

การหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์



นายเรวัตน์ เหล่าไพบูลย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

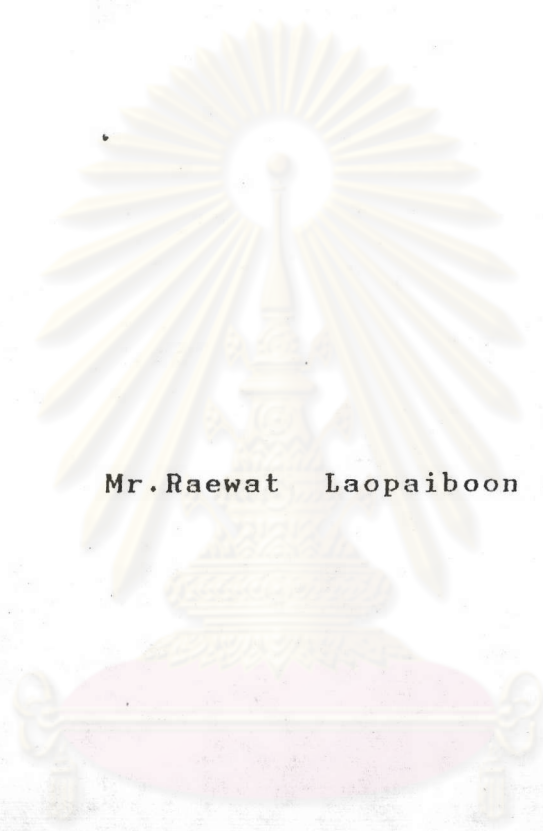
ISBN 974-569-002-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014303

I 17134389

DETERMINATION OF SULFUR DIOXIDE IN AIR
USING X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE



Mr. Raewat Laopaiboon

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

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


Graduate School
Chulalongkorn University

1988

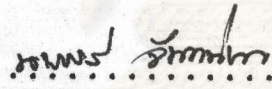
ISBN 974-569-002-3

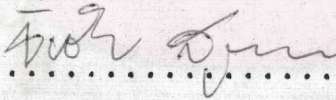
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยเทคนิคการเรือง
 รังสีเอกซ์
 โดย นายเรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์
 ภาควิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี
 อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. อัครชัย สุमित

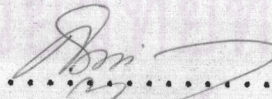
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
 หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

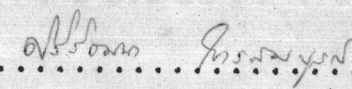
.....  คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
 (ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษา
 (รองศาสตราจารย์ ดร. อัครชัย สุमित)

.....  กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณะชัยยะ)

.....  กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา ไทรสมบูรณ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

เรวัตน์ เหล่าไพฑูริย์ : การหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (DETERMINATION OF SULFUR DIOXIDE IN AIR USING X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE) อ.ปริญญา รัช.ดร.รัชชัย ลุ่มิตร, 120 หน้า

การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ 3 ระบบ คือ WDX (JSX-60 PA) , EDX (XR200) และ EDX กับหัววัดพรอพอซันนัล โดยใช้ Fe-55 0.74 GBq (20 mCi) เป็นต้นกำเนิดรังสี ค่าต่ำสุดของซัลเฟอร์ที่วัดได้คือ ประมาณ 2.0, 2.0 และ 50.0 ไมโครกรัม ตามลำดับเมื่อใช้กระดาษกรองชนิด เมมเบรนซูลาร์ละลายโซเดียมคาร์บอเนต และ 5.0, 6.0 และ 50.0 ไมโครกรัม ตามลำดับเมื่อใช้กระดาษกรองเซลลูโลส (Whatman No.42) นอกจากนี้ยังพบว่ากระดาษกรองชนิดเมมเบรนดีกว่าชนิดเซลลูโลสโดยเฉพาะในช่วงความเข้มข้นต่ำ แต่ไม่สามารถใช้กับระบบที่ต้องการทำสุญญากาศได้เนื่องจากซารุด ความเข้มข้นของซูลาร์ละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมที่สุดคือ 5% โดยน้ำหนัก จากการเปรียบเทียบระบบวัดโดยวิธีเรืองรังสีเอกซ์ทั้งสามระบบพบว่าให้ผลหัดเทียมกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบระบบ EDX กับระบบวิเคราะห์ทางเคมี (พาราโรซาดิสิน) พบว่าให้ผลต่างกัน โดยเฉพาะในช่วงความเข้มข้นต่ำ

จากการทดสอบภาคสนามที่โรงบ่มไบยาสูบ 2 โรงในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าระบบ EDX ทั้งสองให้ผลหัดเทียมกันในค่าความเข้มข้นสูง แต่ในช่วงความเข้มข้นต่ำระบบ XR200 มักให้ผลดีกว่า ค่าความเข้มข้นในบรรยากาศที่ตรวจมีค่าเฉลี่ยประมาณ 78 ไมโครกรัม/ลบ.ม. (เฉลี่ย 24 ชม.) โดยวิธี EDX

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา
สาขาวิชา
ปีการศึกษา

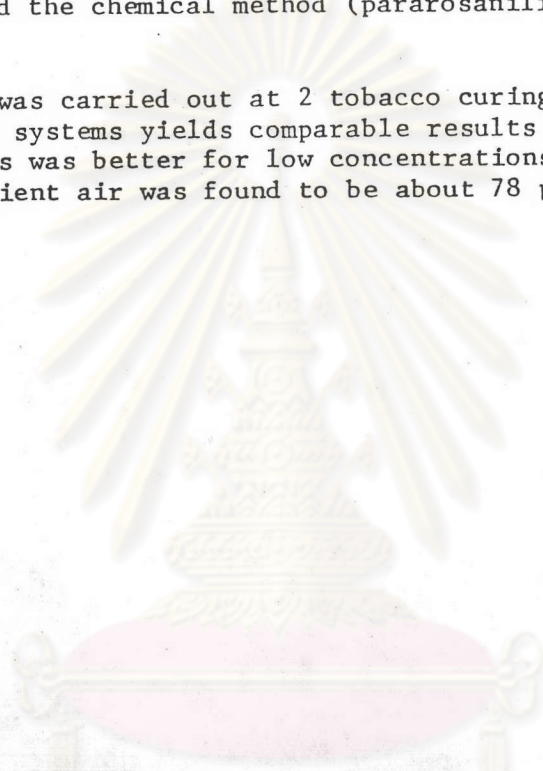
ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

RAEWAT LAOPAIBOON : DETERMINATION OF SULFUR DIOXIDE IN AIR USING X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. TATCHAI SUMITRA, Dr. Ing. 120 pp.

Three x-ray fluorescence systems, i.e., WDX (JSX-60PA), EDX (XR200) and EDX with a proportional counter and a 0.74 GBq (20 mCi) Fe-55 source, were used in determining SO_2 in air. Air samples were collected on filters impregnated with Na_2CO_3 . Using the 3 systems the detection limits were found to be 2.0, 2.0 and 50.0 μg of sulfur on membrane filters and 5.0, 6.0 and 50.0 μg of sulfur on cellulose filters (Whatman No.42) respectively. The optimum concentration Na_2CO_3 was found to be about 5% by weight. Membrane filters were found to give better resolution for low concentrations but may be easily damaged when vacuum system was used. The 3 XRF systems yielded comparable results. But there was some discrepancies between the results yielded by the EDX method and the chemical method (pararosaniline) especially for low concentrations.

Field test was carried out at 2 tobacco curing plants in Chiangmai Province. The 2 EDX systems yields comparable results for high concentrations but the XR200 systems was better for low concentrations. Average 24-hr SO_2 concentration in ambient air was found to be about 78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ using the EDX system.



ศูนย์วิทยพัชยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเทคโนโลยี
สาขาวิชา วิศวกรรมเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต *[Signature]*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *[Signature]*

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ถิษฐ์ชัย สุมิตร อย่างสูงยิ่ง ที่คอยช่วยเหลือให้ค่าปรึกษา อนุเคราะห์ตำรา และเอกสารเชิงวิชาการ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุบลัมภ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่ได้กรุณาให้ค่าปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภุชงค์ เทียรชะประสิทธิ์ ภาควิชาสาขาบริหารวิศวกรรม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ผล โดยวิธีหาราโรซานิลีน

ขอขอบคุณ คุณแสงจันทร์ ลัมจิรกาล ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือทุกอย่างในการออกเก็บตัวอย่างภาคสนาม

ขอขอบคุณ คุณเฉลิมเดช เฉลิมลาภอักษร ที่ช่วยออกเก็บตัวอย่างภาคสนาม และเอกสารบางส่วน

ขอขอบคุณ คุณสุทธิพงษ์ กองสมบัติสุข ที่ช่วยสร้างตู้ใส่เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ

ขอขอบคุณ คุณบัญชา อุนพานิช ที่ได้กรุณาสร้างชุดเก็บตัวอย่างอากาศแบบ-ประหยัด ตลอดจนช่วยเหลือในด้านการซ่อมอุปกรณ์

ขอขอบคุณ คุณอุทัย ตริยะวิสุทธิ์ศรี ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ผล ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX(XR200) และระบบ WDX ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณมูลนิธิศิษย์เก่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนวิจัยการทำวิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย และทุนบริษัทไทยอาชีพโซดาไฟจำกัด สนับสนุนโดยสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์มาลินี เหล่าไพบูลย์ คุณลักขณา สาระรัตน์ และคุณสมจิตร วินากร ที่ช่วยติดต่อและพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งต่อ บิดา มารดา และที่ทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และเป็นกำลังใจในการศึกษาโดยตลอด

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ข |
| สารบัญตารางประกอบ..... | ฅ |
| สารบัญรูปประกอบ..... | ฉ |
| รายการสัญลักษณ์และคำย่อ..... | ด |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 จุดประสงค์และขอบเขตของการวิจัย..... | 1 |
| 1.3 สถานที่ทำการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 3 |
| | |
| บทที่ 2 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และวิธีการวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ.. | 4 |
| 2.1 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์..... | 4 |
| 2.2 วิธีการวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้กันทั่วไป..... | 7 |
| 2.3 เทคนิคการวิเคราะห์ซัลเฟอร์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์..... | 13 |
| 2.4 เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณ..... | 19 |
| 2.5 การหาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งมีผู้ทดลองมาแล้ว..... | 20 |
| | |
| บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และการดำเนินการวิจัย..... | 21 |
| 3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีในการเตรียมตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ด้วย เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์..... | 21 |
| 3.2 อุปกรณ์วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์..... | 23 |
| 3.3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 28 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 4 ผลของการวิจัย..... | 37 |
| 4.1 ศึกษาความเหมาะสมของเครื่องวิเคราะห์ตัวอย่างบนกระดาษกรอง ด้วยระบบ EDX กับหัววัดพรอพพอนันัล..... | 37 |
| 4.2 ทหาระยะที่เหมาะสมระหว่างตัวอย่าง ต้นกำเนิดรังสี และหัววัดรังสี | 41 |
| 4.3 หาเวลาในการวัดที่เหมาะสม..... | 45 |
| 4.4 หาขีดจำกัดในการวิเคราะห์ซัลเฟอร์..... | 47 |
| 4.5 เปรียบเทียบปริมาณซัลเฟอร์และค่าจำนวนนับรังสีต่อเวลาของแต่ละ ระบบวัด | 69 |
| 4.6 ศึกษาประสิทธิภาพในการจับซัลเฟอร์ไดออกไซด์..... | 84 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 96 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 96 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 96 |
| บรรณานุกรม | 99 |
| ภาคผนวก ก..... | 102 |
| ภาคผนวก ข..... | 111 |
| ภาคผนวก ค..... | 120 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 122 |

สารบัญตารางประกอบ

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|---|
| 4.1.1 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีเอกซ์กับจำนวนแซนแนล..... 37 |
| 4.1.2 | แสดงความเข้มของซัลเฟอร์ K X-Rays (จำนวนนับ/100 วินาที) บนกระดาษกรอง โดยต้นกำเนิดรังสีอยู่ติดกับหัววัดรังสี และระยะ ระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่าง 3 มิลลิเมตร..... 39 |
| 4.2.1 | การหาระยะที่เหมาะสมระหว่างตัวอย่าง-ต้นกำเนิดรังสี-หัววัดรังสี โดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42..... 42 |
| 4.2.2 | การหาระยะที่เหมาะสมระหว่างตัวอย่าง-ต้นกำเนิดรังสี-หัววัดรังสี โดยใช้กระดาษกรองเมมเบรนของ Millipore ขนาด pore size 0.8 μ 43 |
| 4.3.1 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการนับรังสีกับค่า $\epsilon\%$ โดยใช้ กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 และกระดาษกรองเมมเบรน ของ Millipore..... 45 |
| 4.4.1 | ผลการวัดความเข้มของ S K X-Rays จากกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ WDX..... 47 |
| 4.4.2 | ผลการวัดความเข้มของ S K X-Rays จากกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX (XR 200)..... 49 |
| 4.4.3 | ผลการวัดความเข้มของ S K X-Rays จากกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพอซันัล..... 53 |
| 4.4.4 | ผลการวัดความเข้มของ S K X-Rays จากกระดาษกรองเมมเบรน ของ Millipore ชนิด AA ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX..... 56 |
| 4.4.5 | ผลการวัดความเข้มของ S K X-Rays จากกระดาษกรองเมมเบรน ของ Millipore ชนิด AA ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX (XR 200). 60 |

สารบัญตารางประกอบ (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.4.6 ผลการวัดความเข้มของ S K X-Rays จากกระดาษกรองเมมเบรน ของ Millipore ชนิด AA ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX กับ หัววัดพรอพพอนันัล..... | 64 |
| 4.5.1 แสดงค่าปริมาณซัลเฟอร์ที่วัดได้ โดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์กับหัววัด พรอพพอนันัล วิธีทางเคมี (พาราโรซานิลีน) และค่ามาตรฐานซัลเฟอร์.... | 69 |
| 4.5.2 แสดงค่าปริมาณซัลเฟอร์ที่วัดได้โดยระบบ EDX กับหัววัดพรอพพอนันัล, EDX (XR 200) และระบบ WDX..... | 74 |
| 4.6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพ ในการจับซัลเฟอร์- ไดออกไซด์กับเปอร์เซ็นต์ของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ซึบ..... | 84 |
| 4.6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการจับซัลเฟอร์- ไดออกไซด์กับเวลาที่เก็บอากาศ (ชั่วโมง)..... | 86 |
| 4.7.1 แสดงปริมาณซัลเฟอร์ที่วัดได้โดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพพอนันัลกับระบบ EDX (XR 200) ในช่วงความเข้มข้นของ ซัลเฟอร์ประมาณ 600-2500 ไมโครกรัม..... | 88 |
| 4.7.2 แสดงปริมาณซัลเฟอร์ที่วัดได้โดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพพอนันัลกับระบบ EDX (XR 200) ในช่วงความเข้มข้น ของซัลเฟอร์ประมาณ 0 ถึง 500 ไมโครกรัม..... | 91 |
| 4.7.3 แสดงปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วัดได้จากบรรยากาศโรงพยาบาล สุบ ก. โดยวิธีทางเคมี (พาราโรซานิลีน)..... | 94 |
| 4.7.4 แสดงปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่วัดได้จากบรรยากาศโรงพยาบาล สุบ ก. โดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพพอนันัล..... | 95 |
| ก.2.1 แสดงค่า absorption edge และพลังงานรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของ ธาตุบางชนิด (ในหน่วย keV)..... | 103 |

สารบัญรูปประกอบ

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 2.2.1 | แสดงส่วนประกอบของเครื่อง KIMOTO HANDY SAMPLER 12 |
| 2.3.1 | การกำเนิดรังสีเอกซ์เรือง 13 |
| 2.3.2 | แผนภาพแสดงการแทนที่ของอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว 14 |
| 2.3.3 | ภาพแสดงระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยพลังงานของรังสีเอกซ์เรือง 16 |
| 2.3.4 | แผนภูมิของระบบวัดรังสีเอกซ์เรืองแบบ WDX 18 |
| 2.4.1 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับรังสีเอกซ์เรืองกับเปอร์เซ็นต์ความ เข้มข้นของธาตุในสารมาตรฐาน 19 |
| 3.1.1 | แสดงชนิดของกระดาษกรองที่ใช้ในการวิจัย 21 |
| 3.1.2 | แสดงเครื่องดูดอากาศ 22 |
| 3.2.1 | แผนภาพเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX แบบใช้วัดหัวพรอพอซันนัล 23 |
| 3.2.2 | แสดงลักษณะต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทปรังสี 24 |
| 3.2.3 | แสดงเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX (XR 200) ของ LINK ที่ศูนย์ เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 24 |
| 3.2.4 | แสดงพีคของซิลเฟออร์จากเครื่องวิเคราะห์ EDX(XR200) 25 |
| 3.2.5 | เครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX ของ JEOL model JSX-60PA 25 |
| 3.2.6 | แสดงส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX ของ JEOL model JSX-60PA 26 |
| 3.2.7 | แผนผังของเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX ของ JEOL model JSX-60PA . . 27 |
| 3.3.1 | การจัดระบบวิเคราะห์แบบโคแอกเซียล 28 |
| 3.3.2 | แสดงอุปกรณ์ในการหาประสิทธิภาพในการตรวจจับก๊าซซิลเฟออร์ไดออกไซด์ . 30 |
| 3.3.3 | เตาอบมบิยาสูบแบบใช้ถ่านลิกไนต์ 32 |
| 3.3.4 | ตั้งเตาอบมบิยาสูบแบบใช้ถ่านลิกไนต์ 32 |
| 3.3.5 | แสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อออกเก็บตัวอย่าง 33 |
| 3.3.6 | แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในภาคสนาม 33 |

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

| รูปที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 3.3.7 | แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในภาคสนาม โดยเก็บตัวอย่างในบรรยากาศ..... | 34 |
| 3.3.8 | แสดงแผนผังโรงบ่มใยรูป ก..... | 35 |
| 3.3.9 | แสดงแผนผังโรงบ่มใยรูป ข..... | 36 |
| 4.1.1 | แสดงกราฟเปรียบเทียบการเรียงรังสีเอกซ์..... | 38 |
| 4.2.1 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับสุทธิของรังสีเอกซ์เรียง ของซิลเฟอริกกับระยะระหว่างตัวอย่าง-ต้นกำเนิดรังสี-หัววัดรังสี ซึ่งระยะตัวอย่างต้นกำเนิดรังสีเป็น 3 มม. (โดยใช้วงแหวนทองแดง รอง) โดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42..... | 44 |
| 4.2.2 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับสุทธิของรังสีเอกซ์เรียง ของซิลเฟอริกกับระยะระหว่างตัวอย่าง-ต้นกำเนิดรังสี-หัววัดรังสี ซึ่งระยะตัวอย่าง-ต้นกำเนิดรังสีอยู่ติดกัน โดยใช้กระดาษกรอง เมมเบรนของ Millipore ชนิด AA ขนาด pore size 0.8 μ | 44 |
| 4.3.1 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการนับรังสีกับค่า %E โดย ใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 และกระดาษกรองเมมเบรน ของ Millipore ชนิด AA ขนาด pore size 0.8 μ | 46 |
| 4.4.1 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอริก (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX..... | 48 |
| 4.4.2(1) | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอริก (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX (XR 200) ในช่วง ความเข้มข้น 0 ถึง 200 ไมโครกรัม..... | 50 |

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.4.2(2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX (XR200) ในช่วงความเข้มข้น 200 ถึง 1500 ไมโครกรัม..... | 51 |
| 4.4.2(3) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX (XR200) ในช่วงความเข้มข้น 1500 ถึง 200 ไมโครกรัม..... | 52 |
| 4.4.3(1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพอชันนัล ในช่วงความเข้มข้น 0 ถึง 1000 ไมโครกรัม..... | 54 |
| 4.4.3(2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพอชันนัล ในช่วงความเข้มข้น 1000 ถึง 2000 ไมโครกรัม..... | 55 |
| 4.4.4(1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรองเมมเบรนของ Millipore ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX ในช่วงความเข้มข้น 0 ถึง 400 ไมโครกรัม..... | 57 |
| 4.4.4(2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรองเมมเบรนของ Millipore ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX ในช่วงความเข้มข้น 400 ถึง 1000 ไมโครกรัม..... | 58 |

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.4.4(3) การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรองเมมเบรนของ Millipore ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDX ในช่วงความเข้มชั้น 1000 ถึง 2000 ไมโครกรัม..... | 59 |
| 4.4.5(1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรองเมมเบรนของ Millipore ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX (XR200) ในช่วงความเข้มชั้น 0 ถึง 90 ไมโครกรัม..... | 61 |
| 4.4.5(2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรองเมมเบรนของ Millipore ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX (XR200) ในช่วงความเข้มชั้น 90 ถึง 1000 ไมโครกรัม..... | 62 |
| 4.4.5(3) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรองเมมเบรนของ Millipore ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX (XR200) ในช่วงความเข้มชั้น 1000 ถึง 2000 ไมโครกรัม..... | 63 |
| 4.4.6(1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรองเมมเบรนของ Millipore ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพ-ชันนัล ในช่วงความเข้มชั้น 0 ถึง 700 ไมโครกรัม..... | 65 |
| 4.4.6(2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรองเมมเบรนของ Millipore ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพ-ชันนัล ในช่วงความเข้มชั้น 700 ถึง 1000 ไมโครกรัม..... | 66 |

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.4.6(3) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรองเมมเบรนของ Millipore ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพอ- ชันนัล ในช่วงความเข้มข้น 1000 ถึง 1500 ไมโครกรัม..... | 67 |
| 4.4.6(4) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของ S K X-Rays กับปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) บนกระดาษกรองเมมเบรนของ Millipore ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพอ- ชันนัล ในช่วงความเข้มข้น 1500 ถึง 2000 ไมโครกรัม..... | 68 |
| 4.5.1(1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าประมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) ที่วัดได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพอชันนัล กับค่ามาตรฐานซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม)..... | 71 |
| 4.5.1(2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) ที่วัดได้โดยวิธีพาราโรซานิลีน กับค่ามาตรฐานซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม)..... | 72 |
| 4.5.1(3) กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) ที่วัดได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX กับหัววัดพรอพอชันนัล กับวิธีพาราโรซานิลีน..... | 73 |
| 4.5.2(1) แสดงกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีจากระบบ EDX(XR200) และระบบ EDX กับหัววัดพรอพอชันนัล ในช่วงความเข้มข้นของ ซิลเฟอร์ 0 ถึง 1000 ไมโครกรัม..... | 76 |

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.5.2(2) แสดงกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีจากระบบ EDX(XR200) และระบบ EDX กับหัววัดพรอพอชันนัล ในช่วงความเข้มข้นของ ซัลเฟอร์ 1000 ถึง 2000 ไมโครกรัม..... | 77 |
| 4.5.2(3) แสดงกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีจากระบบ EDX(XR200) และระบบ WDX ในช่วงความเข้มข้นของซัลเฟอร์ 0 ถึง 400 ไมโครกรัม..... | 78 |
| 4.5.2(4) แสดงกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีจากระบบ EDX (XR200) และระบบ WDX ในช่วงความเข้มข้นของซัลเฟอร์ 400 ถึง 1200 ไมโครกรัม..... | 79 |
| 4.5.2(5) แสดงกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีจากระบบ EDX (XR200) และระบบ WDX ในช่วงความเข้มข้นของซัลเฟอร์ 1200 ถึง 2000 ไมโครกรัม..... | 80 |
| 4.5.2(6) แสดงกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีจากระบบ EDX กับหัววัด-พรอพอชันนัล และระบบ WDX ในช่วงความเข้มข้นของซัลเฟอร์ 0 ถึง 600 ไมโครกรัม..... | 81 |
| 4.5.2(7) แสดงกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีจากระบบ EDX กับหัววัดพรอพอชันนัล และระบบ WDX ในช่วงความเข้มข้นของซัลเฟอร์ 600 ถึง 1000 ไมโครกรัม..... | 82 |
| 4.5.2(8) แสดงกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีจากระบบ EDX กับหัววัดพรอพอชันนัล และระบบ WDX ในช่วงความเข้มข้น 1000 ถึง 2000 ไมโครกรัม..... | 83 |
| 4.6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับเปอร์เซ็นต์ของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ซึบ..... | 85 |

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 4.6.2 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพสูงสุดใน การจับก๊าซซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นของก๊าซค่าหนึ่ง (2000 ไมโครกรัม) กับเวลาเก็บตัวอย่างอากาศ (ชั่วโมง)..... | 86 |
| 4.7.1 | แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX(XR200) และระบบ EDX กับหัตถพรอพอชันนัล ในช่วงความเข้มข้นประมาณ 600 ถึง 2000 ไมโครกรัม..... | 90 |
| 4.7.2 | แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณซิลเฟอร์ (ไมโครกรัม) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ EDX(XR200) และระบบ EDX กับหัตถพรอพอชันนัล ในช่วงความเข้มข้นประมาณ 0 ถึง 500 ไมโครกรัม..... | 80 |
| 5.2.1 | แสดงส่วนประกอบการเก็บตัวอย่างก๊าซซิลเฟอร์ไดออกไซด์ จากปล่อง..... | 93 |
| ก.3.1 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมป์ฮันเอดจ์ในรูป ของความยาวคลื่น (\AA) กับเลขอะตอม..... | 104 |
| ก.3.2 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมป์ฮันเอดจ์ (keV) กับเลขอะตอม..... | 105 |
| ก.6.1 | แสดงโครงสร้างของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์..... | 107 |
| ก.7.1 | แสดงการหาพื้นที่สุทธิใต้พีคตามวิธีของ Covell..... | 109 |
| ข.2.1 | แสดงอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซซิลเฟอร์ไดออกไซด์..... | 112 |

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

| | | |
|---|---|---|
| Å | = | angstrom |
| °C | = | degree celsius |
| C ₃ H ₅ (OH) ₃ | = | glycerol |
| EDDT | = | Ethylenediamine D-tartrate |
| EDTA | = | ethylene diamine tetraacetic acid disodium salt |
| EDX | = | energy dispersive x-ray fluorescence |
| EPA | = | Enviromental Protection Agency |
| HCl | = | hydro chloric acid |
| H ₂ O ₂ | = | hydrogen peroxide |
| H ₂ S | = | hydrogen sulfide |
| H ₂ SO ₄ | = | Sulfuric acid |
| K _{ab. edge} | = | K absorption edge |
| LLD | = | lower limit of detection |
| m ³ | = | cubicmeter |
| MCA | = | multichannel analyzer |
| mCi | = | millicurie |
| mbar | = | millibar |
| mg | = | milligram |
| ml | = | milliliter |
| mμ | = | millimicron |
| N ₂ | = | nitrogen |
| Na ₂ CO ₃ | = | sodium carbonate |
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | = | ammonium sulfat |
| PG | = | pyrolytic graphite |
| ppm | = | part per millions |
| SCA | = | Single channel analyzer |
| SO ₂ | = | sulfur dioxide |

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| | | |
|-----------------|---|--|
| SO ₃ | = | sulfur trioxide |
| TCM | = | tetrachloromercurate |
| W _K | = | K fluorescence yield |
| WDX | = | wavelength dispersive x-ray fluorescence |
| λ | = | wavelength |
| ε | = | relative standard deviation |
| มม. | = | มิลลิเมตร |
| ลบ.ม. | = | ลูกบาศก์เมตร |



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย