

การวิเคราะห์การวางรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นของสารตัวอย่างบาง
บนแผ่นรองรับที่เหมาะสม

ปริญญาานิพนธ์
ของ
สุมณฑา สงสม

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
พฤษภาคม 2547
ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

535.13

วิชาฟิสิกส์

๑-3

การวิเคราะห์การวางรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นของสารตัวอย่างบาง
บนแผ่นรองรับที่เหมาะสม

บทคัดย่อ

ของ

สุเมธนา สงสม

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

พฤษภาคม 2547

สมณธา สงสม. (2547). การวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นของสารตัวอย่างบางบนแผ่นรองรับที่เหมาะสม. ปริญญาโท กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : รองศาสตราจารย์ อรุณีย์ อินทศร, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริกุล รัตนธรรมพันธ์.

เพื่อศึกษาการวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นของสารตัวอย่างบางบนแผ่นรองรับที่เหมาะสม ได้เลือกสึทาทอิมัลชันสีแดงเป็นสารตัวอย่างที่ทำการศึกษา โดยทำการวิเคราะห์เชิงกึ่งปริมาณของสึทาทอิมัลชันสีแดงที่ทำเป็นผงละเอียดและเตรียมในรูปแบบของชั้นตัวอย่างแบบอัดเม็ดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น (WDXRFS) เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการเตรียมชั้นตัวอย่างแบบอัดเม็ดนี้ใช้เป็นค่าอ้างอิงของสารตัวอย่างสึทาทอิมัลชันสีแดงนี้ ต่อมาได้มีการเตรียมชั้นตัวอย่างบางหนาประมาณ 0.137 กรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยใช้สารตัวอย่างผงละเอียดของสึทาทอิมัลชันสีแดงโรยบนเทปกาวที่ติดบนแผ่นรองกระดาษที่หนา หุ้มด้วยฟิล์มไมลาร์ที่มีความหนา 6 ไมโครเมตร ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างสูงสุดของปริมาณธาตุหลักที่วิเคราะห์ได้กับค่าอ้างอิงมีค่าถึง 33.3% สาเหตุเกิดจากความเข้มรังสีเอกซ์ลดลงเนื่องจากผลของการดูดกลืนของฟิล์มไมลาร์ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาความเที่ยงตรงและความถูกต้องแม่นยำของการวิเคราะห์สารตัวอย่างสึทาทอิมัลชันสีแดงแบบฟิล์มหนบบนแผ่นรองรับอะคริลิกและแผ่นเหล็กชุบสังกะสี ผลที่ได้สอดคล้องกับค่าอ้างอิงของสารตัวอย่างแต่อย่างไรก็ตามความเที่ยงตรงของการวิเคราะห์ของชั้นตัวอย่างที่เตรียมขึ้นทั้ง 2 แบบยังไม่ได้เท่ากับชั้นตัวอย่างแบบอัดเม็ด

WAVELENGTH DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS OF THIN SPECIMENS
ON THE APPROPRIATE SUBSTRATE

AN ABSTRACT
BY
SUMONTHA SONGSOM

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Physics
at Srinakharinwirot University
May 2004

Sumontha Songsom. (2004). *Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Analysis of Thin Specimens on the Appropriate Substrate*. Master thesis, M.Ed. (Physics).

Bangkok: Graduate school, Srinakharinwirot University. Advisor Committee :
Assoc.Prof. Arunee Intasorn, Assist. Prof. Sirikul Ratanathampan.

In order to study Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence (WDXRF) analysis of thin specimens on the appropriate substrate, the red emulsion paint was selected to be analyte sample for this case study. The semiquantitative analysis by WDXRF spectrometer of fine powder of red emulsion paint prepared in form of pellet specimens, were provided white the analytical result was set as a reference values of this emulsion paint sample. Later the preparation of thin specimens of this emulsion paint were performed by applying the same fine powder with a thickness of 0.137 g/cm^2 for each specimen to a sticky tape on thick paper broad backing and covering with mylar film of $6 \mu\text{m}$ thick. The obtained results show that highest different quantity of major elements from the reference value is 33.3% due to a decrease of x-ray intensity by the absorption effect of mylar film. In addition, precision and accuracy of analysis of thick film specimen of red emulsion paint on acrylic and galvanizing steel substrates were studied. These results are in accord with their reference values. However, the precision of analysis for both cases is not as good as the one of pellet specimens.

ปริญญาบัตร
เรื่อง

การวิเคราะห์การวางรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นของสารตัวอย่างบาง
บนแผ่นรองรับที่เหมาะสม

ของ
นางสาวสุมณฑา สงสม

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

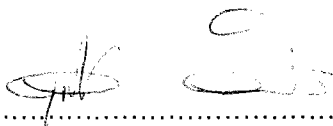


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. นภาพรณี หะวานนท์)

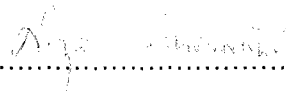
วันที่ ๒๘ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๖๗

คณะกรรมการสอบปริญญาบัตร



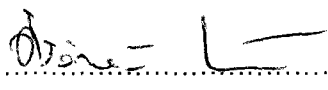
.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ อรุณีย์ อินทศร)



.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริกุล รัตนธรรมพันธ์)



.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์)



.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พิณจักษ์)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ อรุณีย์ อินทศร ประธานควบคุมปริญญาานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริกุล รัตนธรรมพันธ์ กรรมการควบคุมปริญญาานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขตลอดจนช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ และอาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พิณิจคำ ที่ได้ร่วมเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์และกรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการดำเนินการทำปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท วิชาเอกฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และทุกๆ คนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนในการศึกษาแก่ข้าพเจ้า จนสามารถทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุมณฑา สงสม

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย	3
ความสำคัญของงานวิจัย	3
ขอบเขตของงานวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
นิยามศัพท์เฉพาะ	4
2 ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
ทฤษฎี	5
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
3 วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	29
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	29
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	30
4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	35
5 สรุปอภิปรายและข้อเสนอแนะ	58
สรุปผลการทดลอง	58
อภิปรายผลการทดลอง	59
ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	62
ประวัติย่อผู้วิจัย	65

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1 ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทากิอิมัลชันสีแดง ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และธาตุปริมาณ น้อย ๆ ในตาราง 2 รวมกันเป็น 100%	39
2 ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบออกไซด์ของธาตุปริมาณน้อยๆ ใน สารตัวอย่างสีทากิอิมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบอัดเม็ด 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS	40
3 ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในแผ่นรองรับอะคริลิก 1 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีธาตุหลักของอะคริลิก คือ ธาตุ ไฮโดรเจน ออกซิเจนและคาร์บอนถึง 99.9%	41
4 ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในแผ่นรองรับที่เป็นแผ่นเหล็กชุบ สังกะสี 1 ชั้นตัวอย่างด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วน ที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในตาราง 5 และปริมาณไฮโดรคาร์บอน รวมกันเป็น 100%	41
5 ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในแผ่นรองรับที่เป็นแผ่นเหล็กชุบ สังกะสี 1 ชั้นตัวอย่างด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS	42
6 ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทากิอิมัลชันสีแดง ที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ใน เครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจนและธาตุปริมาณน้อยๆ ในตาราง 7 รวมกันเป็น 100%	43
7 ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทากิอิมัลชันสีแดง ที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ใน เครื่องวัด WDXRFS	44
8 ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทากิอิมัลชันสีแดง ที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจนและธาตุปริมาณน้อยๆ ในตาราง 9 รวมกันเป็น 100%	45

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง

หน้า

- 9 ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทาสีแดง
ที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant
ในเครื่องวัด WDXRFS 46
- 10 เปรียบเทียบผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทาสี
อิมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกในตาราง 6 และแบบปาดบนแผ่นเหล็ก
ชุบสังกะสีในตาราง 8 เทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ชั้นตัวอย่าง
แบบอัดเม็ดในตาราง 1 47
- 11 เปรียบเทียบผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทาสี
อิมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกในตาราง 7 และแบบปาดบนแผ่นเหล็ก
ชุบสังกะสีในตาราง 9 เทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ชั้นตัวอย่าง
แบบอัดเม็ดในตาราง 2 48
- 12 ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทาสีแดง
ที่เตรียมแบบโรยผง 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS
โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจนและธาตุปริมาณ
น้อยๆในตาราง 13 รวมกันเป็น 100% 49
- 13 ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทาสีแดง
ที่เตรียมแบบโรยผง 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด
WDXRFS 50
- 14 เปรียบเทียบผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทาสี
อิมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี
ในตาราง 10 และแบบโรยผงในตาราง 12 เทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการวัดและ
วิเคราะห์ชั้นตัวอย่างแบบอัดเม็ดในตาราง 1 51
- 15 เปรียบเทียบผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทาสี
อิมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี
ในตาราง 11 และแบบโรยผงในตาราง 13 เทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการวัดและ
วิเคราะห์ชั้นตัวอย่างแบบอัดเม็ดในตาราง 2 52

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1 การแทนที่ของอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ	11
2 แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์โดยใช้ลำอิเล็กตรอนในหลอดรังสีเอกซ์	12
3 ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลกับความยาวคลื่นของธาตุแบบเรียบ.....	14
4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มการกระเจิงแบบคอมป์ตันกับเลขอะตอมของสารตัวอย่าง ..	15
5 สารตัวอย่างที่ประกอบด้วยสตรอนเทียมที่มีความเข้มข้น 390 ppm และ 3930 ppm พบว่า สารตัวอย่างที่ประกอบด้วยสตรอนเทียมที่มีความเข้มข้น 3930 ppm จะเกิดการกระเจิง แบบคอมป์ตันสูงซึ่งการกระเจิงนี้จะไปแทรกสอดกับรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุ ปริมาณน้อยๆ ที่อยู่ชิดกันที่มุม 2θ	16
6 การเกิดปรากฏการณ์โอเจในธาตุอลูมิเนียม	17
7 ระบบวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน	18
8 เครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น	19
9 เครื่องนับแบบบรรจุแก๊สเชิงสัดส่วน (Gas Proportional Counter)	21
10 เครื่องนับแบบประกายแสง (Scintillation Detector)	22
11 ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากฟิล์มหนาที่เคลือบด้วยความหนาต่าง ๆ กัน	23
12 การเตรียมวัสดุรองรับสำหรับสารตัวอย่างแบบโรยผง	33
13 สเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากสารตัวอย่างสีทาทิมัลชันสีแดง ที่เตรียมแบบอัดเม็ด.....	53
14 สเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากสารตัวอย่างสีทาทิมัลชันสีแดงที่ เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก	54
15 สเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากสารตัวอย่างสีทาทิมัลชันสีแดงที่ เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี	55
16 สเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากสารตัวอย่างสีทาทิมัลชันสีแดงที่ เตรียมแบบโรยผง	56

ภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

- 17 สเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากสารตัวอย่างสีทาทาลัมไดออกไซด์ (i) เตรียมแบบอัดเม็ด (ii) แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก (iii) แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี และ(iv) แบบโรยผง 57

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การวัดและการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเชิงกึ่งปริมาณ (Semi-Quantitative Analysis) ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer, WDXRF) เป็นวิธีการวิเคราะห์แบบไม่ต้องอาศัยสารมาตรฐานที่ทราบค่าปริมาณของธาตุต่างๆ มาใช้ในการทดลอง ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ได้สะดวก รวดเร็ว สำหรับการวิเคราะห์เชิงกึ่งปริมาณด้วยเครื่อง WDXRF ที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อาศัยโปรแกรม Semiquant ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุได้ตั้งแต่ธาตุหลักในระดับร้อยละไปจนถึงธาตุปริมาณน้อยๆ (Trace Element) ในระดับต่อล้านส่วน (ppm) เช่น การวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างทางธรณีวิทยาโดยวิธีการวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ชนิดกระจายความยาวคลื่น และการวัดความหนาของฟิล์มทองโดยใช้เครื่องมือวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ โดยแสดงให้เห็นประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการวิเคราะห์ด้วยการวาวรังสีเอกซ์ด้วยโปรแกรม Semiquant ว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้และน่าเชื่อถือซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องแม่นยำในระดับ 10-20% สัมพัทธ์ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของสารตัวอย่าง

การวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยการวาวรังสีเอกซ์เป็นเทคนิคที่ใช้กันแพร่หลาย ซึ่งนิยมใช้ในการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างทางด้านธรณีวิทยา เช่น ดิน หิน และแร่ต่างๆ รวมทั้งนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ของสินค้า เช่น ต้องการทราบชนิดและปริมาณของธาตุหนักในสีทาบ้าน สิ่งเจือปนในอาหาร และปริมาณของสารประกอบต่างๆ ในอากาศ

ในการศึกษาสารตัวอย่างทางธรณีวิทยาซึ่งทำการเตรียมสารตัวอย่างแบบอัดเม็ดและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณกับการวิเคราะห์เชิงกึ่งปริมาณที่ได้ผลการวิเคราะห์ที่ดีน่าเชื่อถือระดับหนึ่ง^{1,2} แต่สารตัวอย่างบางประเภทไม่สามารถนำมาเตรียมเป็นผงแบบอัดเม็ดได้ ผู้วิจัย

¹วัชรพงษ์ สังข์ศิริชัย. (2545). การวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างทางด้านธรณีวิทยาโดยวิธีการวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ชนิดกระจายความยาวคลื่น. หน้า 69-70.

²พัทชนันท์ เลี้ยงผาสุข. (2546). การใช้สารมาตรฐานสังเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของดินด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ของการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น. หน้า 55-57.

จึงได้สนใจศึกษาสีทาบ้าน เพราะสามารถเตรียมสารตัวอย่างแบบอัดเม็ดได้ดี อีกทั้งสามารถเตรียมสารตัวอย่างในรูปแบบอื่นๆ ได้ด้วย เพื่อจะใช้ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุต่างๆ ของสารตัวอย่างที่เตรียมแบบอัดเม็ดเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบความถูกต้องของการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างชนิดเดียวกันแต่เตรียมในรูปแบบลักษณะต่างกัน คือ เตรียมแบบปาดบนแผ่นรองรับ และแบบโรยผง เพราะสีทาบ้านมีลักษณะเป็นของเหลวสามารถเตรียมสารตัวอย่างแบบปาดบนแผ่นรองรับ และสามารถนำสีทาบ้านที่อยู่ในรูปของเหลวตากให้แห้งแล้วนำมาบดให้มีอนุภาคขนาดเล็กสามารถเตรียมสารตัวอย่างแบบโรยผงได้

ปัจจุบันสีทาบ้านเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อความเป็นอยู่ในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น โดยถูกนำมาใช้ตกแต่งอาคาร ดังนั้นเพื่อต้องการทราบว่าสีทาบ้านเหล่านี้มีอันตรายต่อผู้อยู่อาศัยอย่างไร จึงสนใจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุต่างๆ โดยเฉพาะธาตุหนัก เช่น ตะกั่ว ปรอท และโคบอลต์ ซึ่งธาตุเหล่านี้เป็นพิษต่อสภาพสิ่งแวดล้อมสูงมาก เมื่อธาตุหนักเหล่านี้เข้าสู่ร่างกายจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งอย่างเฉียบพลันและเรื้อรังทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ร่างกายได้รับ ไม่ว่าจะโดยการสูดดม การสัมผัสโดยตรงหรือวิธีใดก็ตาม เพื่อจะได้เป็นข้อมูลในการหาวิธีการป้องกันการรับธาตุหนักเข้าสู่ร่างกายต่อไป

สีทา (Paint) หมายถึง สารที่มีส่วนผสมของผงสี (Pigment) สารยึด (Binder) ตัวทำละลาย (Solvent) และสารเติมแต่ง (Additive) จัดเป็นวัสดุที่ใช้ทาหรือพ่นชนิดหนึ่งในการตกแต่งขั้นสุดท้าย ได้มีการนำสีทาใช้ในการทาอาคารและวัตถุก่อสร้าง เมื่อทาบนผิววัสดุแล้วจะแห้งแข็งเป็นฟิล์มยึดเกาะกับผิววัสดุที่ทา โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการทาเพื่อต้องการให้วัสดุที่ทามีความทนทานต่อสภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆ อาทิเช่น ความชื้น ลม ฝน สารเคมี และเพื่อความสวยงาม ดังนั้นในการใช้สีทาควรเลือกใช้ให้ตรงตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากสีทามีหลายชนิด เช่น สีทาเคลือบเงา (Gloss Enamel Paint) หรือสีน้ำมัน สีทาแล็กเกอร์ (Lacquer Paint) และสีทามีลชัน (Emulsion Paint) หรือสีน้ำพลาสติก สีทาเหล่านี้จะมีคุณสมบัติและลักษณะการใช้งานแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารที่นำมาใช้เป็นส่วนผสม โดยส่วนผสมของสีทาที่สำคัญซึ่งถือว่าเป็นส่วนผสมหลัก คือ ผงสี สารยึด ตัวทำละลาย และสารเติมแต่ง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของสีทาแต่ละชนิดให้เข้าใจก่อนที่จะนำไปใช้เพื่อสามารถเลือกใช้สีทาได้อย่างเหมาะสมกับวัสดุที่ต้องการทา เช่น นำสีทาเคลือบเงามาใช้ทาผิววัสดุที่เป็นไม้และโลหะแต่ถ้านำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมจะทำให้วัสดุที่ทาเกิดสนิมได้และอาจทำให้มีอายุการใช้งานได้ไม่นาน

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในสีทาบ้านที่เตรียมขึ้นตัวอย่างในลักษณะต่างๆ กัน คือ แบบอัดเม็ด แบบโรยผงและแบบปาดบนแผ่นรองรับ ซึ่งขั้นตอนการเตรียมขึ้นตัวอย่างมีความสำคัญมาก เนื่องจากสารตัวอย่างมักจะประกอบด้วยธาตุหลายๆ ชนิด ในการเตรียมสารตัวอย่างแบบอัดเม็ดต้องพิจารณาผลกระทบของเมทริกซ์ (Matrix Effect) ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบในเนื้อสารทั้งทางเคมีและทางกายภาพของสารตัวอย่าง ลักษณะทางกายภาพของสารตัวอย่าง เช่น ลักษณะของผิวหน้า ขนาดของอนุภาค และความเป็นเนื้อเดียวกัน ในกรณีที่เตรียมสารตัวอย่างแบบอัดเม็ดมีผิวหน้าไม่เรียบ ขนาดของอนุภาคไม่เท่ากันและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

จะทำให้เกิดการกระเจิงของรังสีเอกซ์แตกต่างกันส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นรังสีเอกซ์ที่วัดได้มีความผิดพลาดได้ สำหรับการเตรียมสารตัวอย่างบาง คือ แบบปาดบนแผ่นรองรับและแบบโรยผงนั้นต้องเตรียมให้มีความหนาพอสมควรซึ่งมีลักษณะคล้ายฟิล์มบาง โดยการเตรียมสารตัวอย่างบางเป็นเทคนิคอีกแบบหนึ่งที่สามารถให้ผลการวัดและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง WDXRFS ที่ถูกต้องวิธีหนึ่ง ดังนั้นในการศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุในสารตัวอย่างบางบนแผ่นรองรับที่เหมาะสมด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นจึงเลือกเอาสีทาบ้านเป็นสารตัวอย่างที่นำมาศึกษาเพราะสามารถนำมาเตรียมขึ้นตัวอย่างได้ทั้ง 3 แบบ การเตรียมสารตัวอย่างบางต้องหาแผ่นรองรับและทดสอบแผ่นรองรับที่นำมาใช้ โดยวัสดุรองรับที่นำมาใช้จะต้องประกอบด้วยธาตุที่ไม่เหมือนกับสารตัวอย่างสีทาบ้าน ซึ่งในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในสารตัวอย่างสีทาบ้านนั้นสามารถตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ได้โดยนำผลการวิเคราะห์ของสารตัวอย่างที่เตรียมแบบโรยผงและแบบปาดบนแผ่นรองรับเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ของสารตัวอย่างที่เตรียมแบบอัดเม็ดซึ่งเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างชนิดเดียวกันแต่มีการเตรียมในลักษณะต่างกัน พร้อมทั้งตรวจสอบเทคนิคการวิเคราะห์ที่แสดงระดับความถูกต้องแม่นยำ
2. เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมสารตัวอย่างประเภทสีทาบ้านเพื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในสารตัวอย่างในลักษณะต่าง ๆ กันด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น ได้แก่ การอัดเม็ด การปาดบนแผ่นรองรับและการโรยผง พร้อมทั้งศึกษาแผ่นรองรับ
3. เพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าไปประยุกต์ใช้กับการเตรียมสารตัวอย่างชนิดอื่นๆ ที่มีลักษณะเฉพาะและมีข้อจำกัดในการเตรียมขึ้นตัวอย่างได้เฉพาะแบบอัดเม็ดหรือแบบปาดบนแผ่นรองรับหรือแบบโรยผงได้แบบใดแบบหนึ่งด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น

ความสำคัญของงานวิจัย

การศึกษาเทคนิคการเตรียมสารตัวอย่างในลักษณะต่าง ๆ กัน คือ การอัดเม็ด การปาดบนแผ่นรองรับและการโรยผง และเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุโดยวิธีการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นสำหรับสารตัวอย่างเฉพาะแต่ละแบบ ทำให้เข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้น แนวทางแก้ไข ปัญหา และข้อควรระวังที่ทำให้ผลการวิเคราะห์มีโอกาสผิดพลาดได้ ซึ่งจะเป็นข้อมูลในการพัฒนางานในส่วนของการวิเคราะห์ธาตุในสารตัวอย่างประเภทอื่นๆ ต่อไป

ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาสารตัวอย่างสีทาบ้านที่สามารถเตรียมได้ทั้ง 3 แบบ วิธีการเตรียมสารตัวอย่างสีทาบ้านบนวัสดุรองรับ เพื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในตัวอย่างสีทาบ้านด้วยเทคนิคการวางรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น โดยเตรียมสารตัวอย่างบางและแบบอัดเม็ด ซึ่งการเตรียมสารตัวอย่างบางจะทำได้ 2 แบบ คือแบบโรยผงและแบบปาดบนแผ่นรองรับ เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุต่อมวลของสารตัวอย่างสีทาบ้านชนิดเดียวกันที่เตรียมแบบปาดและแบบโรยผงบนแผ่นรองรับกับชิ้นตัวอย่างแบบอัดเม็ด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เทคนิควิธีการเตรียมสารตัวอย่างทั้ง 3 แบบ คือ แบบอัดเม็ด แบบปาดบนแผ่นรองรับ และแบบโรยผงพร้อมกับเทคนิคการวัดและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง WDXRFs ที่ถูกต้องสำหรับสารตัวอย่างในรูปแบบทั้ง 3 ที่แตกต่างกัน เพื่อประโยชน์ต่อการศึกษาวิเคราะห์สารตัวอย่างอื่นๆ ให้ถูกต้องแม่นยำ เมื่อมีความจำเป็นในการเตรียมสารตัวอย่างที่มีลักษณะเฉพาะแบบใดแบบหนึ่งใน 3 แบบซึ่งขึ้นกับคุณสมบัติของสารตัวอย่างนั้นๆ

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ความเข้มรังสีเอกซ์ หมายถึงปริมาณรังสีเอกซ์ที่วัดในหนึ่งหน่วยเวลา
2. ผลกระทบของเมทริกซ์ หมายถึงผลกระทบจากองค์ประกอบในเนื้อสารทั้งทางเคมีและทางกายภาพของสารตัวอย่างที่มีต่อการวิเคราะห์
3. สารประกอบ หมายถึงสารที่มีส่วนประกอบของธาตุมากกว่าหนึ่งชนิด
4. ธาตุปริมาณน้อยๆ หมายถึงธาตุที่มีปริมาณในระดับต่อล้านส่วน (ppm)

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย แบ่งเป็นหัวข้อที่สำคัญดังนี้

1. สีทาบ้าน
2. การเกิดสเปกตรัมรังสีเอกซ์
3. อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับสสาร
4. ปรากฏการณ์ไอเจ
5. เครื่องวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์
6. การวิเคราะห์ฟิล์มหนาด้วยเทคนิคการวาวรังสีเอกซ์
7. ผลกระทบของเนื้อสารในการวิเคราะห์ธาตุในสารตัวอย่าง
8. เทคนิคการเตรียมสารตัวอย่าง

^{1,2}สีทาบ้าน

สีทา (Paint) หมายถึง สารที่มีส่วนผสมของสารสี (Pigment) สารยึด (Binder) ตัวทำละลาย (Solvent) และสารเติมแต่ง (Additive)

สีทามีลักษณะเป็นผงหรือของเหลวจัดเป็นวัสดุสำหรับใช้ทาหรือเคลือบผิว เมื่อทาบนผิววัสดุแล้วจะแห้งแข็งเป็นฟิล์มยึดเกาะกับพื้นผิวที่ทา โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการทาเพื่อป้องกันพื้นผิววัสดุจากมลภาวะต่างๆ รักษาวัสดุที่ทาให้มีความแข็งแรง มีความทนทานต่ออากาศ น้ำ และสารเคมีต่างๆ และเพื่อตกแต่งให้ดูสวยงาม โดยสีที่ทาจะต้องแนบสนิทกับผิวหน้าวัสดุและหลุดออกได้ยาก

¹บุญเลิศ ชูตินิมิตกุล. (2529). การศึกษาพฤติกรรมการณ์ของสีทาบ้านของผู้บริโภคชั้นสุดท้าย ในเขตกรุงเทพมหานคร. หน้า 11.

²อรุษา สรวารี. (2539). สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแล็กเกอร์). หน้า 1-2.

องค์ประกอบของสีทา ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

1. สารสี เป็นของแข็งที่มีลักษณะเป็นผงมีขนาดของอนุภาคตั้งแต่ 0.2-10 ไมโครเมตร เป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดสีซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลายอาจเป็นสารประกอบอินทรีย์หรือสารประกอบอนินทรีย์ก็ได้

2. สารยึด เป็นสารที่ทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารสีเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นฟิล์มติดแน่นกับผิววัสดุ ซึ่งสามารถจำแนกสารยึดออกเป็น 2 ชนิด คือ เรซินธรรมชาติ (Natural Resin) และ เรซินสังเคราะห์ (Synthetic Resin)

3. ตัวทำละลาย เป็นของเหลวที่ใส่ลงไปนสีทาเพื่อช่วยละลายสารยึดที่เป็นของแข็งหรือช่วยปรับความหนืดให้เหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งาน เมื่อทาหรือเคลือบบนผิววัสดุแล้วตัวทำละลายจะระเหยกลายเป็นไอ ตัวอย่างของตัวทำละลาย เช่น น้ำ ทินเนอร์ คีโตน น้ำมันสน

4. สารเติมแต่ง เป็นสารที่ใส่ลงไปประมาณ 0.01-1.00% เพื่อปรับปรุงคุณภาพของสีทาให้ดีขึ้น เช่น สารกระจายผงสี สารทำให้ข้น (Thickener) สารกันการเกิดฟอง (Antifoams) สารกันบูด (Preservatives)

ประเภทของสีทา

สีทาแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารสี สารยึด ตัวทำละลาย และสารเติมแต่งที่ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อความเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ โดยจำแนกตามตัวทำละลายได้ 3 ประเภทดังนี้

1. สีทาเคลือบเงา (Gloss Enamel Paint)

สีทาเคลือบเงา หมายถึง สีทาที่ใช้ น้ำมันวาร์นิชเป็นตัวทำละลาย ซึ่งจัดว่าเป็นสีทาแห้งช้า มีความสามารถในการเกาะยึดติดกับผิวงานได้ดี ความสามารถในการปิดบังผิวหน้าสูง และยึดหยุ่นตัวได้ดี สีทาเคลือบเงาเมื่อแห้งจะเป็นฟิล์มแข็ง ผิวเรียบ มีความเหนียวและเป็นเงามัน ซึ่งความเงาสามารถปรับให้มากหรือน้อยได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้น้ำมันวาร์นิช สีทาเคลือบเงาเป็นสีทาที่มีประสิทธิภาพในการต่อต้านเชื้อราสูง สามารถรักษาความเงาไว้ได้นาน ลักษณะของสีทาเคลือบเงาเมื่อเปิดฝาภาชนะบรรจุออกใหม่ๆ สีทาเคลือบเงาต้องไม่เป็นฝ้าลอยอยู่ที่ผิวหน้า สามารถคนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวได้ง่าย ไม่รวมตัวกันเป็นก้อน และไม่นอนกันแข็ง

การใช้งาน ใช้สำหรับทาพื้นผิวที่ฉาบปูน อิฐ คอนกรีต ไม้ และโลหะที่ทาสีรองพื้นไว้แล้ว แต่โดยทั่วไปมักใช้ทาผิววัสดุที่เป็นไม้และโลหะ เพราะสีทาเคลือบเงาสามารถซึมเข้าไปในเนื้อไม้และสามารถจับกุมเป็นฟิล์มที่ผิวไม้ป้องกันความชื้นจากภายนอกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ ในกรณีที่นำมากทาโลหะนั้นน้ำมันจะจับเป็นฟิล์มหุ้มปิดผิวโลหะกันความชื้นที่จะทำให้เหล็กเกิดสนิมได้ แต่ไม่แนะนำให้ใช้สีทาเคลือบเงาในงานอุตสาหกรรมหรืองานที่ต้องจุ่มอยู่ในน้ำ

2. สีทาแล็กเกอร์ (Lacquer Paint) เป็นสีทาที่ใช้ทินเนอร์เป็นตัวทำละลาย เช่น สีทาแล็กเกอร์ไนโตรเซลลูโลส เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยสารสี ไนโตรเซลลูโลส เรซิน ตัวทำละลาย สารเติมแต่ง และอื่นๆ เหมาะสำหรับเคลือบพื้นผิวไม้และโลหะ สีแล็กเกอร์ไนโตรเซลลูโลสอาจเรียก

ว่า สีพ่นแห้งเร็ว ลักษณะของสีแล็กเกอร์ไนโตรเซลลูโลสต้องไม่นอนกันมากเกินไป สามารถคนเข้ากันได้ง่าย ไม่รวมตัวกันเป็นก้อนหรือนอนกันแข็งและไม่รวมตัวเป็นแผ่นลอยที่ผิวหน้า ลักษณะของฟิล์มที่แห้งแล้วต้องเรียบและมีความเงาสม่ำเสมอ ไม่เป็นเม็ด ไม่มีรูเข็มและฟิล์มต้องติดแน่นกับวัสดุที่เคลือบ มีความสามารถทนน้ำและทนน้ำมัน คือ ฟิล์มของสีที่แห้งต้องไม่อ่อนตัว ย่นหรือพอง

3. สีทาอิมัลชัน (Emulsion Paint)

สีทาอิมัลชัน เป็นสีทาที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย สามารถทาได้ง่าย แห้งเร็ว ทำให้เกิดเป็นฟิล์มที่ไม่หลุดง่าย ไม่มีกลิ่นรุนแรงและสามารถทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทาสี เช่น แปรง ลูกกลิ้ง ได้ง่ายโดยล้างด้วยน้ำ ฟิล์มของสีทาอิมัลชันมีความคงทนต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต ไม่เหลืองคล้ำเมื่อถูกแสงอาทิตย์ การเก็บรักษาสีทาอิมัลชันควรเก็บไว้ในอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแข็งตัวซึ่งจะทำให้สีทาเสื่อมคุณภาพได้

การใช้งาน ใช้สำหรับทากายนอกและภายในอาคารของวัสดุจำพวกอิฐ คอนกรีต และซีเมนต์ ในกรณีที่เป็นสีทากายนอก (Exterior Paint) จะมีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อราและทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดี โดยทั่วไปสีทาบานสำหรับใช้ทากายนอกฟิล์มของสีทาต้องไม่เกิดเป็นเกล็ดเกิดการพอง ย่น หลุดล่อน ไม่เกิดการเป็นฝุ่นหรือเกิดการเปลี่ยนสี และสามารถยึดติดกับผิววัสดุได้ดี สำหรับสีทากายใน (Interior Paint) เป็นสีทาที่ใช้สำหรับทาเฉพาะภายในอาคาร มีความหนืดสูง มีความทนทานต่อการขีดข่วน มีความแข็งแรงทนต่อการขูดขีดด้วยของแข็ง

โลหะหนัก (Heavy Metals)

โลหะหนักมีความสำคัญในงานอุตสาหกรรมและเป็นต้นกำเนิดโลหะผสมอีกหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งในอุตสาหกรรมสีทาบานได้นำโลหะหนักมาใช้เป็นส่วนผสมของสารเติมแต่งใช้เป็นสารเร่งแห้งเพื่อต้องการให้ผิวของสีทาบานแห้งเร็วขึ้นและนำมาใช้เป็นสารกันบูดในสีทาบานเพื่อให้สามารถเก็บรักษาสีทาบานไว้ได้นาน โลหะหนักที่พบในสีทาบานได้แก่ ตะกั่ว ปรอท โคบอลต์และโครเมียม

1. ตะกั่ว (Lead)

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีพิษก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ตะกั่วถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ ใช้เติมในแก๊สโซลีน อุตสาหกรรมสีและพลาสติก

สมบัติทางกายภาพ : สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Pb เลขอะตอมเท่ากับ 82 มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.19 amu มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ เฟสเซนเทอะคิวบิก (Face-Center-Cubic) ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 11.34 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1737 องศาเซลเซียส และเป็นโลหะหนักที่มีสีเทา มีความอ่อนตัวและเฉื่อยต่อปฏิกิริยา มีความแข็งต่ำ แต่มีความเหนียวสูง ด้านการกัดกร่อนได้ดีและมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ไม่ดี

สมบัติทางเคมี : สามารถละลายในกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ได้น้อยมากแต่ละลายในกรดไนตริกเจือจางได้เร็วกว่ากรดไนตริกที่เข้มข้น กรดอินทรีย์สามารถละลายตะกั่วได้อย่างช้าๆ เช่น กรดอะซิติก ไซตริก

การใช้ประโยชน์ : ใช้ตะกั่วเป็นสารเติมแต่งในสีทาบ้านเพื่อเป็นสารเร่งแห้ง และใช้เป็นสารป้องกันไม่ให้ผิวของฟิล์มขรุขระ ใช้ในการสังเคราะห์สารเตตระเอทิลเลด (Tetraethyllead) ซึ่งเป็นสารที่ใช้เติมใส่แก๊สโซลีนเพื่อเพิ่มเลขออกเทน (Octane Number) ของแก๊สโซลีนเพื่อไม่ให้เครื่องยนต์สะดุดและเพิ่มกำลังอัดของเครื่องยนต์ อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ ผลิตภัณฑ์ฟลูออรีน งานบัดกรี และพลาสติก

ความเป็นพิษของตะกั่ว : ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ ทางปากโดยการรับประทานอาหารที่มีตะกั่วเจือปน ทางจุกโดยการหายใจเอาฝุ่นตะกั่วที่ปนเปื้อนในอากาศ หรือวันตะกั่วเข้าไป และทางผิวหนังโดยการสัมผัสกับสารที่ทำจากตะกั่วโดยตรง เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย โดยแสดงอาการดังต่อไปนี้

1. อาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน จะรู้สึกผิดปกติ กระจายน้ำ คอแห้ง คลื่นไส้ อาเจียน ผู้ป่วยส่วนมากจะมีอาการท้องร่วง อุจจาระมีเลือดหรือมีสีดำเนื่องจากสารตะกั่วซัลไฟด์ บางรายมีอาการช็อค อาการกระดูกของกล้ามเนื้อและหมดสติ

2. อาการเป็นพิษเรื้อรัง แบ่งเป็น 3 ลักษณะดังนี้

2.1 เกี่ยวกับทางเดินอาหาร เช่น เบื่ออาหาร น้ำหนักตัวลด ท้องผูก เป็นตะคริวที่หน้าท้อง เนื่องจากมีอาการกระดูกของกล้ามเนื้อลำไส้

2.2 อาการทางประสาท เกิดอาการเป็นอัมพาตที่นิ้วและมือ ข้อมือข้อเท้าตก ทำลายเซลล์สมอง หงุดหงิด อ่อนเพลีย ปวดศีรษะและมีอาการชัก

2.3 อาการทางสมอง หรือ เยื่อหุ้มสมองอักเสบ พบมากในเด็กเนื่องจากมีความไวสูงต่อพิษตะกั่ว อัตราการดูดซึมตะกั่วผ่านลำไส้สูงและอัตราเมตาโบลิซึมสูง

ผลของตะกั่วที่มีต่อเด็ก : กรณีที่เด็กอายุต่ำกว่า 7 ปีได้รับสารตะกั่วเข้าไปจะเสี่ยงอย่างมากเพราะร่างกายของเด็กสามารถดูดซึมตะกั่วได้ง่ายกว่าผู้ใหญ่และตะกั่วทำอันตรายต่อร่างกายได้รวดเร็วทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลา และปริมาณความเข้มข้นที่ได้รับ โดยเด็กสามารถรับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้หลายวิธี เช่น เด็กใช้มือสัมผัสกับสีทาบ้านแล้วนำมือเข้าปาก หรืออาจจะสัมผัสกับฝุ่นบนพื้นที่มีเศษของสีทาบ้านซึ่งจะมีผลต่อสมองหรือระบบประสาททำให้เด็กเกิดการเรียนรู้ได้ช้า

ดังนั้นสามารถหลีกเลี่ยงการรับสารตะกั่วได้โดยสวมถุงมือ สวมหน้ากาก หรือช่างทาสีควรจะอาบน้ำและเปลี่ยนเสื้อผ้าให้เรียบร้อยก่อนรับประทานอาหาร ห้ามเด็กเล่นของเล่นที่ทำจากตะกั่ว

2.ปรอท (Mercury)

สมบัติทางกายภาพ : สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Hg มีเลขอะตอมเท่ากับ 80 น้ำหนักอะตอมเท่ากับ 200.59 amu ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเท่ากับ 13.59 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีโครงสร้างผลึกแบบบรอมโบฮีรอล (Rhombohedral) จุดหลอมเหลว -38.87 องศาเซลเซียส จุดเดือด 356.9 องศาเซลเซียส เป็นโลหะชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นของเหลว ณ อุณหภูมิ

ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส โปรทสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ต่ำ เช่น ในเบนซินสามารถละลายได้เพียง 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

สมบัติทางเคมี : ในสถานะของเหลวหรือไอ โปรทไม่ทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจน แต่จะเกิดสารประกอบไฮไดรด์ (Hydride) โปรททำปฏิกิริยากับโลหะต่าง ๆ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียมและรูบิเดียม

ประโยชน์ของโปรท : โปรทเป็นสารเติมแต่งในสีทาบ้านเพื่อใช้เป็นสารกันบูด ใช้ทำเทอร์โมมิเตอร์และบารอมิเตอร์ สารประกอบโปรทใช้เป็นยาปราบศัตรูพืชและใช้ฆ่าเชื้อรา อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ทำสี แบตเตอรี่ และน้ำยาซักแห้ง

ความเป็นพิษของโปรท : โปรทสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางปากโดยการรับประทานอาหารที่มีสารเจือปน เช่น อาหารทะเล ทางจมูกโดยการหายใจเอาไอโปรทเข้าไป และทางผิวหนังโดยการสัมผัสโปรทอยู่เป็นประจำทำให้โปรทสามารถซึมเข้าไปทางผิวหนัง ทั้งนี้ไม่ว่าโปรทจะเข้าสู่ร่างกายโดยวิธีใดก็จะมีอันตรายต่อร่างกาย ถ้าหากร่างกายได้รับในปริมาณไม่มากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์น้อยๆ ทำให้อวัยวะต่างๆ ทำงานผิดปกติ เช่น ไต ลำไส้ใหญ่ ฤๅน้ำดีและต่อมน้ำลาย ซึ่งอวัยวะเหล่านี้จะทำหน้าที่ขับสารโปรทออกจากร่างกาย แต่ถ้าหากร่างกายได้รับในปริมาณมากเกินไป การทำงานของอวัยวะต่างๆ หยุดชะงัก พิษของโปรทก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินอาหาร ระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เสียการควบคุมเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของแขน ขา การพูดและการกินอาหาร

3. โคบอลต์ (Cobalt)

สมบัติของโคบอลต์ : มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ Co มีเลขอะตอมเท่ากับ 27 น้ำหนักอะตอมเท่ากับ 58.93 amu จุดหลอมเหลว 1493 องศาเซลเซียส จุดเดือด 3100 องศาเซลเซียส และมีความหนาแน่น 8.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โคบอลต์เป็นโลหะแข็งมีสีขาวเงิน มีความแวววาว ดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบางๆ ได้

สมบัติทางเคมี : สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริกและกรดไนตริกเจือจาง โคบอลต์ทำปฏิกิริยากับสารกึ่งโลหะเกือบทุกชนิด ณ อุณหภูมิห้อง แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับแก๊สไนโตรเจน

ประโยชน์ของโคบอลต์ : ใช้ในการผลิตแม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กอ่อน ผลิตสารเร่งแห้งช่วยทำให้สีทาอิมัลชันแห้งเร็วขึ้น อุตสาหกรรมกระเบื้องและใช้ทำเครื่องมือในวงการแพทย์

ความเป็นพิษของโคบอลต์ : ถ้าร่างกายได้รับโคบอลต์ในปริมาณเล็กน้อยจะไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้ปริมาณเม็ดเลือดขาวลดลง คลื่นไส้ อาเจียน มือพองบวม เซลล์ตายและอาจทำให้เสียชีวิต

4. โครเมียม (Chromium)

สมบัติทางกายภาพ : สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Cr มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 น้ำหนักอะตอมเท่ากับ 52.00 amu จุดหลอมเหลว 1900 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2199 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเท่ากับ 7.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 20

องศาเซลเซียสมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ บอดีเซนเทอควิก (Body-Center Cubic) เป็นโลหะมีสีขาวปนน้ำเงิน แข็งแต่เปราะ

สมบัติทางเคมี : โครเมียมทำปฏิกิริยากับกรดไนตริก กรดฟอสฟอริก กรดคลอริก และกรดเปอร์คลอริก ที่อุณหภูมิสูง 600-700 องศาเซลเซียส โครเมียมถูกกัดกร่อนโดยไฮดรอกไซด์สำหรับที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสสามารถทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัส

ประโยชน์ของโครเมียม : ใช้ในอุตสาหกรรมสีทา สีย้อม ผลิตเหล็กกล้า ใช้เคลือบโลหะพลาสติกต่างๆ เช่น เหล็กและเหล็กกล้า เพื่อป้องกันการผุกร่อนของโลหะ

ความเป็นพิษของโครเมียม : โครเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทาง คือทางจุก โดยการสูดหายใจเอาผงและควันของกรดโครมิกซึ่งเป็นอันตรายกับกระดูกอ่อนที่กั้นระหว่างจุกและอาจเข้าไปถึงปอดอาจทำให้เกิดมะเร็งปอดได้ ทางผิวหนังโดยผิวหนังสัมผัสกับฝุ่นละอองหรือควันของโครเมียมจะทำให้ผิวหนังพุพองได้

การเกิดสเปกตรัมรังสีเอกซ์

จากแบบจำลองอะตอมที่แสดงว่าอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสซึ่งอยู่ที่ใจกลางอะตอมและมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่วนอยู่รอบๆ นิวเคลียสซึ่งจะอยู่ในระดับชั้นพลังงานต่างๆ กัน คือชั้น K, L, M, N,... โดยในแต่ละชั้นจะประกอบด้วยอิเล็กตรอน 2, 8, 18 และ 32 ตัวตามลำดับ และในแต่ละวงโคจรนั้นสามารถแบ่งเป็นวงโคจรรย่อย (Subshell) ได้อีกโดยในวงโคจรชั้น K, L, M, N,... มีวงโคจรรย่อยอีกเป็นจำนวน 1, 3, 5 และ 7 ตามลำดับ เมื่ออะตอมถูกระดมยิงด้วยลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานมากกว่าหรือเท่ากับพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในชั้นนั้นๆ อาจทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นในของอะตอม (Inner Shell) หลุดออกไปและเกิดที่ว่างขึ้น อิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นนอก (Outer Shell) ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะย้ายไปอยู่ตรงที่ว่างที่เกิดขึ้นพร้อมกับปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งก็คือรังสีเอกซ์ เรียกกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์แบบนี้ว่า การวารรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence) รังสีเอกซ์ที่วารออกมานั้นมีพลังงานหรือความยาวคลื่นที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะสำหรับธาตุแต่ละชนิดซึ่งเรียกว่า รังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ (Characteristic X-Ray)

การแทนที่ของอิเล็กตรอนโดยเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานหนึ่งมายังอีกระดับชั้นพลังงานหนึ่งนั้นต้องสอดคล้องตามกฎการเลือก (Selection Rule) คือ

$$\Delta n \geq 1$$

$$\Delta l = \pm 1$$

$$\Delta j = 0, \pm 1$$

เมื่อ

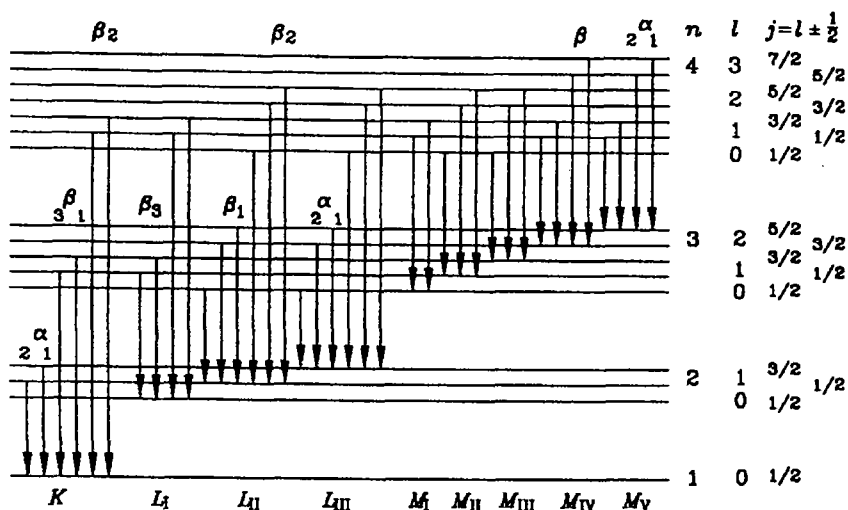
n คือ เลขควอนตัมหลัก (Principle Quantum Number) มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3,... ที่สอดคล้องกับวงโคจร K, L, M, ... ตามลำดับ

l คือ เลขควอนตัมโมเมนตัมเชิงมุมในเชิงออร์บิทัล (Orbital Angular Momentum Quantum Number) มีค่าเป็น 0, 1, 2, ... (n-1)

j คือ เลขควอนตัมโมเมนตัมเชิงมุมรวม (Total Angular Momentum Quantum Number) มีค่า $j = l + s, l + s - 1, l + s - 2, \dots, |l - s|$

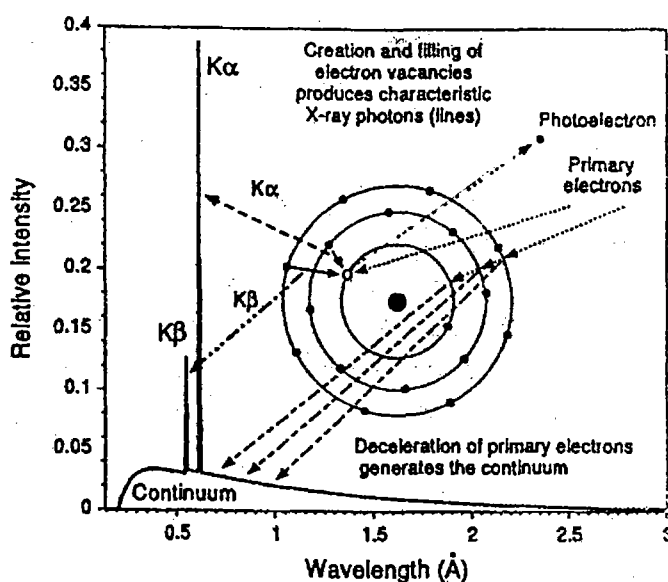
s คือ เลขควอนตัมสปินของอิเล็กตรอน (Spin Quantum Number) มีค่าเท่า $\pm 1/2$

จากภาพประกอบ 1 การเกิดรังสีเอกซ์ของอนุกรม K เกิดจากอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้น K ได้รับพลังงานจากรังสีเอกซ์หรือลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในชั้น K แล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนในชั้น L, M, N จะลงมาแทนที่ โดยขณะที่เปลี่ยนชั้นของอิเล็กตรอนก็จะปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา เรียกว่า K X-Ray Line เช่น กรณีอิเล็กตรอนชั้น M ลงมาแทนที่อิเล็กตรอนในชั้น K ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ K_{β} และอิเล็กตรอนชั้น L ลงมาแทนที่อิเล็กตรอนในชั้น K ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ K_{α_1} หรือ K_{α_2} ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับพลังงานในการเปลี่ยนระดับชั้นลงมาแทนอิเล็กตรอนในชั้น K



ภาพประกอบ 1 แสดงการแทนที่ของอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ
 ที่มา : Michette, A.G. & Buckley, C.J. (1993). *X-Ray Science and Technology*. p. 58.

การเกิดรังสีเอกซ์นอกจากจะเกิดรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะตามกระบวนดังกล่าวนี้แล้วยังมีรังสีเอกซ์อีกชนิดหนึ่ง คือรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง (Continuous X-Ray) เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนวิ่งผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้าของอะตอม อิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงานในการชนเป้าแล้วให้โฟตอนรังสีเอกซ์ออกมา โดยพลังงานที่สูญเสียในระหว่างการชนจะมีค่าน้อยกว่า 1 keV จากทฤษฎีพลังงานของรังสีเอกซ์ที่แผ่ออกมาจะมีค่าต่อเนื่องตั้งแต่ศูนย์ถึงพลังงานจลน์ปฐมภูมิของอิเล็กตรอนที่เข้าชนเป้า ทำให้ได้สเปกตรัมของรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่องดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์โดยใช้ลำอิเล็กตรอนในหลอดรังสีเอกซ์
ที่มา : Willis, J.P. (2002). *Course on Theory and Practice of XRF Spectrometry*. p. 1-16.

อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับสสาร

เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบกับสสารมีผลทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ลดลงเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์และอะตอมของธาตุในสสาร ซึ่งในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมของการวาร์รังสีเอกซ์นั้นพบว่าความเข้มรังสีเอกซ์ลดลงมีผลมาจากการดูดกลืนรังสีเอกซ์โดยอะตอมของธาตุในสารตัวอย่างและการกระเจิงของรังสีเอกซ์

การดูดกลืนรังสีเอกซ์ (Absorption of X – Ray)

สสารทุกชนิดประกอบด้วยอะตอม แต่ละอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสซึ่งอยู่ใจกลางอะตอมและมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่วนอยู่รอบๆ นิวเคลียสในชั้นพลังงานที่ต่างกัน โดยจำนวนของอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับเลขอะตอม เมื่อลำของโฟตอนรังสีเอกซ์ตกกระทบสสาร โฟตอนรังสีเอกซ์เกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนในอะตอมทำให้เกิดการดูดกลืนรังสีเอกซ์ขึ้น สามารถอธิบายได้โดยพิจารณาว่าโฟตอนรังสีเอกซ์ความเข้ม I_0 ตกกระทบกับสารตัวอย่าง โดยมีความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ผ่านสารตัวอย่างออกมาเป็น I ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I กับ I_0 ได้ดังนี้

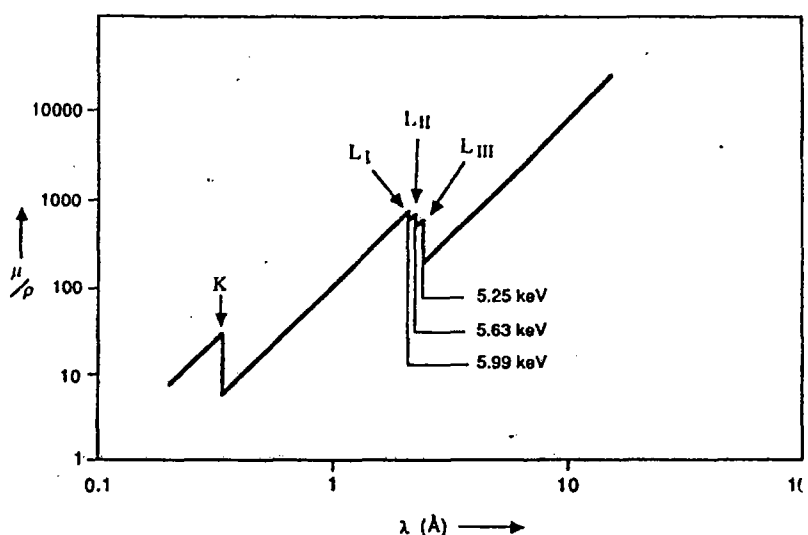
$$I = I_0 e^{-\mu_m \rho X} \quad \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ X คือ ความหนาของสารตัวอย่าง หน่วย เซนติเมตร

μ_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (Mass Absorption Coefficient) หน่วย ตารางเซนติเมตรต่อกรัม

ρ คือ ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง หน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ความเข้มรังสีเอกซ์ที่ผ่านสารตัวอย่างออกมามีค่าลดลงเนื่องจากสารตัวอย่างเกิดการดูดกลืนรังสีเอกซ์ไว้ การดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับเลขอะตอมและค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบสารตัวอย่าง โดยโฟตอนรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นเพิ่มมากขึ้นตกกระทบสารตัวอย่างจะทำให้เกิดการดูดกลืนเพิ่มขึ้น จากภาพประกอบ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลกับความยาวคลื่นของธาตุแบเรียม พบว่าถ้าพลังงานรังสีเอกซ์ที่เข้าชนสารตัวอย่างมีค่าพอดีกับพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในชั้นนั้นๆ จะทำให้เกิดเส้นการดูดกลืน (Absorption Edge) ซึ่งธาตุแต่ละชนิดมีเส้นการดูดกลืนเป็นค่าๆ หลายค่าตามชั้นพลังงานของอิเล็กตรอน เช่น ชั้น K มีเส้นการดูดกลืน 1 ค่า ชั้น L มีเส้นการดูดกลืน 3 ค่า



ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลกับความยาวคลื่นของธาตุเบเรียม

ที่มา : Williams, K.L. (1987). *An Introduction to X-Ray Spectrometry*. p. 39.

การกระเจิงของรังสีเอกซ์ (Scattering of X-Ray)

เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบสารตัวอย่าง นอกจากรังสีเอกซ์จะถูกดูดกลืนแล้วรังสีบางส่วนยังเกิดการกระเจิงขึ้น มีผลให้ความเข้มรังสีเอกซ์มีค่าเปลี่ยนไป โดยความเข้มรังสีพื้นหลังประมาณ 50% มาจากการกระเจิงจากผลึกวิเคราะห์ ตัวทำขนาน และวัสดุที่ใช้ทำสเปกโตรมิเตอร์และอีก 50% มาจากการกระเจิงในสารตัวอย่าง การกระเจิงที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1.การกระเจิงแบบเรย์เลย์ (Rayleigh Scattering) หรือการกระเจิงแบบโคฮีเรนท์ (Coherent Scattering) เกิดจากโฟตอนของรังสีเอกซ์ตกกระทบอะตอมของธาตุในสารตัวอย่างทำให้อิเล็กตรอนในอะตอมเกิดการสั่นด้วยความถี่เดียวกับรังสีที่มาจากกระทบ และเกิดการแผ่รังสีเอกซ์ออกมาทุกทิศทางด้วยความถี่เท่าเดิม โดยพลังงานและความยาวคลื่นไม่เปลี่ยนแปลง เป็นการกระเจิงแบบยืดหยุ่น (Elastic Scattering)

2.การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton Scattering) หรือการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนท์ (Incoherent Scattering) เป็นการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic Scattering) เกิดจากโฟตอนรังสีเอกซ์สูญเสียพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมซึ่งมีการยึดเหนี่ยวไว้อย่างหลวมๆ เช่น อะตอมของคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม ในขณะที่เดียวกันรังสีเอกซ์ที่เข้าชนมีการเปลี่ยนทิศทาง ทำให้มีพลังงานลดลงและความยาวคลื่นเปลี่ยนไปจากเดิม ดังสมการ

$$\Delta\lambda = 0.0243(1 - \cos\phi) \dots\dots\dots(2)$$

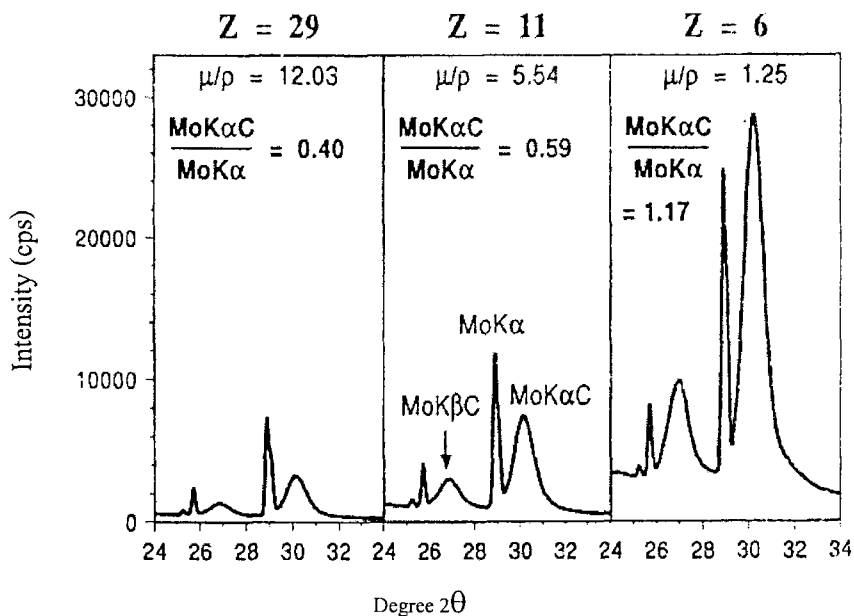
เมื่อ

$\Delta\lambda$ คือ ความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไป หน่วย อังสตรอม (A)

ϕ คือ มุมของการกระเจิง หน่วย องศา

จากสมการ 2 พบว่าค่าความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไปไม่ขึ้นกับความยาวคลื่นที่มาตกกระทบ และชนิดของธาตุที่รังสีตกกระทบ แต่จะขึ้นอยู่กับมุมกระเจิงของรังสีเอกซ์ ϕ

การกระเจิงของรังสีเอกซ์แบบคอมป์ตันจะเกิดได้สูงเมื่อรังสีเอกซ์ที่เข้าชนสารตัวอย่างมีพลังงานมากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนวงนอกของอะตอม จากภาพประกอบ 4 พบว่ารังสีเอกซ์ที่เกิดจากเป่าโมลิบดีนัม (Mo) มีความเข้มของการกระเจิงแบบคอมป์ตันเป็นสัดส่วนผกผันกับสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของอะตอมของธาตุในสารตัวอย่างและเลขอะตอมของธาตุในสารตัวอย่าง

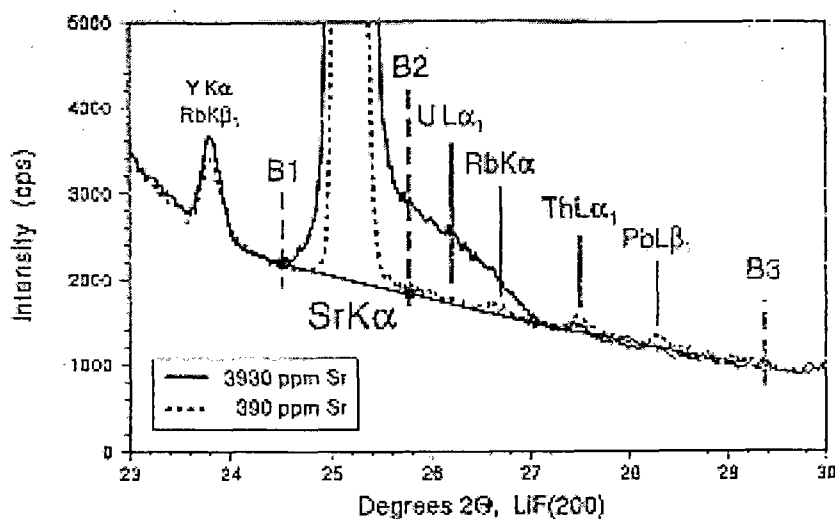


ภาพประกอบ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มการกระเจิงแบบคอมป์ตันกับเลขอะตอมของสารตัวอย่าง

ที่มา : Willis, J. P. (2002). *Course on Theory and Practice of XRF Spectrometry*. p. 7-7.

เส้นสเปกตรัมที่เกิดจากการกระเจิงแบบคอมป์ตันในสารตัวอย่างจะมีความเข้มของการกระเจิงสูง ในกรณีดังต่อไปนี้

1. สารตัวอย่างมีองค์ประกอบเป็นธาตุเบา (เลขอะตอมต่ำ) ซึ่งจะมีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลต่ำ เช่น ถ่านหิน ผลิตภัณฑ์ทางชีวเคมี และพืช
2. สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของเส้น K ที่เกิดจากธาตุหนัก เช่น สตรอนเทียม เซอร์โคเนียมและแบเรียม จะทำให้เกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันสูงขึ้น
3. สารตัวอย่างที่ประกอบด้วยธาตุหนักชนิดเดียวกันแต่มีความเข้มข้นไม่เท่ากัน ธาตุที่มีความเข้มข้นมากกว่าทำให้เกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันสูงซึ่งการกระเจิงนี้จะไปแทรกสอดกับเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุปริมาณน้อยๆ ที่อยู่ติดกัน ดังภาพประกอบ 5

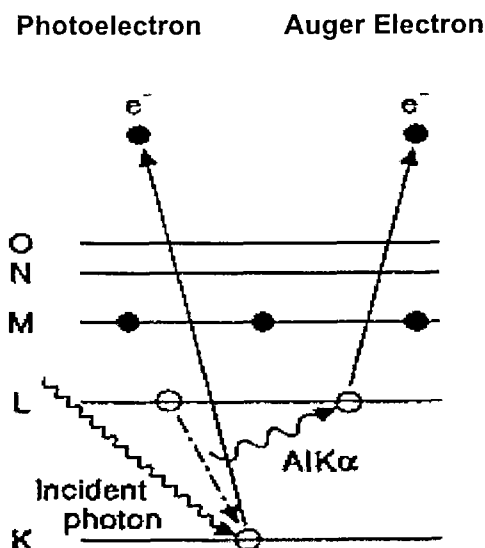


ภาพประกอบ 5 แสดงสารตัวอย่างที่ประกอบด้วยสตรอนเทียมที่มีความเข้มข้น 390 ppm และ 3930 ppm พบว่าสารตัวอย่างที่ประกอบด้วยสตรอนเทียมที่มีความเข้มข้น 3930 ppm จะเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันสูงซึ่งการกระเจิงนี้จะไปแทรกสอดกับรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุปริมาณน้อยๆ ที่อยู่ติดกันที่มุม 2θ

ที่มา : Willis, J. P. (2002). *Course on Theory and Practice of XRF Spectrometry*. p. 7-8.

ปรากฏการณ์โอเจ (Auger Effect)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในอะตอมเมื่อโฟตอนตกกระทบบอะตอมทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น คือ อิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นในถูกทำให้หลุดออกจากอะตอมเนื่องจากได้รับพลังงานจากโฟตอนที่ตกกระทบบ โดยเรียกอิเล็กตรอนที่หลุดออกไปนี้ว่า โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) และเกิดที่ว่างขึ้น ต่อมาอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับชั้นพลังงานสูงกว่าจะเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานลงมาแทนที่อิเล็กตรอนที่หลุดออกไปพร้อมกับคายโฟตอนรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ โดยรังสีเอกซ์ที่คายออกมาจะไปชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่าทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม เรียกว่า โอเจอิเล็กตรอน (Auger Electron) และเรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า ปรากฏการณ์โอเจ เป็นปรากฏการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากกับธาตุเบา เพราะอิเล็กตรอนมีการยึดเหนี่ยวกันด้วยพลังงานต่ำ ดังภาพประกอบ 6 แสดงตัวอย่างการเกิดปรากฏการณ์โอเจในธาตุอลูมิเนียม (Aluminium) เมื่อโฟตอนตกกระทบบอะตอมของธาตุอลูมิเนียมทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้น K หลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนในชั้น L จะเปลี่ยนระดับพลังงานเข้ามาแทนที่พร้อมกับคายโฟตอนรังสีเอกซ์ซึ่งเรียกว่า $Al K_{\alpha}$ และโฟตอนนี้จะไปชนอิเล็กตรอนในชั้น L ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมเป็นโอเจอิเล็กตรอน



ภาพประกอบ 6 แสดงการเกิดปรากฏการณ์โอเจในธาตุอลูมิเนียม

ที่มา : Willis, J.P. (2002). *Course on Theory and Practice of XRF Spectrometry*. p. 3-15.

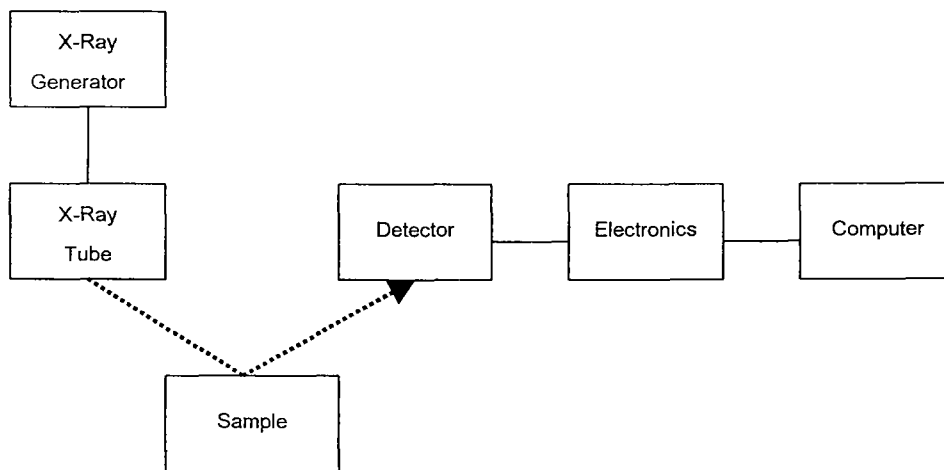
เครื่องวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์

เครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1. เครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDXRFS)
2. เครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น (WDXRFS)

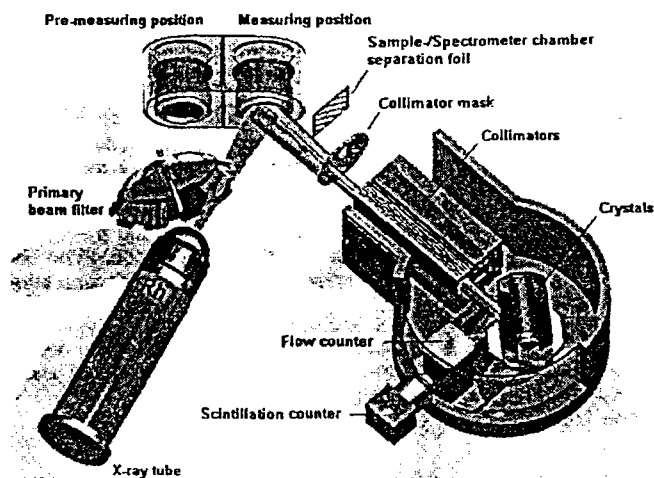
1. เครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDXRFS)

เครื่องมือชนิดนี้ใช้หลอดรังสีเอกซ์หรือไอโซโทปกัมมันตรังสีเป็นแหล่งกำเนิดรังสี โดยลำรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีตกกระทบสารตัวอย่าง ทำให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่าง เช่น การกระเจิง การดูดกลืนรังสีเอกซ์ และการวาวรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจะเข้าเครื่องนับรังสีเอกซ์ชนิดสารกึ่งตัวนำซิลิกอนมีลิเทียมเจือปน [Si(Li)] โดยให้เครื่องตรวจวัดอยู่กับที่และไม่มีผลึกที่ใช้ในการเลี้ยวเบนรังสี สัญญาณที่ได้จากเครื่องตรวจวัดที่มีรูปร่างและขนาดเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ถูกส่งไปยังเครื่องวิเคราะห์ ซึ่งทำหน้าที่แยกรังสีเอกซ์ในแต่ละช่วงพลังงานทำให้ทราบถึงชนิดและปริมาณธาตุในสารตัวอย่างจากสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่วาวออกมา ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงระบบวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน
ที่มา : Willis, J.P. (2002). *Course on Theory and Practice of XRF Spectrometry*. p. 6-1.

2 เครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น (WDXRF) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยขั้นนี้ ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น
ที่มา : Schlotz, R. & Uhlig, S. (2000). *Introduction to X-Ray Fluorescence Analysis (XRF)*.
p. 40.

2.1 หลอดรังสีเอกซ์ (X-Ray Tube)

เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญได้แก่ ไส้หลอด (Filament) เป็นขั้วแคโทด (Cathode) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน เป้าหลอดเป็นขั้วแอโนด (Anode) ทำหน้าที่เป็นเป้ารับอิเล็กตรอนจากขั้วแคโทด และหน้าต่างของหลอดทำหน้าที่ให้รังสีเอกซ์ผ่านออกมา เมื่อให้กระแสไฟฟ้ากับไส้หลอดจะทำให้หลอดร้อนขึ้นจนกระทั่งอิเล็กตรอนหลุดจากขั้วแคโทดและเมื่อปรับความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดสูงขึ้นจะทำให้อิเล็กตรอนถูกเร่งเข้าชนขั้วแอโนดแล้วจะปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา รังสีเอกซ์ที่เกิดจากเป้าแอโนดมี 2 ชนิด คือ รังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะและรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง วัสดุที่นิยมนำมาทำเป้าหลอด คือ ธาตุโรเดียม (Rhodium:Rh) เพราะสามารถให้รังสีเอกซ์ในช่วงพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ทั้งธาตุเบาและธาตุหนักหรือสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างต่างๆ ไปได้ นอกจากธาตุโรเดียมแล้วธาตุอื่นๆ ที่นำมาทำเป็นเป้าหลอด ได้แก่ โมลิบดีนัม (Mo) ทังสเทน (W) ทองแดง (Cu) และโครเมียม (Cr)

2.2 แผ่นกรองลำปฐมภูมิ (Primary Beam Filter)

วางไว้ระหว่างหลอดรังสีเอกซ์กับสารตัวอย่าง ทำหน้าที่ในการกรองรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นในช่วงที่ไม่ต้องการออก โดยใช้ตัวกรองที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนวงในเท่ากับพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ไม่ต้องการเพื่อดูดกลืนพลังงานนั้นเอาไว้ ก่อนที่จะกระทบสารตัวอย่าง แผ่นกรองลำปฐมภูมิที่มีในอุปกรณ์ชุดนี้ประกอบด้วยแผ่นกรองอลูมิเนียมที่มีความหนาต่าง ๆ กัน ได้แก่ความหนา 12.5, 100, 200, 500 และ 800 ไมโครเมตร แผ่นกรองทองแดงที่มีความหนา 200 ไมโครเมตร และไม่มีแผ่นกรอง (None)

2.3 ระบบบรรยากาศในเครื่องวัดสเปกตรัม

การจัดระบบบรรยากาศในเครื่องวัดสเปกตรัมมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะกรณีของรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุที่วิเคราะห์ถูกระบบบรรยากาศดูดกลืนไว้หรือระบบบรรยากาศทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ลดลง จะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ ดังนั้นการจัดระบบบรรยากาศต้องพิจารณาถึงธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ และสถานะของสารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ด้วย เช่น ถ้าสารตัวอย่างเป็นของแข็งให้ใช้ระบบสุญญากาศ

2.4 หน้ากากตัวทำขนาน (Collimator Masks)

มีลักษณะเป็นช่องกลมขนาดเล็ก จัดวางไว้ระหว่างสารตัวอย่างกับตัวทำขนาน ทำหน้าที่ในการตัดลำรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากสารตัวอย่างให้มีขนาดเล็กลงก่อนเข้าสู่ตัวทำขนาน

2.5 ตัวทำขนาน (Collimator)

ลักษณะภายในเป็นแผ่นโลหะวางขนานกันเป็นจำนวนมากและห่างกันเล็กน้อย จัดวางไว้ระหว่างหน้ากากตัวทำขนานกับผลึกวิเคราะห์ ทำหน้าที่บังคับลำรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาให้อยู่ในแนวขนานเพื่อเข้าสู่ผลึกวิเคราะห์ ตัวทำขนานที่ใช้มี 2 แบบ คือ ตัวทำขนานแบบละเอียด (Fine Collimator) เหมาะที่จะใช้กับรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นสั้นอยู่ในช่วง 0.2-4 อังสตรอมหรืออะตอมของธาตุน้ำหนัก และตัวทำขนานแบบหยาบ (Coarse Collimator) ใช้กับรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 4 อังสตรอมหรืออะตอมของธาตุน้ำหนัก

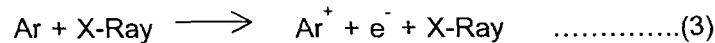
2.6 ผลึกวิเคราะห์ (Analyzing Crystal)

ผลึกวิเคราะห์จะวางอยู่ระหว่างตัวทำขนานกับหัววัด ทำหน้าที่กระจายรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันออกจากกันไปที่มุมต่าง ๆ ซึ่งอาศัยหลักการเลี้ยวเบนตามกฎของแบรกก์ (Bragg ' s Law) $2d\sin \theta = n\lambda$ โดยค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์จะขึ้นอยู่กับมุมของการเลี้ยวเบน (θ) และค่าระยะห่างระหว่างอะตอม (d) ตามเงื่อนไขของแบรกก์โดยค่าระยะห่างระหว่างอะตอมจะต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าความยาวคลื่น

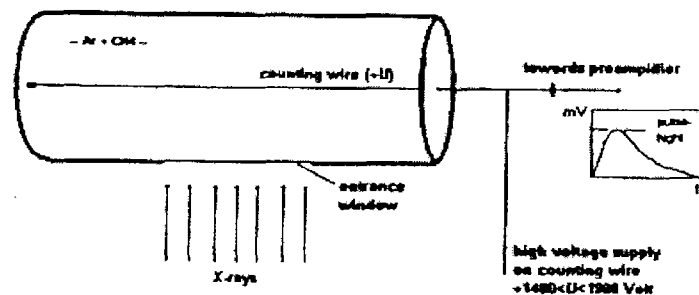
2.7 เครื่องวัดรังสี (X-Ray Detector)

ทำหน้าที่รับรังสีเอกซ์ที่แยกความยาวคลื่นโดยผลึกวิเคราะห์ ผลึกจะหมุนเพื่อเปลี่ยนมุมให้รังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุต่าง ๆ ตกกระทบ ในขณะที่เครื่องวัดหมุนไปรับรังสีตามมุมที่สอดคล้องกัน ในเครื่องมือชุดนี้ใช้เครื่องตรวจวัดรังสี 2 ชนิด คือ

2.7.1 เครื่องนับแบบบรรจุแก๊สเชิงสัดส่วน (Gas Proportional Counter) วางต่อจากผลึกกระจายแสง ประกอบด้วย ทรงกระบอกกลวงเป็นขั้วไฟฟ้าลบ เส้นลวดที่แกนกลางของทรงกระบอกกลวงเป็นขั้วไฟฟ้าบวก และหน้าต่างอยู่บริเวณด้านข้างของทรงกระบอก ทำหน้าที่ให้รังสีเอกซ์ผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับแก๊สภายในทรงกระบอกกลวงซึ่งบรรจุแก๊สอาร์กอน 90% และแก๊สมีเทน 10% ดังภาพประกอบ 9 เมื่อรังสีเอกซ์ที่ผ่านเข้าไปชนกับอะตอมของอาร์กอนทำให้แก๊สอาร์กอนแตกตัวเป็นไอออนบวก (Ar^+) และไอออนลบ (อิเล็กตรอน) ดังสมการ



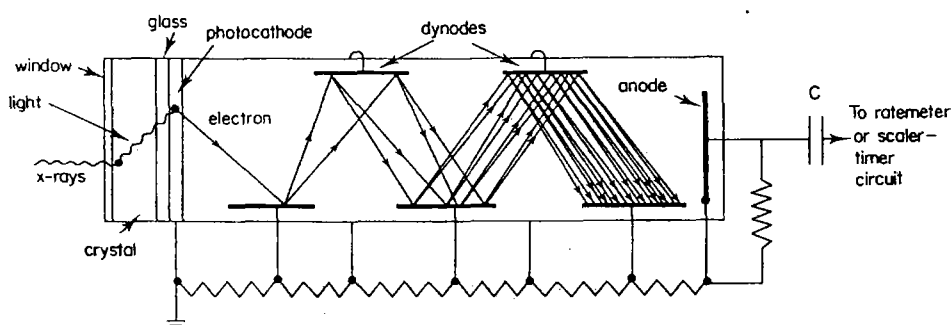
เนื่องจากเครื่องตรวจวัดชนิดนี้โวลเตจมีค่าสูงเพียงพอจะทำให้อิเล็กตรอนชนกับโมเลกุลของแก๊สอื่นๆ และทำให้เกิดคู่อิออน (Ion Pairs) โดยจำนวนคู่อิออนจะเป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสีเอกซ์ เครื่องนับชนิดนี้สามารถวัดรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1.4 อังสตรอม หรือวัดธาตุเบาได้ดี



ภาพประกอบ 9 แสดงเครื่องนับแบบบรรจุแก๊สเชิงสัดส่วน (Gas Proportional Counter) ที่มา : Schlotz, R. & Uhlig, S. (2002). *Introduction to X-Ray Fluorescence Analysis (XRF)*. p. 4.

2.7.2 เครื่องนับแบบประกายแสง (Scintillation Detector) วางต่อจากเครื่องนับเชิงสัดส่วน ประกอบด้วยสารประกายแสงผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (Sodiumiodide) ที่มีทอลเลียม (Thallium) เจือปนอยู่ [NaI(Tl)] ผลึกประกายแสงจะถูกหุ้มด้วยอลูมิเนียม (Al) บางๆ ไว้ทุกด้านยกเว้นด้านที่เชื่อมต่อกับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier Tube) ด้านในแผ่นอลูมิเนียมจะเคลือบด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนแสง ดังภาพประกอบ 10 เมื่อรังสีเอกซ์

ตกกระทบผลึกทำให้อะตอมของผลึกที่ถูกกระตุ้นให้ปล่อยโฟตอนออกมาในช่วงของแสงที่มองเห็นได้ด้วยตา แสงที่คายออกมานี้ไปตกบนโฟโตแคโทด (Photocathode) ของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา แล้วอิเล็กตรอนนี้จะไปตกบนไดโนด (Dynode) อันแรก จะได้อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) หลุดออกมา 2 ถึง 5 ตัวต่ออิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary Electron) 1 ตัว จนกระทั่งอิเล็กตรอนถูกเร่งไปตกกระทบไดโนดอันสุดท้ายก่อนจะเข้าสู่ขั้วแอโนด ทำให้เกิดโวลเตจพัลส์ (Voltage Pulse) ความสูงของพัลส์เป็นสัดส่วนกับพลังงานของอนุภาคที่ตกกระทบผลึก ซึ่งเครื่องนับชนิดนี้สามารถวัดรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่ำหรือวัดรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุหนักได้ดี



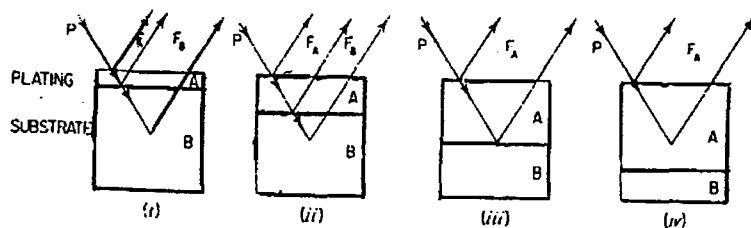
ภาพประกอบ 10 แสดงเครื่องนับแบบประกายแสง (Scintillation Detector)

ที่มา : Whiston, C. (1991). *X-Ray Methods*. p. 78.

การวิเคราะห์ฟิล์มหนาด้วยเทคนิคการวาวรังสีเอกซ์

ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างแบบฟิล์มหนาดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น (WDXRFS) มีหลักการดังนี้ คือ ให้ลำรังสีเอกซ์ปฐมภูมิไปกระตุ้นอะตอมของธาตุที่อยู่ในฟิล์มหนาและวัสดุรองรับให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์ออกมา โดยให้รังสีเอกซ์ที่เกิดจากการวาวผ่านตัวทำขนาน (Collimator) เพื่อทำให้ลำรังสีเอกซ์เป็นลำขนานและบังคับทิศทางไปตกบนผลึกวิเคราะห์ ซึ่งจะทำหน้าที่แยกรังสีเอกซ์ตามความยาวคลื่นต่างๆ เข้าสู่หัววัดเป็นมุม 2θ โดยหัววัดจะทำการตรวจวัดและส่งสัญญาณที่วัดได้ไปยังเครื่องเก็บข้อมูล และแสดงผลการวิเคราะห์ระหว่างค่ามุม 2θ กับความเข้มรังสีเอกซ์ที่วัดได้ในรูปของสเปกตรัม โดยความเข้มรังสีเอกซ์ที่วัดได้จากการวาวของฟิล์มหนาคจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของฟิล์ม แต่ความเข้มรังสีเอกซ์ที่ได้จากการวาวของวัสดุ

รองรับจะลดลงเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากฟิล์มหนาดูดกลืนรังสีเอกซ์ไว้ ดังนั้นความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้ขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์ม ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แสดงความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากฟิล์มหนาที่เคลือบด้วยความหนาต่างๆ กัน

ที่มา : Whiston, C. (1991). *X-Ray Methods*. p. 269.

จากภาพประกอบ 11 เมื่อลำรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (P) ตกกระทบบนฟิล์มหนา (A) ที่มีความหนาต่างๆ บนวัสดุรองรับ (B) ดังรูป (i) และ (ii) ทำให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์ทุติยภูมิออกมาจากฟิล์มหนา (F_A) และรังสีเอกซ์ปฐมภูมิสามารถทะลุผ่านชั้นของฟิล์มหนาลงไปยังชั้นของวัสดุรองรับ ทำให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์ทุติยภูมิออกมาจากวัสดุรองรับ (F_B) ถ้าพิจารณาความเข้มรังสีเอกซ์ที่วาวจากฟิล์มหนาในรูป (i) พบว่าความเข้มรังสีเอกซ์ที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าความเข้มรังสีเอกซ์ที่วาวจากฟิล์มหนาในรูป (ii) เนื่องจากฟิล์มหนาในรูป (ii) มีความหนามากกว่าฟิล์มหนาในรูป (i) เมื่อฟิล์มหนามีความหนาเพิ่มขึ้นดังรูป (iii) ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากฟิล์มหนามีค่าเพิ่มขึ้นและจะมีค่าคงที่เมื่อฟิล์มหนามีความหนอนันต์ (Infinite Thickness) หรือความหนาวิกฤต (Critical Thickness) เรียกความเข้มรังสีเอกซ์นี้ว่า ความเข้มอิ่มตัว (Saturated Intensity) ถ้าฟิล์มหนามีความหนามากกว่าความหนาวิกฤตดังรูป (iv) จะทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ที่วัดได้มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง จะเท่ากับความเข้มรังสีเอกซ์ขณะที่ฟิล์มหนามีความหนาวิกฤตเนื่องจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิไม่สามารถทะลุผ่านชั้นความหนาของฟิล์มหนาลงไปได้อีก

ผลกระทบของเนื้อหาสารในการวิเคราะห์ธาตุในสารตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์ธาตุในสารตัวอย่างโดยทั่วไปสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งชนิดธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ เรียกการวิเคราะห์ลักษณะนี้ว่าการวิเคราะห์แบบกึ่งปริมาณ (Semi-Quantitative) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ไม่ต้องอาศัยสารอ้างอิงมาตรฐาน ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยหลักการวาวรังสีเอกซ์โดยวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวออกจากธาตุนั้น พบว่ารังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดจากธาตุที่ทำการวิเคราะห์เพียงอย่างเดียวแต่อาจเกิดจากธาตุอื่นๆ ในสารตัวอย่าง เนื่องจากสารตัวอย่างมีหลายๆ ธาตุประกอบกัน ซึ่งเรียกว่า ผลกระทบของเมทริกซ์ (Matrix Effect) อันจะทำให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไม่เป็นไปตามค่าที่มีอยู่จริง ซึ่งผลกระทบดังกล่าวนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การเกิดอันตรกิริยาระหว่างธาตุ (Element Interaction) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1.1 ผลของการดูดกลืนรังสีเอกซ์ (Absorption of X-Ray) เกิดจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ ผ่านความหนาของสารตัวอย่างเข้าไป และเกิดการวาวรังสีเอกซ์ทุติยภูมิออกมาจากสารตัวอย่าง ซึ่งความเข้มเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เนื่องจากการถูกดูดกลืนหรือการกระเจิง การเกิดการวาวรังสีเอกซ์จากอะตอมของธาตุในสารตัวอย่างนั้นจะต้องไม่ลืมว่าทั้งอะตอมของธาตุที่อยู่ผิวและอะตอมที่อยู่ลึกเข้าไปในสารตัวอย่างสามารถเกิดได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นการดูดกลืนรังสีจะมีผลมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง ความหนาของสารตัวอย่าง และสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งผลของการดูดกลืนรังสีเอกซ์นี้แบ่งเป็น 2 ลักษณะ

1.1.1 ผลของการดูดกลืนปฐมภูมิ (Primary Absorption) เกิดจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิทะลุผ่านความหนาของสารตัวอย่างเข้าไปแล้วรังสีนั้นถูกดูดกลืนไว้ ทำให้ไม่เกิดการวาวรังสีเอกซ์ออกมาหรืออาจจะเกิดการวาวรังสีเอกซ์แต่มีความเข้มของรังสีลดลง

1.1.2 ผลของการดูดกลืนทุติยภูมิ (Secondary Absorption) เกิดจากการดูดกลืนรังสีเอกซ์ที่คายออกมาจากธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ทำให้ไม่เกิดการวาวรังสีเอกซ์ออกมา

1.2 การเสริมให้ความเข้มรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น (Enhancement)

เมื่ออะตอมของธาตุในสารตัวอย่างถูกกระตุ้นโดยรังสีเอกซ์ปฐมภูมิจะเกิดการวาวรังสีเอกซ์ทุติยภูมิออกมา และรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่วาวออกไปกระตุ้นอะตอมของธาตุอื่นในสารตัวอย่างให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์ออกมาด้วย จึงทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุที่ถูกกระตุ้นที่วัดได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริง

2 ผลทางกายภาพของสารตัวอย่าง (Physical Effects)

สมบัติทางกายภาพของสารตัวอย่าง เช่น ลักษณะของผิวหน้า ขนาดอนุภาค และความชื้นเป็นเนื้อเดียวกัน ถ้าสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์มีผิวหน้าไม่เรียบ ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและขนาดของอนุภาคไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากอะตอมของธาตุที่ทำการวิเคราะห์ชนิดหนึ่งอาจถูกดูดกลืนหรือเกิดการกระเจิงโดยอะตอมของอีกธาตุหนึ่งแล้วเกิดการวาวรังสีเอกซ์ออกมาแทนจึงทำให้ผลการวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ของธาตุที่สนใจคลาดเคลื่อนได้

เทคนิคการเตรียมสารตัวอย่าง (Sample Preparation Technique)

การเตรียมสารตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุเชิงกึ่งปริมาณด้วยเครื่อง WDXRF ซึ่งสามารถเตรียมได้หลายวิธีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของสารตัวอย่าง ได้แก่

1. วิธีการอัดเป็นเม็ด (Pelletizing Method) เป็นวิธีการเตรียมสารตัวอย่างที่เป็นก้อนใหญ่ (Bulk Sample) ให้มีขนาดของอนุภาคเล็กลงโดยนำไปบดจนกระทั่งได้สารตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผง (Powder Sample) ผสมเป็นเนื้อเดียวกันใส่ในถ้วยอลูมิเนียม แล้วนำไปอัดเป็นเม็ดภายใต้ความดันสูง ทำให้ได้สารตัวอย่างที่สามารถคงตัวอย่างได้เนื่องจากการอัดและมีผิวหน้าเรียบสำหรับนำไปวิเคราะห์ ในกรณีที่สารตัวอย่างมีลักษณะร่วนเกินไปไม่สามารถอัดเป็นเม็ดได้ก็จะต้องใส่สารที่เป็นตัวยึดเหนี่ยว (Binder) เช่น กรดบอริก เซลลูโลส แป้ง ยูเรีย และซีเมนต์เข้าไปตามอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งตัวยึดเหนี่ยวเหล่านี้ช่วยให้สารตัวอย่างผสมเป็นก้อนได้ง่ายก็สามารถเตรียมสารตัวอย่างแบบอัดเม็ดได้ ดังนั้นสารตัวอย่างที่เตรียมด้วยวิธีการอัดเม็ดที่ดีจะต้องเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ไม่มีสิ่งเจือปน (Contaminate) เพราะถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่ในสารตัวอย่างจะทำให้ไม่สามารถระบุชนิดและปริมาณธาตุที่มีอยู่จริงในสารตัวอย่างส่งผลให้ผลการวิเคราะห์บางส่วนได้มาจากสิ่งเจือปน

2. วิธีการขัดมัน เป็นวิธีการเตรียมสารตัวอย่างที่ใช้กับสารตัวอย่างที่เป็นก้อนหรือเป็นแผ่น เช่น โลหะ สามารถเตรียมได้โดยนำโลหะมาตัดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการแล้วขัดให้สะอาดด้วยเครื่องขัด หรือโดยการนำสารตัวอย่างมาหลอมแล้วนำไปหล่อให้เข้ารูปหรือตัดให้ได้ขนาดที่ต้องการและขัดมันให้สะอาด เพื่อวิเคราะห์ต่อไป

3. วิธีการหลอม (Fusion Method) เป็นวิธีการเตรียมสารตัวอย่างที่สามารถแก้ปัญหาความแตกต่างของเนื้อสารของสารตัวอย่าง เช่น ความแข็งของสารตัวอย่างและขนาดอนุภาคต่างกัน โดยนำสารตัวอย่างที่เป็นก้อนบดให้มีขนาดของอนุภาคเล็กลงและนำมาผสมกับตัวช่วยหลอม (Flux) เช่น Lithium Metaborate (LiBO_2) Lithium Tetraborate ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) Sodium Tetraborate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) Sodium Carbonate (Na_2CO_3) และนำไปหลอมที่อุณหภูมิสูงประมาณ 800-1100 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้จนเย็นจะได้สารตัวอย่างที่หลอมเป็นแก้ว เพื่อนำไปวิเคราะห์

4. เทคนิคการเตรียมสารตัวอย่างบาง เป็นกระบวนการที่ทำให้สารประกอบตกเคลือบเป็นชั้นบางๆ บนวัสดุรองรับ (Substrate) ที่เป็นของแข็งหรือวัสดุที่ต้องการใช้งาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการเคลือบฟิล์ม เช่น เพื่อต้องการให้วัสดุมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ เพื่อความสวยงามและเพื่อใช้ในงานวิจัย

การเตรียมสารตัวอย่างบางเป็นเทคนิคที่ให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างมีความถูกต้องอีกวิธีหนึ่งเนื่องจากการเตรียมสารตัวอย่างลักษณะนี้ทำให้เกิดอันตรกิริยาของธาตุในสารตัวอย่างมีน้อยมาก เช่น ผลกระทบของการดูดกลืนรังสีเอกซ์ปฐมภูมิและทุติยภูมิจะไม่รบกวนซึ่งกันและกัน ทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากสารตัวอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของธาตุนั้นๆ โดยทั่วไปการเตรียมสารตัวอย่างบางสามารถเตรียมได้หลายวิธีได้แก่

4.1 แบบปาดบนแผ่นรองรับ สารตัวอย่างที่จะเตรียมแบบปาดได้นั้นต้องมีลักษณะเป็นของเหลว เช่น สีทาบ้าน อาหารและยา โดยนำสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวทาหรือปาดลงบนแผ่นรองรับ ในการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบนี้จะต้องศึกษาองค์ประกอบของวัสดุที่นำมาใช้เป็นแผ่นรองรับ ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้จะต้องมีชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบไม่เหมือนกับสารตัวอย่างที่สนใจศึกษา เพราะถ้าวัสดุรองรับมีชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบเหมือนกับสารตัวอย่างที่สนใจจะทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ของธาตุในสารตัวอย่างที่เกิดการร่วออกมา มีบางส่วนที่มาจากธาตุในแผ่นรองรับ ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้คลาดเคลื่อนและในการเตรียมสารตัวอย่างแบบปาดบนแผ่นรองรับต้องคำนึงถึงความหนาของสารตัวอย่าง ควรจะปาดสารตัวอย่างให้มีความหนาในระดับมิลลิเมตร การเตรียมสารตัวอย่างแบบปาดที่ดีควรจะต้องมีผิวหน้าของฟิล์มเรียบ สม่ำเสมอกับผิววัสดุรองรับ ในขณะที่เดียวกันการเตรียมสารตัวอย่างแบบบางที่ดีนั้นทำได้ยากเพราะว่าไม่สามารถจะเตรียมสารตัวอย่างแต่ละชิ้นตัวอย่างให้มีความหนาเท่ากันได้ แต่พยายามเตรียมสารตัวอย่างในแต่ละชิ้นให้มีความหนาโดยประมาณใกล้เคียงกัน

4.2 แบบโรยผง เป็นเทคนิคการเตรียมสารตัวอย่างบางอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งสารตัวอย่างที่สามารถเตรียมแบบโรยได้นั้นต้องมีลักษณะเป็นผงที่ละเอียด เช่น ตะกรัน แร่ หิน และสีทาบ้านที่แห้ง การเตรียมสารตัวอย่างแบบโรยเป็นเทคนิคการเตรียมชิ้นตัวอย่างที่ใช้สารตัวอย่างปริมาณน้อย ดังนั้นถ้าสารตัวอย่างมีไม่เพียงพอสำหรับการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบอื่น ก็สามารถเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบโรยได้ ในการวิเคราะห์ธาตุในสารตัวอย่างบางจะมีการกระเจิงของรังสีเอกซ์เกิดขึ้น ซึ่งการกระเจิงที่เกิดขึ้นนี้อาจจะเกิดจากสารตัวอย่างและวัสดุรองรับ ดังนั้นควรที่จะเลือกวัสดุรองรับให้เหมาะสม ซึ่งในการเลือกแผ่นรองรับที่เหมาะสมนั้นควรที่จะเลือกวัสดุที่มีส่วนประกอบของธาตุน้อย เพราะจะทำให้รังสีเอกซ์เกิดการกระเจิงได้น้อยมีผลทำให้ความเข้มของพื้นหลัง (Background) ลดลง ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบโรยผงต้องมีความหนาพอสมควรและควรจะมีผิวหน้าเรียบ

4.3 วิธีการกรอง ใช้สำหรับสารตัวอย่างที่เป็นของเหลว โดยนำสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวหยดลงบนกระดาษกรองแล้วรอจนแห้งกลายเป็นของแข็ง สามารถนำไปวิเคราะห์ได้ต่อไป

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1994 คิวซิฟิท (Quisefit) และคณะ ทำการวิเคราะห์ปริมาณของละอองในอากาศที่ถูกดูดไว้บนกระดาษกรอง (Aerosol Filter) โดยใช้เทคนิคการวาวรังสีเอกซ์ด้วยวิธีการสร้างกราฟเปรียบเทียบจากสารมาตรฐานสังเคราะห์ พบว่าสารมาตรฐานสังเคราะห์ทำได้ค่อนข้างยาก ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงงานวิจัยอื่นที่เลือกใช้แผ่นกรองในการวิเคราะห์ฟิล์มบาง แต่คิวซิฟิทและคณะนำผลการวิเคราะห์ปริมาณของละอองอากาศที่ดูดไว้บนกระดาษกรองมาเปรียบเทียบกับสารตัวอย่างมาตรฐานที่เตรียมตัวอย่างแบบหลอมเป็นแก้ว มีข้อดี คือ ง่ายต่อการจับต้อง เพราะน้อยกว่าฟิล์มบางหรือตัวกรอง และสามารถใช้งานได้นานถ้ามีการเก็บรักษาอย่างถูกวิธี

ในปี 1996 ซัลคอฟสกี (Sulkowski) และเออร์เนอร์ (Hirner) ทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างประเภทฝุ่น เศษแร่ และเศษดิน ที่มีปริมาณที่จำกัด (<50 mg) ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น โดยเตรียมสารตัวอย่างบนตัวกรองโพลีพรอพิลีน (Polypropylene Filter) และเลือกใช้วัสดุแผ่นรองด้านหลัง (Backing) ซึ่งทำจากโพแตสเซียมคลอไรด์ (KCl) ทำการเตรียมสารมาตรฐานที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันและใช้วัสดุรองชนิดเดียวกัน ทำการสร้างข้อมูลเปรียบเทียบเพื่อทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างนั้น พบว่าสามารถทำการวิเคราะห์ได้ถึงในระดับธาตุปริมาณน้อยๆ ของธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 22 ขึ้นไปได้

ในปี 2000 โคลเคนแคมเพอร์ (Klockenkamper) และคณะ ทำการวิเคราะห์สารสีบนภาพวาดสีน้ำมันและหมึกพิมพ์ในเอกสารทางประวัติศาสตร์ซึ่งเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่มีคุณค่าอย่างยิ่ง โดยใช้ผลรวมการสะท้อนการวาวรังสีเอกซ์เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำ Cotton-bud ที่แห้งถูบนพื้นผิวของภาพวาดแล้วนำไปวางบนกระดาษ ทำการวิเคราะห์โดย TXRF (Total Reflection X-Ray Fluorescence) ซึ่งในการเตรียมตัวอย่างลักษณะนี้ใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อยและไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่ภาพวาด

ในปี 2002 โคอีโด (Coedo) และคณะ ทำการวิเคราะห์ธาตุหลักและธาตุรองในเหล็กไททาเนียม (Fe-Ti) เหล็กนิกเกิล (Fe-Ni) และเหล็กวานาเดียม (Fe-V) โดยใช้เทคนิคการวาวรังสีเอกซ์เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการอัดเม็ด และแบบหลอมเป็นแก้ว ในเหล็กแต่ละชนิดทำการสร้างกราฟเปรียบเทียบจากสารตัวอย่างที่เตรียมโดยผสมโลหะผสมสองชนิดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยใช้โลหะผสมที่มีองค์ประกอบทั้งหมดเป็นขององค์มาตรฐานสากล (ISO) ทำการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation) ของธาตุไททาเนียมในเหล็กไททาเนียม ธาตุนิกเกิลในเหล็กนิกเกิลและธาตุวานาเดียมในเหล็กวานาเดียม ของสารตัวอย่างที่เตรียมด้วยวิธีการอัดเม็ดได้ค่าเป็น 0.20%, 0.17% และ 0.21% ตามลำดับ และของสารตัวอย่างที่เตรียมแบบหลอมเป็นแก้วได้ค่าเป็น 0.16%, 0.14% และ 0.13% ตามลำดับ สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของธาตุรองที่เตรียมด้วยวิธีการอัดเม็ดต่ำกว่า 5% และที่เตรียมแบบหลอมเป็นแก้วต่ำกว่า 3% ซึ่งสามารถตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองได้โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้รับการรับรอง

ในปี 2002 เจนส์เซน (Janssens) และคณะ ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ Microscopic XRF และวิธีต่างๆ ร่วมในการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดและลักษณะเฉพาะของวัตถุที่เป็นมรดกทางวัฒนธรรม โดยทำการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยๆ ในแก้วที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ วิเคราะห์เหรียญ รูปปั้น เครื่องเงิน และวิเคราะห์หมึกพิมพ์ในเอกสารทางประวัติศาสตร์ โดยการศึกษานี้ได้ใช้เครื่องมือการวาวรังสีเอกซ์ขนาดเล็ก (Micro-XRF) และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการด้วยซึ่งเครื่องมือเหล่านี้ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่ที่ตั้งของพิพิธภัณฑ์หรือแหล่งโบราณคดีที่สนใจศึกษาวัตถุชิ้นนั้นๆ และเป็นการศึกษาวิเคราะห์ที่ไม่ทำลายชิ้นงานที่ศึกษา

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในตอนต้นได้ทำการศึกษาเลือกสารตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบอัดเม็ด แบบปาดบนแผ่นรองรับและแบบโรยผง พบว่าสารตัวอย่างสีทาบ้านชนิดสีทาบิลชันสีแดง มีความเหมาะสมในการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบต่างๆ ดังกล่าว และมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นตัวอย่างแต่ละแบบดังนี้

1. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับเตรียมสารตัวอย่างแบบอัดเม็ด ประกอบด้วย

1.1 เครื่องชั่งอ่านค่าได้ละเอียด 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น SNR

1116062377 TDNR 26219111

1.2 ตู้อบสาร ยี่ห้อ Memmert รุ่น D 06060 Modell 400

1.3 กรดบอริก (H_3BO_3)

1.4 ภาชนะบด (Grinding Vessel)

1.5 เครื่องบด (Ring Mill) ยี่ห้อ ROCKLABS รุ่น 7KP9000-8AL

1.6 ถ้วยอลูมิเนียม (Aluminium Cup) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.00 เซนติเมตร

1.7 ที่ใส่สารตัวอย่างพร้อมแผ่นรองด้านหลัง (Backing) ที่เป็นอลูมิเนียม

1.8 เครื่องอัด (Pressing Tool) ยี่ห้อ HERZOG รุ่น TP60/2D 7KP9001-8BN

2. อุปกรณ์เตรียมสารตัวอย่างแบบบาง ประกอบด้วย

2.1 แผ่นอะคริลิกที่มีความหนา 5.000 มิลลิเมตร แผ่นเหล็กชุบสังกะสี (galvanizing steel) ที่มีความหนา 0.500 มิลลิเมตร และกระดาษแข็ง

2.2 เวอร์เนีย

2.3 เครื่องชั่งอ่านค่าได้ละเอียด 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น SNR

1116062377 TDNR 26219111

2.4 ที่ปาดสี

2.5 โกร่งบดสาร (Mortar)

2.6 ตะแกรงร่อนสาร (Sieve) มีขนาดของช่อง 38 ไมโครเมตร

2.7 แผ่นไมลาร์ (Mylar Film) มีความหนา 6 ไมโครเมตร

2.8 เทปใส

3. เครื่องมือวิเคราะห์สารตัวอย่าง ประกอบด้วย

เครื่องวัดสเปกตรัมการร้าวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น (WDXRFS) ของบริษัท BRUKER รุ่น SRS 3400 ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประกอบด้วยหลอดรังสีเอกซ์ชนิดหน้าต่างด้านปลาย ใช้โรเตียมเป็นเป้า มีแผ่นกรองปฐมภูมิ ประกอบด้วยแผ่นกรองอลูมิเนียมขนาด 12.5, 100, 200, 500 และ 800 ไมโครเมตร แผ่นกรองทองแดงขนาด 200 ไมโครเมตร และไม่มีแผ่นกรอง หน้ากากตัวทำขนานมีขนาดของช่องเท่ากับ 34 มิลลิเมตร และแบบเปิด ตัวทำขนานเป็นแบบ fine 0.15 องศา และแบบ medium 0.46 องศา โดยใช้ผลึกกระจายความยาวคลื่น 4 ชนิด คือ LiF 200 LiF 220 OVO-55 และ PET ในส่วนของเครื่องนับรังสีแบบประกายแสง ใช้หัววัดโซเดียมไอโอไดต์ที่มีรอลเลียมเจือปนอยู่ [NaI(Tl)] เป็นผลึกประกายแสง และแบบบรรจุแก๊สเชิงสัดส่วน ที่ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมการวิเคราะห์สำเร็จรูป Semiquant เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพและปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเลือกสารตัวอย่าง

สีทาบ้านได้ถูกนำมาใช้มากในปัจจุบันและอาจเป็นอันตรายในขณะเดียวกันสีทาบ้านก็สามารถทำเป็นชั้นตัวอย่างแบบต่าง ๆ ได้ดี เช่น แบบอัดเม็ด แบบปาดบนแผ่นรองรับ และแบบโรยผงได้ ในงานวิจัยนี้เลือกสีทามัลชัน เพราะสีทามัลชันสามารถเตรียมชั้นตัวอย่างได้ทั้ง 3 แบบ โดยสีทามัลชันที่แห้งสามารถบดเป็นผงละเอียดได้ง่ายและอนุภาคมีขนาดเล็กและคาดว่าจะมีธาตุปรอทเป็นส่วนประกอบ ซึ่งเป็นโลหะหนักที่มีอันตรายต่อร่างกายจึงสนใจทำการศึกษา

2. การเลือกแผ่นรองรับที่เหมาะสม

การเตรียมชั้นตัวอย่างแบบปาดบนแผ่นรองรับและแบบโรยผงนั้นต้องใช้แผ่นรองรับในการเตรียมสารตัวอย่าง ซึ่งต้องเลือกแผ่นรองรับที่เหมาะสม โดยแผ่นรองรับที่นำมาใช้นั้นจะต้องมีชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบไม่เหมือนกับสารตัวอย่างสีทาบ้าน แผ่นรองรับที่เลือกใช้นั้นต้องแข็ง มีผิวหน้าเรียบและเป็นวัสดุที่ทนความร้อนได้เพราะจะให้ไม่เกิดความเสียหายระหว่างการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการร้าวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกแผ่นอะคริลิกและแผ่นเหล็กชุบสังกะสีเป็นแผ่นรองรับสารตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดเนื่องจากแผ่นอะคริลิกและแผ่นเหล็กชุบสังกะสีมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบไม่เหมือนกับสารตัวอย่างและใช้กระดาษแข็งเป็นแผ่นรองรับสำหรับสารตัวอย่างสีทาบ้านที่เตรียมแบบโรยผง แต่เนื่องจากแผ่นอะคริลิกประกอบด้วยธาตุเบา (เลขอะตอมต่ำ) จึงนำแผ่นเหล็กชุบสังกะสีที่ประกอบด้วยธาตุหนักที่คาดว่าไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาวิเคราะห์ธาตุที่มีในสีทาบ้านมาใช้เพื่อศึกษาผลของการกระเจิงของรังสีเอกซ์ที่มีผลต่อความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุแต่ละชนิด

3. เทคนิคการเตรียมสารตัวอย่าง

3.1 การเตรียมสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงแบบอัดเม็ด เป็นขั้นตอนที่ทำการขึ้นเพื่อต้องการตรวจสอบว่าสีทาทอมัลชันสีแดงที่เตรียมขึ้นตัวอย่างแบบอัดเม็ดยังประกอบด้วยธาตุชนิดใด และมีปริมาณธาตุเท่าใด โดยมีขั้นตอนในการเตรียมสารตัวอย่างดังนี้

3.1.1 นำสีทาทอมัลชันสีแดงชนิดทาภายนอกทาบจนกระทั่งแตกให้แห้งแล้วทำการขูดสีออกจากกระຈຈจะได้อสีเป็นชิ้นเล็กๆ

3.1.2 นำสีชิ้นเล็กๆ และกรดบอริก ไปอบในตู้อบสารที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อต้องการลดความชื้นที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและกรดบอริก

3.1.3 นำสีชิ้นเล็กๆ ที่ผ่านการอบมาชั่ง 10.00 กรัม ผสมกับกรดบอริก 0.50 กรัม

3.1.4 นำสารผสมใส่ภาชนะบด เข้าเครื่องบดเป็นเวลา 2 นาที จะได้สารตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงและเป็นเนื้อเดียวกัน

3.1.5 นำสารที่บดแล้วเทลงในถ้วยอลูมิเนียม แล้วนำไปอัดด้วยเครื่องอัดที่ใช้แรงดัน 200 กิโลนิวตัน จะได้สารตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นเม็ดที่มีผิวหน้าเรียบสำหรับนำไปวิเคราะห์

3.1.6 เตรียมสารตัวอย่างตามขั้นตอนในข้อ 3.1.1 ถึง 3.1.5 จนครบ 3 ชิ้นตัวอย่าง

3.2 ศึกษาวิธีการวิเคราะห์สารตัวอย่างแบบฟิล์มหนา จากขั้นตอน 3.1 ทำให้ทราบปริมาณธาตุในสีทาทอมัลชันสีแดงที่เตรียมขึ้นตัวอย่างแบบอัดเม็ด จึงนำสีทาทอมัลชันสีแดงทำการเตรียมแบบฟิล์มหนาโดยปาดบนแผ่นรองรับ เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในสีทาทอมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นรองรับกับแบบอัดเม็ด ซึ่งเลือกใช้แผ่นรองรับ 2 ชนิดคือแผ่นอะคริลิกและแผ่นเหล็กชุบสังกะสี ทำได้ดังนี้

3.2.1 แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

ก. การทดสอบแผ่นรองรับอะคริลิก ทำขึ้นเพื่อตรวจสอบว่าแผ่นอะคริลิกประกอบด้วยธาตุชนิดใดและมีปริมาณธาตุเท่าใด โดยแผ่นอะคริลิกจะต้องประกอบด้วยธาตุที่ไม่เหมือนกับสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดง ซึ่งมีขั้นตอนในการเตรียมดังนี้

1) นำแผ่นอะคริลิกที่มีความหนา 5.000 มิลลิเมตร ตัดเป็นแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.80 เซนติเมตร ไปวัดมวลด้วยเครื่องชั่งอ่านค่าได้ละเอียด 3 ตำแหน่งและบันทึกผล

2) นำแผ่นอะคริลิกที่วัดมวลแล้วไปใส่ในที่ยัดสารตัวอย่างแล้วนำไปวางในตำแหน่งที่วางสารตัวอย่างของเครื่อง WDXRFS

3) ตั้งค่าพารามิเตอร์ของระบบการวัดให้เหมาะสม ทำการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในแผ่นอะคริลิก โดยใช้โปรแกรม Semiquant จากเครื่องวัดสเปกตรัมการวางรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นโดยใช้เวลาวัดประมาณ 1,080 วินาทีต่อ 1 ชิ้นตัวอย่าง

4) นำข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยโปรแกรม Semiquant จากเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPECTRA^{plus} ก็สามารถวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุจากค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุแต่ละชนิดในแผ่นอะคริลิกได้

ข. การเตรียมสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) นำแผ่นอะคริลิกที่มีความหนา 5.000 มิลลิเมตร ตัดเป็นแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.80 เซนติเมตรไปวัดมวลด้วยเครื่องชั่งอ่านค่าได้ละเอียด 3 ตำแหน่งและบันทึกผล

2) ใช้สีทาทอมัลชันสีแดงชนิดทาภายนอกนำมาคนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วปาดลงบนแผ่นอะคริลิกที่เตรียมไว้ โดยปาดสีให้มีผิวหน้าเรียบและสังเกตเห็นว่าไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของฟิล์ม โดยเตรียมฟิล์มให้มีความหนาเหมาะสม ซึ่งสามารถคำนวณหาความหนาของฟิล์มได้จาก

$$d = \frac{\Delta m}{A} \dots\dots\dots (4)$$

เมื่อ d คือ ความหนาของฟิล์ม หน่วย กรัมต่อตารางเซนติเมตร

Δm คือ ผลต่างของมวลก่อนและหลังเคลือบฟิล์ม หน่วย กรัม

A คือ พื้นที่ของแผ่นรองรับ หน่วย ตารางเซนติเมตร

3) นำแผ่นอะคริลิกที่ปาดสีตากให้แห้งแล้วนำไปวัดมวลพร้อมบันทึกผล ก็จะได้สารตัวอย่างแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกสำหรับนำไปวิเคราะห์

4) เตรียมสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงจนครบ 3 ชั้นตัวอย่าง

3.2.2 แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

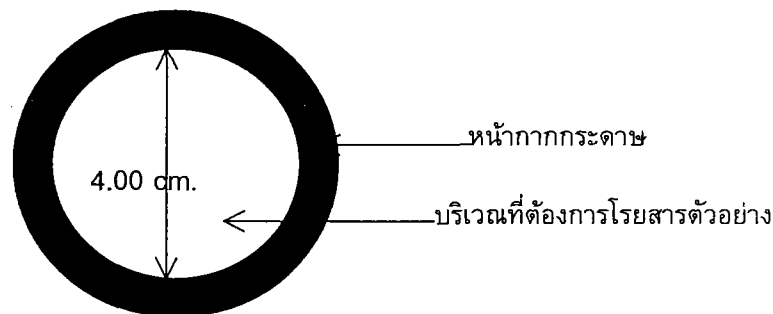
ก. การทดสอบแผ่นเหล็กชุบสังกะสี ทำขึ้นเพื่อต้องการตรวจสอบชนิดและปริมาณธาตุในแผ่นเหล็กชุบสังกะสีที่ใช้เป็นแผ่นรองรับ โดยแผ่นเหล็กชุบสังกะสีจะต้องประกอบด้วยธาตุที่ไม่เหมือนกับสารตัวอย่างสีทาทอมัลชัน ทำได้โดยนำแผ่นเหล็กชุบสังกะสีที่มีความหนา 0.500 มิลลิเมตร ตัดเป็นแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.80 เซนติเมตร และสามารถเตรียมตามขั้นตอน 1) ถึง 4) ในหัวข้อการทดสอบแผ่นอะคริลิก

ข. การเตรียมสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี ทำได้โดยนำแผ่นเหล็กชุบสังกะสีที่มีความหนา 0.500 มิลลิเมตร ตัดเป็นแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.80 เซนติเมตร และทำการเตรียมตามขั้นตอน 1) ถึง 4) ในหัวข้อการเตรียมสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก

3.3 ศึกษาวิธีการวิเคราะห์สารตัวอย่างแบบโรยผง จากขั้นตอน 3.1 ได้เตรียมสารตัวอย่างสีทาสีอิมัลชันสีแดงแบบอัดเม็ดทำให้ทราบชนิดและปริมาณธาตุในสีทาสีอิมัลชันสีแดง จึงนำสีทาสีอิมัลชันสีแดงเตรียมแบบโรยผง เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในชั้นตัวอย่างที่เตรียมแบบโรยผงกับชั้นตัวอย่างที่เตรียมแบบอัดเม็ด โดยมีขั้นตอนในการเตรียมสารตัวอย่างดังนี้

3.3.1 นำกระดาษแข็งตัดเป็นแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.80 เซนติเมตรสำหรับเป็นแผ่นรองรับ

3.3.2 นำเทปใสกว้าง 5.00 เซนติเมตร หุ้มกระดาษแข็งโดยให้ด้านที่เป็นกาวอยู่ข้างบนและนำหน้ากากกระดาษที่ตัดเป็นวงแหวนโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก 4.80 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 4.00 เซนติเมตร ปิดลงบนเทปใสตรงบริเวณที่ไม่ต้องการโรยสารตัวอย่าง ดังภาพประกอบ 12 แล้วนำไปวัดมวลและบันทึกผล



ภาพประกอบ 12 แสดงการเตรียมวัสดุรองรับสำหรับสารตัวอย่างแบบโรยผง

3.3.3 นำสีทาสีอิมัลชันสีแดง ที่ตากแห้งและผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาบดให้เป็นผงละเอียดโดยใช้โกร่งบดสาร จากนั้นนำมาผ่านตะแกรงร่อนสารเพื่อกรองสารที่มีขนาดน้อยกว่า 38 ไมโครเมตรให้ผ่านออกมา โดยให้สารตัวอย่างผ่านตะแกรงไปตกลงบนบริเวณที่ต้องการโรยสารตัวอย่างตามที่เตรียมไว้ในขั้นตอน 3.3.2 คือบริเวณเทปใส แล้วนำไปวัดมวลและบันทึกผล ทำการคำนวณหาความหนาของสารตัวอย่างจากการวัดมวลของสีที่โรยต่อพื้นที่ที่โรยสารตัวอย่างสีทาสีบ้าน โดยในการเตรียมควรเตรียมสารตัวอย่างแต่ละชั้นให้มีความหนาเท่ากันหรือใกล้เคียง ควรโรยให้มีผิวหน้าเรียบ แน่นและไม่เกิดรอยแตกที่ผิวหน้าของสารตัวอย่าง

3.3.4 นำแผ่นไมลาร์มาหุ้มสารตัวอย่างที่เตรียมไว้จะได้ชั้นตัวอย่างแบบโรยผงที่มีผิวหน้าเรียบสำหรับนำไปวิเคราะห์

3.3.5 เตรียมสารตัวอย่างตามขั้นตอนในข้อ 3.3.1 ถึง 3.3.4 จนครบ 3 ชั้นตัวอย่าง

4. เทคนิคการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่าง สามารถทำได้ 2 ขั้นตอน ดังนี้

4.1 นำสารตัวอย่างสีทาทาลัมชันสีแดงที่เตรียมแบบอัดเม็ด แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีและแบบโรยผงอย่างละ 3 ชั้นตัวอย่าง ไปวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น (WDXRFS) ตั้งค่าพารามิเตอร์ของระบบการวัดให้เหมาะสมกับลักษณะของชั้นตัวอย่าง โดยใช้โปรแกรม Semiquant ซึ่งใช้เวลาวัดประมาณ 1,080 วินาทีต่อ 1 ชั้นตัวอย่าง ทำการวัดจนครบทุกชั้นตัวอย่าง

4.2 นำข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPECTRA^{plus} โดยวิเคราะห์ปริมาณธาตุจากค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง

5. เทคนิคการวิเคราะห์ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ

ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างสีทาทาลัมชันสีแดงสำหรับใช้ทาภายนอก ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPECTRA^{plus} ที่เตรียมสารตัวอย่างด้วยวิธีต่างกัน คือ แบบอัดเม็ด แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี และแบบโรยผงมาเปรียบเทียบกัน โดยยึดผลการวิเคราะห์ของการเตรียมแบบอัดเม็ดเป็นมาตรฐาน

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองเตรียมสารตัวอย่าง

ในงานวิจัยได้ทดลองเตรียมสารตัวอย่าง 3 แบบด้วยกัน คือ แบบอัดเม็ด แบบฟิล์มหนา และแบบโรยผง ซึ่งในการเตรียมสารตัวอย่างแบบฟิล์มหนาโดยปาดบนแผ่นรองรับนั้นจะมีปัญหาเกี่ยวกับการเตรียมขึ้นตัวอย่างเพราะในการทดลองไม่สามารถเตรียมขึ้นตัวอย่างให้ฟิล์มมีความหนาอันันต์ได้ เนื่องจากเมื่อฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้นจะทำให้ผิวหน้าของฟิล์มแตกซึ่งมีผลต่อผลการวิเคราะห์ที่ได้ สำหรับการเตรียมขึ้นตัวอย่างแบบโรยผงมีความยุ่งยากในการควบคุมความหนาและความเรียบของผิวหน้า

ผลการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่าง

การวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงที่เตรียมในรูปแบบต่างกัน คือ แบบอัดเม็ด แบบฟิล์มหนาและแบบโรยผง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS ได้ผลการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างต่างๆ ดังนี้

1. ผลการวัดและวิเคราะห์ขึ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบอัดเม็ดในหัวข้อ 3.1 จำนวน 3 ขึ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS แสดงดังตาราง 1 โดยจะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในขึ้นตัวอย่างทั้ง 3 ขึ้น ให้ผลการวิเคราะห์มีค่าค่อนข้างเที่ยงตรงโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกิน 3% สำหรับผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ แสดงดังตาราง 2 จะเห็นได้ว่าธาตุ Cr มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูง แต่เมื่อศึกษาสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ของธาตุ Cr ในสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบอัดเม็ดในภาพประกอบ 13 พบว่าไม่มีการซ้อนทับหรือการแทรกสอดของเส้นรังสีเอกซ์จากธาตุชนิดอื่น ดังนั้นน่าจะได้รับผลมาจากเป่าหลอดโรเตียมที่เป็นส่วนของเครื่องมือ ซึ่งมีธาตุ Cr วาวออกมาด้วย จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ของธาตุ Cr มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูง สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูงเนื่องจากปริมาณที่น้อยมากในระดับ ppm ทำให้การวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวจากธาตุเหล่านี้มีค่าต่ำซึ่งมีโอกาสวิเคราะห์ผิดพลาดได้มากกว่าพวกธาตุหลักและธาตุรอง ประกอบกับในการทดลองได้ใช้ขึ้นตัวอย่างเพียง 3 ขึ้นเท่านั้นซึ่งนับว่าน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้น แต่ที่ทำการทดลองเพียง 3 ขึ้น เนื่องจากต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการวัดแต่ละครั้งซึ่งราคาสูงมาก อย่างไรก็ตามผลโดยรวมแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของการเตรียมขึ้นตัวอย่างแบบอัดเม็ดทั้ง 3 ขึ้นตัวอย่าง และได้

แสดงสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์จากสารตัวอย่างสีทาสีที่มีส่วนผสมที่เตรียมแบบอัดเม็ดดังภาพประกอบ 13

2. การเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบปาดบนแผ่นรองรับได้เลือกทดลองใช้แผ่นรองรับ 2 ชนิด คือ แผ่นอะคริลิกและแผ่นเหล็กชุบสังกะสี โดยได้ศึกษาชนิดและปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบในแผ่นรองรับทั้งสองแสดงผลตามตาราง 3 ตาราง 4 และตาราง 5 จะเห็นได้ว่าแผ่นอะคริลิกมีธาตุ Cu อยู่ในระดับ ppm โดยธาตุชนิดนี้พบในสารตัวอย่างสีทาสีที่มีส่วนผสมที่เตรียมแบบอัดเม็ดดังภาพประกอบ 13 โดยธาตุหลักและธาตุรอง ซึ่งธาตุทั้ง 4 นี้เป็นองค์ประกอบของสีทาสีที่มีส่วนผสมที่เตรียมแบบอัดเม็ดตามตาราง 1 และ ตาราง 2 โดยปริมาณของ P, Fe และ Zn ในสารตัวอย่างสีทาสีที่มีส่วนผสมที่เตรียมแบบอัดเม็ดมีค่าต่ำกว่าในแผ่นเหล็กชุบสังกะสี แต่ที่ยังนำแผ่นเหล็กชุบสังกะสีมาใช้เป็นแผ่นรองรับเพราะเห็นว่าน่าจะนำมาใช้ในการศึกษาการเกิดการกระเจิงของคอมป์ตันต่ำกว่าแผ่นอะคริลิกที่ประกอบด้วยธาตุเบา โดยเตรียมสารตัวอย่างแบบปาดบนแผ่นรองรับให้มีความหนาแน่นเพื่อไม่ให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มาจากแผ่นรองรับ แต่จากการทดลองพบว่าความหนาของฟิล์มที่เตรียมยังมีความหนาไม่ถึงความหนาแน่น แต่ก็เป็นฟิล์มที่มีความหนาตามที่กล่าวข้างต้น

3. ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทาสีที่มีส่วนผสมที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกแสดงดังตาราง 6 จะเห็นได้ว่ามีค่าค่อนข้างเที่ยงตรงโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกิน 3% ยกเว้นธาตุ P และ S ที่มีปริมาณน้อยกว่า 1% และเมื่อนำมาทำเป็นฟิล์มหนาปริมาณสารตัวอย่างน้อยกว่าชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบอัดเม็ดทำให้การวิเคราะห์ยากขึ้น จึงมีการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูง และได้แสดงสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์จากชิ้นตัวอย่างแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกดังภาพประกอบ 14 สำหรับผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแสดงดังตาราง 8 จะเห็นว่าธาตุ Fe, P และ Zn มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูง เนื่องจากได้รับผลของแผ่นรองรับที่มีธาตุดังกล่าวเป็นองค์ประกอบ และได้แสดงสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์จากชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีดังภาพประกอบ 15

ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกและแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี แสดงดังตาราง 7 และตาราง 9 ตามลำดับ พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูงกว่า 3% แสดงให้เห็นถึงความไม่น่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในชิ้นตัวอย่างแบบฟิล์มหนาและในชิ้นตัวอย่างแบบอัดเม็ดซึ่งพบว่ามีค่าความเที่ยงตรงของการวิเคราะห์ต่ำ เนื่องจากปริมาณของธาตุที่น้อยมากในระดับ ppm ทำให้การวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวจากธาตุเหล่านี้มีค่าต่ำซึ่งมีโอกาสวิเคราะห์ผิดพลาดได้มากกว่าพวกธาตุหลักและธาตุรอง และพบว่าการกระเจิงของคอมป์ตันมีผลต่อการวิเคราะห์ด้วย ซึ่งพิจารณาได้จากสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์จากชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกใน

ภาพประกอบ 14 พบว่าเกิดการกระเจิงของคอมปีตันสูง เนื่องจากแผ่นอะคริลิกมีธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอนเป็นธาตุหลัก

4. การเปรียบเทียบความถูกต้องแม่นยำของผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลัก ธาตุรอง และธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทาทิมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก เทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบอัดเม็ด แสดงดังตาราง 10 และตาราง 11 จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ของธาตุ Mg, P, S และ Ti มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่า 15% เนื่องจากธาตุเหล่านี้มีปริมาณน้อยกว่า 1% จึงทำให้ค่าความเที่ยงตรงของการวิเคราะห์ค่อนข้างไม่ดีและเมื่อนำมาทำเป็นฟิล์มหนาปริมาณสารตัวอย่างในชิ้นตัวอย่างแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกมีน้อยกว่าชิ้นตัวอย่างแบบอัดเม็ด สำหรับผลการวิเคราะห์ของธาตุปริมาณน้อยๆ มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่า และเมื่อพิจารณาสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์จากชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกในภาพประกอบ 14 ประกอบด้วย จะเห็นได้ว่าชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกมีการกระเจิงของคอมปีตันสูงที่ระดับพลังงานสูง ซึ่งการกระเจิงของคอมปีตันที่สูงนี้ทำให้เส้นรังสีเอกซ์ของธาตุที่อยู่บริเวณนั้นวิเคราะห์ได้ยาก จะเห็นได้ว่าไม่เห็นพีคของเส้นรังสีเอกซ์ของธาตุปรอท ซึ่งมีปริมาณน้อยในสารตัวอย่าง จึงไม่สามารถวิเคราะห์ออกมาได้ นอกจากนี้การกระเจิงของคอมปีตันที่สูงยังทำให้การวิเคราะห์ปริมาณธาตุ Zr, Y, Sr, Rb, Zn, Cu และธาตุปริมาณน้อยๆ อื่นๆ ได้ผลผิดพลาดต่างจากผลการวัดในชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบอัดเม็ด

สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องแม่นยำของผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลัก ธาตุรอง และธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทาทิมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีเทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบอัดเม็ด แสดงดังตาราง 10 และตาราง 11 จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยกว่า 1% มีความคลาดเคลื่อนสูงมากสำหรับในชิ้นตัวอย่างแบบฟิล์มหนา เนื่องจากปริมาณที่น้อยมากในระดับ ppm ทำให้การวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวจากธาตุเหล่านี้มีค่าต่ำซึ่งมีโอกาสวิเคราะห์ผิดพลาดได้มากกว่าพวกธาตุหลักและธาตุรอง เมื่อพิจารณาสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ในชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีในภาพประกอบ 15 ประกอบด้วย จะเห็นได้ว่าที่ระดับพลังงานสูงชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีเกิดการกระเจิงของคอมปีตันต่ำกว่าของชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก แต่ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีพบว่าปริมาณธาตุสังกะสีที่วิเคราะห์ได้มาจากแผ่นรองรับด้วยแสดงว่าฟิล์มหนาไม่ถึงความหนาแน่น จึงทำให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์ทุติยภูมิออกมาจากวัสดุรองรับ สอดคล้องกับงานปริญาณีพนธ์ของครรชิต กำลั๊งกล้า ที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อฟิล์มมีความหนาแน่นความเข้มของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากฟิล์มมีค่าคงที่ และจะวัดความเข้มของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากแผ่นรองรับไม่ได้ แต่เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ในชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกจะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ของธาตุ Zn ในชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบน

แผ่นเหล็กชุบสังกะสีมีค่าประมาณ 5% น่าจะส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักหรือธาตุรองของสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ผลเป็นร้อยละ

5. ผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองของชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบโรยผงในหัวข้อ 3.3 จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRF แสดงดังตาราง 12 จะเห็นได้ว่าจะมีความเที่ยงตรงค่อนข้างต่ำโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูงกว่า 3% ในทำนองเดียวกันผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ แสดงดังตาราง 13 พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูงกว่า 3% และแสดงสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์จากสารตัวอย่างสีทาคอิมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบโรยผงดังภาพประกอบ 16 สำหรับค่าความถูกต้องแม่นยำของปริมาณธาตุในชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบโรยผงแสดงดังตาราง 14 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูงซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นไม่สอดคล้องกับค่าอ้างอิงและชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบฟิล์มหนาทั้ง 2 แบบ ทั้งนี้การเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบนี้มีความยุ่งยากมากในการควบคุมความหนา มวลสาร ความเรียบของผิวหน้าและชนิดของฟิล์ม และในการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบโรยผงนั้นถ้าสารตัวอย่างบางเกินไปปริมาณสารตัวอย่างน้อยมากก็ทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังต้องป้องกันการหลุดร่วงของสารจำเป็นต้องมีการหุ้มด้วยฟิล์มไมลาร์ ซึ่งฟิล์มชนิดนี้ทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ที่วาวจากธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่างลดลงเนื่องจากผลของการดูดกลืนรังสีเอกซ์ของฟิล์ม ดังจะเห็นได้จากภาพประกอบ 17 พบว่าความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้จากการวาวของธาตุ Mg, Al และ Si ในชิ้นตัวอย่างแบบโรยผงมีค่าต่ำกว่าชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบอื่น

สำหรับค่าความถูกต้องแม่นยำของผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในตาราง 15 ปรากฏว่าผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบโรยผงมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าแบบฟิล์มหนาทั้ง 2 กรณีข้างต้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยๆ ได้รับผลกระทบของเมทริกซ์น้อยกว่าพวกธาตุหลักและธาตุรอง ซึ่งมีสารตัวอย่างมากกว่าชิ้นตัวอย่างแบบฟิล์มหนา จึงให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีมีความคลาดเคลื่อนต่ำ

ตาราง 1 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทากิมีลชันสีแดง ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และธาตุปริมาณน้อยๆ ในตาราง 2 รวมกันเป็น 100%

ชนิด	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)			ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)*	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
Si	15.4	15.8	15.6	15.6 \pm 0.2	1.3
Ca	14.0	14.1	13.9	14.0 \pm 0.1	0.7
Al	3.36	3.39	3.40	3.38 \pm 0.02	0.6
K	1.75	1.76	1.76	1.76 \pm 0.01	0.6
Mg	0.504	0.507	0.496	0.502 \pm 0.006	1.2
Fe	0.477	0.493	0.493	0.487 \pm 0.010	2.1
P	0.270	0.276	0.278	0.274 \pm 0.004	1.5
S	0.156	0.155	0.156	0.156 \pm 0.001	0.6
Ti	0.137	0.136	0.140	0.137 \pm 0.003	2.2

* ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงเป็นผลต่างมากที่สุดจากค่าเฉลี่ย

RSD คือ Relative Standard Deviation

ตาราง 2 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทาทอมัลชั้นสี
แดงที่เตรียมแบบอัดเม็ด 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS

ชนิด	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ppm)			ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
Zr	109.0	109.0	109.0	109.0 \pm 0.0	0.0
Rb	97.1	96.1	94.2	95.8 \pm 1.6	1.7
Hg	107.0	91.2	85.6	94.6 \pm 12.4	13.1
Cr	61.0	71.8	98.1	77.0 \pm 21.1	27.4
Sr	66.7	66.4	65.3	66.1 \pm 0.8	1.2
Mn	68.8	59.9	68.5	65.7 \pm 5.8	8.8
Cu	35.8	30.7	36.3	34.3 \pm 3.6	10.5
Y	29.9	27.8	33.1	30.3 \pm 2.8	9.2
Zn	20.4	20.1	20.4	20.3 \pm 0.2	1.0

ตาราง 3 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในแผ่นรองรับอะคริลิก 1 ชั้น ตัวอย่างด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีธาตุหลักของอะคริลิก คือ ธาตุ ไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน ถึง 99.9%

ชนิด	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ppm)
As	159.0
Er	92.7
Cu	72.6
Hf	70.0
Pd	64.3
Ru	49.7

ตาราง 4 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในแผ่นรองรับที่เป็นแผ่นเหล็ก ชุบสังกะสี 1 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือ เป็นปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในตาราง 5 และปริมาณไฮโดรคาร์บอนรวมกันเป็น 100 %

ชนิด	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)
Zn	68.1
Fe	5.51
Al	0.891
P	0.486

ตาราง 5 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในแผ่นรองรับที่เป็นแผ่นเหล็ก
 ชุบสังกะสี 1 ชิ้นตัวอย่างด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS

ชนิด	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ppm)
Cr	517.0
Si	344.0
Ta	267.0
Gd	251.0
K	221.0
Yb	188.0
Mn	163.0
Ga	166.0
Cu	117.0
Co	79.6
S	74.0
Ni	51.8

ตาราง 6 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และธาตุปริมาณน้อยๆ ในตาราง 7 รวมกันเป็น 100%

ชนิด	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)			ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
Si	14.5	14.5	14.6	14.5 \pm 0.1	0.7
Ca	13.1	13.0	13.0	13.0 \pm 0.1	0.8
Al	2.88	2.87	2.90	2.88 \pm 0.02	0.7
K	1.66	1.65	1.66	1.66 \pm 0.01	0.6
Mg	0.365	0.384	0.370	0.373 \pm 0.011	2.9
Fe	0.418	0.416	0.414	0.416 \pm 0.002	0.5
P	0.201	0.216	0.208	0.208 \pm 0.008	3.8
S	0.078	0.114	0.085	0.092 \pm 0.022	23.9
Ti	0.072	0.072	0.074	0.073 \pm 0.001	1.4

หมายเหตุ

มวลของสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงในชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 เป็น 0.706 กรัม 0.732 กรัม และ 0.737 กรัม ตามลำดับ

ความหนาของสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงในชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 เป็น 0.039, 0.040 และ 0.041 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ชั้นตัวอย่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.80 เซนติเมตร

ตาราง 7 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทากิอัลชันสี
แดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก 3 ชั้นตัวอย่างด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด
WDXRFS

ชนิด	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ppm)			ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
Zr	48.0	74.6	58.6	60.4 \pm 14.2	23.5
Rb	111.0	152.0	122.0	128.3 \pm 23.7	18.4
Cr	46.3	48.6	49.1	48.0 \pm 1.7	3.5
Sr	87.4	120.0	94.4	100.6 \pm 19.4	19.3
Mn	173.0	158.0	159.0	163.3 \pm 9.7	5.9
Cu	38.8	34.2	38.7	37.2 \pm 3.0	8.1
Zn	35.3	36.1	26.2	32.5 \pm 6.3	19.4

ตาราง 8 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทากอิมัลชันสีแดง ที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRF โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และธาตุปริมาณน้อยๆ ในตาราง 9 รวมกันเป็น 100%

ชนิด	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)			ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
Si	16.7	16.5	16.3	16.5 \pm 0.2	1.2
Ca	15.8	15.7	15.1	15.5 \pm 0.4	2.6
Al	3.34	3.33	3.23	3.30 \pm 0.07	2.1
K	1.98	1.94	1.89	1.94 \pm 0.05	2.6
Mg	0.444	0.432	0.428	0.435 \pm 0.009	2.1
Fe	0.581	0.542	0.548	0.557 \pm 0.024	4.3
P	0.211	0.236	0.216	0.221 \pm 0.015	6.7
S	0.092	0.091	0.098	0.094 \pm 0.004	4.3
Ti	0.091	0.087	0.085	0.087 \pm 0.003	3.4
Zn	5.41	5.04	4.28	4.91 \pm 0.63	12.8

หมายเหตุ

มวลของสารตัวอย่างสีทากอิมัลชันสีแดงในชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 เป็น 0.738 กรัม 0.706 กรัม และ 0.722 กรัม ตามลำดับ

ความหนาของสารตัวอย่างสีทากอิมัลชันสีแดงในชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และ ชั้นที่ 3 เป็น 0.041, 0.039 และ 0.040 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ชั้นตัวอย่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.80 เซนติเมตร

ตาราง 9 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสี
แดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ใน
เครื่องวัด WDXRFS

ชนิด	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ppm)			ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยง เบนมาตรฐาน (ppm)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
Zr	41.4	46.8	35.8	41.3 \pm 5.5	13.3
Rb	129.0	130.0	121.0	126.7 \pm 5.7	4.5
Cr	52.5	50.5	45.7	49.6 \pm 2.9	5.8
Sr	84.3	82.0	72.4	79.6 \pm 7.2	9.0
Mn	202.0	182.0	194.0	192.7 \pm 10.7	5.5
Cu	57.6	52.6	55.4	55.2 \pm 2.6	4.7
Y	26.5	33.8	29.6	30.0 \pm 3.8	12.7

ตาราง 10 เปรียบเทียบผลถาวรวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทออีพ็อกซีที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกในตาราง 6 และแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีในตาราง 8 เทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ระดับตัวอย่างแบบอัตโนมัติในตาราง 1

ชนิด	แบบอัตโนมัติ		แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก		ค่าความคลาดเคลื่อน (%)		แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี		ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	เบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	เบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	เบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	เบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	
Si	15.6 ± 0.2	14.5 ± 0.1	7.1	16.5 ± 0.2	7.1	5.8			
Ca	14.0 ± 0.1	13.0 ± 0.1	7.1	15.5 ± 0.4	7.1	10.7			
Al	3.38 ± 0.02	2.88 ± 0.02	14.8	3.30 ± 0.07	14.8	2.4			
K	1.76 ± 0.01	1.66 ± 0.01	5.7	1.94 ± 0.05	5.7	10.2			
Mg	0.502 ± 0.006	0.373 ± 0.011	25.7	0.435 ± 0.009	25.7	13.3			
Fe	0.487 ± 0.010	0.416 ± 0.002	14.6	0.557 ± 0.024	14.6	14.4			
P	0.274 ± 0.004	0.208 ± 0.008	24.1	0.221 ± 0.015	24.1	19.3			
S	0.156 ± 0.001	0.092 ± 0.022	41.0	0.094 ± 0.004	41.0	40.0			
Ti	0.137 ± 0.003	0.072 ± 0.001	47.4	0.087 ± 0.003	47.4	36.5			

ตาราง 11 เปรียบเทียบผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีหาอิมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกในตาราง 7 และแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีในตาราง 9 เทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ตัวอย่างแบบอัตโนมัติในตาราง 2

ชนิด	แบบอัตโนมัติ		แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก		แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี		ค่าความคลาด	
	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	
Zr	109.0 ± 0.0	60.4 ± 14.2	44.6	41.3 ± 5.5	62.1			
Rb	95.8 ± 1.6	128.3 ± 23.7	33.9	126.7 ± 5.7	24.4			
Hg	94.6 ± 12.4	_*	_*	_*	_*			
Cr	77.0 ± 21.1	48.0 ± 1.7	37.6	49.6 ± 2.9	35.6			
Sr	66.1 ± 0.8	100.6 ± 19.4	52.2	79.6 ± 7.2	20.4			
Mn	65.7 ± 5.8	163.3 ± 9.7	59.8	192.7 ± 10.7	65.9			
Cu	34.3 ± 3.6	37.2 ± 3.0	8.5	55.2 ± 2.6	60.9			
Y	30.3 ± 2.8	_*	_*	30.0 ± 3.8	1.0			
Zn	20.3 ± 0.2	32.5 ± 6.3	60.1	4.91 ± 0.63(%)	_**			

* ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุนี้ในตัวอย่างนี้

** Zn มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงมาก เนื่องจากผลการวิเคราะห์ที่ได้ไม่เป็นส่วนที่มาจากแผ่นรองรับของแผ่นเหล็กชุบสังกะสี

ตาราง 12 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบโรยผง 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และธาตุปริมาณน้อยๆ ในตาราง 13 รวมกันเป็น 100%

ชนิด	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)			ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
Si	11.4	9.78	9.98	10.4 \pm 1.0	9.6
Ca	11.9	10.6	10.8	11.1 \pm 0.8	7.2
Al	2.33	2.05	2.17	2.18 \pm 0.15	6.9
K	1.38	1.30	1.33	1.34 \pm 0.04	3.0
Mg	0.366	0.337	0.350	0.351 \pm 0.015	4.3
Fe	0.436	0.405	0.409	0.417 \pm 0.019	4.6
P	0.192	0.167	0.164	0.174 \pm 0.018	10.3
S	0.108	0.097	0.099	0.102 \pm 0.006	5.9
Ti	0.111	0.101	0.108	0.107 \pm 0.006	5.6

หมายเหตุ

มวลของสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงในชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 เป็น 1.711 กรัม 1.702 กรัม และ 1.759 กรัม ตามลำดับ
 ความหนาของสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงในชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 เป็น 0.136, 0.135 และ 0.140 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (โดยเฉลี่ยหนาประมาณ 0.137 กรัมต่อตารางเซนติเมตร)

ชั้นตัวอย่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.00 เซนติเมตร

ตาราง 13 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทาสีผสมชั้น
สีแดงที่เตรียมแบบโรยผง 3 ชั้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS

ชนิด	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ppm)			ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
Zr	159.0	120.0	138.0	139.0 \pm 20.0	14.3
Rb	86.2	85.8	90.3	87.4 \pm 2.9	3.3
Cr	190.0	179.0	146.0	171.7 \pm 25.7	15.0
Sr	63.4	62.1	61.1	62.2 \pm 1.2	1.9
Mn	68.5	65.3	58.7	64.2 \pm 5.5	8.6
Cu	31.2	26.3	24.9	27.5 \pm 3.7	13.5
Y	28.8	33.6	21.5	28.0 \pm 6.5	23.2
Zn	21.2	18.4	19.7	19.8 \pm 1.4	7.07

ตาราง 14 เปรียบเทียบผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองในสารตัวอย่างสีทาสีที่มีลักษณะที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีในตาราง 10 และแบบโรยผงในตาราง 12 เทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ตัวอย่างแบบอัดเม็ดในตาราง 1

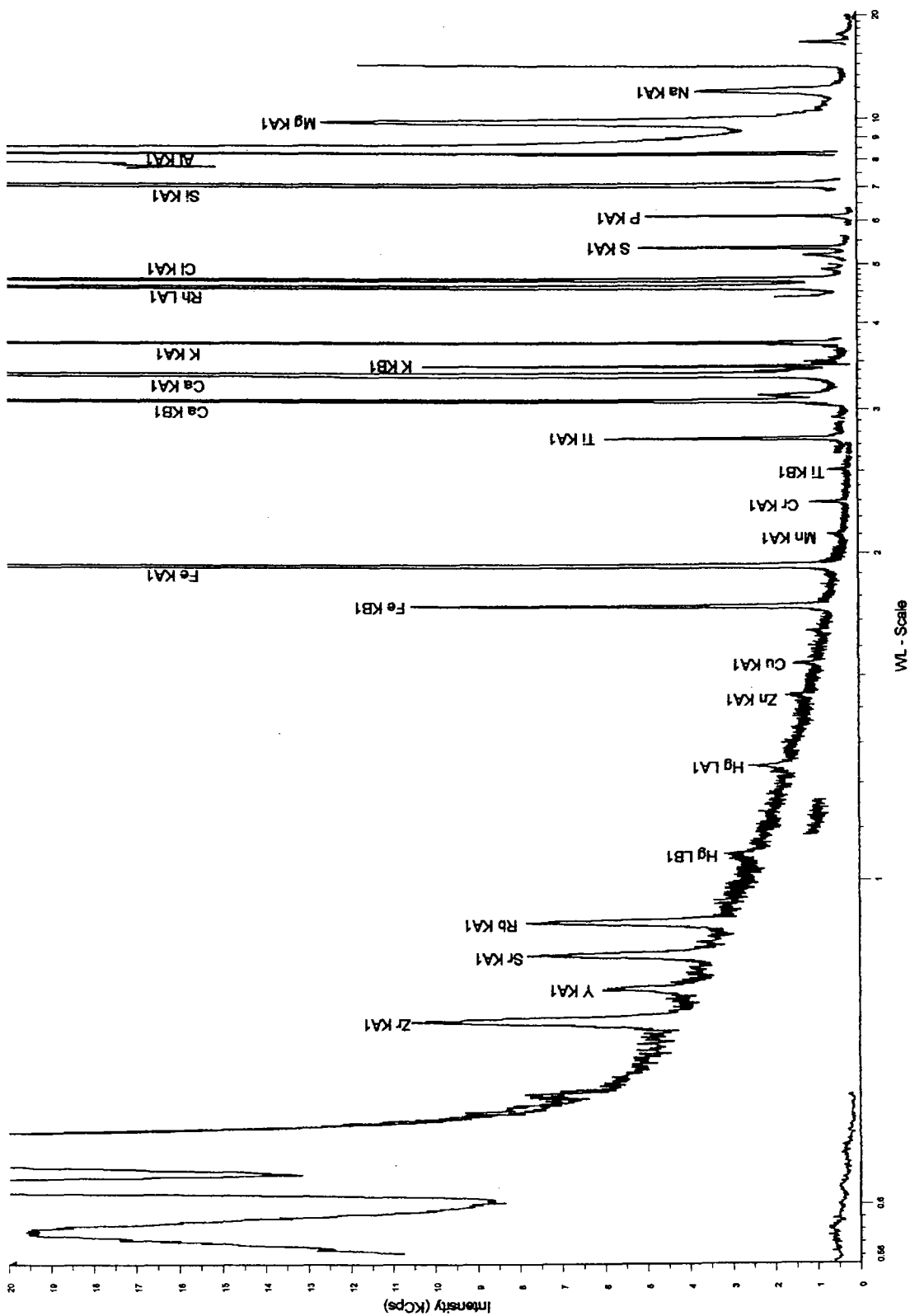
ชนิด	แบบอัดเม็ด		แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก		แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี		แบบโรยผง	
	ปริมาณเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
Si	15.6 \pm 0.2	14.5 \pm 0.1	7.1	7.1	16.5 \pm 0.2	5.8	10.4 \pm 1.0	33.3
Ca	14.0 \pm 0.1	13.0 \pm 0.1	7.1	7.1	15.5 \pm 0.4	10.7	11.1 \pm 0.8	20.7
Al	3.38 \pm 0.02	2.88 \pm 0.02	14.8	14.8	3.30 \pm 0.07	2.4	2.18 \pm 0.15	35.5
K	1.76 \pm 0.01	1.66 \pm 0.01	5.7	5.7	1.94 \pm 0.05	10.2	1.34 \pm 0.04	23.9
Mg	0.502 \pm 0.006	0.373 \pm 0.011	25.7	25.7	0.435 \pm 0.009	13.3	0.351 \pm 0.015	30.1
Fe	0.487 \pm 0.010	0.416 \pm 0.002	14.6	14.6	0.557 \pm 0.024	14.4	0.417 \pm 0.019	14.4
P	0.274 \pm 0.004	0.208 \pm 0.008	24.1	24.1	0.221 \pm 0.015	19.3	0.174 \pm 0.018	36.5
S	0.156 \pm 0.001	0.092 \pm 0.022	41.0	41.0	0.094 \pm 0.004	40.0	0.102 \pm 0.006	34.6
Ti	0.137 \pm 0.003	0.072 \pm 0.001	47.4	47.4	0.087 \pm 0.003	36.5	0.107 \pm 0.006	21.9

ตาราง 15 เปรียบเทียบผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทออีพ็อกซีที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีในตาราง 11 และแบบโรยผงในตาราง 13 เทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ด้วยวิธีแบบอัตโนมัติในตาราง 2

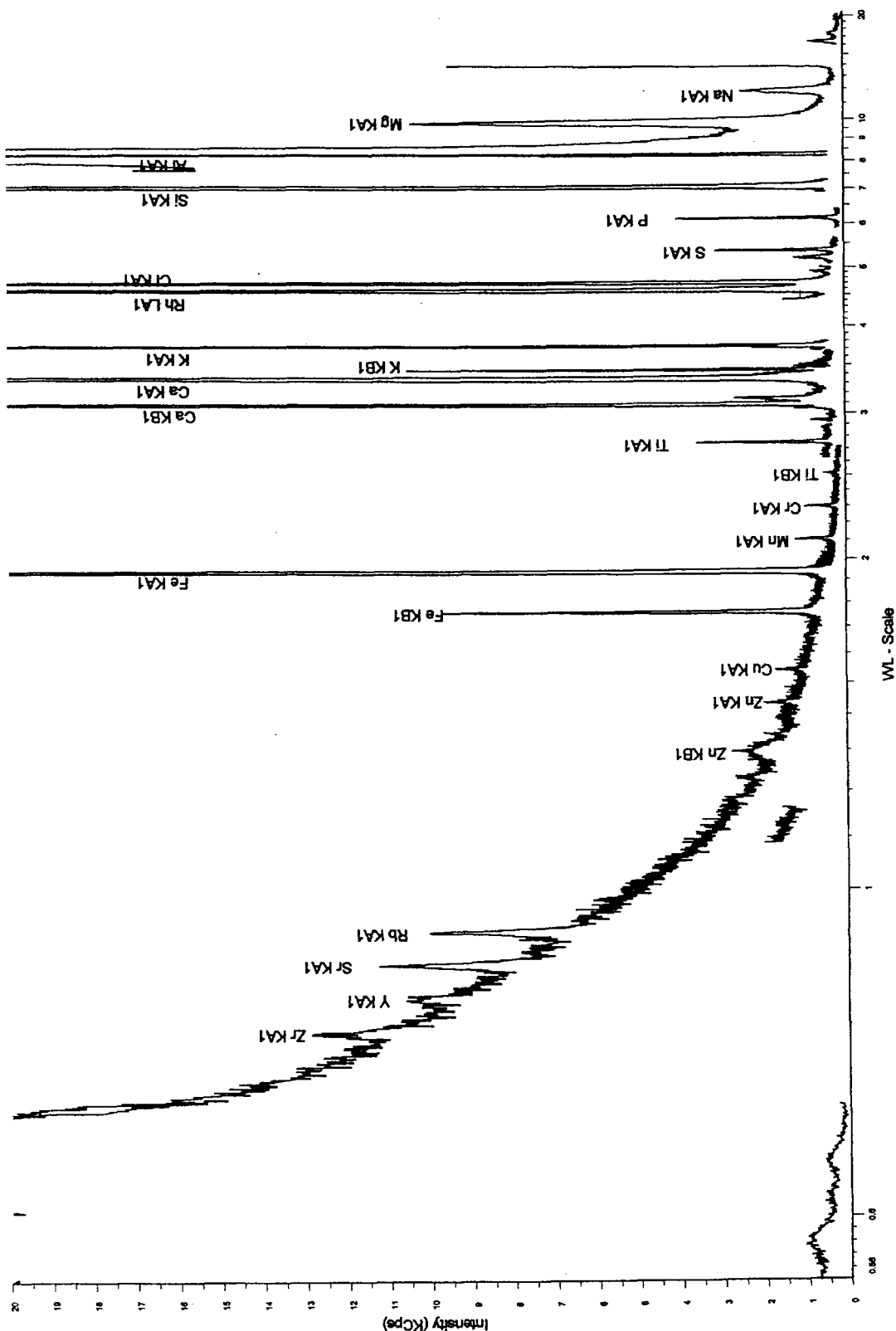
ชนิด	แบบอัตโนมัติ		แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก		แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี		แบบโรยผง	
	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(ppm)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ppm)	ปริมาณเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
Zr	109.0 ± 0.0	60.4 ± 14.2	44.6	44.6	41.3 ± 5.5	62.1	139.0 ± 20.0	27.5
Rb	95.8 ± 1.6	128.3 ± 23.7	33.9	33.9	126.7 ± 5.7	24.4	87.4 ± 2.9	8.7
Hg	94.6 ± 12.4	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*
Cr	77.0 ± 21.1	48.0 ± 1.7	37.6	37.6	49.6 ± 2.9	35.6	171.7 ± 25.7	55.1
Sr	66.1 ± 0.8	100.6 ± 19.4	52.2	52.2	79.6 ± 7.2	20.4	62.2 ± 1.2	5.9
Mn	65.7 ± 5.8	163.3 ± 9.7	59.8	59.8	192.7 ± 10.7	65.9	64.2 ± 5.5	2.3
Cu	34.3 ± 3.6	37.2 ± 3.0	8.5	8.5	55.2 ± 2.6	60.9	27.5 ± 3.7	19.8
Y	30.3 ± 2.8	-*	-*	-*	30.0 ± 3.8	1.0	28.0 ± 6.5	7.6
Zn	20.3 ± 0.2	32.5 ± 6.3	60.1	60.1	4.91 ± 0.63(%)	-**	19.8 ± 1.4	2.5

* ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุนี้ในชิ้นตัวอย่างนี้

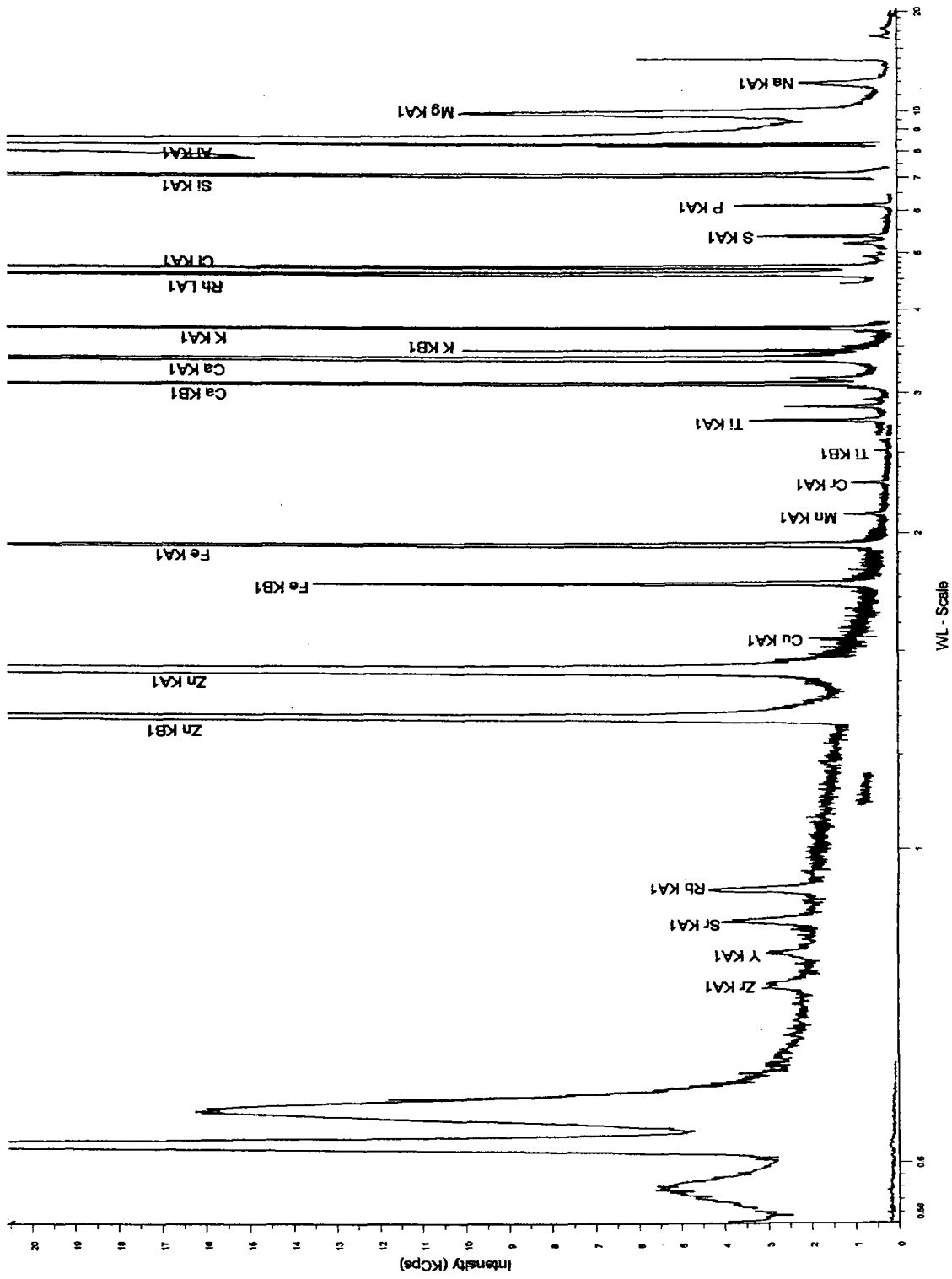
** Zn มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงมาก เนื่องจากผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นเป็นส่วนที่มาจากแผ่นรองรับสังกะสี



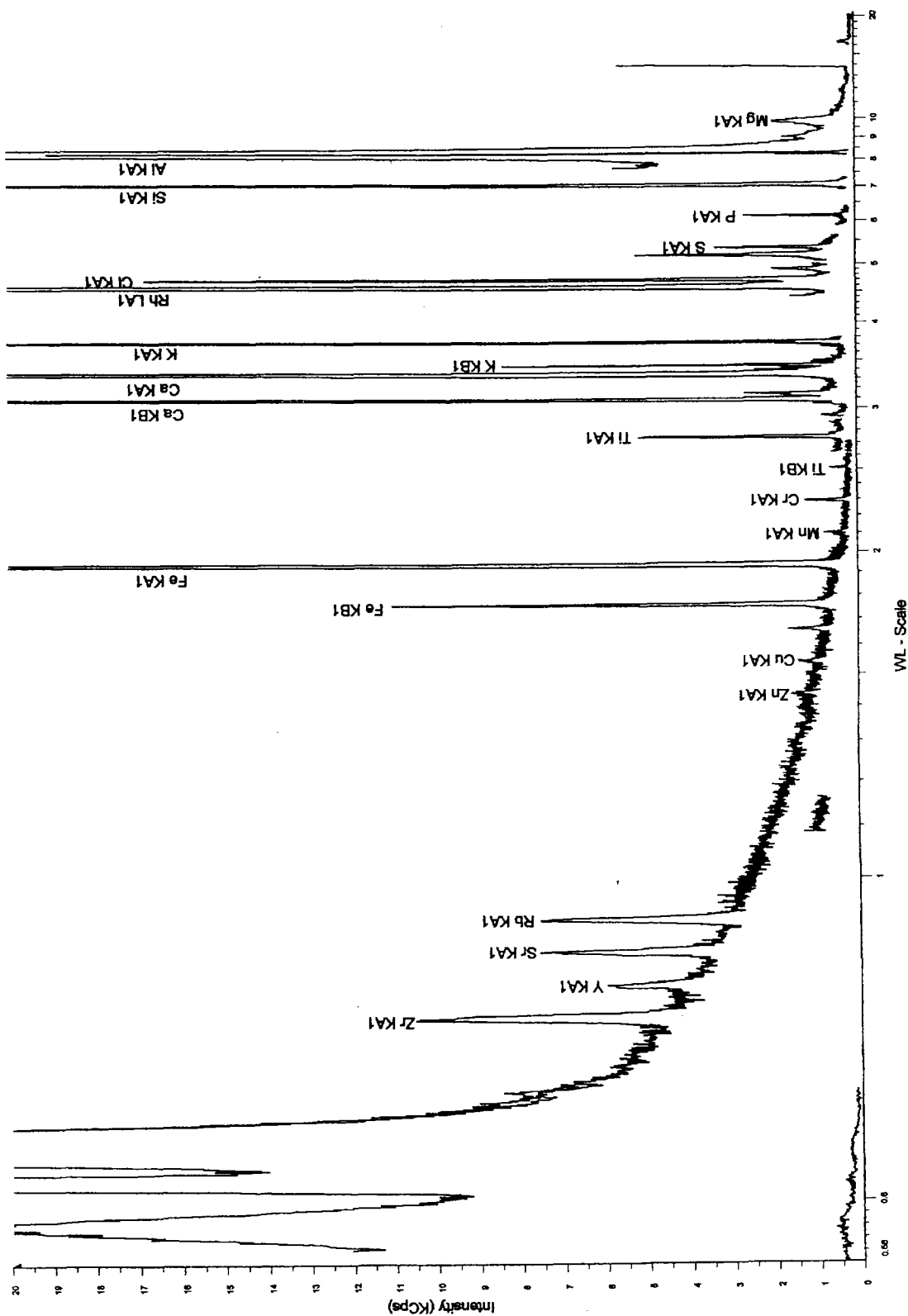
ภาพประกอบ 13 สเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากสารตัวอย่างสีทาลัมลินสีแดงที่เตรียมแบบอัดเม็ด



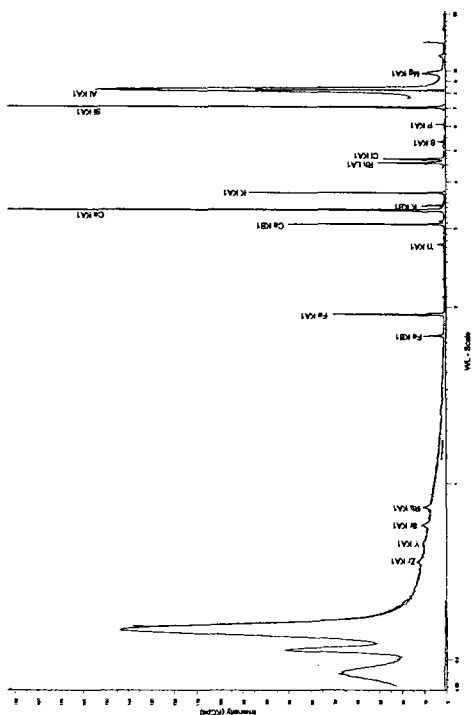
ภาพประกอบ 14 สเปกตรัมของการวางรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วางจากสารตัวอย่างที่อิมัลชันสีแดงที่เตรียมแบบแผ่นอะคริลิก



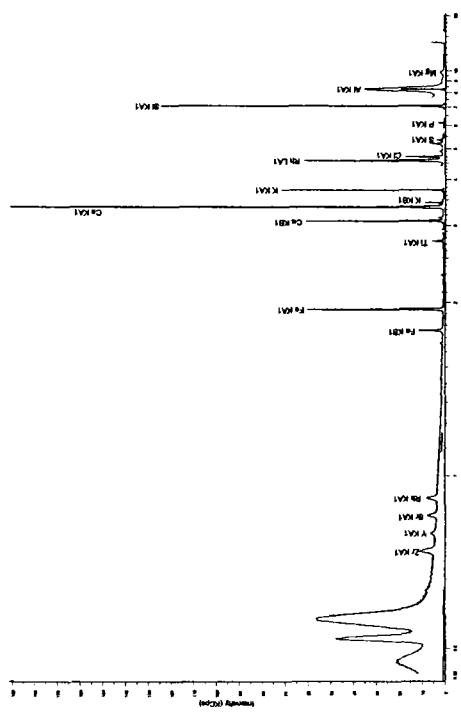
ภาพประกอบ 15 สเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วากจากสารตัวอย่างสีทาสีที่มีเม็ดสีแดงที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กขบสังกะสี



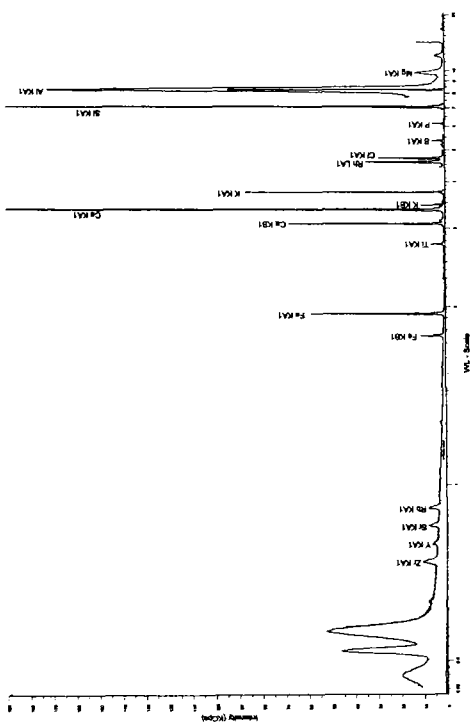
ภาพประกอบ 16 สเปกตรัมของการวาร์รังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาทจากตัวอย่างสีหามัลชันสีแดงที่เตรียมแบบโรยผง



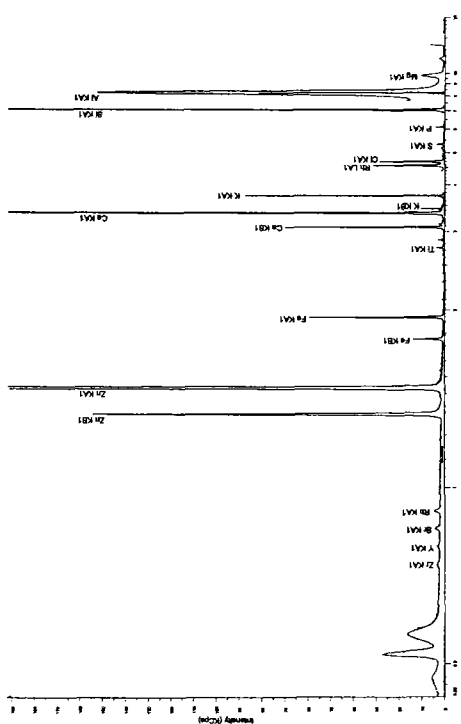
(ii)



(iv)



(i)



(iii)

ภาพประกอบ 17 สเปกตรัมของการวิเคราะห์รังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเอกซ์ที่ได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วางจากสารตัวอย่างสีทาสีสีแดง (i) เตรียมแบบอัดเม็ด (ii) แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก (iii) แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี และ (iv) แบบโรยผง

บทที่ 5

สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงที่เตรียมขึ้นตัวอย่างด้วยวิธีต่างๆ กัน คือ แบบอัดเม็ด แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี และแบบโรยผง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS ทำให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับการวิเคราะห์ดังนี้

1. ขึ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบอัดเม็ดให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองมีความน่าเชื่อถือสูงกว่าขึ้นตัวอย่างแบบอื่น โดยมีความเที่ยงตรงในการวิเคราะห์สูงซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 3% ดังนั้นสารตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นของแข็งและมีปริมาณมากพอสามารถเตรียมขึ้นตัวอย่างแบบอัดเม็ด ซึ่งเตรียมได้สะดวกและรวดเร็ว สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยๆ ในขึ้นตัวอย่างทั้ง 4 แบบ ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความน่าเชื่อถือน้อยกว่าโดยมีความเที่ยงตรงของการวิเคราะห์ต่ำเนื่องจากปริมาณที่น้อยมากในระดับ ppm ทำให้การวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วาวจากธาตุเหล่านี้มีค่าต่ำ

2. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุของขึ้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีพบว่าผลการวิเคราะห์ของธาตุ Zn และธาตุ Fe ที่ได้นั้นมีผลมาจากธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กที่เป็นองค์ประกอบในแผ่นเหล็กชุบสังกะสี เนื่องจากในการเตรียมขึ้นตัวอย่างฟิล์มมีความหนาไม่ถึงความหนานันต์จึงทำให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์ทุติยภูมิมาจากแผ่นรองรับ ซึ่งไปกระทบต่อผลการวิเคราะห์ธาตุหลักและธาตุรองของสารตัวอย่างที่วิเคราะห์

3. สารตัวอย่างสีทาทอมัลชันสีแดงที่ทำกรวิเคราะห์พบว่ามิใช่ธาตุประกอบเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นธาตุหนักที่มีอันตรายต่อร่างกาย แต่จากผลการวิเคราะห์พบปรอทในปริมาณน้อย ในขณะที่เดียวกันก็พบธาตุหนักชนิดอื่นด้วย ได้แก่ Zr, Cr, Mn, Cu และ Zn ซึ่งธาตุหนักเหล่านี้พบในระดับ ppm เท่านั้น

4. ขึ้นตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมแบบโรยผงให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลักและธาตุรองมีค่าความถูกต้องแม่นยำต่ำ เนื่องจากขึ้นตัวอย่างต้องหุ้มด้วยฟิล์มไมลาร์ ซึ่งฟิล์มชนิดนี้ทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ที่วาวจากธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่างลดลงเนื่องจากผลของการดูดกลืนรังสีเอกซ์ของฟิล์ม จึงส่งผลให้การวัดความเข้มรังสีเอกซ์ไม่ถูกต้อง ดังนั้นการเตรียมขึ้นตัวอย่างแบบโรยผงนับว่าไม่น่าสนใจ แต่ถ้าจะวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพและมีปริมาณสารตัวอย่างน้อยก็อาจทำได้วิธีนี้ได้

อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลัก ธาตุรองและธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทาสีแดงที่เตรียมขึ้นตัวอย่างแบบอัดเม็ด แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีและแบบโรยผง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยสามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากผลการทดลองแบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากการเตรียมขึ้นตัวอย่างพบว่าฟิล์มหนาไม่ถึงความหนาอันดีจึงทำให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์จากธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กในแผ่นเหล็กชุบสังกะสีจึงทำให้ปริมาณธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กที่วิเคราะห์ได้ส่งผลกระทบต่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุชนิดอื่น แต่จากการทดลองไม่สามารถเตรียมฟิล์มให้มีความหนาอันดีได้เนื่องจากเมื่อฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้นจะทำให้ผิวหน้าของฟิล์มแตก

2. จากผลการทดลองในชั้นตัวอย่างที่เตรียมแบบปาดบนแผ่นอะคริลิกพบว่าเกิดการกระเจิงของคอมป์ตันสูง เนื่องจากแผ่นอะคริลิกมีองค์ประกอบของธาตุเบา ซึ่งการกระเจิงของคอมป์ตันที่มีค่าสูงจะทำให้ไม่เห็นพีคของเส้นรังสีเอกซ์ของธาตุปรอทและทำให้การวิเคราะห์ปริมาณธาตุ Zr, Y, Sr, Rb, Zn, Cu และธาตุปริมาณน้อยๆ ชนิดอื่นได้ผลผิดพลาด

3. ถ้าสารตัวอย่างมีปริมาณน้อยไม่พอสำหรับเตรียมแบบอัดเม็ดและไม่สามารถนำมาเตรียมเป็นฟิล์มได้ ถ้าต้องการผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีความแม่นยำไม่สูงมากนัก เพียงต้องการวิเคราะห์เชิงคุณภาพก็อาจจะใช้เทคนิคแบบโรยผงได้

4. ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในชั้นตัวอย่างแบบปาดบนแผ่นอะคริลิก แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี และแบบโรยผง ขึ้นอยู่กับการกระเจิงแบบคอมป์ตัน ความหนาของสารตัวอย่าง ฟิล์มไมลาร์ และผลจากการใช้ค่าอ้างอิงที่ได้จากการเตรียมขึ้นตัวอย่างแบบอัดเม็ด เนื่องจากการวิเคราะห์ขึ้นตัวอย่างแบบอัดเม็ดจะได้รับผลกระทบของเมทริกซ์และในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Semiquant ที่ใช้ในการวัดและวิเคราะห์ ไม่มีการแก้ไขผลกระทบของเมทริกซ์ จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ของธาตุหลักและธาตุรองอาจไม่ถูกต้องแม่นยำมากนักส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อน

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลัก ธาตุรองและธาตุปริมาณน้อยๆ ในสารตัวอย่างสีทาสีแดงที่เตรียมแบบอัดเม็ด แบบปาดบนแผ่นอะคริลิก แบบปาดบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีและแบบโรยผง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ชนิดกระจายความยาวคลื่น มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ในการเตรียมสารตัวอย่างต้องอาศัยความระมัดระวังในเรื่องการปนเปื้อน การบดสารตัวอย่าง และความเรียบของผิวหน้าของสารตัวอย่าง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะทำให้ผลของเมทริกซ์ในสารตัวอย่างแตกต่างกันและส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของผลการวิเคราะห์

2. ไม่ควรนำฟิล์มไมลาร์ โพลีคาร์บอเนต โพลีพรอพิลีนและโพรลีนมาใช้สำหรับหุ้มสารตัวอย่างที่เป็นผงละเอียด เนื่องจากฟิล์มเหล่านี้ทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ลดลงสาเหตุมาจากผลของการดูดกลืนของฟิล์มบาง แต่ถ้ามีความจำเป็นต้องใช้ควรเลือกฟิล์มชนิดโพลีคาร์บอเนตเพราะสามารถดูดกลืนรังสีเอกซ์ไว้ได้น้อยที่สุดที่ความหนาเท่ากันเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มชนิดอื่น

3. ในการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบปาดควรเลือกแผ่นรองรับที่มีองค์ประกอบของธาตุหนักซึ่งเป็นธาตุต่างชนิดกันกับสารตัวอย่างที่ใช้ และต้องเตรียมชิ้นตัวอย่างให้ฟิล์มมีความหนาอ่อนดเพื่อไม่ทำให้เกิดการรบกวนรังสีเอกซ์ทุติยภูมิออกมาจากวัสดุรองรับ

4. ในการวิเคราะห์เชิงกึ่งปริมาณต้องพิจารณาสเปกตรัมของการรบกวนรังสีเอกซ์ที่วัดได้ประกอบด้วยเพื่อดูว่ามีการแทรกสอดของธาตุชนิดอื่นหรือไม่ ถ้าไม่มีการแทรกสอดของธาตุชนิดอื่นจะได้เส้นรังสีเอกซ์ที่มีพีคชัดเจนซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- คงศักดิ์ ตั้งพูนผลวิวัฒน์. (2528). การตรวจสอบธาตุต่าง ๆ ในอากาศ โดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์.
กรุงเทพฯ : ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชวลิต เขียงกุล. (2542). โลหะวิทยา. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์. (2525). สารานุกรมธาตุ (*Encyclopedia of the Elements*). กรุงเทพฯ :
โอเดียนสโตร์.
- บุญเลิศ ชูตินิมิตกุล. (2529). การศึกษาพฤติกรรมของการซื้อสีทาบ้านของผู้บริโภคชั้นสุดท้ายในเขต
กรุงเทพมหานคร. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิทชนันท์ เลียงผาสุข. (2546). การใช้สารมาตรฐานสังเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของ
ดินด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ของการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น. ปรินญา
นิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- วัชรพงษ์ สังข์หิรัญ. (2545). การวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุปริมาณน้อย ๆ ในสารตัวอย่าง
ทางด้านธรณีวิทยาโดยวิธีการวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ชนิดกระจายความยาว
คลื่น. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
ถ่ายเอกสาร.
- สุนันทา ทิพย์มัลย์มาศ. การหาปริมาณความเข้มของตะกั่วในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์.
กรุงเทพฯ : ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรอุษา สรวารี. (2539). สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแลกเกอร์). กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- Coedo, A.G. and others. (2002). "X-Ray Fluorescence Determination of major and Minor
Elememts in Ferrotitanium, Ferroniobium and Ferrovandium from
Compressed Pellets and Fusion Beads." *X-Ray Spectrometry*. (31) : 424-431.
- Gottsegen, Mark.D. (1993). *The Painter's Handbook*. New York : Watson-Guption
Publications.
- Janssens, K. and others. (2000). "Use of Microscopic XRF for Non-destructive Analysis
in Art and Archaeometry." *X-Ray Spectrometry*. (29) : 73-91.
- Morgan, A.J. (1985). *X-Ray Microanalysis in Electron Microscopy for Biologists*. NewYork :
Oxford University.
- Morgans, W.M. (1990). *Outlines of Paint Technology*. London : Edward Arnold.

- Quisefit, J.P. and others. (1994). "Quantitative Analyses of Aerosol Filters by Wavelength-Dispersive X-Ray spectrometry from Bulk Reference Samples." *X-Ray Spectrometry*. (23) : 59-64.
- Schlotz, R. & Uhlig, S. (2000). *Introduction to X-Ray Fluorescence Analysis (XRF)*. Karlsruhe : Bruker Analytical X-Ray Systems.
- Sulkowski, M. and Hirner, A.V. (1996). "Dertermination of Trace Elements in Small Amounts of Specimen on Filter Material by Wavelength-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry." *X-Ray Spectrometry*. (25) : 83-88.
- Turner, G.P.A. (1988). *Introduction to Paint Chemistry and Principles of Paint Technology*. London : Chapman and Hall.
- Whiston, C. (1991). *X-Ray Methods Analytical Chemistry by Open Learning*. London : John Wiley & Sons.
- Williams, K.L. (1987). *An Introduction to X-Ray Spectrometry*. London : ALLEN & UNWIN.
- Willis, J.P. (2002). *Course on Theory and Practice of XRF Spectrometry*. London, Ontario : University of Western Ontario Department of Earth Sciences Publishing.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวสุมณฑา	ชื่อสกุล สงสม
เกิดวันที่ 21	เดือน มกราคม พุทธศักราช 2518
สถานที่เกิด	อำเภอ ควนขนุน จังหวัด พัทลุง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	67 หมู่ 10 ต. ดอนทราย อ. ควนขนุน จ. พัทลุง 93110
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2537	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสตรีพัทลุง จังหวัดพัทลุง
พ.ศ. 2541	กศ.บ. วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยทักษิณ
พ.ศ. 2547	กศ.ม. (สาขาวิชาฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ