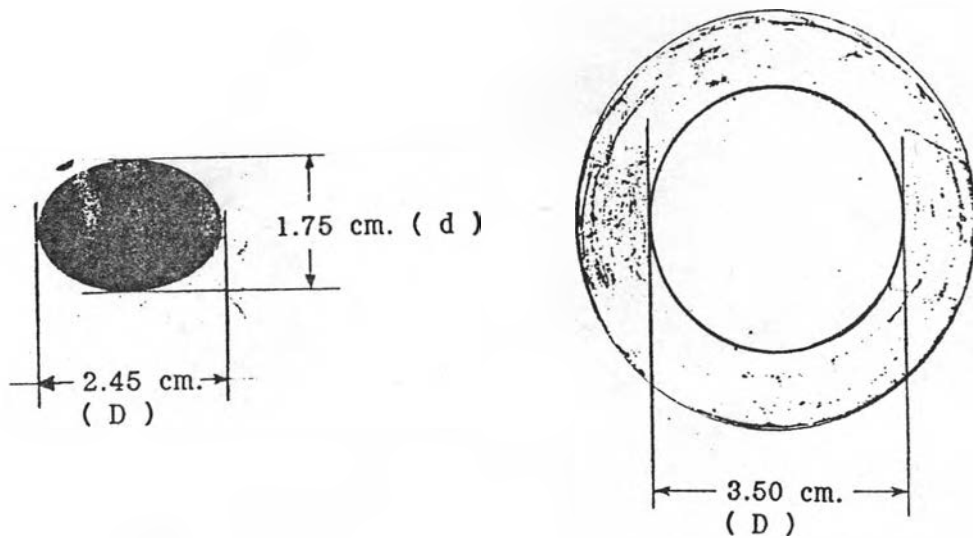


บทที่ 5

ผลการวิจัย

5.1 การศึกษาธาตุต่าง ๆ ที่เตรียมขึ้นบนกระดาษกรอง

5.1.1 การหาพื้นที่ของกระดาษกรองที่ถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ โดยใช้ฟิล์มถ่ายภาพวางบริเวณที่ใส่ตัวอย่าง สำหรับเครื่อง WDX พื้นที่มากที่สุดที่ถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ปฐมภูมิจะเท่ากับพื้นที่ช่องว่างของหน้ากาก (Aluminum mask) ที่ใช้ ผลการหาพื้นที่แสดงในรูปที่ 5.1



$$\text{AREA} = \frac{\pi \cdot d \cdot D}{4} = 3.367 \text{ cm}^2$$

(ก)

$$\text{AREA} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 9.621 \text{ cm}^2$$

(ข)

รูปที่ 5.1 พื้นที่ของกระดาษกรองที่ถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ

(ก) สำหรับเครื่องระบบ EDX

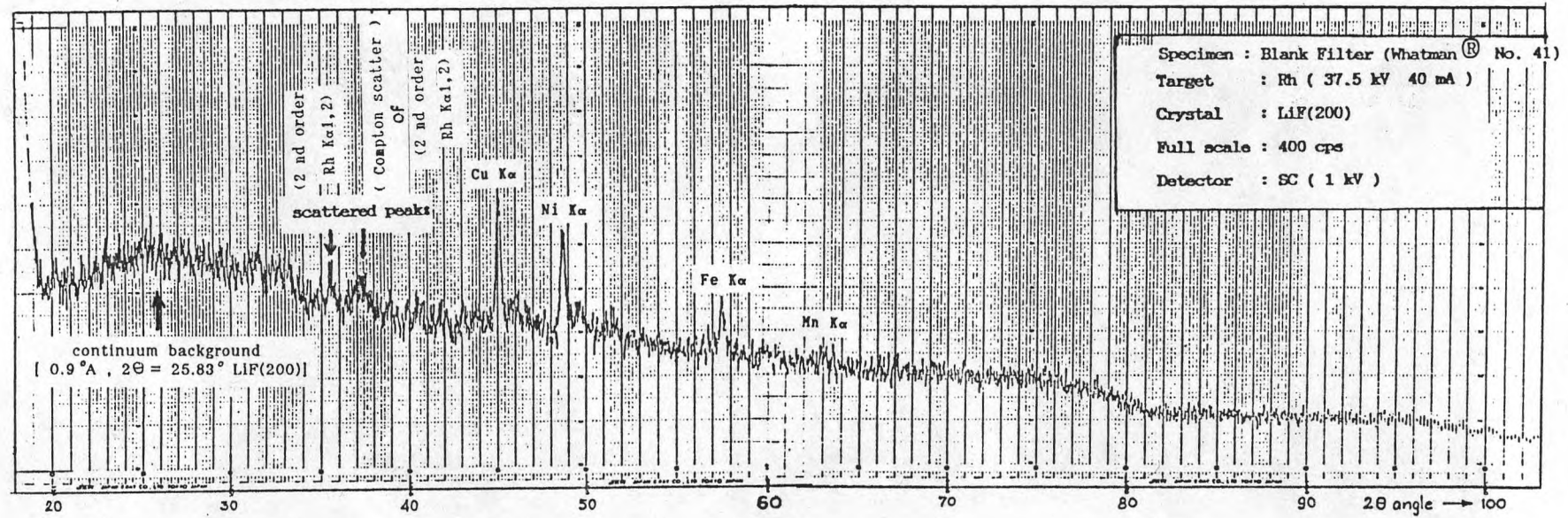
(ข) พื้นที่ของช่องว่างของหน้ากากที่ใช้วางตัวอย่าง

5.1.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของกระดาษกรองที่ใช้

ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้กระดาษกรองเซลลูโลส ของ Whatman No.41 เนื่องจากเป็นกระดาษชนิดที่มีปริมาณเถ้าต่ำ และสามารถเข้ากับเครื่องเก็บตัวอย่างแบบ Hi-Vol ได้ ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ WDX สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองที่ได้แสดงในรูปที่ 5.2 จากสเปกตรัมในรูปที่ 5.2 นั้น จะสามารถวิเคราะห์เชิงคุณภาพสำหรับรังสีเอกซ์เรืองระดับชั้น K ตั้งแต่ธาตุแคลเซียม (Ca) จนถึง ธาตุโมลิบดีนัม (Mo) และ รังสีเอกซ์เรืองระดับชั้น L ตั้งแต่ธาตุดีบุก (Sn) จนถึง ธาตุยูเรเนียม (U)

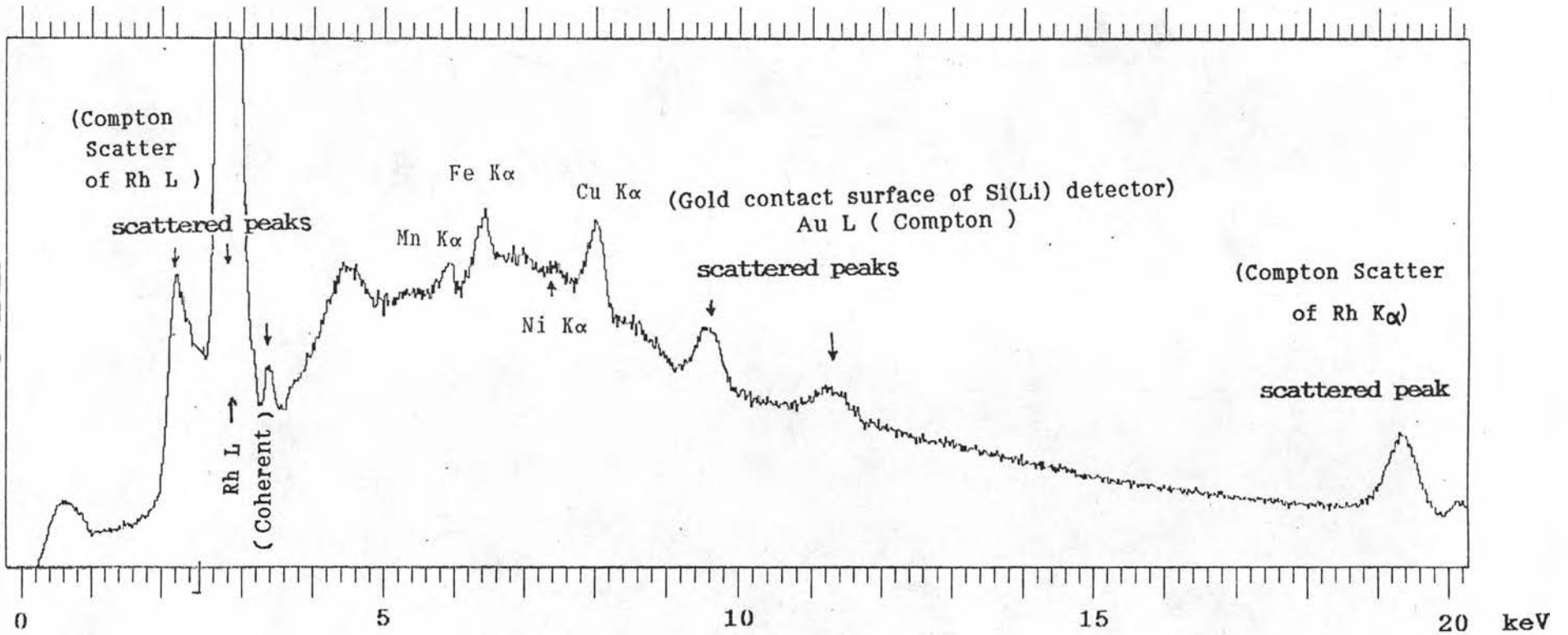
จากสเปกตรัมในรูปที่ 5.2 ธาตุที่ตรวจพบในกระดาษเซลลูโลส ได้แก่ธาตุทองแดง นิกเกิล เหล็ก และแมงกานีส ซึ่งธาตุที่ปรากฏผิเหล่านี้อาจไม่ได้มาจากกระดาษกรองแต่เพียงอย่างเดียว เนื่องจากวัสดุที่ใช้บรรจุตัวอย่าง และชิ้นส่วนบางอย่างของเครื่องมือที่ใช้ จะมีส่วนประกอบของธาตุเหล่านี้ด้วย ซึ่งจากการตรวจสอบโดยใช้วัสดุอื่นเป็นแปลงค้ำก็พบผิของธาตุเหล่านี้ด้วย อย่างไรก็ตามสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองในรูปที่ 5.2 จะใช้เป็นตัวแทนของกระดาษกรองแปลงค้ำ และสิ่งรบกวนของระบบที่ใช้ศึกษาด้วย

ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของกระดาษกรองแปลงค้ำด้วยเครื่องระบบ EDX แสดงในรูปที่ 5.3 ธาตุที่ตรวจพบ ได้แก่ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง และนิกเกิล สำหรับผิอื่น ๆ ที่ปรากฏจะเป็นผิที่เกิดจากการกระเจิง (Scattered peak) ของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิเมื่อเกิดอันตรกิริยากับตัวอย่าง ผิที่เกิดจากการกระเจิงที่พบในช่วงระดับพลังงาน 2.376 - 3.363 keV เป็นชุดของ L X-rays ของธาตุโรเดียม (Rh) ธาตุโรเดียมนี้เป็นเป้า (Target) ของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ ดังนั้นรังสีเอกซ์ปฐมภูมิที่ได้จากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์จะมีรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุโรเดียมด้วย ส่วนผิที่เกิดจากการกระเจิงที่ระดับพลังงานอื่น อาจเป็นผลมาจากการชนแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic scattering)

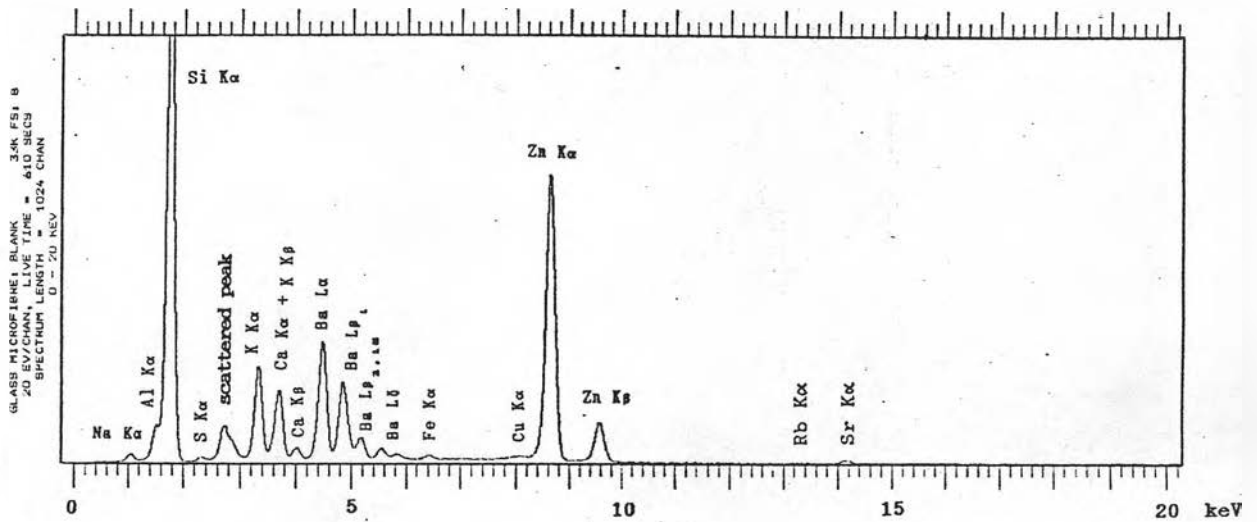


รูปที่ 5.2 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรียงของตัวอย่างกระดาษกรองแบบลงค์ วิเคราะห์ด้วย
 เครื่องระบบ WDX

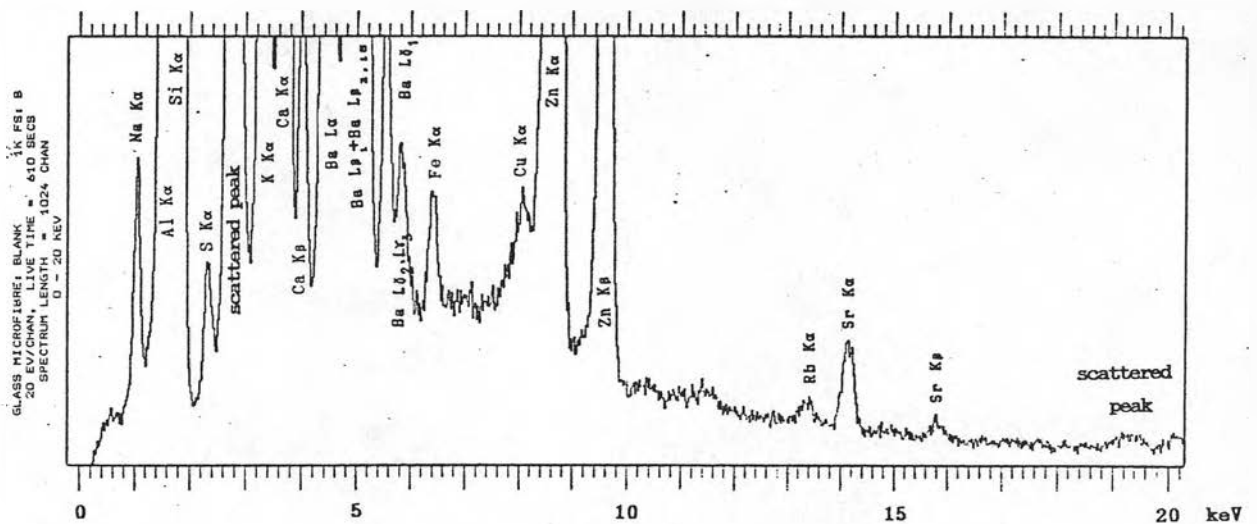
FILTER BLANK NO.2 BK FS: B
20 EV/CHAN, LIVE TIME = 7200 SECS
SPECTRUM LENGTH = 1024 CHAN
0 - 20 KEV



รูปที่ 5.3 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของตัวอย่างกระดาษกรองแบบลงค์ วิเคราะห์ด้วย
เครื่องระบบ EDX



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.4 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของกระดาษกรองชนิดใยแก้ว วิเคราะห์ด้วย

เครื่องระบบ EDX

(ก) กำหนดเกณฑ์แทนค่าจำนวนนับรังสีสูงสุด 33 K

(ข) กำหนดเกณฑ์แทนค่าจำนวนนับรังสีสูงสุด 1 K

ในการวิเคราะห์หาปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ โดยทั่วไปจะใช้กระดาษกรองชนิดใยแก้ว (Glass Microfibre filter) ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทดลองวิเคราะห์เชิงคุณภาพของกระดาษกรองชนิดนี้ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่ากระดาษกรองใยแก้วมีธาตุต่าง ๆ ปรากฏอยู่หลายชนิด ได้แก่ ซิลิกอน อลูมิเนียม โซเดียม แคลเซียม สังกะสี โบแทสเซียม แคลเซียม กำมะถัน เหล็ก ทองแดง สตรอนเตียม (strontium, Sr) และ รูบิเดียม (Rubidium, Rb)

เนื่องจากธาตุที่ปนเปื้อนในกระดาษกรองเซลลูโลสมีปริมาณน้อยมาก การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุเหล่านี้จะใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (AAS) และวิธีอินดักทีฟฟลูอิดเบิลพลาสมาอิมิชชันสเปกโตรเมตรี (ICP-AES) ผลวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์โลหะปนเปื้อนในกระดาษกรองเซลลูโลสชนิด Whatman No.41 ที่ใช้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

ธาตุ (1)	ปริมาณธาตุ (ng/cm ²)	ธาตุ (1)	ปริมาณธาตุ (ng/cm ²)
Cr	1.4	Cu	3.2
Zn	6.0	Ti	1.3
Ni	ไม่พบ	Pb	0.1
Mn	0.7	As	0.08
Fe	32.8	Cd	0.4
Ca	101.4		

หมายเหตุ : (1) วิเคราะห์โดยวิธีอินดักทีฟฟลูอิดเบิลพลาสมาอิมิชชันสเปกโตรเมตรี ยกเว้นธาตุ Pb, As และ Cd ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธีกราฟไฟต์เพอร์เนตอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

5.1.3 การกำหนดเงื่อนไขที่จะใช้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุปริมาณน้อย

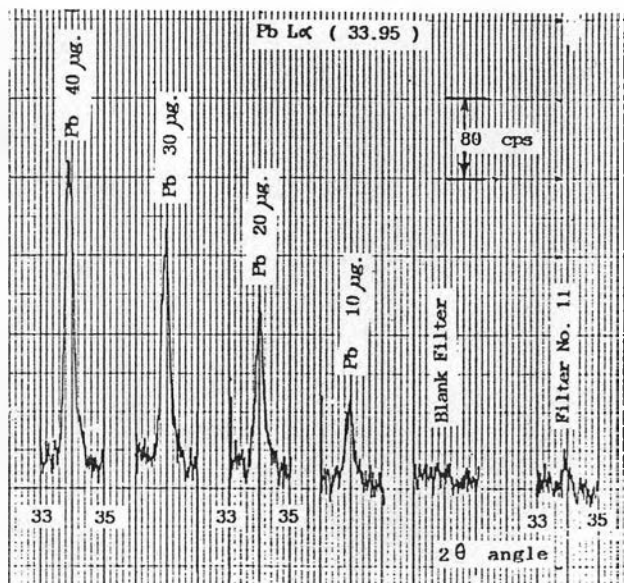
ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุปริมาณน้อย ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ระบบ WDX เนื่องจากระดับของปริมาณธาตุที่จะวิเคราะห์มีค่าค่อนข้างต่ำ และระบบ EDX ที่มีข้อจำกัดทางด้านเทคนิคของเครื่องมืออยู่มาก การกำหนดเงื่อนไขของเครื่องมือวิเคราะห์จะศึกษาจากสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นบนกระดาษกรอง ธาตุปริมาณน้อยในฝุ่นจากอากาศจะศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี แมงกานีส เหล็ก โบรมีน โครเมียม นิกเกิล ทิตเนียม และกำมะถัน สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุต่าง ๆ จากกระดาษกรองที่หยดสารมาตรฐานของธาตุเหล่านี้ เปรียบเทียบกับสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองจากกระดาษกรองแบลงค์ และ จากกระดาษกรองที่ผ่านการเก็บฝุ่นในอากาศมาแล้ว แสดงไว้ในรูปที่ 5.5 ถึงรูปที่ 5.14 ในรูปที่ 5.15 นั้นจะแสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคที่เกิดจากการกระเจิงของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิของ Rh K X-rays ในขณะที่วัดตัวอย่างที่เป็นกระดาษกรองชนิดเซลลูโลส

จากลักษณะ และตำแหน่งของพีคของธาตุต่าง ๆ ที่ได้ สามารถใช้กำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ ด้วยระบบ WDX ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 5.2

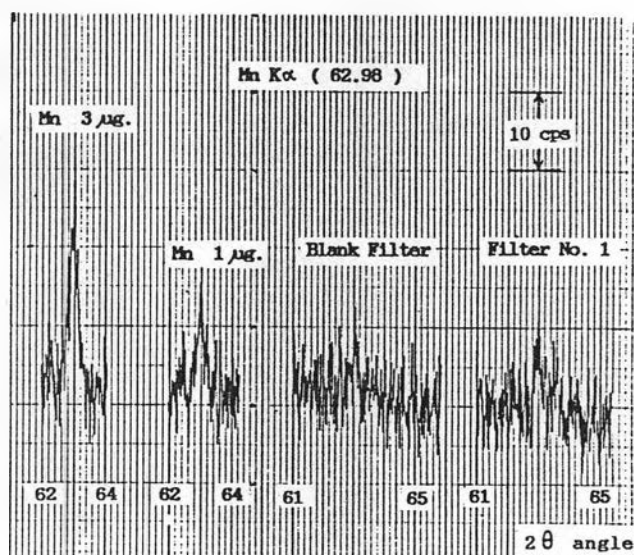
ตารางที่ 5.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือ
วิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองระบบ WDX (JEOL JSX-60PA)

รังสีเอกซ์เรือง	ผลึกวิเคราะห์	ค่ามุม 2θ			กำลังของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์(1)		หัววัดรังสีเอกซ์	เวลาที่ใช้วัดแต่ละตำแหน่ง (วินาที)
		พีค	แบคกราวนด์		kV	mA		
			-	+				
Pb $L\alpha_{1,2}$	LiF(200)	33.95	0.95	1.05	37.5	30	SC	200
Mn $K\alpha_{1,2}$	LiF(200)	62.98	1.00	-	37.5	30	SC	100
Br $K\alpha_{1,2}$	LiF(200)	29.98	-	1.10	37.5	30	SC	60
Ni $K\alpha_{1,2}$	LiF(200)	48.68	-	0.82	37.5	30	SC	100
Zn $K\alpha_{1,2}$	LiF(200)	41.80	0.80	-	37.5	30	SC	80
Fe $K\alpha_{1,2}$	LiF(200)	57.52	1.00	-	37.5	30	SC	80
Ti $K\alpha_{1,2}$	LiF(200)	86.15	1.15	-	37.5	30	SC	100
Cr $K\alpha_{1,2}$	LiF(200)	69.37	1.00	1.20	37.5	30	SC	80
Cu $K\alpha_{1,2}$	LiF(200)	45.03	1.03	-	37.5	30	SC	100
S $K\alpha_{1,2}$	EDDT (020)	74.73	1.20	-	27.5	40	PC (gas-flow type)	100

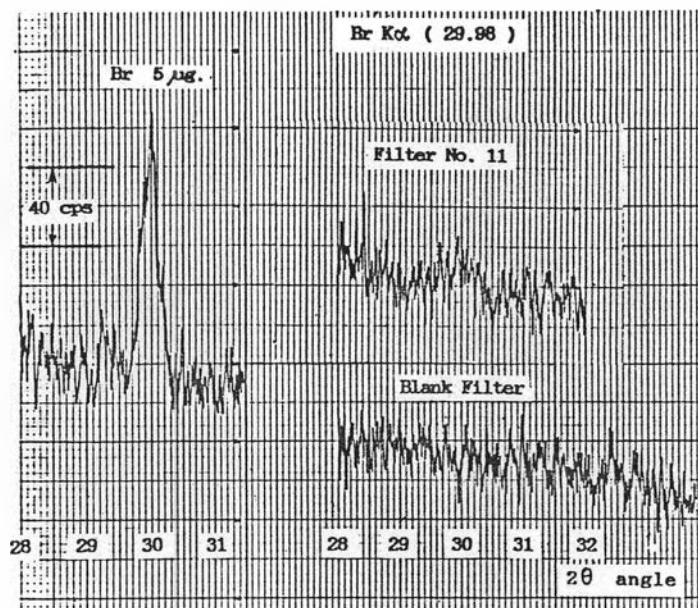
หมายเหตุ : หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้เป็นชนิดหน้าต่างด้านข้าง (Side window tube) มีเป้าเป็นธาตุโรเดียม (Rh)



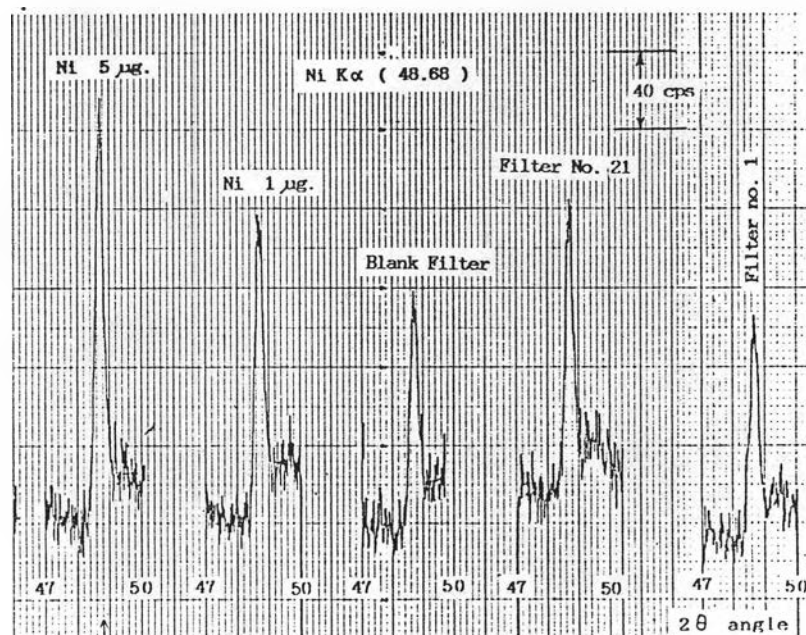
รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ $Pb L\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุตะกั่ว ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่ฉีดยางฝุ่นจากอากาศ



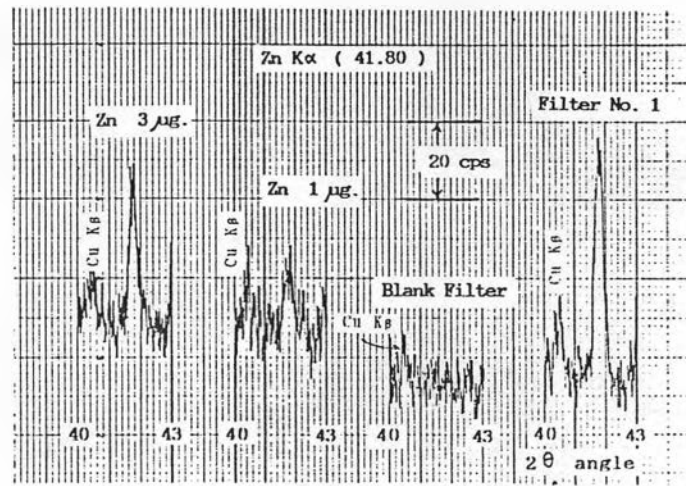
รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ $Mn K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุแมงกานีส ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่ฉีดยางฝุ่นจากอากาศ



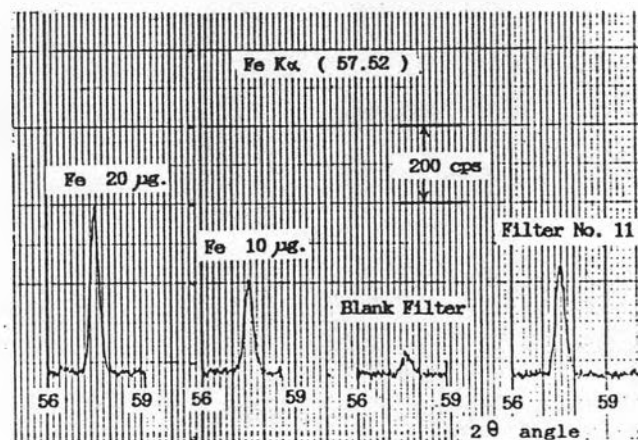
รูปที่ 5.7 แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ $\text{Br K}\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุโบรมีน เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ



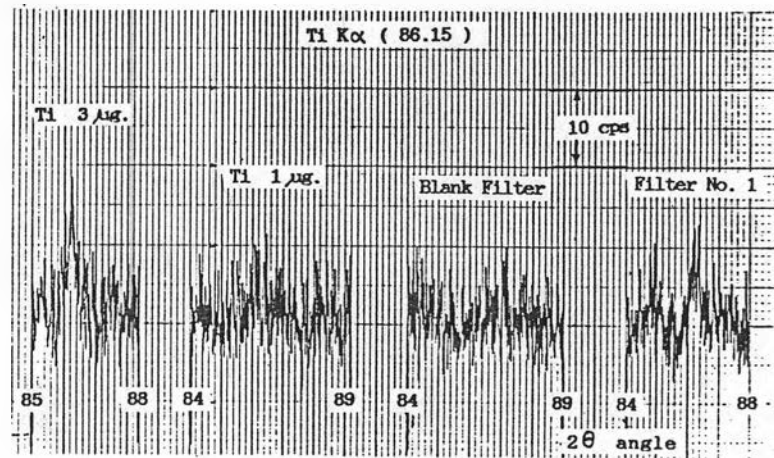
รูปที่ 5.8 แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ $\text{Ni K}\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุนิกเกิล ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ



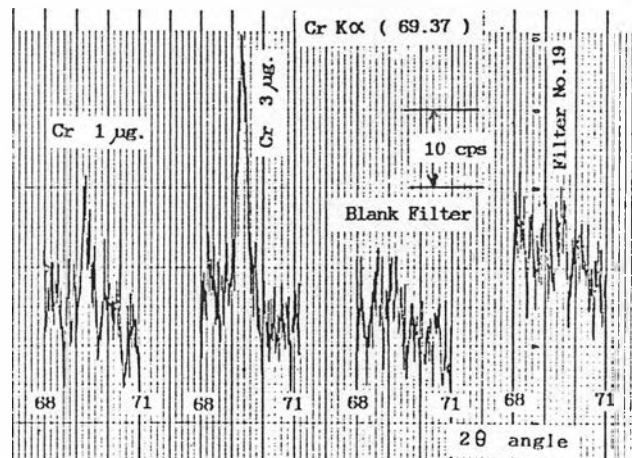
รูปที่ 5.9 แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Zn K $\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุสังกะสี ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแบบลึค และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ



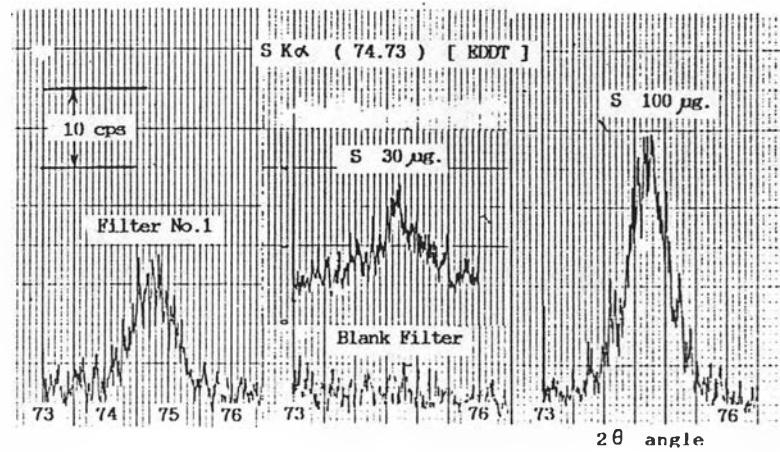
รูปที่ 5.10 แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Fe K $\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุเหล็ก ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแบบลึค และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ



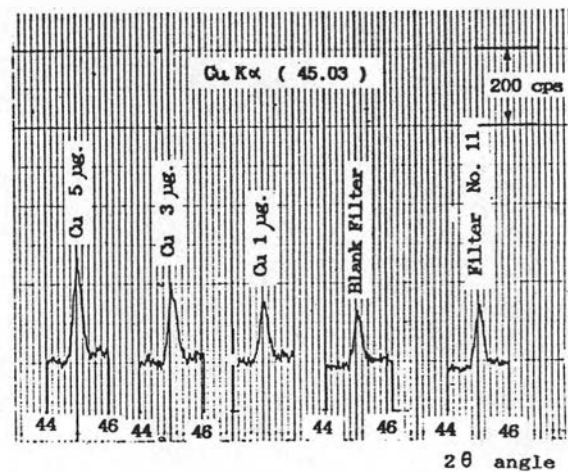
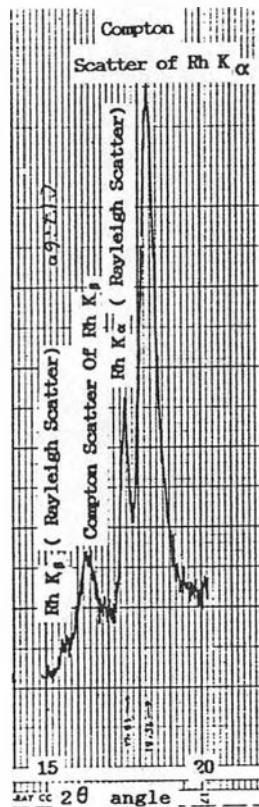
รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ $Ti K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุทิตาเนียม ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่ตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ



รูปที่ 5.12 แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ $Cr K\alpha_{1,2}$ X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุโครเมียม ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแปลงค์ และกระดาษกรองที่ตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ



รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ S Kα_{1,2} X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุกำมะถัน ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแปลงค และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ



รูปที่ 5.14 แสดงลักษณะ และ ตำแหน่งของพีคของ Cu Kα_{1,2} X-Rays จากกระดาษกรองที่มีสารมาตรฐานของธาตุทองแดง ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกระดาษกรองแปลงค และกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นจากอากาศ

รูปที่ 5.14a แสดงลักษณะ และตำแหน่งของพีคของ Scattered X-Rays ที่เกิดจากการวัดตัวอย่างกระดาษกรองด้วยเครื่องมือระบบ WDX

5.2 การสร้างกราฟเปรียบเทียบ

5.2.1 กราฟเปรียบเทียบของธาตุต่าง ๆ

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของธาตุต่าง ๆ กับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุนั้น ๆ ผลวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.3 ถึงตารางที่ 5.12 และกราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 5.15 ถึงรูปที่ 5.28

ในการจัดเตรียมกราฟเปรียบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์นี้จะศึกษาความสัมพันธ์ 2 ลักษณะ คือ

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของธาตุ กับความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง (หรืออัตราส่วนของความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุในชุดของสารมาตรฐานนั้น)

ข. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของธาตุ กับอัตราส่วนของความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุ ต่อความเข้มของรังสีเอกซ์กระเจิง ที่เกิดจากรังสีเอกซ์ชนิดต่อเนื่อง (Continuous X-rays) จากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เลือกวัดความเข้มของรังสีเอกซ์กระเจิงที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม (ที่มุม $2\theta = 25.83$ องศา สำหรับผลึกวิเคราะห์ $\text{LiF}(200)$)

จากกราฟเปรียบเทียบสามารถที่จะหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยวิธี ผลต่างกำลังสองน้อยที่สุด (Least-Square Method)

จากกราฟเปรียบเทียบที่ได้จะพบว่า ถ้าปริมาณของธาตุอยู่ช่วงต่ำ ๆ (ประมาณ 0-20 หรือ 40 ไมโครกรัม) ความสัมพันธ์ที่ได้จะอยู่ในลักษณะเชิงเส้นตรง และกราฟเปรียบเทียบที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของธาตุกับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุนั้น (หรืออัตราส่วนของความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุในชุดของสารมาตรฐานนั้น) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุกับอัตราส่วนของความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุนั้น ต่อความเข้มของรังสีเอกซ์กระเจิงที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม จะเป็นไปในลักษณะทำนองเดียวกัน

ค่า A B C และ D ที่ปรากฏในรูปแสดงกราฟเปรียบเทียบ (รูปที่ 5.15 ถึงรูปที่ 5.28) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการดังนี้

ในกรณีของสมการเส้นตรง

$$\text{Concentration} = (A) \times (CR) + B \quad \dots\dots\dots(5.1)$$

ในกรณีของสมการที่ไม่ใช่เส้นตรง

$$\text{Concentration} = (A) \times (CR)^3 + (B) \times (CR)^2 + (C) \times (CR) + D \dots\dots\dots(5.2)$$

เมื่อ

Concentration คือ ปริมาณธาตุนั้น ๆ มีหน่วยเป็นไมโครกรัม ต่อ 9.621 ตารางเซนติเมตร

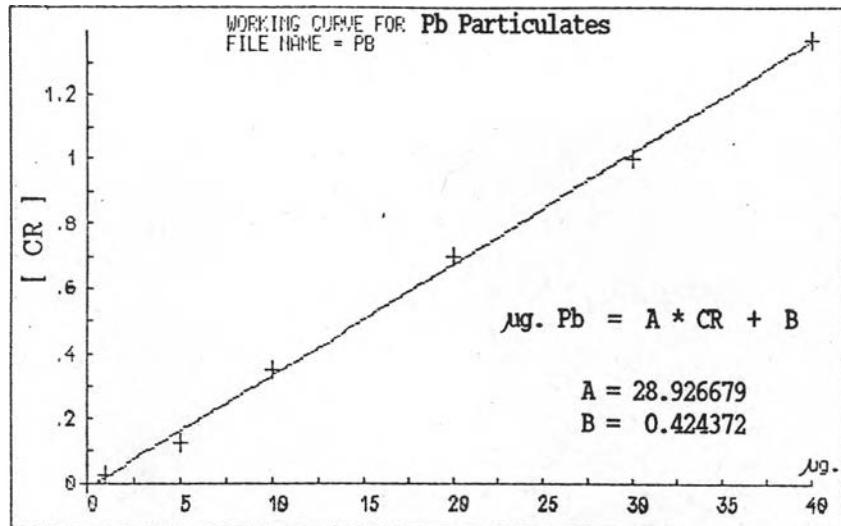
CR คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุนั้นในชุดของสารมาตรฐานที่เลือกกำหนดไว้ เช่น กรณีของธาตุตะกั่วจะใช้ความเข้มข้นของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัม เป็นค่าเปรียบเทียบกับค่าอื่น ๆ หรือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุนั้น ต่อ ความเข้มข้นของรังสีเอกซ์กระเจิงที่ 0.9
 อังสรอม

ตารางที่ 5.3 ผลการวัดความเข้มของ Pb $L_{\alpha_{1,2}}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี
 สสารมาตรฐานของธาตุตะกั่ว ความเข้มอื่นต่าง ๆ กัน

ปริมาณตะกั่ว บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม ต่อ 9.621 คร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ ความเข้มสเปกตรัมของ Pb $L_{\alpha_{1,2}}$ X-Rays (1) (จำนวนนับ ต่อ 200 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Pb $L_{\alpha_{1,2}}$ X-Rays (2)	ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง (ที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม) (จำนวนนับ ต่อ 60 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Pb $L_{\alpha_{1,2}}$ X-Rays ต่อ ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง
Blank	-135	-0.002930	10935	-0.012296
1	1234	0.026899	11472	0.107597
5	5502	0.119910	10952	0.502413
10	15893	0.346335	10973	1.448339
20	32078	0.699039	11840	2.868160
30	45888	1.00	11271	4.071333
40	62981	1.372490	10783	5.840752

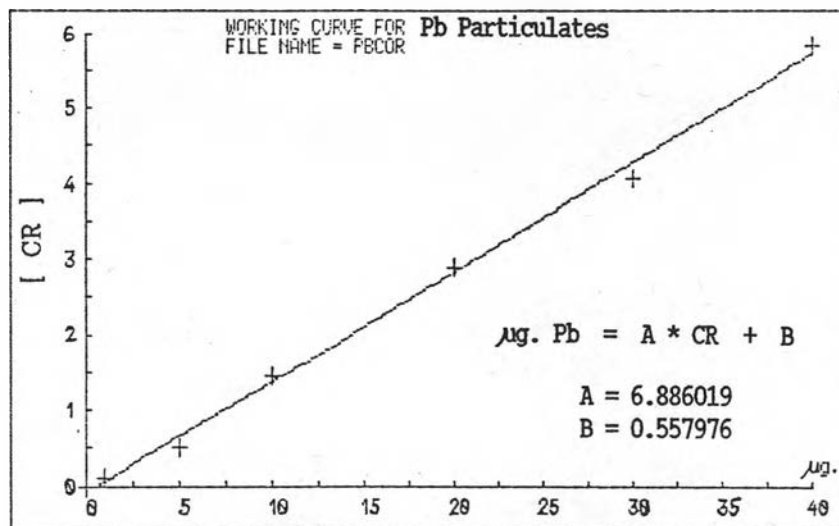
หมายเหตุ : (1) ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

(2) ใช้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุตะกั่ว 30 ไมโครกรัม ต่อ
 9.621 คร.ซม. เป็นค่าเปรียบเทียบกับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของ
 ตะกั่วที่ความเข้มอื่น ๆ



Variance from regression = 0.347310
S.D. from regression = 0.589330
Correlation coefficient = 0.999144

(ก)



Variance from regression = 0.605591
S.D. from regression = 0.778197
Correlation coefficient = 0.998507

(ข)

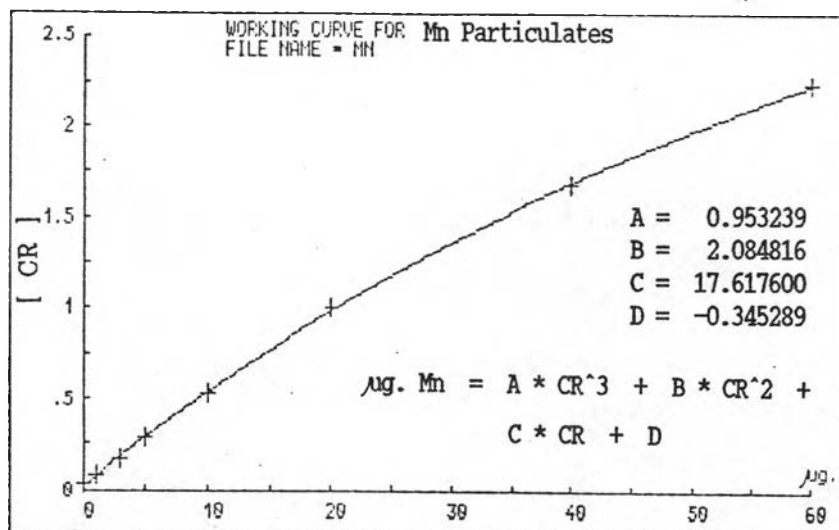
- รูปที่ 5.15 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วกับความเข้มของ Pb $L\alpha_{1,2}$ X-Rays ความเข้มของ Pb $L\alpha_{1,2}$ X-Rays แทนด้วย
- (ก) อัตราส่วนของความเข้มของ Pb $L\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ Pb $L\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มีตะกั่ว 30 ไมโครกรัม
- (ข) อัตราส่วนของความเข้มของ Pb $L\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง

ตารางที่ 5.4 ผลการวัดความเข้มของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี
 สารมาตรฐานของธาตุแมงกานีส ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ปริมาณแมงกานีส บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม ต่อ 9.621 ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ ความเข้มสุทธิของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (1) (จำนวนนับ ต่อ 100 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (2)	ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง (ที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม) (จำนวนนับ ต่อ 60 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อ ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง
Blank	739	0.030246	10935	0.067551
1	2129	0.087177	10376	0.205192
3	3971	0.162619	11366	0.349422
5	7033	0.287975	10142	0.693454
10	13196	0.540361	11374	1.160265
20	24422	1.00	12378	1.973041
40	41134	1.684260	11347	3.625055
60	54569	2.234380	12135	4.496803

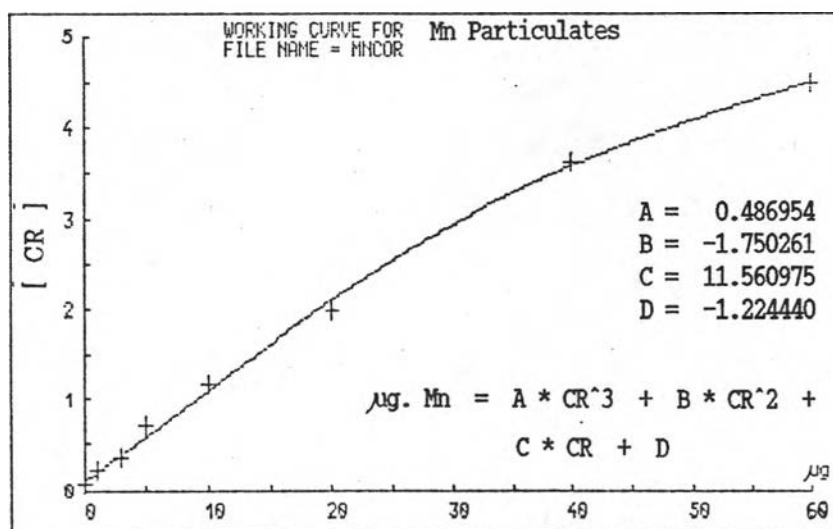
หมายเหตุ : (1) ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 3 ครั้ง

(2) ใช้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุแมงกานีส 20 ไมโครกรัมต่อ
 9.621 ตร.ซม. เป็นค่าเปรียบเทียบกับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของ
 แมงกานีสที่ความเข้มข้นอื่น ๆ



Variance from regression = 0.051006
S.D. from regression = 0.225844
Correlation coefficient = 0.999939

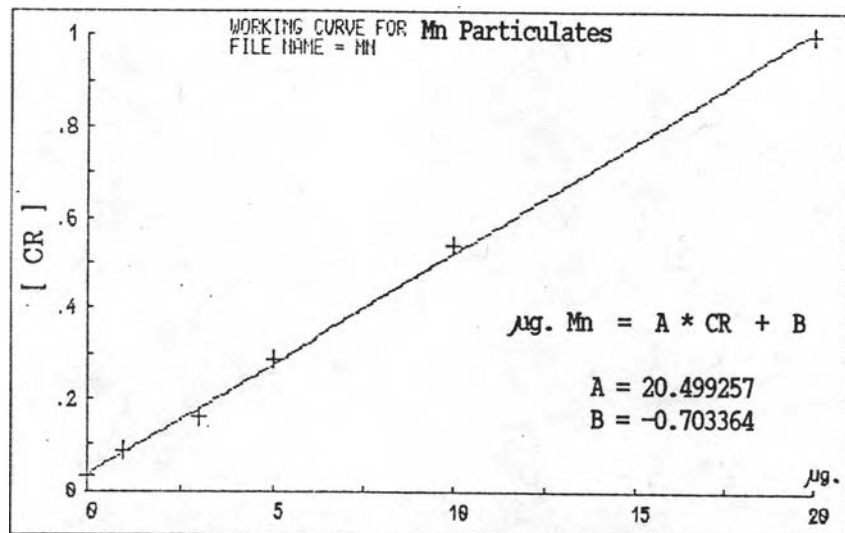
(ก)



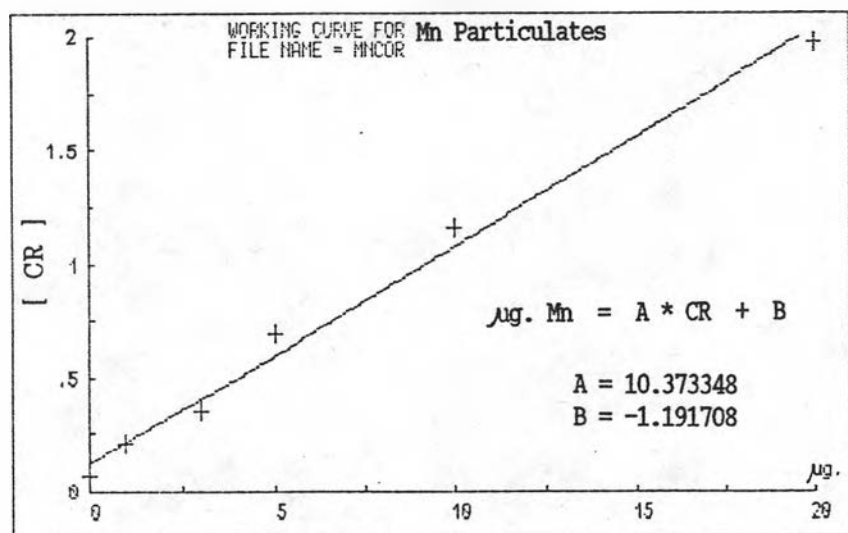
Variance from regression = 0.632111
S.D. from regression = 0.795054
Correlation coefficient = 0.999238

(ข)

- รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมงกานีสกับความเข้มของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ความเข้มของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays แทนด้วย
- (ก) อัตราส่วนของความเข้มของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มีเมงกานีส 20 ไมโครกรัม
- (ข) อัตราส่วนของความเข้มของ Mn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง



Variance from regression = 0.061988
S.D. from regression = 0.248974
Correlation coefficient = 0.999339



Variance from regression = 0.467955
S.D. from regression = 0.684072
Correlation coefficient = 0.995000

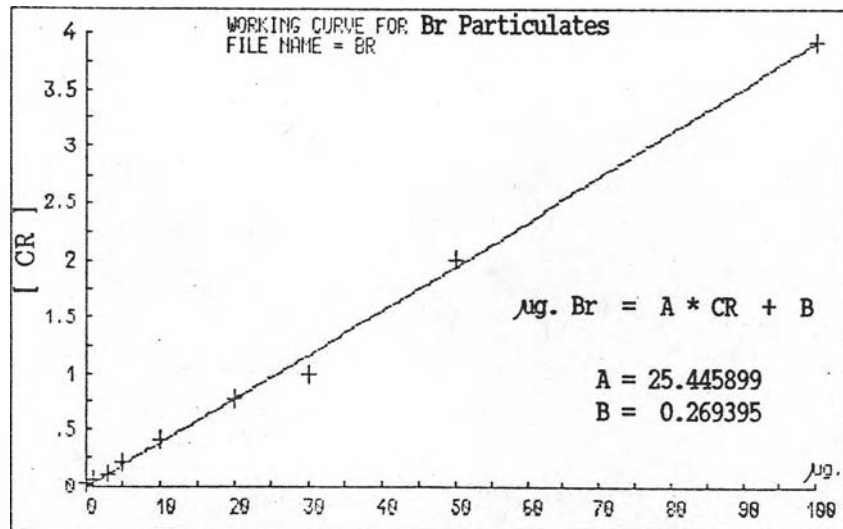
รูปที่ 5.17 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวกับรูปที่ 5.16 แต่หาความสัมพันธ์ของค่าปริมาณแอมกานีสช่วง 0 ถึง 20 ไมโครกรัม

ตารางที่ 5.5 ผลการวัดความเข้มของ Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี
 สารมาตรฐานของธาตุโบรมีน ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน

ปริมาณโบรมีน บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม ต่อ 9.621 ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ ความเข้มสุทธิของ Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (1) (จำนวนนับ ต่อ 60 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (2)	ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง (ที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม) (จำนวนนับ ต่อ 60 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง
Blank	233	0.007371	10935	0.021342
1	1656	0.052314	12872	0.128674
3	3206	0.101276	12434	0.257882
5	6704	0.211754	12847	0.521861
10	13076	0.413016	12706	1.029159
20	24899	0.786431	13206	1.885445
30	32716	1.00	13146	2.488693
50	63795	2.014950	15136	4.214808
100	124241	3.924100	14148	8.781519

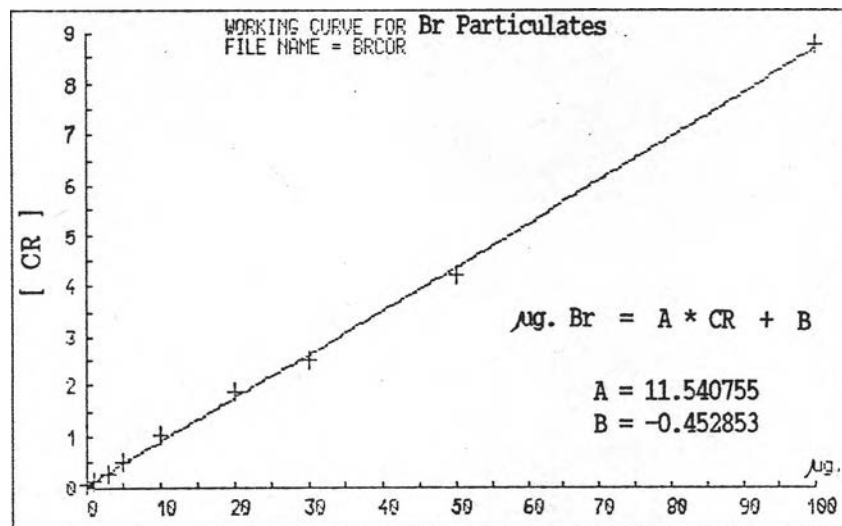
หมายเหตุ : (1) ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

(2) ใช้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุโบรมีน 30 ไมโครกรัม ต่อ
 9.621 ตร.ซม. เป็นค่าเปรียบเทียบกับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของ
 โบรมีนที่ความเข้มชั้นอื่น ๆ



Variance from regression = 2.495701
S.D. from regression = 1.579780
Correlation coefficient = 0.998694

(ก)



Variance from regression = 1.267253
S.D. from regression = 1.125720
Correlation coefficient = 0.999337

(ข)

รูปที่ 5.18 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโบรมีนกับความเข้มของ

Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ความเข้มของ Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays แทนด้วย

(ก) อัตราส่วนของความเข้มของ Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ

Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มีโบรมีน 30 ไมโครกรัม

(ข) อัตราส่วนของความเข้มของ Br $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ

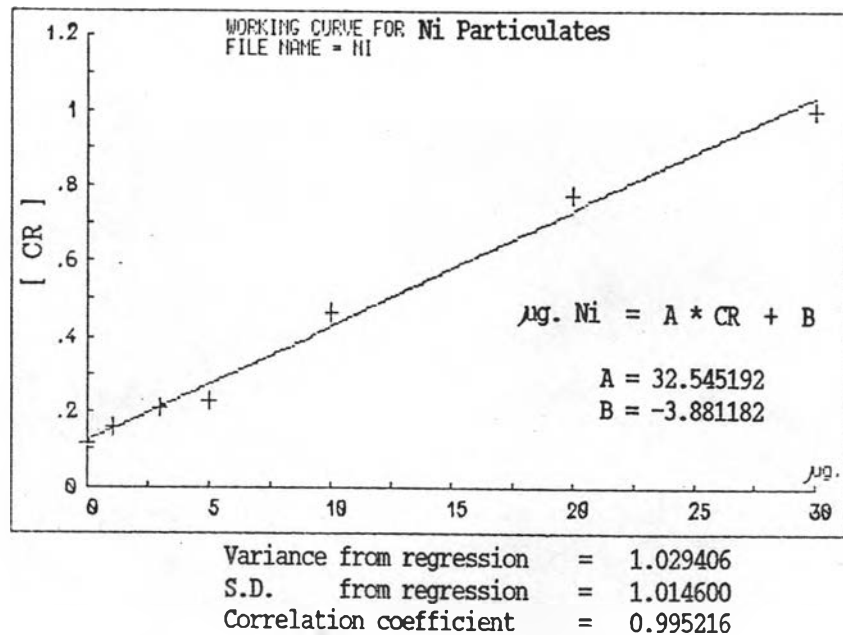
รังสีเอกซ์กระเจิง

ตารางที่ 5.6 ผลการวัดความเข้มของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี
 สสารมาตรฐานของธาตุ निकเกิล ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน

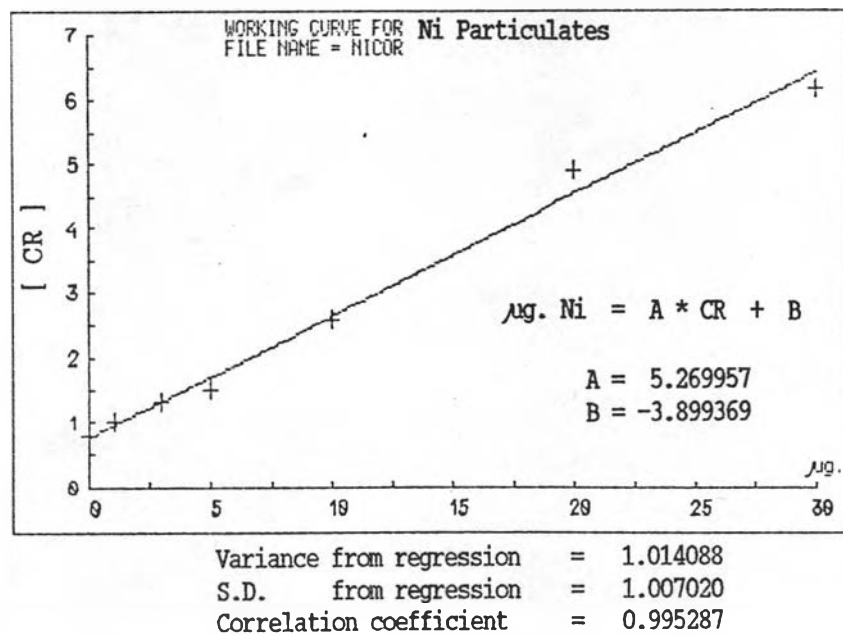
ปริมาณนิกเกิล บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม ต่อ 9.621 ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ ความเข้มสุทธิของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (1) (จำนวนนับ ต่อ 100 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (2)	ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง (ที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม) (จำนวนนับ ต่อ 60 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง
Blank	8555	0.114846	10935	0.782318
1	11718	0.157310	12051	0.972343
3	15749	0.211432	12034	1.308721
5	17167	0.230467	11375	1.509189
10	34722	0.466141	13296	2.611455
20	57707	0.774719	11727	4.920889
30	75233	1.00	12198	6.167641

หมายเหตุ : (1) ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

(2) ใช้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุนิกเกิล 30 ไมโครกรัม ต่อ
 9.621 ตร.ซม. เป็นค่าเปรียบเทียบกับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของ
 นิกเกิลที่ความเข้มชั้นอื่น ๆ



(ก)



(ข)

- รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณนิกเกิลกับความเข้มของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ความเข้มของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays แทนด้วย
- (ก) อัตราส่วนของความเข้มของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มิกเกิล 30 ไมโครกรัม
- (ข) อัตราส่วนของความเข้มของ Ni $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง

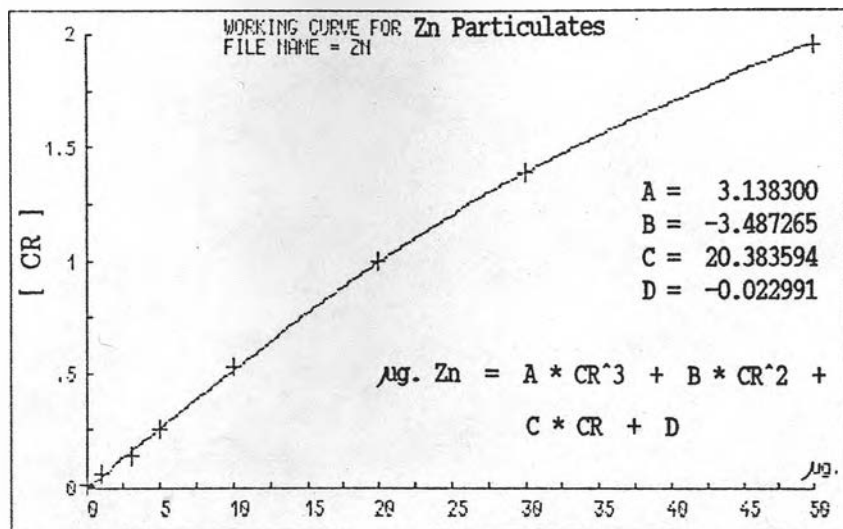
ตารางที่ 5.7 ผลการวัดความเข้มของ Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี
 สามารถฐานของธาตุสังกะสี ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน

ปริมาณสังกะสี บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม ต่อ 9.621 ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ ความเข้มสุทธิของ Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (1) (จำนวนนับ ต่อ 80 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (2)	ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง (ที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม) (จำนวนนับ ต่อ 60 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง
Blank	192	0.005075	10935	0.017538
1	2180	0.057696	12653	0.172307
3	5231	0.138444	12662	0.413167
5	9449	0.250060	13620	0.693779
10	9808	0.524236	12602	1.571959
20	37788	1.00	13586	2.781393
30	52459	1.388250	12741	4.117353
50	73933	1.956530	13427	5.506320

หมายเหตุ : (1) ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 3 ครั้ง

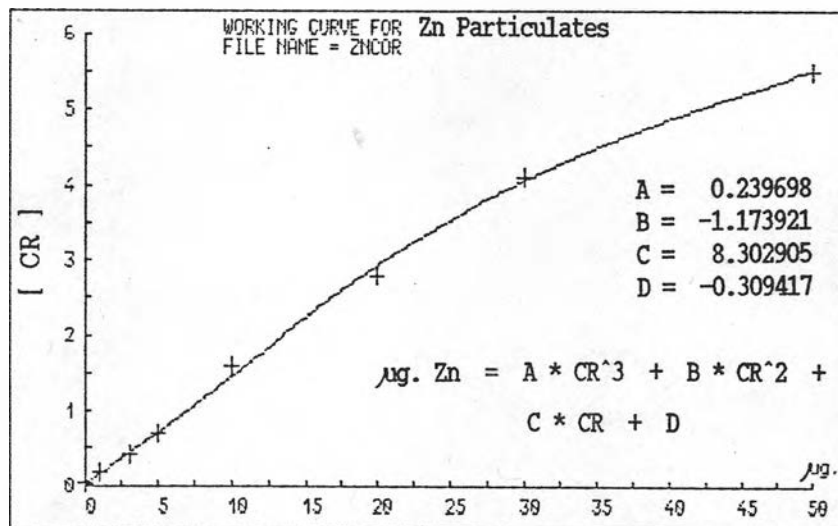
(2) ใช้ความเข้มของรังสีเอกซ์ เรืองของธาตุสังกะสี 20 ไมโครกรัม ต่อ

9.621 ตร.ซม. เป็นค่าเปรียบเทียบกับความเข้มของรังสีเอกซ์ เรืองของ
 สังกะสีที่ความเข้มชั้นอื่น ๆ



Variance from regression = 0.016287
S.D. from regression = 0.127622
Correlation coefficient = 0.999970

(ก)



Variance from regression = 0.307808
S.D. from regression = 0.554805
Correlation coefficient = 0.999431

(ข)

รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งก่อกับความเข้มของ

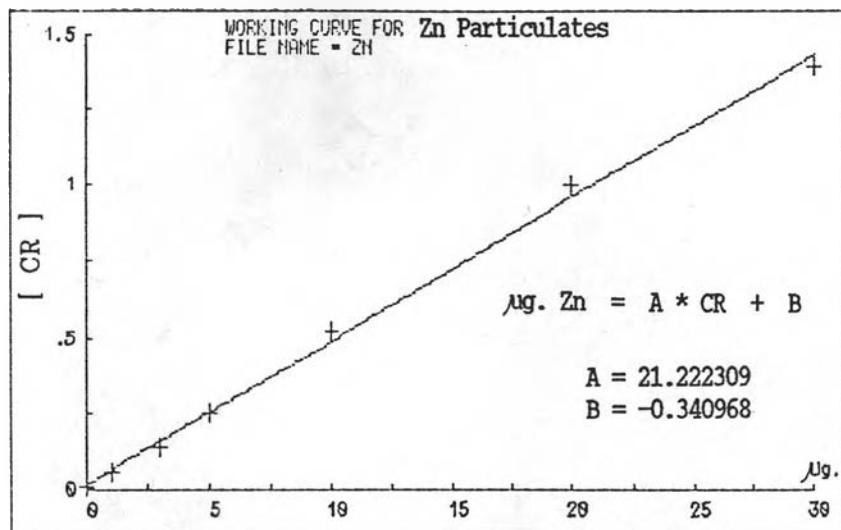
Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ความเข้มของ Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays แทนด้วย

(ก) อัตราส่วนของความเข้มของ Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ

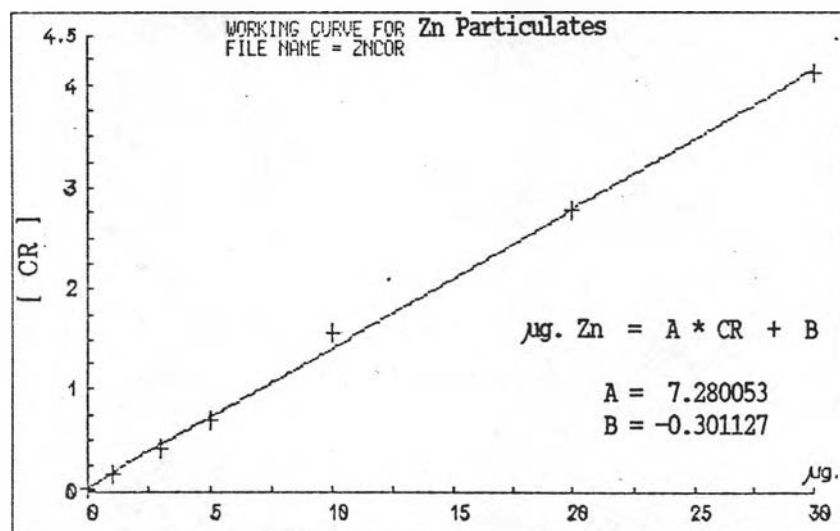
Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มีสิ่งก่อกี่ 20 ไมโครกรัม

(ข) อัตราส่วนของความเข้มของ Zn $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ

รังสีเอกซ์กระเจิง



Variance from regression = 0.342360
S.D. from regression = 0.585115
Correlation coefficient = 0.998411



Variance from regression = 0.228056
S.D. from regression = 0.477552
Correlation coefficient = 0.998942

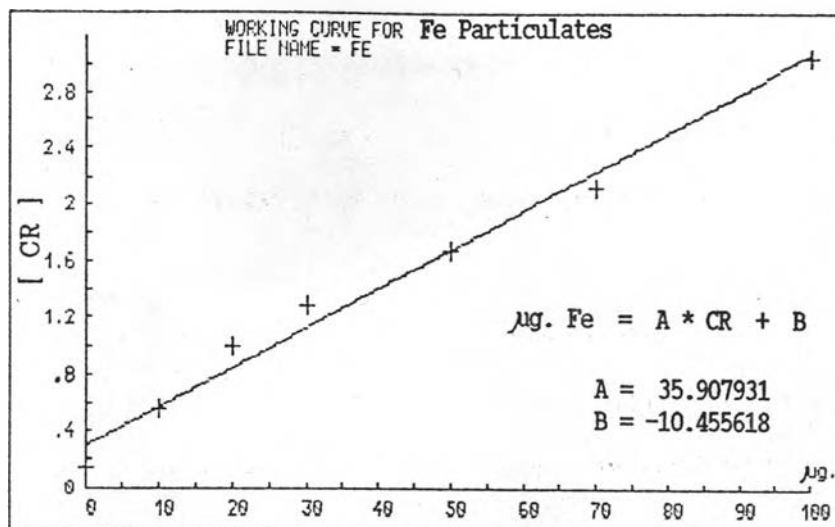
รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวกับรูปที่ 5.20 แต่หาความสัมพันธ์ของค่าปริมาณสิ่งกะสี้ในช่วง 0 ถึง 30 ไมโครกรัม

ตารางที่ 5.8 ผลการวัดความเข้มของ Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี
 สารมาตรฐานของธาตุเหล็ก ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ปริมาณเหล็ก บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม ต่อ 9.621 ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ ความเข้มสถิติของ Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (1) (จำนวนนับ ต่อ 80 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (2)	ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง (ที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม) (จำนวนนับ ต่อ 60 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง
Blank	4183	0.129230	10935	0.382529
10	18250	0.563810	11696	1.560326
20	33447	1.00	10949	3.054812
30	41426	1.279830	12213	3.391953
50	54530	1.684680	11883	4.588928
70	69125	2.135570	12027	5.747466
100	98492	3.042850	11560	8.520059

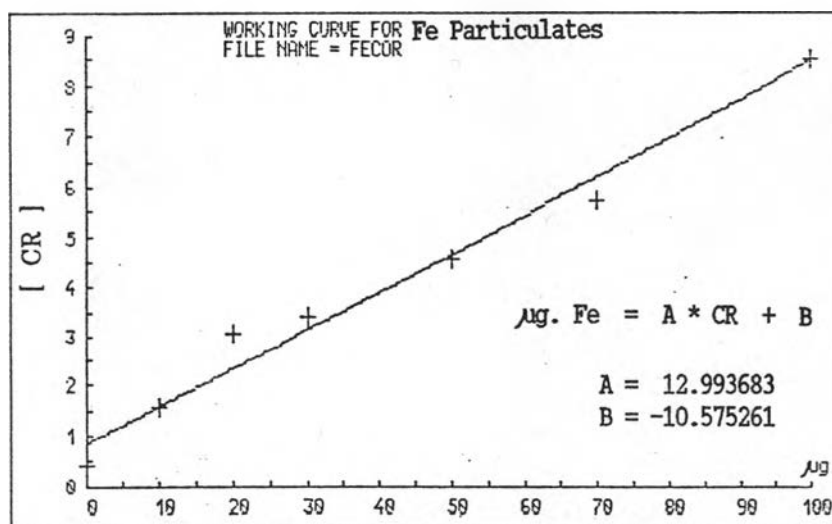
หมายเหตุ : (1) ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 3 ครั้ง

(2) ใช้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุเหล็ก 20 ไมโครกรัม ต่อ
 9.621 ตร.ซม. เป็นค่าเปรียบเทียบกับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของ
 ธาตุเหล็กที่ความเข้มข้นอื่น ๆ



Variance from regression = 15.642083
S.D. from regression = 3.955010
Correlation coefficient = 0.992770

(ก)



Variance from regression = 23.220674
S.D. from regression = 4.818780
Correlation coefficient = 0.989248

(ข)

รูปที่ 5.22 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับความเข้มของ

Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ความเข้มของ Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays แทนด้วย

(ก) อัตราส่วนของความเข้มของ Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ

Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มีเหล็ก 20 ไมโครกรัม

(ข) อัตราส่วนของความเข้มของ Fe $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ

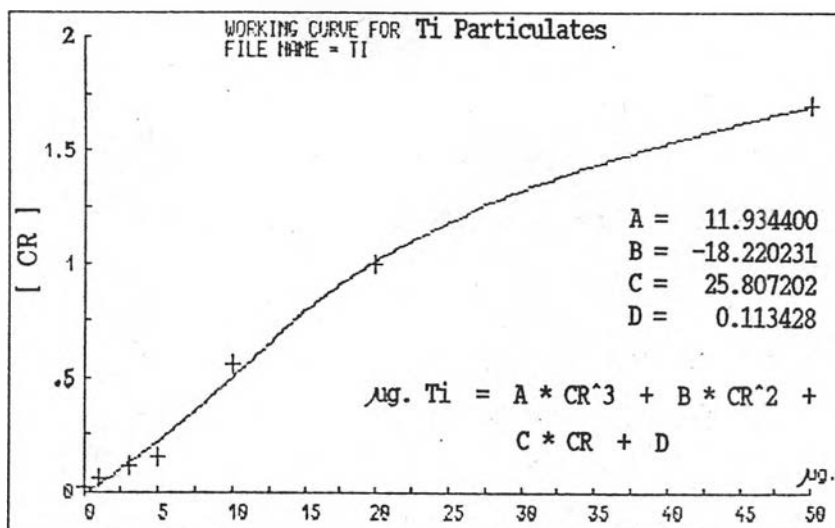
รังสีเอกซ์กระเจิง

ตารางที่ 5.9 ผลการวัดความเข้มของ $Ti K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี
 สามารถฐานของธาตุไทเทเนียม ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ปริมาณไทเทเนียม บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม ต่อ 9.621 ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ ความเข้มสุทธิของ $Ti K\alpha_{1,2}$ X-Rays (1) (จำนวนนับ ต่อ 100 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ $Ti K\alpha_{1,2}$ X-Rays (2)	ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง (ที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม) (จำนวนนับ ต่อ 60 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ $Ti K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง
Blank	122	0.015879	10935	0.011134
1	418	0.054468	12639	0.033041
3	861	0.112321	12816	0.067194
5	1170	0.152610	11985	0.097627
10	4256	0.555058	12534	0.339527
20	7923	1.00	10910	0.726174
50	13043	1.701220	11667	1.117961

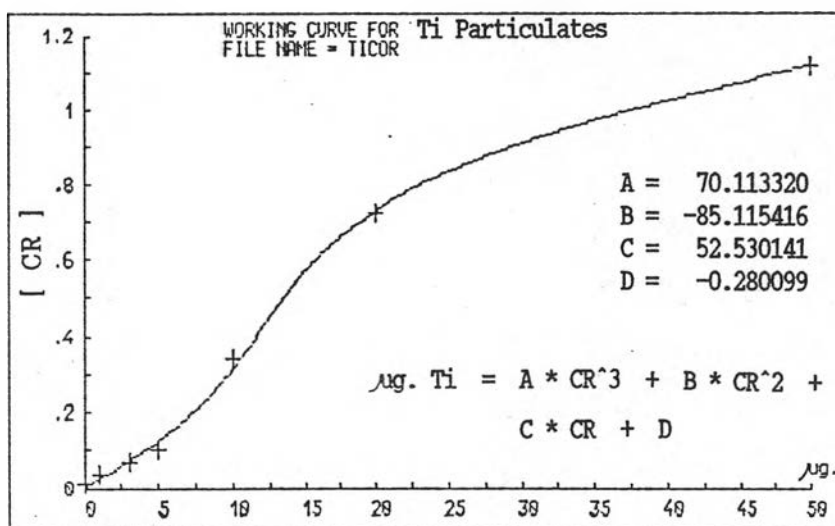
หมายเหตุ : (1) ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 3 ครั้ง

(2) ใช้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุไทเทเนียม 20 ไมโครกรัม ต่อ
 9.621 ตร.ซม. เป็นค่าเปรียบเทียบกับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของ
 ไทเทเนียมที่ความเข้มข้นอื่น ๆ



Variance from regression = 0.454385
S.D. from regression = 0.674081
Correlation coefficient = 0.999164

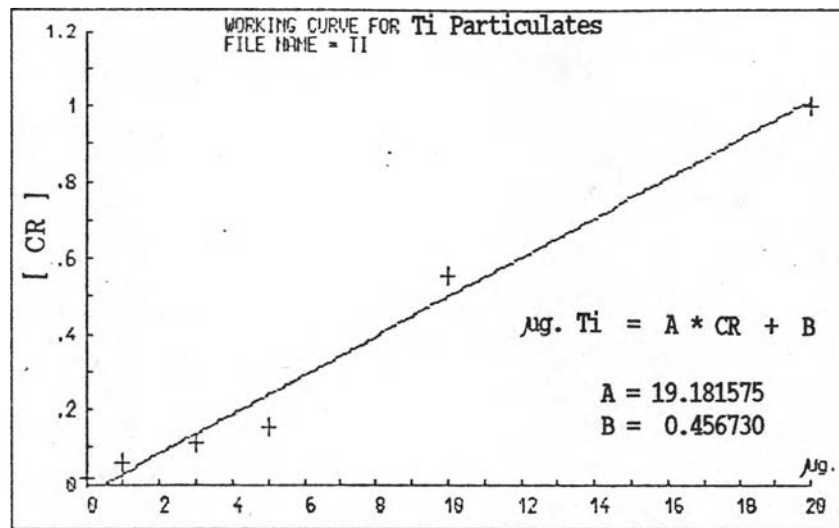
(ก)



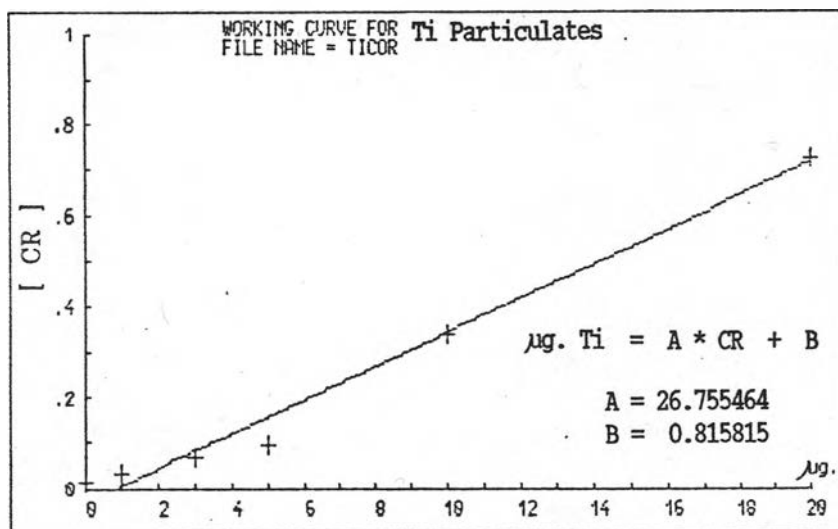
Variance from regression = 0.186603
S.D. from regression = 0.431976
Correlation coefficient = 0.999657

(ข)

- รูปที่ 5.23 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เทเนียมกับความเข้มของ Ti $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ความเข้มของ Ti $K\alpha_{1,2}$ X-Rays แทนด้วย
- (ก) อัตราส่วนของความเข้มของ Ti $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ Ti $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มีที่เทเนียม 20 ไมโครกรัม
- (ข) อัตราส่วนของความเข้มของ Ti $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง



Variance from regression = 0.823735
S.D. from regression = 0.907599
Correlation coefficient = 0.991182



Variance from regression = 0.736833
S.D. from regression = 0.858390
Correlation coefficient = 0.992116

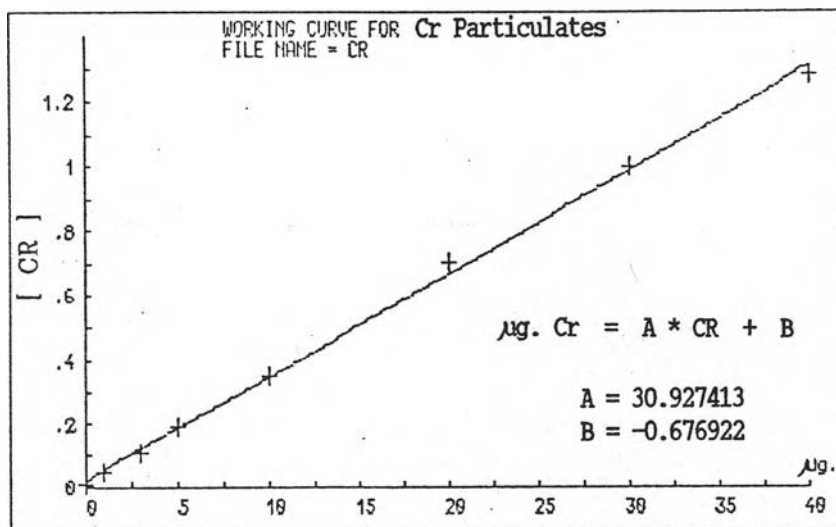
รูปที่ 5.24 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวกับรูปที่ 5.23 แต่หาความสัมพันธ์ของปริมาณที่เทเนี่ยมในช่วง 0-20 ไมโครกรัม

ตารางที่ 5.10 ผลการวัดความเข้มของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี
 สารมาตรฐานของธาตุโครเมียม ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน

ปริมาณโครเมียม บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม ต่อ 9.621 ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ ความเข้มสุทธิของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (1) (จำนวนนับ ต่อ 80 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (2)	ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง (ที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม) (จำนวนนับ ต่อ 60 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง
Blank	195	0.007734	10935	0.017846
1	1178	0.048281	10076	0.116944
3	2607	0.106807	10552	0.247034
5	4708	0.192887	10523	0.447357
10	8578	0.351476	10111	0.848385
20	17212	0.705246	10964	1.569867
30	24406	1.00	10017	2.436428
40	31411	1.287050	10574	2.970622

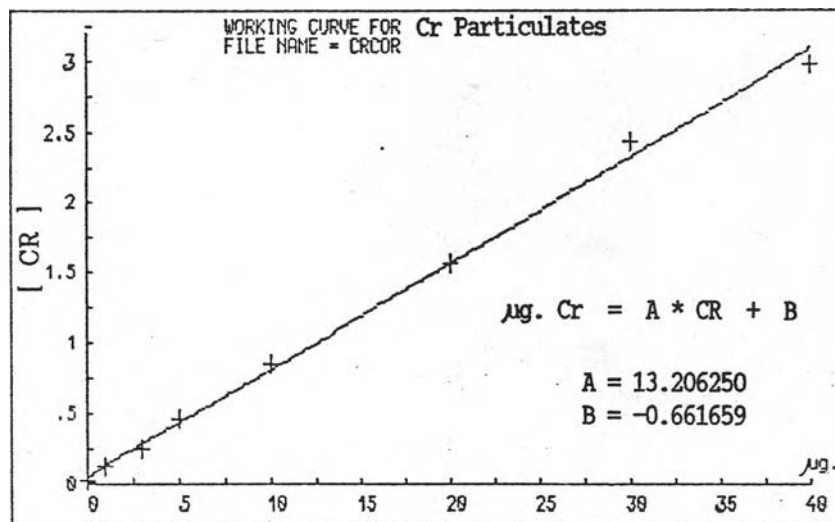
หมายเหตุ : (1) ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 3 ครั้ง

(2) ใช้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุโครเมียม 30 ไมโครกรัม ต่อ
 9.621 ตร.ซม. เป็นค่าเปรียบเทียบกับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของ
 โครเมียมที่ความเข้มชั้นอื่น ๆ



Variance from regression = 0.324439
S.D. from regression = 0.569596
Correlation coefficient = 0.999162

(ก)



Variance from regression = 0.631903
S.D. from regression = 0.794923
Correlation coefficient = 0.998368

(ข)

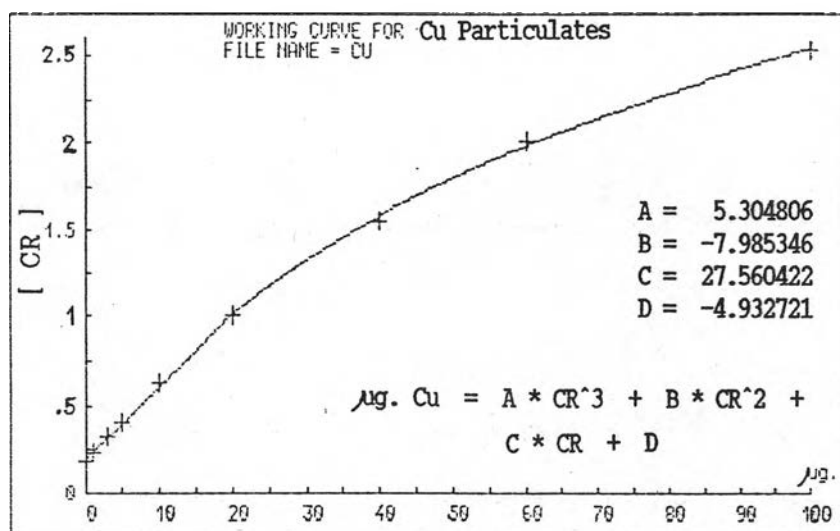
- รูปที่ 5.25 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมกับความเข้มของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ความเข้มของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays แทนด้วย
- (ก) อัตราส่วนของความเข้มของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มีโครเมียม 30 ไมโครกรัม
- (ข) อัตราส่วนของความเข้มของ Cr $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง

ตารางที่ 5.11 ผลการวัดความเข้มของ $\text{Cu K}\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี
 สารมาตรฐานของธาตุทองแดง ความเข้มชั้นต่าง ๆ กัน

ปริมาณทองแดง บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม ต่อ 9.621 ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ ความเข้มสเปกตรัมของ $\text{Cu K}\alpha_{1,2}$ X-Rays (1) (จำนวนนับ ต่อ 100 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ $\text{Cu K}\alpha_{1,2}$ X-Rays (2)	ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง (ที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม) (จำนวนนับ ต่อ 60 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ $\text{Cu K}\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง
Blank	10105	0.174136	10935	0.924070
1	13008	0.224161	12164	1.069348
3	17980	0.309848	12064	1.490365
5	23700	0.408424	11489	2.062835
10	36406	0.627386	10437	3.488145
20	59190	1.00	10989	5.386332
40	90368	1.557320	12097	7.470257
60	116672	2.010620	12684	9.198333
100	146847	2.530640	11586	12.674540

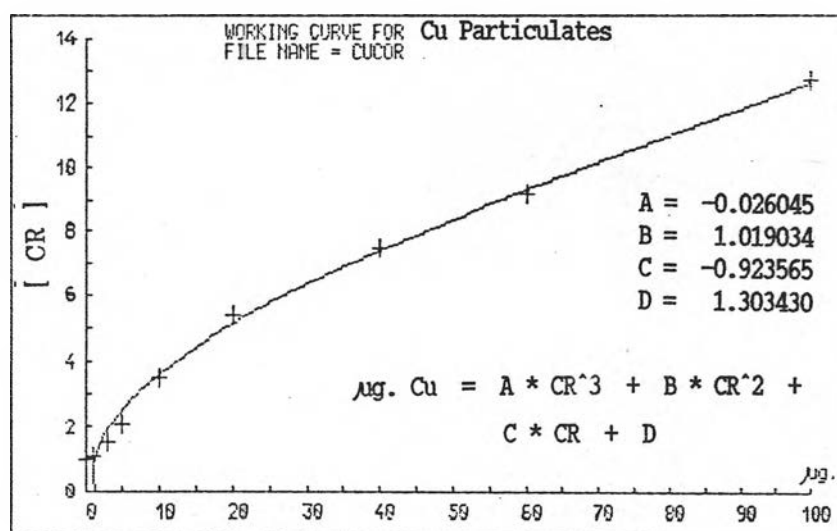
หมายเหตุ : (1) ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 3 ครั้ง

(2) ใช้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุทองแดง 20 ไมโครกรัม ต่อ
 9.621 ตร.ซม. เป็นค่าเปรียบเทียบกับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของ
 ทองแดงที่ความเข้มชั้นอื่น ๆ



Variance from regression = 0.466440
S.D. from regression = 0.682964
Correlation coefficient = 0.999776

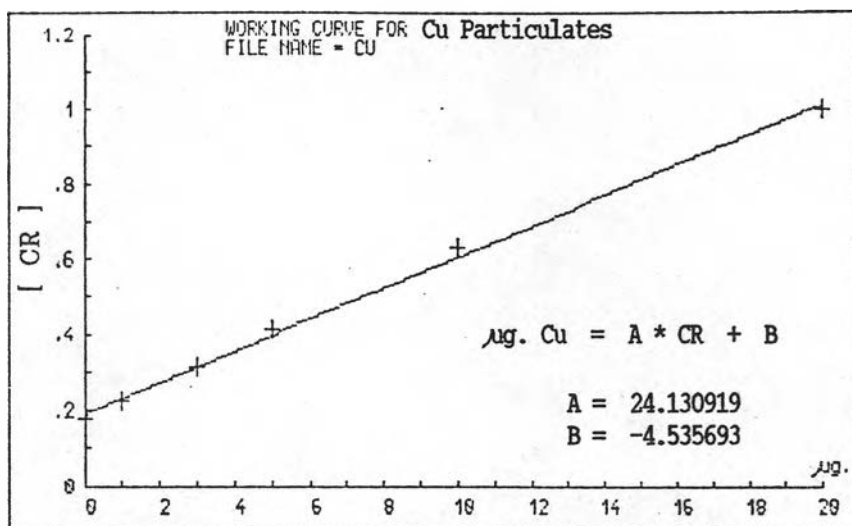
(ก)



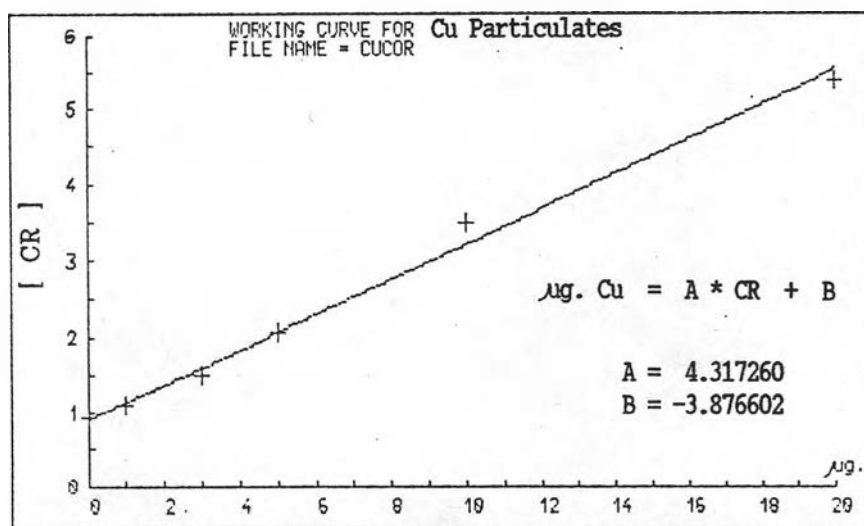
Variance from regression = 1.158552
S.D. from regression = 1.076360
Correlation coefficient = 0.999444

(ข)

- รูปที่ 5.26 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทองแดงกับความเข้มของ Cu $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ความเข้มของ Cu $K\alpha_{1,2}$ X-Rays แทนด้วย
- (ก) อัตราส่วนของความเข้มของ Cu $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ Cu $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มีทองแดง 20 ไมโครกรัม
- (ข) อัตราส่วนของความเข้มของ Cu $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง



Variance from regression = 0.126906
S.D. from regression = 0.356239
Correlation coefficient = 0.998647



Variance from regression = 0.343799
S.D. from regression = 0.586343
Correlation coefficient = 0.996329

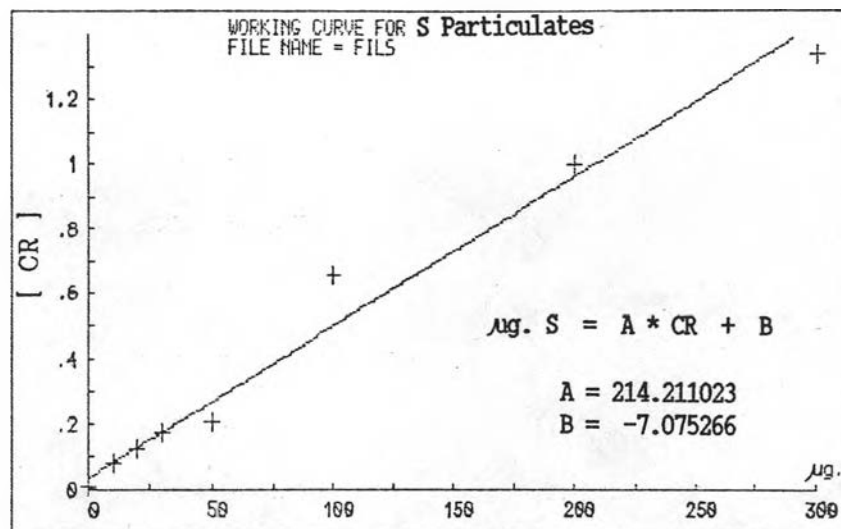
รูปที่ 5.27 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์เช่นเดียวกับรูปที่ 5.26 แต่หาความสัมพันธ์ของค่าปริมาณทองแดงในช่วง 0-20 ไมโครกรัม

ตารางที่ 5.12 ผลการวัดความเข้มของ S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มี
 สารมาตรฐานของธาตุกำมะถัน ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ปริมาณกำมะถัน บนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม ต่อ 9.621 ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ ความเข้มสุทธิของ S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (1) (จำนวนนับ ต่อ 100 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays (2)	ความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง (ที่ความยาวคลื่น 0.9 อังสตรอม) (จำนวนนับ ต่อ 60 วินาที)	อัตราส่วนของ ความเข้มของ S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ รังสีเอกซ์กระเจิง
Blank	20	0.004457	10935	0.001842
10	371	0.082167	12700	0.029234
20	552	0.122072	12439	0.044343
30	757	0.167718	12121	0.062522
50	911	0.201691	11773	0.077409
100	2983	0.660119	12921	0.230845
200	4744	1.00	14691	0.322948
300	6057	1.34050	12858	0.471072

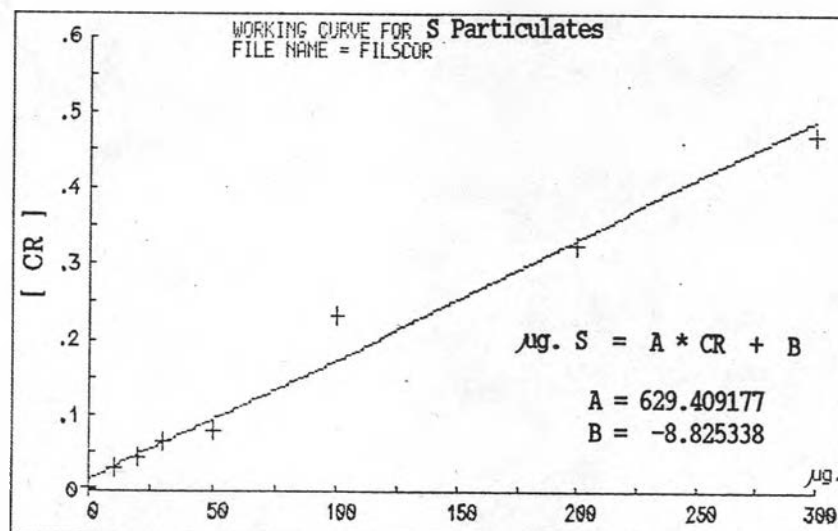
หมายเหตุ : (1) ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

(2) ใช้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุกำมะถัน 200 ไมโครกรัม ต่อ
 9.621 ตร.ซม. เป็นค่าเปรียบเทียบกับความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของ
 กำมะถันที่ความเข้มข้นอื่น ๆ



Variance from regression = 232.346012
S.D. from regression = 15.242900
Correlation coefficient = 0.988443

(ก)



Variance from regression = 209.392120
S.D. from regression = 14.470400
Correlation coefficient = 0.989591

(ข)

รูปที่ 5.28 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำมะถันกับความเข้มของ

S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ความเข้มของ S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays แทนด้วย

(ก) อัตราส่วนของความเข้มของ S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ

S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays บนกระดาษกรองที่มีกำมะถัน 200 ไมโครกรัม

(ข) อัตราส่วนของความเข้มของ S $K\alpha_{1,2}$ X-Rays ต่อความเข้มของ

รังสีเอกซ์กระเจิง

5.2.2 ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ธาตุ

การคำนวณหาขีดจำกัดในการวิเคราะห์จะใช้สมการที่ 4.1 ผลการคำนวณหาขีดจำกัดในการวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ WDX ของธาตุต่าง ๆ ที่ศึกษาแสดงได้ดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ WDX (JEOL JSX-60PA)

ธาตุ	R_b (counts/sec)	m ((counts/sec)/1 μ g)	T (sec)	LLD (μ g/9.621 cm^2)
Pb	156.0112	7.9318	400	0.22
Mn	79.3467	11.9136	200	0.15
Br	137.2250	21.4285	120	0.14
Ni	119.1250	23.1165	200	0.09
Zn	96.9333	22.2572	160	0.10
Fe	111.8750	11.6433	160	0.20
Ti	18.9333	4.1305	200	0.21
Cr	60.5594	9.8642	160	0.18
Cu	119.7350	24.5287	200	0.09
S	5.4100	0.2215	200	2.10

5.3 ผลการวิเคราะห์ฝุ่นที่เตรียมจากสารมาตรฐาน

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุบางธาตุในฝุ่นจำลองที่จัดเตรียมไว้ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้สารอ้างอิงมาตรฐาน (Standard Reference Materials) ของ National Institute of Standards and Technology (NIST) ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 แสดงค่าปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้จากแผ่นที่เตรียมจากสารอ้างอิงมาตรฐาน
เปรียบเทียบกับค่าของปริมาณธาตุจากใบรับรองผล (ภาคผนวก ง.)

ธาตุ	ปริมาณธาตุ (ไมโครกรัม)								
	NIST 1633a (0.0213 กรัม)			NIST 2684 (0.0112 กรัม)			NIST 2682 (0.0174 กรัม)		
	ค่า ที่รับรอง	ค่าที่วิเคราะห์ได้		ค่า ที่รับรอง	ค่าที่วิเคราะห์ได้		ค่า ที่รับรอง	ค่าที่วิเคราะห์ได้	
		ไม่แก้ไข แมทริกซ์	แก้ไข แมทริกซ์		(3)	ไม่แก้ไข แมทริกซ์		แก้ไข แมทริกซ์	(3)
Pb(1)	1.54	2.8 [6.2]	1.8 [3.9]	(2)	(ม.)	(ม.)	(2)	(ม.)	(ม.)
Mn	3.81	4.0	2.9	0.40	1.0	(น.)	0.45	0.7	(น.)
Br	(2)	0.8	(น.)	0.12	0.8	(น.)	0.06	0.6	(น.)
Ni	2.71	6.2	3.0	(2)	3.7	1.2	(2)	3.0	1.4
Zn	4.69	5.6	4.1	1.23	1.3	0.9	0.15	1.3	1.1
Fe	2002.2	2722.6 (4)	1789.7 (4)	26.76	52.9	30.7	41.8	46.9	31.8
Ti	170.4 (3)	143.2	183.2	6.69	14.1	8.6	8.7	9.8	6.9
Cr	4.17	4.0	4.1	0.19	(น.)	(น.)	0.26	(ม.)	(ม.)

ตารางที่ 5.14 (ต่อ)

ธาตุ	ปริมาณธาตุ (ไมโครกรัม)								
	NIST 1633a (0.0213 กรัม)			NIST 2684 (0.0112 กรัม)			NIST 2682 (0.0174 กรัม)		
	ค่า ที่รับรอง	ค่าที่วิเคราะห์ได้		ค่า ที่รับรอง	ค่าที่วิเคราะห์ได้		ค่า ที่รับรอง	ค่าที่วิเคราะห์ได้	
		ไม่แก้ไข แมทริกซ์	แก้ไข แมทริกซ์		ไม่แก้ไข แมทริกซ์	แก้ไข แมทริกซ์		ไม่แก้ไข แมทริกซ์	แก้ไข แมทริกซ์
Cu	2.51	3.4	2.6	(2)	1.2	(น.)	(2)	1.0	(น.)
S	38.3 (3)	45.9	40.1	334.5	380.3	330.7	81.78	144.0	111.9

- หมายเหตุ: (1) พีคของธาตุตะกั่วที่ 33.95 ($Pb L\alpha_{1,2}$) จะถูกรบกวนด้วยพีคของ As $K\alpha_{1,2}$ ที่ 34.00 เนื่องจาก NIST 1633a มีธาตุอาร์เซนิก 3.09 ไมโครกรัม ค่าที่อยู่ใน [วงเล็บก้ามปู] เป็นค่าที่ยังไม่ได้แก้ไขการรบกวนของ As $K\alpha_{1,2}$
- (2) ไม่มีค่าระบุไว้ในใบรับรอง
- (3) ใบรับรองให้ค่าไว้ แต่ไม่รับรองผลวิเคราะห์ และสำหรับ NIST 2682 และ NIST 2684 ไม่รับรองค่าของธาตุปริมาณน้อยทั้งหมด รับรองแต่เฉพาะค่าปริมาณของธาตุกามาเดิน (S) เพียงธาตุเดียว
- (4) ค่าที่ได้เป็นค่าที่ได้จากการต่อเส้นกราฟออกไป (สมการของกราฟปรับเทียบที่ใช้เตรียมจากช่วงปริมาณธาตุจาก 0-100 ไมโครกรัม)
- (น.) ไม่ได้วิเคราะห์
- (น.) น้อยกว่าขีดจำกัดของการวิเคราะห์

5.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นในอากาศ

5.4.1 ผลการหาปริมาณฝุ่นที่เก็บจากอากาศ

ข้อมูลของตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากอากาศบริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และผลการวัดปริมาณฝุ่นแสดงดังตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 วัน-เวลา ที่เก็บตัวอย่างฝุ่น และผลการวัดปริมาณฝุ่นที่เก็บจากอากาศบริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเลขตัวอย่าง	วัน เดือน ปี ที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณฝุ่น (กรัม)
1	21-22 มี.ธ. 34 (20.15-20.15 น.)	0.0545
2	29-30 มี.ธ. 34 (18.25-18.25 น.)	0.0596
3	6-7 ก.ค. 34 (18.25-18.25 น.)	0.0607
4	13-14 ก.ค. 34 (11.55-11.55 น.)	0.0667
5	14-15 ก.ค. 34 (13.00-01.00 น.)	0.0278
6	24 ส.ค.34 (07.30-19.35 น.)	0.0381

ตารางที่ 5.15 (ต่อ)

หมายเลขตัวอย่าง	วัน เดือน ปี ที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณฝน (กรัม)
7	24-25 ส.ค. 34 (20.00 - 12.05 น.)	0.0401
8	25-26 ส.ค. 34 (13.35 - 03.00 น.)	0.0105
9	1 ก.ย. 34 (01.55 - 13.30 น.)	0.0284
10	1-2 ก.ย. 34 (14.10 - 02.00 น.)	0.0561
11	7-8 ก.ย. 34 (12.20 - 01.00 น.)	0.0121
12	8 ก.ย. 34 (02.40 - 14.20 น.)	0.0334
13	8-9 ก.ย. 34 (15.15 - 03.45 น.)	0.0112

สำหรับตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากอากาศบริเวณ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี วัดปริมาณ
ฝุ่นได้ดังตารางที่ 5.16

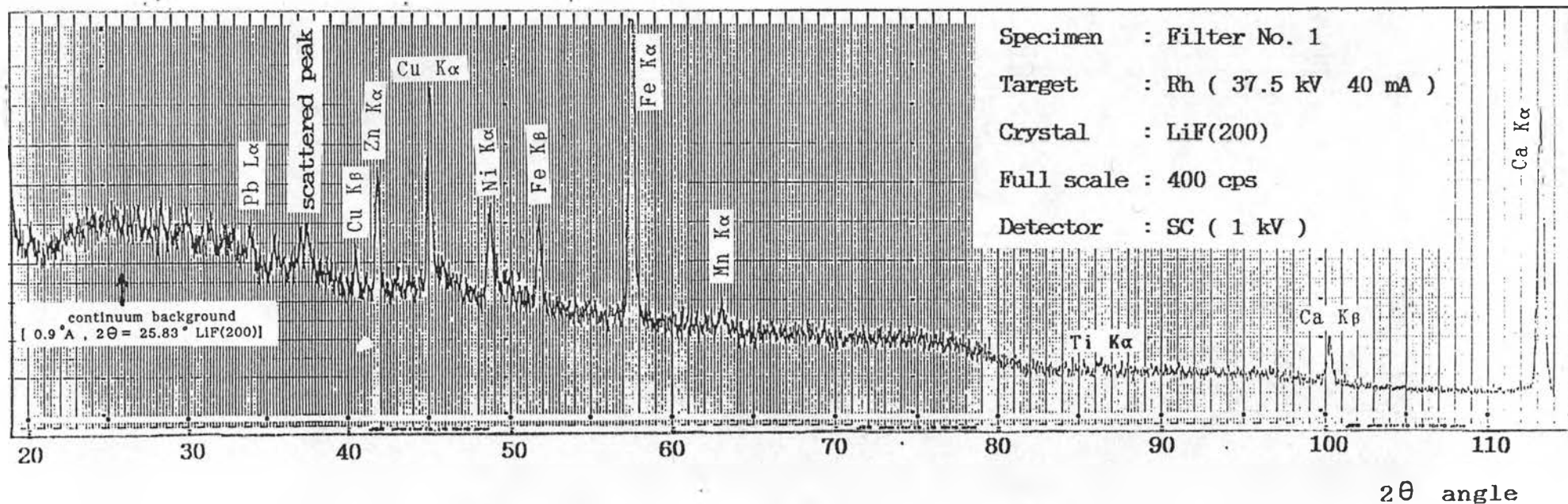
ตารางที่ 5.16 ผลการวัดปริมาณฝุ่นของตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากอากาศในเขต อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี

หมายเลขตัวอย่าง	ปริมาณฝุ่น (กรัม)	หมายเลขตัวอย่าง	ปริมาณฝุ่น (กรัม)
14	0.23321	22	0.10261
15	0.11453	23	0.05359
16	0.12979	24	0.03590
17	0.18209	25	0.08938
18	0.08800	26	0.05960
19	0.11732	27	0.09212
20	0.12524	28	0.02046
21	0.08759	55	0.07075

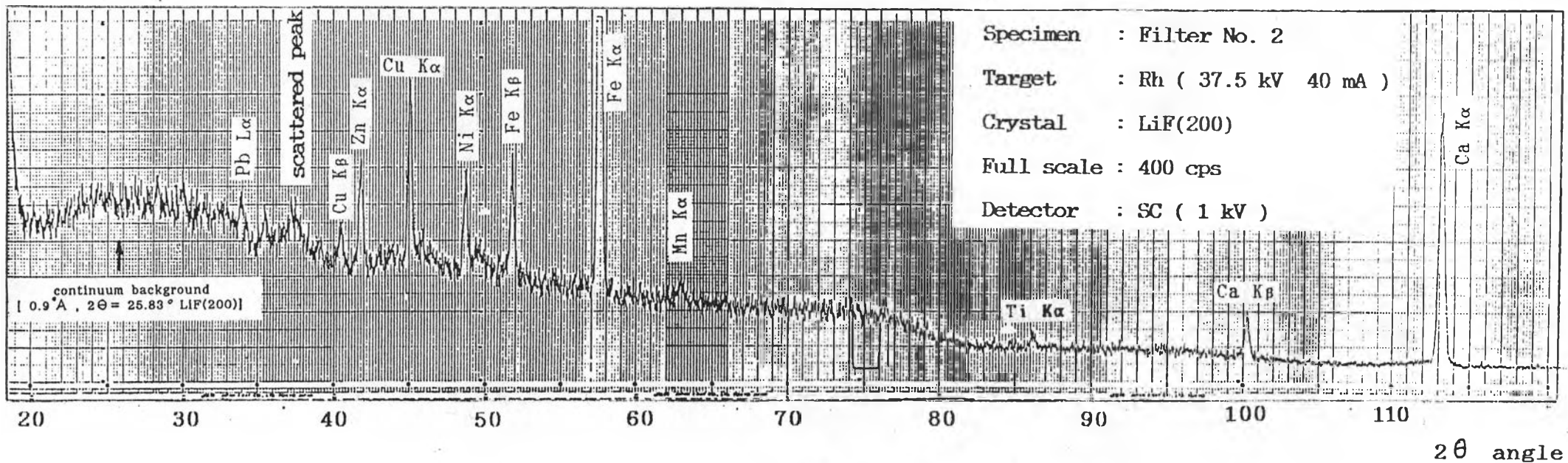
5.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นเชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากอากาศ โดยใช้เทคนิค
การเรืองรังสีเอกซ์ ทั้งระบบ WDX และระบบ EDX สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของ
ตัวอย่างฝุ่นบนกระดานรองบางตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 5.29 ถึง รูปที่ 5.32 ส่วนใน
รูปที่ 5.33 เป็นตัวอย่างฝุ่นที่เก็บโดยใช้กระดานรองชนิดใยแก้ว

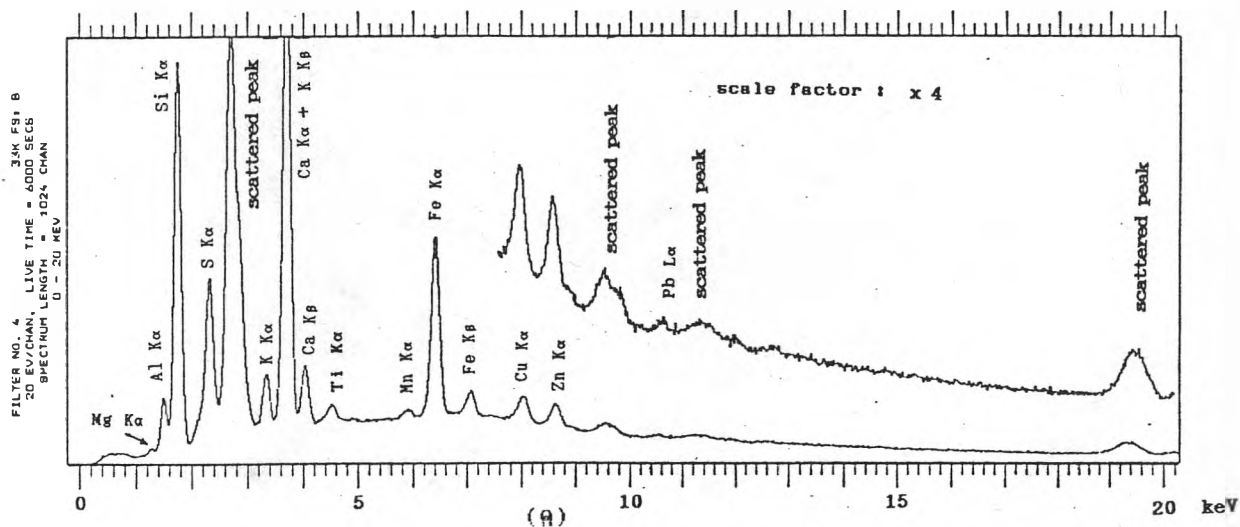
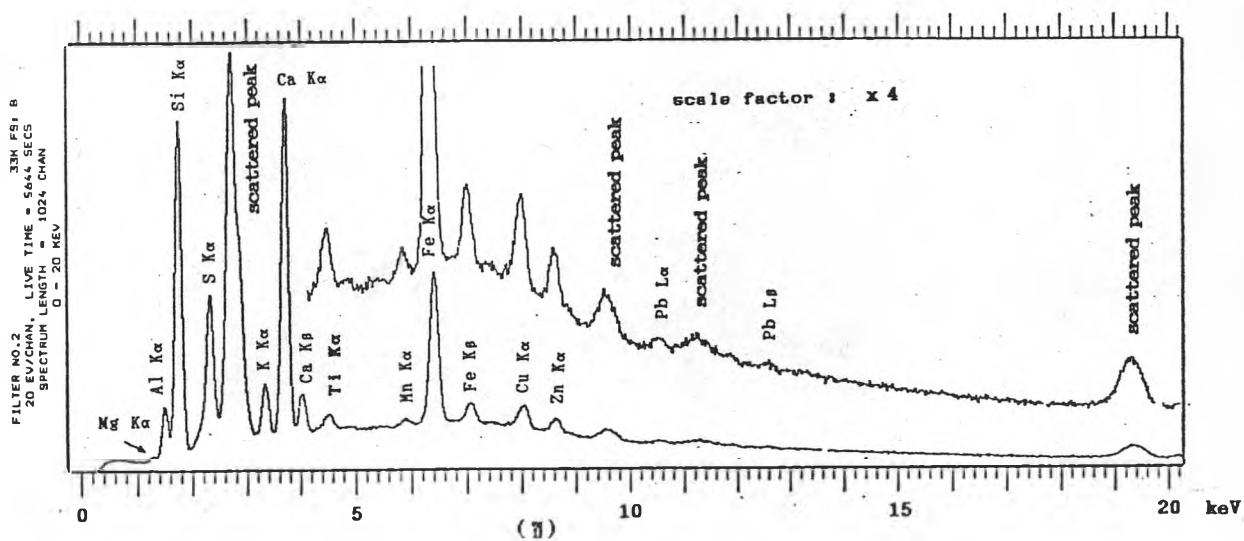
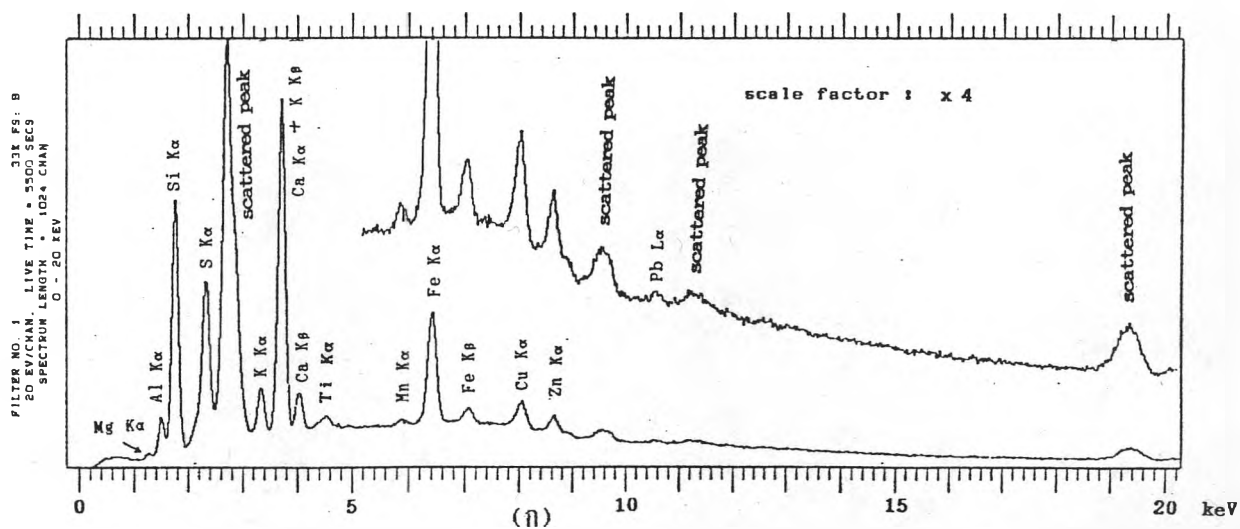
จากการศึกษาเชิงคุณภาพของฝุ่นในอากาศจาก 2 บริเวณ จะพบว่าธาตุที่
พบในตัวอย่างฝุ่นจะคล้ายกัน ซึ่งธาตุที่พบ ได้แก่ อลูมิเนียม ซิลิกอน กำมะถัน แคลเซียม
โพแทสเซียม ทิตาเนียม แมงกานีส เหล็ก ทองแดง สังกะสี และ ตะกั่ว



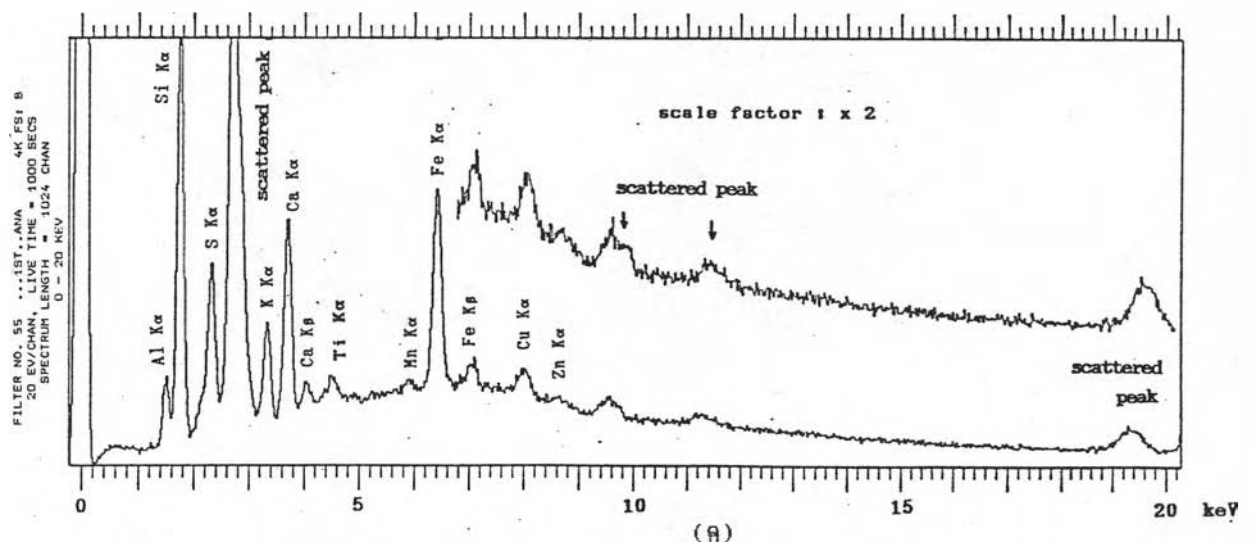
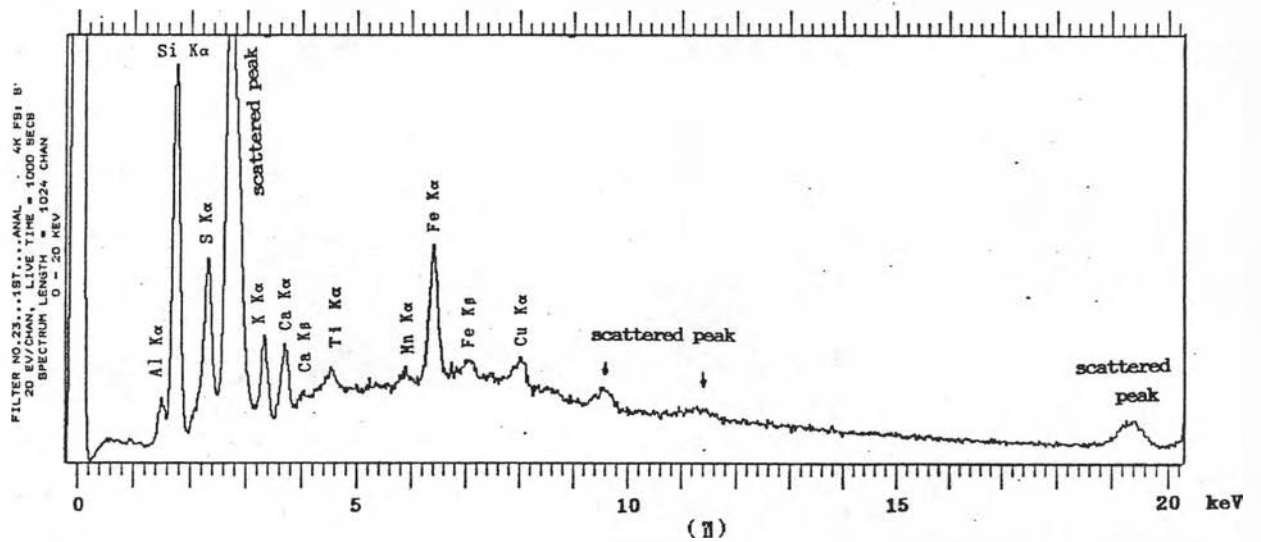
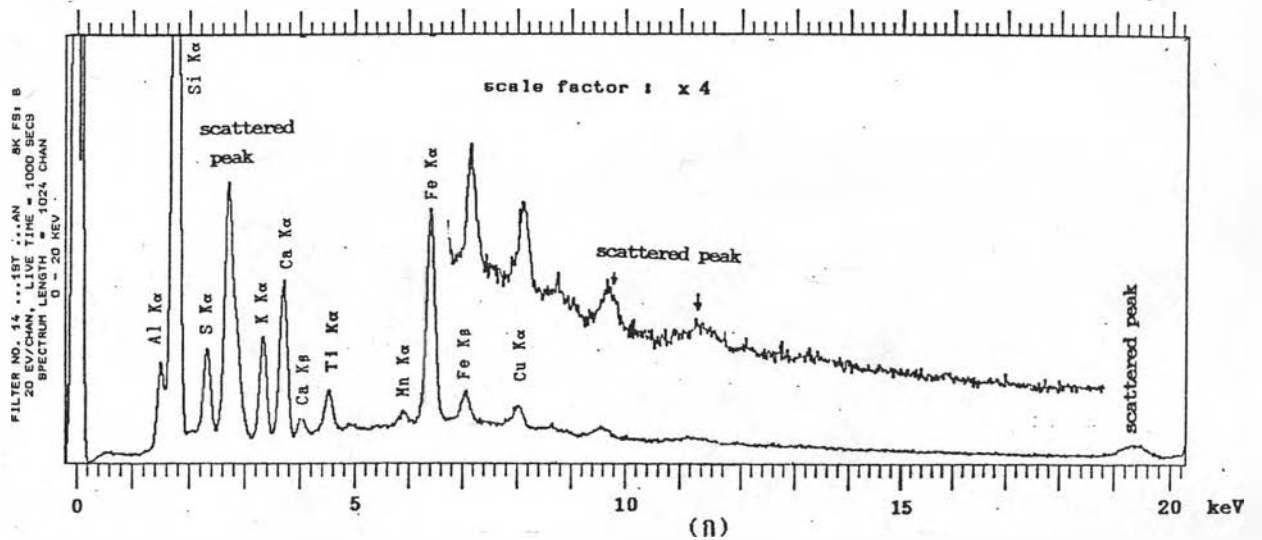
รูปที่ 5.29 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นในอากาศ
 ของตัวอย่างหมายเลข 1 วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ WDX



รูปที่ 5.30 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นในอากาศ
 ของตัวอย่างหมายเลข 2 วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ WDX



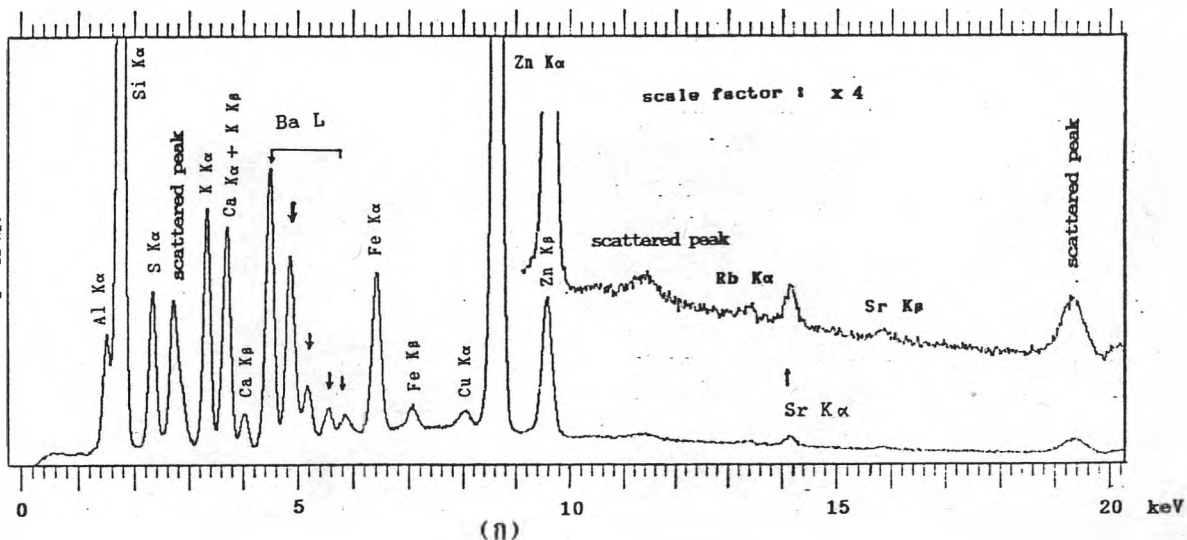
รูปที่ 5.31 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นในอากาศของตัวอย่าง
ฝุ่นบริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ
EDX
(ก) ตัวอย่างหมายเลข 1 (ข) ตัวอย่างหมายเลข 2 (ค) ตัวอย่างหมายเลข 4



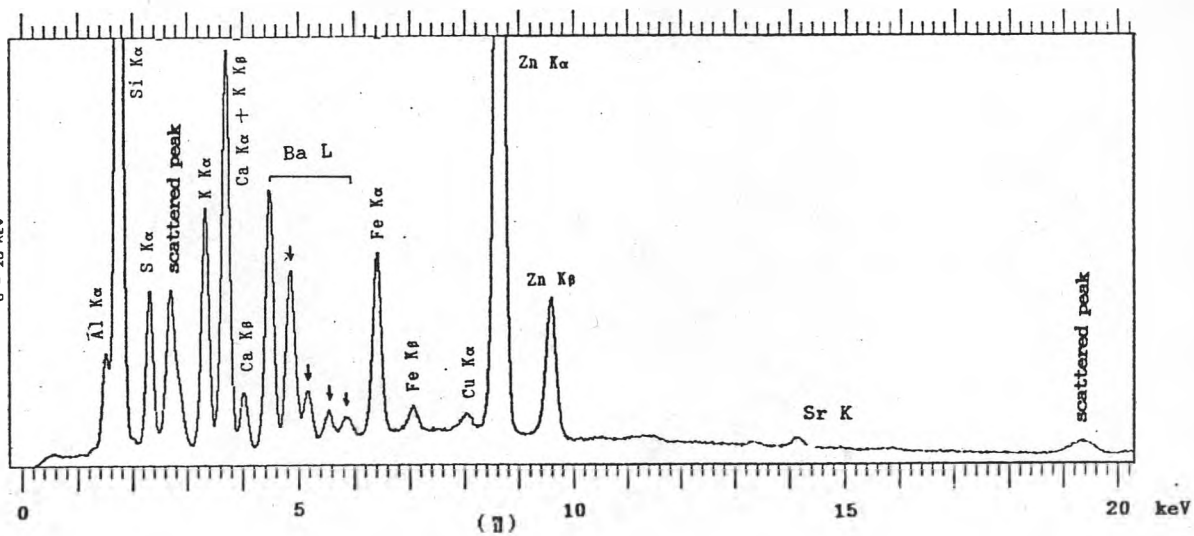
รูปที่ 5.32 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นในอากาศของตัวอย่างฝุ่นบริเวณท่าอากาศยาน จังหวัดชลบุรี วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ EDX

(ก) ตัวอย่างหมายเลข 14 (ข) ตัวอย่างหมายเลข 23 (ค) ตัวอย่างหมายเลข 55

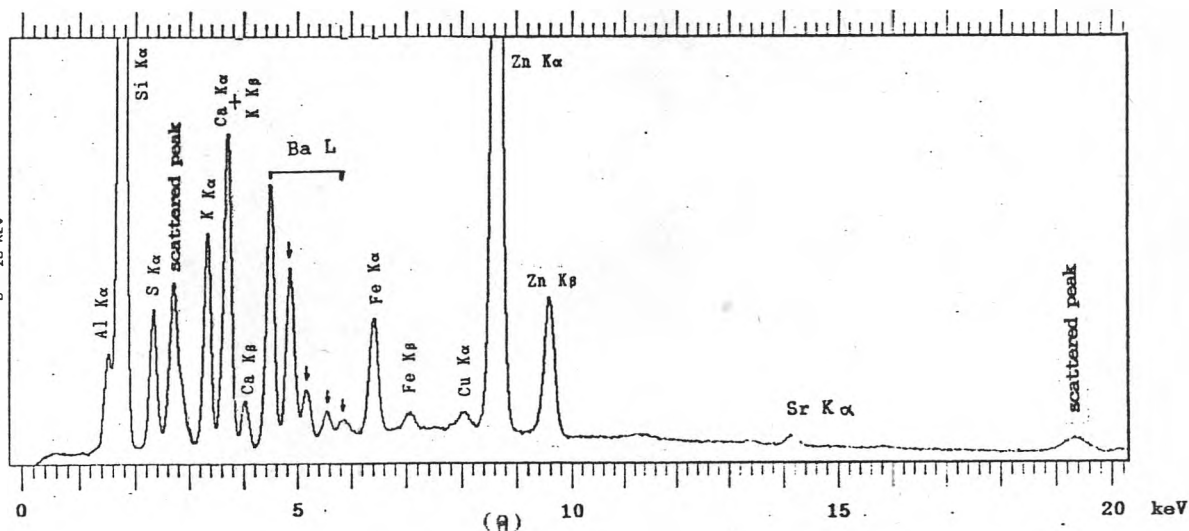
FILTER NO. A2 14K FSI B
 LIVE TIME = 731 SECS
 20 EV/CHAN, SPECTRUM LENGTH = 1024 CHAN
 0 - 20 KEV



FILTER NO. C2 14K FSI B
 LIVE TIME = 732 BECS
 20 EV/CHAN, SPECTRUM LENGTH = 1024 CHAN
 0 - 20 KEV



FILTER NO. E3 14K FSI B
 LIVE TIME = 713 SECS
 20 EV/CHAN, SPECTRUM LENGTH = 1024 CHAN
 0 - 20 KEV



รูปที่ 5.33 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นในอากาศที่เก็บโดย
 ใช้กระดาษกรองชนิดใยแก้ว วิเคราะห์ด้วยเครื่องระบบ EDX บริเวณที่เก็บ
 ตัวอย่างของแต่ละหมายเลขตัวอย่าง จากตารางที่ ง.1 (ภาคผนวก ง.)

(n) ตัวอย่างหมายเลข 1 (ข) ตัวอย่างหมายเลข 8 (ค) ตัวอย่างหมายเลข 6

5.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในตัวอย่างฝุ่นในอากาศ

5.4.3.1 การวิเคราะห์หาธาตุปริมาณน้อยในฝุ่น

การวิเคราะห์หาธาตุปริมาณน้อยในฝุ่นจะใช้การวิเคราะห์ระบบ WDX การคำนวณหาปริมาณจะใช้กราฟเปรียบเทียบของธาตุต่าง ๆ ที่จัดเตรียมไว้แล้ว ผลวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.17 และ ตารางที่ 5.18

5.4.3.2 การวิเคราะห์หาธาตุหลักในตัวอย่างฝุ่น

การวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่เป็นธาตุหลักในตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากอากาศ โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้โปรแกรม LINK QUANTEM/FLS โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมของบริษัท LINK ANALYTICAL ที่ใช้กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope) โปรแกรมออกแบบไว้ให้ใช้กับตัวอย่างที่มีเมทริกซ์เป็นพวกสารอินทรีย์ และมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ (thin film) โปรแกรมจะคำนวณโดยใช้ค่าอัตราส่วนของความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุต่อค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ต่อเนื่องจาก background (ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่า background ในช่วงระดับพลังงาน 5.0 ถึง 5.8 keV) เพื่อหาความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุ

ในงานวิจัยนี้จะใช้สารอ้างอิงมาตรฐาน NIST 1633a เพื่อใช้ในการคำนวณค่าแฟคเตอร์ที่จะใช้ในการแก้ค่าผลรบกวน เนื่องจากเมทริกซ์อื่น ๆ ผลวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นในอากาศแสดงดังตารางที่ 5.19 และ ตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.17 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุรองและธาตุปริมาณน้อยในฝุ่นที่เก็บจากอากาศ
บริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเลข ตัวอย่าง	ปริมาณธาตุ (ไมโครกรัม ต่อ กรัม ของฝุ่น)								
	Pb	Mn	Br	Ni	Zn	Fe (1)	Ti	Cu	S (1)
1	1959 (2141)	202 (83)	731 (574)	81 (434)	2550 (3255)	1.66 (1.53)	1394 (1630)	1813 (2157)	3.09 (3.91)
2	1756 (1824)	276 (159)	665 (549)	162 (332)	1650 (1995)	2.02 (1.72)	1468 (1612)	1286 (1380)	2.31 (2.74)
3	1369 (1513)	254 (191)	528 (384)	น. (316)	1627 (2114)	1.90 (1.82)	1468 (1690)	1559 (1886)	3.62 (4.62)
4	1488 (1609)	263 (192)	508 (386)	78 (301)	2448 (3079)	2.05 (1.86)	1421 (1602)	838 (1704)	1.99 (2.49)
5	1572 (1753)	370 (182)	796 (413)	น. (538)	1537 (2024)	1.98 (1.79)	1543 (1879)	1423 (2411)	2.59 (3.27)
6	1946 (2162)	178 (164)	688 (431)	น. (429)	1690 (2224)	1.80 (1.67)	1653 (1956)	1618 (1572)	2.73 (3.50)
7	2156 (2387)	170 (180)	702 (523)	84 (519)	8466 (10468)	1.77 (1.70)	1389 (1653)	1727 (2186)	3.36 (4.33)
8	1575 (1674)	298 (237)	724 (329)	183 (487)	1977 (2409)	1.89 (1.57)	1704 (1952)	3276 (3373)	3.26 (3.85)

ตารางที่ 5.17 (ต่อ)

หมายเลข ตัวอย่าง	ปริมาณธาตุ (ไมโครกรัม ต่อ กรัม ของฝุ่น)								
	Pb	Mn	Br	Ni	Zn	Fe (1)	Ti	Cu	S (1)
9	3669 (3821)	237 (227)	1274 (1182)	112 (444)	3770 (4591)	1.51 (1.34)	1264 (1471)	2724 (2930)	5.38 (6.50)
10	1894 (1911)	576 (696)	593 (379)	160 (290)	3686 (4255)	2.25 (1.86)	1351 (1464)	1106 (1144)	4.16 (4.77)
11	2850 (3167)	286 (316)	1225 (779)	น. (933)	2645 (3498)	1.53 (1.42)	2010 (2747)	1673 (2562)	3.64 (4.69)
12	1493 (1629)	154 (147)	666 (401)	น. (357)	3345 (4206)	1.58 (1.45)	1483 (1732)	1506 (1889)	4.22 (5.25)
13	1481 (1497)	277 (71)	973 (448)	437 (374)	2889 (3133)	1.77 (1.17)	1796 (1964)	1985 (1662)	4.11 (4.30)

หมายเหตุ : (1) ปริมาณธาตุเหล็กและกำมะถัน มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

น. มีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์

() ค่าที่ปรากฏในวงเล็บเป็นค่าที่ได้จากการของกราฟปรับเทียบที่ใช้ความเข้มข้นของ
รังสีเอกซ์กระเจิงเพื่อแก้ไขค่าแมทริกซ์

ตารางที่ 5.18 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุรองและธาตุปริมาณน้อยในฝุ่นที่เก็บจากอากาศ
บริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

หมายเลข ตัวอย่าง	ปริมาณธาตุ (ไมโครกรัม ต่อ กรัม ของฝุ่น)								
	Pb	Mn	Br	Ni	Zn	Fe (1)	Ti	Cu	S (1)
14	160 (168)	510 (518)	147 (น.)	164 (63)	236 (232)	1.88 (1.70)	2806 (2243)	703 (463)	1.00 (0.94)
15	183 (229)	787 (769)	293 (น.)	210 (63)	130 (141)	2.21 (2.05)	2575 (2210)	260 (93)	1.88 (1.83)
16	236 (270)	564 (639)	203 (น.)	151 (142)	81 (109)	2.11 (2.16)	2710 (2477)	126 (114)	1.56 (1.68)
17	132 (158)	512 (526)	178 (น.)	158 (65)	60 (67)	1.80 (1.68)	2231 (1877)	157 (55)	1.16 (1.13)
18	282 (331)	660 (554)	315 (น.)	372 (73)	119 (119)	2.24 (1.94)	2843 (2374)	586 (209)	2.22 (2.03)
19	442 (418)	476 (360)	373 (น.)	316 (น.)	253 (228)	2.02 (1.67)	2090 (1688)	593 (201)	2.21 (1.95)
20	216 (242)	809 (680)	263 (น.)	405 (50)	226 (190)	1.98 (1.56)	2472 (1879)	(น.) (น.)	1.64 (1.35)
21	525 (529)	703 (631)	451 (น.)	389 (137)	273 (274)	2.37 (2.13)	2442 (2114)	419 (132)	3.23 (3.08)

ตารางที่ 5.18 (ต่อ)

หมายเลขตัวอย่าง	ปริมาณธาตุ (ไมโครกรัม ต่อ กรัม ของฝุ่น)								
	Pb	Mn	Br	Ni	Zn	Fe (1)	Ti	Cu	S (1)
22	244 (288)	476 (432)	208 (น.)	296 (156)	166 (182)	1.59 (1.49)	3296 (2841)	853 (582)	1.86 (1.84)
23	286 (405)	659 (377)	470 (น.)	700 (น.)	196 (181)	1.88 (1.50)	2672 (2325)	524 (น.)	3.24 (2.81)
24	919 (969)	1081 (616)	749 (น.)	1212 (123)	384 (334)	4.25 (3.35)	5479 (4462)	905 (น.)	5.02 (4.22)
25	278 (319)	798 (548)	273 (น.)	560 (น.)	170 (128)	2.57 (1.89)	3094 (2281)	527 (น.)	1.63 (1.23)
26	414 (478)	720 (394)	450 (น.)	826 (น.)	116 (92)	2.81 (2.11)	3560 (2784)	889 (น.)	2.47 (1.94)
27	396 (424)	694 (670)	335 (น.)	351 (177)	174 (194)	2.27 (2.12)	2258 (2014)	241 (65)	1.99 (1.95)
28	1901 (1926)	1305 (498)	1716 (น.)	1954 (205)	357 (337)	4.17 (3.21)	4443 (4213)	1779 (น.)	7.49 (6.36)
55	588 (626)	625 (598)	392 (น.)	314 (215)	335 (389)	2.52 (2.49)	2131 (2045)	502 (358)	2.54 (2.63)

หมายเหตุ : (1) ปริมาณธาตุเหล็ก และกำมะถัน มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก
 น. มีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์
 () ค่าที่ปรากฏในวงเล็บเป็นค่าที่ได้จากการของกราฟปรับเทียบที่ใช้ความเข้มข้นของ
 ริงส์เอกซ์กระเจิงเพื่อแก้ไขค่าแมทริกซ์

ตารางที่ 5.19 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุหลักในตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากอากาศ บริเวณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX ร่วมกับ โปรแกรม LINK QUANTEM/FLS

หมายเลขตัวอย่าง	ปริมาณธาตุ (% โดยน้ำหนัก)			
	Al	Si	K	Ca
1	6.26	22.64	2.08	9.97
2	7.17	24.14	1.97	8.43
3	6.78	22.40	1.67	8.16
4	6.25	24.03	1.75	10.37
5	5.71	21.80	1.77	13.12
6	6.62	22.96	1.68	10.01
7	6.50	21.43	1.87	10.27
8	6.12	22.12	1.94	10.92
9	5.91	20.59	1.90	8.97
10	5.89	21.81	1.46	10.17
11	7.36	20.64	1.62	10.40
12	5.66	20.65	1.78	11.76
13	5.97	21.38	1.86	11.73

ตารางที่ 5.20 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุหลักในตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากอากาศ บริเวณ
อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์
ระบบ EDX ร่วมกับโปรแกรม LINK QUANTEM/FLS

หมายเลขตัวอย่าง	ปริมาณธาตุ (% โดยน้ำหนัก)			
	Al	Si	K	Ca
14	5.98	36.26	2.06	2.30
15	6.69	33.86	3.32	2.00
16	7.73	32.96	2.89	2.53
17	7.79	33.77	2.55	3.04
18	8.24	32.51	3.61	1.41
19	7.29	29.80	3.02	2.93
20	5.91	34.62	2.71	3.81
21	7.60	30.87	3.09	3.19
22	6.45	35.24	2.37	1.50
23	7.73	32.35	3.16	1.81
24	7.40	29.47	2.56	2.27
25	7.83	33.33	2.44	3.17
26	9.03	31.84	3.22	1.85
27	6.86	32.44	2.62	4.28
28	7.18	26.20	3.24	3.17
55	8.89	29.38	3.01	4.27

5.5 ผลการวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศโดยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอื่น

วิธีวิเคราะห์หิวอื่นที่เลือกใช้ได้แก่วิธีอะตอมมิคแอบсорบชันสเปกโตรโฟโตเมตรี และอินดิคทีฟลิคป์เปลพลาสติกอิมิชชันสเปกโตรเมตรี เจือไนท์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นจากอากาศสำหรับวิธีทั้งสอง แสดงดังตารางที่ ง.4 และตารางที่ ง.5 ในภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ธาตุรองและธาตุปริมาณน้อยด้วยวิธีทั้งสอง แสดงดังตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.21 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุรองและธาตุปริมาณน้อยในฝุ่นจากอากาศโดยวิธีอะตอมมิคแอบсорบชันสเปกโตรโฟโตเมตรี และอินดิคทีฟลิคป์เปลพลาสติกอิมิชชันสเปกโตรเมตรี

หมายเลข ตัวอย่าง (1)	ปริมาณธาตุ (ไมโครกรัม ต่อ กรัม ของฝุ่น)								
	Pb (2)	Mn	Ni	Zn	Fe (3)	Cu	Cr	As (2)	Cd (2)
1	2230	210	74.6	3451	1.55	2257	62.8	40.3	5.9
2	1864	317	97.2	2164	2.01	1367	47.2	26.0	2.9
3	1445	288	28.7	2347	1.91	1919	57.5	35.4	6.7
4	1707	241	59.2	2979	2.09	1728	57.6	34.7	3.4
6	2176	193	72.5	2296	1.62	1555	55.1	23.2	5.8
7	2436	182	81.1	10764	1.79	2257	51.1	51.1	7.5
8	1737	293	160	2481	1.83	3493	60.7	33.0	6.9
9	3898	261	83.3	5188	1.59	2903	68.2	42.3	6.8
10	2020	581	168	4315	2.38	1153	83.8	177	8.4
11	3458	316	58.8	3881	2.44	2791	143	33.6	14.0
12	1710	148	37.5	4412	1.56	1945	54.1	56.9	6.9

ตารางที่ 5.21 (ต่อ)

หมายเลข ตัวอย่าง (1)	ปริมาณธาตุ (ไมโครกรัม ต่อ กรัม ของฝุ่น)								
	Pb (2)	Mn	Ni	Zn	Fe (3)	Cu	Cr	As (2)	Cd (2)
14	145	527	116	245	1.66	473	27.9	25.7	1.7
15	171	906	177	176	2.09	106	35.8	22.7	2.6
17	127	580	160	139	1.72	52	39.5	21.4	2.7
18	290	742	340	210	2.46	233	64.8	29.5	4.5
19	446	545	298	258	1.72	216	97.2	31.5	5.1
23	308	728	728	368	1.78	2219	67.2	22.4	7.5
24	1003	1201	1217	476	3.93	4563	78.0	41.8	16.7
25	283	886	527	234	1.99	2207	55.9	41.4	4.5
28	1799	1486	1838	670	4.66	181	127	92.9	19.6
55	620	779	355	355	2.60	411	48.0	58.0	5.6

- หมายเหตุ : (1) ตัวอย่างหมายเลข 5, 13, 16, 20, 21, 22, 26, 27 ไม่ได้วิเคราะห์
 (2) วิเคราะห์โดยวิธีกราฟไฟต์เฟออร์เนตอะตอมมิคแอบсорบชันสเปกโตรโฟโตเมตรี
 (3) ปริมาณธาตุเหล็ก(Fe) มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

5.6 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินบริเวณข้างเคียง

ตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณนั้น เก็บตัวอย่างเฉพาะจากแหล่งในต่างจังหวัด ได้แก่ บริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี สำหรับจุดที่เก็บตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ ง.1 ภาคผนวก ง

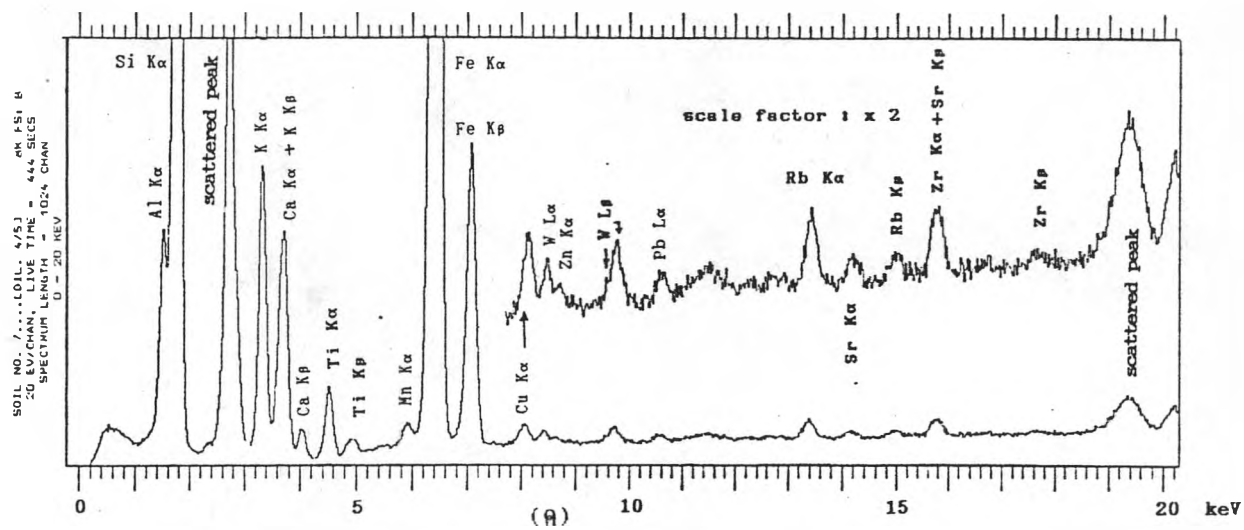
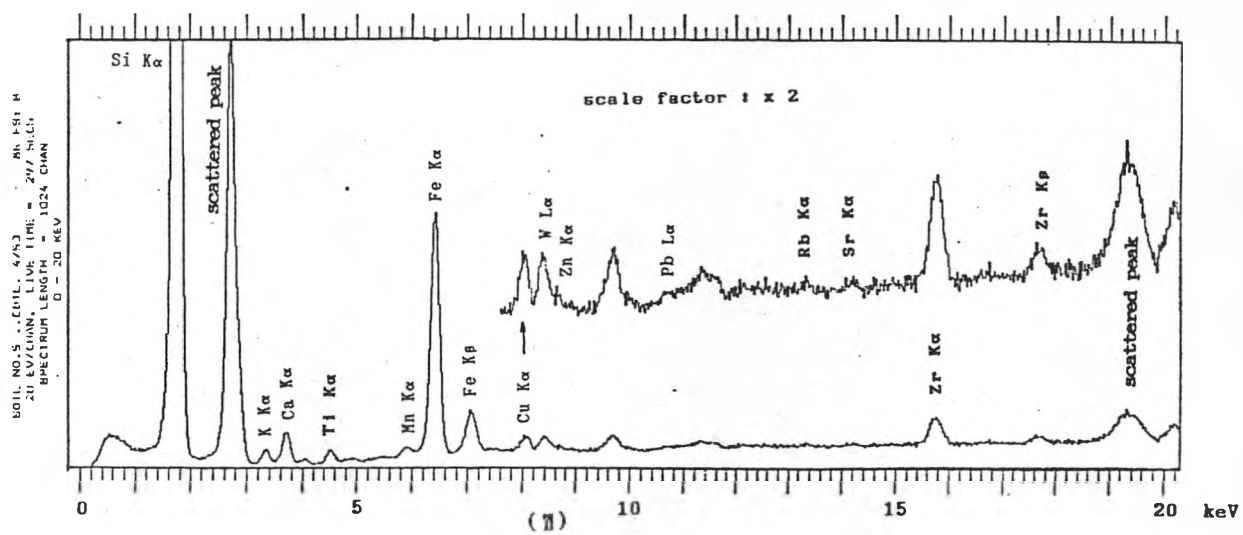
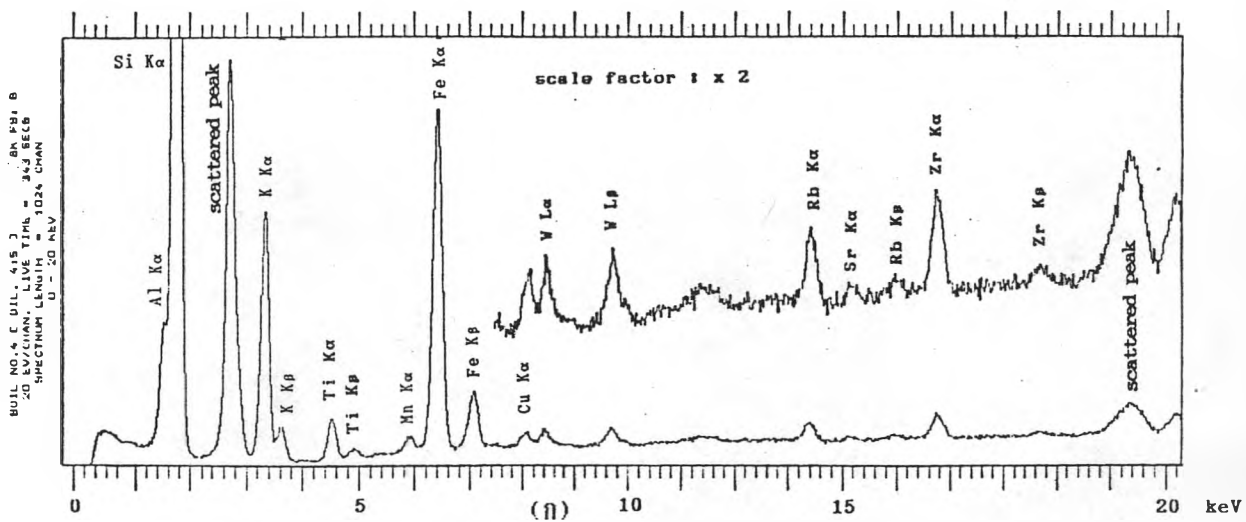
5.6.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของตัวอย่างดิน

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของตัวอย่างดิน โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ในการวิจัยในครั้งนี้จะเลือกใช้ระบบ EDX ผลวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.22 สำหรับสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของตัวอย่างดินบางตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5.34

5.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ ในตัวอย่างดิน

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่เป็นส่วนประกอบของตัวอย่างดิน โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์นี้ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป XFF/FLS (X-ray Fluorescence analysis with Fundamental parameters /Filtered Least Squares spectrum processing) ซึ่งใช้กับระบบ EDX ของเครื่อง LINK EDXRF XR-200 เนื่องจากโปรแกรมนี้อาจใช้ค่าพื้นฐานทางทฤษฎีของแต่ละธาตุที่เป็นส่วนประกอบของตัวอย่างและลักษณะการจัดตำแหน่งทางเรขาคณิตของเครื่องมือ เพื่อคำนวณหาค่าอิทธิพลของแมทริกซ์ และใช้ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณธาตุต่าง ๆ ในตัวอย่างแต่ละประเภท แต่อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการปรับค่าที่ใช้ในการแก้ไขอิทธิพลของแมทริกซ์ที่เครื่องคำนวณได้ให้ใกล้เคียงกับตัวอย่างมากที่สุด ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จะเตรียมชุดของสารมาตรฐานที่มีส่วนประกอบของธาตุต่าง ๆ ที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างเพื่อใช้ในการตรวจสอบ และปรับค่าที่ใช้ในการแก้ไขอิทธิพลของแมทริกซ์ให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่จะศึกษา ชุดของสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นนั้นแสดงดังตารางที่ จ. 1 ผลการวิเคราะห์ชุดของสารมาตรฐานเหล่านี้โดยใช้ข้อมูลของเครื่องมือ แสดงดังตัวอย่างที่ จ. 2 และผลต่างระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้กับค่าปริมาณธาตุต่าง ๆ ในชุดสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้น แสดงได้ดังตารางที่ จ. 3 (ภาคผนวก จ)

เมื่อเลือกใช้ค่าปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของชุดของสารมาตรฐาน SS2 เป็นตัวแทนของกลุ่มตัวอย่าง แล้วให้เครื่องคำนวณค่าแฟคเตอร์ที่ใช้ในการแก้ไขอิทธิพลของแมทริกซ์ขึ้นใหม่อีกครั้ง แล้วใช้ค่าที่คำนวณใหม่นี้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ชุดของสารมาตรฐานที่เหลือ ผลวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังตารางที่ จ. 4 (ภาคผนวก จ)



รูปที่ 5.34 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของตัวอย่างดิน

(ก) ดินหมายเลข 4 (ข) ดินหมายเลข 5 (ค) ดินหมายเลข 7

ตารางที่ 5.22 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของตัวอย่างดินจากแหล่งบริเวณใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่าง บริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

หมายเลขตัวอย่าง	ธาตุที่ตรวจพบ (1)
1	Si Al K Ca Ti Fe Mn Cu Rb Zr W
2	Si Al K Ca Ti Fe Mn Cu Rb Zr W
3	Si Al K Ca Ti Fe Mn Cu Rb Zr Sr S W
4	Si Al K Ca Ti Fe Mn Cu Rb Zr Sr W
5	Si Al K Ca Ti Fe Mn Cu Rb Zr Pb W
6	Si Al K Ca Ti Fe Mn Cu Rb Zr W
7	Si Al K Ca Ti Fe Mn Cu Rb Zr Sr Pb S W
8	Si Al K Ca Ti Fe Mn Cu Rb Zr Sr W

หมายเหตุ : (1) ธาตุทังสเตน (W) จะพบในสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของตัวอย่างทุกตัวอย่าง แต่จากการตรวจสอบแล้วพบว่า ธาตุทังสเตนเป็นสารปนเปื้อนในตัวอย่างดิน ที่เกิดขึ้นจากการเตรียมตัวอย่างโดยใช้ชุดบดตัวอย่างที่ทำด้วยทังสเตนคาร์ไบด์ (WC)

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ ในตัวอย่างดินบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งที่เก็บตัวอย่างฝุ่นในอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังตารางที่

ตารางที่ 5.23 ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของตัวอย่างดินจากบริเวณใกล้เคียงกับ
จุดเก็บตัวอย่าง บริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

ธาตุในรูป ของ ออกไซด์	ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างดินหมายเลขต่าง ๆ (% โดยน้ำหนัก)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Al ₂ O ₃	3.92	2.44	10.00	7.18	1.06	2.37	12.15	2.36
SiO ₂	91.07	92.54	68.90	85.54	94.91	94.48	69.11	87.34
K ₂ O	0.88	0.89	3.24	3.59	0.22	0.64	3.16	1.26
CaO	0.22	0.33	0.16	0.09	0.41	0.17	2.15	1.09
TiO ₂	0.28	0.22	0.61	0.32	0.08	0.21	0.43	0.11
MnO ₂	0.09	0.05	0.37	0.05	0.02	0.05	0.07	0.02
Fe ₂ O ₃	1.31	0.77	5.68	1.05	0.83	0.61	5.05	0.70
CuO	0.028	0.032	0.033	0.028	0.030	0.028	0.026	0.023
ZrO ₂	0.058	0.113	0.106	0.069	0.086	0.115	0.047	0.024
SO ₃	-	-	0.24	-	-	-	0.19	-
Pb	-	-	-	-	0.008	-	0.017	-
Sr	-	-	0.008	0.005	-	-	0.010	0.005
L.O.I. (1)	1.91	2.34	8.48	1.74	2.03	0.99	6.64	3.19

หมายเหตุ : (1) Loss On Ignition หมายถึง การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้
อุณหภูมิที่ทดสอบ คือ 950 องศาเซลเซียส

5.6.3 การวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบที่เป็นส่วนประกอบของดิน

การวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบของตัวอย่างดิน ทำโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction) แล้วเปรียบเทียบกับสเปคตรัมที่ได้กับข้อมูลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารมาตรฐานที่จัดรวบรวมไว้โดย JCPDS-International Centre for Diffraction Data (JCPDS = Joint Committee on Powder Diffraction Standards) ผลการเปรียบเทียบสเปคตรัมของรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน ของตัวอย่างดินบางตัวอย่างแสดงดังรูปที่ จ. 1 และ รูปที่ จ. 2 (ภาคผนวก จ) ผลการวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบของตัวอย่างดินแสดงดังตารางที่ 5.24

ตารางที่ 5.24 ชนิดของสารประกอบที่ตรวจพบในตัวอย่างดิน

หมายเลขตัวอย่าง	ชนิดของสารประกอบที่พบในตัวอย่างดิน
1 ถึง 8	JCPDS 331161 : Quartz, Low (SiO_2) JCPDS 50490 : Quartz, Low (SiO_2) JCPDS 200452 : Gismondine ($\text{CaAl}_2 \text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) JCPDS 250618 : Sanidine, High ($\text{K Al Si}_3\text{O}_8$) JCPDS 310966 : Orthoclase ($\text{K Al Si}_3\text{O}_8$) JCPDS 25068 : Microcline ($\text{K Al Si}_3\text{O}_8$)

5.7 ผลการศึกษาชนิดของฝุ่นละอองโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การศึกษาฝุ่นละออง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นการศึกษาตัวอย่างฝุ่นในระดับอนุภาคขนาดเล็กโดยตรง ข้อมูลที่ได้จะเกี่ยวข้องกับขนาด และรูปร่างของอนุภาคฝุ่นที่กระจายอยู่บนกระดาษกรอง ดังในรูปที่ 5.35 และ 5.36 ซึ่งเป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่ได้จากตัวอย่างฝุ่นในอากาศที่เก็บจากบริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่วนในรูปที่ 5.37 และรูปที่ 5.38 เป็นฝุ่นในอากาศที่เก็บจากบริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี จากรูปทั้ง 4 รูป จะเห็นได้ว่าฝุ่นในอากาศที่เก็บได้มีขนาดเล็กกว่า 25 ไมครอน

การศึกษาถึงชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่น ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งหน่วยวิเคราะห์รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างฝุ่นนั้น หลักการวิเคราะห์รังสีเอกซ์ เรื่องที่ประกอบกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนั้น คือ จะใช้ลำอิเล็กตรอน (electron beam) ส่องกราดไปมาบนผิวของตัวอย่าง อิเล็กตรอนจะเกิดอันตรกิริยากับตัวอย่างเป็นผลทำให้ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของฝุ่นเกิดการเรืองรังสีเอกซ์ เนื่องจากเราสามารถที่จะกำหนดขนาด และพื้นที่ของการส่องกราดของลำอิเล็กตรอนได้ ทำให้สามารถศึกษาตัวอย่างเฉพาะจุดที่ต้องการได้ จากการศึกษาตัวอย่างฝุ่นในระดับอนุภาคขนาดเล็ก ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 5.39 รูปที่ 5.40 รูปที่ 5.45 และรูปที่ 5.46 สำหรับสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรื่องของอนุภาคที่สนใจจะแสดงในรูปที่ 5.41 รูปที่ 5.42 รูปที่ 5.43 รูปที่ 5.44 และรูปที่ 5.47 รูปที่ 5.48 รูปที่ 5.49 รูปที่ 5.50 และรูปที่ 5.51

จากรูปที่แสดงสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรื่องที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดทั้งหมดจะพบว่า ธาตุทอง (Au) ปรากฏอยู่ เนื่องจากตัวอย่างฝุ่นที่จะนำมาวิเคราะห์จำเป็นต้องฉาบผิวด้วยทอง เพื่อให้ตัวอย่างมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดี

จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รูปที่ 5.39 ซึ่งแสดงลักษณะของอนุภาคฝุ่นชนิดหนึ่ง (A) สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ เรื่องของอนุภาค A แสดงในรูปที่ 5.41 จะพบว่าอนุภาคฝุ่น A นี้จะมีธาตุสังกะสี แคลเซียม และคลอรีน เป็นส่วนประกอบหลัก และมีธาตุเหล็กปนอยู่เล็กน้อย

ในรูปที่ 5.40 แสดงอนุภาคของฝุ่น A B และ C เมื่อศึกษาสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของอนุภาคฝุ่นทั้ง 3 ชนิด ในรูปที่ 5.42 รูปที่ 5.43 และรูปที่ 5.44 พบว่าอนุภาคฝุ่น A จะมีส่วนประกอบของธาตุตะกั่ว โบรมีน คลอรีน แคลเซียม และเหล็ก ส่วนอนุภาคฝุ่น B และ C ซึ่งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับอนุภาคฝุ่น A พบว่ามีส่วนประกอบที่แตกต่างจากอนุภาค A อนุภาคฝุ่น B จะมีส่วนประกอบของธาตุซิลิกอน โบแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก กำมะถัน โบรมีน ตะกั่ว ส่วนอนุภาคฝุ่น C นั้น พบว่ามีธาตุแคลเซียมเป็นธาตุหลัก

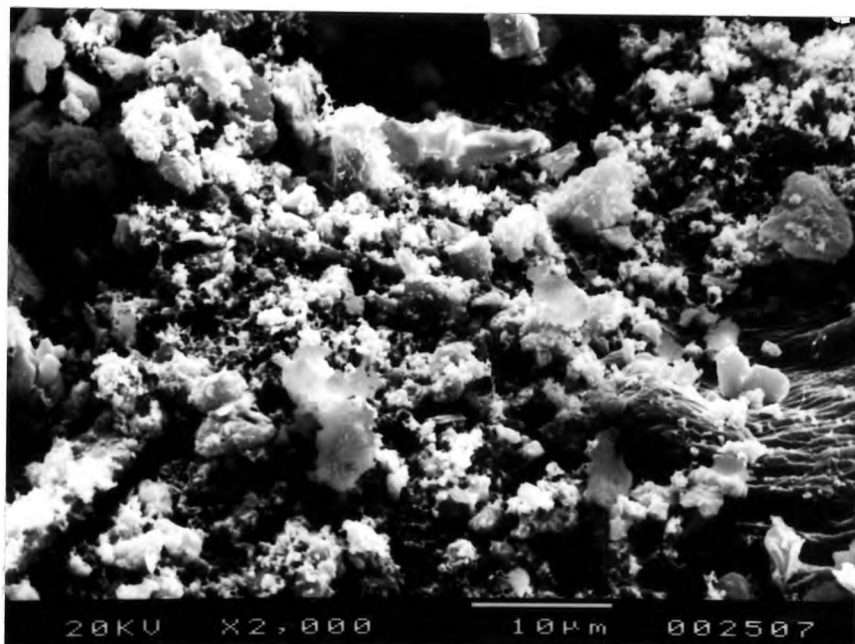
ในรูปที่ 5.45 แสดงอนุภาคของฝุ่น A และ B ซึ่งมีสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองดังรูปที่ 5.47 และรูปที่ 5.48 อนุภาคฝุ่น A นั้นจะพบว่ามีธาตุแคลเซียมเป็นธาตุหลัก ส่วนอนุภาคฝุ่น B จะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันไป คือ จะมีธาตุแบเรียม คลอรีน ซีลเฟอร์ และเหล็ก ปนอยู่ด้วย

สำหรับรูปที่ 5.46 แสดงลักษณะของอนุภาคฝุ่น A B และ C จากรูปร่างลักษณะของอนุภาคฝุ่นในภาพจะเห็นว่าอนุภาคฝุ่น A B และ C จะลักษณะคล้ายกัน ส่วนอนุภาคฝุ่น D จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป จากสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองรูปที่ 5.49 และ รูปที่ 5.50 พบว่าอนุภาคฝุ่น A และ B มีธาตุซิลิกอน โบแทสเซียม แคลเซียม และเหล็ก เป็นองค์ประกอบ และจากรูปที่ 5.51 จะพบว่าอนุภาคฝุ่น D ไม่มีธาตุซิลิกอนเป็นส่วนประกอบ พบแต่ธาตุแคลเซียม โบแทสเซียม และเหล็ก

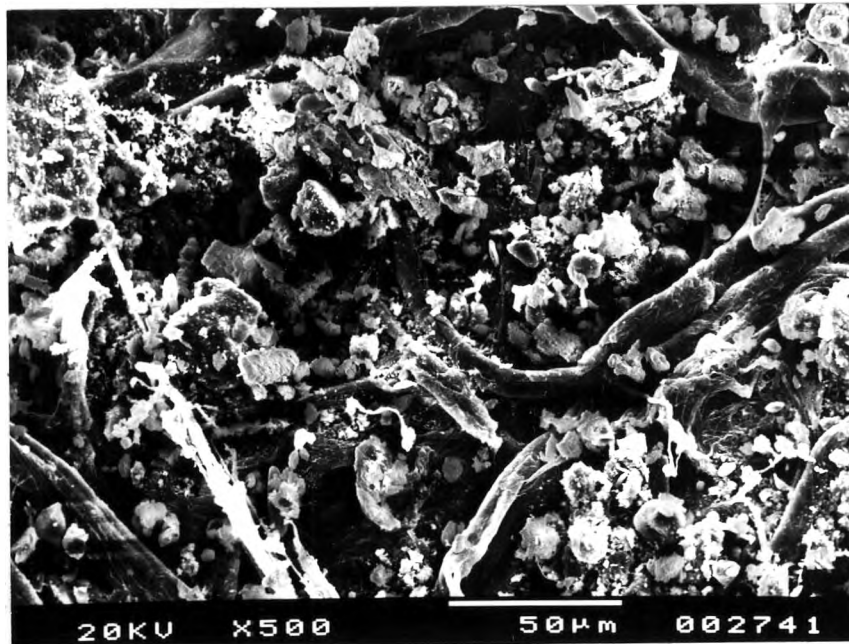
ในการวิจัยครั้งนี้ผลการวิเคราะห์อนุภาคฝุ่น ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์อาจยังไม่ค่อยสมบูรณ์ เนื่องจากในระหว่างที่ทำการวิจัยเครื่อง EDX ที่ติดตั้งร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีปัญหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการวัดธาตุที่มีเลขอะตอม (atomic number) ต่ำ ๆ เช่น ธาตุกำมะถัน ฟอสฟอรัส ซิลิกอน อลูมิเนียม แมกนีเซียม และโซเดียม ซึ่งทำให้ขาดข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคฝุ่นนั้น ๆ



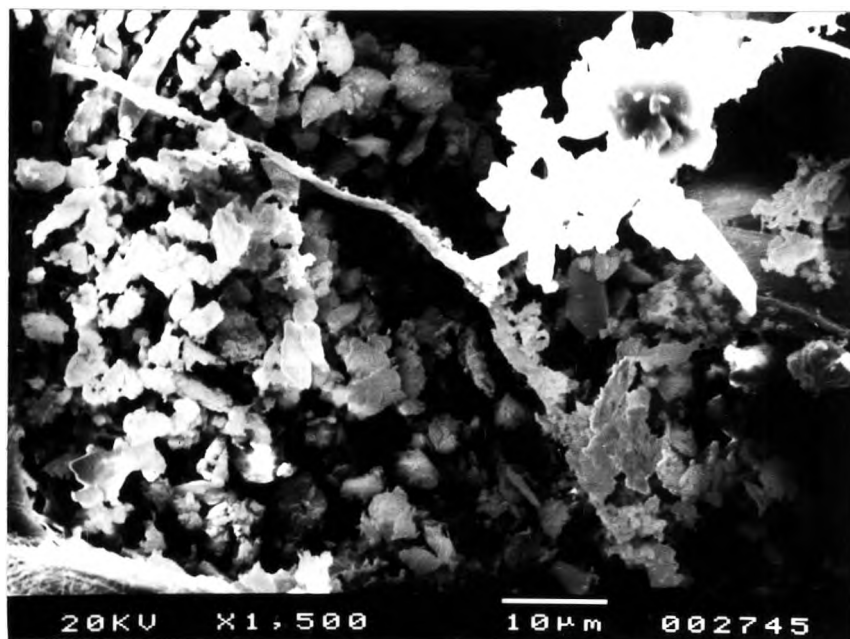
รูปที่ 5.35 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของฝุ่นที่ติดอยู่บนกระดาษกรองเซลลูโลสของตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 10 (ตัวอย่างฝุ่นจากบริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ขนาดกำลังขยาย 500 เท่า



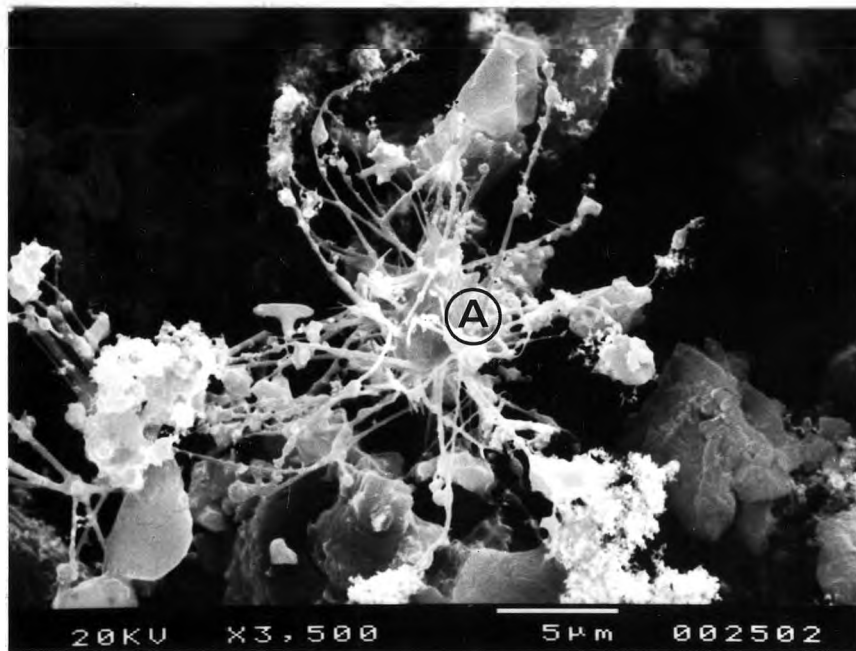
รูปที่ 5.36 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของฝุ่นที่ติดอยู่บนกระดาษกรองเซลลูโลสของตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 3 (ตัวอย่างฝุ่นจากบริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ขนาดกำลังขยาย 2000 เท่า



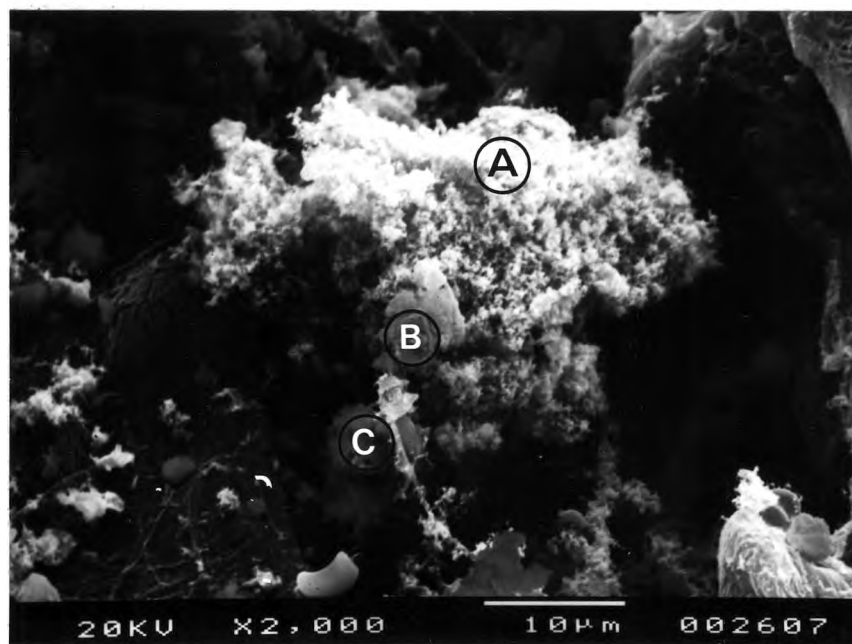
รูปที่ 5.37 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของฝุ่นที่ติดอยู่บนกระดาษกรองเซลลูโลสของตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 14 (ตัวอย่างฝุ่นจากบริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี) ขนาดกำลังขยาย 500 เท่า



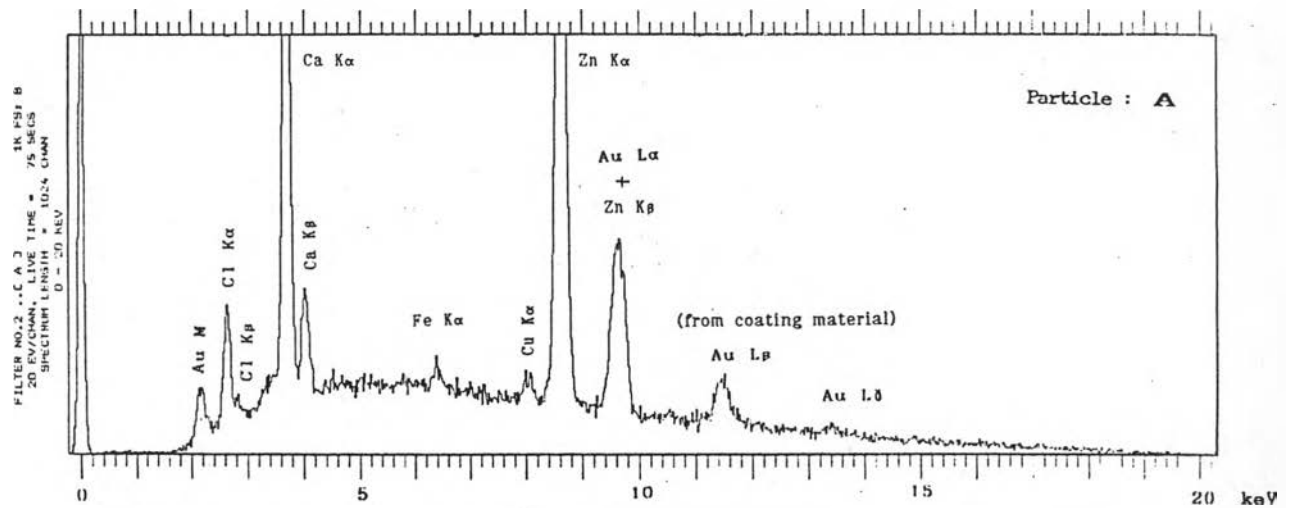
รูปที่ 5.38 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของฝุ่นที่ติดอยู่บนกระดาษกรองเซลลูโลสของตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 17 (ตัวอย่างฝุ่นจากบริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี) ขนาดกำลังขยาย 1500 เท่า



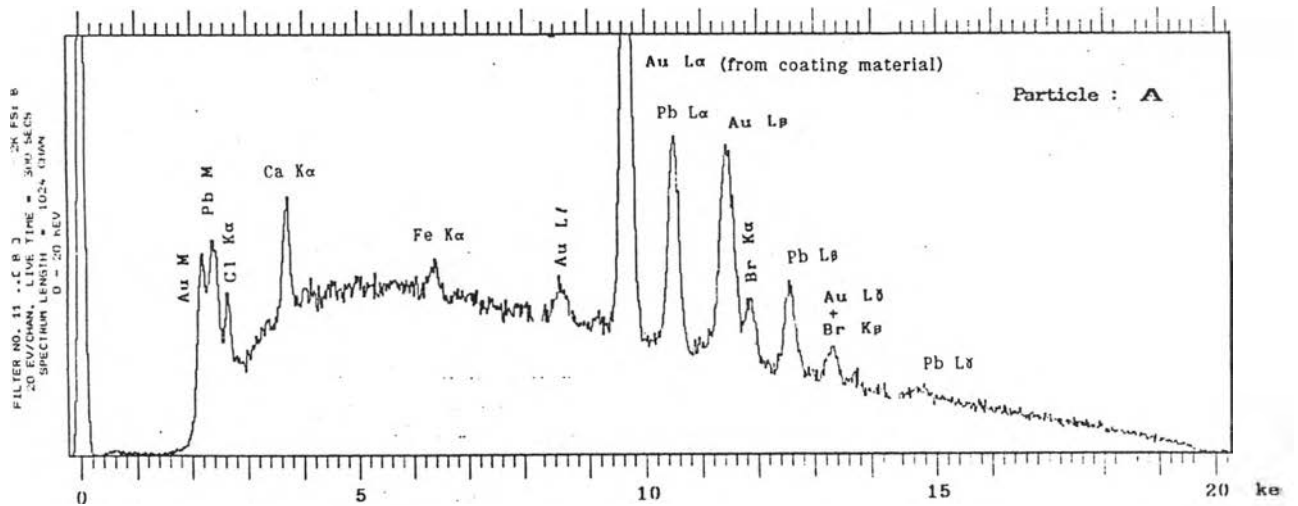
รูปที่ 5.39 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของอนุภาค
ฝุ่น A จากตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 2 ขนาดกำลังขยาย 3500 เท่า



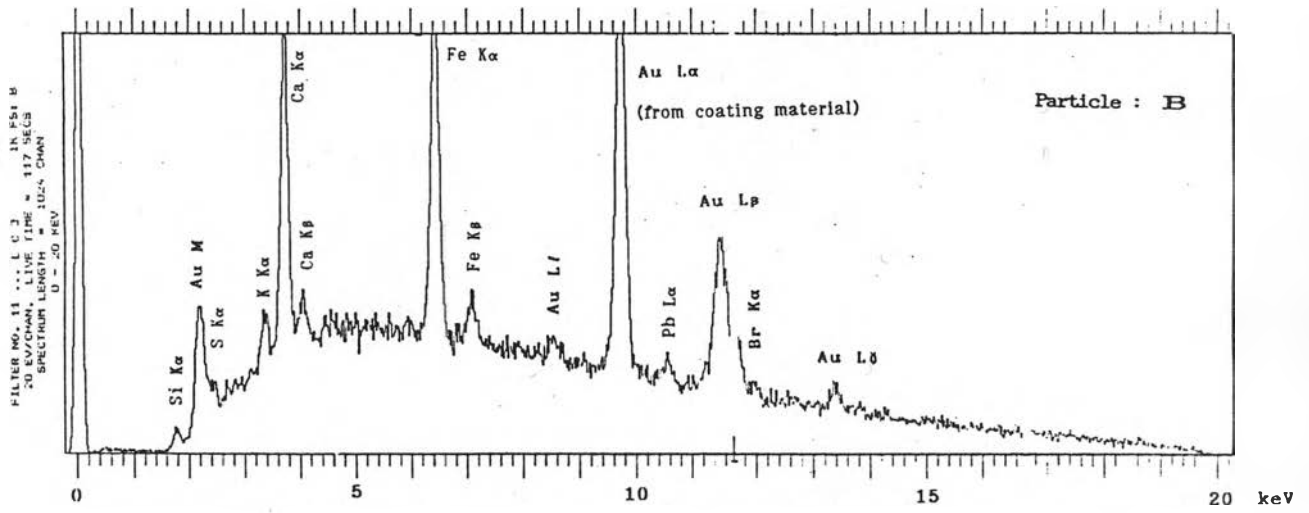
รูปที่ 5.40 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของอนุภาค
ฝุ่น A B และ C จากตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 11 ขนาดกำลังขยาย 2000 เท่า



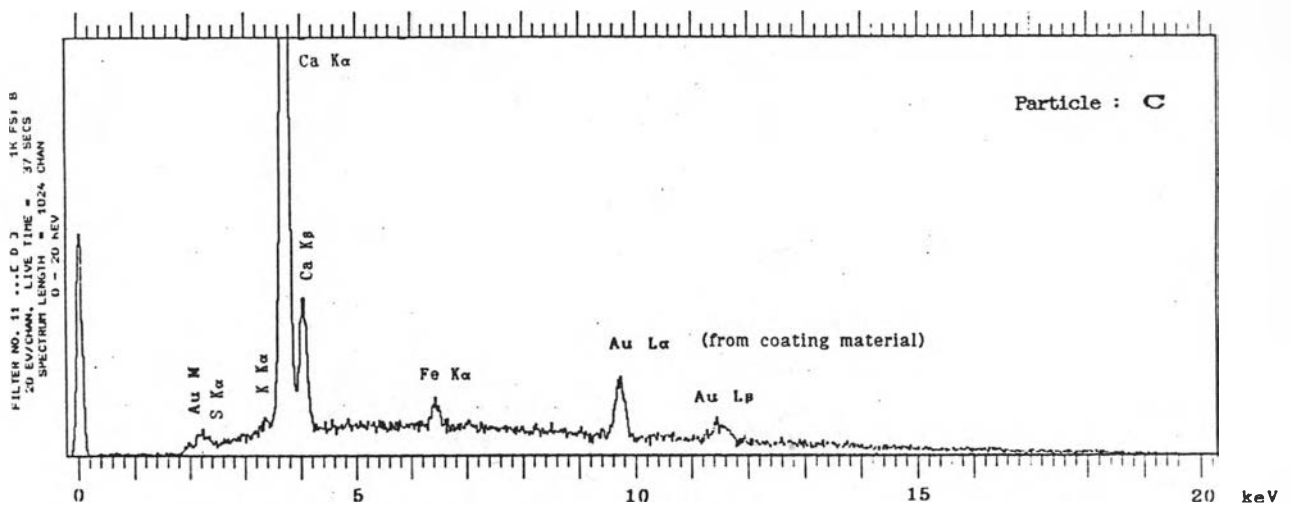
รูปที่ 5.41 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของอนุภาคฝุ่น A ในรูปที่ 5.39 วิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX



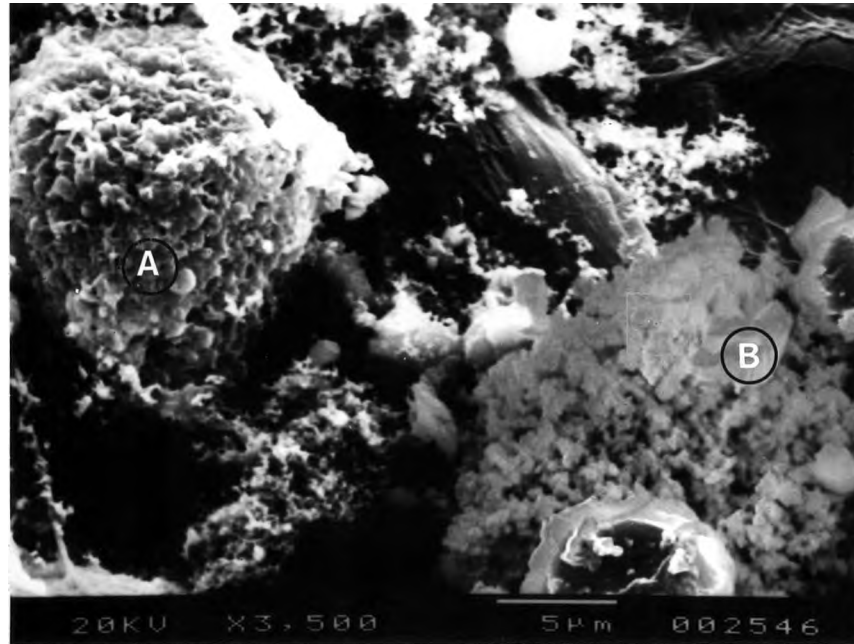
รูปที่ 5.42 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของอนุภาคฝุ่น A ในรูปที่ 5.40 วิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX



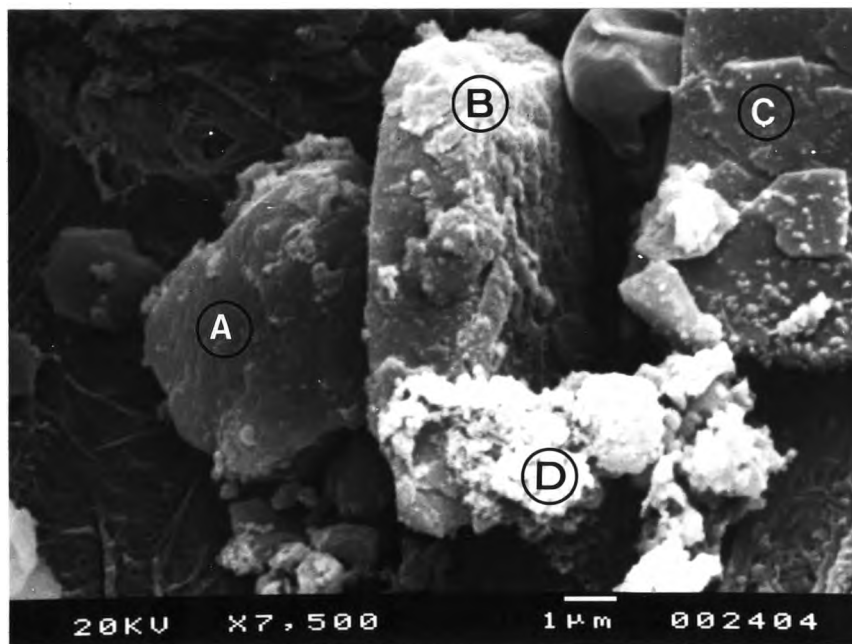
รูปที่ 5.43 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของอนุภาคฝุ่น B ในรูปที่ 5.40 วิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX



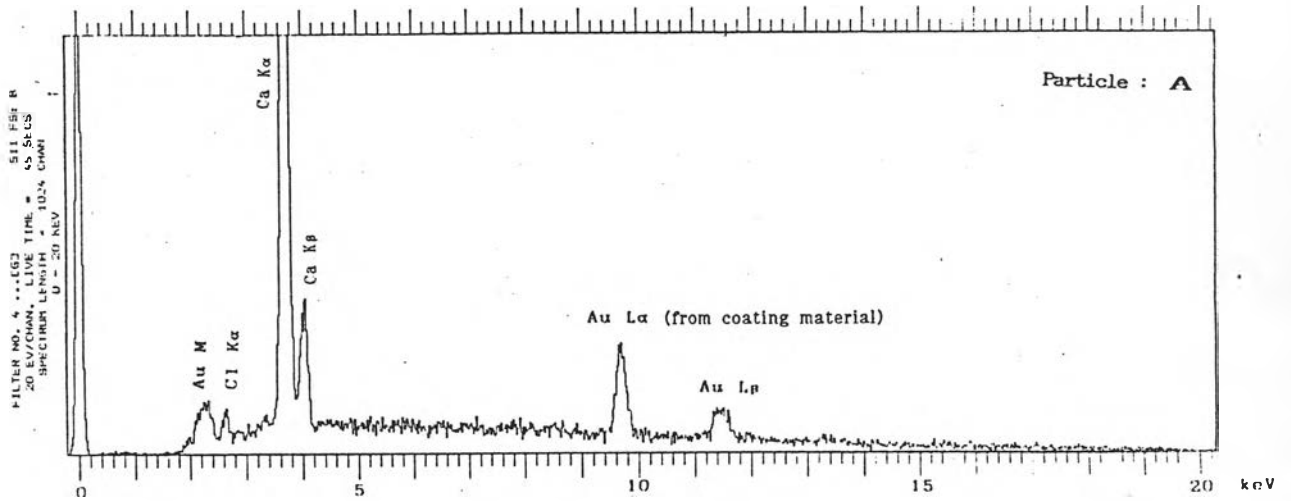
รูปที่ 5.44 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของอนุภาคฝุ่น C ในรูปที่ 5.40 วิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX



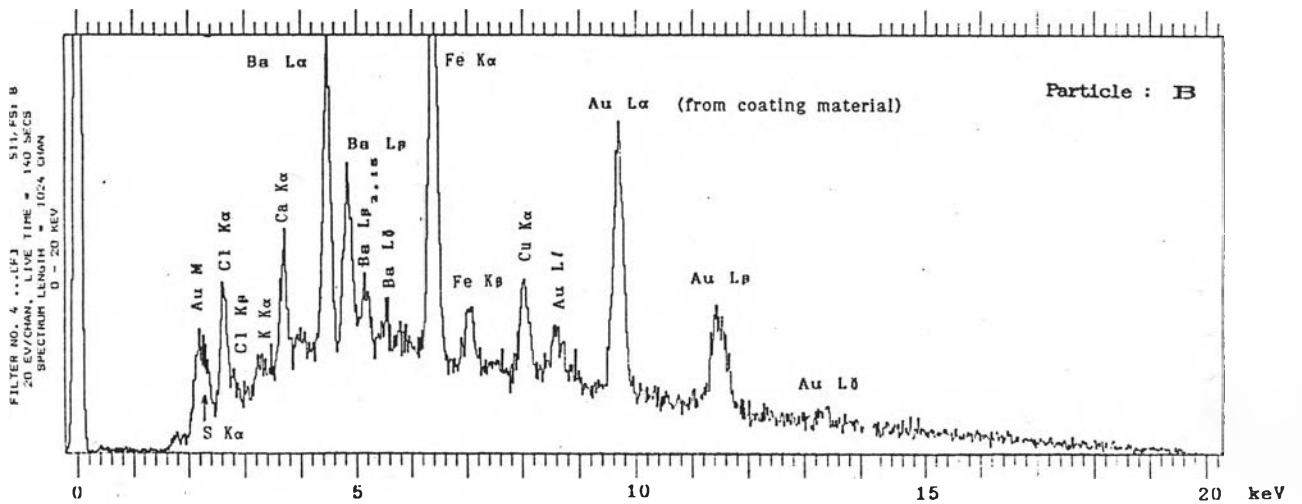
รูปที่ 5.45 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของอนุภาค
ฝุ่น A และ B จากตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 4 ขนาดกำลังขยาย 3500 เท่า



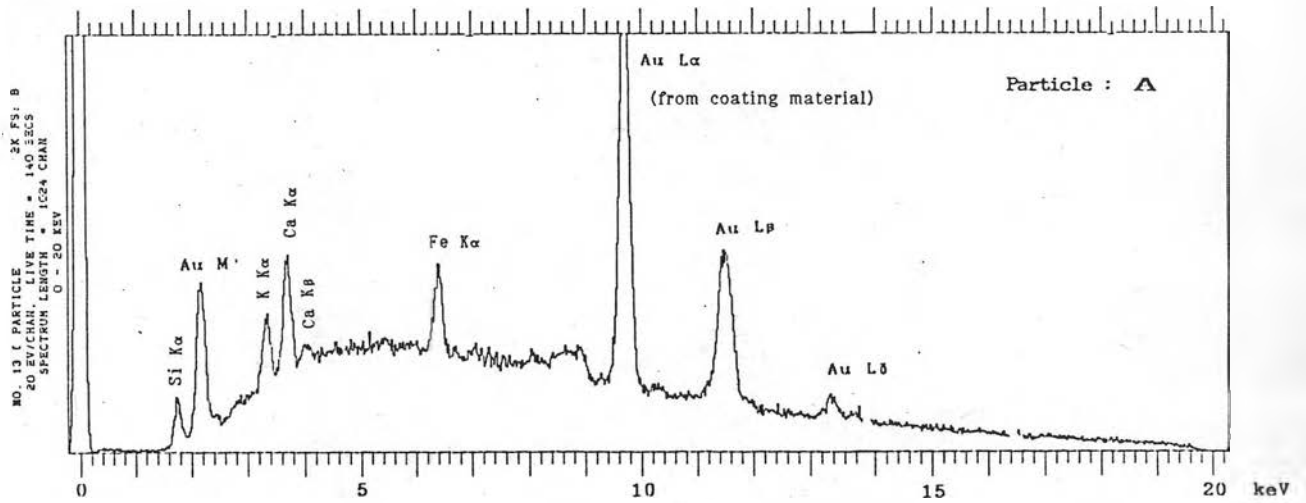
รูปที่ 5.46 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะของอนุภาค
ฝุ่น A B C และ D จากตัวอย่างฝุ่นหมายเลข 13 ขนาดกำลังขยาย 7500 เท่า



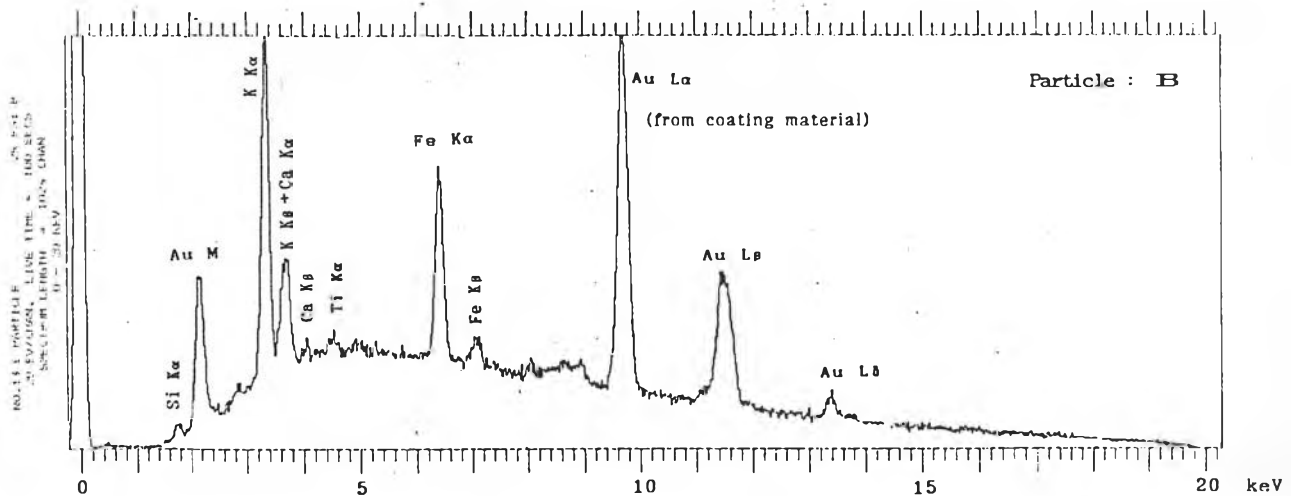
รูปที่ 5.47 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของอนุภาคฝุ่น A ในรูปที่ 5.45 วิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX



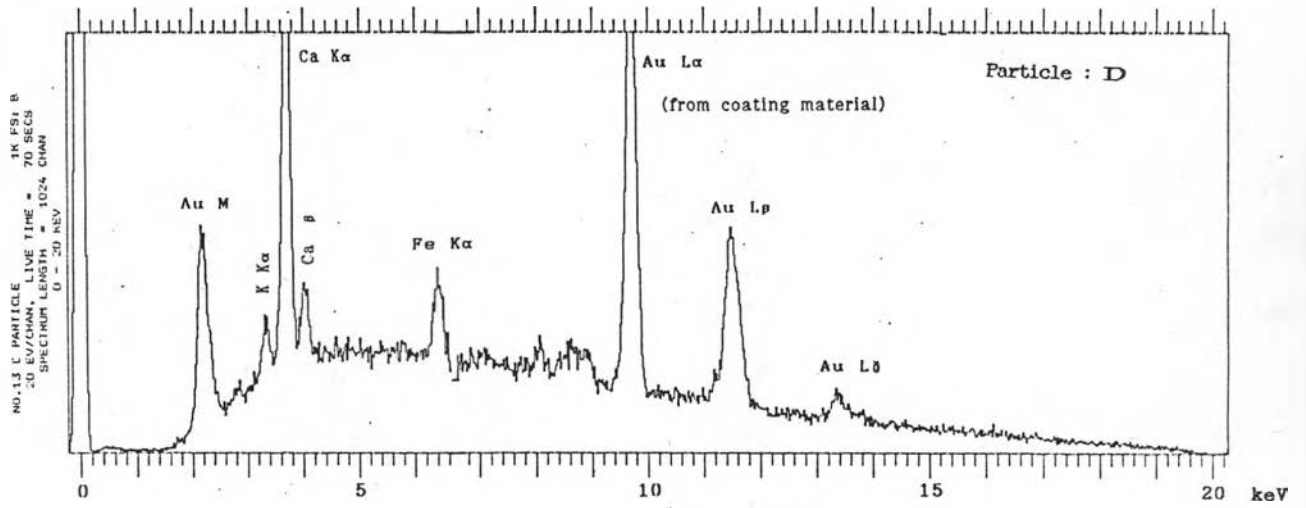
รูปที่ 5.48 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของอนุภาคฝุ่น B ในรูปที่ 5.45 วิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX



รูปที่ 5.49 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของอนุภาคฝุ่น A ในรูปที่ 5.46 วิเคราะห์ด้วย
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX



รูปที่ 5.50 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของอนุภาคฝุ่น B ในรูปที่ 5.46 วิเคราะห์ด้วย
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX



รูปที่ 5.51 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองของอนุภาคฝุ่น D ในรูปที่ 5.46 วิเคราะห์ด้วย
 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งระบบ EDX