



บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

- เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา (gamma-ray spectrometer)
ประกอบด้วย

1. หัววัดรังสีแกมมาชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (high purity germanium , HPGe) ซึ่งมี relative efficiency 30% ผลิตโดยบริษัท CANBERRA INDUSTRIES พร้อม liquid nitrogen dewar
2. แหล่งจ่ายไฟตักดาสูง (High voltage power supply) CANBERRA MODEL 4261 สามารถปรับตักดาไฟฟ้าได้ 0 ถึง 5000 โวลต์
3. SPECTROSCOPY AMPLIFIER MODEL 2020
4. เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (multichannel analyser , MCA) CANBERRA SERIES 35 plus ตั้งในรูปแบบที่ 3.2
5. ไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิต สำหรับการบันทึกข้อมูลจากเครื่องวิเคราะห์ แบบหลายช่อง ตั้งในรูปแบบที่ 3.3
6. กำบังรังสี ทำด้วยตะกั่ว
7. ภาชนะที่ใส่ในตัวอย่างทำด้วยพลาสติกบาง รูปทรงกระบอกกลมพร้อมฝาปิด มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 ซม. และ สูง 1 ซม.
8. เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด
9. สารมาตรฐานและตัวอย่างสารประกอบยูเรเนียมความเข้มข้นสูงที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

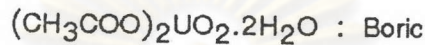
- ยูเรเนียมออกไซด์ : U_3O_8 ความบริสุทธิ์ 99% และมีความเข้มข้นไอโซโทป ^{235}U เท่ากับ 0.4%
- ยูเรนิลแอสเตต: $(CH_3COO)_2UO_2 \cdot 2H_2O$ ความบริสุทธิ์ 99 % ซึ่งมีความเข้มข้นไอโซโทป ^{235}U ต่ำกว่าธรรมชาติ (depleted uranium) จำนวน 3 ตัวอย่าง
- ยูเรเนียมไฮดรอกไซด์ $UO_2(OH)_2$ (เตรียมจากสารเคมีโดยนิสิตในภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
- แค็กเหลือง (Yellow cake) ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าธรรมชาติและตามธรรมชาติ
- แผ่นโลหะยูเรเนียมแบบบางที่มีความเข้มข้น ^{235}U ตามธรรมชาติ (natural uranium foil) ความบริสุทธิ์สูง 99.8% ขนาด 5 ซม. x 5 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเตรียมสารมาตรฐาน

ก. วิธีการเตรียมสารมาตรฐานสำหรับวิธีการเรืองรังสีเอกซ์

- นำสารมาตรฐานซึ่งเป็น $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{UO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ โดยมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 424.15 g/mol มาผสมรวมกับกรด Boric แล้วนำมาอัดลงในวงแหวนอะลูมิเนียมมีความหนา 0.2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดตัวอย่างจากศูนย์เครื่องมือวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีอัตราส่วนผสมดังนี้



$$0.12066 \text{ g} : 4.90150 \text{ g}$$

ดังนั้น สารมาตรฐาน $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{UO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ปริมาณ 5.02216 g มี U = 238.03×0.12066

$$424.15$$

$$= 0.0677135 \text{ g}$$

$$\text{สารมาตรฐานมีความเข้มข้นยูเรเนียม} = \frac{0.0677135 \times 100}{5.0221}$$

$$5.0221$$

$$= 1.34829 \%$$

- นำไปวัดความเข้มข้นรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของยูเรเนียมเป็นเวลา 5000 วินาที และวัดค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของ $\text{U K}_{\alpha 1}$ ซึ่งมีพลังงาน 98.5 keV โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Co-57 เป็นตัวกระตุ้นสารประกอบยูเรเนียมที่ใช้เป็น Secondary target ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ข)

- บันทึกผลลงในตารางภาคผนวก ก2

ข. สารมาตรฐานสำหรับวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี เป็น natural uranium foil จากบริษัท KOCH-LIGHT LIMITED , ประเทศอังกฤษ มีความเข้มข้นยูเรเนียมรวมมากกว่า 99.8% ขนาด 5 ซม. x 50 ซม. และมีปริมาณไอโซโทปยูเรเนียม-235 เท่ากับ 0.711% .

- นำไปวัดปริมาณรังสีแกมมาโดยตรงจากยูเรเนียม-235 เป็นเวลา 1000 วินาที และวัดค่าความดูดกลืนตัวเอง ของตัวอย่างที่พลังงาน 186 KeV โดยใช้เรเดียม-226 เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมา

วิธีการเตรียมตัวอย่าง

ก. การเตรียมตัวอย่างสำหรับการหาปริมาณยูเรเนียมรวมในตัวอย่าง โดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ นำเอาสารตัวอย่างยูเรเนียมมาผสมรวมกันกับกรดบอริกเป็นเนื้อเดียวกัน ในอัตราส่วนประมาณ 2 ต่อ 100 โดยน้ำหนัก และอัดตัวอย่างลงในวงแหวนอะลูมิเนียม

ข. การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวัดรังสีด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยนำเอาสารตัวอย่างยูเรเนียมที่ต้องการวิเคราะห์ใส่ลงในภาชนะพลาสติกที่เตรียมไว้ แล้วชั่งหามวลของสารตัวอย่าง

การปรับตั้งเครื่องวัดแกมมาสเปกโตรมิเตอร์

ก่อนการทดลอง ได้ปรับตั้งเครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ดังนี้ คือ

- แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High Voltage Power Supply) ที่ 4000 โวลท์
- แอมป์ลิฟายเออร์ (Amplifier) มี course gain 30 , fine gain 11
- คิสคริมิเนเตอร์ มี LLD = 0.1 โวลท์ , ADC Gain 2048
- เวลา (Preset time) 1000 วินาที
- shaping time 1.5x2 sec.

การปรับตั้งเครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรื่อ

เครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์ ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ

ก. เครื่องวัดรังสีเอกซ์ มีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

- หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. หน้า 5 มม. พร้อม preamplifier และ liquid nitrogen dewar
- แหล่งจ่ายไฟฟ้า (High Voltage Power supply)ที่ -1000 โวลท์
- เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (MCA) CANBERRA SERIES 35 plus พร้อม amplifier
- เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ขนาด 16 บิต สำหรับบันทึกข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ข. ต้นกำเนิดรังสี (source) ที่ใช้เป็นตัวกระตุ้น

ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้งานวิจัยนี้ คือ CO-57 ซึ่งเป็น low energy photon source มีความแรง 1×10 mCi ผลิตโดย Amersham Ltd. ประเทศอังกฤษ ไอโซโทปที่ให้รังสีแกมมาแล้วไปกระทบตัวอย่างยูเรเนียมในสารตัวอย่างทำให้ได้รังสีเอกซ์เฉพาะตัวของยูเรเนียม ซึ่งในการวิจัยนี้เลือกวัด UK_{α_1} พลังงาน 98.5 keV เนื่องจากมีความเข้มสูงสุดและไม่มีพีครบกวน

ลักษณะของตัวต้นกำเนิดรังสี CO-57 เป็นรูปวงแหวน มีเส้นผ่าศูนย์กลางนอก 3.8 ซม. และวงใน 2.2 ซม. มีความหนา 0.6 ซม.

วิธีการดำเนินการวิจัย

ก. การหาค่าความดูดกลืนโดยตัวเองของตัวอย่าง ในการวัดรังสีแกมมาจากยูเรเนียม-235

ในการวัดรังสีแกมมาพลังงาน 186 keV โดยตรงจากยูเรเนียม-235 จำเป็นต้องแก้ค่าความเข้มรังสีที่วัดได้เนื่องจากการดูดกลืนโดยตัวเอง การวิจัยนี้ได้ใช้รังสีแกมมาพลังงาน 186 keV จากต้นกำเนิดรังสีเรเดียม-226 ส่งผ่านตัวอย่างสารประกอบยูเรเนียม จากความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านตัวอย่าง (I) และความเข้มรังสีในแบบที่ไม่มีตัวอย่าง (I_0)สามารถนำไปหาค่าความดูดกลืนตัวเองได้ดังนี้

$$f = (1 - e^{-\mu x}) / \mu x$$

$$= (1 - I/I_0) / (-\ln I/I_0) \text{ ----- 3.1}$$

ข. การหาค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของตัวอย่างในการวัดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากยูเรเนียม ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของสารตัวอย่างที่พลังงาน 98.5 keV เพื่อนำไปปรับแก้ matrix effect ในการหาปริมาณยูเรเนียมรวมนั้น CO-57 เป็นต้นกำเนิดรังสีในการกระตุ้นให้ยูเรเนียมปลดปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัว คือ 98.5 keV แล้วจัด geometry ให้รังสีเอกซ์ดังกล่าวส่งผ่านสารประกอบตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาณยูเรเนียม เพื่อหาค่าคลุกกลืนโดยตัวเองที่พลังงาน 98.5 keV จากสูตร

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho)(\rho x)}$$

$$(\mu/\rho)(\rho x) = -\ln(I/I_0) \text{ ----- 3.2}$$

เมื่อ (μ/ρ) คือสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านเชิงมวลของตัวอย่างเป็น cm^2/g

เมื่อ (ρx) คือมวลของตัวอย่างต่อพื้นที่ เป็น g/cm^2

$$(\rho x) = m/A \text{ ----- 3.3}$$

A = พื้นที่ของสารตัวอย่าง

m = มวลของสารตัวอย่าง

ข. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในการวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยสารตัวอย่าง จำนวน 8 ตัวอย่าง โดยทำการวัดรังสีสารตัวอย่าง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ผลการวัดจำนวนนับรังสีสุทธิหมายถึงพื้นที่ได้พีคที่สนใจ ผลการวิจัยดังแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.2 และวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก3

- การวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียมรวมโดยวิธีเรืองรังสีเอกซ์ โดยการวัดรังสีของสารประกอบตัวอย่างที่พลังงานดังกล่าวข้างต้น แล้วนำค่าความเข้มรังสีและค่าความคลุกกลืนโดยตัวเองของรังสีเอกซ์มาคำนวณดังสมการข้างล่างนี้

$$C_A = C_S \times \frac{I_A}{I_S} \times \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_A}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_S} \text{ ----- 3.4}$$

C_A = ความเข้มข้นของรังสีของสารประกอบตัวอย่าง

C_S = ความเข้มข้นรังสีสารมาตรฐาน = 1.34829%

I_A = ความเข้มรังสีสารประกอบตัวอย่าง

$$I_s = \text{ความเข้มรังสี } UK_{\alpha_1} \text{ จากสารมาตรฐาน} = 24648 \text{ count/5000 วินาที}$$

$$(\mu/p)_A = \text{ค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านโดยตัวเองของสารประกอบตัวอย่าง}$$

$$(\mu/p)_S = \text{ค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านโดยตัวเองของสารมาตรฐาน} = 0.2264 \text{ cm}^2/\text{g}$$

- การวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปยูเรเนียม-235 โดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยทำการวัดรังสีของตัวอย่าง เป็นเวลา 1000 วินาที ที่พลังงาน 186 keV ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นำค่าความเข้มข้นที่ได้ และค่าความดูดกลืนโดยตัวเองที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.1 มาคำนวณดังสมการนี้

$$Y = 0.711 \times \frac{U_1}{U_2} \times \frac{w_s}{\frac{c_s}{f_s}} \times \frac{\frac{c_i}{f_i}}{w_i} \text{ ----- 3.5}$$

Y = เปอร์เซ็นต์ยูเรเนียม-235

U1 = ความเข้มข้นยูเรเนียมรวมของสารมาตรฐาน

U2 = ความเข้มข้นยูเรเนียมรวมสารประกอบตัวอย่าง (ได้จากวิธีเรืองรังสีเอกซ์)

w_s = น้ำหนักของสารมาตรฐาน

w_i = น้ำหนักของสารประกอบตัวอย่าง

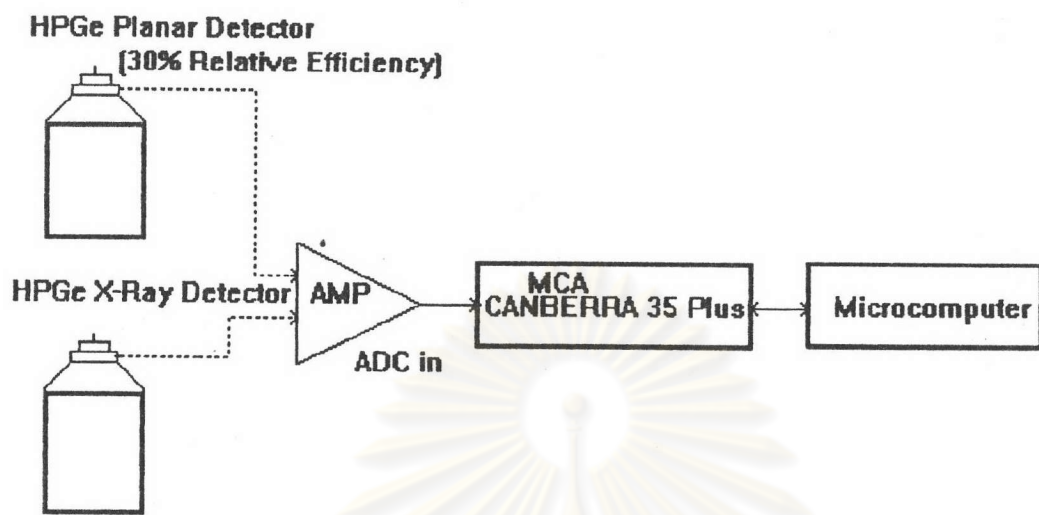
c_s = จำนวนนับของสารมาตรฐาน

c_i = จำนวนนับของสารประกอบตัวอย่าง

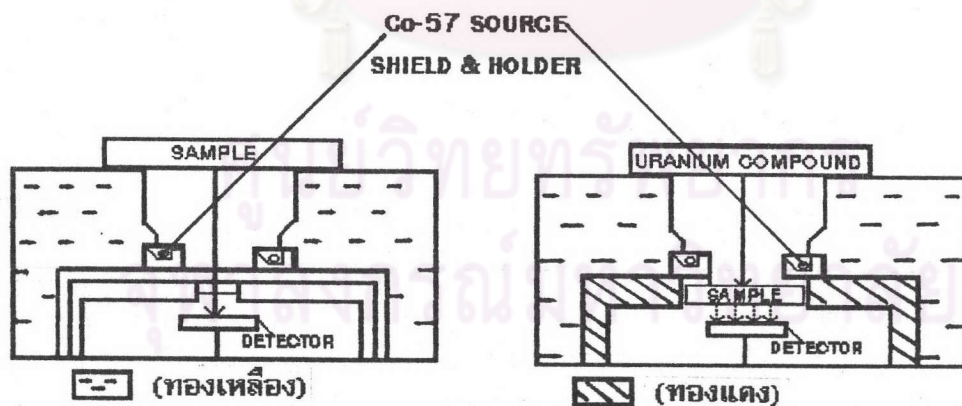
f_i = ค่าความดูดกลืนโดยตัวเองของสารประกอบตัวอย่าง

f_s = ค่าความดูดกลืนโดยตัวเองของสารมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

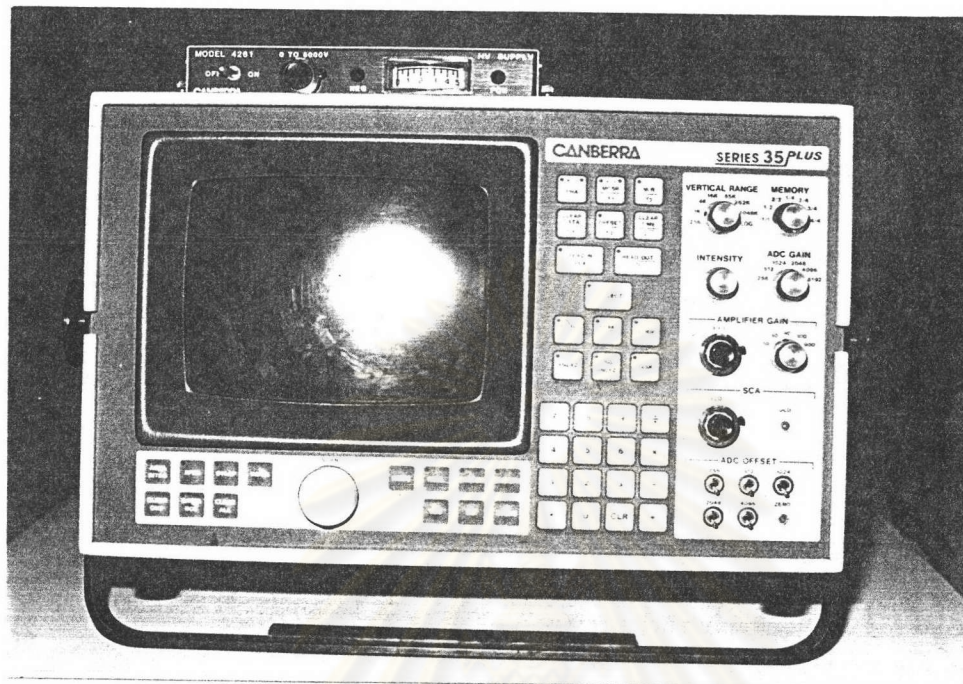


รูปที่ 3.1 แสดงระบบวัดรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา

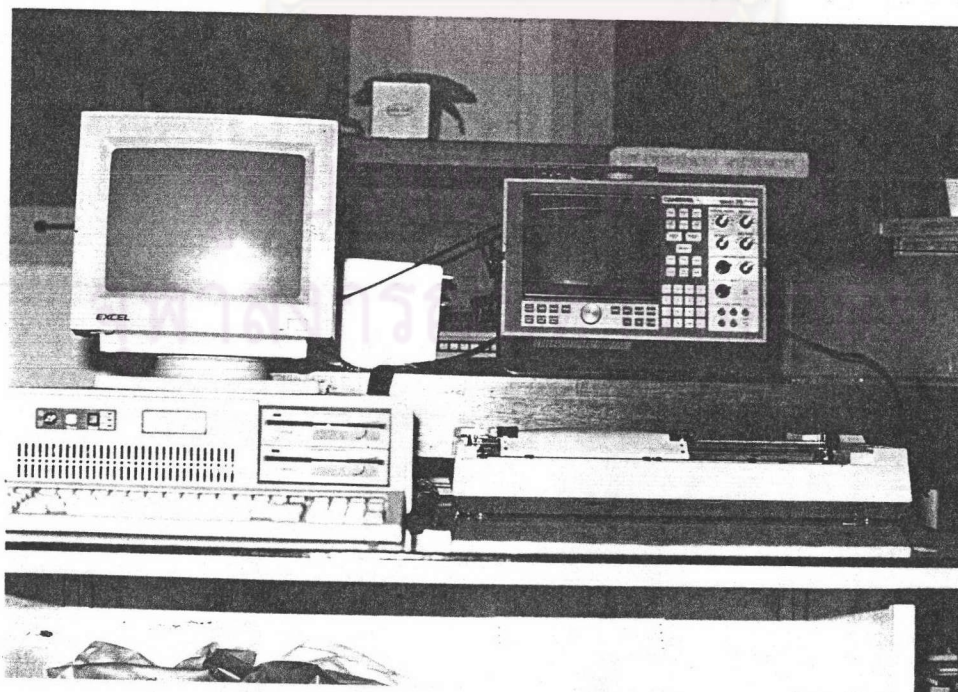


รูปที่ 3.2 แสดงการจัดเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ด้วยเทคนิคแบบวิธีการเรืองรังสีเอกซ์

- (ก) ระบบวัดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของยูเรเนียมจากตัวอย่าง
- (ข) ระบบวัดหาค่าความดูดกลืนโดยใช้ยูเรเนียมเป็น secondary target



รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง CANBERRA SERIES 35 plus



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์หลายช่องและไมโครคอมพิวเตอร์