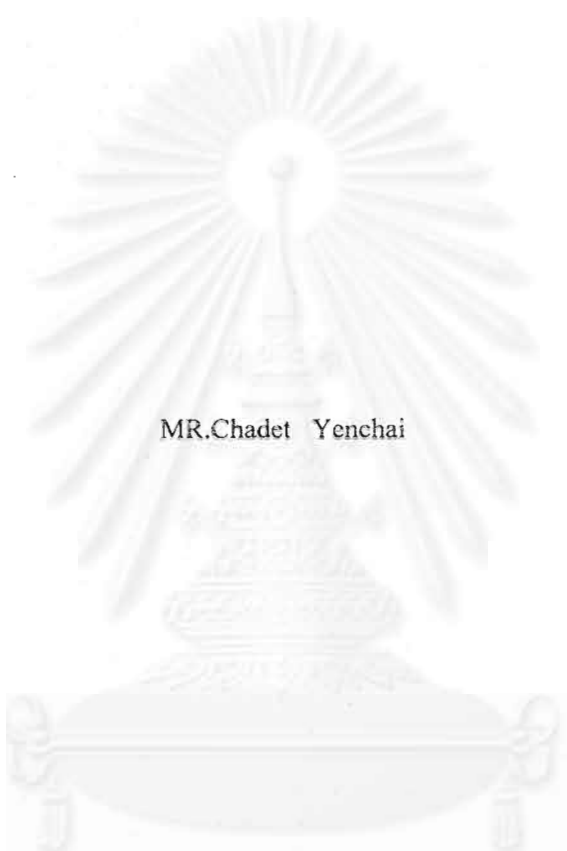
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0086-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF AN ANALYSIS SYSTEM FOR DETERMINING SO₂ IN AIR
USING THE X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE



MR.Chadet Yenchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0086-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาแบบวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

โดย

นายเจด็จ เย็นใจ

สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

จเด็จ เย็นใจ : การพัฒนาระบบวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้
เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (DEVELOPMENT OF AN ANALYSIS SYSTEM FOR
DETERMINING SO₂ IN AIR USING THE X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE)
อ. ที่ปรึกษา :รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, 50 หน้า. ISBN 974-17-0086-5

การพัฒนาระบบวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์
ได้แบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ระบบย่อย คือ ระบบวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันบนกระดาษกรองด้วย
เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX กับหัววัดพรอพอร์ชันแนล โดยใช้เหล็ก-55 เป็นต้นกำเนิด
รังสี และระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความ
เข้มข้น 10 % โดยน้ำหนักเป็นตัวดักจับ

ระบบวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันบนกระดาษกรองที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถลดการรบกวน
จากรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของอาร์กอนจากอาร์กอนในอากาศได้ โดยใช้ระยะทางระหว่างหัววัดรังสี
กับแผ่นกระดาษกรองที่เหมาะสม และการหาช่วงพีคที่เหมาะสม ซึ่งขีดจำกัดในการวิเคราะห์ของ
ระบบเท่ากับ 9.33 ไมโครกรัมสำหรับเวลาวัดรังสี 3600 วินาที ส่วนระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์
ไดออกไซด์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ประมาณ 95 % นอก
จากนี้ยังทดลองใช้อุปกรณ์ความแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว ช่วยในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
ด้วย แต่ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต เย็นใจ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา นเรศร์ จันทน์ขาว
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

##4170246821 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: X-RAY FLUORESCENCE / SO₂

CHADET YENCHAI : DEVELOPMENT OF AN ANALYSIS SYSTEM FOR DETERMINING SO₂ IN AIR USING THE X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, 50 PP.

ISBN 974-17-0086-5

The developed system for determining SO₂ in air was divided into 2 subsystems i.e. the XRF sulfur analyzer and the SO₂ sampler. The XRF analyzer consisted of a krypton-filled proportional detector, an ⁵⁵Fe exciting source and a digital spectrum analyzer (DSA). The SO₂ sampling unit consisted of an air sampler and 200 ml 10 % sodium carbonate solution contained in a glass tube for reacting with SO₂ in the incoming air.

The interferences of argon x-rays from argon gas in the air and of the scattered x-rays were minimized by selecting the optimum source position and the detector-to-specimen distance as well as the region of interest. The lower limit of detection of sulphur absorbed on a filter paper was found to be 9.33 micrograms for 3600 second counting time. The absorption efficiency of the SO₂ sampler was found to be approximately 95 %. Moreover, the SO₂ absorption was also carried out by an additional liquid nitrogen cooling unit but the absorption efficiency could not be improved.



Department Nuclear Technology

Field of study Nuclear Technology

Academic year 2001

Student's signature..... *ชเดจ เชนใจ*

Advisor's signature..... *นเรส ชนก*

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ณรงค์ จันทร์ขาว อย่างสูงยิ่ง ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา อนุเคราะห์ตำรา และเอกสารเชิงวิชาการ ตลอดจนช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้ออุปการณ์ ตลอดจนคำแนะนำและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณณภลัย คำสีม่วง และเพื่อน ๆ ที่ ๆ น้อง ๆ ในภาควิชานิเทศศาสตร์เทคโนโลยี ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือทุกอย่างที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนให้ทุนสำหรับอุดหนุนงานวิจัย ในการทำวิจัยมา ณ ที่นี้

ะคุณบิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมาจ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	ช
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัยนี้.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์	
2.1 รังสีเอกซ์.....	4
2.2 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลาง.....	4
2.3 การลดทอนรังสีเอกซ์.....	8
2.4 ดัชนีกำเนิดรังสีเอกซ์.....	10
2.5 หัววัดรังสีเอกซ์.....	13
2.6 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์.....	15
2.7 แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และวิธีการวิเคราะห์.....	17
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และการดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี สำหรับการพัฒนาระบบวิเคราะห์ปริมาณแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์.....	20
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
บทที่ 4 ผลของการวิจัย.....	
4.1 ความเหมาะสมของระบบวิเคราะห์ตัวอย่างกำมะถันบนกระดาษกรอง.....	32
4.2 ระบบวัดที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุกำมะถัน.....	32

สารบัญ (ต่อ)

๗

หน้า

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	43
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	45
5.3 ปัญหาและอุปสรรค.....	46
รายการอ้างอิง.....	49
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	50



สารบัญตาราง

ฉ

ตารางที่	หน้า
2.1 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทปรังสีบางชนิดที่ใช้กันโดยทั่วไป.....	12
3.1 การเตรียมค่าปริมาณกำมะถันมาตรฐานบนกระดาษกรองเพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	28
3.2 การเตรียมค่าปริมาณกำมะถันมาตรฐานบนกระดาษกรองเพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยผ่านวิธีควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว.....	31
4.1 การหาระยะทางที่เหมาะสมระหว่างหัววัดรังสีกับกระดาษกรอง.....	33
4.2 ฐานของฟีกกำมะถันเมื่อใช้วัสดุทับหลังกระดาษกรองชนิดต่าง ๆ	35
4.3 อัตราส่วนของ Sulphur/Blank เมื่อเลือกช่องวิเคราะห์ด้านต่ำต่าง ๆ กัน โดยกำหนดช่องวิเคราะห์ด้านสูงคงที่.....	36
4.4 อัตราส่วนของ Sulphur/Blank เมื่อเลือกช่องวิเคราะห์ด้านสูงต่าง ๆ กัน โดยกำหนดช่องวิเคราะห์ด้านต่ำคงที่.....	36
4.5 อัตราส่วน Sulphur/Blank เมื่อเลือกช่วงฟีกต่าง ๆ กัน.....	37
4.6 การปรับค่าอัตรานับรวมสุทธิในช่วงที่สนใจเพื่อนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐาน.....	39
4.7 ปริมาณ SO ₂ ที่ดูดจับได้ โดยการปล่อย SO ₂ มาตรฐานความเข้มข้น 500 ppm (1300 mg/m ³) ด้วยอัตรา 10 ลิตรต่อนาที.....	41
4.8 ปริมาณ SO ₂ ที่ดูดจับได้ โดยการปล่อย SO ₂ มาตรฐานความเข้มข้น 500 ppm (1300 mg/m ³) ผ่านระบบควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลวด้วยอัตรา 25 ลิตรต่อนาที...	41
4.9 ประสิทธิภาพการดักจับ SO ₂ ของระบบที่ไม่ควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP atomic emission spectrometry.....	41
4.10 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันระหว่าง 2 วิธีวิเคราะห์.....	42

สารบัญญภาพ

ญ

รูปที่	หน้า
2.1 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....	5
2.2 การเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน.....	6
2.3 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (C) และการกระเจิงแบบเรย์เลห์ (R) ของรังสีเอกซ์เฉพาะ ตัวของทองแดงจากตัวกลางที่มีเลขอะตอมอะตอมต่าง ๆ กัน.....	7
2.4 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (C) และการกระเจิงแบบเรย์เลห์ (R) ของรังสีเอกซ์เฉพาะ ตัวของโมลิบดีนัมจากตัวกลางที่มีเลขอะตอมอะตอมต่าง ๆ กัน.....	7
2.5 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุคาร์บอน.....	9
2.6 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุเหล็ก.....	9
2.7 แผนภาพโครงสร้างของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์.....	10
2.8 รังสีเอกซ์แบบสเปกตรัมต่อเนื่องและแบบเฉพาะตัวจากเป้า โมลิบดีนัม.....	11
2.9 เปรียบเทียบความสามารถในการแยกพลังงานของหัววัดชนิดต่าง ๆ.....	14
2.10 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว.....	15
3.1 ลักษณะของหัววัดพรอพอร์ชันแนล.....	20
3.2 ลักษณะของต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทปรังสีเหล็ก-55.....	21
3.3 แผนภาพระบบวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีที่ใช้หัววัดพรอพอร์ชันแนล.....	21
3.4 แผนภาพชุดอุปกรณ์ความแม่นยำในโตรเจนเหลว.....	22
3.5 แผนภาพชุดอุปกรณ์ดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	22
3.6 อาร์กอนในอากาศที่สามารถรบกวนพีครังสีเอกซ์เฉพาะตัวของกัมมันตภาพรังสี.....	24
3.7 ลักษณะพีคของตัวอย่างกัมมันตภาพรังสีปริมาณ 100 ไมโครกรัมเทียบกับพีคของตัวอย่าง ไม่มีกัมมันตภาพรังสี.....	25
3.8 ช่วงที่สนใจ (B_{ROI}) และช่วงทางด้านขวาของพีคกัมมันตภาพรังสี (B_{SCT}).....	26
3.9 แผนภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ได ออกไซด์.....	28
3.10 แผนภาพของระบบความแม่นยำในโตรเจนเหลว ที่ใช้ในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ ไดออกไซด์.....	30
3.11 แผนภาพอุปกรณ์ดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หลังจากผ่านการความแม่นยำ ในโตรเจนเหลวมาแล้ว.....	30
4.1 การจัดการระบบวัดรังสีเอกซ์เรื่องจากกัมมันตภาพรังสี โดยใช้หัววัดพรอพอร์ชันแนลชนิด บรรจุก๊าซคริสตอล และต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทปรังสีเหล็ก-55.....	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

ฉ

รูปที่	หน้า
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Sulphur/Blank ratio กับระยะห่างระหว่างหัววัดรังสีเอกซ์ กับกระดาษกรอง.....	33
4.3 ฐานของพีคกัมมันต์ที่ได้รับผลกระทบจากการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์ พลังงาน 5.9 keV จากต้นกำเนิดรังสีเหล็ก-55.....	34
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับรวมสุทธิที่ฐานในช่วงที่สนใจ (B_{ROI}) กับอัตรานับรวมสุทธิที่ฐานด้านขวาของพีคกัมมันต์ (B_{SCT}).....	38
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกัมมันต์ (S) กับอัตรานับรวมสุทธิปรับค่าแล้ว (I_{NML})...	40
5.1 แสดงระบบจ่ายไฟฟ้าของห้องปฏิบัติการ.....	47



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นมลสารที่สำคัญ ซึ่งต้องมีการตรวจสอบปริมาณเป็นประจำ ทั้งในบรรยากาศทั่วไปและบริเวณโรงงานอุตสาหกรรมหรือโรงไฟฟ้าถ่านหิน เนื่องจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นี้อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์ พืช และสัตว์ ตลอดจนทำลายสถานะแวดล้อมธรรมชาติ อันคว่า และวิจัยเพื่อหาวิธีต่าง ๆ ที่สะดวก เหมาะสม สำหรับวัดปริมาณ

การวัดปริมาตรซัลไฟด์ในอากาศที่เป็นมาตรฐานนั้น มีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเป็นวิธีทางเคมีที่ต้องอาศัยความชำนาญของผู้วิเคราะห์ และมีขั้นตอนค่อนข้างซับซ้อน นอกจากนี้สารเคมีที่ต้องใช้เตรียมเป็นสารมาตรฐานนั้นมีหลายชนิด และหลายความเข้มข้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสให้เกิดความผิดพลาดในการเตรียมสารแต่ละชนิดที่ใช้ในการวิเคราะห์มากขึ้น ถ้าผู้วิเคราะห์มีความชำนาญไม่พอ

การใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ในการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นวิธีหนึ่งที่มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อให้ได้วิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงในการวัดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้านั้น พบว่าการใช้เทคนิคนี้มีศักยภาพเพียงพอเทียบเท่ากับวิธีอื่นๆ และเนื่องจากการใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ในการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นมีข้อดี คือ เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนทั้งในส่วนของ การวิเคราะห์และส่วนของการเก็บตัวอย่างอากาศ การวิเคราะห์ไม่ต้องอาศัยผู้ชำนาญการมากนัก และยังเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายไม่สูงอีกด้วย

จากข้อดีดังกล่าวทำให้มีการค้นคว้าพัฒนาวิธีวัดหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ดังงานวิจัยที่ผ่านมาได้นำเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX โดยใช้หัววัดพรอพอร์ชันแนล วัดรังสีเอกซ์เรืองของกำมะถันจากการกระตุ้นโดยต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทปรังสีเหล็ก-55 มาใช้ในการหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้กระดาษกรองซุบสารละลายเคมีเป็นตัวดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์^{11, 12} ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และมีราคาถูก แต่ประสิทธิภาพยังไม่สูงพออันเนื่องมาจากข้อจำกัดบางประการ เช่น หัววัดมีขนาด

เล็กทำให้มีความไวในการวัดรังสีน้อย ชนิดของก๊าซที่บรรจุภายในหัววัดซึ่งให้เอสเคปพีค (escape peak) รบกวน ทำให้ความถูกต้องในการวัดลดลง อีกทั้งรูปร่างของแหล่งกำเนิดรังสีทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องของลักษณะการจัดอุปกรณ์วัด (geometry) ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้มุ่งเน้นพัฒนาเทคนิคนี้ให้มีประสิทธิภาพและความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้น โดยการแก้ไขให้ข้อจำกัดต่าง ๆ ลดลง และมีความซับซ้อนของระบบน้อยลง เพื่อให้ได้วิธีหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ รวมทั้งพัฒนาระบบเก็บตัวอย่างให้มี ประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX ที่สะดวกรวดเร็ว ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบเก่า

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาวิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากอากาศโดยวิธีควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว

1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ด้วยต้นกำเนิดแบบไอโซโทปรังสีเหล็ก-55 และหัววัดแบบพรอพอร์ชันแนล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 พัฒนาการเก็บก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากอากาศโดยวิธีควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว และดักจับด้วยวิธีทางเคมี

1.3.2 พัฒนาระบบวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบ EDX ซึ่งใช้หัววัดรังสีเอกซ์แบบพรอพอร์ชันแนลบรรจุก๊าซคริปทอน ต้นกำเนิดแบบไอโซโทปรังสีเหล็ก-55

1.3.3 ทดสอบการหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศเทียบกับวิธีมาตรฐานอื่น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 สร้างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากอากาศ

1.4.3 ทดลองหาประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.4.4 พัฒนาระบบวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน

1.4.5 ทดลองวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ

1.4.6 สรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัยนี้

ได้เทคนิคการเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ และระบบวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันที่มีความถูกต้องแม่นยำ และไม่ซับซ้อน

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 เรวัตน์ เหล่าไพบูลย์ (2531)^[2] ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองหากระดาษกรองที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่า กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 มีความเหมาะสมในการนำไปเก็บตัวอย่างอากาศที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงๆ และทำการวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX กับหัววัดพรอพอร์ชันแนล เทียบกับวิธีทางเคมี (pararosaniline) นั้น ให้ผลเปรียบเทียบกันได้ โดยค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใกล้เคียงกัน

1.6.2 คงศักดิ์ ตั้งพูนผลวิวัฒน์^[1] (2528) ทดลองตรวจสอบธาตุต่างๆในอากาศโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ และหาขีดจำกัดของซัลเฟอร์ได้ 79 ไมโครกรัม โดยวัดระบบ EDX ใช้ต้นกำเนิดรังสีเหล็ก-55 ความแรง 5 มิลลิวินาที หัววัดพรอพอร์ชันแนลอยู่ติดกับต้นกำเนิดรังสี ระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่างเป็น 3 มิลลิเมตร

1.6.3 J. HARDIN , B. SHLEIEN^[1] ทดลองหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX โดยใช้กระดาษกรองเมมเบรนซุบสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตและกลีเซอรอลคักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และใช้หัววัดพรอพอร์ชันแนลแบบก๊าซไหลผ่าน ต้นกำเนิดรังสีเหล็ก-55 ความแรง 1 มิลลิวินาที วัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ 30 ไมโครกรัม (0.01 ppm) โดยเก็บซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1 ชั่วโมง และอัตราการเก็บตัวอย่าง 20 ลิตรต่อนาที

1.6.4 ชัชชัย สุมิตร , นเรศร์ จันทน์ขาว และ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ (2532)^[4] ได้ทำการวิจัยเรื่องการหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณโรงบ่มใบยาสูบ โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX หัววัดพรอพอร์ชันแนลบรรจุก๊าซซีนอน ต้นกำเนิดรังสีเหล็ก-55 ความแรง 20 มิลลิวินาที เก็บตัวอย่างอากาศด้วยกระดาษกรองซุบสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 5% และ กลีเซอรอล 5% ปริมาณธาตุกำมะถันต่ำสุดที่วัดได้บนกระดาษกรองมีค่าเท่ากับ 30 ไมโครกรัม

บทที่ 2

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองสีเอกซ์

2.1 รังสีเอกซ์^[5]

รังสีเอกซ์ คือ รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการลดความเร็วของอิเล็กตรอนหรืออนุภาคที่มีประจุซึ่งมีพลังงานสูง หรือเกิดจากการเปลี่ยนชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอนภายในวงโคจรชั้นในของอะตอม ซึ่งกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์ทั้งสองแบบนี้ จะให้ลักษณะของสเปกตรัมรังสีที่แตกต่างกัน คือ รังสีเอกซ์ที่เกิดจากการสูญเสียพลังงานของอิเล็กตรอนอันเนื่องมาจากการลดความเร็วเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสนามคูลอมป์ของนิวเคลียสหรือที่เรียกว่า “เบรมส์ สตราห์ลุง (Bremsstrahlung)” นั้นมีลักษณะเป็นสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง (Continuous spectrum) ส่วนรังสีเอกซ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอนหรือที่เรียกว่า “รังสีเอกซ์เรือง (Fluorescent x-rays) หรือรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic x-rays)” ซึ่งมีลักษณะของสเปกตรัมเป็นแบบอนุกรมของพลังงานเดี่ยว (Characteristic line spectrum)

2.2 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลาง^{[5], [6], [7]}

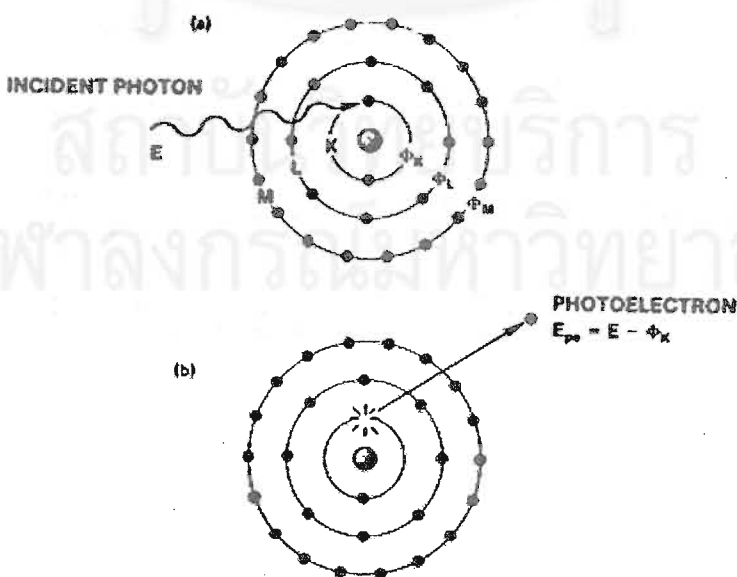
อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลางนั้น จะมีลักษณะเช่นเดียวกับอันตรกิริยาของรังสีแกมมา ซึ่งรังสีทั้งสองนั้นมีคุณสมบัติที่เหมือนกันเพียงแต่แตกต่างกันที่แหล่งกำเนิด โดยรังสีแกมมานั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายในนิวเคลียส ส่วนรังสีเอกซ์นั้นจะเกิดที่ชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส แต่เนื่องจากทั้งรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ก็เป็นรังสีที่ประพฤติตัวเป็นได้ทั้งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอนุภาค (Wave particle duality) เรียกว่าโฟตอน (Photon) ดังนั้นโฟตอนจึงสามารถใช้เรียกแทนทั้งรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ อันตรกิริยาของโฟตอนกับตัวกลางนั้นสามารถแยกได้ตามลักษณะของอนุภาคที่ถูกเข้าทำอันตรกิริยาด้วย เช่น อิเล็กตรอนหรือนิวเคลียส หรือแยกได้ตามลักษณะของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น เช่น การดูดกลืนหรือการกระเจิง ซึ่ง ณ ที่นี้จะกล่าวตามลักษณะของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric absorption) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และการกระเจิงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh scattering)

2.2.1 การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก

การดูดกลืนในลักษณะนี้ เกิดจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่าปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) คือปรากฏการณ์ที่อิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรของอะตอมดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนไว้ทั้งหมดและทำให้อิเล็กตรอนนั้นหลุดออกไปจากอะตอม อะตอมจึงสูญเสียอิเล็กตรอนกลายเป็นไอออน (Ionization) ส่วนอิเล็กตรอนที่หลุดออกไปจากอะตอมเรียกว่าโฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) เนื่องจากอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสมีอยู่ในชั้นพลังงานยึดเหนี่ยวต่าง ๆ กัน หากอิเล็กตรอนชั้นใน ๆ (ชั้น K หรือชั้น L) ดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนและอิเล็กตรอนนั้นหลุดออกจากอะตอม ก็จะทำให้เกิดที่ว่างขึ้น อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นนอก ๆ ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าก็จะเข้าไปแทนที่ว่างนั้น พร้อมปลดปล่อยพลังงานส่วนหนึ่งออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งก็คือ รังสีเอกซ์เรืองที่กล่าวมาแล้วนั่นเอง และโฟโตอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีค่าพลังงานเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานของโฟตอนที่เข้าชนกับพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรนั้น ดังสมการ (2.1)

$$E_{pe} = E - \Phi_K \tag{2.1}$$

เมื่อ	E_{pe}	คือ	พลังงานของโฟโตอิเล็กตรอน
	E	คือ	พลังงานของโฟตอนที่เข้าชน
	Φ_K	คือ	พลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนที่ชั้นวงโคจรนั้น ๆ



รูปที่ 2.1 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก^[8]

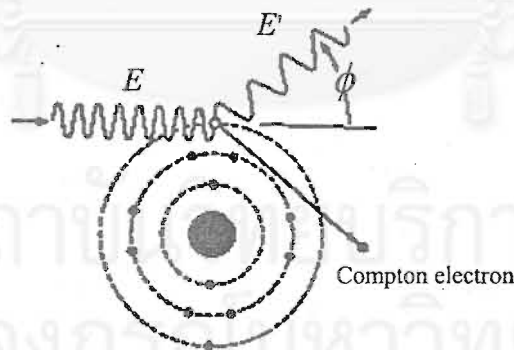
โอกาสในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อตัวกลางเป็นธาตุเบา และพลังงานของโฟตอนที่เข้าชนมีค่าสูงขึ้น

2.2.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering)

การกระเจิงแบบคอมป์ตัน เป็นอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง โฟตอนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นนอก ซึ่งมีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวน้อยมาก เมื่อโฟตอนเข้าชนกับอิเล็กตรอนดังกล่าว อิเล็กตรอนนั้นจะหลุดออกไปจากอะตอม พร้อมกับพลังงานบางส่วนของโฟตอนที่เข้าชน ซึ่งอิเล็กตรอนที่หลุดออกไปมีชื่อเรียกว่าคอมป์ตันอิเล็กตรอน (Compton electron) ส่วนโฟตอนที่กระเจิงออกไปนั้น จะมีพลังงานลดลง โดยผลรวมของพลังงานระหว่างคอมป์ตันอิเล็กตรอนกับโฟตอนที่กระเจิงออกไป จะมีค่าเท่ากับ พลังงานของโฟตอนเริ่มต้นที่เข้าชน ดังสมการ (2.2)

$$E' = \frac{E}{[1 + 0.001957E(1 - \cos \phi)]} \quad (2.2)$$

เมื่อ	E'	คือ	พลังงานในหน่วย keV ของโฟตอนที่กระเจิงออกไป
	E	คือ	พลังงานในหน่วย keV ของโฟตอนที่เข้าชน
	ϕ	คือ	มุมที่โฟตอนกระเจิงออกไปจากแนวเดิม

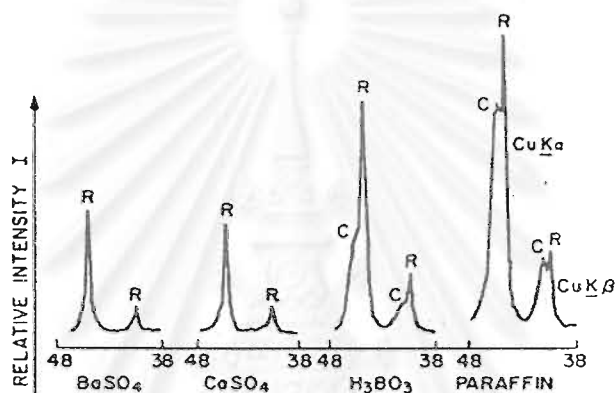


รูปที่ 2.2 การเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

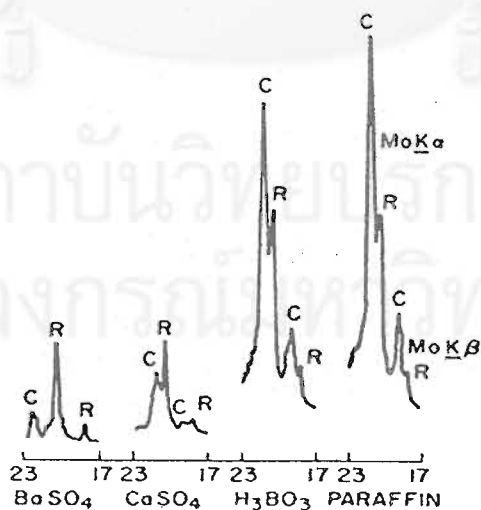
โอกาสในการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันนั้นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ โฟตอนที่เข้าชนมีพลังงานสูงขึ้น ตัวกลางที่ถูกชนมีเลขอะตอมต่ำลง และมุมที่ตกกระทบมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ การเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันนั้นจะเกิดขึ้นเป็นอันตรกิริยาหลักก็ต่อเมื่อพลังงานของโฟตอนที่เข้าชนมีค่าสูงกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนมาก

2.2.3 การกระเจิงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh scattering)

การกระเจิงแบบเรย์เลห์ เป็นการกระเจิงของโฟตอนที่วิ่งเข้าชนกับอิเล็กตรอนแล้วโฟตอนตัวดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางโดยที่ไม่มีการสูญเสียพลังงาน ซึ่งการชนในลักษณะนี้จะเกิดมากขึ้นเมื่อพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนมีค่ามากกว่าโฟตอนมาก และจะมีโอกาสในการเกิดมากขึ้นเมื่อตัวกลางมีเลขอะตอมสูงขึ้น การเกิดการกระเจิงแบบเรย์เลห์นี้บางครั้งเป็นอุปสรรคในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ เนื่องจากฟลักซ์ที่เกิดขึ้นอาจไปรบกวนฟลักซ์ที่ต้องการวิเคราะห์ได้



รูปที่ 2.3 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (C) และการกระเจิงแบบเรย์เลห์ (R) ของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของทองแดงจากตัวกลางที่มีเลขอะตอมต่าง ๆ กัน^[6]



รูปที่ 2.4 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (C) และการกระเจิงแบบเรย์เลห์ (R) ของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของโมลิบดีนัมจากตัวกลางที่มีเลขอะตอมต่าง ๆ กัน^[6]

2.3 การลดทอนรังสีเอกซ์^[8]

เมื่อลำของรังสีเอกซ์ผ่านเข้าไปยังตัวกลางบางโฟตอนจะทำอันตรกิริยากับอะตอมของตัวกลาง ซึ่งอันตรกิริยาที่เกิดขึ้น ได้แก่ ปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน และการกระเจิงแบบเรย์เลย์ เหตุการณ์เหล่านี้จะทำให้ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์มีค่าลดลง ซึ่งสามารถนิยามได้จากความสัมพันธ์ที่เป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

$$I(E) = I_0(E)e^{-\mu(E)\rho x} \quad (2.3)$$

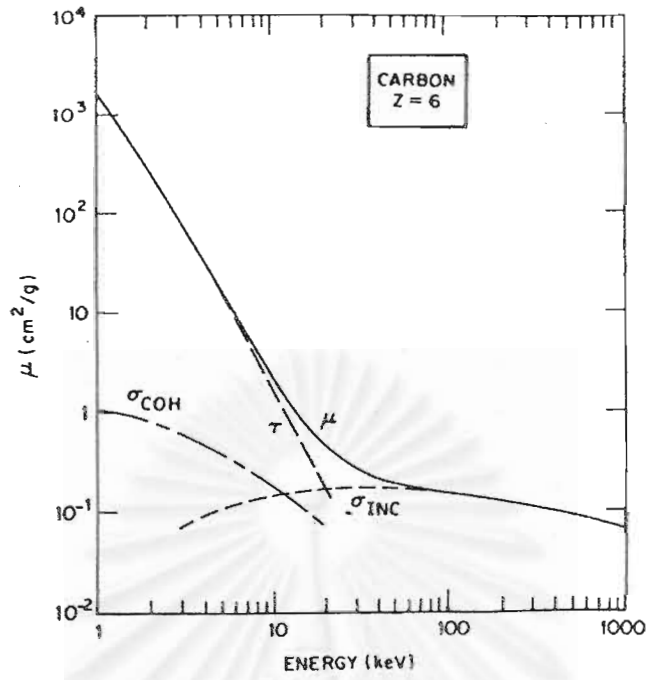
เมื่อ	$I(E)$	คือ	ความเข้มของโฟตอนที่ผ่านตัวกลางออกมาโดยไม่ทำอันตรกิริยาใด ๆ กับอะตอมของตัวกลาง
	$I_0(E)$	คือ	ความเข้มของโฟตอนที่เข้าชนกับตัวกลาง
	$\mu(E)$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass attenuation coefficient)
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของตัวกลางในหน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
	x	คือ	ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล $\mu(E)$ เป็นค่าที่บอกถึงโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาต่าง ๆ ของโฟตอนกับตัวกลาง ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้

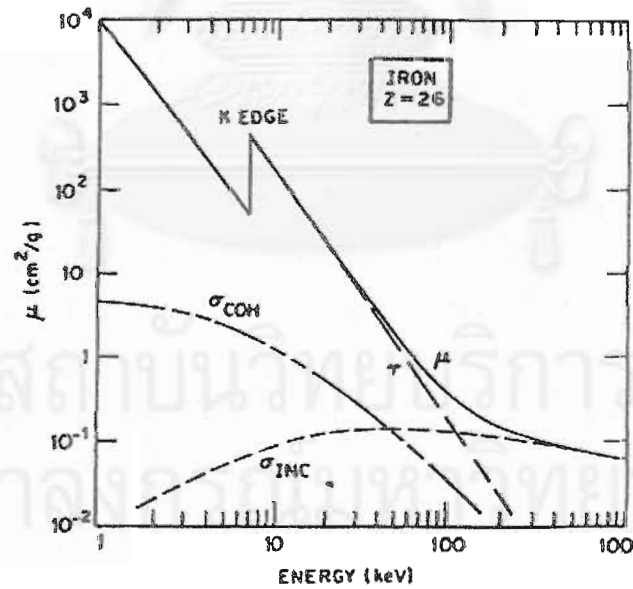
$$\mu(E) = \tau(E) + \sigma_{coh}(E) + \sigma_{inc}(E) \quad (2.4)$$

เมื่อ	$\tau(E)$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริกเชิงมวล
	$\sigma_{coh}(E)$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแบบไม่สูญเสียพลังงานเชิงมวล
	$\sigma_{inc}(E)$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแบบสูญเสียพลังงานเชิงมวล

ค่าสัมประสิทธิ์แต่ละค่าที่กล่าวมานั้น จะมีค่าเฉพาะขึ้นอยู่กับพลังงานของโฟตอนและเลขอะตอมของตัวกลางนั้น ๆ ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ อาจเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ ดังนี้ คือ μ , τ , σ_{coh} และ σ_{inc}



รูปที่ 2.5 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุคาร์บอน^[8]



รูปที่ 2.6 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุเหล็ก^[8]

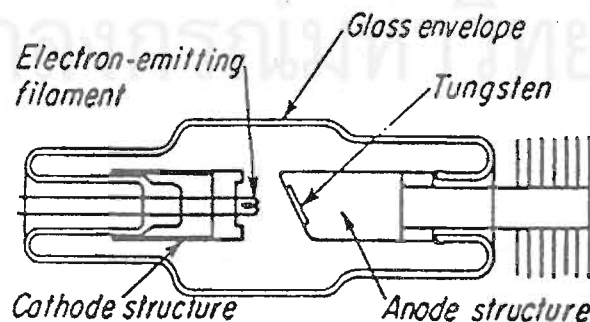
2.4 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์

จากหลักการกำเนิดรังสีเอกซ์ที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.1 สามารถจำแนกต้นกำเนิดของรังสีเอกซ์ได้ออกเป็น 2 ชนิด คือ ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาจากการเร่งอนุภาคที่มีประจุหรืออิเล็กตรอนเข้าชนกับตัวกลางแล้วมีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ที่มีลักษณะเป็นแบบสเปกตรัมต่อเนื่องออกมา ซึ่งต้นกำเนิดรังสีเอกซ์แบบนี้ ได้แก่ หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ส่วนต้นกำเนิดรังสีเอกซ์อีกชนิดที่ปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา ในลักษณะที่เป็นแบบสเปกตรัมของอนุกรมพลังงานเดี่ยว ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอนจากวงโคจรชั้นนอกเข้าสู่วงโคจรชั้นในแล้วปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-rays) ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์แบบนี้ ได้แก่ ไอโซโทปรังสี

2.4.1 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

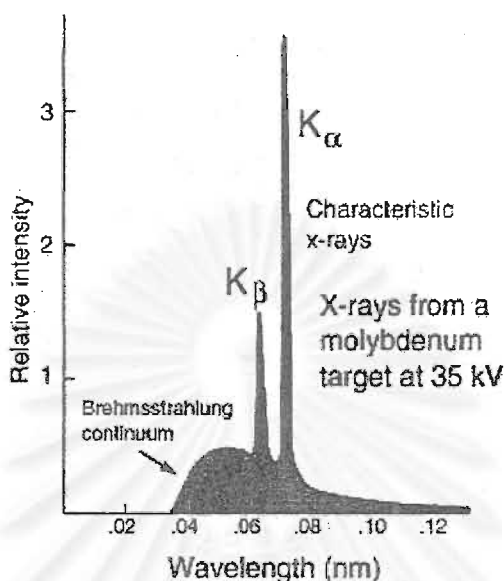
หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ จะมีหลักการโดยทั่วไปในการสร้างรังสีเอกซ์ คือ การเร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงภายในหลอดสุญญากาศด้วยความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนด อิเล็กตรอนที่ถูกเร่งจะเคลื่อนที่จากขั้วแคโทดไปชนเป้า (Target) ซึ่งเป็นส่วนของขั้วแอโนด จากนั้นรังสีเอกซ์จะถูกปลดปล่อยออกมาจากเป้านั้น

โดยส่วนใหญ่แล้วหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ หลอดที่เป็นสุญญากาศซึ่งอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งจะเคลื่อนที่อยู่ภายในหลอดนี้ โครงสร้างของขั้วแคโทด ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นไส้หลอด (Filament) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของอิเล็กตรอน โครงสร้างของขั้วแอโนด ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเป้า ซึ่งทำมาจากโลหะที่มีประสิทธิภาพสูงในการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา



รูปที่ 2.7 แผนภาพโครงสร้างของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์^[5]

รังสีเอกซ์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์นั้น ประกอบไปด้วยรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง และรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของวัสดุที่นำมาทำเป็นเป้า ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รังสีเอกซ์แบบสเปกตรัมต่อเนื่องและแบบเฉพาะตัวจากเป้าโมลิบดีนัม

2.4.2 ไอโซโทปรังสี

ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทปรังสี จะปลดปล่อยโฟตอนออกมาตามคุณสมบัติการสลายตัวของไอโซโทปรังสีนั้น ๆ ได้แก่ การสลายตัวแบบจับอิเล็กตรอน (Electron capture) การสลายตัวให้รังสีบีตา และการสลายตัวให้รังสีแอลฟา โดยส่วนใหญ่แล้วโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมาหลังจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสี จะมีลักษณะของสเปกตรัมเป็นแบบอนุกรมของพลังงานเดี่ยว ในกรณีที่ไอโซโทปรังสีสลายตัวแบบจับอิเล็กตรอนแล้วปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัวออกมา หรือมีลักษณะของสเปกตรัมเป็นแบบพลังงานเดี่ยว ในกรณีที่ไอโซโทปรังสีอยู่ในสภาวะกระตุ้นแล้วปล่อยรังสีแกมมาออกมา ตัวอย่างไอโซโทปรังสีที่นำมาใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทปรังสีบางชนิดที่ใช้กันโดยทั่วไป

Radioisotope source	Principal radioactive decay process	Half-life	Useful radiation		Typical practical source activity (Ci)	X-rays excited efficiently
			Type	Energy (keV)		
$^{55}_{26}\text{Fe}$	OEC ^a	2.7 y	Mn K x-rays	5.9	0.020	$^{13}\text{Al} - ^{24}\text{Cr K}$
$^{57}_{27}\text{Co}$	OEC	270 d	Fe K x-rays γ γ γ	6.4 14 122 136	0.5	$\leq ^{98}\text{Cf K}$
$^{109}_{48}\text{Cd}$	OEC	1.3 y	Ag K x-rays γ	22 88	0.003	$^{20}\text{Ca} - ^{43}\text{Tc K}$ $^{74}\text{W} - ^{92}\text{UL}$
$^{125}_{53}\text{I}$	OEC	60 d	Te K x-rays γ	27 35	-	$\leq ^{54}\text{Xe K}$
$^{153}_{64}\text{Gd}$	OEC	236 d	Eu K x-rays γ γ	42 97 103	0.010	$^{42}\text{Mo} - ^{58}\text{Ce K}$ $^{69}\text{Tm} - ^{92}\text{UL}$
$^{238}_{94}\text{Pu}$	α	89.6 y	UL x-rays	15-17	0.030	$^{20}\text{Ca} - ^{35}\text{Br K}$ $^{74}\text{W} - ^{82}\text{Pb L}$
$^{241}_{95}\text{Am}$	α	470 y	Np L x-rays γ γ	11-22 26 59.6	0.010	$^{50}\text{Sn} - ^{69}\text{Tm K}$

^a OEC = orbital-electron capture

2.5 หัววัดรังสีเอกซ์

โดยทั่วไปหัววัดรังสีที่ใช้ในการวัดรังสีเอกซ์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) หัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซ ได้แก่ หัววัดพรอพอร์ชันแนล (2) หัววัดรังสีชนิดเรืองแสง ได้แก่ หัววัดโซเดียมไอโอไดด์ [NaI(Tl)] (3) หัววัดรังสีชนิดกึ่งตัวนำ ได้แก่ หัววัด Si(Li) หัววัดรังสีทั้งสามชนิดแตกต่างกันที่คุณสมบัติของตัวกลางที่ทำอันตรกิริยากับรังสี ซึ่งรายละเอียดของหัววัดรังสีทั้งสามชนิดจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.5.1 หัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซแบบพรอพอร์ชันแนล

หัววัดรังสีชนิดนี้ ใช้ก๊าซเป็นตัวกลางในการทำอันตรกิริยากับรังสีโดยอาศัยหลักการแตกตัวเป็นประจุ (Ionization) ของก๊าซ เมื่อโฟตอนเข้าชนกับอะตอมของก๊าซโฟตอนนั้นจะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในชั้นวงโคจร ทำให้อิเล็กตรอนนั้นหลุดออกจากวงโคจรพร้อมกับพลังงานจลน์ที่ได้รับจากโฟตอนและเคลื่อนที่ชนกับอะตอมของก๊าซอื่น ๆ ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นคู่ประจุ ซึ่งคู่ประจุทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั้นจะมีจำนวนแปรผันตามพลังงานของรังสี คู่ประจุบวกและลบที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดและแอโนดของหัววัดรังสีเกิดเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาพลังงานและความเข้มของรังสีได้

ประสิทธิภาพและความสามารถในการแยกพลังงาน (Resolution) ของหัววัดชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและความดันภายในของก๊าซที่ใช้ การเลือกใช้หัววัดพรอพอร์ชันแนลในการวัดรังสีเอกซ์นั้นจะต้องคำนึงถึงชนิดของก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในหัววัด เนื่องจากการเกิดเอสเคปพีค (Escape peak) ซึ่งเกิดจากการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของก๊าซภายในหัววัดเมื่อถูกกลืนพลังงานจากรังสีเอกซ์จากภายนอก แล้วรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของก๊าซนั้นไม่ได้ถูกดูดกลืนไว้ภายในหัววัด ทำให้พลังงานที่ถูกกลืนจากรังสีเอกซ์จากภายนอกหัววัดนั้นมีค่าพลังงานน้อยกว่าค่าพลังงานเดิม ซึ่งค่าพลังงานที่น้อยลงนี้จะไปปรากฏอยู่ที่เอสเคปพีค ทำให้ประสิทธิภาพในการวัดรังสีเอกซ์จากภายนอกหัววัดนั้นมีค่าลดลง ส่วนค่าความสามารถในการแยกพลังงานของหัววัดพรอพอร์ชันแนลนั้นโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 18 % ที่พลังงาน 8 keV

2.5.2 หัววัดรังสีชนิดเรืองแสงแบบโซเดียมไอโอไดด์ [NaI(Tl)]

การเรืองแสงของสารเรืองแสงซึ่งเป็นตัวกลางของหัววัดรังสีเอกซ์นั้น เกิดขึ้นจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์กับอะตอมของตัวกลาง ซึ่งส่วนใหญ่อันตรกิริยาที่เกิดขึ้น คือ

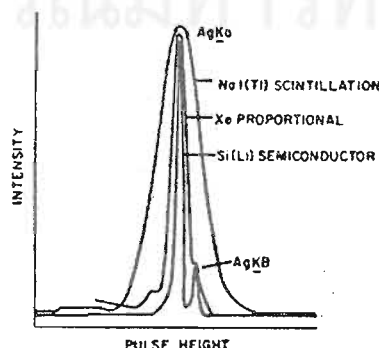
ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก โดยรังสีเอกซ์จะชนกับอิเล็กตรอนของอะตอมของสารเรืองแสง และถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอน ซึ่งโฟโตอิเล็กตรอนนี้จะไปทำอันตรกิริยากับสารเรืองแสง และให้แสงฟอตตอนออกมา โดยความเข้มของแสงฟอตตอนที่ปล่อยออกมาจะแปรผันตามพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เข้าทำอันตรกิริยาด้วย

หัววัดรังสีชนิดเรืองแสงแบบโซเดียมไอโอไดด์นี้ มีประสิทธิภาพสูงในการวัดรังสีเอกซ์แต่มีข้อจำกัดในการวัดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำและความสามารถในการแยกพลังงานต่ำกว่า หัววัดชนิดบรรจุก๊าซแบบพรอพอร์ชันแนล ก็มีค่าความสามารถในการแยกพลังงานประมาณ 78 % ที่พลังงาน 8 keV

2.5.3 หัววัดชนิดกึ่งตัวนำแบบ Si(Li)

หัววัดรังสีชนิดนี้อาศัยคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ โดยเมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบบริเวณที่มีความไวกับรังสีเอกซ์แล้ว จะเกิดการดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริกของธาตุซิลิกอนทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน และโฟโตอิเล็กตรอนนี้จะไปทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอนและหลุมช่องว่าง (Electron-hole pairs) ตามคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจำนวนของ electron-hole pairs ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะแปรผันตามพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบ

โดยทั่วไปหัววัดชนิดนี้จะต้องหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุณหภูมิและเพื่อรักษาความเป็นสารกึ่งตัวนำเอาไว้ และส่วนที่เป็นหัววัดนั้นจะต้องอยู่ภายในสุญญากาศ ประสิทธิภาพของหัววัดชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงเมื่อวัดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ แต่ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างมากเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น ความสามารถในการแยกพลังงานของหัววัดชนิดนี้ดีกว่าหัววัดรังสีเอกซ์ชนิดอื่นมาก โดยมีค่าความสามารถในการแยกพลังงานประมาณ 5 % ที่พลังงาน 8 keV

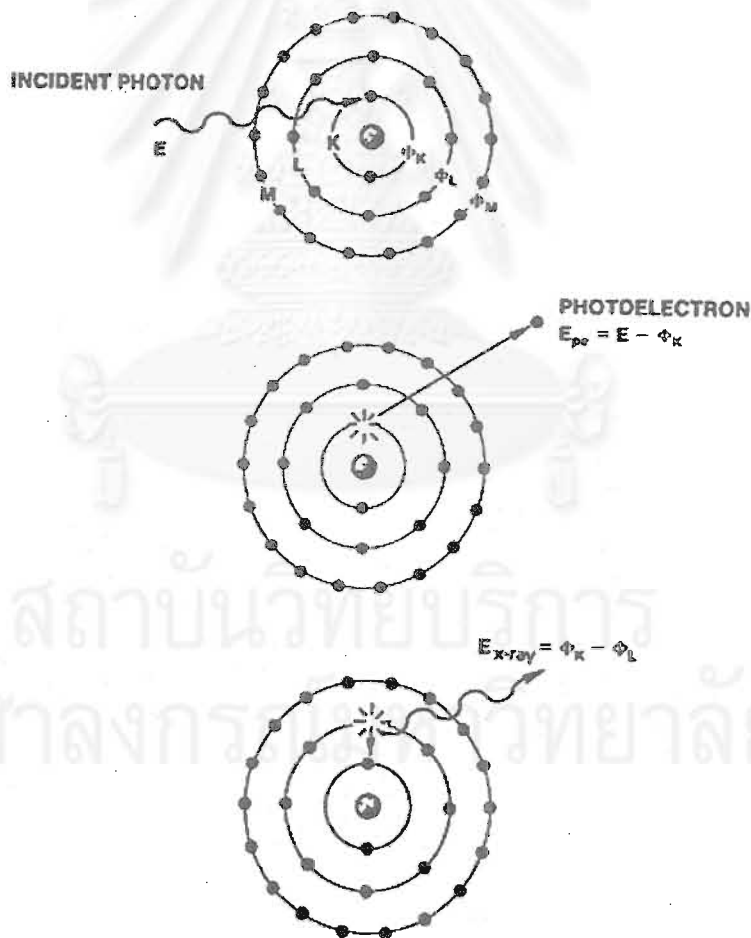


รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบความสามารถในการแยกพลังงานของหัววัดชนิดต่าง ๆ^[6]

2.6 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์¹⁶⁾

2.6.1 หลักการเรืองรังสีเอกซ์

จากอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับตัวกลาง ได้แก่ การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริกนั้น ผลที่เกิดขึ้นตามมาคือ การหลุดออกไปจากชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอน ซึ่งการหลุดออกไปจากชั้นวงโคจรนั้นทำให้มีช่องว่างเกิดขึ้นภายในชั้นวงโคจร ผลที่เกิดขึ้นตามมาคือ การแทนที่ของอิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้นวงโคจรถัดออกไป ซึ่งการแทนที่ของอิเล็กตรอนที่อยู่วงโคจรนอกไปแทนที่ยังที่ว่างในวงโคจรชั้นในนั้น อิเล็กตรอนจะคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า รังสีเอกซ์เรือง (Fluorescent x-rays) หรือ รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic x-rays) ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ถูกปล่อยออกมา นั้นจะประกอบไปด้วยอนุกรมของรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยวหลายพลังงานซึ่งแต่ละพลังงานจะมีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานระหว่างชั้นวงโคจรที่อิเล็กตรอนเข้าแทนที่ และมีค่าเฉพาะในแต่ละธาตุ ซึ่งอนุกรมของรังสีเอกซ์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแต่ละชั้นวงโคจรจะมีชื่อเรียกตามชั้นวงโคจรที่เกิดช่องว่างและถูกอิเล็กตรอนเข้าแทนที่ เช่น อนุกรมของรังสีเอกซ์ที่ถูกปล่อยออกมาจากการแทนที่ของอิเล็กตรอนที่วงโคจรชั้น K จะเรียกว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัวอนุกรม K ถึงแม้ว่าการแทนที่ของอิเล็กตรอนในช่องว่างนั้นจะเป็นอิเล็กตรอนจากวงโคจรชั้นใดก็ตาม

การกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวอนุกรมใด ๆ นั้น พลังงานของรังสีที่ใช้กระตุ้นจะต้องมีค่ามากพอในการทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากชั้นวงโคจรนั้น ซึ่งค่าพลังงานอย่างน้อยที่เพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปนั้นเรียกว่า แอ็บซอร์พชันเอจ (absorption edge)

2.6.2 ระบบวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

ระบบวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ แบ่งได้ออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบ EDX และระบบ WDX ซึ่ง ณ ที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะระบบ EDX เท่านั้น

ระบบ EDX (Energy-dispersive x-ray fluorescence analysis) เป็นระบบวิเคราะห์ธาตุที่ใช้หัววัดรังสีเอกซ์วัดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุต่าง ๆ โดยตรง โดยอาศัยคุณสมบัติของหัววัดรังสีเอกซ์ที่สามารถวัดและแยกพลังงานของรังสีเอกซ์แต่ละโฟตอนได้ ระบบ EDX ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้ คือ

ก. หัววัดรังสีเอกซ์ โดยทั่วไปใช้กันอยู่ 3 ชนิด ได้แก่

— หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดบรรจุก๊าซ ที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ หัววัดรังสีเอกซ์แบบพรอพอร์ชันแนล หัววัดชนิดนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ที่ไม่ต้องการความสามารถในการแยกพลังงานและเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ที่ต้องการประสิทธิภาพในการวัดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ

— หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดเรืองแสง ที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ หัววัดรังสีเอกซ์แบบ NaI(Tl) หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงมากในการวัดรังสีเอกซ์แต่มีความสามารถในการแยกพลังงานได้ต่ำ

— หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดกึ่งตัวนำ ที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ หัววัดรังสีเอกซ์แบบ Si(Li) หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดนี้มีความสามารถในการแยกพลังงานสูงมากและมีประสิทธิภาพสูงที่พลังงานต่ำ แต่ประสิทธิภาพจะลดลงต่ำมากเมื่อรังสีเอกซ์มีพลังงานสูงขึ้น หัววัดชนิดนี้เหมาะสำหรับงานวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีธาตุประกอบอยู่หลายชนิด

ข. ภาคขยายส่วนหน้า (preamplifier) เป็นส่วนที่หน้าที่สำหรับปรับแต่งสัญญาณที่ได้จากหัววัดให้มีรูปร่าง และขนาดที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์สัญญาณต่อไป

ค. ภาคขยายหลัก (amplifier) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่สำหรับเพิ่มขนาดของสัญญาณและกรองสัญญาณรบกวนเพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ต่อไป

ง. เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (analyzer) เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลที่ได้รับการปรับแต่งสัญญาณแล้ว และทำหน้าที่วิเคราะห์ขนาดของสัญญาณต่าง ๆ จากนั้นจะแยกเก็บสัญญาณขนาดต่าง ๆ ไว้ในหน่วยความจำ โดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA) ซึ่งจะสามารถแสดงผลในรูปสเปกตรัมของพลังงานและความเข้มของรังสีได้

2.7 ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และวิธีการวิเคราะห์^{[12], [9], [10]}

2.7.1 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide : SO₂)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์เจือปนอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ่านหิน (มีซัลเฟอร์ประมาณตั้งแต่ 0.3% ถึง 5%) และน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกสู่บรรยากาศในปริมาณสูง ได้แก่ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ที่ต้องเผาไหม้ถ่านหินปิโตรเลียม โรงงานอุตสาหกรรมโลหะ เป็นต้น ออกไซด์ของซัลเฟอร์ที่ปล่อยออกมาเกือบทั้งหมดเป็น SO₂ และบางส่วนเป็น SO₃ (Sulfur trioxide) ภายในครึ่งวันถึงสองวัน SO₂ จะถูกออกซิไดซ์เป็น SO₃ ถ้า SO₃ รวมกับไอน้ำก็จะกลายเป็นกรดซัลฟูริก (H₂SO₄) อัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ ขึ้นอยู่กับความชื้นและแสงอาทิตย์

2.7.2 คุณสมบัติของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| — น้ำหนักโมเลกุล | 64.06 |
| — ความหนาแน่น (ก๊าซ), กรัม/ลิตร | 2.927 ที่ 0 °C, 1 บรรยากาศ |

— ความถ่วงจำเพาะ (ของเหลว)	1.434 ที่ -10°C
— ปริมาตรโมเลกุล (ของเหลว), มิลลิลิตร	44.00
— จุดหลอมเหลว, $^{\circ}\text{C}$	-75.46
— จุดเดือด, $^{\circ}\text{C}$	-10.02
— อุณหภูมิวิกฤต, $^{\circ}\text{C}$	157.20
— ความดันวิกฤต, บรรยากาศ	77.70
— ความร้อนของการหลอม, กิโลแคลอรี/โมล	1.769
— ความร้อนของการกลายเป็นไอ, กิโลแคลอรี/โมล	5.96
— ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก	13.8 ที่ 14.5°C
— ความหนืด, ไดน์ วินาที/ตารางเซนติเมตร	0.0039 ที่ 0°C

2.7.3 วิธีการวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ วิธีที่ใช้กันทั่วไป มีดังนี้

2.7.3.1 การวัดความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยวิธี West-Gaeke

การวัดความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยวิธีนี้ มีชื่อเรียกอีกแบบว่า parosaniline เป็นวิธีที่ใช้สารละลาย potassium tetrachloromercurate (TCM) ดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศและจะจัดตัวอยู่ในรูปของสารเชิงซ้อน dichlorosulfitomercurate ซึ่งจะนำไปทำปฏิกิริยากับ parosaniline และ formaldehyde เกิดเป็น parosaniline methyl sulfonic acid ซึ่งมีสีแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืน โดยใช้เครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

2.7.3.2 วิธีวัดความนำไฟฟ้า

ผ่านตัวอย่างอากาศที่มี ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ลงไปในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดย SO_2 จะทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 และ SO_3 ทำปฏิกิริยากับน้ำ กลายเป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ทั้งคู่ ปริมาณของกรดซัลฟิวริกที่เกิดขึ้นจะถูกวัดได้จากความนำไฟฟ้าจำเพาะของสารละลาย ซึ่งจะแปรผันค่าสัดส่วนกับปริมาณ SO_2 และ SO_3 ในอากาศ วิธีนี้วัดความเข้มข้นจาก 0.01 ppm ถึง 20 ppm

2.7.3.3 วิธีทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ก๊าซ SO_2 และ SO_3 จะทำปฏิกิริยากับ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดย SO_2 จะทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 และ SO_3 จะทำปฏิกิริยากับน้ำ กลายเป็นกรดซัลฟิวริกทั้งคู่ นำสารละลายไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย BaCl_2 ซึ่งจะเกิดเป็นตะกอน BaSO_4 นำไปกรอง อบให้แห้ง เตาชั่งน้ำหนักและทำการคำนวณหาน้ำหนักของ SO_2



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และการดำเนินการวิจัย

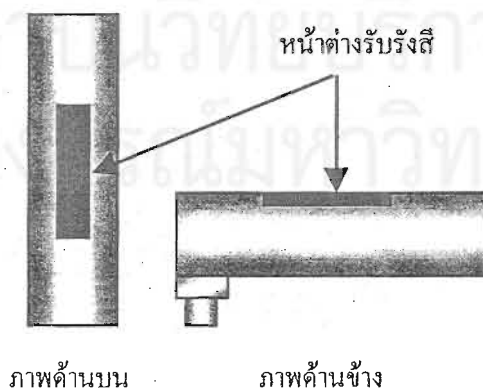
3.1 วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี สำหรับการพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี สำหรับเตรียมสารมาตรฐานและตัวอย่าง

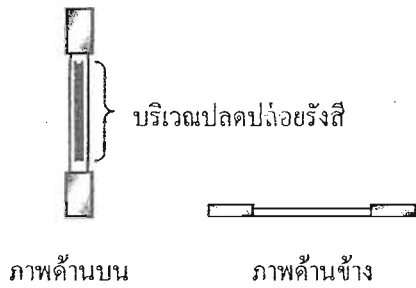
- กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.7 เซนติเมตร
- พาราฟิน ใช้สำหรับจำกัดขอบเขตสารละลายบนกระดาษกรอง
- แผ่นทองแดง อะลูมิเนียม และพลาสติก สำหรับใช้เป็นวัสดุรองพื้นกระดาษกรอง
- สารโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) สำหรับดูดจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารโซเดียมซัลไฟด์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) สำหรับใช้เป็นสารละลายกัมมันตมาตรฐาน
- ไมโครปิเปต

3.1.2 อุปกรณ์วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

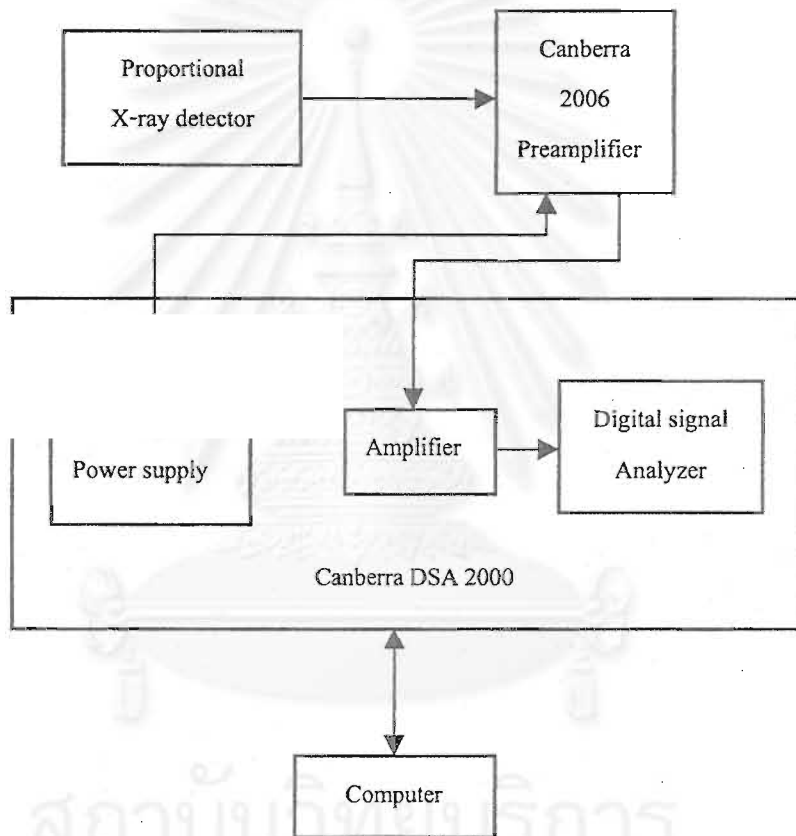
- หัววัดพรอพอร์ชันแนลชนิดบรรจุก๊าซทริปตอน
- ต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทปรังสี เหล็ก-55 ความแรงรังสี 7 มิลลิวรี จากบริษัท Amersham International plc
- อุปกรณ์ขยายและวิเคราะห์สัญญาณ รุ่น DSA 2000 จากบริษัท CANBERRA



รูปที่ 3.1 ลักษณะของหัววัดพรอพอร์ชันแนล



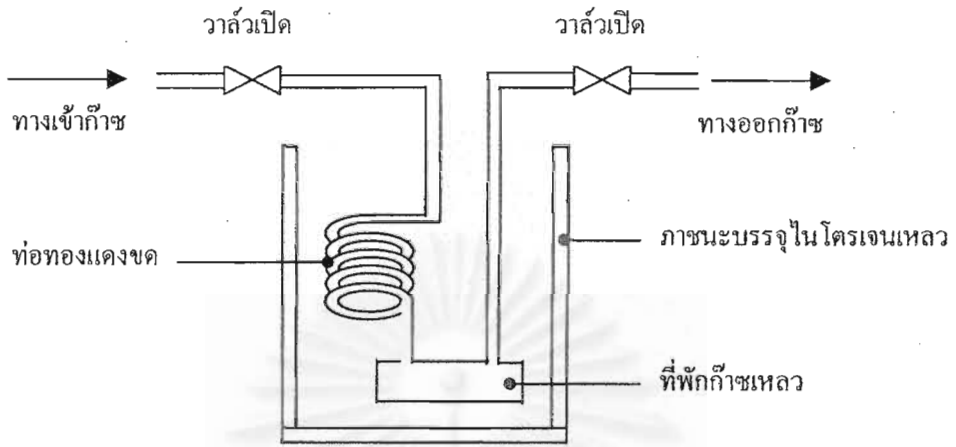
รูปที่ 3.2 ลักษณะของต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทปรังสีเหล็ก-55



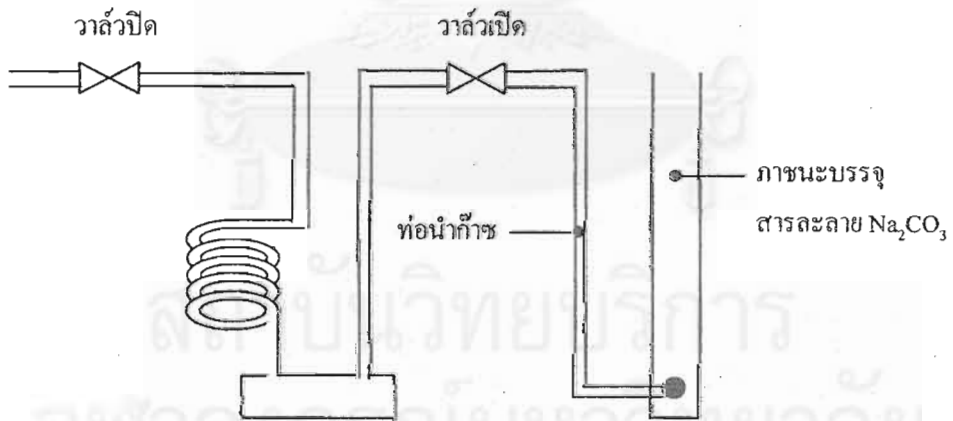
รูปที่ 3.3 แผนภาพระบบวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีแบบใช้หัววัดพรอพอร์ชันแนล

3.1.3 สารเคมีและอุปกรณ์สำหรับดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

- สารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก
- ชุดอุปกรณ์ความแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว
- ชุดอุปกรณ์ดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาตรฐาน ความเข้มข้น 500 ppm (1300 mg/m^3) จากบริษัท



รูปที่ 3.4 แผนภาพชุดอุปกรณ์ควบคุมความดันด้วยไนโตรเจนเหลว



รูปที่ 3.5 แผนภาพชุดอุปกรณ์ดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมงานขั้นต้น

ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาธาตุกัมมันต์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ศึกษาถึงปัญหาและข้อจำกัดต่าง ๆ ในการใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์วิเคราะห์หา ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดหาวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี ซึ่งจะนำมาใช้ในการออกแบบระบบวิเคราะห์ปริมาณธาตุกัมมันต์ และระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยใช้เทคนิคการควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว

3.2.2 ขั้นตอนการวิจัย

3.2.2.1 การศึกษาความเหมาะสมของระบบวิเคราะห์ตัวอย่างกัมมันต์บนกระดาษกรอง

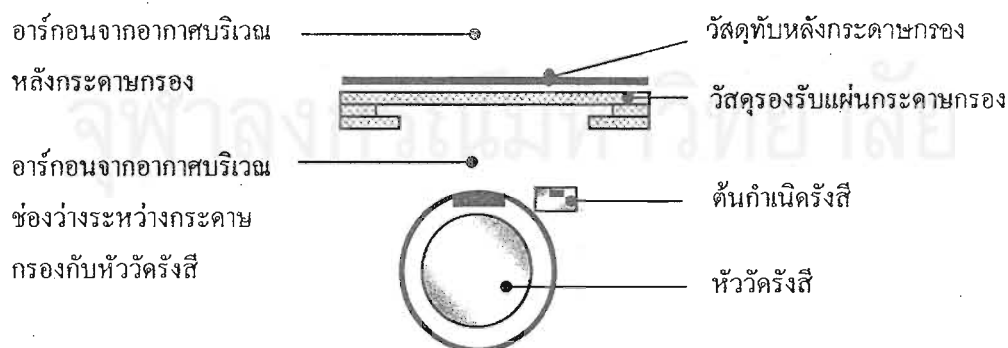
จากการใช้หัววัดพรอพอร์ชันแนลวัดรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสีเหล็ก-55 ซึ่งปล่อยรังสีเอกซ์อนุกรม K ของธาตุแมงกานีสนั้น ความสามารถในการแยกแยะพลังงานของหัววัดไม่สามารถแยกพีคออกจากกันได้ จึงแสดงให้เห็นเป็นลักษณะของพีคเดี่ยว โดยจุดกึ่งกลางของพีคที่แสดงออกมาจะมีค่าเป็นพลังงานประมาณ 5.9 keV ซึ่งตรงกับช่องวิเคราะห์สัญญาณ (Channel number) ที่ 285 และที่จุดกึ่งกลางพีครังสีเอกซ์อนุกรม K ของอาร์กอน และกัมมันต์จะแสดงออกมาเป็นค่าพลังงานประมาณ 2.9 keV และ 2.3 keV ซึ่งตรงกับช่องวิเคราะห์สัญญาณที่ 143 และ 112 ของระบบวิเคราะห์สัญญาณ ตามลำดับ

การใช้รังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสีเหล็ก-55 มาใช้ในการกระตุ้นธาตุกัมมันต์ให้เรืองรังสีเอกซ์พลังงาน 2.3 keV ออกมานั้น ความเข้มของรังสีเอกซ์พลังงาน 2.3 keV จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุกัมมันต์ต่อไป ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นองค์ประกอบในระบบวิเคราะห์กัมมันต์ จะต้องเป็นวัสดุที่เมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสีแล้วจะไม่ปลดปล่อยรังสีเอกซ์ที่มีผลรบกวนพีคพลังงาน 2.3 keV ออกมา นอกจากนี้การเลือกหัววัดพรอพอร์ชันแนลจะคำนึงถึงชนิดของก๊าซที่บรรจุอยู่ในหัววัด ซึ่งก๊าซที่บรรจุอยู่นั้นจะต้องไม่ก่อให้เกิดเอสเคปพีค (escape peak) ที่มีผลรบกวนพีคพลังงาน 2.3 keV ได้

3.2.2.2 การจักระบบวัดรังสีเอกซ์เรื่องที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ กำมะถัน

เนื่องจากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุกำมะถันด้วยระบบ EDX ซึ่งใช้หัววัดพรอพอร์ชันแนลบรรจุก๊าซคริสตอน และต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทปรังสีเหล็ก-55 นั้นถูกรบกวน โดยรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ปลดปล่อยมาจากก๊าซอาร์กอนซึ่งมีอยู่ในอากาศประมาณร้อยละ 1 ดังนั้นจึงต้องจักระบบวัดให้ถูกรบกวนจากรังสีเอกซ์เฉพาะตัวพลังงาน 2.9 keV ของอาร์กอนน้อยที่สุด ซึ่งบริเวณที่ระบบวัดถูกรบกวนคือ บริเวณช่องว่างระหว่างกระดาศกรองกับหัววัด และบริเวณช่องว่างหลังกระดาศกรอง ดังรูปที่ 3.6 วิธีแก้ปัญหานี้สามารถทำได้โดยหาระยะทางที่เหมาะสมระหว่างกระดาศกรองกับหัววัด และการใช้วัสดุทับหลังกระดาศกรองเพื่อมิให้รังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากอาร์กอนทะลุผ่านกระดาศกรองลงสู่หัววัดได้ นอกจากการรบกวนจากอาร์กอนแล้ว อีกสิ่งหนึ่งที่มีผลกระทบต่อความไวในการวัดหาปริมาณธาตุกำมะถันคือ รังสีเอกซ์กระเจิงกลับของรังสีเอกซ์พลังงาน 5.9 keV ซึ่งมาจากต้นกำเนิดรังสีเหล็ก-55 อันจะมีผลทำให้ฐานของสเปกตรัมในช่วงพลังงานที่น้อยกว่า 5.9 keV ยกสูงขึ้น ดังนั้นการเลือกวัสดุทับหลังกระดาศกรองนอกจากจะใช้ในการกำบังรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากอาร์กอนแล้ว จะต้องคำนึงถึงความเข้มของรังสีเอกซ์กระเจิงกลับจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิพลังงาน 5.9 keV อีกด้วย โดยวัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ อะลูมิเนียม ทองแดง และพลาสติก

การหาระยะทางที่เหมาะสมสามารถทำได้โดย เลื่อนตำแหน่งของกระดาศกรองออกจากหัววัดที่ระยะต่าง ๆ และพิจารณาจากค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนนับรังสีรวมสุทธิของตัวอย่างกำมะถันกับจำนวนนับรังสีรวมสุทธิของกระดาศกรองเปล่า (Sulphur/Blank ratio)

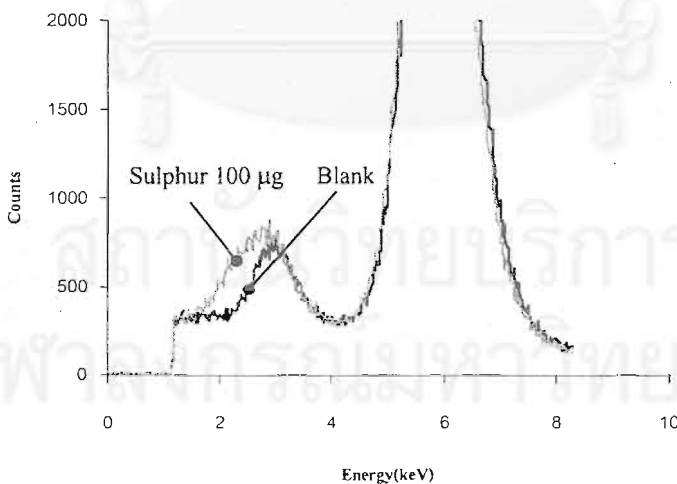


รูปที่ 3.6 อาร์กอนในอากาศที่สามารถรบกวนพีครังสีเอกซ์เฉพาะตัวของกำมะถัน

3.2.2.3 การศึกษาหาวิธีแก้ปัญหาค่าอันเนื่องมาจากการถูกรบกวนโดยรังสีเอกซ์เรืองของอาร์กอนในอากาศ

การจัดระบบวัดที่เหมาะสมนั้น สามารถลดการถูกรบกวนโดยรังสีเอกซ์เรืองของอาร์กอนได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถที่จะกำจัดปัญหานี้ให้หมดไปได้ เนื่องจากการวัดหาปริมาณกัมมะถันที่มีอยู่น้อยนั้น อาจทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวพลังงาน 2.3 keV ของกัมมะถันไม่สามารถมองเห็นเป็นพีคได้ แต่จะอยู่ปะปนกับพีคพลังงาน 2.9 keV ของอาร์กอน ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ดังนั้นการหาตำแหน่งช่วงพีคพลังงาน 2.3 keV ที่มีความเข้มสูงและถูกรบกวนโดยพีคของอาร์กอนน้อยที่สุด จะทำให้ได้ค่าความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองพลังงาน 2.3 keV ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการคำนวณหาปริมาณกัมมะถัน

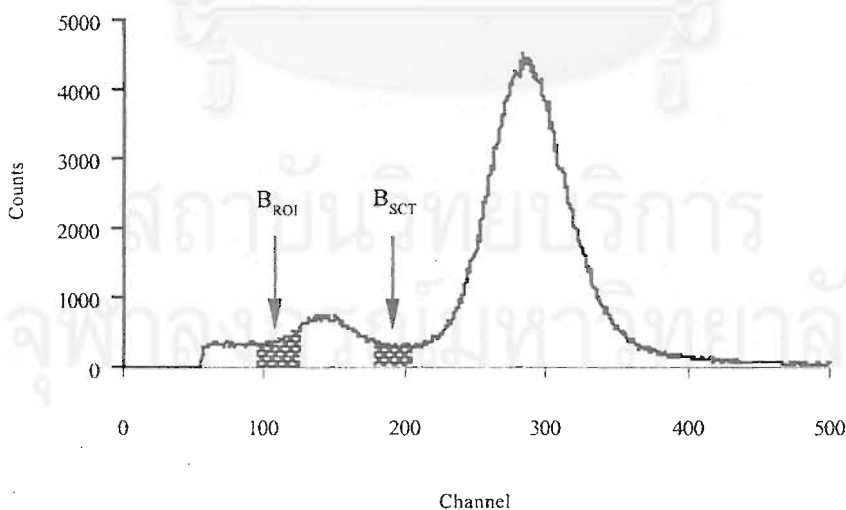
การหาตำแหน่งช่วงพีคพลังงาน 2.3 keV ที่เหมาะสมสามารถทำได้โดย การพิจารณาตลอดช่วงพีคพลังงาน 2.3 keV ของกัมมะถัน คือตั้งแต่ช่องวิเคราะห์ที่ 75 จนถึงช่องวิเคราะห์ที่ 105 จากนั้นทำการหาช่องวิเคราะห์ด้านต่ำที่เหมาะสม โดยกำหนดช่องวิเคราะห์ด้านสูงให้คงที่ และหาช่องวิเคราะห์ด้านสูงที่เหมาะสม โดยกำหนดช่องวิเคราะห์ด้านต่ำให้คงที่ ช่วงที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนนับรังสีรวมสุทธิของตัวอย่างกัมมะถัน กับจำนวนนับรังสีรวมสุทธิของกระดาษกรองที่ไม่มีกัมมะถัน (Sulphur/Blank ratio)



รูปที่ 3.7 ลักษณะพีคของตัวอย่างกัมมะถันปริมาณ 100 ไมโครกรัมเทียบกับพีคของตัวอย่างไม่มีกัมมะถัน

3.2.2.4 การสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับคำนวณหาปริมาณกัมมันต์

การวัดความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวพลังงาน 2.3 keV ของธาตุกัมมันต์ซึ่งมีปริมาณน้อย และถูกรบกวนโดยพีคของอาร์กอนนั้น ความเข้มของรังสีไม่สามารถแสดงให้เห็นเป็นพีคได้ ดังนั้นการนำค่าพื้นที่ใต้พีค (Net area) มาใช้สร้างกราฟเปรียบเทียบจึงไม่สามารถกระทำได้ การใช้ค่าจำนวนนับรวมสุทธิ (Net integral) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้สร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐาน แต่การใช้ค่าจำนวนนับรวมสุทธินั้น ได้รับผลกระทบจากการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์พลังงาน 5.9 keV ซึ่งทำให้ฐานของสเปกตรัมตั้งแต่พลังงาน 5.9 keV ลงมา มีค่ามากขึ้นไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับลักษณะของแผ่นกระดาษกรองและความเข้มข้นของตัวอย่าง ดังนั้นการนำค่าจำนวนนับรวมสุทธิมาใช้สร้างกราฟเปรียบเทียบ จึงจำเป็นต้องทำการปรับค่าเนื่องจากฐานของสเปกตรัมที่ไม่เท่ากันเสียก่อน โดยค่าอัตรานับรวมสุทธิที่ฐานของพีคกัมมันต์ในช่วงที่สนใจนั้น สามารถหาค่าได้จาก การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับรวมสุทธิที่ฐานของพีคกัมมันต์ในช่วงที่สนใจ (B_{ROI}) กับอัตรานับรวมสุทธิที่ฐานในช่วงทางด้านขวาของพีคกัมมันต์ (B_{SCT}) ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งกราฟความสัมพันธ์จากค่าทั้งสองสามารถสร้างได้โดยการวัดตัวอย่างกระดาษกรองที่ไม่มีกัมมันต์เป็นจำนวนหลาย ๆ ตัวอย่าง เมื่อได้กราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวแล้ว จึงนำค่า B_{SCT} ของกัมมันต์มาตรฐานแต่ละความเข้มข้นมาหาค่า B_{ROI} จากนั้นจึงทำการปรับค่าอัตรานับรวมสุทธิในช่วงที่สนใจของแต่ละความเข้มข้นให้มีความสัมพันธ์ที่ฐานของพีคกัมมันต์ในช่วงที่สนใจเท่ากัน



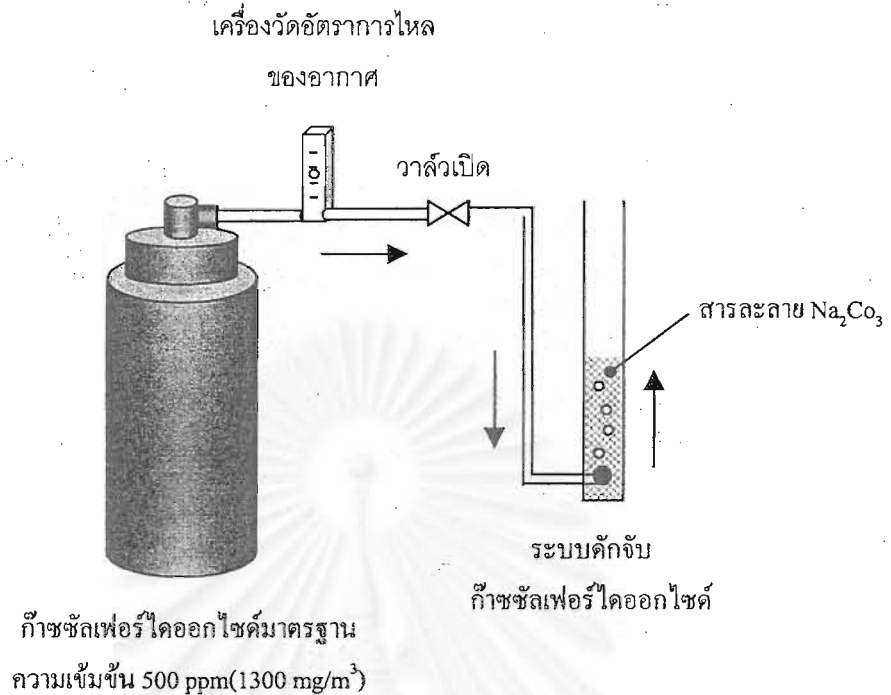
รูปที่ 3.8 ช่วงที่สนใจ (B_{ROI}) และช่วงทางด้านขวาของพีคกัมมันต์ (B_{SCT})

การปรับค่าอัตรานับรวมสุทธิพื้นฐานของพีคในช่วงที่สนใจของแต่ละตัวอย่าง กัมมะถันให้เท่ากันนั้น กระทำได้โดยปรับค่าไปที่อัตรานับรวมสุทธิอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าอัตรานับรวมสุทธิในช่วงที่สนใจของตัวอย่างสารละลายที่ไม่มีองค์ประกอบเป็นธาตุกัมมะถัน (Blank) เมื่อปรับค่าแล้ว จะได้ค่าอัตรานับรวมสุทธิใหม่ที่มีค่าอัตรานับรวมสุทธิพื้นฐานเท่ากันในแต่ละความเข้มข้นของแต่ละตัวอย่างกัมมะถัน

3.2.2.5 การออกแบบและสร้างระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การออกแบบระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้น จะอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับสารละลาย Na_2CO_3 เป็นหลัก ซึ่งสามารถทำได้โดยการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ผ่านไปในสารละลาย จากนั้นนำสารละลายไปหยดลงบนกระดาษกรองเพื่อนำไปวัดหาปริมาณธาตุกัมมะถันซึ่งเกิดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Na_2CO_3 เกิดเป็นสาร Na_2SO_3 ซึ่งจะละลายอยู่ในสารละลายนั้น จากหลักการที่กล่าวมานั้นนำไปออกแบบระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และหาประสิทธิภาพของระบบโดยใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาตรฐานความเข้มข้น 500 ppm (1300 mg/m^3) ปรับอัตราการไหลของก๊าซ 10 ลิตรต่อนาที ผ่านในสารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 10% ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการปล่อยก๊าซนาน 25, 45 และ 60 นาที จากนั้นนำสารละลายปริมาณ 50 ไมโครลิตรไปหยดลงบนกระดาษกรอง ซึ่งจะให้ได้ปริมาณกัมมะถันบนกระดาษกรอง 3 ค่าในการนำไปใช้คำนวณหาประสิทธิภาพการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 แผนภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ตารางที่ 3.1 การเตรียมค่าปริมาณกัมมันตมาตรฐานบนกระดาษกรองเพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เวลาที่ใช้ในการปล่อย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ด้วยอัตรา 10 ลิตรต่อนาที (นาที)	ปริมาณก๊าซ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่ปล่อยออกมาทั้งหมด (มิลลิกรัม)	ปริมาณธาตุกัมมัน ในสารละลาย 200 มิลลิลิตร (มิลลิกรัม)	ปริมาณธาตุกัมมัน ในสารละลาย 50 ไมโครลิตร (ไมโครกรัม)
25	325	162.5	40.625
45	585	292.5	73.125
60	780	390	97.5

3.2.2.6 การออกแบบและสร้างระบบควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว

การออกแบบระบบควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว จะอาศัยหลักการควบแน่นของก๊าซที่มีจุดเดือดสูงกว่าสารที่ใช้หล่อเย็น ซึ่งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียสซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิของไนโตรเจนที่มีสถานะเป็นของเหลว ดังนั้นเมื่อหล่อเย็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยไนโตรเจนเหลว จะทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ควบแน่นเป็นของเหลว จากหลักการดังกล่าว เมื่อทำการผ่านอากาศไปตามท่อที่ถูกหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลว ก๊าซไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในอากาศมากถึงร้อยละ 78 จะไม่ควบแน่น ส่วนก๊าซที่มีจุดเดือดสูงกว่าไนโตรเจนเหลว เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ อาร์กอนและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งจะทำให้ก๊าซต่าง ๆ เหล่านี้มีความเข้มข้นมากขึ้น

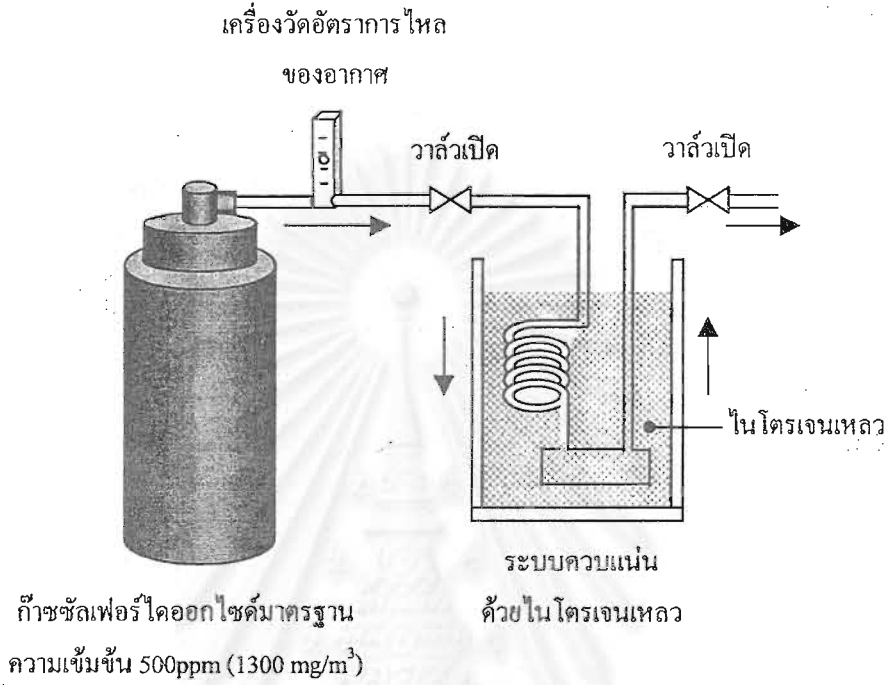
ระบบควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ได้แก่ ท่อทองแดงขดทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการหล่อเย็นและเพิ่มระยะทางในการเคลื่อนที่ของก๊าซที่ดูดจากอากาศ ที่พักก๊าซเหลวทำหน้าที่เก็บก๊าซที่ควบแน่นเป็นของเหลว และสุดท้ายคือภาชนะบรรจุไนโตรเจนเหลว ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบและสร้างระบบควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลวเพื่อใช้เป็นระบบต่อเนื่อง กับระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถของระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้สูงขึ้น

การหาประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ของระบบต่อเนื่องระหว่างระบบควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลวกับระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้น มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

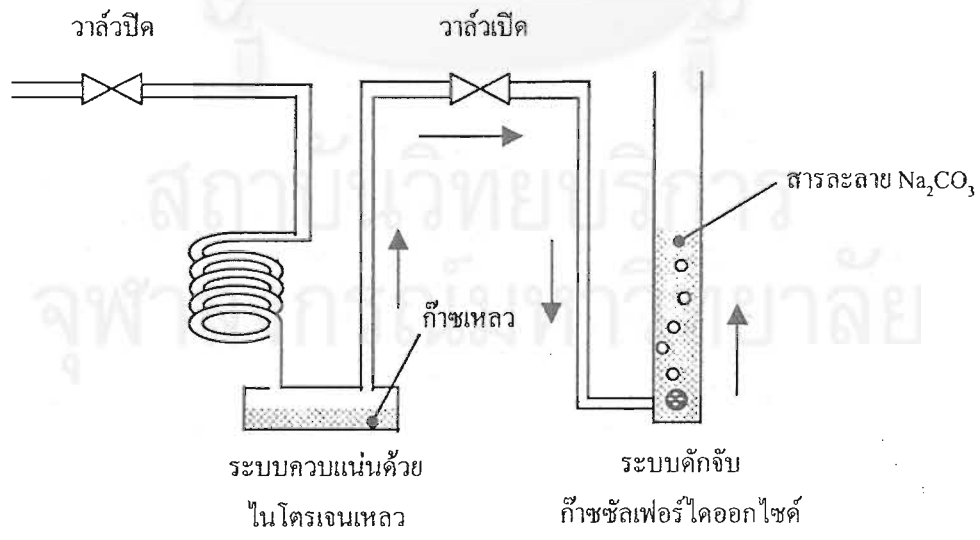
— ปล่องก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาตรฐาน ความเข้มข้น 1300 mg/m³ ผ่านไปยังระบบควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว ด้วยอัตราการไหล 25 ลิตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 3.10 เวลาที่ใช้ในการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คือ 10, 18 และ 24 นาที ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณกำมะถันบนกระดาษกรอง 3 ค่า ดังแสดงในตารางที่ 3.2

— เมื่อปล่อยก๊าซตามปริมาณที่กำหนดแล้ว ทำการต่อระบบควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลวกับระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าด้วยกัน จากนั้นนำไนโตรเจนเหลวซึ่งเป็นสารหล่อเย็นออกจากระบบควบแน่น จะทำให้ก๊าซเหลวที่อยู่ภายในที่พักก๊าซเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ ระเหยออกมาผ่านไปยังระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีสารละลาย Na₂CO₃ เข้มข้น 10% ปริมาณ 200 มิลลิลิตร เป็นตัวดักจับ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งอัตราการไหล

ของก๊าซจะเป็นไปตามอัตราการระเหยของก๊าซเหลว ปล่อยให้ก๊าซเหลวระเหยจนหมด จึงนำสารละลายปริมาณ 50 ไมโครลิตร ไปหยดบนกระดาษกรองเพื่อนำไปวัดหาปริมาณธาตุกำมะถัน และคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ



รูปที่ 3.10 แผนภาพของระบบควบคุมแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว ที่ใช้ในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์



รูปที่ 3.11 แผนภาพอุปกรณ์ดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หลังจากผ่านการควบคุมแน่นด้วยไนโตรเจนเหลวมาแล้ว

ตารางที่ 3.2 การเตรียมค่าปริมาณกำมะถันมาตรฐานบนกระดาษกรองเพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยผ่านวิธีควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว

เวลาที่ใช้ในการปล่อย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ด้วยอัตรา 25 ลิตรต่อนาที (นาที)	ปริมาณก๊าซ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่ปล่อยออกมาทั้งหมด (มิลลิกรัม)	ปริมาณธาตุกำมะถัน ในสารละลาย 200 มิลลิลิตร (มิลลิกรัม)	ปริมาณธาตุกำมะถัน ในสารละลาย 50 ไมโครลิตร (ไมโครกรัม)
10	325	162.5	40.625
18	585	292.5	73.125
24	780	390	97.5

3.2.2.7 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในสารละลายกับวิธีวิเคราะห์แบบอื่น

สารละลายที่ผ่านการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาตรฐานแล้วส่วนหนึ่งของแต่ละความเข้มข้นจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันด้วยระบบวิเคราะห์กำมะถันด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX ที่พัฒนาขึ้น และอีกส่วนหนึ่งจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอื่น เพื่อเป็นการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของระบบวิเคราะห์กำมะถันที่พัฒนาขึ้น ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกใช้เทคนิค ICP atomic emission spectrometry เป็นวิธีเปรียบเทียบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลของการวิจัย

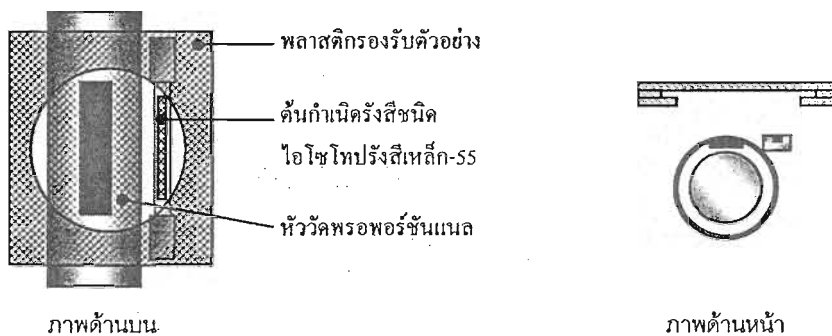
4.1 ความเหมาะสมของระบบวิเคราะห์ตัวอย่างกัมมันบนกระดาษกรอง

ความเหมาะสมของระบบวิเคราะห์ตัวอย่างกัมมันบนกระดาษกรอง จะถูกพิจารณาจากสิ่งต่างๆที่มีผลรบกวนต่อพีคพลังงาน 2.308 keV ของรังสีเอกซ์เนื่องจากกัมมัน ซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้ ได้แก่ ก๊าซที่บรรจุอยู่ในหัววัดพรอพอร์ชันแนล กระดาษกรองและวัสดุสำหรับรองรับแผ่นตัวอย่าง จากการพิจารณาเลือกชนิดของก๊าซภายในหัววัดพรอพอร์ชันแนลนั้น ได้เลือกใช้หัววัดพรอพอร์ชันแนลชนิดบรรจุก๊าซคริปทอน ซึ่งไม่ก่อให้เกิดการรบกวนจากเอสเคปพีคของรังสีเอกซ์กระเจิงกลับ กระดาษกรองที่เหมาะสมสำหรับดูดซับสารละลายตัวอย่างคือกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ซึ่งไม่มีองค์ประกอบของธาตุที่ปลดปล่อยรังสีเอกซ์เรื่อรบกวนพีคพลังงาน 2.3 keV ส่วนวัสดุรองรับแผ่นตัวอย่างนั้น เลือกใช้พลาสติกซึ่งไม่มีองค์ประกอบของธาตุที่ให้รังสีเอกซ์เรื่อรบกวนเช่นเดียวกัน

4.2 ระบบวัดที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุกัมมัน

4.2.1 ระยะทางที่เหมาะสมระหว่างหัววัดรังสีกับกระดาษกรอง

ระยะทางที่เหมาะสมระหว่างหัววัดกับกระดาษกรองนั้น สามารถลดการรบกวนเนื่องจากรังสีเอกซ์เรื่อของอาร์กอนได้ ซึ่งค่าที่เหมาะสมนั้นพิจารณาได้จากค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนนับรังสีรวมสุทธิของตัวอย่างกัมมันกับจำนวนนับรังสีรวมสุทธิของกระดาษกรองที่ไม่มีกัมมัน (Sulphur/Blank ratio) จากการพิจารณาค่าอัตราส่วนที่ระยะต่างๆพบว่า ที่ระยะห่างระหว่างหัววัดรังสีกับกระดาษกรองที่เหมาะสมของระบบคือ 4 มิลลิเมตร ส่วนที่ระยะต่ำกว่า 4 มิลลิเมตรนั้น ไม่สามารถจัดระบบวัดได้ เนื่องจากติดความหนาของแผ่นรองรับตัวอย่าง และความหนาของดินกัมมันตรังสี

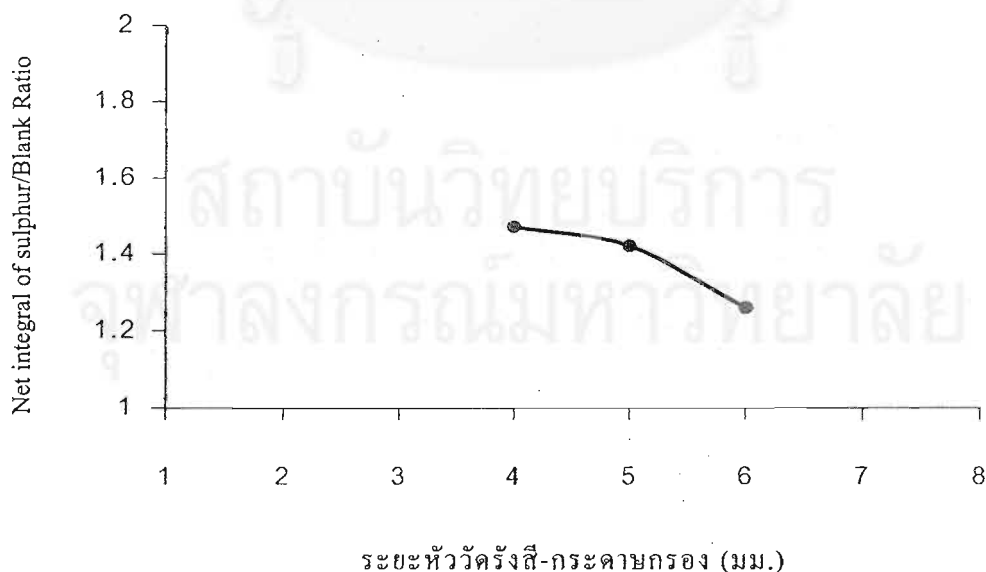


รูปที่ 4.1 การจัดระบบวัดรังสีเอกซ์เนื่องจากกัมมะถัน โดยใช้หัววัดพรอพอร์ซันเนลชนิดบรรจุ
ก๊าซคริสตอน และคั่นกำเนิดรังสีชนิด ไอโซโทปรังสีเหล็ก-55

ตารางที่ 4.1 การหาระยะทางที่เหมาะสมระหว่างหัววัดรังสีกับกระดาษกรอง

ระยะหัววัด – ตัวอย่าง (มิลลิเมตร)	จำนวนนับรวมสุทธิ		ค่าอัตราส่วนจำนวนนับรวมสุทธิ (Sulphur/Blank Ratio)
	กระดาษกรองเปล่า	กัมมะถัน 100 ไมโครกรัม	
4*	9386	13800	1.47
5	17034	24102	1.42
6	25600	32285	1.26

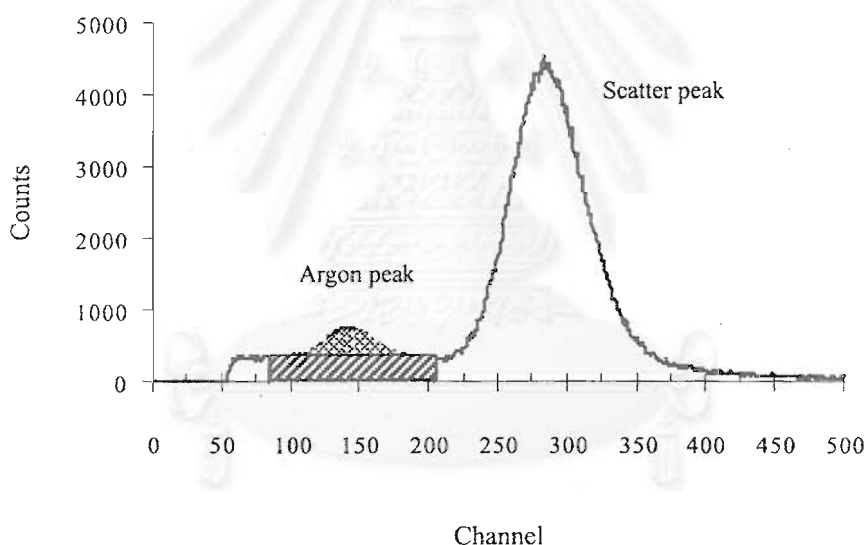
* ระยะใกล้สุดที่สามารถวัดได้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Sulphur/Blank ratio กับระยะห่างระหว่างหัววัดรังสีเอกซ์กับ
กระดาษกรอง

4.2.2 วัสดุทับหลังกระดาศกรองที่เหมาะสม

วัสดุที่นำมาใช้ในการรองพื้นกระดาศกรองนั้น จะต้องไม่ก่อให้เกิดการรบกวนจากการเรืองรังสีเอกซ์ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ และเป็นวัสดุที่มีค่าการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์ต่ำ ซึ่งวัสดุที่มีความเป็นไปได้ และหาได้ง่าย ได้แก่ อะลูมิเนียม ทองแดง และพลาสติก โดยวัสดุทั้งสามชนิดสามารถลดการรบกวนจากรังสีเอกซ์เรืองของอาร์กอนได้ และเมื่อพิจารณาจากค่าจำนวนนับรวมสุทธิพื้นฐานของพีคกำมะถัน ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่างช่องวิเคราะห์ที่ 85 จนถึงช่องวิเคราะห์ที่ 205 ดังรูปที่ 4.3 พบว่า อะลูมิเนียมและทองแดงมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนพลาสติกนั้นมีความสูงกว่า อะลูมิเนียมและทองแดง ในระบบวัดนี้ได้เลือกใช้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุทับหลังแผ่นกระดาศกรอง ส่วนรังสีเอกซ์เรืองพลังงาน 1.5 keV ของอะลูมิเนียมนั้นไม่มีผลรบกวนระบบ เนื่องจากมีพลังงานต่ำจึงถูกดูดกลืนหมดโดยกระดาศกรอง



รูปที่ 4.3 พื้นฐานของพีคกำมะถันที่ได้รับผลกระทบจากการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์พลังงาน 5.9 keV จากต้นกำเนิดรังสีเหล็ก-55

ตารางที่ 4.2 ฐานของพีคกำมะถันเมื่อใช้วัสดุทับหลังกระดากชนิดต่าง ๆ

Backing material	Net integral	Net area of argon	Net integral of base
-	34391	24166	10225
Plastic	22634	10205	12429
Copper	18921	9642	9279
Aluminum	19052	9930	9122

4.2.3 วิธีแก้ปัญหอันเนื่องมาจากการถูกรบกวนโดยรังสีเอกซ์เรืองของอาร์กอนในอากาศ

จากการหาดำแหน่งช่วงพีคกำมะถันที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่า Sulphur/Blank ratio และค่าจำนวนนับรวมสุทธิ สามารถคัดเลือกช่องวิเคราะห์ด้านต่ำ (Low Channel) ที่เหมาะสมได้ 3 ค่าคือ ช่องวิเคราะห์ที่ 85, 90 และ 95 ดังตารางที่ 4.3 ส่วนช่องวิเคราะห์ด้านสูง (High Channel) ที่เหมาะสมมี 3 ค่าเช่นเดียวกันคือ ช่องวิเคราะห์ที่ 115, 120 และ 125 ดังตารางที่ 4.4 เมื่อนำช่องวิเคราะห์ด้านต่ำและด้านสูงที่เหมาะสมมาจับคู่กัน จะได้ช่วงระหว่างช่องวิเคราะห์ทั้งหมดจำนวน 9 ช่วง เมื่อพิจารณาจากค่า Sulphur/Blank ratio และค่าจำนวนนับรวมสุทธิ พบว่าช่วงที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วงระหว่างช่องวิเคราะห์ 95-120 ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่า Sulphur/Blank ratio สูงเป็นอันดับที่สอง แต่ให้ค่าจำนวนนับรวมสุทธิต่ำกว่าช่วงระหว่างช่องวิเคราะห์ 95-115 ซึ่งมีค่า Sulphur/Blank ratio สูงที่สุด

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนของ Sulphur/Blank เมื่อเลือกช่องวิเคราะห์ด้านต่ำต่าง ๆ กัน โดยกำหนดช่องวิเคราะห์ด้านสูงคงที่

Low Channel	High Channel	net integral counts		Sulphur/Blank ratio
		Blank	100 µg sulphur	
75	150	27658	39198	1.42
80	150	26766	38086	1.42
85	150	25766	36933	1.43
90	150	24769	35424	1.43
95	150	23675	33756	1.43
100	150	22476	31759	1.41
105	150	21577	29424	1.36
110	150	20401	26885	1.32

ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนของ Sulphur/Blank เมื่อเลือกช่องวิเคราะห์ด้านสูงต่าง ๆ กัน โดยกำหนดช่องวิเคราะห์ด้านต่ำคงที่

Low Channel	High Channel	Net integral counts		Sulphur/Blank ratio
		Blank	100 µg sulphur	
75	150	27658	39198	1.42
75	145	24550	35869	1.46
75	140	21279	32418	1.52
75	135	18262	28966	1.59
75	130	15337	25396	1.66
75	125	12784	21957	1.72
75	120	10701	18726	1.75
75	115	8965	15728	1.75
75	110	7515	12852	1.71
75	105	5947	10259	1.73
75	100	5194	7832	1.51

ตารางที่ 4.5 อัตราส่วน Sulphur/Blank เมื่อเลือกช่วงพีคต่าง ๆ กัน

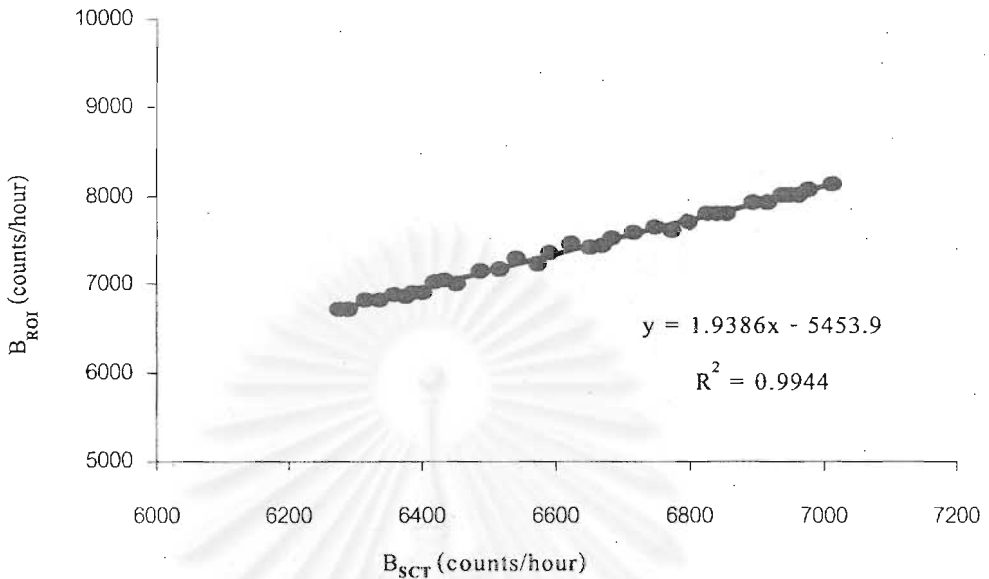
Low Channel	High Channel	Net integral counts		Sulphur/Blank Ratio
		Blank	100 µg sulphur	
85	125	10892	19692	1.81
90	125	9895	18183	1.84
95	125	8801	16515	1.88
85	120	8809	16461	1.87
90	120	7812	14952	1.91
95	120	6718	13284	1.98
85	115	7073	13463	1.90
90	115	6076	11954	1.97
95	115	4982	10286	2.06

4.2.4 การสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับคำนวณหาปริมาณกำมะถัน

4.2.4.1 จากการวัดแผ่นตัวอย่างกระดาษกระดาษกรองที่ไม่มีกำมะถันเป็นจำนวนหลาย ๆ ตัวอย่าง เพื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า B_{ROI} กับค่า B_{SCT} สามารถนำสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้ในการปรับค่าอัตรานับรวมสุทธิของช่วงที่สนใจเพื่อให้ช่วงนั้นมีค่าฐานของพีคที่เท่ากัน ซึ่งสมการความสัมพันธ์ที่ได้ คือ

$$B_{ROI} = (1.9386 \times B_{SCT}) - 5453.9 \quad (4.1)$$

เมื่อ B_{ROI} คือ อัตรานับรวมสุทธิที่ฐานในช่วงที่สนใจ
 B_{SCT} คือ อัตรานับรวมสุทธิที่ฐานด้านขวาของพีคกำมะถัน



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับรวมสุทธิที่ฐานในช่วงที่สนใจ (B_{ROI}) กับอัตรานับรวมสุทธิที่ฐานด้านขวาของพีคกัมมะถัน (B_{SCT})

4.2.4.2 การสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานด้วยวิธี Normalization

จากกราฟความสัมพันธ์ในหัวข้อ 4.2.4.1 สามารถคำนวณหาค่า B_{ROI} ของแต่ละตัวอย่างกัมมะถันได้ โดยการแทนค่า B_{SCT} ลงในสมการ (4.1) จากนั้นนำค่า B_{ROI} และค่าอัตรานับรวมสุทธิอ้างอิง ซึ่งเป็นค่าอัตรานับรวมสุทธิในช่วงที่สนใจของตัวอย่างสารละลายที่ไม่มีองค์ประกอบเป็นธาตุกัมมะถัน (Blank) มาใช้ในการปรับค่าอัตรานับรวมสุทธิในช่วงที่สนใจ จะได้ค่าอัตรานับรวมสุทธิใหม่ที่มีอัตรานับที่ฐานเท่ากันในแต่ละความเข้มข้นของแต่ละตัวอย่างกัมมะถัน จากที่กล่าวมานั้นสามารถเขียนเป็นสมการปรับค่าได้ดังนี้

$$I_{NML} = I_{ROI} + (N - B_{ROI}) \quad (4.2)$$

เมื่อ	B_{ROI}	คือ	อัตรานับรวมสุทธิที่ฐานในช่วงที่สนใจ
	I_{ROI}	คือ	อัตรานับรวมสุทธิในช่วงที่สนใจ
	N	คือ	อัตรานับรวมสุทธิอ้างอิงในช่วงที่สนใจ
	I_{NML}	คือ	อัตรานับรวมสุทธิปรับค่าแล้วในช่วงที่สนใจ

จากการวัดความเข้มรังสีเอกซ์เรียงในช่วงที่สนใจของกัมมะถันมาตรฐานที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่าตัวอย่างที่ไม่มีกัมมะถัน (Blank) มีค่าอัตรานับรวมสุทธิ 6,724 counts ต่อชั่วโมง ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะถูกนำมาใช้เป็นตัวอ้างอิง (N) เมื่อแทนค่าในสมการ (4.2) จะได้สมการที่ใช้ในการปรับค่าสำหรับสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐาน คือ

$$I_{NML} = I_{ROI} + (6724 - B_{ROI}) \quad (4.3)$$

สมการที่ (4.1) และสมการที่ (4.3) จะถูกนำมาใช้ในการปรับค่าอัตรานับรวมสุทธิในช่วงที่สนใจของแต่ละตัวอย่างกัมมะถันมาตรฐานที่มีปริมาณกัมมะถันต่าง ๆ กัน เพื่อนำค่าที่ปรับใหม่ไปสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐาน ซึ่งผลการสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณกัมมะถันบนกระดาษกรองกับอัตรานับรวมสุทธิในช่วงที่สนใจนั้น ความสัมพันธ์ที่ได้เป็นไปตามสมการ ดังนี้

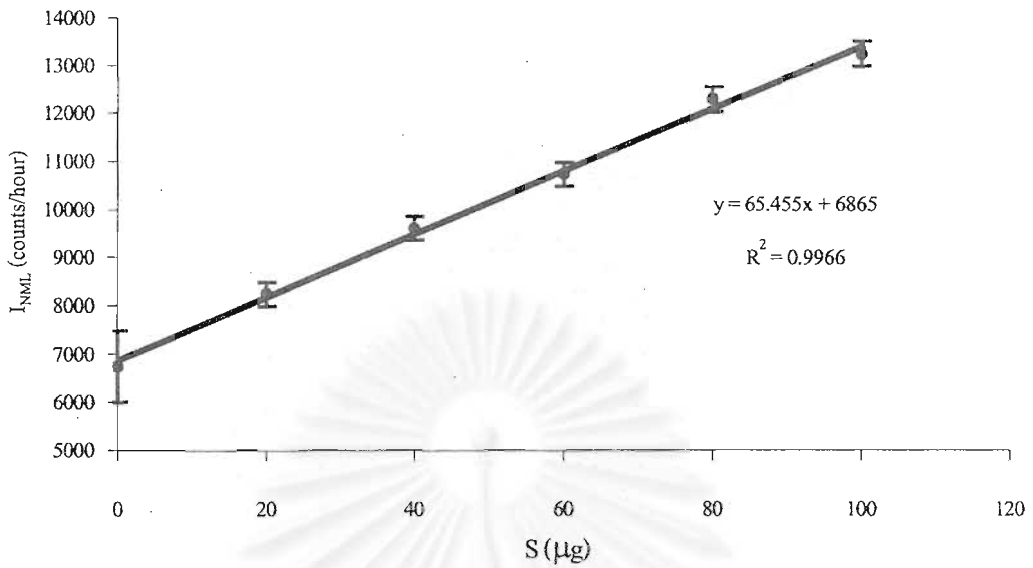
$$S = \frac{(I_{NML} - 6865)}{65.455} \quad (4.4)$$

เมื่อ S คือ ปริมาณกัมมะถันในหน่วยไมโครกรัม

ตารางที่ 4.6 การปรับค่าอัตรานับรวมสุทธิในช่วงที่สนใจเพื่อนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐาน

Sulphur (μg)	I_{ROI} (Counts/hour)	B_{SCT} (Counts/hour)	B_{ROI}^* (Counts/hour)	I_{NML} (Counts/hour)
0	6724	6274	6709	6739 ± 737
20	8612	6477	7102	8234 ± 251
40	9336	6145	6459	9601 ± 250
60	10065	5946	6073	10716 ± 250
80	12672	6478	7104	12292 ± 259
100	13290	6305	6769	13245 ± 259

*ได้จากการแทนค่าในสมการ 4.1



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกัมมะถัน (S) กับอัตรานับรวมสุทธิปรับค่าแล้ว (I_{NML})

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.5 นั้น เมื่อนำสมการ (4.4) มาคำนวณหาค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ (Detection limit) ของระบบวิเคราะห์ปริมาณกัมมะถันในช่วงความเชื่อมั่น 99.7 % (3σ) ได้เท่ากับ 9.33 ไมโครกรัมสำหรับเวลาวัดรังสี 3600 วินาที

4.2.5 ประสิทธิภาพของระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

จากการออกแบบระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และระบบควบคุมด้วยไนโตรเจนเหลว นั้น ปริมาณกัมมะถันบนกระดาษกรองสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกดักจับได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.8 และเมื่อนำตัวอย่างสารละลายที่ผ่านการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยไม่ผ่านระบบควบคุมด้วยไนโตรเจนเหลวมาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางมาตรฐานโดยใช้ เทคนิค ICP atomic emission spectrometry เป็นวิธีวิเคราะห์ และนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของระบบ พบว่า ประสิทธิภาพการดักจับมีค่าเฉลี่ยประมาณ 95 % ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และเมื่อนำค่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระบบ XRF ที่พัฒนาขึ้นเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP พบว่าทุกตัวอย่างที่วิเคราะห์นั้นผลการวิเคราะห์ด้วยระบบ XRF มีค่าน้อยกว่าผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.7 ปริมาณ SO₂ ที่ถูกดูดซับได้โดยการปล่อย SO₂ มาตรฐานความเข้มข้น 500 ppm (1300 mg/m³) ด้วยอัตรา 10 ลิตรต่อนาที

ระยะเวลาในการปล่อย SO ₂ มาตรฐาน (นาที)	ปริมาณกำมะถันที่วัดได้บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม)	คำนวณเป็นปริมาณ SO ₂ ในสารละลาย 200 มิลลิลิตร (มิลลิกรัม)	ปริมาณ SO ₂ มาตรฐานที่ปล่อยออกมา (มิลลิกรัม)
25	35.22 ± 3.82	281.76 ± 30.56	325
45	64.82 ± 3.82	518.56 ± 30.56	585
60	81.34 ± 3.94	650.72 ± 31.52	780

ตารางที่ 4.8 ปริมาณ SO₂ ที่ดูดซับได้โดยการปล่อย SO₂ มาตรฐานความเข้มข้น 500 ppm (1300 mg/m³) ผ่านระบบควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลวด้วยอัตรา 25 ลิตรต่อนาที

ระยะเวลาในการปล่อย SO ₂ มาตรฐาน (นาที)	ปริมาณกำมะถันที่วัดได้บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม)	คำนวณเป็นปริมาณ SO ₂ ในสารละลาย 200 มิลลิลิตร (มิลลิกรัม)	ปริมาณ SO ₂ มาตรฐานที่ปล่อยออกมา (มิลลิกรัม)
10	36.10 ± 3.80	288.8 ± 30.40	325
18	63.01 ± 3.87	504.08 ± 30.96	585
24	80.04 ± 3.91	640.32 ± 31.28	780

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการดักจับ SO₂ ของระบบที่ไม่ควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP atomic emission spectrometry

ปริมาณ SO ₂ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP atomic emission spectrometry (มิลลิกรัม)	ปริมาณ SO ₂ มาตรฐานที่ปล่อยผ่านสารละลาย Na ₂ CO ₃ ปริมาณ 200 มิลลิลิตร (มิลลิกรัม)	ประสิทธิภาพการดักจับ SO ₂ %
319.6 ± 5.21	325	98.33
518.8 ± 8.77	585	88.68
757.6 ± 8.26	780	97.13

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันระหว่าง 2 วิธีวิเคราะห์

ปริมาณ SO ₂ มาตรฐาน ที่ปล่อยผ่านสารละลาย Na ₂ CO ₃ ปริมาณ 200 มิลลิลิตร (มิลลิกรัม)	ปริมาณ SO ₂ ที่วิเคราะห์ด้วย เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX ที่พัฒนาขึ้น (1) (มิลลิกรัม)	ปริมาณ SO ₂ ที่วิเคราะห์ด้วย เทคนิค ICP atomic emission spectrometry (2) (มิลลิกรัม)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างของวิธี วิเคราะห์ทั้งสองวิธี (1) - (2) %
325	281.76 ± 30.56	319.6 ± 5.21	-10.66
585	518.56 ± 30.56	518.8 ± 8.77	-2.92
780	650.72 ± 31.52	757.6 ± 8.26	-18.32



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ระบบวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันที่เหมาะสม

ระบบวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยในครั้งนี้ได้พยายามแก้ปัญหาการถูกรบกวนโดยอาร์กอนในอากาศซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เนื่องจากไม่ได้ทำการวัดในระบบสุญญากาศหรือใช้ก๊าซบางชนิดไหลผ่าน เช่น ไนโตรเจน ทั้งนี้เพราะต้องการให้ระบบวัดประหยัดและใช้งานได้สะดวกที่สุด แต่สามารถที่จะลดความรุนแรงของการรบกวนที่เกิดขึ้นได้ โดยการจัดอุปกรณ์วัด (geometry) ที่เหมาะสม และการหาตำแหน่งของช่วงพีคของกำมะถันที่เหมาะสม

ในส่วนของการจัดอุปกรณ์วัดที่เหมาะสมนั้น ระยะทางระหว่างหัววัดรังสีกับแผ่นกระดาษกรองเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งสิ่งที่มีผลกับระยะทางดังกล่าวประกอบไปด้วย ลักษณะของหัววัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสี และลักษณะของวัสดุรองรับตัวอย่าง ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้หัววัดที่มีลักษณะของหน้าตัดรับรังสี ดังรูปที่ 3.1 และเลือกใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีลักษณะ ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งลักษณะของทั้งสองนั้นมีความเหมาะสมกัน สามารถลดข้อจำกัดในเรื่องของความหนาของแหล่งกำเนิดรังสีในกรณีที่ใช้แหล่งกำเนิดแบบวงแหวน แต่ในระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นมีข้อจำกัดเพียงความหนาของวัสดุรองรับตัวอย่างซึ่งทำให้ไม่สามารถทำการทดลองที่ระยะทางระหว่างหน้าตัดของหัววัดรังสีกับกระดาษกรองที่ต่ำกว่า 4 มิลลิเมตรได้ นอกจากระยะทางที่เหมาะสมแล้ว การเลือกแผ่นวัสดุสำหรับทับหลังกระดาษกรองก็สามารถช่วยลดการรบกวนจากรังสีเอกซ์เรืองของอาร์กอนในอากาศที่จะทะลุผ่านกระดาษกรองลงมาได้

การหาตำแหน่งของช่วงพีคของกำมะถันที่เหมาะสม สามารถลดการรบกวนจากรังสีเอกซ์เรืองของอาร์กอนได้มาก จากการเปรียบเทียบค่า Sulphur/Blank ratio ระหว่างช่วงพีคที่เหมาะสม (ช่องวิเคราะห์ที่ 95-120) กับช่วงที่เลือกตลอดทั้งพีค (ช่องวิเคราะห์ที่ 75-150) พบว่าช่วงพีคที่เหมาะสมนั้น มีค่า Sulphur/Blank ratio มากกว่า 39 %

5.1.2 การสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับคำนวณหาปริมาณกำมะถัน

เนื่องจากกำมะถันบนกระดาษกรองที่จะนำไปวิเคราะห์มีปริมาณน้อย และการรบกวนจากฟลักของรังสีเอกซ์เรียงจากอาร์กอนนั้น ทำให้ไม่สามารถมองเห็นฟลักของรังสีเอกซ์เรียงจากกำมะถันได้ ดังนั้นการใช้ค่าจำนวนนับรวมสุทธิ (Net integral counts) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำไปใช้แต่การเลือกใช้ค่าดังกล่าวนี้ เกิดปัญหาอันเนื่องมาจากกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิทำให้ฐานของสเปกตรัมสูงต่ำไม่เท่ากันในแต่ละตัวอย่าง ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้การปรับค่า (Normalization) ปรับค่าอัตรานับรวมสุทธิในช่วงที่สนใจ เพื่อให้แต่ละตัวอย่างมีค่าอัตรานับรวมสุทธิที่ฐานของช่วงที่สนใจเท่ากัน ซึ่งค่าอัตรานับรวมสุทธิที่ปรับค่าแล้วนั้น จะนำมาใช้ในการสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับคำนวณหาปริมาณกำมะถัน จากกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสามารถคำนวณหาขีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันบนกระดาษกรองได้เท่ากับ 9.33 ไมโครกรัม ซึ่งเป็นค่าที่สามารถจะวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในปริมาณที่น้อยกว่างานวิจัยที่ผ่านมา^{[2], [4]}

กราฟเปรียบเทียบมาตรฐานที่ได้นั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากการใช้วิธี Normalization นั้นต้องใช้ความสัมพันธ์ในสมการที่ 4.2 เป็นสมการปรับค่า ซึ่งในสมการนี้ตัวแปรที่มีแนวโน้มว่าจะคลาดเคลื่อน คือ ค่าอัตรานับรวมสุทธิอ้างอิงในช่วงที่สนใจ (N) ซึ่งค่า N ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ได้จากการเฉลี่ยค่าอัตรานับรวมสุทธิในช่วงที่สนใจของตัวอย่างกระดาษกรองที่ไม่มีกำมะถัน และ Na_2CO_3 ดังนั้นถ้าค่าเฉลี่ยที่ได้นั้นได้มาจากข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนจะทำให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ผิดไปจากค่าจริง ซึ่งจะมีผลทำให้กราฟเปรียบเทียบมีความคลาดเคลื่อนตามไปด้วย

5.1.3 ประสิทธิภาพของระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้ออกแบบขึ้นมาในงานวิจัยครั้งนี้สามารถดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้ประมาณ 95% ที่ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 500 ppm (1300 mg/m³) ผ่านสารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 10 % โดยน้ำหนัก ด้วยอัตรา 10 ลิตรต่อนาที และจากการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธี XRF โดยระบบวิเคราะห์กำมะถันที่พัฒนาขึ้นนั้น พบว่าระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งสองระบบ ให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในระดับความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาตรฐานนี้สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลาย Na_2CO_3 ได้ดีอยู่แล้ว ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซโดยวิธีควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลวนั้นมิอาจทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับสารละลาย Na_2CO_3 ดีขึ้นไปกว่านี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าประสิทธิภาพการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้นั้นเป็นค่าประสิทธิภาพสูงสุดของระบบที่

พึงจะมีได้ ซึ่งเมื่อมาพิจารณาผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP atomic emission spectrometry พบว่า ค่าประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าประมาณ 95% ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้ออกแบบไว้สามารถดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ได้เกือบหมดอยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อเพิ่มระบบควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลวเข้ามาจึงไม่มีผลให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นไปอีก^[11]

จากการใช้วิธีวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันในสารละลายโดยใช้เทคนิค ICP atomic emission spectrometry แล้วคำนวณเป็นปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อนำมาเป็นวิธีเปรียบเทียบกับวิธีเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX ที่พัฒนาขึ้นนั้น ผลการวิเคราะห์พบว่า ทุกตัวอย่างมีค่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์แต่ไม่มากนัก ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องความคลาดเคลื่อนในการสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานซึ่งจุดที่มีแนวโน้มว่าจะคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ การใช้ค่าอัตรานับรวมสุทธิอ้างอิงในช่วงที่สนใจ (N) ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.1.2 ซึ่งการใช้ค่า N ที่มีความคลาดเคลื่อนนี้อาจทำให้ความเข้มรังสีที่ปรับค่าแล้วมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากผลการศึกษาในส่วนของระบบวัด

จากระบบวัดปริมาณกำมะถันที่พัฒนาขึ้นนั้น สามารถทำให้ชัดเจนการวิเคราะห์ที่ต่ำลงไปได้อีก และสามารถใช้เวลาในการวิเคราะห์ให้สั้นลงไปได้อีก โดยการใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงมากขึ้นหรืออาจใช้ต้นกำเนิดรังสี ขนาดทั้ง 2 ด้านของหัววัด นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความแม่นยำให้กับระบบวิเคราะห์ได้ โดยการเลือกใช้ระบบขยายและวิเคราะห์สัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน (noise) ต่ำ เพราะจะทำให้ระบบวิเคราะห์สัญญาณมีค่าความสามารถในการแยกพลังงานดีขึ้น ทำให้การเลือกช่วงที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้การนำวิธี Normalization มาใช้ในการสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานของระบบวิเคราะห์กำมะถันนั้น ควรจะศึกษาถึงวิธีการหาค่า N ให้มีความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการหาค่า N นั้นต้องได้มาจากข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

ระบบวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันที่พัฒนาขึ้นนั้น สามารถนำไปพัฒนาต่อให้มีความกะทัดรัด และมีราคาที่ถูกได้ โดยใช้อุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดี่ยวจำนวน 2 ชุดแทนอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่องซึ่งมีราคาที่สูงมาก นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาเป็น

ระบบที่นำไปออกภาคสนามได้ เนื่องจากระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นไม่มีความซับซ้อนและมีขนาดที่กะทัดรัด

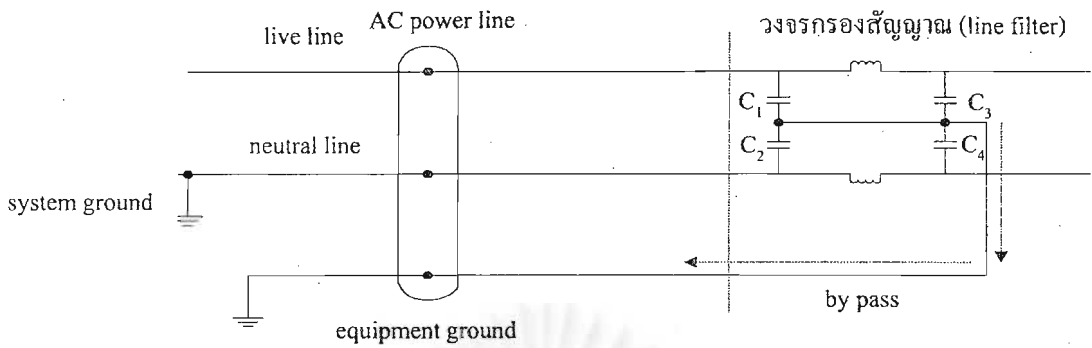
5.2.2 จากผลการศึกษาในส่วนของระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ในส่วนของการหาประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้น ควรใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาตรฐานที่มีคุณภาพสามารถบอกความไม่แน่นอนหรือความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นได้ เพื่อความถูกต้องในการคำนวณหาประสิทธิภาพการดักจับ และความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาตรฐานที่ใช้ นั้น น่าจะมีความเข้มข้นที่ต่ำ เพื่อที่จะได้นำไปประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ นอกจากนี้ อาจต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของปริมาณสารละลาย Na_2CO_3 ที่ใช้ในการดักจับกับประสิทธิภาพในการดักจับ และศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับประสิทธิภาพในการดักจับ

จากการพัฒนาระบบเก็บก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้วิธีควบแน่นด้วยไนโตรเจนนั้น ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใกล้เคียงกับระบบที่ไม่ใช้วิธีควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลวแต่ประโยชน์ที่ได้จากการใช้ระบบควบแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว คือ สามารถลดเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศได้ถึงประมาณ 2.5 เท่า ซึ่งสามารถทำให้ประหยัดเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศโดยเก็บตัวอย่างอากาศได้มากในเวลาที่สูงกว่า

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

ปัจจัยสำคัญของการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์นอกเหนือจากการจัดวางอุปกรณ์วัดส่วนหน้า คุณภาพของหัววัดรังสี และระบบวิเคราะห์พลังงานของรังสีในย่านพลังงานต่ำ คือ สิ่งรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronic noise) ที่ปรากฏในบริเวณช่องวิเคราะห์พลังงานด้านต่ำ แม้ว่าผู้ผลิตเครื่องมือวัดจะออกแบบระบบการกรองสิ่งรบกวนเป็นอย่างดี ทั้งในส่วนของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และกระบวนการแต่งรูปสัญญาณแล้ว แต่การป้องกันดังกล่าวจะไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ที่ระบบกราวด์ของอุปกรณ์และเครื่องมือวัดรังสี (equipment ground) ซึ่งระบบอิเล็กทรอนิกส์ต้องอาศัยเป็นทางกำจัดสิ่งรบกวน



รูปที่ 5.1 แสดงระบบจ่ายไฟฟ้าของห้องปฏิบัติการ

ความไม่สมบูรณ์ของระบบกราวด์มีสาเหตุมาจากความบกพร่องของระบบจ่ายไฟฟ้าในอาคาร เป็นการจัดแบ่งภาระใช้งาน (load) ไม่สมดุลอย่างรุนแรงในระบบจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส และมีการทำงานของการใช้งานที่เรียกกระแสสูงเป็นจังหวะ มีผลให้ระบบกราวด์หลัก (system ground) ที่สาย neutral ไม่เป็นศูนย์ หรือการเกิดภาวะกราวด์ฟอลต์ (ground fault) เนื่องจากการติดตั้งเครื่องใช้ไฟฟ้าบกพร่อง โดยใช้สาย neutral ไปเชื่อมต่อกับสายระบบกราวด์ของอุปกรณ์ หรือมีการลัดวงจรของสายเฟส (live line) ลงสายระบบกราวด์ของอุปกรณ์ ทำให้สายกราวด์อุปกรณ์ไม่มีศักย์เป็นกราวด์จริง และรับสิ่งรบกวนจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ทำงานอยู่ไปยังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ซึ่งก่อให้เกิดผล ดังนี้

1. เกิดสิ่งรบกวนสูงในระบบจ่ายไฟฟ้าในอาคาร เนื่องจากมีความบกพร่องในระบบกราวด์
2. เกิดความไม่เสถียรของแรงดันไฟฟ้า ที่จ่ายให้ระบบเนื่องจากศักย์ที่สาย neutral ไม่เป็นศูนย์
3. สิ่งรบกวนในระบบกราวด์อุปกรณ์จะทำให้เกิดภาวะเปลี่ยนแปลงปริมาณประจุ (moving charge) บนตัวถังโลหะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเหนี่ยวนำให้เกิดสัญญาณรบกวนอย่างรุนแรง โดยเฉพาะอุปกรณ์ขยายส่วนหน้าที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงประจุ ซึ่งใช้กับหัววัดรังสีเอกซ์

จากปัญหาของสิ่งรบกวนดังกล่าวนี้เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ ทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ของสิ่งรบกวนปนมากับสัญญาณพัลส์จากการวัดรังสีเอกซ์ของหัววัดรังสีเอกซ์ ทำให้ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน (energy resolution) ของระบบวัดรังสีลดลงอย่างมาก และยังมีสัญญาณจากสิ่งรบกวนเล็ดลอดเข้ามากระจายอยู่บริเวณย่านวิเคราะห์พลังงานที่สนใจใช้งานอย่างรุนแรง และ

ปัญหาเหล่านี้จะเกิดขึ้นเสมอกับเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์ หากระบบการจ่ายไฟฟ้าในอาคารไม่สมบูรณ์ การแก้ปัญหา คือ การจัดระบบจ่ายไฟฟ้าให้สมบูรณ์ตามมาตรฐาน NEC Article 250 (grounding)^[11] และขจัดปัญหาเรื่องกราวนด์พอลต์ในอาคาร



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. J. Hardin and B. Shleien. Determination of sulfurdioxide in ambient air by non dispersive x-ray fluorescence. IAEA-SM-192-202.
2. เรวัฒน์ เหล่าไพมูลย์. การหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
3. คงศักดิ์ ตั้งพูนผลวิวัฒน์. การตรวจสอบธาตุต่าง ๆ ในอากาศโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
4. T. Sumitra, S. Punnachaiya, N. Chankow and R. Laopaibul Determination of SO₂ in stacks of a tobacco curing plant using XRF technique. Dept. of Nuclear Technology, Chulalongkorn University, 1989.
5. Emmett F. Kaelble. Handbook of x-rays. New York : McGraw-Hill , 1967.
6. Eugene P. Bertin. Principles and practice of X-ray spectrometric analysis. 2nd ed. New York: Plenum Press, 1975.
7. Ron Jenkins, R. W. Gould and Dale Gedcke. Quantitative X-Ray Spectrometry. Vol. 20. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1995.
8. Rene E. Van Grieken, Andrzej A. Markowicz. Handbook of x-rays spectrometry. New York : Marcel Dekker , 1993.
9. J.C. Bailar and other. Comprehensive inorganic chemistry. Vol. 2. 2nd ed. Great Britain : A. Wheaton & Co. Exeter, 1975.
10. C. Henry Perkins. Air pollution. New York : McGraw-Hill, 1974.
11. Mark W. Earley, John M. Caloggero and Joseph V. Sheehan. National Electrical Code Handbook. 7th ed. Massachusetts: National Fire Protection Association, 1996.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจเด็จ เย็นใจ เกิดวันที่ 25 มกราคม พ.ศ.2519 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต จากภาควิหารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย