การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควันด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น

ปริญญานิพนธ์

ของ

เอกรินทร์ เอิบอิ่ม

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
พฤษภาคม 2549

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควันด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น

บทคัดย่อ

ของ

เอกรินทร์ เอิบอิ่ม

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
พฤษภาคม 2549

เอกรินทร์ เอิบอิ่ม. (2549). *การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควันด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น.* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : รองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทศร , อาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการใช้เครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของธาตุต่าง ๆ ในสารตัวอย่างควันและเถ้าของบุหรี่และธูป 4 ชนิด ในการเตรียมสารตัวอย่างควันได้สร้างชุดทดลองเก็บควันลงบนกระดาษกรองด้วยแผ่นพลาสติกประกอบกันขึ้นเป็นกล่องสำหรับเก็บควัน เพื่อทำให้เป็นระบบปิดไม่ให้อากาศแวดล้อมเข้ามาปะปน และเตรียมเถ้าของสารตัวอย่างควันเพื่อการวัดและวิเคราะห์ด้วยวิธีอัดเม็ด เนื่องจากกระดาษกรองมีความบางมาก ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาแผ่นรองด้านหลังสารตัวอย่างควันในการวัด ผลการทดลองพบว่ามีการกระเจิงคอมป์ตันจากธาตุเบาของแผ่นรองด้านหลังบางชนิดสูงมาก โดยแผ่นรองด้านหลังที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือไม่ใช้แผ่นรองด้านหลังเลยแต่ใช้ดินน้ำมันยึดกระดาษกรองให้ติดกับภาชนะสำหรับวางสารตัวอย่างแทน ผลการทดลองโดยรวมแสดงให้เห็นว่าธาตุหนักที่พบในเถ้าของสารตัวอย่างไม่ได้ลอยปะปนอยู่ในสารตัวอย่างควัน และเนื่องจากได้ทำการทดลองวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างควันแต่ละชนิดซ้ำเพียง 3 ครั้งเท่านั้น จึงทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของธาตุที่พบในควันซึ่งเป็นธาตุที่ระเหยได้ง่ายมีค่าค่อนข้างสูง

QUANTITATIVE ELEMENTAL ANALYSIS OF SMOKE SAMPLES USING WAVELENGTH DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER

AN ABSTRACT

BY

EKARIN ERBIM

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Master of Education degree in Physics

at Srinakharinwirot University

May 2006

Ekarin Erbim. (2006). *Quantitative Elemental Analysis of Smoke Samples Using Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer.* Master thesis, M.Ed. (Physics). Bangkok : Graduate school, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Assoc.Prof. Arunee Intasorn, Siriluk Ruangrungrote.

The purpose of this work is to utilize a Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (WDXRFS) for determination of elemental composition in smoke and ash samples. Smoke of cigarette and four types of incense sticks were studied. The smoke samples were collected in filter-paper disc being exposed in the closed system of the set of plastic boxes, and also bulk pressed pellet of ash specimens were prepared for inspecting. Due to the thickness of filter-paper discs, the proper backing of thin film measurement was investigated. It reveals that the non-backing measurement is optimized for this case. In addition, we found an effect of high Compton Scattering on the determination of trace elements, caused by light element in filter-paper substrates and in samples themselves. The results show that the heavy element found in ash samples are not contaminated in smoke samples. Regarding the small number of reproducibility of the triplicate measurements for each kind of samples, it turned out that the relative standard deviations of some trace volatile elements are rather high.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควัน
ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น

ของ
เอกรินทร์ เอิบอิ่ม

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญสิริ จีระเดชากุล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

..... ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทศร)

..... กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์
(อาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริกุล รัตนธรรมพันธ์)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พินิจค้า)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือและด้วยความอนุเคราะห์อย่างดีจากรองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทศร ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไข ตลอดจนช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริกุล รัตนธรรมพันธ์ และอาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พินิจค้า ที่ได้ร่วมเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ และกรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ที่ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษา ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท วิชาเอกฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอน้อมรำลึกพระคุณของบิดา มารดา และทุกๆคนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนในการศึกษาของข้าพเจ้า จนสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกรินทร์ เอิบอิ่ม

สารบัญ

บทที่ หน้า

1 บทนำ....1

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย....2

ความมุ่งหมายของงานวิจัย....3

ขอบเขตของงานวิจัย....3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย....3

นิยามศัพท์เฉพาะ....4

2 ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....5

ทฤษฎี....5

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....16

3 วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย....17

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย....17

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย....18

4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล....21

5 สรุปอภิปรายและข้อเสนอแนะ....51

สรุปผลการทดลอง....51

อภิปรายผลการทดลอง....52

ข้อเสนอแนะ....53

บรรณานุกรม....54

ประวัติย่อผู้วิจัย....57

บัญชีตาราง

ตาราง หน้า

1 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควัน บุหรี่ ที่เก็บลงบน กระดาษกรอง จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS แต่ละชิ้นตัวอย่างใช้ปริมาณบุหรี่ที่ต่างกัน ได้แก่ บุหรี่ 1 มวน 2 มวน และ 3 มวนตามลำดับ โดยมีปริมาณของธาตุ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจนและธาตุอื่นๆ ที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%.....23

2 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควัน ยากันยุง ที่เก็บลง บนกระดาษกรอง จำนวน 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยแต่ละชิ้นตัวอย่างใช้ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับ เครื่องดูดอากาศเป็น 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร ตามลำดับ โดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอนออกซิเจน และธาตุอื่นๆ ที่มีเลขอะตอมต่ำกว่า ธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%.....24

3 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในกระดาษกรองเปล่าจำนวน 4 ชิ้น ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยแต่ละชิ้นใช้แผ่นรองด้านหลัง ต่างชนิดกัน ได้แก่ กระดาษแข็ง แผ่นอะคริลิก กรดบอริกอัดเม็ดและไม่มีแผ่นรอง ด้านหลัง แต่ใช้ดินน้ำมันกดที่ขอบกระดาษกรองให้ติดกับภาชนะสำหรับวาง ชิ้นตัวอย่างตามลำดับโดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจนคาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆ ที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีนรวมกันเป็น 100%.....27

4 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ควันบุหรี่ บนกระดาษกรองจำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFSโดยส่วนที่เหลือ เป็นปริมาณของธาตุอื่นๆที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%.....32

5 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ควันธูปไร้ควัน บนกระดาษกรองจำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุอื่นๆ ที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%.....32

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง หน้า

6 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ควันธูปสีทอง บนกระดาษกรอง จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุอื่นๆ ที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%.....33

7 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ควันธูปสีเงิน บนกระดาษกรอง จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุอื่นๆ ที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%.....33

8 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ควันธูปสีดำ บนกระดาษกรอง จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุอื่นๆ ที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%.....34

9 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควัน ทั้ง 5 ชนิด บนกระดาษกรอง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุอื่นๆที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%.....34

10 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน บุหรี่ ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆ ที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%.....40

11 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน ธูปไร้ควัน ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆ ที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%.....41

12 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน ธูปสีทอง ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆ ที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%.....42

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง หน้า

13 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน ฐูปสีเงิน ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%……..….43
14 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน ฐูปสีดำ ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%……..……44
15 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน ทั้ง 5 ชนิด ที่เตรียมแบบอัดเม็ด ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%.....45

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1 การเกิดรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ เนื่องจากการเปลี่ยนระดับของอิเล็กตรอน
จากระดับพลังงานสูงกว่าไปยังระดับพลังงานต่ำกว่าในอะตอม.....6
2 เส้นสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะบนสเปกตรัมพื้นหลังแบบต่อเนื่อง…….....7
3 การเกิด โอเยร์อิเล็กตรอน.....8
4 ส่วนประกอบทั่วไปของเครื่องมือวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ชนิดกระจาย
ความยาวคลื่น.....9
5 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อผ่านเข้าไปยังชั้นผลึกตามกฎของแบรกก์ 10
6 การกระเจิงของรังสีเอกซ์แบบเรย์ลีและคอมป์ตัน.....11
7 การจัดชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บควันลงบนกระดาษกรอง.....18
8 กล่องพลาสติกเปิดหัวท้ายและด้านล่าง.....18
9 กล่องพลาสติกส่วนปลาย.....19
10 กล่องพลาสติกส่วนหัว.....19
11 ชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บควันลงบนกระดาษกรองสำหรับระยะ 1.0 เมตร.....21
12 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้
กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากกระดาษกรองเปล่าที่มีแผ่นรองด้านหลัง
เป็นกระดาษแข็ง.....28
13 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้
กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากกระดาษกรองเปล่าที่มีแผ่นรองด้านหลัง
เป็นแผ่นอะคริลิก.....29
14 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้
กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากกระดาษกรองเปล่าที่มีแผ่นรองด้านหลัง
เป็นกรดบอริกอัดเม็ด.....30
15 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้
กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากกระดาษกรองเปล่าที่ไม่มีแผ่นรองด้านหลัง
แต่ใช้ดินน้ำมันกดที่ขอบกระดาษกรองให้ติดกับภาชนะสำหรับวางชิ้นตัวอย่าง.....31
16 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้
กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวสารตัวอย่างควันบุหรี่ บนกระดาษกรอง.....35

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

17 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวสารตัวอย่างควัน ธูปไร้ควัน บนกระดาษกรอง.....36
18 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวสารตัวอย่างควัน ธูปสีทอง บนกระดาษกรอง.....37
19 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวสารตัวอย่างควัน ธูปสีเงิน บนกระดาษกรอง.....38
20 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวสารตัวอย่างควัน ธูปสีดำ บนกระดาษกรอง.....39
21 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวสารตัวอย่างควัน บุหรี่ ที่เตรียมแบบอัดเม็ด.....46
22 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวสารตัวอย่างควัน ธูปไร้ควัน ที่เตรียมแบบอัดเม็ด.....47
23 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวสารตัวอย่างควัน ธูปสีทอง ที่เตรียมแบบอัดเม็ด.....48
24 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวสารตัวอย่างควัน ธูปสีเงิน ที่เตรียมแบบอัดเม็ด.....49
25 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวสารตัวอย่างควัน ธูปสีดำ ที่เตรียมแบบอัดเม็ด.....50

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันปัญหาเกี่ยวกับมลพิษในสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากฝีมือของมนุษย์ นอกจากมลพิษที่เกิดจากยานพาหนะและมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว ภายในครัวเรือนยังมีการใช้สารเคมีต่างๆ เช่น ยาจุดกันยุง ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้จุดได้นานขึ้น เพื่อไล่ยุงและแมลงต่างๆ หรือการจุดธูปเพื่อบูชาพระ ซึ่งธูปที่ใช้ก็มีหลากหลายชนิด ทั้งทำจากวัสดุธรรมชาติและผสมสารเคมีเพื่อให้มีกลิ่นหอมหรือเพื่อให้มีสีตามต้องการ ควันที่เกิดจากการเผาไหม้จึงมีสารเคมีที่อยู่ในตัวผลิตภัณฑ์ เมื่อสูดดมเข้าไป อาจเป็นอันตรายต่ออวัยวะภายในได้ หรือถ้าเข้าตาจะทำให้เกิดอาการระคายเคือง และเมื่อรับควันเหล่านี้เข้าไปในร่างกายเป็นประจำก็จะเกิดการสะสมในร่างกายและทำให้เจ็บป่วยได้

บุหรี่เป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ก่อให้เกิดมลพิษและก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้สูดดมควันของบุหรี่ เป็นที่ทราบกันดีว่ามีการต่อต้านการสูบบุหรี่ในที่สาธารณะต่างๆมากมาย เนื่องจากเล็งเห็นโทษของการสูบบุหรี่และควันบุหรี่ที่มีผลต่อสุขภาพของผู้สูบและสิ่งแวดล้อม บุหรี่จัดเป็นสิ่งเสพติดประเภทหนึ่ง แต่ก็เป็นสิ่งเสพติดที่เสพได้โดยไม่ผิดกฎหมาย ถึงแม้ว่ามีการค้นคว้าเกี่ยวกับบุหรี่มาแล้วว่าบุหรี่เป็นสิ่งมีพิษ ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพทั้งตนเองและบุคคลรอบข้าง ตลอดจนสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย มีกลิ่นเหม็น กันบุหรี่เป็นขยะ สกปรกเลอะเทอะ กล่าวได้ว่าการสูบบุหรี่นำสิ่งไม่ดีมาให้แทบทั้งสิ้น แต่ก็ยังมีคนมากมายสูบบุหรี่กันอยู่

บุหรี่ทำมาจากใบยาสูบ ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nicotiana Tabacum Linn.*[1] ในใบยาสูบจะมีสารสำคัญ เรียกว่า นิโคติน เป็นแอลคาลอยด์ที่เป็นน้ำมันเหลวใสไม่มีสี เมื่อตั้งทิ้งไว้ ในอากาศจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและจะเข้มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในใบยาสูบจะมีนิโคตินอยู่ประมาณ 0.5-0.8% นอกจากนิโคตินแล้วบุหรี่ยังมีสารประกอบอื่นๆ อีก คือ ทาร์ (Tar) ประกอบด้วยสารหลายชนิด ที่มีลักษณะเป็นละอองของเหลว เป็นยางสีน้ำตาลเข้ม ส่วนใหญ่เป็นสารที่มีอันตราย เช่น เบนโซไพริน (Benzopyrene) นอกจากทาร์แล้วยังมี คาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbonmonoxide) เป็นแก๊สไม่มีสี พบมากในควันบุหรี่ เกิดจากการเผาไหม้ของใบยา และกระดาษที่ใช้มวนบุหรี่ ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (Hydrogencyanide) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogendioxide) แอมโมเนีย (Ammonia) และแร่ธาตุต่างๆ เช่น โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม ทองแดง นิกเกิล โครเมียม ซึ่งเป็นสารตกค้างในใบยาสูบหลังจากการพ่นยาฆ่าแมลง

---

[1]สนอง อูนากูล. (2531). *อันตรายของบุหรี่และวิธีเลิก.* หน้า 27.

ปัจจุบันได้มีการวัดและวิเคราะห์ธาตุโดยใช้เทคนิคการวาวรังสีเอกซ์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะสารตัวอย่างที่เป็นฝุ่นผงในอากาศ[2] หรือควันจากการเชื่อมโลหะ[3] ทำการทดลองโดยเก็บฝุ่นผงหรือควัน ลงบนกระดาษกรองแล้วนำไปวัดและวิเคราะห์ธาตุ ด้วยเทคนิคการวาวรังสีเอกซ์ชนิดกระจายความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometric Technique)

ในปี พ.ศ.2545 วันเพ็ญ บุญรักษา ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณนิโคตินในควันบุหรี่ที่อยู่ในวัฏภาคแก๊ส (Gas Phase) และวัฏภาคอนุภาค โดยใช้โครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง พบว่าปริมาณที่วัดนิโคตินได้ต่ำสุดคือ 0.025 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

งานวิจัยเผยแพร่ที่เกี่ยวข้องกับควันที่พบส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การหาปริมาณธาตุจากฝุ่นในอากาศบริเวณโรงงานอุตสาหกรรม และ บริเวณถนนที่มีการจราจรหนาแน่น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะวัดและวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในตัวอย่างควันต่างๆ ที่พบในครัวเรือน ได้แก่ ควันบุหรี่ และควันธูป จากงานวิจัยของSwamy ซึ่งทำการวัดและวิเคราะห์ธาตุในควันที่เกิดจากการเชื่อมโลหะ ทำให้ผู้วิจัยสนใจนำเทคนิคการการวาวรังสีเอกซ์มาใช้ในการวัดและวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในตัวอย่างควันที่เตรียมชิ้นตัวอย่างโดยเก็บควันที่ได้ลงบนกระดาษกรอง โดยจะต้องหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมชิ้นตัวอย่างเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง และเนื่องจากชิ้นตัวอย่างมีลักษณะเป็นฟิล์มบางที่อยู่บนกระดาษกรองไม่ต้องคำนึงถึงผลกระทบของเมทริกซ์ (Matrix Effect) ซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบทางด้านเคมีและด้านกายภาพของเนื้อสารตัวอย่าง ความไม่เป็นเอกพันธ์ (Heterogeneity) ของเนื้อสาร ทำให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ ไม่ถูกต้อง แม่นยำ ดังเช่นการศึกษาผลกระทบของเนื้อสารในตะกรันที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยการวาวรังสีเอกซ์[4] ซึ่งศึกษาผลกระทบของเมทริกซ์โดยวิธีการสร้างสารมาตรฐานสังเคราะห์ให้มีเนื้อสารใกล้เคียงกับสารตัวอย่างตะกรัน และจากผลการวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นของสารตัวอย่างบางบนแผ่นรองรับที่เหมาะสม ของสุมณฑา สงสม ในการวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นในชิ้นตัวอย่างฟิล์มหนาของสีทาอิมัลชัน[5] ได้มีการเลือกแผ่นรอง

---

[2]อุทัย ติยะวิสุทธิ์ศรี. (2537). *การวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศโดยใช้เทคนิคการวาวรังสีเอกซ์* . หน้า 1-88.

[3]Swamy K.; Kaliaperumal R.; & Swaminathan G.S. (2000). *Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometric Technique for Determining Elements in Weld Fumes*. pp. 71-74.

[4]อรุณีย์ อินทศร ; และมาโนชญ์ เฮงวัฒนะ. (2546). *การศึกษาผลกระทบของเนื้อสารในตะกรันที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยการวาวรังสีเอกซ์.* หน้า 9-13.

[5]ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ ; อรุณีย์ อินทศร ; และ สุมณฑา สงสม. (2547). การวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นในชิ้นตัวอย่างฟิล์มหนาของสีทาอิมัลชัน. ใน *การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่30.* หน้า 150-151.

ด้านหลังสารตัวอย่าง (Backing) ที่เหมาะสม เนื่องจากชิ้นตัวอย่างมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์ม โดยแผ่นรองรับที่นำมาใช้จะต้องมีชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบไม่เหมือนกับสารตัวอย่าง แผ่นรองรับต้องมีความแข็งแรงผิวหน้าเรียบและเป็นวัสดุทนความร้อนเพราะจะได้ไม่ทำให้เกิดความเสียหายขณะทำการวัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องมีการเลือกแผ่นรองด้านหลังที่เหมาะสมด้วยเช่นกัน เนื่องจากกระดาษกรองมีความบางทำให้ในขณะที่ทำการวัด อาจมีรังสีเอกซ์ทะลุกระดาษกรองไปชนกับภาชนะที่บรรจุสารตัวอย่างแล้วเข้าสู่หัววัดทำให้ผลการวัดผิดพลาดไป จากความเป็นจริง และจากการศึกษาของ คงศักดิ์ ตั้งพูนผลสวัสดิ์[6] พบว่าในการเตรียมสารตัวอย่างแบบบางบนกระดาษกรองที่มีความบางมากและมีความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆต่ำมากจะไม่มีผลกระทบจากเมทริกซ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการเตรียมสารตัวอย่างบนกระดาษกรองเช่นเดียวกันทำให้ไม่ต้องคำนึงถึงผลกระทบจากเมทริกซ์

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างชุดการทดลองในการเก็บสารตัวอย่างแบบควันลงบนกระดาษกรองเพื่อนำไปวัดและวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น

2. ศึกษาความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ปริมาณและชนิดของธาตุในตัวอย่างควัน ด้วยชุดทดลองดังกล่าว

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างชุดทดลองในการเก็บสารตัวอย่างควันเพื่อทำการวิเคราะห์ โดยศึกษาเทคนิคและทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการดูดควันลงบนกระดาษกรอง

2. ทำการทดลองเก็บสารตัวอย่าง วัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น ของภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ได้ชุดการทดลองในการเก็บสารตัวอย่างแบบควันลงบนกระดาษกรองเพื่อนำไปวัดและวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น

2. ได้ข้อมูลและค่าความเที่ยงตรงในการวิเคราะห์ปริมาณและชนิดของธาตุในตัวอย่างควัน

---

[6]คงศักดิ์ ตั้งพูนผลสวัสดิ์ (2528). *การตรวจสอบธาตุต่าง ๆ ในอากาศโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์*. หน้า 31.

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. สารตัวอย่าง (Sample) หมายถึง สารที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ควันบุหรี่ และควันธูป
2. ควันบุหรี่ (Cigarette Smoke) หมายถึง ควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของบุหรี่
3. ควันธูป (Incense Smoke) หมายถึง ควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของธูป
4. เถ้า (Ash) หมายถึง สิ่งที่เหลืออยู่จากการเผาไหม้ของสารตัวอย่าง
5. ธาตุปริมาณน้อยๆ หมายถึงธาตุที่มีปริมาณในระดับต่อล้านส่วน (ppm)
6. ผลกระทบของเมทริกซ์ (Matrix Effect) หมายถึงผลกระทบจากองค์ประกอบในเนื้อสารที่มีต่อการวิเคราะห์

บทที่ 2
ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ประกอบด้วย

1. การวิเคราะห์ด้วยการวาวรังสีเอกซ์
2. การกระเจิงของรังสีเอกซ์
3. ผลกระทบของเนื้อสารในการวิเคราะห์ธาตุในสารตัวอย่าง
4. ขีดจำกัดขั้นต่ำของการวัด
5. ควันบุหรี่
6. ควันธูป
7. มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทย

1. การวิเคราะห์ด้วยการวาวรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence Analysis)

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกปล่อยออกมาโดยอะตอมของธาตุ ภายหลังจากถูกกระตุ้นด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง ซึ่งการกระตุ้นนั้นสามารถแบ่งเป็นการกระตุ้นโดยอาศัยพลังงานภายนอกอะตอม และการกระตุ้นโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงภายในอะตอม

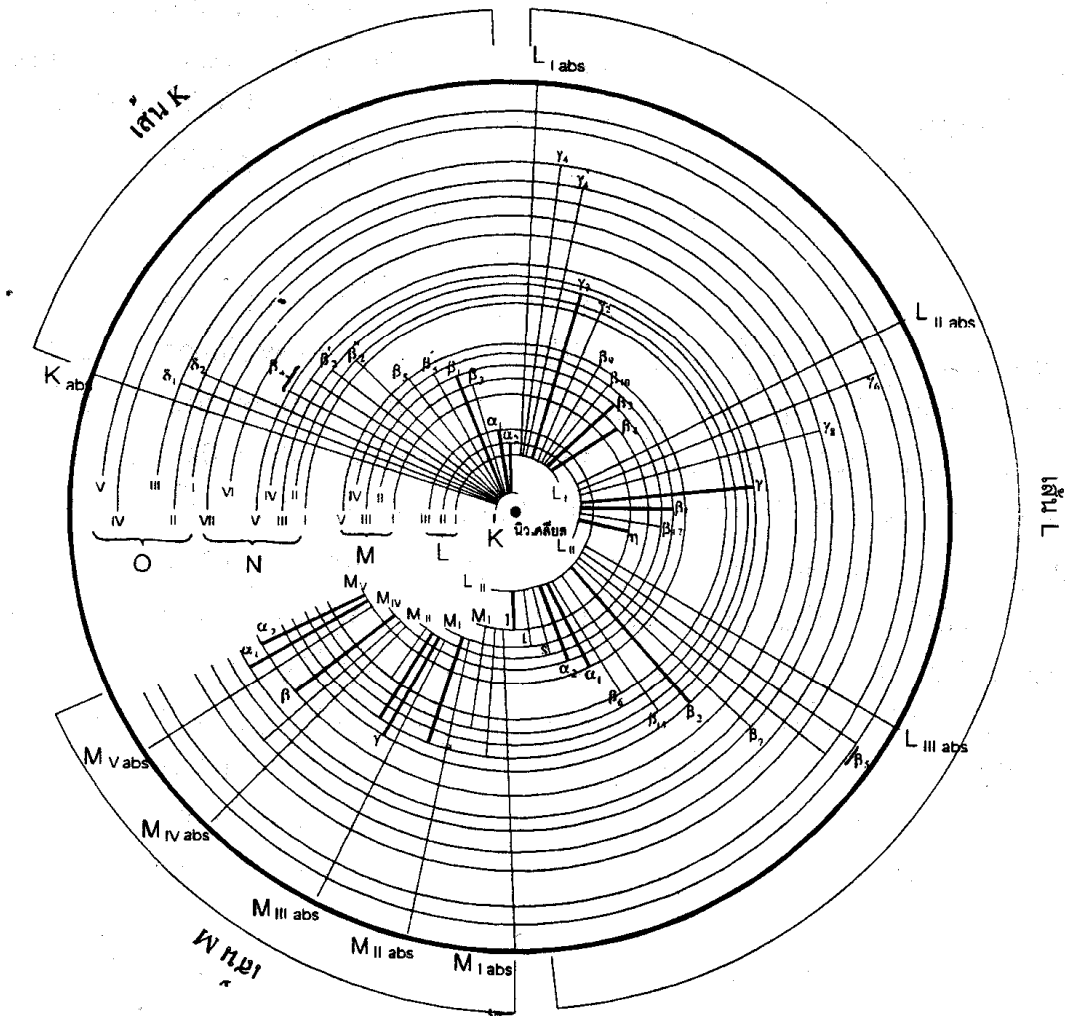
การกระตุ้นโดยอาศัยพลังงานภายนอกอะตอม อาจอยู่ในรูปของอนุภาคที่มีพลังงานสูงหรือโฟตอนที่ผ่านเข้ามาในอะตอม แล้วมีโอกาสที่จะชนแล้วถ่ายทอดพลังงานให้แก่อิเล็กตรอนจนอาจทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) และสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ (Characteristic Fluorescent X-Ray Spectrum) โดยมักเรียกรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะนี้ว่า เส้นรังสีเอกซ์ (X-Ray Line) โดยแต่ละเส้นที่ออกมาจากธาตุในสสารจะมีค่าความยาวคลื่นที่แน่นอน สเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ เกิดจากอิเล็กตรอนวงใน (เชลล์ K ,เชลล์ L ,เชลล์ M) ของธาตุในสสารที่หลุดออกไป ทำให้เกิดเป็นช่องว่าง (Hole) ขึ้น อิเล็กตรอนจากเชลล์ถัดออกไปซึ่งมีพลังงานมากกว่ามีโอกาสที่จะเข้ามาแทนที่ช่องว่าง เป็นการเคลื่อนที่จากระดับพลังงานสูงไปยังระดับพลังงานต่ำกว่าจึงมีการคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ ดังภาพประกอบ 1

การเปลี่ยนระดับพลังงานจากชั้นหรือระดับย่อยหนึ่งมายังอีกชั้นหนึ่งได้นั้น จะต้องเป็นไปตามกฎการคัดเลือก (Selection Rule) ซึ่งอธิบายได้ด้วยเลขควอนตัมหลัก n , ℓ, j โดยเงื่อนไข

$$\Delta n \geq 1$$

$$\Delta \ell = \pm 1$$

$$\Delta j = 0 \text{ หรือ } \pm 1$$



ภาพประกอบ 1 การเกิดรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ เนื่องจากการเปลี่ยนระดับของอิเล็กตรอนจากระดับพลังงานสูงกว่าไปยังระดับพลังงานต่ำกว่าในอะตอม

ที่มา : Woldseth R.(1973). *X-Ray Energy Spectrometry.* p.14.

โดยที่ n เป็นเลขควอนตัมหลัก (Principle Quantum Number) มีค่าเป็น 1,2,3,... สำหรับ เชลล์ K ,เชลล์ L ,เชลล์ M,...ตามลำดับ

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

j เป็นเลขควอนตัมของโมเมนตัมเชิงมุมรวม (Total Angular Momentum Quantum Number) มีค่า j = ℓ + s , ℓ + s - 1 , ℓ + s –2 , ... lℓ - sl

s เป็นเลขควอนตัมสปินของอิเล็กตรอน (Spin Quantum Number) มีค่าเท่ากับ $\pm\frac{1}{2}$

โดยที่จำนวนอิเล็กตรอนที่จะมีได้สูงสุดในแต่ละระดับพลังงาน มีค่าเท่ากับ $2n^2$

เส้นสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะซึ่งเกิดขึ้นได้จากการเปลี่ยนระดับพลังงานตามกฎการคัดเลือก ซึ่งเส้นสเปกตรัมแบ่งเป็น เส้น K (K-Line) , เส้น L (L-Line) , เส้น M (M-Line) เช่น

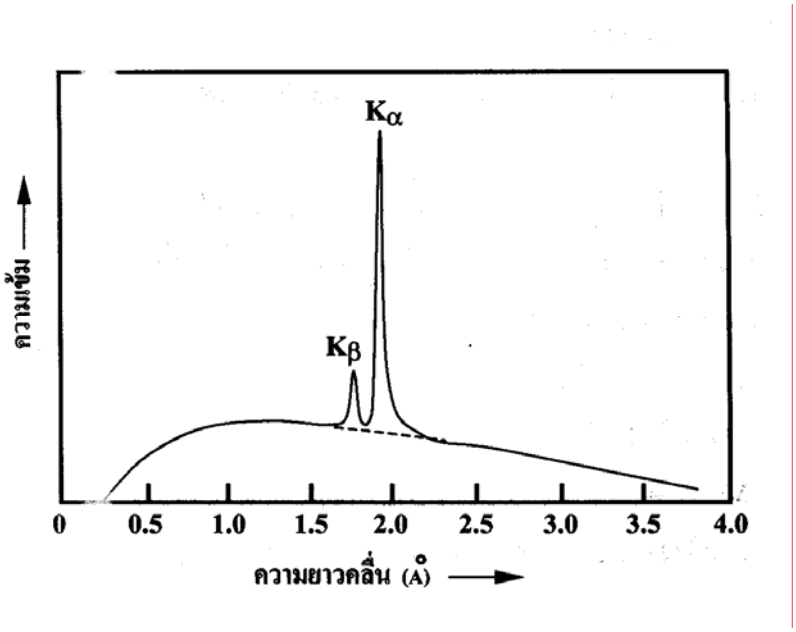
$K_{\alpha 1}$ เกิดจากอิเล็กตรอนจากระดับชั้นย่อย L_{III} ลงมาชั้น K

$K_{\alpha 2}$ เกิดจากอิเล็กตรอนจากระดับชั้นย่อย L_{II} ลงมาชั้น K

$K_{\beta 1}$ เกิดจากอิเล็กตรอนจากระดับชั้นย่อย M_{III} ลงมาชั้น K

$L_{\alpha 1}$ เกิดจากอิเล็กตรอนจากระดับชั้นย่อย M_{V} ลงมาระดับชั้นย่อย L_{III}

โดยแต่ละธาตุจะให้เส้นสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นจำเพาะของแต่ละธาตุนั้นๆอยู่บนสเปกตรัมพื้นหลังแบบต่อเนื่อง (Continuous Background Spectrum) ดังภาพประกอบ 2

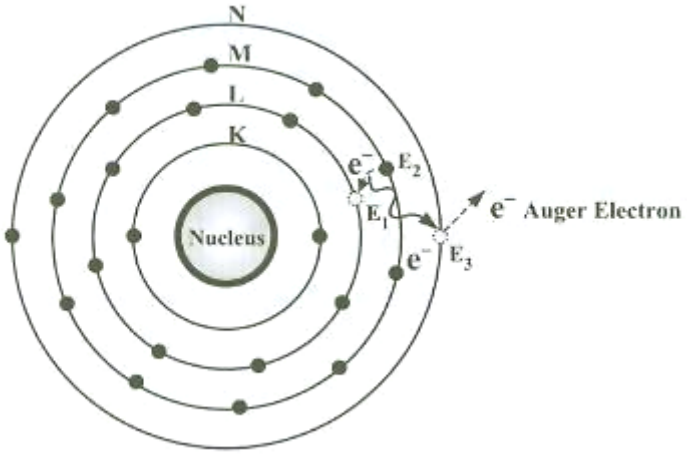


ภาพประกอบ 2 เส้นสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะบนสเปกตรัมพื้นหลังแบบต่อเนื่อง

ที่มา : นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ ; และ คณิตา ตังคณานุรักษ์. (2547). *สเปกโทรสโกปีด้านการวิเคราะห์*. หน้า 218.

สำหรับการกระตุ้นโดยพลังงานจากการเปลี่ยนแปลงภายในอะตอม อะตอมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ได้ต้องเป็นอะตอมของสารกัมมันตรังสี โดยเกิดจากนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้นกลับมาสู่สถานะพื้นและคายพลังงานออกมาเนื่องจากการเปลี่ยนชั้นระดับพลังงานภายในนิวเคลียสจะเป็นการเปลี่ยนช่วงพลังงานที่สูงมาก พลังงานที่ออกมาเป็นโฟตอนพลังงานสูง เรียกว่ารังสีแกมมา เมื่อรังสีออกจากนิวเคลียสมีโอกาสที่จะชนเข้ากับอิเล็กตรอนที่โคจรอยู่รอบนิวเคลียส ในการชนกับอิเล็กตรอนจะถ่ายทอดพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและถ้ามี

พลังงานมากพออิเล็กตรอนจะสามารถหลุดออกจากอะตอมได้ และจะเกิดที่ว่างขึ้นภายในอะตอม ซึ่งอิเล็กตรอนจากชั้นพลังงานถัดออกไปซึ่งมีพลังงานมากกว่ามีโอกาสที่จะเข้ามาแทนที่ช่องว่าง เป็นการเคลื่อนที่จากระดับพลังงานสูงไปยังระดับพลังงานต่ำกว่าจึงมีการคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ (Characteristic X-Ray) ถ้ารังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะที่ออกมานี้ไปกระตุ้นอิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่า ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม เรียกว่า การปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron Ejection) หรือ ปรากฏการณ์โอเยร์ (Auger Effect) และเรียกอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้ว่า โอเยร์อิเล็กตรอน (Auger Electron) ดังภาพประกอบ 3



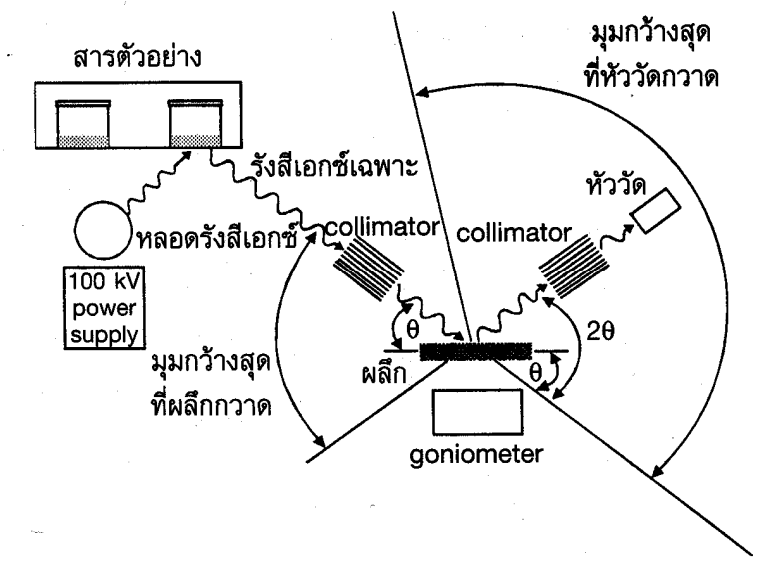
ภาพประกอบ 3 การเกิด โอเยร์อิเล็กตรอน

ที่มา : นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ ; และ คณิตา ตังคณานุรักษ์. (2547). *สเปกโทรสโกปีด้านการวิเคราะห์*. หน้า 218.

นอกจากรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะแล้ว ยังมีรังสีเอกซ์ชนิดต่อเนื่อง (Continuous X-Ray) หรือที่เรียกว่า เบรมสตราลุง (Bremsstrahlung) ซึ่งมักเกิดภายในหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ โดยเกิดจากการที่อิเล็กตรอนพลังงานสูงในหลอดรังสีเอกซ์ที่ออกมาจากขั้ว แคโทด ถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าเพื่อให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนดอย่างเร็วจะมีพลังงานจลน์สูงขึ้น เมื่ออิเล็กตรอนเข้าใกล้แอโนดจะเกิดการผลักกันกับอิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอมของแอโนด การผลักกันนี้จะทำให้ความเร็วของอิเล็กตรอนลดลง เกิดการคายพลังงานออกมาซึ่งมีพลังงานตรงกับช่วงพลังงานรังสีเอกซ์และมีค่าพลังงานต่างๆ ใกล้กันมากปรากฏเป็นแถบพลังงานคลุมบริเวณกว้างเป็นรังสีเอกซ์ชนิดต่อเนื่อง

เครื่องมือวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ชนิดกระจายความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (WDXRFS)) ใช้หลอดรังสีเอกซ์ ที่มีพลังงานสูงไปกระตุ้นสารตัวอย่าง ซึ่งหลอดรังสีเอกซ์ของเครื่องมือวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ชนิดกระจายความยาวคลื่นอาจใช้ธาตุ W Cr Mo หรือ Rh เป็นเป้าที่แอโนดและอาจใช้ความต่างศักย์สูง

ถึง 60kV ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ช่องหน้าต่างหลอดจะสูงมาก จึงต้องมีระบบป้องกันอันตรายจากรังสีเอกซ์ รวมถึงการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นรังสีเอกซ์ด้วย หลังจากสารตัวอย่างถูกกระตุ้นโดยหลอดรังสีเอกซ์ สารตัวอย่างจะปล่อยรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะของแต่ละธาตุออกมา รังสีเอกซ์เฉพาะนี้จะถูกกำหนดให้เดินทางผ่านตัวทำขนาน (Collimator) ไปตกกระทบผลึกที่ใช้เป็นตัวกระจายรังสีเอกซ์ ซึ่งรังสีเอกซ์จะเลี้ยวเบนตามสมการของแบรกก์ และแยกตามความยาวคลื่น ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ส่วนประกอบทั่วไปของเครื่องมือวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ชนิดกระจายความยาวคลื่น

ที่มา : สัมพันธ์ วงศ์นาวา. (2547). *เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรเมตรีแบบกระจายพลังงาน*. หน้า53.

ความสามารถในการแจกแจงความยาวคลื่นนี้ทำให้สามารถตรวจสอบรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะที่ปล่อยออกมาจากธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่างได้ โดยอาจใช้ตรวจคราวละธาตุเรียงกันไป หรืออาจตรวจพร้อมกันหลายธาตุในครั้งเดียวกันก็ได้ โดยอาศัย อุปกรณ์ที่เรียกว่า โกนิโอมิเตอร์ (Goniometer) ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการปรับเปลี่ยนมุมระหว่างสารตัวอย่าง ผลึกกระจายความยาวคลื่นและหัววัดให้เหมาะสมกับสเปกตรัมนั้นๆ ทำให้สามารถเลือกตรวจรังสีที่มีความยาวคลื่นใดๆ ซึ่งอาจประกอบไปด้วยผลึกกระจายความยาวคลื่นและหัววัดหลายชุด แต่ละชุดก็ปรับสำหรับตรวจวัดรังสีค่าใดค่าหนึ่งโดยเฉพาะ อีกทั้งยังใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มาควบคุมโดยสามารถกำหนดค่าต่างๆ ที่เหมาะสมก่อนที่จะทำการวัด จึงทำให้เครื่องมีราคาสูง แต่ก็มีประสิทธิภาพสูงด้วย โดยการวิเคราะห์ด้วยการวาวรังสีเอกซ์เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในงานวิจัยเนื่องจากให้ผลที่ถูกต้องและค่อนข้างรวดเร็ว

ในปัจจุบันเทคนิคการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นสามารถทำการวิเคราะห์ธาตุตั้งแต่ฟลูออรีน (เลขอะตอม9 ขึ้นไป) และวิเคราะห์ได้ตั้งแต่ปริมาณต่อล้านส่วน (ppm) จนถึง 100 % โดยอาศัยผลึกกระจายความยาวคลื่นในการกระจายรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่างกันโดยอาศัยกฎของแบรกก์ ถ้ารังสีเอกซ์ไปตกกระทบบนเนื้อสารตัวอย่างที่เป็นผลึกซึ่งประกอบด้วยอะตอมหรือกลุ่มอะตอมอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอนและเป็นระเบียบต่อเนื่องกันไปตลอด เมื่อรังสีเอกซ์ผ่านเข้ามาในผลึกจะเกิดการเลี้ยวเบน (Diffraction) โดยอะตอมที่มีระยะห่างกันที่แน่นอนและตำแหน่งที่แน่นอน โดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ขึ้นอยู่กับ

1. ระยะห่างระหว่างชั้นอะตอมที่มีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์
2. รังสีที่ตกกระทบ รังสีที่เลี้ยวเบน และเส้นปกติต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน

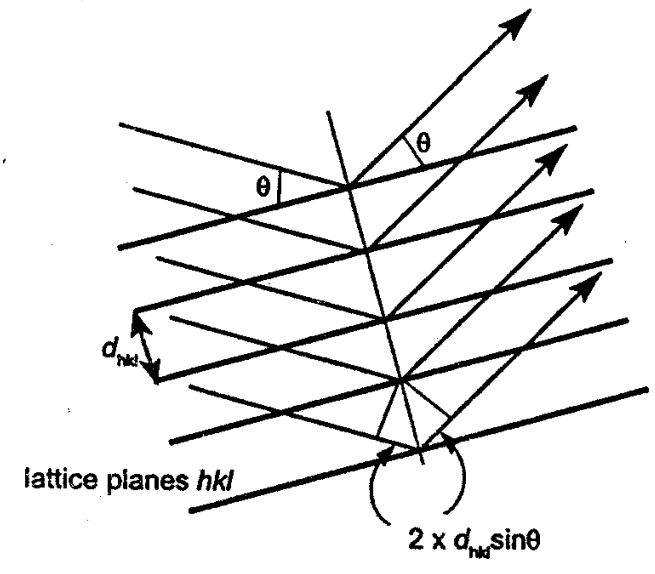
รังสีเอกซ์ที่ผ่านเข้าไปตกกระทบโครงผลึกที่มุม θ ของแต่ละชั้น ดังภาพประกอบ 5 แล้วสะท้อนออกมาเกิดการแทรกสอดแบบเสริม(Constructive Interference) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ (λ) กับระยะห่างระหว่างระนาบโครงร่างตาข่าย (Lattice) ที่แน่นอน (d) และมุมที่รังสีเอกซ์ตกกระทบกับผิวของผลึก (θ) ได้โดยสมการของแบรกก์

$$n\lambda = 2d \sin\theta \qquad \text{.....(1)}$$

โดยที่ n เป็นเลขจำนวนเต็ม 1,2,3, ... ที่แสดงอันดับของการเลี้ยวเบน

λ คือความยาวคลื่นของสเปกตรัมลักษณะเฉพาะ

θ คือมุมของแบรกก์ (Bragg's Angle) ที่รังสีเอกซ์สะท้อนออกไปโดยผลึก



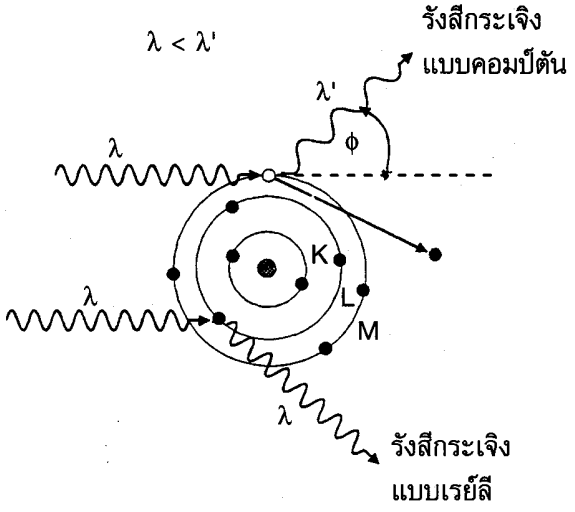
ภาพประกอบ 5 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อผ่านเข้าไปยังชั้นผลึก ตามกฎของแบรกก์

ที่มา : W.Clegg ; A.J.Blacke.(2001).*Crystal Structure Analysis Principles and Pratice.* p.7.

ภายในเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์มีเครื่องนับรังสีเอกซ์ที่บันทึกและแสดงค่าความเข้ม (Intensity) และตำแหน่งของเส้นสเปกตรัมที่เลี้ยวเบนโดยผลึกแบบสเกล 2θ ที่สามารถแปลงเป็นสเกลความยาวคลื่นหรือพลังงานได้ หัววัดรังสีเอกซ์ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นหัววัดประกายแสง (Scintillation Counter) หรือหัววัดแบบบรรจุแก๊สแบบเชิงสัดส่วน (Gas Proportional Counter) ต่อเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์และระบบคอมพิวเตอร์ เมื่อหัววัดถูกกระตุ้นด้วยโฟตอนรังสีเอกซ์จะเกิดสัญญาณเชิงอิเล็กทรอนิกส์แบบพัลส์ (Pulse) ออกมา พัลส์ที่ออกมาจากหัววัดจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ (Pulse-Height Analyzer) ซึ่งอาจประกอบไปด้วยสเกลเลอร์ (Scaler) ที่ต่อไปยังมิเตอร์ที่แสดงอัตราการนับ (Counting Ratermeter) เมื่อโกนิโอมิเตอร์หมุนสารตัวอย่างให้รับลำรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบโดยได้จังหวะพอดีกับการเคลื่อนที่ของหัววัดที่กวาดไป ถ้ารังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนออกมาจากผลึกมีจำนวนนับที่มีค่าสูงในเวลาของการนับช่วงหนึ่ง จะได้ตำแหน่งของเส้นของการเลี้ยวเบนเป็นพีค (Peak) แปลผลออกมาในเทอมของมุม 2θ

2. การกระเจิงของรังสีเอกซ์

เมื่อรังสีเอกซ์พุ่งกระทบวัตถุหรือสารตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยอะตอมต่างๆ รวมกลุ่มอยู่ด้วยกันเป็นจำนวนมาก รังสีเอกซ์นี้จะมีอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนในอะตอม ทำให้เกิดการกระเจิง (Scattering) ของรังสีเอกซ์ กับอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นนอกๆ ของอะตอม ดังภาพประกอบ 6 แบ่งได้ 2 แบบ คือ



ภาพประกอบ 6 การกระเจิงของรังสีเอกซ์แบบเรย์ลีและคอมป์ตัน

ที่มา : Leyden D.E. (1984). *Fundamentals of X-Ray Spectrometry as Applied to Energy Dispersive Techniques.* p. 6.

2.1 การกระเจิงแบบเรย์ลี (Rayleigh Scattering) หรือการกระเจิงแบบอาพันธ์ (Coherent Scattering) เป็นการชนแบบยืดหยุ่น (Elastic Collision) ไม่มีการสูญเสียพลังงานแต่ทิศทางหลังการชนจะเปลี่ยนไป การกระเจิงแบบนี้เกิดได้มากในธาตุที่มีเลขอะตอมสูง

2.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton Scattering) หรือการกระเจิงแบบอนาพันธ์ (Incoherent Scattering) เป็นการชนแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic Collision) รังสีเอกซ์จะสูญเสียพลังงานบางส่วนในการชนให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปจากอะตอม รังสีเอกซ์จึงมีพลังงานลดลงและทิศทางหลังการชนเปลี่ยนไป เมื่อพลังงานลดลง นั่นคือความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น ถ้าให้ $\Delta\lambda$ เป็นความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไปจะได้

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e.c}(1-\cos\phi) \qquad \text{.....(2)}$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบ

λ' คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่กระเจิง

h คือ ค่าคงที่ของแพลงค์ มีค่าเป็น 6.6×10^{-34} J.s

m_e คือ มวลของอิเล็กตรอน มีค่าเป็น 9.11×10^{-31} kg

c คือ ความเร็วแสง มีค่าเป็น 3×10^{8} m/s

ϕ คือ มุมที่รังสีเอกซ์กระเจิงไปมีหน่วยเป็นองศา

เมื่อแทนค่าต่างๆ ลงในสมการ (2) จะได้

$$\Delta\lambda = 0.0243(1-\cos\phi)\ A^{\circ} \qquad \text{.....(3)}$$

จากสมการ (3) จะพบว่าค่าความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไปจะขึ้นอยู่กับค่ามุมที่รังสีเอกซ์กระเจิงไป ในทางปฏิบัติมักออกแบบเครื่องมือให้หัววัดสามารถกวาดไปเป็นมุมสูงสุด 90° เทียบกับแนวเดิมของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบผลึก ดังนั้นเมื่อ ϕ = 90° จะได้ cos 90° = 0 ในกรณีนี้ค่าความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไปจะเรียกว่าความยาวคลื่นคอมป์ตัน (Compton Wavelength)

$$\Delta\lambda = 0.0243A^{\circ} \qquad \text{.....(4)}$$

การกระเจิงมีผลทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์เปลี่ยนไปจากเดิม โดยการกระเจิงของอะตอมธาตุหนึ่งอาจส่งผลให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์ออกมาทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนได้การกระเจิงยังมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสัญญาณพื้นหลัง (Background Signal) เมื่อเกิดการกระเจิงสูงจะ

ส่งผลให้สัญญาณพื้นหลังของสเปกตรัมสูงขึ้น จึงต้องมีการปรับแก้เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง นอกจากการกระเจิงแล้ว ยังมีการการดูดกลืนรังสีเอกซ์ ที่ทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์ลดลง ทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อน ได้เช่นกัน

3. ผลกระทบของเนื้อสาร (Matrix Effect) ในการวิเคราะห์ธาตุในสารตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุด้วยการวาวรังสีเอกซ์นั้น ผลการวัดที่เกิดขึ้นอาจไม่ได้เกิดจากธาตุที่เราสนใจเพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากธาตุอื่นที่มีอยู่ในสารตัวอย่างด้วย ซึ่งผลกระทบจากธาตุอื่นๆ ในสารตัวอย่างนี้จะทำให้ผลการวิเคราะห์ธาตุที่สนใจไม่เป็นไปตามที่มีอยู่จริง เรียกผลกระทบนี้ว่า ผลกระทบของเมทริกซ์ ซึ่งมีที่มาจาก 2 สาเหตุใหญ่ คือ

3.1 ผลจากการดูดกลืนและการเพิ่มรังสีเอกซ์ (Absorption-Enhancement Effects)

3.1.1 การดูดกลืนรังสีเอกซ์ (Absorption of X-Rays)

เมื่อรังสีเอกซ์ปฐมภูมิผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง และเกิดการวาวรังสีเอกซ์ทุติยภูมิออกมา ซึ่งมีความเข้มรังสีเอกซ์เปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากถูกดูดกลืนหรือการกระเจิงโดยสารตัวอย่าง การดูดกลืนนี้จะมีผลมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นและ ความหนาของสารตัวอย่าง

3.1.2 การเพิ่มความเข้มรังสีเอกซ์ (Enhancement of X-Rays)

เมื่อรังสีเอกซ์ปฐมภูมิผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง อะตอมของธาตุในสารตัวอย่างจะถูกกระตุ้น ทำให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์ทุติยภูมิออกมา และรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่ออกมานี้ไปกระตุ้นอะตอมของธาตุที่อยู่ใกล้กันให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์ออกมา จึงทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุที่สนใจวัดได้มีค่าสูงขึ้น

3.2 ผลจากลักษณะทางกายภาพ (Physical Effect)

เกิดจากผิวหน้าของสารตัวอย่างที่ไม่เรียบ ขนาดของอนุภาคไม่ละเอียด และความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการกระเจิงแล้วรังสีเอกซ์ที่กระเจิงไปกระตุ้นอะตอมของธาตุให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์ออกมาแทน ทำให้ผลการวิเคราะห์ธาตุที่สนใจคลาดเคลื่อนไป

4. ขีดจำกัดขั้นต่ำของการวัด (Lower Limit of Detection (LLD))[7]

ขีดจำกัดขั้นต่ำของการวัด เป็นปริมาณหรือความเข้มข้นต่ำสุดของธาตุใดๆ ที่จะสามารถตรวจวัดได้โดยเครื่องมือและวิธีการที่เลือกมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยขีดจำกัดขั้นต่ำของการวัดของแต่ละธาตุจะมีค่าไม่เท่ากัน แม้แต่ธาตุชนิดเดียวกันแต่ถ้าอยู่ในสารตัวอย่างที่เนื้อสารต่างกันขีดจำกัด

---

[7]สัมพันธ์ วงศ์นาวา. (2547). *เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรเมตรีแบบกระจายพลังงาน*.หน้า 159.

ขั้นต่ำของการวัดก็จะต่างกันด้วย ขีดจำกัดขั้นต่ำของการวัดสามารถใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ โดยคำนวณได้จากสมการ (5)

$$LLD = \frac{3}{m}\sqrt{\frac{R_b}{T_b}} \qquad \text{.....(5)}$$

โดยที่ LLD คือ ขีดจำกัดขั้นต่ำของการวัด

m คือ ค่าความไวของพื้นหลัง (Background Sensitivity)

R_b คือ อัตรานับของพื้นหลัง (Background Count Rate)

T_b คือ ระยะเวลาสุทธิที่วัดพื้นหลัง (Total Analysis Time on Background)

5. ควันบุหรี่[8]

ควันบุหรี่เกิดจากการเผาไหม้ของตัวบุหรี่ ทำให้ควันบุหรี่มีสารเคมีมากกว่า 4,000 ชนิด ส่วนประกอบหลักในควันบุหรี่ คือ

นิโคติน (Nicotin) สูตรโมเลกุล $C_{10}H_{14}N_2$ เป็นแอลคาลอยด์ มีลักษณะคล้ายน้ำมันใส ทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้น หัวใจเต้นเร็วกว่าปกติ และไม่เป็นจังหวะ หลอดเลือดที่แขนและขาหดตัว เพิ่มไขมันในเส้นเลือด

ทาร์ (Tar) ประกอบด้วยสารหลายชนิด ที่มีลักษณะเป็นยางสีน้ำตาลเข้ม เป็นสารก่อมะเร็ง เมื่อได้รับทาร์เข้าไปเป็นปริมาณมาก จะทำให้เกิดการระคายเคืองที่ปอด

คาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbonmonoxide) สูตรโมเลกุล CO เป็นแก๊สไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เกิดจากการเผาไหม้ของใบยาสูบและกระดาษที่ใช้มวนบุหรี่ การหายใจเข้าไปทำให้คลื่นไส้ หัวใจเต้นผิดปกติ ปวดศีรษะ มึนงง รบกวนการมองเห็น หายใจไม่ออก

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide) สูตรโมเลกุล H_2O_2 เป็นแก๊สไม่มีสี มีกลิ่นฉุน การหายใจเข้าไป เนื่องจากสารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อนจะก่อให้เกิดอาการเจ็บคอ ไอ หายใจติดขัด

ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogendioxide) สูตรโมเลกุล NO_2 เป็นแก๊ส มีกลิ่นฉุน การหายใจเอาไอระเหยเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรงต่อระบบทางเดินหายใจ อาการเริ่มต้นของการหายใจจะมีอาการปานกลางรวมทั้งระคายเคืองต่อตา และคอ แน่นหน้าอก ปวดศีรษะ คลื่นไส้

แอมโมเนีย (Ammonia) สูตรโมเลกุล NH_3 เป็นแก๊สใสไม่มีสี มีกลิ่นฉุน การหายใจเข้าไปในปริมาณมากกว่า 25 ppm ทำให้ระคายเคืองจมูกและคอ ถ้าได้รับปริมาณมากจะหายใจติดขัด เจ็บหน้าอก หลอดลมบีบเกร็ง มีเสมหะ

---

[8]สนอง อูนากูล. (2531). *อันตรายของบุหรี่และวิธีเลิก*.หน้า 27-29.

ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (Hydrogencyanide) สูตรโมเลกุล HCN มีลักษณะเป็นแก๊สใสไม่มีสี มีกลิ่นฉุน หายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองทางเดินหายใจ และเป็นโรคปอดบวมน้ำ ทำให้เกิดอาการเจ็บคอ หายใจติดขัด ปวดศีรษะ คลื่นไส้ และหมดสติได้

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) สูตรโมเลกุล CH_2O เป็นสารที่ใช้สำหรับดองศพ สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน การหายใจเข้าไป ทำให้เกิดอาการไอ เจ็บคอ และหายใจติดขัด

สารหนู (Arsenic) เป็นสารเคมีที่ประกอบอยู่ในจำพวกผลิตภัณฑ์ยาฆ่าหญ้า มีผลต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อรับเอาสารนี้เข้าไปจะเกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียนและท้องร่วงอย่างรุนแรง

6. ควันธูป[9]

ควันธูปเกิดจากการเผาไหม้ของธูป ในควันธูปประกอบไปด้วยสารพิษต่างๆ ได้แก่

เบนซีน (Benzene) สูตรโมเลกุล C_6H_6 เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ หากได้รับสารนี้เข้าไปเป็นเวลานานจะทำให้ระคายเคืองต่อผิวหนังและดวงตา ปวดศีรษะ หัวใจเต้นผิดปกติ ความดันโลหิตลดลง หายใจติดขัด ชัก ง่วงซึม ระบบหายใจล้มเหลวและถึงแก่ความตายได้

โทลูอีน (Toluene) สูตรโมเลกุล C_7H_8 ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อระบบหายใจ ผิวหนัง ดวงตา ถ้าเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากจะมึนเมา ชัก หมดสติ และถึงแก่ความตายได้

ไซลีน (Xylene) สูตรโมเลกุล $C_{24}H_{30}$ ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อตา จมูกและลำคอ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง นอกจากนี้อาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ได้

เพอร์คลอโรเอทธิลีน (Perchloroethylene) สูตรโมเลกุล C_2Cl_4 ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อจมูกและลำคอ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ง่วงซึม และทำอันตรายต่อตับและไต

ไดคลอโรเบนซีน (Dichlorobenzene) สูตรโมเลกุล $C_6H_4Cl_2$ เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ แต่ยังไม่มีหลักฐานว่าเป็นสารก่อมะเร็งในคน

7. มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทย

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทยกำหนดโดยกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มาตรฐานคุณภาพอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นมาตรฐานที่ได้ปรับปรุงใหม่ ตามประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 22 กันยายน 2547 โดยสารมลพิษที่กำหนด ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แก๊สโอโซน ฝุ่นละออง และสารตะกั่ว โดยกำหนดมาตรฐานค่าเฉลี่ยของสารมลพิษที่มีผลกระทบอย่างเฉียบพลัน (Acute Effect) และผลกระทบเรื้อรัง (Chronic Effect) เพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยการคำนวณค่าความเข้มข้นของแก๊สแต่ละชนิดในบรรยากาศโดยทั่วไปเทียบที่ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

---

[9]สมศักดิ์ ชัยพิพัฒน์ ; และคณะ. (2545). *ภัยสุขภาพจากกระดาษเงินกระดาษทอง ธูป เทียน และประทัด.* หน้า 5-6.

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พ.ศ.2528 คงศักดิ์ ตั้งพูนผลสวัสดิ์ ได้ทำการวิเคราะห์ตะกั่ว ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แมงกานีส และสารหนู ในอากาศด้วยวิธีการวาวรังสีเอกซ์ ทั้งแบบกระจายความยาวคลื่น และ แบบกระจายพลังงาน โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นลงบนกระดาษกรองใยแก้ว มีการศึกษาแผ่นรองด้านหลังโดยใช้กระดาษเป็นแผ่นรองด้านหลัง เนื่องจากกระดาษกรองมีความบางมาก และพบว่าการเตรียมสารตัวอย่างแบบบางบนกระดาษกรองไม่มีผลกระทบจากเมทริกซ์

พ.ศ.2534 อุทัย ติยะวิสุทธิ์ศรี ได้ทำการวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศบริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยใช้เทคนิคการวาวรังสีเอกซ์ โดยใช้ทั้งแบบกระจายความยาวคลื่น และแบบกระจายพลังงาน โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นลงบนกระดาษกรองเซลลูโลส (Whatman เบอร์ 41) พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุหลักในฝุ่น เป็นดังนี้ Al , Si , K , Ca , Fe , S มีค่าเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับดังนี้ 7.41 , 32.18 , 2.87 , 2.72 , 2.07 และ 2.31 สำหรับธาตุปริมาณรองบางธาตุ เช่น Pb , Mn , Br , Ni , Zn , Ti , Cu มีค่าเป็น 0.486 , 0.551 , 0.428 , 0.523 , 0.205 , 2.944 และ 0.604 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

พ.ศ.2537 สวัมมี (Swamy) และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์ควันที่เกิดจากการเชื่อมโลหะโดยเครื่องวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์ชนิดกระจายความยาวคลื่น ด้วยวิธีการใช้สารมาตรฐานที่สังเคราะห์ขึ้น โดยกำหนดให้มีธาตุ Si , Mn , Cr , Fe , Pb , Cu , Al และ Ni ในปริมาณต่างๆกัน และเตรียมจากการผสมธาตุกับสารยึดเหนี่ยวในอัตราส่วน 1:1 เพื่อนำไปสร้างกราฟปรับเทียบและเตรียมสารตัวอย่างโดยเก็บควันที่ได้จากการเชื่อมโลหะด้วยกระดาษกรอง นำไปวิเคราะห์ผล พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าประมาณ 7%

พ.ศ.2537 ควิซฟิท (Quisefit) และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณละอองในอากาศที่ถูกดูดไว้บนกระดาษกรอง โดยใช้เทคนิคการวาวรังสีเอกซ์ และวิธีการสร้างกราฟปรับเทียบจากสารมาตรฐานที่สังเคราะห์ขึ้น และพบว่าสารมาตรฐานที่สังเคราะห์ขึ้นทำได้ค่อนข้างยาก นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังได้กล่าวถึงการทดลองอื่นที่เลือกใช้แผ่นกรองในการวิเคราะห์ฟิล์มบางที่เหมาะสม โดยได้นำผลการวิเคราะห์ปริมาณของละอองในอากาศที่ดูดไว้บนกระดาษกรองมาเปรียบเทียบเทียบกับสารตัวอย่างมาตรฐานที่เตรียมตัวอย่างแบบหลอมแก้ว โดยพบว่า กับสารตัวอย่างมาตรฐานที่เตรียมตัวอย่างแบบหลอมแก้วมีข้อดี คือ มีความเปราะน้อยกว่าฟิล์มบางหรือตัวกรอง และสามารถใช้งานได้นานกว่า

พ.ศ.2545 วันเพ็ญ บุญรักษา ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณการกระจายตัวนิโคตินในควันบุหรี่ในวัฏภาคอนุภาคต่อวัฏภาคแก๊สในควันบุหรี่ โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง พบว่าปริมาณต่ำสุดที่วัดนิโคตินได้คือ 0.025 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. สารตัวอย่างควันที่ต้องการศึกษา ได้แก่ ควันที่ได้จากวัสดุต่อไปนี้
    1.1 บุหรี่
    1.2 ธูปไร้ควัน
    1.3 ธูปธรรมดาสีทอง
    1.4 ธูปธรรมดาสีเงิน
    1.5 ธูปธรรมดากลิ่นหอมสีดำ

2. กระดาษกรองยี่ห้อ Whatman Glass Microfibre Filter เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร เบอร์ 1822047 สำหรับเป็นแผ่นรองรับสารตัวอย่าง (Substrate)

3. แผ่นรองด้านหลังสารตัวอย่าง (Backing)
    3.1 แผ่นกระดาษแข็ง เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร
    3.2 แผ่นอะคริลิก เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร
    3.3 กรดบอริก(H_3BO_3) อัดเม็ด เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร หนา 0.4 เซนติเมตร

4. ดินน้ำมัน
5. ยากันยุง
6. แผ่นพลาสติกใส หนา 0.6 เซนติเมตร และ 0.2 เซนติเมตร สำหรับสร้างชุดดูดควัน
7. เครื่องดูดอากาศ ยี่ห้อ Rotary Air Sampler
8. เครื่องชั่งละเอียด 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Matter Toledo รุ่น SNR 1116062377 TDNR 26219111
9. เครื่องวัดสารตัวอย่างและวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer, WDXRFS) จากบริษัท BRUKER รุ่น SRS 3400 ที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒใช้พลังงาน 20-60 kV ในการทำให้เกิดการวาวรังสีเอกซ์จากสารตัวอย่าง หลอดรังสีเอกซ์เป็นชนิดหน้าต่างด้านปลาย มีโรเดียมเป็นแอโนดในการกำเนิดรังสีเอกซ์ แผ่นกรองปฐมภูมิ มี 7 แบบ คือ None (ไม่มีแผ่นกรอง), 200μm Cu, 800μm Al, 500μm Al, 200μm Al, 100μm Al และ 12.5μm Al ระบบภายในสุญญากาศ หน้ากากตัวทำขนานมีขนาดช่อง 3.4 เซนติเมตร ตัวทำขนานเป็นแบบ Fine 0.15° และ Medium 0.46° ผลึกกระจายความยาวคลื่น มี 4 ชนิด คือ LiF(200), LiF(220), OVO-55 และ PET วัดด้วยหัววัดรังสีแบบประกายแสง ใช้หัววัดโซเดียมไอโอไดด์ที่มีธอลเลียมเจือปนอยู่ [NaI(Tℓ)]

เป็นผลึกประกายแสง และหัววัดแบบบรรจุแก๊สเชิงสัดส่วน และโปรแกรม SPECTRA^{plus} สำหรับวิเคราะห์เชิงกึ่งปริมาณและเชิงปริมาณ

สถานที่ดำเนินงานวิจัย

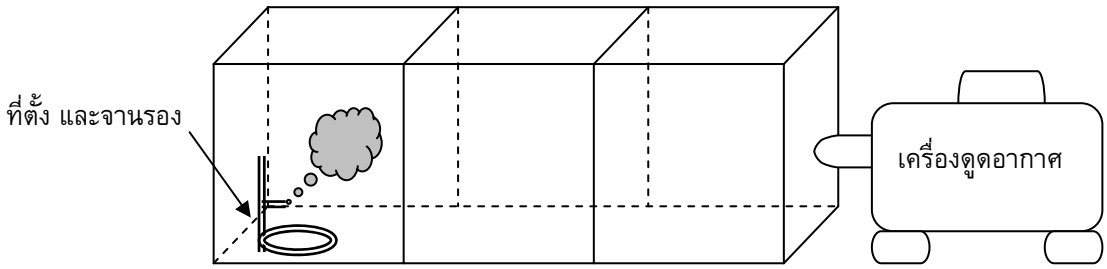
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมสารตัวอย่างที่เป็นควัน

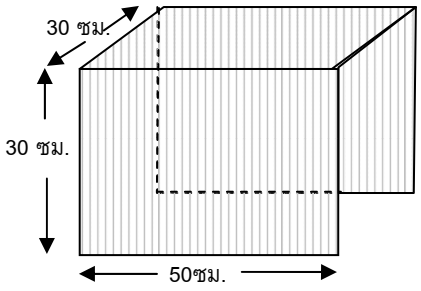
ทำการเก็บตัวอย่างควัน ลงบนกระดาษกรองด้วยเครื่องดูดอากาศโดยแยกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างควัน ลงบนกระดาษกรองด้วยเครื่องดูดอากาศ โดยออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ ดังภาพประกอบ 7



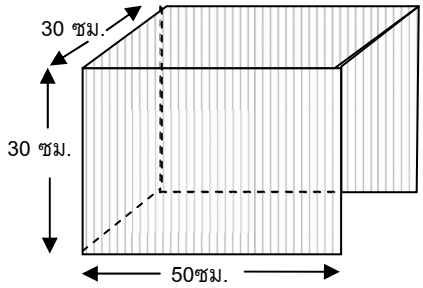
ภาพประกอบ 7 การจัดชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บควันลงบนกระดาษกรอง

นำแผ่นพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 30x50 ตารางเซนติเมตร หนา 0.6 เซนติเมตร 3 แผ่นต่อกันเป็นกล่องที่เปิดหัวท้ายและด้านล่าง ดังภาพประกอบ 8 จำนวน 1 กล่อง

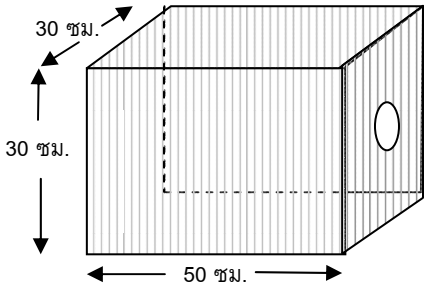


ภาพประกอบ 8 กล่องพลาสติกเปิดหัวท้ายและด้านล่าง

สร้างกล่องพลาสติกคล้ายกัน อีก 2 กล่อง เป็นส่วนหัวและส่วนปลาย โดยเพิ่มแผ่นพลาสติกขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร หนา 0.2 เซนติเมตร กล่องละ 1 แผ่น โดยเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ด้านที่ต่อกับเครื่องดูดอากาศเป็นส่วนหัว ดังภาพประกอบ 9 และ10



ภาพประกอบ 9 กล่องพลาสติกส่วนปลาย



ภาพประกอบ 10 กล่องพลาสติกส่วนหัว

อุปกรณ์สำหรับจับสารตัวอย่าง ประกอบด้วยปากคีบโลหะที่ติดอยู่กับขาตั้ง สูง 10 เซนติเมตร เพื่อยึดสารตัวอย่างให้อยู่กับที่ และใช้จานรองเถ้าของสารตัวอย่างเก็บไว้

1.2 ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมเกี่ยวกับการเตรียมสารตัวอย่างในการทดลองการดูดควัน ดังนี้

1.2.1 เปลี่ยนปริมาณ สารตัวอย่างควัน เพื่อให้มีปริมาณที่เหมาะสมต่อการนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางด้าน WDXRFS โดยเปลี่ยน จำนวนบุหรี่ เป็น 1 มวน 2 มวน และ 3 มวน ตามลำดับ ที่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศ เป็น 1.00 เมตร โดยใช้กล่องพลาสติก 2 กล่องต่อกัน และกำหนดระยะห่างระหว่างกล่องพลาสติกทั้งสองเป็น 0.1 เซนติเมตร

1.2.2 เปลี่ยนระยะห่างระหว่าง แหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศ จาก 1.00 เมตร เป็น 1.50 เมตร โดยใช้กล่องพลาสติก 3 กล่องต่อกัน และกำหนดระยะห่างระหว่างรอยต่อของกล่องพลาสติกเป็น 0.1 เซนติเมตร เพื่อหาระยะห่างที่เหมาะสมในการดูดควันโดยได้รับผลกระทบจากการที่ควันลอดออกไปจากช่องว่างระหว่างกล่องพลาสติกน้อยที่สุด โดยกรณีนี้ใช้ยากันยุงเป็นสารตัวอย่างในการทดลอง

1.2.3 เปลี่ยนชนิด ของสารตัวอย่างควัน จากบุหรี่ เป็นธูปไร้ควัน ธูปธรรมดาสีทอง ธูปธรรมดาสีเงิน ธูปธรรมดากลิ่นหอมสีดำ เพื่อให้มีความหลากหลายของสารตัวอย่าง โดยใช้ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศที่เหมาะสม

2. การวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่าง

2.1 ศึกษาแผ่นรองด้านหลังสารตัวอย่างที่เหมาะสมเพื่อการวัดชิ้นตัวอย่างที่เป็นกระดาษกรองโดยนำกระดาษกรองเปล่า 4 ชิ้น ไปวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น และเลือกใช้แผ่นรอง 4 แบบเป็นแผ่นรองด้านหลังของกระดาษกรอง ดังนี้

- กระดาษแข็ง หนา 0.5 เซนติเมตร
- แผ่นอะคริลิก หนา 0.5 เซนติเมตร

- กรดบอริก (H_3BO_3) อัดเม็ด หนา 0.4 เซนติเมตร
- ไม่มีแผ่นรองด้านหลังแต่ใช้ดินน้ำมันยึดติดกระดาษกรองไว้ที่ขอบภาชนะสำหรับวางสารตัวอย่าง (Sample Holder)

ตั้งค่าพารามิเตอร์ของระบบให้เหมาะสมและเหมือนกันทั้ง 4 แบบ โดยใช้โปรแกรม Semiquant ซึ่งใช้เวลาวัดประมาณ 20 นาที ต่อ 1 ชิ้นตัวอย่าง ทำการวัดจนครบทุกชิ้น เพื่อตรวจสอบว่าบนกระดาษกรองมีปริมาณธาตุชนิดใดบ้างพร้อมสังเกตค่าการกระเจิงคอมป์ตัน (Compton Scattering) สำหรับการเลือกแผ่นรองด้านหลังที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการวัดชิ้นตัวอย่างต่อไป

2.2 วัดชิ้นตัวอย่างควันบุหรี่ ควันธูปไร้ควัน ควันธูปธรรมดาสีทอง ควันธูปธรรมดาสีเงิน และควันธูปธรรมดากลิ่นหอมสีดำ ที่เตรียมด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมตามหัวข้อ 1.2 ด้วย WDXRFS โดยใช้แผ่นรองด้านหลังที่เหมาะสม

2.3 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPECTRA^{plus} โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุจากค่าความเข้มรังสีเอกซ์ที่วาวออกมาจากธาตุแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง พร้อมทั้งหาค่าขีดจำกัดขั้นต่ำของการวัด (LLD) ของแต่ละธาตุ

3. การหาค่าความเที่ยงตรง (Precision)

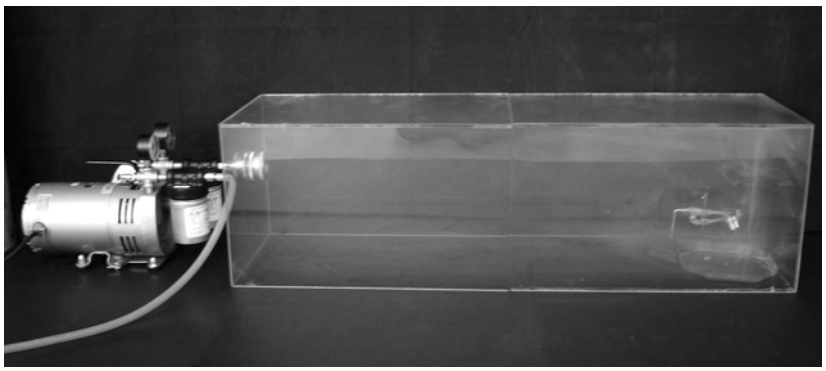
ทำการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างควันซ้ำชนิดละ 3 ครั้ง โดยใช้ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศ และเลือกใช้แผ่นรองด้านหลังที่เหมาะสม พร้อมทั้งหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อใช้พิจารณาความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

นอกจากนี้ นำเถ้า (Ash) ของสารตัวอย่างควัน ได้แก่ เถ้าบุหรี่ เถ้าธูปไร้ควัน เถ้าธูปธรรมดาสีทอง เถ้าธูปธรรมดาสีเงิน และเถ้าธูปธรรมดากลิ่นหอมสีดำ มาอัดเม็ด ชนิดละ 2 เม็ด โดยผสมกับ กรดบอริก (H_3BO_3) ใช้อัตราส่วนของเถ้าสารตัวอย่างควันกับกรดบอริกเป็น 95:5 จากนั้นนำไปวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วย WDXRFS เพื่อศึกษาธาตุต่างๆ ของวัสดุที่นำมาประกอบเป็นสารตัวอย่างเหล่านั้น โดยพิจารณาผลการทดลองร่วมกับควันที่วิเคราะห์ได้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองเตรียมสารตัวอย่าง

1. ชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างควันลงบนกระดาษกรองด้วยเครื่องดูดอากาศที่สร้างขึ้นตามการออกแบบในหัวข้อ 1.1 บทที่ 3 ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 ชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บควันลงบนกระดาษกรองสำหรับระยะ 1.0 เมตร

2. ผลการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมเกี่ยวกับการเตรียมสารตัวอย่างในการทดลอง

2.1 ผลการศึกษาปริมาณสารตัวอย่างควันที่เหมาะสม

เพื่อศึกษาปริมาณสารตัวอย่างแต่ละชนิดที่เหมาะสมต่อการทดลองวัดและวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางด้าน WDXRF ได้ทำการทดลองเตรียมสารตัวอย่างควันบุหรี่ในปริมาณที่ต่างกัน โดยเลือกใช้ปริมาณบุหรี่เป็น 1 มวน 2 มวน และ 3 มวน ตามลำดับ ที่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศ 1.0 เมตร ปรากฏได้ผลการทดลองแสดงในตาราง 1 จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุทั้งหลายยกเว้น กำมะถัน และคลอรีน มีปริมาณลดลงในชิ้นตัวอย่างที่มีการดูดควันบุหรี่มากขึ้น ขณะที่ปริมาณธาตุกำมะถัน และคลอรีน ที่วิเคราะห์ได้จากชิ้นตัวอย่างควันบุหรี่ 1 มวน จะมีปริมาณน้อยกว่า ชิ้นตัวอย่างควันบุหรี่ 2 มวน และ 3 มวน แต่ปริมาณธาตุกำมะถัน และคลอรีน ที่วิเคราะห์ได้โดยชิ้นตัวอย่างควันบุหรี่ 2 มวน และ 3 มวน ไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงว่าธาตุอื่นๆ ยกเว้น กำมะถัน และคลอรีน เป็นธาตุที่ไม่น่าจะมีในควันบุหรี่ แต่เป็นธาตุที่ประกอบอยู่ในกระดาษกรองซึ่งผลการวิเคราะห์จะมีค่าลดลงเมื่อฟิล์มของควันบุหรี่หนาขึ้น เนื่องจากสารตัวอย่างควันที่เตรียมมีลักษณะเป็นแผ่นบางแบบฟิล์มบาง ทำให้รังสีเอกซ์สามารถทะลุผ่านไปยังแผ่นรองรับที่เป็นกระดาษกรองด้านหลังของสารตัวอย่างได้และเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากธาตุในกระดาษกรองมาสู่หัววัดมีค่าลดลงเนื่องจากถูกดูดกลืนด้วยฟิล์มตัวอย่างไปบ้างจึงทำให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในแผ่นกระดาษกรองมีค่าลดลงเมื่อฟิล์มมีความหนามากขึ้น ดังนั้นเพื่อไม่ให้เป็นการสิ้นเปลือง และ

หลีกเลี่ยงผลกระทบจากความเหนียวของทาร์ในควันที่ดูดติดบนกระดาษกรองทำให้การดูดยุ่งยากขึ้น เมื่อมีปริมาณทาร์มากขึ้น จึงเลือกใช้ปริมาณบุหรี่ 2 มวน ในการทดลองต่อไป และในทำนองเดียวกันได้พิจารณาปริมาณที่เหมาะสมของสารตัวอย่างควันชนิดอื่นๆ ด้วยหลักการที่ให้มีปริมาณควันเพียงพอต่อการวัดและวิเคราะห์ได้ถูกต้อง ไม่สิ้นเปลืองเกินไปและดูดควันได้ง่ายภายใต้ชุดทดลองนี้ จึงกำหนดปริมาณที่เหมาะสมของสารตัวอย่างแต่ละชนิดดังนี้

- บุหรี่ จำนวน 2 มวน
- ธูปไร้ควัน จำนวน 5 ดอก
- ธูปธรรมดาสีทอง จำนวน 5 ดอก
- ธูปธรรมดาสีเงิน จำนวน 5 ดอก
- ธูปธรรมดากลิ่นหอมสีดำ จำนวน 5 ดอก

2.2 การศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศที่เหมาะสม

การทดลองที่เปลี่ยนระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศเป็น 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร ได้ใช้กล่องพลาสติก 2 กล่องต่อกัน และกล่องพลาสติก 3 กล่องต่อกัน ตามลำดับ ในกรณีนี้ได้เลือกสารตัวอย่างควันของยากันยุงซึ่งมีการฟุ้งกระจายปานกลางเมื่อเทียบกับสารตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ โดยทำการตัดยากันยุงเป็นท่อน เมื่อจุดไฟแล้วแต่ละท่อนจะอยู่ได้ประมาณ 1 ชั่วโมง การทดลองทั้ง 2 ระยะได้ใช้ปริมาณและเตรียมยากันยุงเหมือนกัน ผลการวัดและวิเคราะห์แสดงในตาราง 2 จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้จากการเตรียมสารตัวอย่างควันที่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศ 1.5 เมตร สำหรับธาตุทั้งหลายของแผ่นกระดาษกรองมีปริมาณมากขึ้น ขณะที่ปริมาณธาตุในควัน คือ กำมะถัน และ คลอรีน มีปริมาณลดลงกว่าการเตรียมสารตัวอย่างควันที่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศ 1.0 เมตร เนื่องจากในการเตรียมสารตัวอย่างควันที่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศ 1.5 เมตร ต้องใช้กล่องพลาสติกต่อกัน 3 กล่อง ทำให้มีรอยต่อระหว่างกล่องหลายจุด ส่งผลให้มีควันบางส่วนเล็ดลอดออกจากกล่องพลาสติกได้มากขึ้น ทำให้ควันที่เก็บลงบนกระดาษกรองมีปริมาณน้อยลง ผู้วิจัยจึงเลือกทำการทดลองที่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศเป็น 1.0 เมตร ตลอดทุกการทดลอง โดยควันที่เก็บลงบนกระดาษกรองมีความหนาแน่น ประมาณ 0.011 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อัตราการดูดของเครื่องดูดอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 4.7-0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาในการเก็บควันลงบนกระดาษกรองอยู่ในช่วง 45-90 นาทีต่อชิ้นตัวอย่าง

ตาราง 1 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควันบุหรี่ ที่เก็บลงบนกระดาษกรองจำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS แต่ละชิ้นตัวอย่างใช้ปริมาณบุหรี่ที่ต่างกัน ได้แก่ 1 มวน 2 มวน และ 3 มวน ตามลำดับ โดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)		
	ควันบุหรี่ 1 มวน	ควันบุหรี่ 2 มวน	ควันบุหรี่ 3 มวน
Na	6.180	5.010	4.330
Mg	0.110	0.080	0.084
Al	1.700	1.440	1.310
Si	16.300	14.200	13.000
S	0.156	0.201	0.215
Cl	0.246	0.351	0.346
K	1.670	1.490	1.450
Ca	1.510	1.240	1.190
Mn	0.003	0.003	0.003
Fe	0.056	0.051	0.050
Zn	0.728	0.662	0.647
Sr	0.004	-*	0.005
Zr	0.004	-*	0.007
Ba	2.620	2.260	2.210

หมายเหตุ

* ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุนี้ได้ในชิ้นตัวอย่างนี้

ความหนาแน่นของสารตัวอย่างบนกระดาษกรองสำหรับ ควันบุหรี่ 1 มวน ควันบุหรี่ 2 มวน และควันบุหรี่ 3 มวน คือ 0.004, 0.007 และ 0.010 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

แผ่นรองด้านหลังของชิ้นตัวอย่างที่ใช้ คือ กระดาษแข็ง

ตาราง 2 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควันยากันยุง ที่เก็บลงบนกระดาษกรองจำนวน 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยแต่ละชิ้นตัวอย่างใช้ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันกับเครื่องดูดอากาศ เป็น 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร ตามลำดับ โดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)	
	ที่ระยะห่างระหว่างกัน 1.0 เมตร	ที่ระยะห่างระหว่างกัน 1.5 เมตร
Na	2.210	2.620
Mg	0.035	0.060
Al	0.754	1.030
Si	7.500	10.000
S	0.092	0.075
Cl	0.197	0.172
K	0.936	1.250
Ca	0.392	0.566
Mn	0.002	0.004
Fe	0.102	0.151
Zn	0.934	1.340
Sr	-*	0.008
Zr	0.010	0.012
Ba	1.340	1.900

หมายเหตุ

* ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุนี้ได้ในชิ้นตัวอย่างนี้

ความหนาแน่นของสารตัวอย่างบนกระดาษกรองสำหรับ ที่ระยะห่าง 1.0 เมตร และ ที่ระยะห่าง 1.5 เมตร คือ 0.008 และ 0.008 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ไม่มีแผ่นรองด้านหลังแต่ใช้ดินน้ำมันกดที่ขอบกระดาษกรองให้ติดกับภาชนะสำหรับวางชิ้นตัวอย่าง

ผลการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่าง

ในการวัดสารตัวอย่างควันบนกระดาษกรอง จำเป็นต้องมีการศึกษาแผ่นรองด้านหลังสารตัวอย่างที่เหมาะสม เนื่องจากกระดาษกรองมีความบางทำให้ในขณะทำการวัดอาจมีรังสีเอกซ์บางส่วนทะลุผ่านกระดาษกรองไปชนกับแผ่นรองด้านหลังสารตัวอย่างได้ส่งผลให้การวัดผิดพลาดไป จึงจำเป็นต้องศึกษาแผ่นรองด้านหลังสารตัวอย่างที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาแผ่นรองด้านหลัง 4 แบบ ได้แก่ กระดาษแข็ง หนา 0.5 เซนติเมตร แผ่นอะคริลิก หนา 0.5 เซนติเมตร กรดบอริกอัดเม็ด หนา 0.4 เซนติเมตร และ ไม่มีแผ่นรองด้านหลังแต่ใช้ดินน้ำมันยึดกระดาษกรองติดที่ขอบภาชนะสำหรับวางสารตัวอย่างในการวัดและวิเคราะห์แผ่นกระดาษกรองเปล่า

ภาพประกอบ 12-15 แสดงสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ของกระดาษกรองเปล่าที่ใช้แผ่นรองด้านหลังแต่ละชนิด โดยจะเห็นได้ว่า แผ่นรองด้านหลังที่เป็น กระดาษแข็ง แผ่นอะคริลิก และกรดบอริกอัดเม็ด มีการกระเจิงคอมป์ตัน จากธาตุเบาในแผ่นรองด้านหลังที่สูงมาก ทำให้การวิเคราะห์ธาตุมีความน่าเชื่อถือน้อยลง ส่วนในกรณีที่ไม่มีแผ่นรองด้านหลัง มีการกระเจิงคอมป์ตันจากธาตุเบาที่ต่ำกว่าทั้ง 3 แบบ ดังกล่าว ทำให้การวิเคราะห์ธาตุมีความน่าเชื่อถือมากกว่า แต่กรณีนี้จะพบ โครเมียม (Cr) เหล็ก (Fe) และ สังกะสี (Zn) จากภาชนะสำหรับวางสารตัวอย่างด้วย นอกจากนี้ยังพบธาตุ สตรอนเทียม (Sr) กับ เซอร์โคเนียม (Zr) ในปริมาณที่สูงกว่าการใช้แผ่นรองด้านหลังชนิดอื่น เนื่องจากเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากธาตุ สตรอนเทียม กับ เซอร์โคเนียม ในกระดาษกรองเปล่าอยู่ในช่วงที่มีการกระเจิงคอมป์ตันที่สูง เมื่อใช้แผ่นรองด้านหลังเป็นกระดาษแข็ง แผ่นอะคริลิกและกรดบอริกอัดเม็ด ทำให้ผลการวิเคราะห์สำหรับ 2 ธาตุนี้ ผิดพลาดได้ง่าย ดังตาราง 3 ที่แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุในกระดาษกรองเปล่าที่มีแผ่นรองด้านหลังชนิดต่างๆ เมื่อพิจารณาผลการทดลองในตาราง 1 ที่แสดงว่าธาตุทั้ง 5 นี้ ไม่มีผลต่อสารตัวอย่างควันที่ต้องการศึกษา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ ไม่มีแผ่นรองด้านหลังโดยใช้ดินน้ำมันยึดกระดาษกรองติดที่ขอบภาชนะสำหรับวางชิ้นตัวอย่าง

ผลการวัดและวิเคราะห์ ชิ้นตัวอย่างควันแบบต่างๆ คือ ควันบุหรี่ ควันธูปไร้ควัน ควันธูปธรรมดาสีทอง ควันธูปธรรมดาสีเงิน และควันธูปธรรมดากลิ่นหอมสีดำ โดยมีการเตรียมที่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดควันและเครื่องดูดอากาศเป็น 1.0 เมตร และไม่มีแผ่นรองด้านหลังแต่ใช้ดินน้ำมันกดที่ขอบกระดาษกรองให้ติดกับภาชนะสำหรับวางชิ้นตัวอย่าง โดยทำการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างควันชนิดละ 3 ชิ้นตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือในการวัดและวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างควัน ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS ผลการทดลองแสดงดังตาราง 4-8 โดยไม่รวมปริมาณของธาตุที่พบในกระดาษกรองเปล่าตามตาราง 3 ซึ่งปริมาณธาตุเหล่านี้ก็ปรากฏผลในการวิเคราะห์สารตัวอย่างควันด้วยแต่มีปริมาณลดลงเล็กน้อย แสดงว่าธาตุดังกล่าวไม่มีในสารตัวอย่างควันที่วิเคราะห์ ได้เปรียบเทียบผลการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างควันทั้ง 5 ชนิด ในตาราง 9 และแสดงค่า LLD ของแต่ละธาตุที่เป็นปริมาณต่ำสุดของธาตุนั้นๆ ที่จะสามารถตรวจวัดได้โดยเครื่องมือที่ใช้นี้ ภาพประกอบ 16-20 แสดงสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่าง

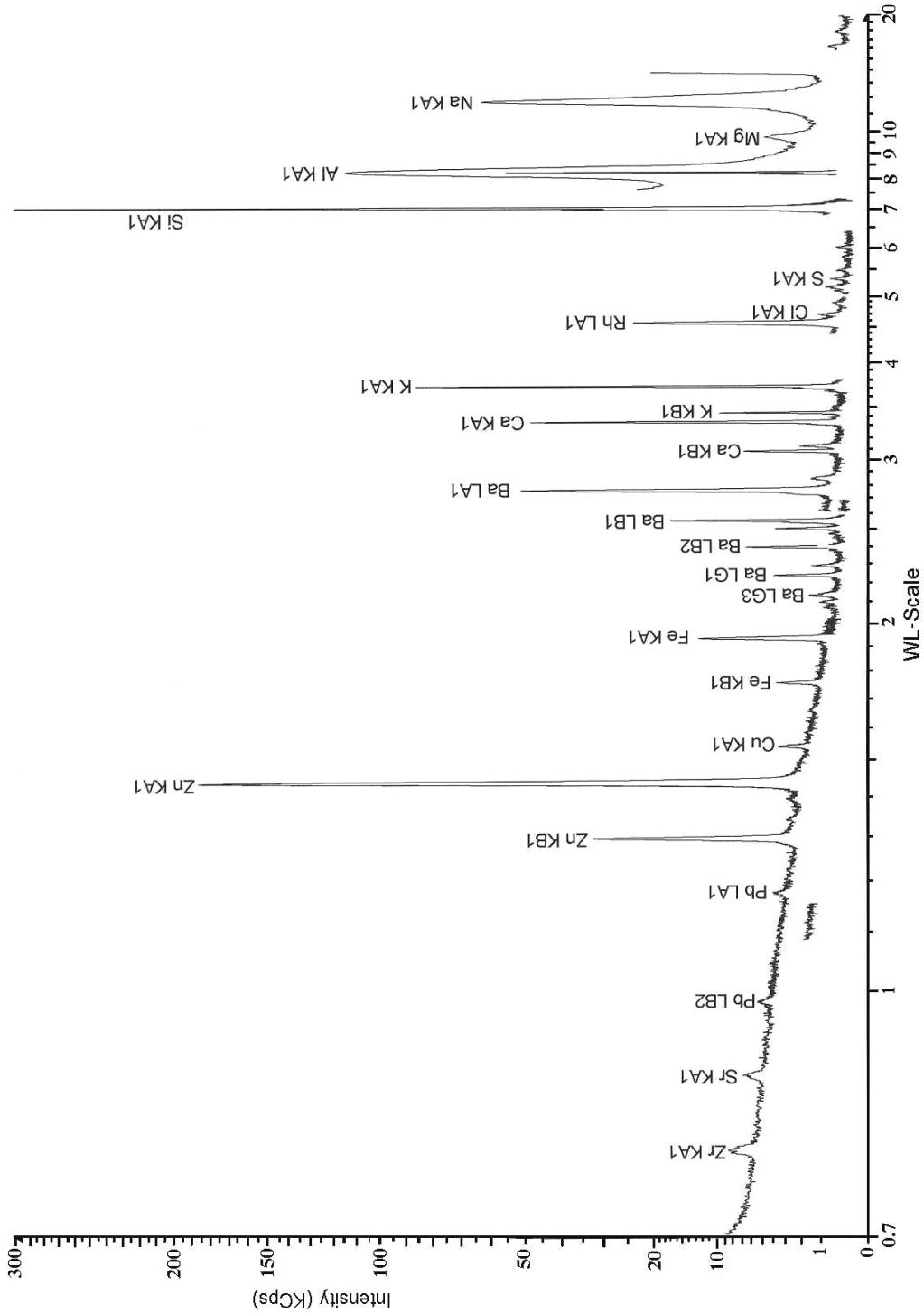
ควันแต่ละชนิด และเนื่องจากในขณะที่ทำการดูดควันลงบนกระดาษกรองอาจมีกำมะถัน ที่มาจากการเผาไหม้ของน้ำมันจากเครื่องดูดอากาศปะปนอยู่ด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการวัดและวิเคราะห์อากาศในชุดทดลองโดยไม่มีควัน ซึ่งเตรียมบนกระดาษกรองโดยจัดชุดทดลองเช่นเดียวกับกรณีที่ทำการดูดควันสารตัวอย่าง ทำการดูดอากาศเปล่านาน 1 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นตัวอย่างไปวัดและวิเคราะห์ด้วย WDXRFS พบว่า ในชิ้นตัวอย่างอากาศที่ไม่มีควันมีปริมาณกำมะถัน 0.027 % และ คลอรีน 0.041%

สำหรับการวัดและวิเคราะห์เถ้าสารตัวอย่างควันที่เตรียมแบบอัดเม็ด ได้นำเถ้าของสารตัวอย่างควันทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ เถ้าบุหรี่ เถ้าธูปไร้ควัน เถ้าธูปสีทอง เถ้าธูปสีเงิน และเถ้าธูปสีดำที่เหลืออยู่ภายหลังจากการดูดควันไปแล้วมาผสมกับกรดบอริกในอัตรา 95:5 แล้วนำไปอัดเม็ด ผลการวัดและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS แสดงดังตาราง 10-14 พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างควันทั้ง 5 ชนิด ที่เตรียมแบบอัดเม็ดในตาราง 15 และแสดงสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ของเถ้าสารตัวอย่างควันที่เตรียมแบบอัดเม็ดแต่ละชนิด ดังภาพประกอบ 21-25

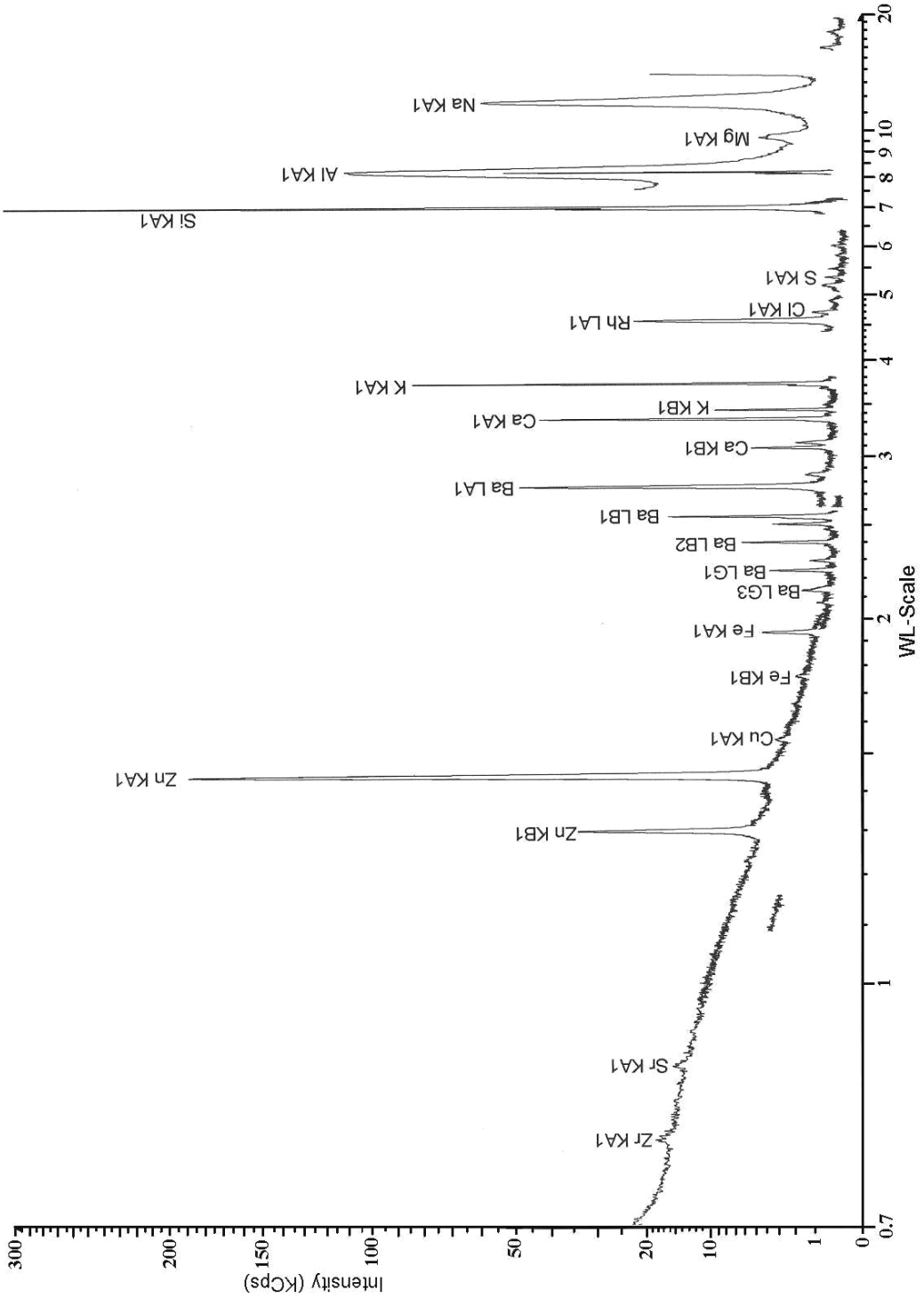
ตาราง 3 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในกระดาษกรองเปล่าจำนวน 4 ชิ้น ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยแต่ละชิ้นใช้แผ่นรองด้านหลังต่างชนิดกัน ได้แก่ กระดาษแข็ง แผ่นอะคริลิก กรดบอริกอัดเม็ด และไม่มีแผ่นรองด้านหลังแต่ใช้ดินน้ำมันกดที่ขอบกระดาษกรองให้ติดกับภาชนะสำหรับวางชิ้นตัวอย่าง ตามลำดับ โดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)			
	กระดาษแข็ง	แผ่นอะคริลิก	กรดบอริกอัดเม็ด	ดินน้ำมันกดที่ขอบ
Na	9.130	9.000	9.490	7.910
Mg	0.114	0.113	0.122	0.120
Al	2.380	2.340	2.450	2.430
Si	22.700	22.200	23.400	23.300
S	0.009	0.008	0.009	0.006
Cl	0.026	0.027	0.028	0.031
K	2.080	2.030	2.150	2.270
Ca	1.150	1.050	1.110	1.210
Cr	-*	-*	-*	0.160
Fe	0.082	0.020	0.024	0.298
Cu	0.010	0.010	0.004	0.004
Zn	0.850	0.830	0.872	2.640
Sr	0.002	0.003	0.002	0.015
Zr	0.002	-*	-*	0.022
Ba	3.170	3.110	2.280	4.020
Pb	0.006	-*	-*	-*

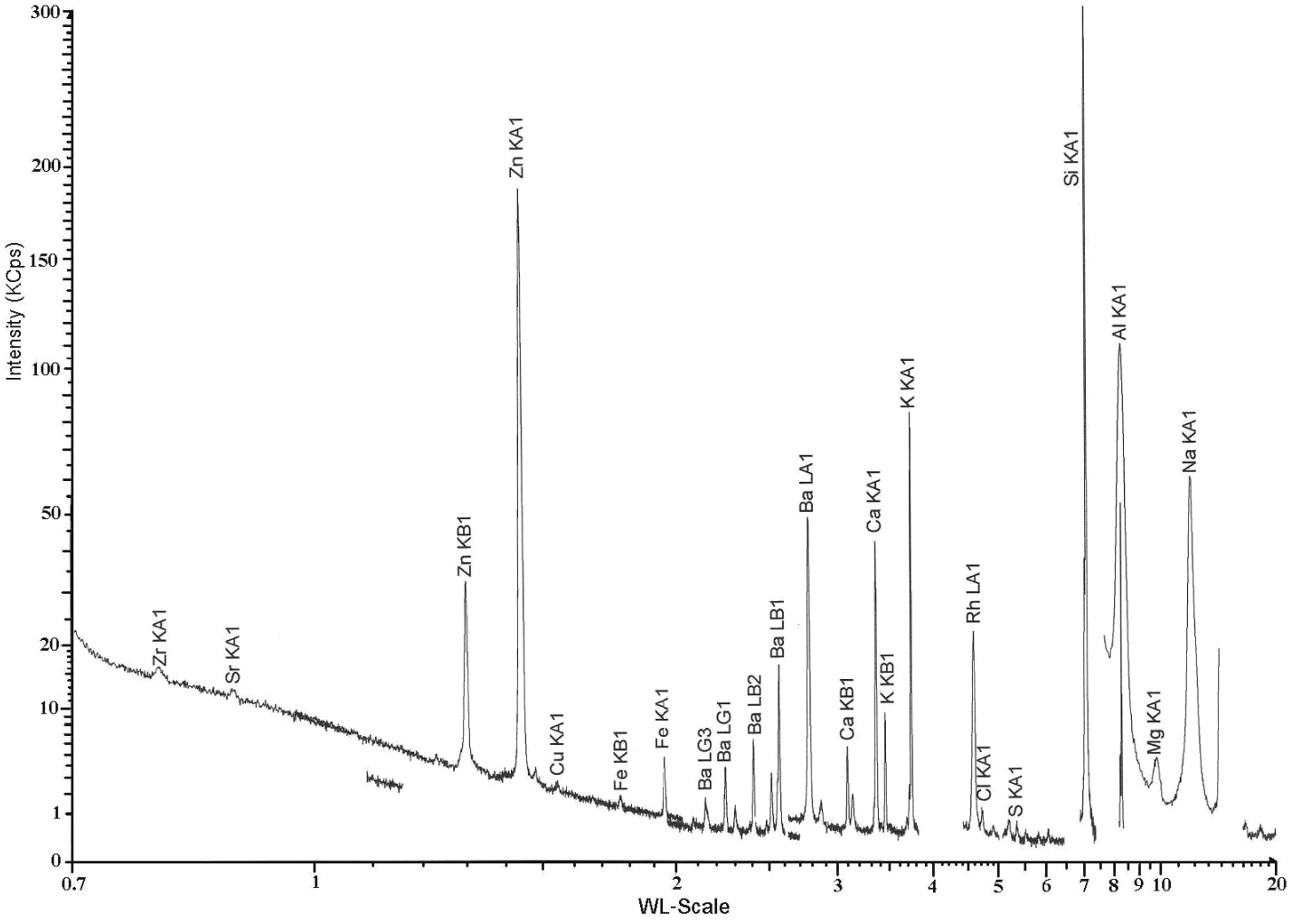
* ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุนี้ได้ในชิ้นตัวอย่างนี้



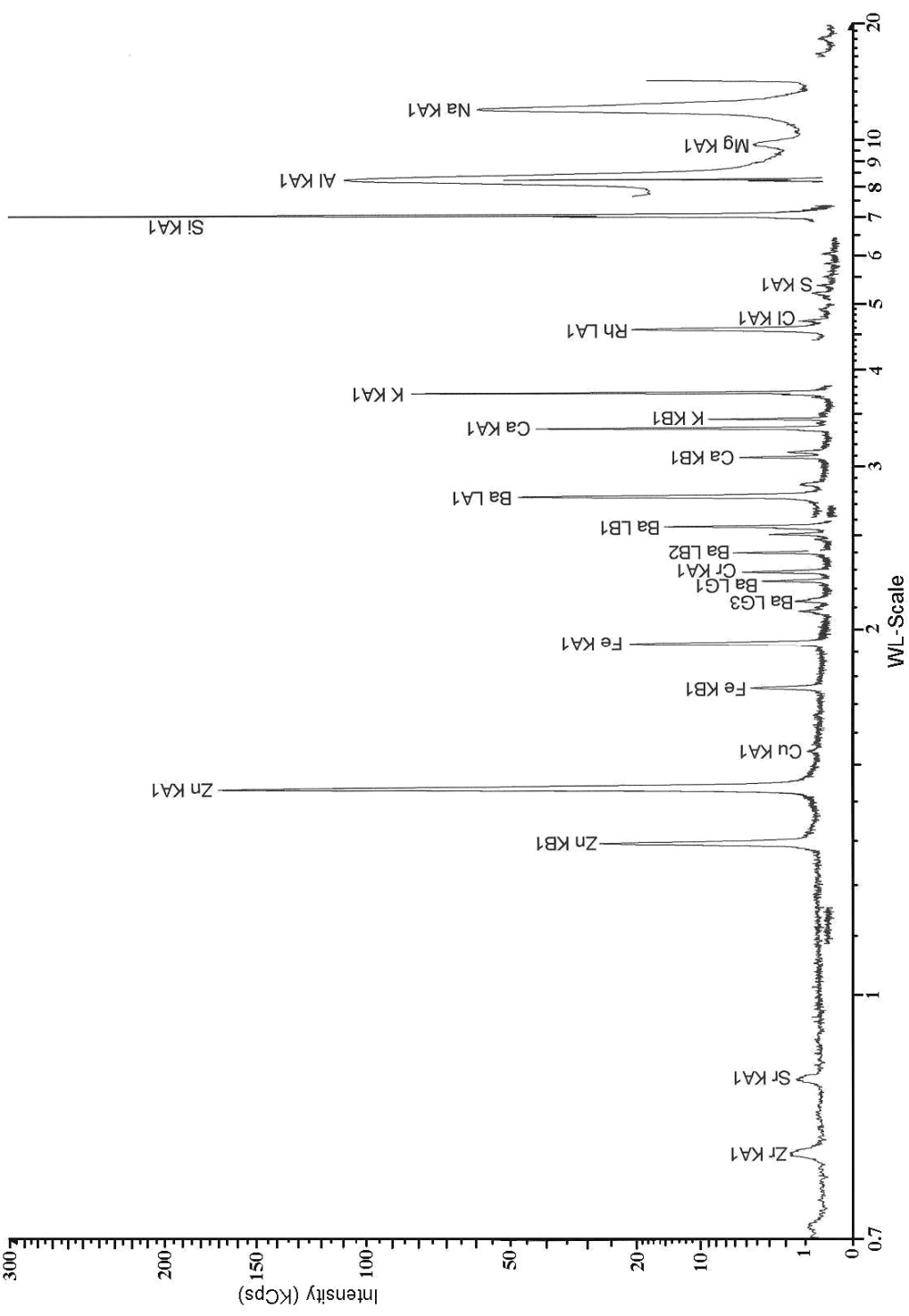
ภาพประกอบ 12 สเปกตรัมการวางรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วางจากกระดาษกรองเปล่าที่มีแผ่นรองด้านหลังเป็นกระดาษแข็ง



ภาพประกอบ 13 สเปกตรัมการวางรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับ
ความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วางจากกระดาษกรองเปล่าที่มีแผ่นรองด้านหลังเป็นแผ่นอะคริลิก



ภาพประกอบ 14 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากกระดาษกรองเปล่าที่มีแผ่นรองด้านหลังเป็นกรดบอริกอัดเม็ด



ภาพประกอบ 15 สเปกตรัมการวางรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์กับพลังงานของเส้นรังสีเอกซ์ที่วางจากกระดาษกรองเปล่าที่ไม่มีแผ่นรองด้านหลังแต่ใช้ฉนวนน้ำมันกดที่ขอบกระดาษกรองให้ติดกับภาชนะสำหรับวางชั้นตัวอย่าง

ตาราง 4 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ควันบุหรี่ บนกระดาษกรอง จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุอื่นๆที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)			ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน* (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
S	0.196	0.202	0.192	0.197 ± 0.005	2.71
Cl	0.262	0.201	0.167	0.210 ± 0.052	24.76

* ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงเป็นผลต่างมากสุดจากค่าเฉลี่ย

RSD คือ Relative Standard Deviation

ค่า RSD ใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ยังไม่ได้ทำการปัดทศนิยม ในการคำนวณ

ตาราง 5 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ควันธูปไร้ควัน บนกระดาษกรอง จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุอื่นๆที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)			ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
S	0.110	0.104	0.111	0.108 ± 0.004	4.00
Cl	2.730	2.150	1.580	2.153 ± 0.577	26.78

ตาราง 6 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ควันธูปสีทอง บนกระดาษกรอง จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุอื่นๆที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)			ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
S	0.038	0.028	0.028	0.031 ± 0.006	20.90
Cl	0.262	0.281	0.283	0.275 ± 0.013	4.84
Ti	0.012	0.013	0.013	0.013 ± 0.001	2.58

ตาราง 7 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ควันธูปสีเงิน บนกระดาษกรอง จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุอื่นๆที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)			ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
S	0.034	0.033	0.034	0.034 ± 0.001	1.99
Cl	0.403	0.278	0280	0.320 ± 0.083	25.81
Ti	0.012	0.010	0.011	0.011 ± 0.001	9.09

ตาราง 8 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ควันธูปสีดำ บนกระดาษกรอง จำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุอื่นๆที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)			ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2	3		
S	0.223	0.261	0.256	0.247 ± 0.024	9.60
Cl	0.449	0.521	0.550	0.507 ± 0.058	11.38

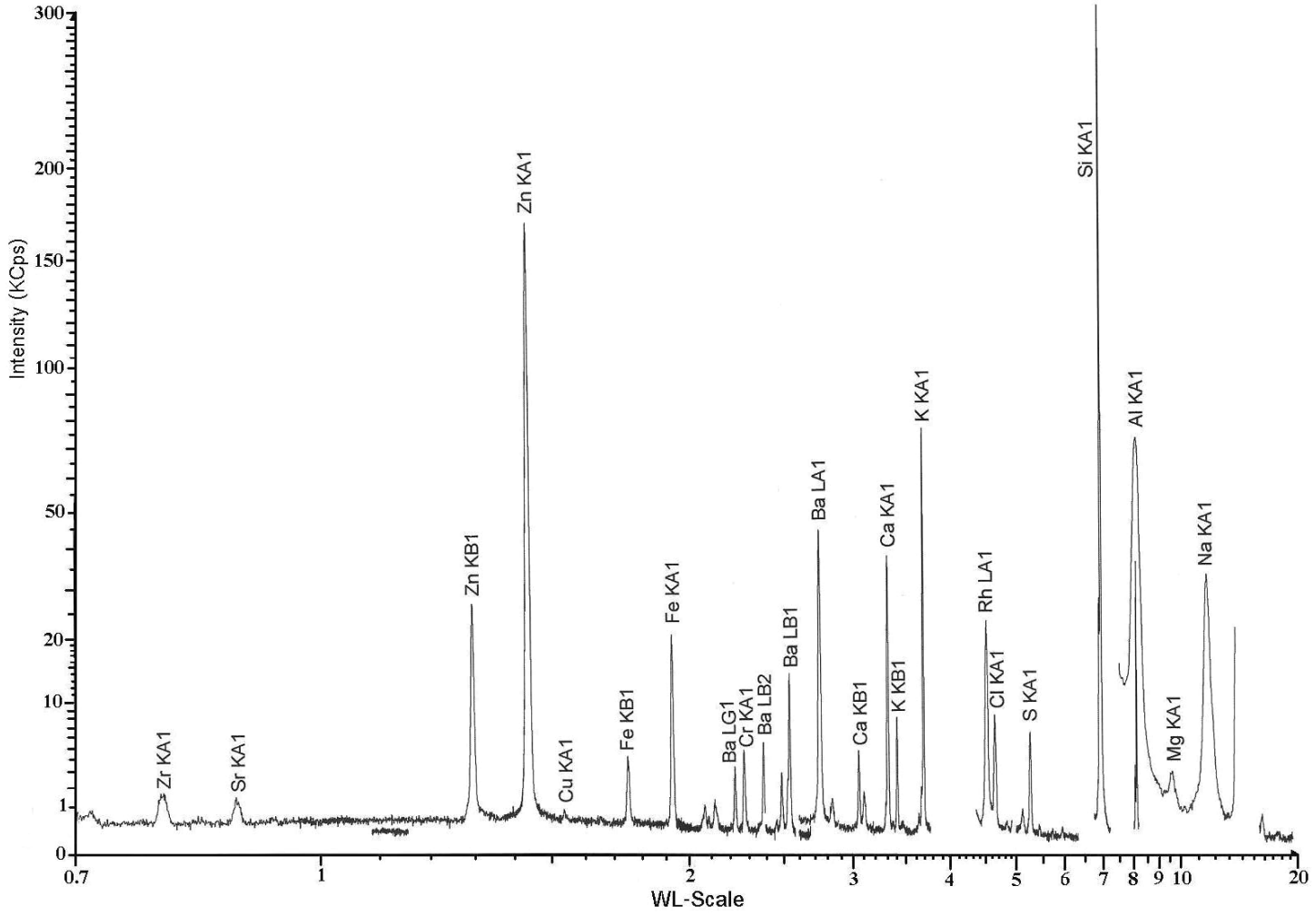
ตาราง 9 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควัน ทั้ง 5 ชนิด บนกระดาษกรอง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของธาตุอื่นๆที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ [LLD] (%)	บุหรี่	ธูปไร้ควัน	ธูปสีทอง	ธูปสีเงิน	ธูปสีดำ
	ค่าเฉลี่ย [RSD] (%)	ค่าเฉลี่ย [RSD] (%)	ค่าเฉลี่ย [RSD] (%)	ค่าเฉลี่ย [RSD] (%)	ค่าเฉลี่ย [RSD] (%)
S [0.003]	0.197 [2.71]	0.108 [4.00]	0.031 [20.90]	0.034 [1.99]	0.247 [9.60]
Cl [0.006]	0.210 [24.76]	2.153 [26.78]	0.275 [4.84]	0.320 [25.81]	0.507 [11.38]
Ti [0.002]	-*	-*	0.013 [2.58]	0.011 [9.09]	-*

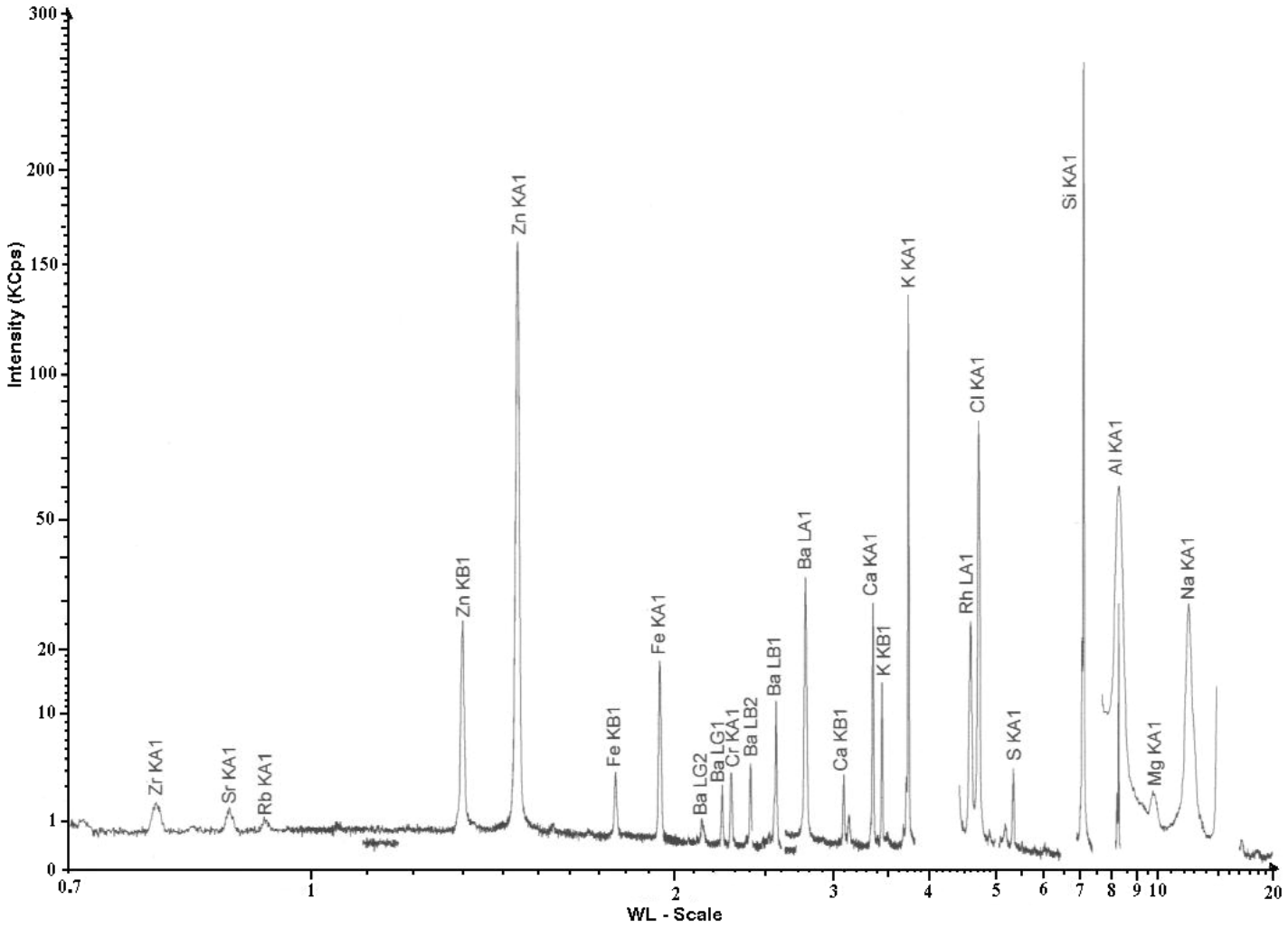
หมายเหตุ

* ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุนี้ได้ในชิ้นตัวอย่างนี้

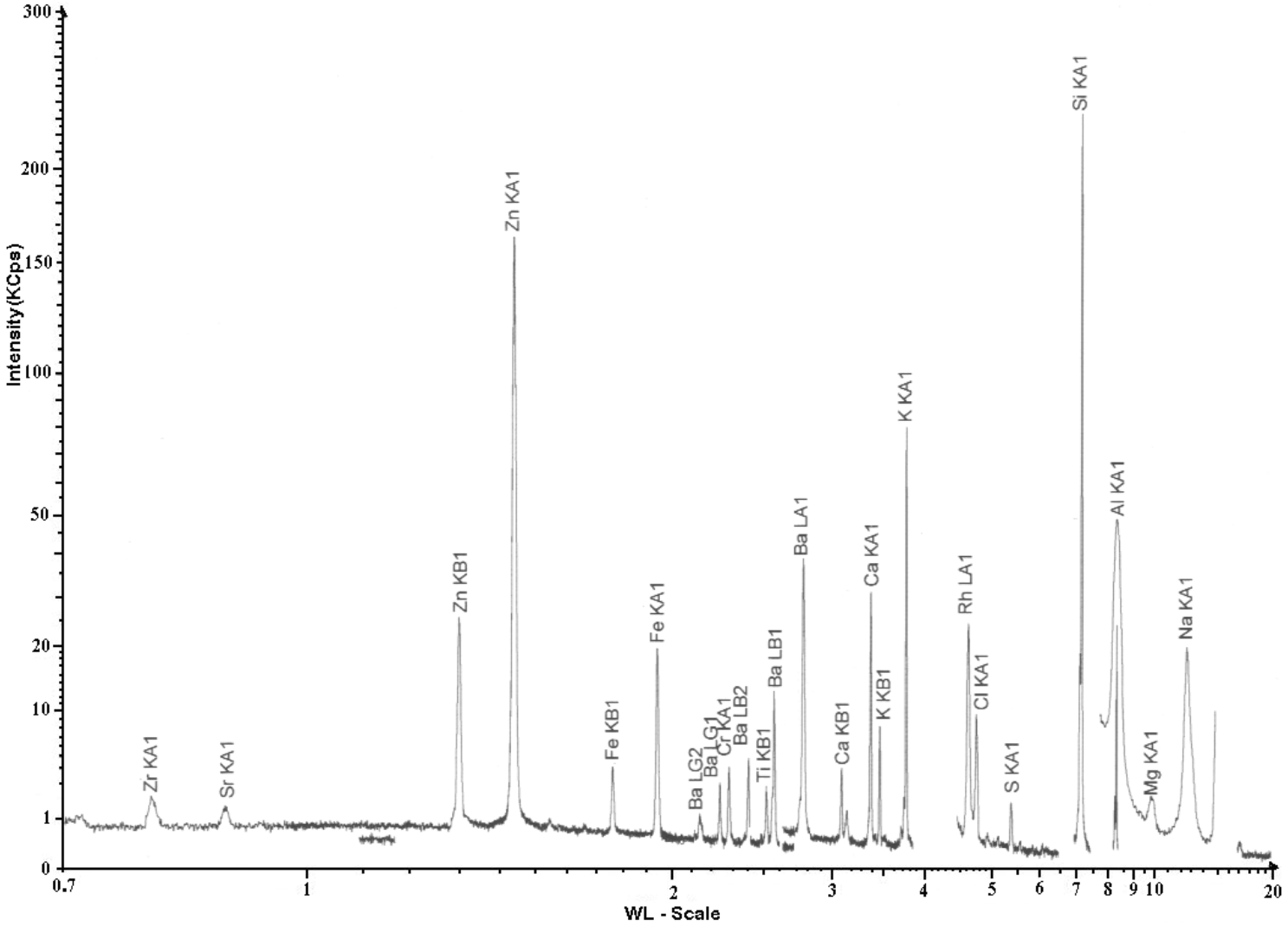
LLD คือ Lower Limit of Detection



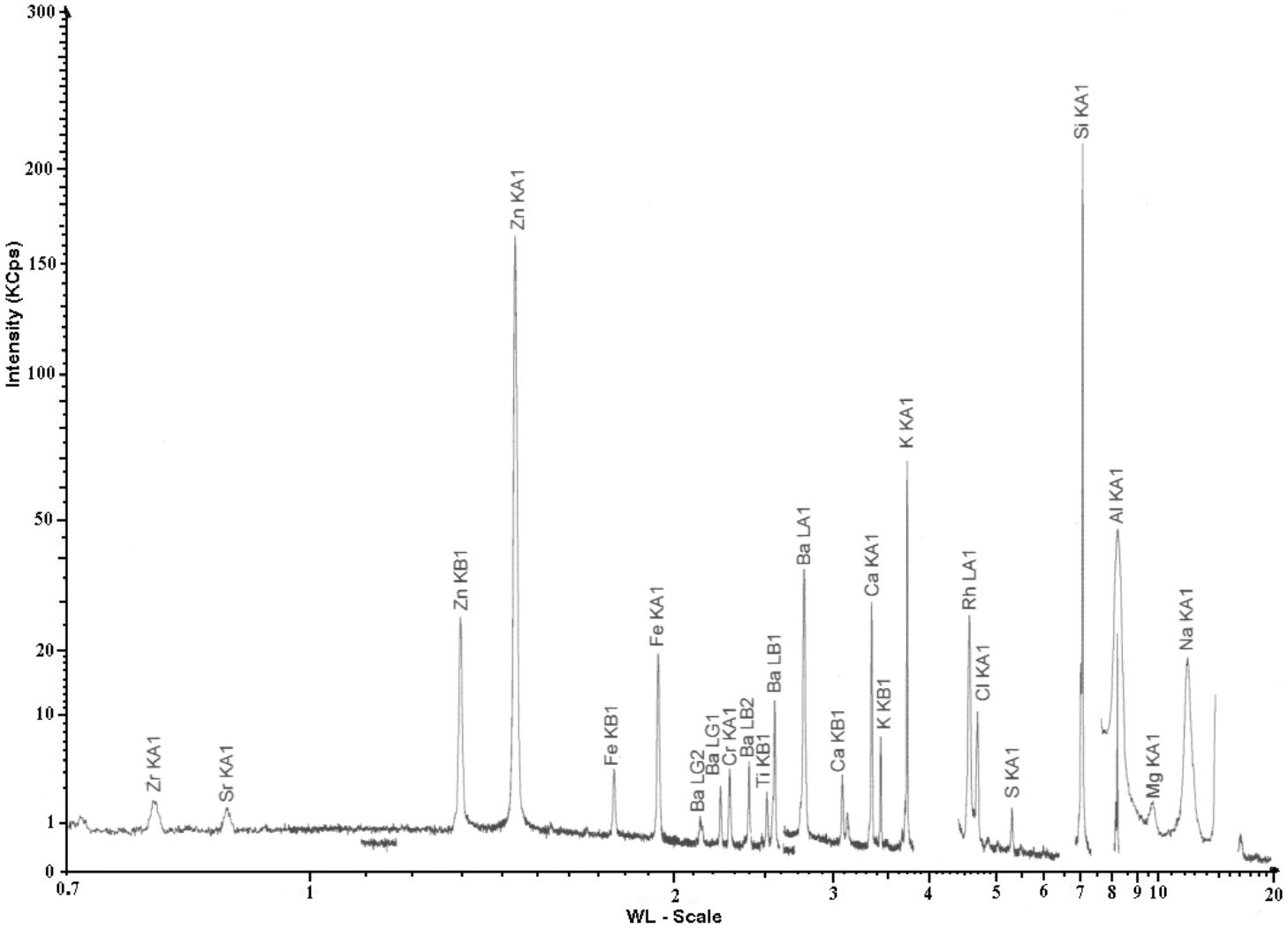
ภาพประกอบ 16 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากสารตัวอย่างควันบุหรี่ บนกระดาษกรอง



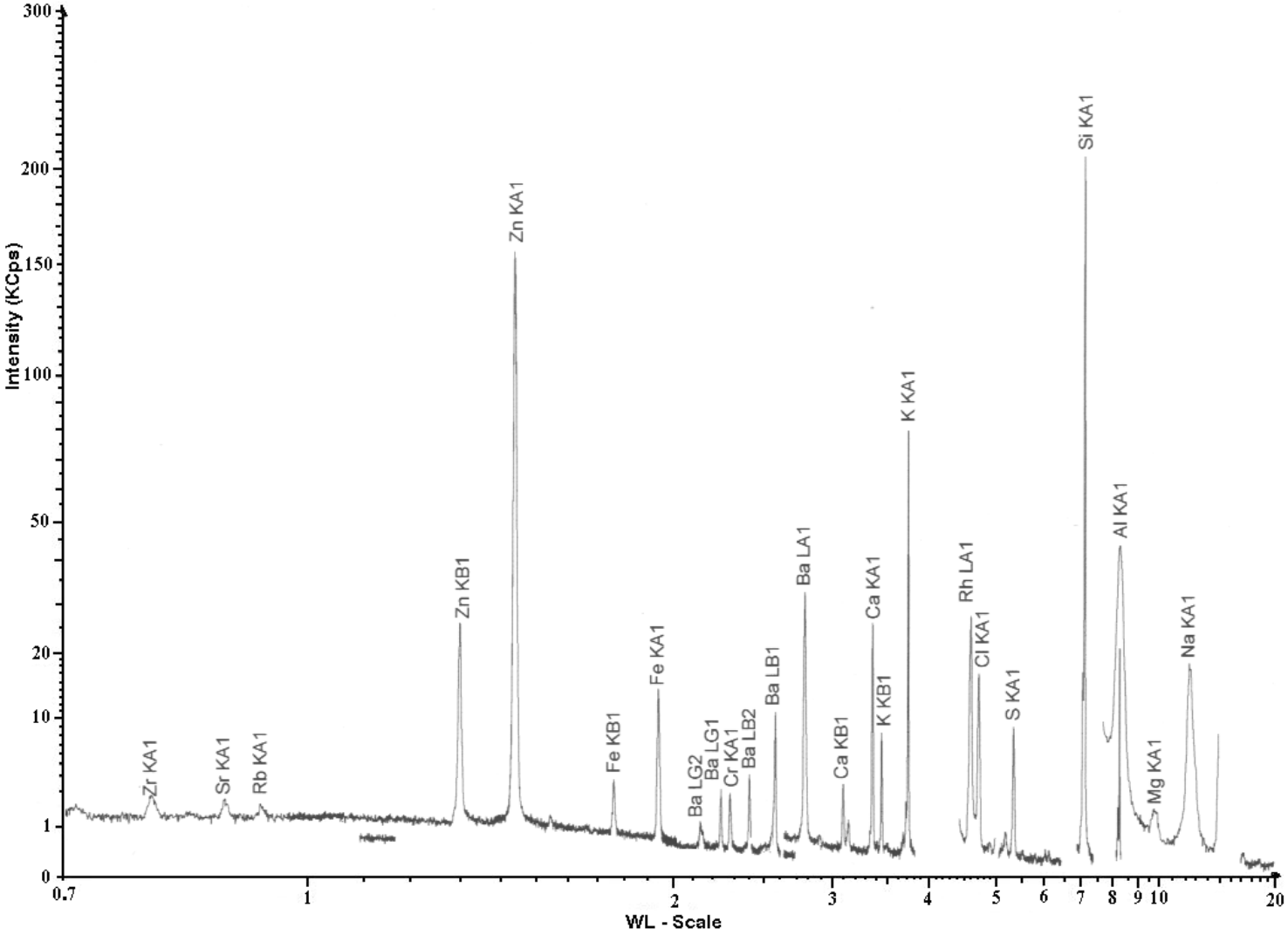
ภาพประกอบ 17 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากสารตัวอย่างควัน ฐูปไร้ควัน บนกระดาษกรอง



ภาพประกอบ 18 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากสารตัวอย่างควัน ธูปสีทอง บนกระดาษกรอง



ภาพประกอบ 19 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากสารตัวอย่างควัน ธูปสีเงิน บนกระดาษกรอง



ภาพประกอบ 20 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากสารตัวอย่างควัน ฐูปสีดำ บนกระดาษกรอง

ตาราง 10 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน บุหรี่ ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2		
Na	0.321	0.325	0.323 ± 0.002	0.62
Mg	3.640	3.660	3.650 ± 0.010	0.27
Al	0.236	0.233	0.235 ± 0.002	0.64
Si	1.550	1.560	1.555 ± 0.005	0.32
P	2.460	2.470	2.465 ± 0.005	0.20
S	5.510	5.520	5.515 ± 0.005	0.09
Cl	5.600	5.640	5.620 ± 0.020	0.36
K	27.500	28.700	28.100 ± 0.600	2.14
Ca	18.700	20.800	19.750 ± 1.050	5.32
Ti	0.034	0.037	0.036 ± 0.002	4.23
Mn	0.109	0.121	0.115 ± 0.006	5.22
Fe	0.220	0.236	0.228 ± 0.008	3.51
Cu	0.017	0.017	0.017 ± 0.001	0.01
Zn	0.032	0.034	0.033 ± 0.001	3.03
Br	0.018	0.021	0.020 ± 0.002	7.69
Rb	0.011	0.012	0.012 ± 0.001	4.35
Sr	0.058	0.059	0.059 ± 0.001	0.85
Zr	0.007	0.008	0.008 ± 0.001	6.67
Ba	0.042	0.047	0.045 ± 0.003	5.62

หมายเหตุ

ค่า RSD ใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ยังไม่ได้ทำการปัดทศนิยม ในการคำนวณ

ตาราง 11 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน ธูปไร้ควัน ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2		
Na	0.330	0.371	0.351 ± 0.021	5.85
Mg	1.010	1.020	1.015 ± 0.005	0.49
Al	0.840	0.870	0.855 ± 0.015	1.75
Si	2.580	2.620	2.600 ± 0.020	0.77
P	0.149	0.145	0.147 ± 0.002	1.36
S	0.280	0.278	0.279 ± 0.001	0.36
Cl	0.242	0.237	0.240 ± 0.003	1.04
K	1.260	1.250	1.255 ± 0.005	0.40
Ca	47.600	48.400	48.000 ± 0.400	0.83
Ti	0.051	0.051	0.051 ± 0.001	0.39
Mn	0.056	0.053	0.055 ± 0.002	2.75
Fe	0.363	0.368	0.366 ± 0.003	0.68
Cu	0.029	0.037	0.033 ± 0.004	12.12
Zn	0.006	0.007	0.007 ± 0.001	7.69
Rb	0.005	0.004	0.004 ± 0.001	6.98
Sr	0.202	0.197	0.200 ± 0.003	1.25
Zr	0.021	0.021	0.021 ± 0.001	1.41
Ba	0.174	0.239	0.207 ± 0.032	15.74

ตาราง 12 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน ธูปสีทอง ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2		
Na	0.140	0.157	0.149 ± 0.009	5.72
Mg	10.000	9.940	9.970 ± 0.030	0.30
Al	0.692	0.694	0.693 ± 0.001	0.14
Si	1.500	1.540	1.520 ± 0.020	1.32
P	0.051	0.054	0.053 ± 0.002	3.32
S	0.116	0.120	0.118 ± 0.002	1.70
Cl	0.082	0.085	0.084 ± 0.001	1.61
K	3.480	3.520	3.500 ± 0.020	0.57
Ca	36.100	37.100	36.600 ± 0.500	1.37
Ti	1.180	1.210	1.195 ± 0.015	1.26
Mn	0.039	0.041	0.040 ± 0.001	2.37
Fe	0.235	0.245	0.240 ± 0.005	2.08
Cu	0.007	0.007	0.007 ± 0.001	0.14
Zn	0.010	0.010	0.010 ± 0.001	0.41
Rb	0.004	0.003	0.004 ± 0.001	5.31
Sr	0.011	0.012	0.011 ± 0.001	4.07

ตาราง 13 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน ธูปสีเงิน ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2		
Na	0.176	0.199	0.188 ± 0.012	6.13
Mg	8.520	10.200	9.360 ± 0.840	8.97
Al	1.290	1.050	1.170 ± 0.120	10.26
Si	1.800	1.820	1.810 ± 0.010	0.55
P	0.067	0.062	0.065 ± 0.003	3.88
S	0.151	0.172	0.162 ± 0.011	6.50
Cl	0.111	0.086	0.099 ± 0.013	12.69
K	3.500	3.720	3.610 ± 0.110	3.05
Ca	33.900	37.400	35.650 ± 1.750	4.91
Ti	2.170	1.870	2.020 ± 0.150	7.43
Mn	0.045	0.038	0.042 ± 0.004	8.43
Fe	0.111	0.151	0.131 ± 0.020	15.27
Cu	0.008	0.011	0.010 ± 0.002	15.79
Zn	0.009	0.010	0.010 ± 0.001	5.26
Rb	0.006	0.005	0.006 ± 0.001	9.09
Sr	0.011	0.012	0.012 ± 0.001	4.35

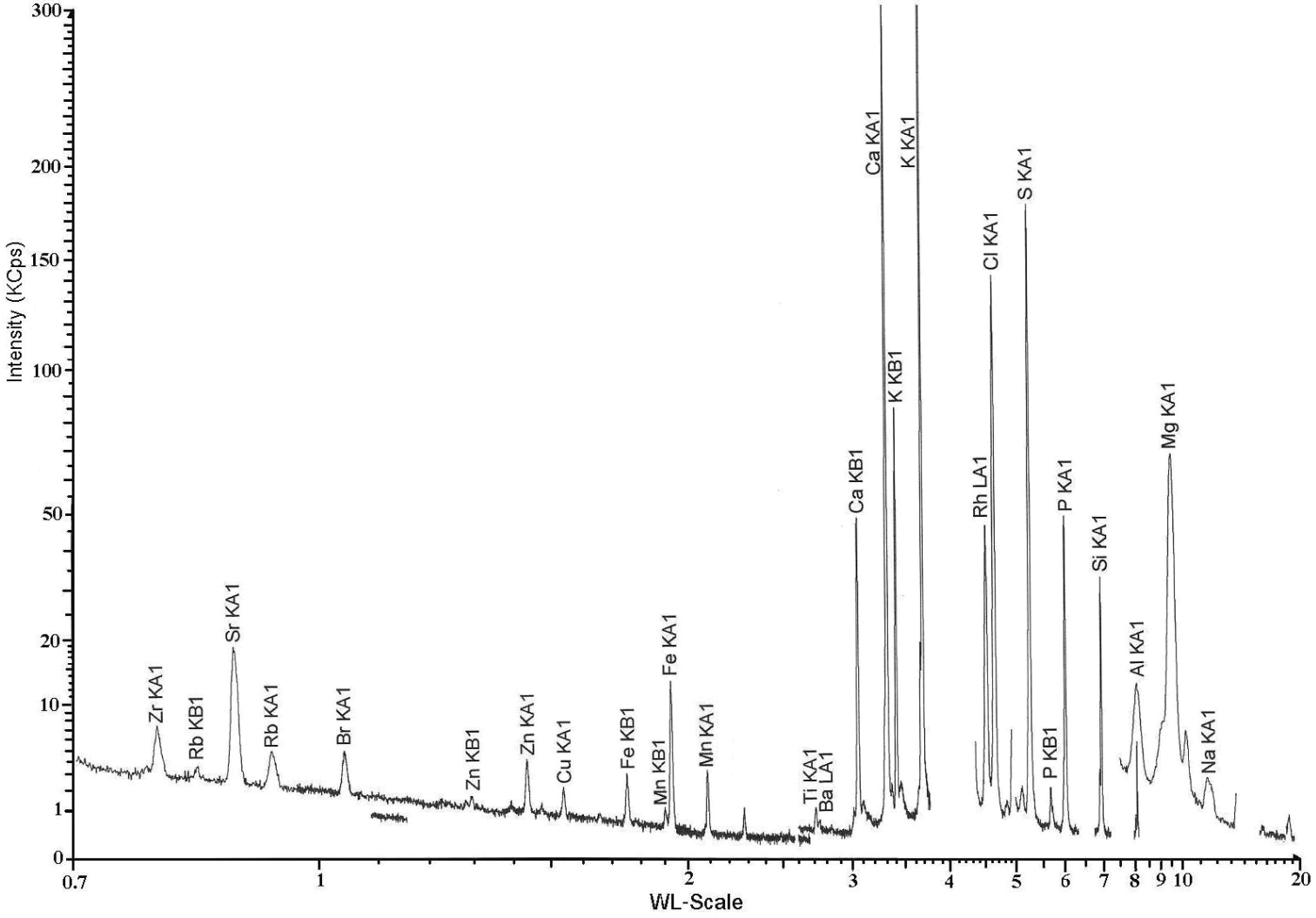
ตาราง 14 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน ธูปสีดำ ที่เตรียมแบบอัดเม็ด 2 ชิ้นตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) (%)
	1	2		
Na	1.080	1.120	1.100 ± 0.020	1.82
Mg	2.200	2.020	2.110 ± 0.090	4.27
Al	1.230	1.220	1.225 ± 0.005	0.41
Si	9.000	10.600	9.800 ± 0.800	8.16
P	1.720	1.790	1.755 ± 0.035	1.99
S	0.915	0.759	0.837 ± 0.078	9.32
Cl	0.464	0.712	0.588 ± 0.124	21.09
K	7.030	7.720	7.375 ± 0.345	4.68
Ca	35.900	26.400	31.150 ± 4.750	15.25
Ti	0.125	0.113	0.119 ± 0.006	5.04
Mn	0.103	0.084	0.094 ± 0.010	10.16
Fe	1.450	1.270	1.360 ± 0.090	6.62
Cu	0.020	0.020	0.020 ± 0.001	0.25
Zn	0.025	0.020	0.023 ± 0.002	11.31
Rb	0.026	0.023	0.025 ± 0.002	6.69
Sr	0.038	0.031	0.035 ± 0.004	10.27
Zr	0.009	0.009	0.009 ± 0.001	2.33
Ba	0.053	0.043	0.048 ± 0.005	10.23

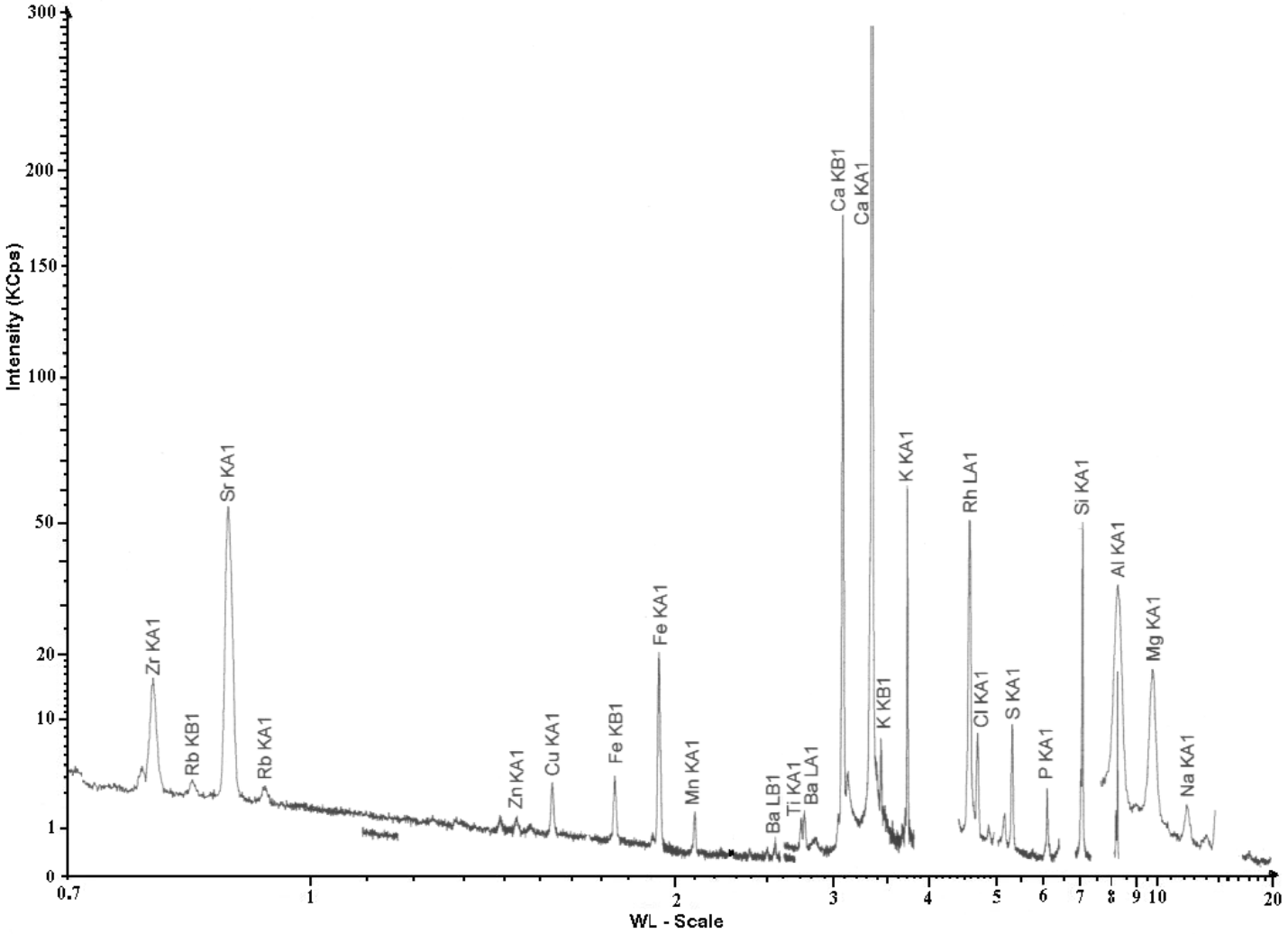
ตาราง 15 แสดงผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน ทั้ง 5 ชนิด ที่เตรียมแบบอัดเม็ด ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัด WDXRFS โดยมีปริมาณของ ธาตุไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าธาตุฟลูออรีน รวมกันเป็น 100%

ธาตุ	บุหรี่	ธูปไร้ควัน	ธูปสีทอง	ธูปสีเงิน	ธูปสีดำ
	ค่าเฉลี่ย [RSD] (%)	ค่าเฉลี่ย [RSD] (%)	ค่าเฉลี่ย [RSD] (%)	ค่าเฉลี่ย [RSD] (%)	ค่าเฉลี่ย [RSD] (%)
Na	0.323 [0.62]	0.351 [5.85]	0.149 [5.72]	0.188 [6.13]	1.100 [1.82]
Mg	3.650 [0.27]	1.015 [0.49]	9.970 [0.30]	9.360 [8.97]	2.110 [4.27]
Al	0.235 [0.64]	0.855 [1.75]	0.693 [0.14]	1.170 [10.26]	1.225 [0.41]
Si	1.555 [0.32]	2.600 [0.77]	1.520 [1.32]	1.810 [0.55]	9.800 [8.16]
P	2.465 [0.20]	0.147 [1.36]	0.053 [3.32]	0.065 [3.88]	1.755 [1.99]
S	5.515 [0.09]	0.279 [0.36]	0.118 [1.70]	0.162 [6.50]	0.837 [9.32]
Cl	5.620 [0.36]	0.240 [1.04]	0.084 [1.61]	0.099 [12.69]	0.588 [21.09]
K	28.100 [2.14]	1.255 [0.40]	3.500 [0.57]	3.610 [3.05]	7.375 [4.68]
Ca	19.750 [5.32]	48.000 [0.83]	36.600 [1.37]	35.650 [4.91]	31.150 [15.25]
Ti	0.036 [4.23]	0.051 [0.39]	1.195 [1.26]	2.020 [7.43]	0.119 [5.04]
Mn	0.115 [5.22]	0.055 [2.75]	0.040 [2.37]	0.042 [8.43]	0.094 [10.16]
Fe	0.228 [3.51]	0.366 [0.68]	0.240 [2.08]	0.131 [15.27]	1.360 [6.62]
Cu	0.017 [0.01]	0.033 [12.12]	0.007 [0.14]	0.010 [15.79]	0.020 [0.25]
Zn	0.033 [3.03]	0.007 [7.69]	0.010 [0.41]	0.010 [5.26]	0.023 [11.31]
Br	0.020 [7.69]	-*	-*	-*	-*
Rb	0.012 [4.35]	0.004 [6.98]	0.004 [5.31]	0.006 [9.09]	0.025 [6.69]
Sr	0.059 [0.86]	0.200 [1.25]	0.011 [4.07]	0.012 [4.35]	0.035 [10.27]
Zr	0.008 [6.67]	0.021 [1.41]	-*	-*	0.009 [2.33]
Ba	0.045 [5.62]	0.207 [15.74]	-*	-*	0.048 [10.23]

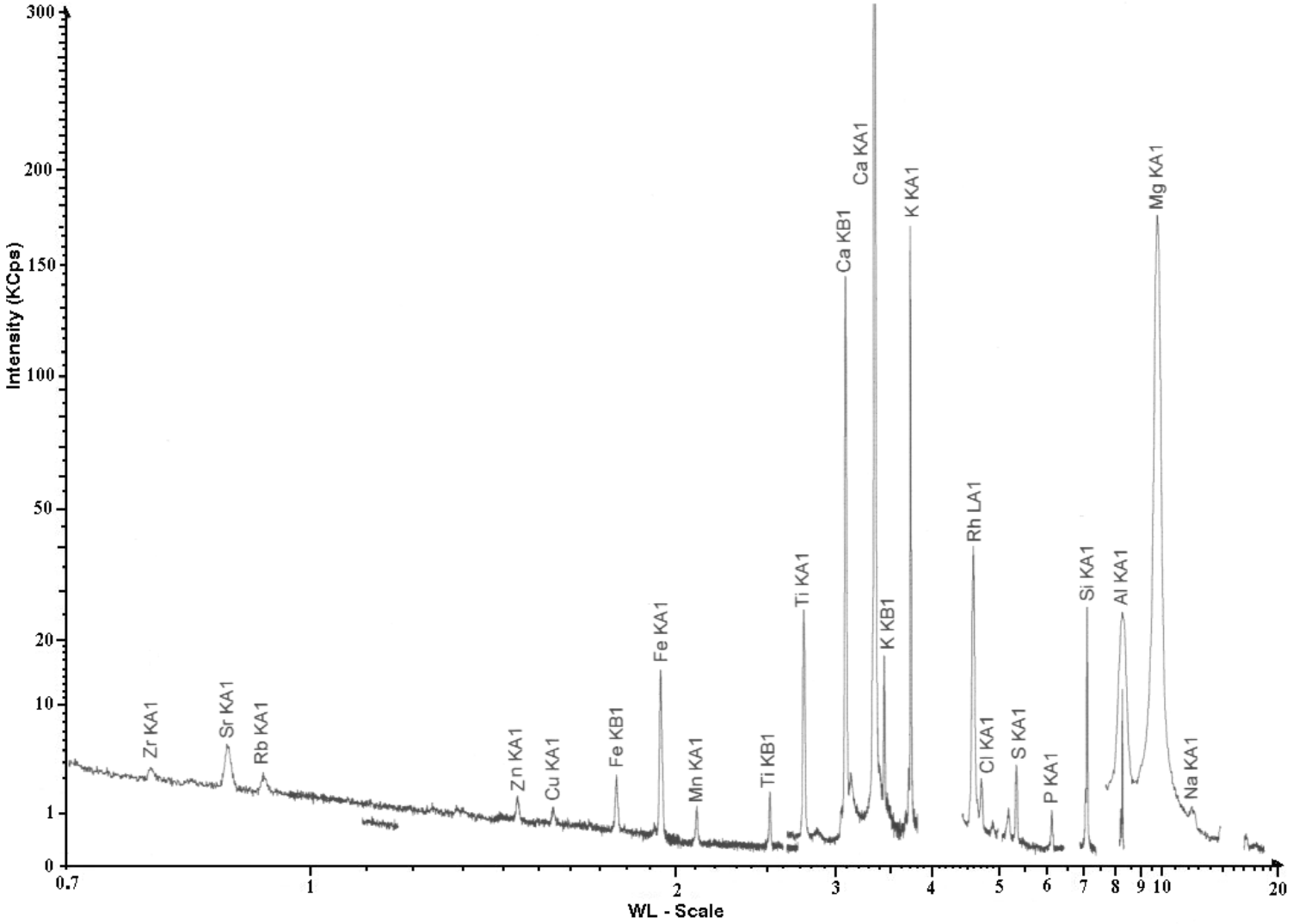
* ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุนี้ได้ในชิ้นตัวอย่างนี้



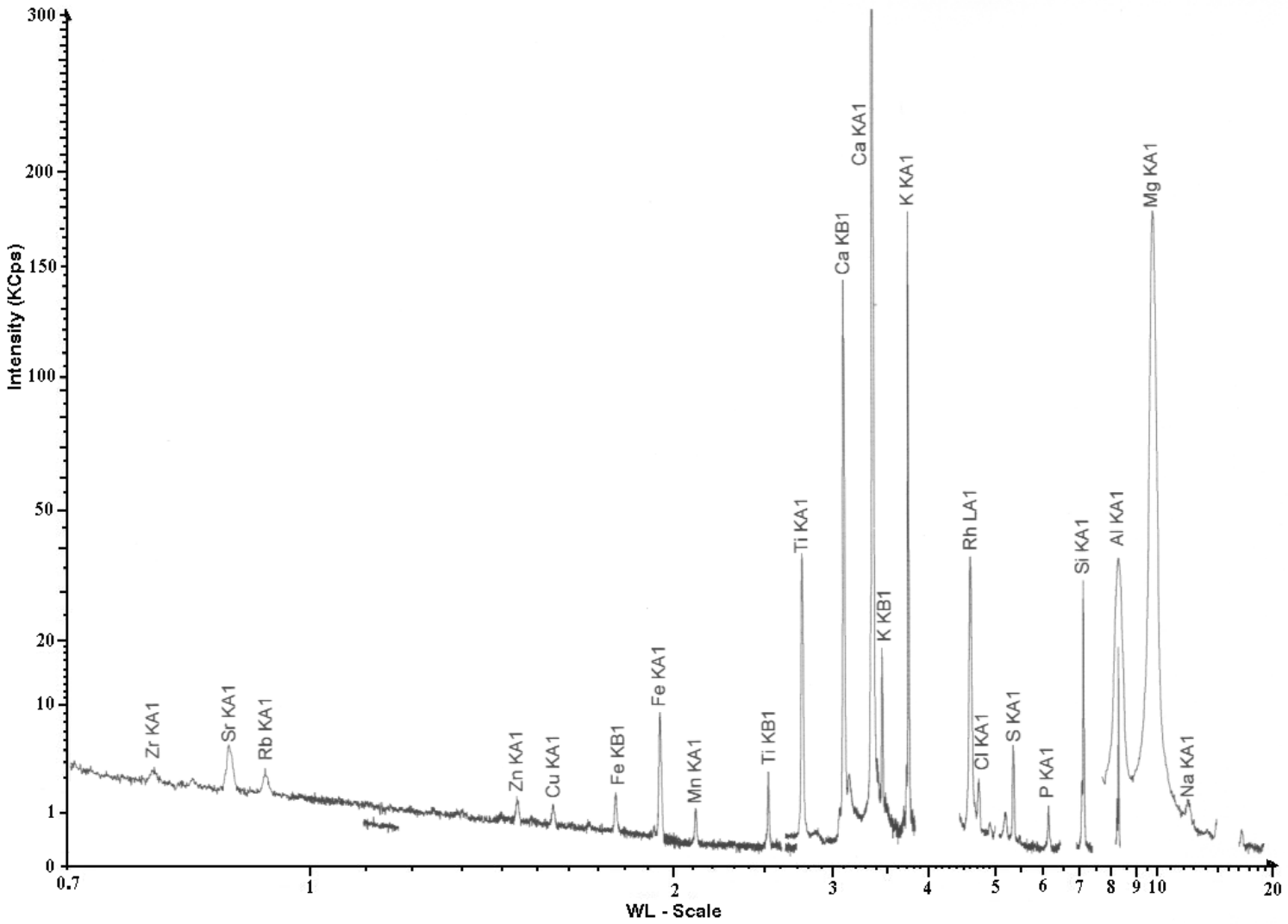
ภาพประกอบ 21 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากเถ้าสารตัวอย่างควัน บุหรี่ ที่เตรียมแบบอัดเม็ด



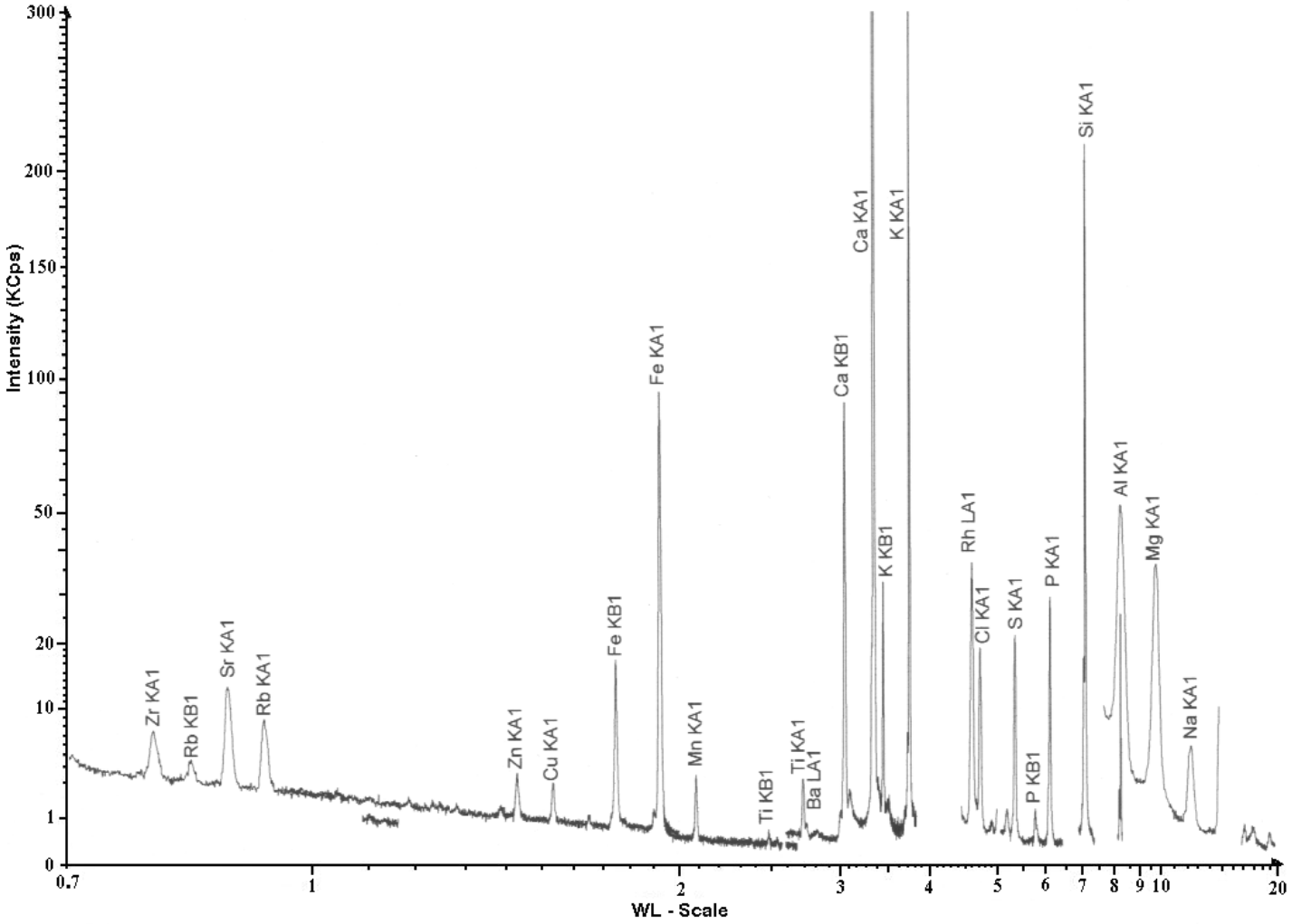
ภาพประกอบ 22 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากเถ้าสารตัวอย่างควัน ธูปไร้ควัน ที่เตรียมแบบอัดเม็ด



ภาพประกอบ 23 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากเถ้าสารตัวอย่างควัน ธูปสีทอง ที่เตรียมแบบอัดเม็ด



ภาพประกอบ 24 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากเถ้าสารตัวอย่างควัน ธูปสีเงิน ที่เตรียมแบบอัดเม็ด



ภาพประกอบ 25 สเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับความยาวคลื่นของเส้นรังสีเอกซ์ที่วาวจากเถ้าสารตัวอย่างควัน ธูปสีดำ ที่เตรียมแบบอัดเม็ด

บทที่ 5
สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากผลการวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควัน โดยการเก็บควันลงบนกระดาษกรอง และเถ้าสารตัวอย่างควันแบบอัดเม็ด ด้วยโปรแกรม Semiquant ในเครื่องวัดสเปกตรัมของการวาวรังสีเอกซ์ชนิดกระจายความยาวคลื่น ได้ข้อสรุป ดังนี้

1. ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Semiquant วิเคราะห์สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของแต่ละธาตุที่วาวออกมาจากสารตัวอย่างควัน โดยข้อจำกัดของการใช้เทคนิค WDXRF ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุนั้น ได้แก่ เทคนิคนี้ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าฟลูออรีนได้ เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าธาตุเหล่านี้มีอยู่ในควันเป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์สารตัวอย่างควันโดยวิธีนี้เพียงต้องการศึกษาความน่าเชื่อถือในการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างควันที่เตรียมบนกระดาษกรองด้วยเครื่องวัดการวาวสเปกตรัมรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น โดยคาดหวังว่าอาจจะพบธาตุอื่นๆ นอกเหนือจากธาตุเบาเหล่านั้นและต้องการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเก็บควันลงบนกระดาษกรองโดยใช้ชุดอุปกรณ์เก็บควันที่สร้างขึ้นในการเตรียมสารตัวอย่างควัน ดังนั้นถึงแม้ผลการวิเคราะห์จะมีธาตุจากกระดาษกรองรวมอยู่ใน 100% แต่ถ้าไม่รวมธาตุของกระดาษกรองเหล่านี้ปริมาณร้อยละที่เหลือ ก็น่าจะเป็นของธาตุที่เบากว่าฟลูออรีนเป็นส่วนใหญ่ สำหรับธาตุกำมะถัน และธาตุคลอรีน ซึ่งมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณธาตุหลักและธาตุรองอื่นๆในควัน ก็ยังมีผลใกล้เคียงกับที่วิเคราะห์ได้ และเมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมความเข้มรังสีเอกซ์ของธาตุนั้นในสารตัวอย่าง เปรียบเทียบกับสเปกตรัมความเข้มรังสีเอกซ์ของธาตุนั้นในกระดาษกรองเปล่า ที่วิเคราะห์ด้วยเงื่อนไขเดียวกันก็ทำให้เชื่อมั่นได้ว่าธาตุทั้งสองที่วิเคราะห์ได้เป็นธาตุในควันจริงและก็ไม่น่าจะมาจากอากาศโดยรอบเนื่องจากเก็บควันตัวอย่างทำในภาชนะปิด และจากการทดลองวัดและวิเคราะห์อากาศในชุดทดลองโดยไม่มีควัน พบว่ามีปริมาณกำมะถัน 0.027% และ คลอรีน 0.041% จะเห็นได้ว่าปริมาณกำมะถันที่พบในอากาศที่ไม่มีควันมีค่าใกล้เคียงกับ ควันธูปสีทอง และควันธูปสีเงิน ซึ่งมีปริมาณกำมะถัน เป็น 0.031% และ 0.034% ตามลำดับ ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า กำมะถันในควันธูปสีทองและควันธูปสีเงิน มีปริมาณน้อยมาก ในการวิเคราะห์ชนิดของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างควันก็ยึดหลักที่ว่า ถ้าปริมาณความเข้มรังสีเอกซ์ของธาตุที่สนใจมีปริมาณมากกว่าความเข้มรังสีเอกซ์ของธาตุนั้นในกระดาษกรอง หรือไม่พบธาตุนั้นในกระดาษกรองเปล่า แสดงว่าธาตุนั้นเป็นธาตุที่มีอยู่ในควันของสารตัวอย่าง แต่ถ้าปริมาณความเข้มรังสีเอกซ์ของธาตุที่สนใจมีปริมาณน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับความเข้มรังสีเอกซ์ของธาตุนั้นในกระดาษกรอง แสดงว่าไม่มีธาตุนั้นอยู่ในควันของสารตัวอย่าง เนื่องจากเป็นธาตุที่มีในกระดาษกรอง ด้วยวิธีดังกล่าวผลการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างควันที่เตรียมโดยเก็บควันลงบนกระดาษกรอง พบธาตุ กำมะถัน และ คลอรีน ในทุก

สารตัวอย่าง แต่ไทเทเนียม พบเฉพาะในควันธูปสีทอง และควันธูปสีเงินเท่านั้น เนื่องจากธูปสีทองและธูปสีเงินจะมีสีเคลือบอยู่ที่ตัวธูป จึงเป็นไปได้ว่าไทเทเนียมที่พบมาจากสีที่เคลือบที่ตัวธูป กำมะถัน และคลอรีน เป็นธาตุที่ระเหยได้ง่าย อีกทั้งยังอาจเกิดจากการปนเปื้อนของอากาศตอนเริ่มเก็บตัวอย่างบ้างก็เพียงเล็กน้อย และก็เป็นการทดลองซ้ำเพียง 3 ครั้ง จึงเป็นผลให้การทดลองมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สูง

2. ผลการวัดและวิเคราะห์เถ้าสารตัวอย่างควันที่เตรียมแบบอัดเม็ด ทำให้เราสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบในการพิจารณาผลการวิเคราะห์ควันของสารตัวอย่างนั้นๆ ได้โดยจะเห็นได้ว่าพบธาตุหนักอยู่ด้วยแต่ไม่ลอยปะปนกับควันทำให้ไม่ปรากฏในการวิเคราะห์ธาตุในควัน นอกจากนี้ธาตุที่พบในเถ้านี้ยังสามารถบอกถึงชนิดของวัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตสารตัวอย่างควันบางชนิดได้ว่าผลิตมาจากวัสดุอะไร เช่น ในเถ้าบุหรี่ จะพบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของ ธาตุโพแทสเซียม อยู่มาก เนื่องมาจากบุหรี่ทำมาจากใบยาสูบ เนื่องจาก ธาตุโพแทสเซียม เป็นธาตุอาหารหลักของพืช โดยพืชจะใช้ โพแทสเซียม ในการช่วยสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตในคลอโรฟิลล์ ดังนั้นเราจึงพบธาตุโพแทสเซียม ในเถ้าบุหรี่สูง ส่วนในเถ้าของธูปแต่ละชนิดจะพบแคลเซียมอยู่มาก เนื่องจากธูปมีส่วนผสมของดินสอพอง ขี้เลื่อย และไม้หอมชนิดต่างๆ

อภิปรายผลการทดลอง

1. ในการทดลองเตรียมชิ้นตัวอย่างควันบนกระดาษกรองปรากฏว่าในควันของสารตัวอย่างควันจะมีสารที่มีลักษณะเป็นยางเหนียวๆ เป็นส่วนประกอบอยู่มาก ในขณะที่ทำการดูดควันสารเหนียวๆนี้จะทำให้กระดาษกรองอุดตัน ส่งผลให้เครื่องดูดอากาศทำงานหนักและใช้น้ำมันหล่อลื่นมากกว่าปกติ

2. ธาตุส่วนใหญ่ในควันเป็นธาตุที่มีเบากว่าฟลูออรีน ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน แต่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ ธาตุที่วิเคราะห์ได้ส่วนใหญ่จึงเป็นธาตุที่มีอยู่ในกระดาษกรอง และเมื่อตัดธาตุในกระดาษกรองเหล่านี้ออกไป จะเหลือเพียงธาตุกำมะถัน และคลอรีน ที่เป็นธาตุระเหยง่ายที่พบในควันของสารตัวอย่างทั่วไป และในงานวิจัยนี้ไม่พบธาตุพิษหรือธาตุหนักอื่นๆ อาจเป็นเพราะสาเหตุของปริมาณควันตัวอย่างที่เก็บมีค่าน้อย ธาตุพิษเหล่านี้อาจมีปริมาณน้อยมากโดยน้อยกว่าค่า LLD ของการวัดด้วยเครื่องมือนี้

3. จากผลการวัดและวิเคราะห์ธาตุในเถ้าของสารตัวอย่างควัน พบว่ามีธาตุหนักปนอยู่ในเถ้าสารตัวอย่างหลายชนิด เนื่องจากธาตุหนักเหล่านี้อาจลอยปะปนในควันน้อยมากทำให้ไม่พบธาตุเหล่านี้ในควันของสารตัวอย่าง

ข้อเสนอแนะ

1. ในการเตรียมสารตัวอย่างควันโดยการเก็บควันลงบนกระดาษกรอง ต้องอาศัยความระมัดระวังในการปนเปื้อน และการสูญเสียควันไปในระหว่างทำการเก็บควัน เพราะสิ่งเหล่านี้จะส่งผลให้ผลการวัดและวิเคราะห์คลาดเคลื่อนไป

2. หลังจากการเตรียมสารตัวอย่างควันเสร็จเรียบร้อยแล้ว ควรทำความสะอาดชุดทดลองทันที เนื่องจากในควันของสารตัวอย่างจะมียางเหนียว ๆปนอยู่ ยางเหล่านี้จะจับที่ผนังชุดทดลอง หากปล่อยทิ้งไว้จะทำความสะอาดยาก และอาจเกิดการปนเปื้อนกับสารตัวอย่างควันชนิดอื่น ๆที่จะนำมาทดลองภายหลังได้

3. ก่อนจะนำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมบนกระดาษกรองไปวัด ควรนำไปอบที่อุณหภูมิ 100องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมงหรือนานกว่า เพื่อให้สารตัวอย่างบนกระดาษกรองแห้งสนิท

4. ในการวัดและวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นนี้ สามารถวิเคราะห์ได้พร้อมกันทีละหลายธาตุ ให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ และสามารถเตรียมสารตัวอย่างควันได้สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีการทางเคมี ที่มีความยุ่งยากในขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่าง

5. จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าการวัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างควันโดยใช้ชุดการเตรียมสารตัวอย่างควันบนสารกระดาษกรองที่สร้างขึ้นนี้สามารถให้ผลเป็นที่น่าพอใจ และชุดทดลองนี้น่าจะนำไปประยุกต์ใช้กับการเตรียมสารตัวอย่างควันชนิดอื่นในระบบปิดที่ไม่ต้องการอากาศแวดล้อมปะปนในชิ้นตัวอย่างได้ต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

คงศักดิ์ ตั้งพูนผลวิวัฒน์. (2528). *การตรวจสอบธาตุต่าง ๆในอากาศโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์.* ปริญญานิพนธ์ วศ.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. *ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ.2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ราชกิจจานุเบกษา.หน้า 39-40 เล่ม 121.ตอนพิเศษ 104ง*. กรุงเทพฯ. คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ ; และ คณิตา ตังคณานุรักษ์. (2547). *สเปกโทรสโกปีด้านการวิเคราะห์.* กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันเพ็ญ บุญรักษา. (2545). *การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณการกระจายตัวนิโคตินในควันบุหรี่ในวัฏภาคอนุภาคต่อวัฏภาคแก๊สในควันบุหรี่ โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (เคมี). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร

ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ ; อรุณีย์ อินทศร ; และ สุมณฑา สงสม. (2547). *การวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นในชิ้นตัวอย่างฟิล์มหนาของสีทาอิมัลชัน.*การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30. กรุงเทพฯ :มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สนอง อูนากูล. (2531). *อันตรายของบุหรี่และวิธีเลิก.* กรุงเทพฯ : หน่วยศึกษานิเทศก์ เขตการศึกษา 5 กรมพลศึกษา.

สมศักดิ์ ชัยพิพัฒน์ ; และคณะ. (2545). *ภัยสุขภาพจากกระดาษเงินกระดาษทอง ธูป เทียน และประทัด*. กรุงเทพฯ : ฝ่ายพัฒนาอนามัยสิ่งแวดล้อมชุมชนและเมือง สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย.

สัมพันธ์ วงศ์นาวา. (2547). *เอซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรเมตรีแบบกระจายพลังงาน Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry.* กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุนันทา ทิพย์มาลย์มาศ. (2532). *การหาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์.* ปริญญานิพนธ์ วศ.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.

สุมณฑา สงสม. (2547). *การวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นของสารตัวอย่างบางบนแผ่นรองรับที่เหมาะสม.* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.ถ่ายเอกสาร.

อรุณีย์ อินทศร ; และมาโนชญ์ เฮงวัฒนะ. (2546). *รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์ การศึกษาผลกระทบของเนื้อสารในตะกรันที่มีต่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยการวาวรังสีเอกซ์.*กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

อุทัย ติยะวิสุทธิ์ศรี. (2537). *การวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศโดยใช้เทคนิคการวาวรังสีเอกซ์.* ปริญญานิพนธ์ วศ.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.ถ่ายเอกสาร

Bruker AXS. (1999). *Introduction Tutorial Sample Preparation Catalog Reference.* Karlsruhe : Bruker Analytical X-Ray Systems.

Leyden,D.E. (1984). *Fundamentals of X-Ray Spectrometry as Applied to Energy Dispersive Techniques*. Tracor X-Ray. California : Mountain View.

Quisefit, J.P. ; and others. (1994). ”Quantitative Analysis of Aerosol Filters by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry from Bulk Reference Samples.” *X-ray Spectrometer*.(23) : 59-64.

Schlotz, R. ; & Uhlig, S. (2000). *Introduction to X-Ray FluorescenceAnalysis (XRF).* Karlsruhe *:* Bruker Analytical X-Ray Systems.

Swamy , K. ; Kaliaperumal, R. ; & Swaminathan, G.S. (1994). ”Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometric Technique for Determining Elements in Weld Fumes” , *X-ray Spectrometer*.(23) : 71-74.

W.Clegg ; A.J.Blacke. (2001). *Crystal Structure Analysis Principles and Pratice*. Oxford.

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.

Woldseth,R. (1973). *X-Ray Energy Spectrometry*.California : Kevex Corp, Burlingame.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายเอกรินทร์ เอิบอิ่ม
วันเดือนปีเกิด	เกิดวันที่ 18 เดือน สิงหาคม พุทธศักราช 2524
สถานที่เกิด	อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	71/2 หมู่1 ตำบลกบินทร์ อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี 25110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2542	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนกบินทร์วิทยา จังหวัดปราจีนบุรี
พ.ศ. 2546	กศ.บ. วิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2549	กศ.ม. (สาขาวิชาฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ