

การวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

นายอุทัย ศตะวิสุทธรังษี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-624-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018604

11 11 11 11 11 11

ELEMENTAL ANALYSIS OF AIRBORNE PARTICULATES  
USING X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE

Mr. Utai Tiyawisutsri

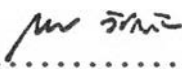
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Nuclear Technology  
Graduate School  
Chulalongkorn University

1992

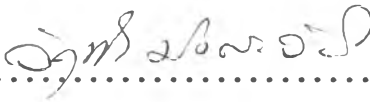
ISBN 974-581-624-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์  
โดย                              นายอุทัย ดิยะวิสุทธิ์ศรี  
ภาควิชา                          นิเวศศาสตร์เทคโนโลยี  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

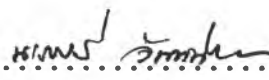
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ วิรุทธิ์ มังคละวิรัช)

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

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทร์ขาว)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมเพียงแผ่นเดียว



อุทัย ดิยะวิสุทธิศรี : การวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (ELEMENTAL ANALYSIS OF AIRBORNE PARTICULATES USING X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธัชชัย สุมิตร, 154 หน้า. ISBN 974-581-624-8

การวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ใช้ทั้งระบบ WDX และ EDX การวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อย ได้แก่ ตะกั่ว แมงกานีส โบรมีน นิกเกิล สังกะสี เหล็ก ทินเทเนียม โครเมียม ทองแดง และกำมะถัน ด้วยระบบ WDX พบว่าค่าจำกัดในการวิเคราะห์ธาตุเหล่านั้นบนกระดาษกรองเซลลูโลส (Whatman เบอร์ 41) ขนาดพื้นที่ 9.621 ตารางเซนติเมตร มีค่าเป็น 0.22 0.15 0.14 0.09 0.10 0.20 0.21 0.18 0.09 และ 2.10 ไมโครกรัม ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ที่ได้รับกับวิธีอินคัลทีฟลิคัมเปิลพลาสมาอิมิชชันสเปกโทรเมตรี และอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตเมตรี พบว่าค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ

สำหรับธาตุหลักที่เป็นส่วนประกอบของฝุ่นจากอากาศ วิเคราะห์ด้วยระบบ EDX การแก้ไขผลกระทบเนื่องจากแมทริกซ์ทำโดยใช้วิธีอัตราส่วนของพีคต่อค่าแมกกราวน์

นอกจากนี้ ยังศึกษาถึงการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่ติดตั้งหน่วยวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองระบบ EDX เพื่อศึกษาขนาด รูปร่าง และธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กจากอากาศ

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ บริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุหลักในฝุ่นเป็นดังนี้ ธาตุอะลูมิเนียม ซิลิกอน โปแตสเซียม แคลเซียม เหล็ก และกำมะถัน มีค่าเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับดังนี้ 6.32 22.04 1.80 10.36 1.82 และ 4.17 สำหรับธาตุปริมาณน้อยบางธาตุ เช่น ตะกั่ว แมงกานีส โบรมีน นิกเกิล สังกะสี ทินเทเนียม และทองแดง มีค่าเป็น 2.084 0.272 0.512 0.443 3.635 1.775 และ 2.066 มิลลิกรัม ต่อ กรัม ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ บริเวณอำเภอทรีราชา จังหวัดชลบุรี พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุหลักในฝุ่นเป็นดังนี้ ธาตุอะลูมิเนียม ซิลิกอน โปแตสเซียม แคลเซียม เหล็ก และกำมะถัน มีค่าเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับดังนี้ 7.41 32.18 2.87 2.72 2.07 และ 2.31 สำหรับธาตุปริมาณน้อยบางธาตุ เช่น ตะกั่ว แมงกานีส โบรมีน นิกเกิล สังกะสี ทินเทเนียม และทองแดง มีค่าเป็น 0.486 0.551 0.428 0.523 0.205 2.944 และ 0.604 มิลลิกรัม ต่อ กรัม ตามลำดับ

ภาควิชา ..... นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
สาขาวิชา ..... นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
ปีการศึกษา ..... 2534

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

## C017364 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD : ELEMENTAL ANALYSIS/X-RAY FLUORESCENCE/AIRBORNE PARTICULATES  
UTAI TIYAWISUTSRI : ELEMENTAL ANALYSIS OF AIRBORNE PARTICULATES  
USING X-RAY FLUORESCENCE TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF.  
TATCHAI SUMITRA, Dr. Ing. 154 pp. ISBN 974-581-624-8

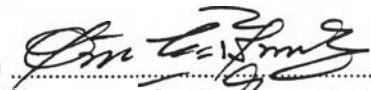
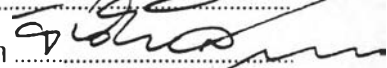
Elemental analysis of airborne particulates by using x-ray fluorescence technique was studied by both Energy Dispersive (EDX) and Wavelength Dispersive (WDX) systems. WDX system was used to analyse trace elements such as Pb, Mn, Br, Ni, Zn, Fe, Ti, Cr, Cu and S. The detection limit of these elements on 9.621 square centimeter cellulose filter (Whatman No.41) were 0.22, 0.15, 0.14, 0.09, 0.10, 0.20, 0.21, 0.18, 0.09 and 2.10  $\mu\text{g}$  respectively. Comparative results of the x-ray fluorescence and the ICP-AES and AAS were found to be acceptable values.

EDX system was chosen to analyse the major elements of airborne particulates. The peak-to-background ratio method was used to correct matrix effects of varied chemical composition of samples.

Additionally, scanning electron microscope with energy dispersive x-ray analyzer (ED-SEM) was used, in this work, to analyse the size, shape, and chemical composition of micro-particle in airborne particulates.

Field measurements were carried out in urban area (at Scientific and Technological Research Equipment Centre, Chulalongkorn University, Bangkok). Average chemical composition of airborne particulates in this area for major elements Al, Si, K, Ca, Fe and S were 6.32, 22.04, 1.80, 10.36, 1.82 and 4.17 % by weight respectively, and those for some trace elements Pb, Mn, Br, Ni, Zn, Ti and Cu were 2.084, 0.272, 0.512, 0.443, 3.635, 1.775 and 2.066 mg/g respectively. In Amphoe Sriracha Chon-buri province, the average chemical composition of airborne particulates for major elements Al, Si, K, Ca, Fe and S were 7.41, 32.18, 2.87, 2.72, 2.07 and 2.31 % by weight respectively, and those for some trace elements Pb, Mn, Br, Ni, Zn, Ti and Cu were 0.486, 0.551, 0.428, 0.523, 0.205, 2.944 and 0.604 mg/g respectively.

ภาควิชา ..... นวัตกรรมเทคโนโลยี  
สาขาวิชา ..... นวัตกรรมเทคโนโลยี  
ปีการศึกษา ..... 2534

ลายมือชื่อนิสิต   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร. ธัชชัย สมิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ แนวทาง และ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ไว้ ณ ที่นี้ด้วย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วิรุณี มังคละวิรัช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชชากริต ศิริอุปถัมภ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว ซึ่งท่านอาจารย์ทุกท่านได้ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด และขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้อนุมัติทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วย

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุนิพนธ์ กุมมากร ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งท่านได้กรุณาให้การสนับสนุน และอนุญาตให้ใช้เครื่องมือวิจัยต่าง ๆ ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อใช้ประโยชน์ในงานวิจัยในครั้งนี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณโสภา จิระวงศ์อร่าม คุณอรัญญา ตันติปัญจพร คุณสาหร่าย เล็กชะอุ่ม ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง คุณศิริเพ็ญ เวชชการักษ์ คุณจงจิตร เส็มกระโทก ที่ช่วยเหลือทางด้านภาพถ่าย คุณอดุลย์ สลักคำ ที่ช่วยเหลือในด้านการประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง คุณพินัย ศรีวิเศษ ที่ช่วยจัดทำอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่าง คุณวิรัช ธรรมวินิจชัย ที่ช่วยเหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์ในด้านงานศิลป์ คุณสวัสดิ์ เสนาพิทักษ์ คุณศิริพร มานะสัมฤทธิ์ผล และ คุณวุฒิไกร ทิพย์เมธ ที่ช่วยเหลือในด้านงานพิมพ์เอกสาร

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ ที่ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ผ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	4
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้ .....	5
บทที่ 2 ฝุ่นในอากาศ .....	6
2.1 แหล่งที่มาของฝุ่นในอากาศ .....	6
2.2 ชนิดของฝุ่น .....	12
2.3 ลักษณะทางกายภาพของฝุ่น .....	13
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่น .....	16
2.5 มาตรฐานปริมาณฝุ่นในฝุ่น .....	16
2.6 ผลกระทบของฝุ่นต่อมนุษย์ .....	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 เทคนิคการเรียงรังสีเอกซ์ .....	22
3.1 หลักการของวิธีการเรียงรังสีเอกซ์ .....	22
3.2 เครื่องมือวิเคราะห์แบบเรียงรังสีเอกซ์ .....	24
3.3 การวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ .....	30
บทที่ 4 วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินการวิจัย .....	34
4.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง .....	34
4.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์โดยเทคนิคการเรียงรังสีเอกซ์ .....	34
4.3 การดำเนินการวิจัย .....	38
บทที่ 5 ผลการวิจัย .....	44
5.1 การศึกษาธาตุต่าง ๆ ที่เตรียมขึ้นบนกระดาษกรอง .....	44
5.2 การสร้างกราฟเปรียบเทียบ .....	57
5.3 ผลการวิเคราะห์ฝุ่นที่เตรียมจากสารมาตรฐาน .....	83
5.4 ผลการวิเคราะห์ฝุ่นในอากาศ .....	86
5.5 ผลการวิเคราะห์ฝุ่นในอากาศโดยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอื่น .....	101
5.6 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินบริเวณข้างเคียง .....	103
5.7 ผลการศึกษาชนิดฝุ่นละอองโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด .....	108



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	119
6.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย .....	119
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	124
บรรณานุกรม .....	125
ภาคผนวก ก. ....	131
ภาคผนวก ข. ....	137
ภาคผนวก ค. ....	139
ภาคผนวก ง. ....	143
ภาคผนวก จ. ....	148
ประวัติผู้เขียน .....	154

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ .....	3
2.1 การคาดคะเนการปล่อยฝุ่นละอองสู่บรรยากาศของโลกจากแหล่งต่าง ๆ ใน ค.ศ. 1968 .....	7
2.2 ปริมาณการปล่อยฝุ่นละอองสู่สิ่งแวดล้อมทั่วประเทศสหรัฐอเมริกา จากแหล่งต่าง ๆ ในแต่ละปี .....	9
2.3 ปริมาณฝุ่นละอองในเขตกรุงเทพมหานคร (ค่าเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง).....	10
2.4 ปริมาณฝุ่นละอองบนถนนสายหลักในเมืองในปี 2526 (ค่าเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง) .....	11
2.5 ปริมาณสารมลพิษอากาศจากแหล่งต่าง ๆ ประเมินสำหรับปี 2525 .....	11
2.6 ปริมาณธาตุในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนักของเกลือทะเล ฝุ่นละอองจากไอเสีย ของรถยนต์ และขี้เถ้าจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง .....	17
2.7 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นดินในอากาศ เปรียบเทียบกับของดิน .....	18
2.8 ความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นสูงสุดของมลพิษในบรรยากาศ ณ สถานี ตรวจวัดในเมือง ประเทศสหรัฐอเมริกา .....	19
2.9 สารที่เป็นต้นเหตุก่อให้เกิดแผลที่เนื้อเยื่อของปอด .....	21
3.1 ผลิกวิเคราะห์และคุณสมบัติบางอย่างของผลิกวิเคราะห์ .....	28
5.1 ผลการวิเคราะห์โลหะปนเปื้อนในกระดาษกรองเซลลูโลสชนิด Whatman No. 41 ที่ใช้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ .....	49
5.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ ด้วย เครื่องมือวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองระบบ WDX (JEOL JSX-60PA).....	51
5.3 ผลการวัดความเข้มของ Pb $L_{\alpha_{1,2}}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี สารมาตรฐานของธาตุตะกั่ว ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน .....	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.4 ผลการวัดความเข้มของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี สารมาตรฐานของธาตุแมงกานีส ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน .....	61
5.5 ผลการวัดความเข้มของ Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี สารมาตรฐานของธาตุโบรมีน ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน .....	64
5.6 ผลการวัดความเข้มของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี สารมาตรฐานของธาตุนิกเกิล ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน .....	66
5.7 ผลการวัดความเข้มของ Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี สารมาตรฐานของธาตุสังกะสี ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน .....	68
5.8 ผลการวัดความเข้มของ Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี สารมาตรฐานของธาตุเหล็ก ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน .....	71
5.9 ผลการวัดความเข้มของ Ti $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี สารมาตรฐานของธาตุทิตาเนียม ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน .....	73
5.10 ผลการวัดความเข้มของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี สารมาตรฐานของธาตุโครเมียม ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน .....	76
5.11 ผลการวัดความเข้มของ Cu $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี สารมาตรฐานของธาตุทองแดง ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน .....	78
5.12 ผลการวัดความเข้มของ S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี สารมาตรฐานของธาตุกำมะถัน ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน .....	81
5.13 ข้อจำกัดในการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ WDX (JEOL JSX-60 PA).....	83
5.14 แสดงค่าปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้จากฝุ่นที่เตรียมจากสารอ้างอิงมาตรฐาน เปรียบเทียบกับค่าของปริมาณธาตุจากใบรับรองผล .....	84
5.15 วัน-เวลา ที่เก็บตัวอย่างฝุ่น และผลการวัดปริมาณฝุ่นที่เก็บจากอากาศบริเวณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .....	86

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.16 ผลการวัดปริมาณฝุ่นของตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากอากาศในเขต บริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี .....	88
5.17 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุรองและธาตุปริมาณน้อยในฝุ่นที่เก็บจากอากาศบริเวณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .....	95
5.18 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุรองและธาตุปริมาณน้อยในฝุ่นที่เก็บจากอากาศ บริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี .....	97
5.19 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุหลักในตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากอากาศ บริเวณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX ร่วมกับ โปรแกรม LINK QUANTEM/FLS .....	99
5.20 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุหลักในตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากอากาศ บริเวณ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ EDX ร่วมกับโปรแกรม LINK QUANTEM/FLS .....	100
5.21 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุรองและธาตุปริมาณน้อยในฝุ่นจากอากาศโดยวิธี อะตอมมิคแอบсорบชันสเปกโทรโฟโตเมตรี และอินดิคัลทีฟคัมเปิลลาสมา- อิมิชชันสเปกโทรเมตรี .....	101
5.22 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของตัวอย่างดินจากแหล่งบริเวณใกล้เคียงกับ จุดเก็บตัวอย่าง บริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี .....	105
5.23 ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของตัวอย่างดินจากบริเวณใกล้เคียงกับ จุดเก็บตัวอย่าง บริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี .....	106
5.24 ชนิดของสารประกอบที่ตรวจพบในตัวอย่างดิน .....	107
6.1 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของฝุ่น ในบรรยากาศ และโลหะบางชนิดที่ปนเปื้อนอยู่ในฝุ่นตัวอย่างที่ได้จากเขต กรุงเทพมหานคร บริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือนกันยายน 2534 .....	120

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.2 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของฝุ่นใน บรรยากาศ และโลหะบางชนิดที่ปนเปื้อนอยู่ในฝุ่นตัวอย่างที่ได้จาก บริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี .....	122
6.3 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ของโลหะหนักบางชนิดในตัวอย่างฝุ่นใน บรรยากาศที่วิเคราะห์โดยวิธี GF-AAS .....	123
ก.1 การปล่อยฝุ่นละอองจากขบวนการผลิตในอุตสาหกรรม .....	134
ก.2 อัตราการปล่อยสารมลพิษจากการสันดาปของเชื้อเพลิงต่าง ๆ .....	141
ข.1 พลังงานรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุต่าง ๆ .....	137
ค.1 คุณสมบัติทั่ว ๆ ไปของกระดาษกรองเซลลูโลส (Whatman No.41) .....	139
ค.2 ประสิทธิภาพในการเก็บตัวอย่างสำหรับฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ของกระดาษกรองเซลลูโลส (Whatman No.41) .....	140
ค.3 โลหะที่ปนเปื้อนในกระดาษกรองเซลลูโลส (Whatman No.41) .....	141
ค.4 รายละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรื่องระบบ EDX (รุ่น LINK EDXRF XR-200) และระบบ WDX (รุ่น JEOL JSX-60PA) .....	142
ง.1 จุดที่เก็บตัวอย่างดินในเขตอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี .....	143
ง.2 ใบรับรองผลวิเคราะห์ของสารอ้างอิงมาตรฐาน NIST 1633a .....	144
ง.3 ใบรับรองผลวิเคราะห์ของสารอ้างอิงมาตรฐาน NIST 2682 NIST 2683 NIST 2684 และ NIST 2685 .....	145
ง.4 เงื่อนไขในการวิเคราะห์สารละลายที่เตรียมจากฝุ่นที่เก็บจากอากาศ โดยวิธี อินดักทีฟฟิล์มเปิลพลาสติกอะมิมีชันสเปกโตรเมตรี .....	146
ง.5 เงื่อนไขในการวิเคราะห์สารละลายที่เตรียมจากฝุ่นที่เก็บจากอากาศ โดยวิธี อะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี .....	147
จ.1 แสดงส่วนประกอบของสารมาตรฐานในแต่ละชุดตัวอย่างที่เตรียมขึ้น .....	148

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.๒ แสดงผลการวิเคราะห์ชุดสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้น โดยใช้โปรแกรม XFF ในการแก้ไขค่าอิทธิพลของแมทริกซ์ .....	149
จ.๓ ค่าผลต่างระหว่างปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้ โดยใช้โปรแกรม XFF ในการแก้ไขค่าอิทธิพลของแมทริกซ์ กับค่าปริมาณธาตุของ ชุดสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้น .....	150
จ.๔ แสดงผลการวิเคราะห์ชุดสารมาตรฐานบางชุด เมื่อมีการแก้ไข และปรับค่าแมทริกซ์แล้ว .....	151

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะเฉพาะของอนุภาคและอนุภาคของแข็งที่แพร่กระจายได้ ..... 14
2.2	การแจกแจงขนาดของอนุภาคในบรรยากาศ และกลไกของการเกิดละออง ในบรรยากาศ ..... 15
3.1	การกำเนิดรังสีเอกซ์เรือง และวงโคจรของอิเล็กตรอน ..... 21
3.2	แผนภาพแสดงการแทนที่ของอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว ..... 23
3.3	แผนภาพระบบการวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์แบบ EDX ..... 25
3.4	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อตกกระทบผลึก และแสดงการเคลื่อนที่ของ หัววัดรังสีเอกซ์และผลึกวิเคราะห์ ..... 27
3.5	แผนภาพระบบการวัดการเรืองรังสีเอกซ์แบบ WDX ..... 29
4.1	รายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆ ของ High-Volume sampler ..... 35
4.2	ลักษณะภายในและภายนอกของเครื่อง High-Volume sampler ..... 36
4.3	การไหลของอากาศผ่านเข้าเครื่อง High-Volume sampler ..... 36
4.4	เครื่องมือวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองแบบ EDX (LINK EDXRF XR-200) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .... 37
4.5	เครื่องมือวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองแบบ WDX (JEOL JSX-60PA) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .... 37
4.6	แผนผังแสดงตำแหน่งที่ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นในอากาศ บริเวณศูนย์ เครื่องมือวิจัยฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ..... 42
4.7	แผนผังแสดงตำแหน่งที่ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นในอากาศ บริเวณ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ..... 43
5.1	พื้นที่ของกระดาดกรองที่ถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ ..... 44
5.2	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของตัวอย่างกระดาดกรองแปลงค์ วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ WDX ..... 46

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของตัวอย่างกระดาษกรองแปลงค์ วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ EDX ..... 47
5.4	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของกระดาษกรองชนิดใยแก้ว วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ EDX ..... 48
5.5	แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Pb $L\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษ กรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุตะกั่ว ความเข้มมันต่าง ๆ เปรียบเทียบกับ กระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ ..... 52
5.6	แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษ กรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุแมงกานีส ความเข้มมันต่าง ๆ เปรียบเทียบกับ กระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ ..... 52
5.7	แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษ กรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุโบรมีน เปรียบเทียบกับ กระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ ..... 53
5.8	แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษ กรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุนิกเกิล ความเข้มมันต่าง ๆ เปรียบเทียบกับ กระดาษ กรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ ..... 53
5.9	แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษ กรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุสังกะสี ความเข้มมันต่าง ๆ เปรียบเทียบกับ กระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ ..... 54
5.10	แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษ กรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุเหล็ก ความเข้มมันต่าง ๆ เปรียบเทียบกับ กระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ ..... 54
5.11	แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Ti $K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษ กรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุทิตาเนียม ความเข้มมันต่าง ๆ เปรียบเทียบ กับกระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ ..... 55



## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.12 แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุโครเมียม ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ .....	55
5.13 แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุกำมะถัน ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ .....	56
5.14 แสดงลักษณะ และ ตำแหน่งของพีคของ Cu $K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุทองแดง ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ .....	56
5.14a แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Scattered X-Rays ที่เกิดจากการวัดตัวอย่างกระดาษกรองด้วยเครื่องมือระบบ WDX .....	56
5.15 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่ว กับ ความเข้มของ Pb $L\alpha_{1,2}$ X-Rays .....	60
5.16 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีส กับ ความเข้มของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays .....	62
5.17 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.16 แต่หาความสัมพันธ์ของค่าปริมาณแมงกานีสช่วง 0 ถึง 20 ไมโครกรัม .....	63
5.18 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโบรมีน กับ ความเข้มของ Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays .....	65
5.19 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณนิกเกิล กับ ความเข้มของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays .....	67
5.20 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสี กับ ความเข้มของ Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays .....	69
5.21 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.20 แต่หาความสัมพันธ์ของค่าปริมาณสังกะสีในช่วง 0 ถึง 30 ไมโครกรัม .....	70

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.22 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็ก กับ ความเข้มของ Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays .....	72
5.23 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทิตเนียมกับความเข้มของ Ti $K\alpha_{1,2}$ X-Rays .....	74
5.24 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวกับรูปที่ 5.23 แต่หา ความสัมพันธ์ของปริมาณทิตเนียมในช่วง 0-20 ไมโครกรัม .....	75
5.25 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมกับความเข้มของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays .....	77
5.26 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทองแดงกับความเข้มของ Cu $K\alpha_{1,2}$ X-Rays .....	79
5.27 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวกับรูปที่ 5.26 แต่หา ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณทองแดงในช่วง 0-20 ไมโครกรัม .....	80
5.28 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำมะถันกับความเข้มของ S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays .....	82
5.29 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นในอากาศ ของตัวอย่างหมายเลข 1 วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ WDX .....	89
5.30 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นในอากาศ ของตัวอย่างหมายเลข 2 วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ WDX .....	90
5.31 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นในอากาศ ของตัวอย่างฝุ่นบริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ EDX .....	91
5.32 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นในอากาศของ ตัวอย่างฝุ่นบริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ EDX .....	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.33	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นในอากาศที่เก็บโดยใช้กระดาษกรองชนิดใยแก้ว วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ EDX ..... 93
5.34	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของตัวอย่างดิน .....104
5.35	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของฝุ่นที่ติดอยู่บนกระดาษกรองเซลลูโลสของตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 10 (ตัวอย่างฝุ่นจากบริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ขนาดกำลังขยาย 500 เท่า .....110
5.36	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของฝุ่นที่ติดอยู่บนกระดาษกรองเซลลูโลสของตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 3 (ตัวอย่างฝุ่นจาก บริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ขนาดกำลังขยาย 2000 เท่า .....110
5.37	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของฝุ่นที่ติดอยู่บนกระดาษกรองเซลลูโลสของตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 14 (ตัวอย่างฝุ่นจาก อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี) ขนาดกำลังขยาย 500 เท่า .....111
5.38	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของฝุ่นที่ติดอยู่บนกระดาษกรองเซลลูโลสของตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 17 (ตัวอย่างฝุ่นจาก อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี) ขนาดกำลังขยาย 1500 เท่า .....111
5.39	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของอนุภาคฝุ่น A จากตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 2 ขนาดกำลังขยาย 3500 เท่า ....112
5.40	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของอนุภาคฝุ่น A B และ C จากตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 11 ขนาดกำลังขยาย 2000 เท่า .....112

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.41	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของอนุภาคฝุ่น A ในรูปที่ 5.39 วิเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX .....113
5.42	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของอนุภาคฝุ่น A ในรูปที่ 5.40 วิเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX .....113
5.43	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของอนุภาคฝุ่น B ในรูปที่ 5.40 วิเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX .....114
5.44	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของอนุภาคฝุ่น C ในรูปที่ 5.40 วิเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX .....114
5.45	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของ อนุภาคฝุ่น A และ B จากตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 4 ขนาดกำลังขยาย 3500 เท่า .....115
5.46	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของ อนุภาค ฝุ่น A B C และ D จากตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 13 ขนาดกำลังขยาย 7500 เท่า .....115
5.47	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของอนุภาคฝุ่น A ในรูปที่ 5.45 วิเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX.....116
5.48	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของอนุภาคฝุ่น B ในรูปที่ 5.45 วิเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX .....116
5.49	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของอนุภาคฝุ่น A ในรูปที่ 5.46 วิเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX .....117
5.50	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของอนุภาคฝุ่น B ในรูปที่ 5.46 วิเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX .....117
5.51	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรืองของอนุภาคฝุ่น D ในรูปที่ 5.46 วิเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX .....118

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.1	ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต 1 ปี ของปริมาณฝุ่นละอองตามสถานีต่าง ๆ ใน กรุงเทพมหานคร ปี 2526 - 2529 ..... 135
ก.2	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต 1 ปี ของปริมาณตะกั่วตามสถานีต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร ปี 2526 - 2529 ..... 136
จ.1	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เลี้ยวเบนของตัวอย่างดินหมายเลข 3 เมื่อ เปรียบเทียบกับข้อมูลของสารมาตรฐานจาก JCPDS .....152
จ.2	สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เลี้ยวเบนของตัวอย่างดินหมายเลข 8 เมื่อ เปรียบเทียบกับข้อมูลของสารมาตรฐานจาก JCPDS .....153