บทที่ 3
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการดำเนินการวิจัย

3.1 แกมมาสเปกโตรมิเตอร์แบบซินทิลเลชัน (Gamma Scintillation Spectrometer)

วัสดุ และ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์รังสีแกมมาประกอบด้วย

3.1.1 หัววัดรังสีแกมมาแบบโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) [NaI(Tl)] ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว พร้อมหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน (photomultiplier tube or PMT) ของ BICRON รุ่น 5M5/5 ดังรูปที่3.2

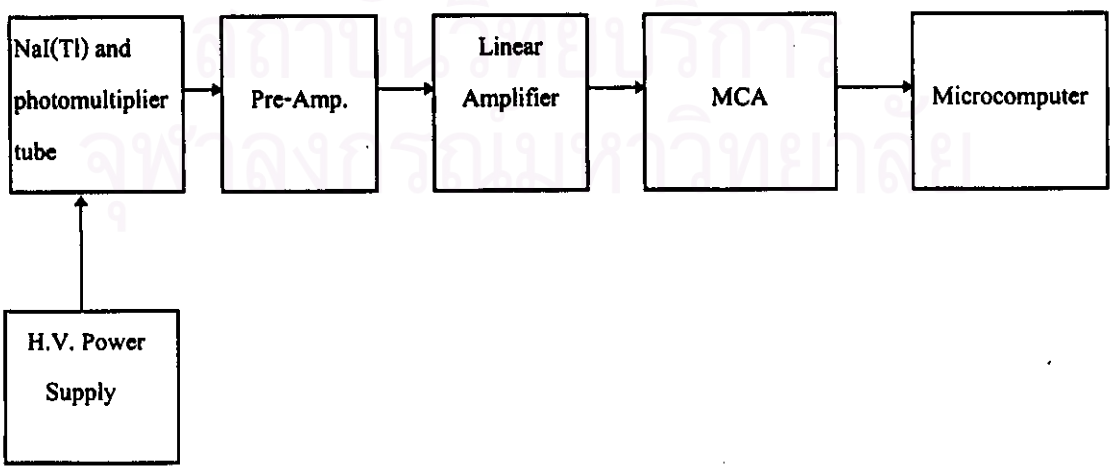
3.1.2 ฐานหลอดที่มีภาคขยายส่วนหน้า (preamplifier tube base) ของ BICRON รุ่น 590 A

3.1.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (High voltage power supply) ของ ORTEC รุ่น 556 สำหรับหัววัดรังสีแกมมาโซเดียมไอโอไดด์(ทัลเลียม)

3.1.4 เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer , MCA) แบบ CANBERRA series 35 plus

3.1.5 ไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer) สำหรับบันทึกข้อมูลจากเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง

3.1.6 วัสดุกำบังรังสีแกมมา เป็น เหล็ก รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7 นิ้ว ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.1 แผนภาพของแกมมาสเปกโตรมิเตอร์แบบซินทิลเลชัน

3.2 ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

3.2.1 ตัวอย่างปูนซีเมนต์ 10 ตัวอย่าง คือ ปูนซีเมนต์ตรา A จำนวน 4 ตัวอย่าง ตรา B จำนวน 2 ตัวอย่าง ตรา C จำนวน 2 ตัวอย่าง และ ตรา D จำนวน 2 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างบรรจุในกล่องพลาสติกทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว บรรจุได้ประมาณ 0.5 กิโลกรัม

3.2.2 ตัวอย่างหินปูน (limestone) จำนวน 7 ตัวอย่าง

3.2.3 ตัวอย่างดินดาน (shale) จำนวน 6 ตัวอย่าง

3.2.4 ตัวอย่างแร่เหล็ก จากแหล่งเขาทับควาย จำนวน 1 ตัวอย่าง

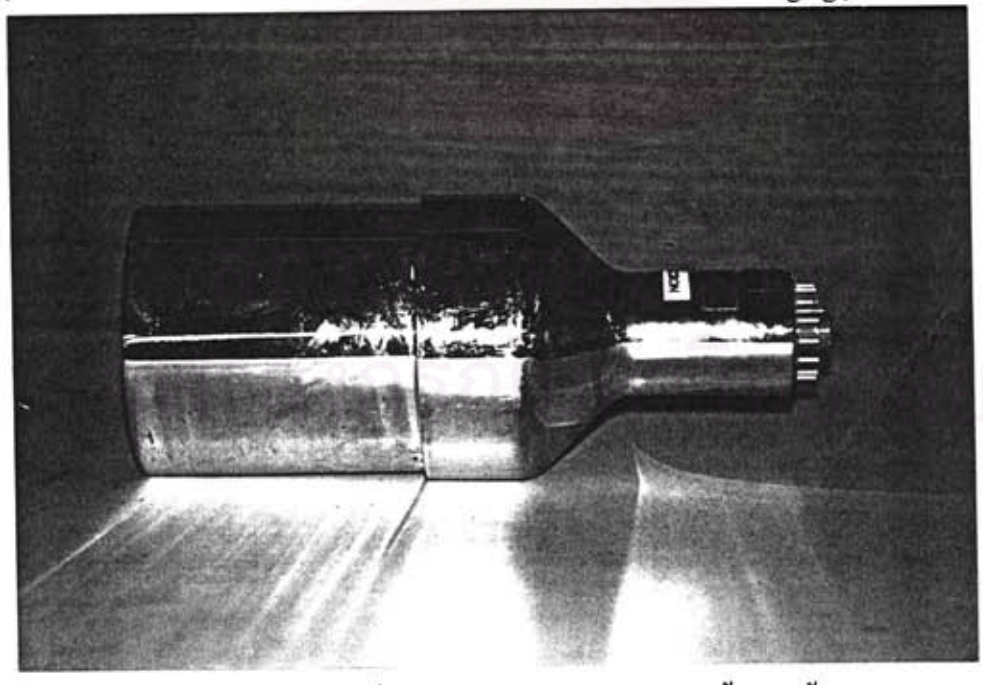
3.2.5 ตัวอย่างศิลาแลง (Laterite) จำนวน 1 ตัวอย่าง

3.2.6 ตัวอย่างวัตถุดิบ (raw meal) จากกระบวนการผลิตที่จะป้อนเข้าสู่หม้อเผา (Kiln) จำนวน 2 ตัวอย่าง

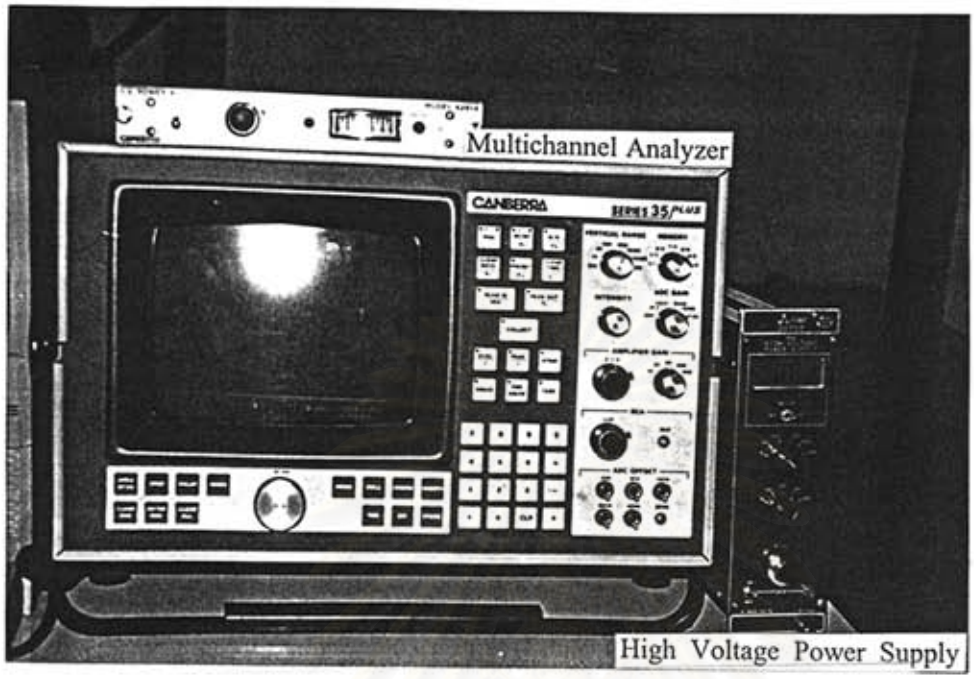
3.2.7 ตัวอย่างคลิงเกอร์ (Clinker) จำนวน 1 ตัวอย่าง

3.2.8 ภาชนะบรรจุตัวอย่าง ได้แก่ กล่องพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว

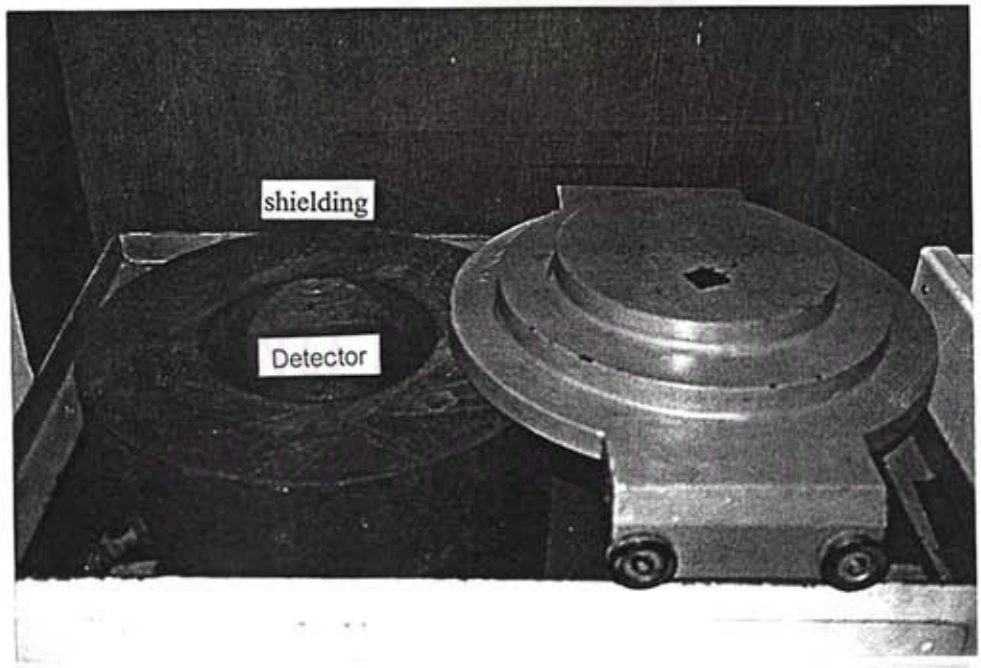
3.2.9 สารมาตรฐานที่ใช้ในวิธีนี้ คือชุดสารมาตรฐาน IAEA/RGKUTh ประกอบด้วย IAEA/RGK ซึ่งเป็นโปแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) IAEA/RGU ซึ่งเป็นแร่ยูเรเนียม (U - ore ของ IAEA ระหัส IAEA/RGU - 1 มียูเรเนียม - 238 = 400 mg/kg) และ IAEA/RGTh ซึ่งเป็น แร่ทอเรียม (Th - ore ของ IAEA ระหัส IAEA/RGTh - 1 มีทอเรียม - 232 = 800 mg/kg)



รูปที่ 3.2 หัววัดรังสี NaI (Tl) 5 นิ้ว x 5 นิ้ว

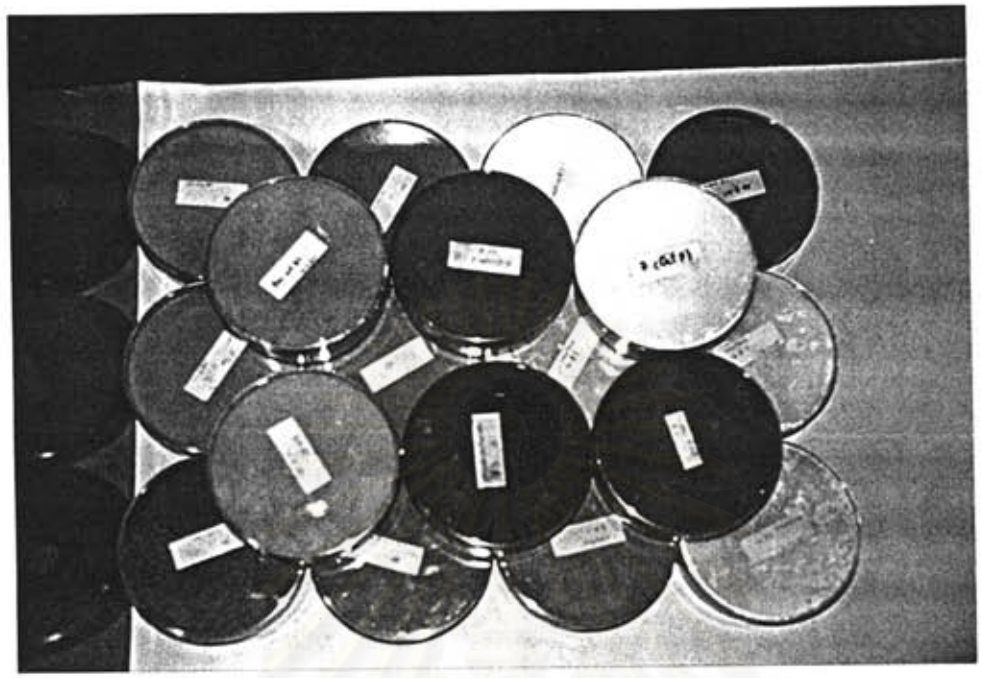


รูปที่ 3.3 เครื่อง Multichannel Analyzer ที่ใช้ทำการวัดรังสี



รูปที่ 3.4 กำบังรังสีแกมมาบริเวณรอบหัววัดรังสี

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 ลักษณะตัวอย่างที่บรรจุในภาชนะสำหรับวัดรังสีแกมมา

รูปที่ 3.6 แสดงสารมาตรฐานที่ใช้ทำการวัดรังสี

3.3 การเตรียมสารมาตรฐาน

3.3.1 การเตรียมสารมาตรฐานสำหรับวัดโปแทสเซียมใช้ สารมาตรฐาน โปแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) ของ IAEAโดยทำการเจือจาง (dilute) 20 เท่า ซึ่งทำได้โดยใส่ โปแทสเซียมซัลเฟต 25 กรัม ลงไปในกรดบอริก (H_3BO_3) 475 กรัม และทำการหาค่า ความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) ของสารมาตรฐาน โปแทสเซียม ที่เตรียมไว้ได้ดังนี้

น้ำหนักอะตอมของ โปแทสเซียม = 39.102

น้ำหนักอะตอมของ กำมะถัน = 32.064

น้ำหนักอะตอมของ ออกซิเจน = 15.9994

ดังนั้น น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) ของโปแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)

= (39.102 x 2) + 32.064 + (15.994 x 4)

= 174.2656 กรัม / โมล

โปแทสเซียมซัลเฟต 174.2656 กรัม = 1 โมล

โปแทสเซียมซัลเฟต 25 กรัม = 25 x 1 / 174.2656 โมล = 0.143459 โมล

โปแทสเซียมในโปแทสเซียมซัลเฟตมีน้ำหนัก = 0.143459 โมล x 2 x 39.102 กรัม / โมล

= 11.219 กรัม

จากสูตร $A = \lambda N$

A = ค่าความแรงรังสี (Activity)

N = จำนวนอะตอม

λ = 0.693 / $T_{1/2}$

$T_{1/2}$ = ค่าครึ่งชีวิต

ค่าครึ่งชีวิต (half life) ของโปแทสเซียม - 40 คือ 1.28×10^9 ปี

เปอร์เซนต์ abundance ของโปแทสเซียม - 40 คือ 0.0118 %

$$N = \frac{\left(11.219 \times 6.023 \times 10^{23} \times 0.0118\right)}{\left(39.102 \times 100\right)} \text{ อะตอม}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{\left(1.28 \times 10^{9} \times 365 \times 24 \times 3600\right)} \text{ วินาที}^{-1}$$

$A = \lambda N = 350.0795$ เบคเคอเรล (Bq)

$$A = \frac{350.0795}{500} \quad \text{Bq / g}$$

$$= 0.70 \quad \text{Bq / g}$$

$$= 700 \quad \text{Bq / kg}$$

ดังนั้น ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity)ของโปแทสเซียม-40 คือ 700 Bq / kg

3.3.2 การเตรียมสารมาตรฐานสำหรับวัดยูเรเนียม - 238 ใช้แร่ ยูเรเนียม (U - ore) ของ IAEA ระหัส IAEA / RGU - 1 มียูเรเนียม - 238 = 400 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ทำการเจือจาง (dilute) ประมาณ 117.5 เท่า ซึ่งทำได้โดยใส่แร่ยูเรเนียม (U - ore) 3.40 กรัม ลงไปในกรดบอริก (H_3BO_3) 396.6 กรัม และทำการหาค่าความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) ของสารมาตรฐานยูเรเนียมที่เตรียมไว้ดังนี้

จากสารมาตรฐาน IAEA / RGU - 1 มียูเรเนียม - 238 = 400 มิลลิกรัม / กิโลกรัม

ในแร่ยูเรเนียม 1000 กรัม มียูเรเนียม - 238 = 400×10^{-3} กรัม

ในแร่ยูเรเนียม 3.4040 กรัม มียูเรเนียม - 238 = $(3.404 \times 400 \times 10^{-3}) / 1000$ กรัม

= 1.3616×10^{-3} กรัม

ค่าครึ่งชีวิต (half life) ของยูเรเนียม - 238 คือ 4.51×10^{9} ปี

เปอร์เซนต์ abundance ของยูเรเนียม - 238 คือ 99.27 %

น้ำหนักอะตอมของ ยูเรเนียม - 238 คือ 238.03

จากสูตร $A = \lambda N$

$$N = \frac{\left(1.3616 \times 10^{-3} \times 99.27 \times 6.023 \times 10^{23}\right)}{\left(238.03 \times 100\right)} \text{ อะตอม}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{\left(4.51 \times 10^{9} \times 356 \times 24 \times 360\right)} \text{ วินาที}^{-1}$$

$A = \lambda N = 16.6564$ เบคเคอเรล (Bq)

$$= \frac{16.6564}{400} \quad \text{Bq / g}$$

$= 41.6411$ Bq / kg

ดังนั้น ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) ของยูเรเนียม-238 คือ 41.64 Bq / kg

3.3.3 การเตรียมสารมาตรฐานสำหรับวัดทอเรียม - 232 โดยใช้แร่ ทอเรียม (Th - ore) ของ IAEA ระหัส IAEA / RGTh - 1 มีทอเรียม - 232 = 800 มิลลิกรัม / กิโลกรัม ทำการเจือจาง (dilute) ประมาณ 194 เท่า ซึ่งทำได้โดยใส่ แร่ทอเรียม 2.6 กรัม ลงไปในกรดบอริก 497.4 กรัม และทำการหาค่าความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) ของสารมาตรฐานทอเรียมที่เตรียมไว้ ดังนี้

จากสารมาตรฐาน IAEA / RGTh - 1 มีทอเรียม - 232 = 800 มิลลิกรัม / กิโลกรัม

ในแร่ทอเรียม 1000 กรัม มี ทอเรียม - 232 = 800×10^{-3} กรัม

ในแร่ทอเรียม 2.58134 กรัม มี ทอเรียม - 232 = $(2.58134 \times 800 \times 10^{-3})/1000$

= 2.065×10^{-3} กรัม

ค่าครึ่งชีวิต (half life) ของ ทอเรียม -232 คือ 1.41×10^{10} ปี

น้ำหนักอะตอม ของ ทอเรียม - 232 คือ 232.038

จาก สูตร $A = \lambda N$

$$\lambda = \frac{0.693}{\left(1.41 \times 10^{10} \times 365 \times 24 \times 3600\right)} \text{ วินาที}^{-1}$$

$$N = \frac{\left(2.065 \times 10^{-3} \times 100 \times 6.023 \times 10^{23}\right)}{\left(232.038 \times 100\right)} \text{ อะตอม}$$

$$A = \lambda N = 8.3495 \quad \text{Bq}$$

$$= \frac{8.3495}{500} \quad \text{Bq / g}$$

$$= 16.70 \quad \text{Bq / kg}$$

ดังนั้น ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) ของทอเรียม- 232 คือ 16.70 Bq / kg

3.4 การเตรียมสารตัวอย่าง

นำสารตัวอย่าง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ ใส่ในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง ไล่ความชื้นออก โดยการอบที่อุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 - 5 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาปิดผนึก เพื่อ ป้องกันไม่ให้ก๊าซเรดอนรั่วไหลออก ทิ้งไว้จนเกิดสมดุลรังสี ประมาณ 3 สัปดาห์เป็นอย่างน้อย

3.5 การปรับเทียบแกมมาสเปกโตรมิเตอร์

ก่อนการทดลองได้ปรับเทียบแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ เพื่อ ให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์รังสีแกมมา ตั้งแต่พลังงาน 0 MeV ถึง 3 MeV

3.6 วิธีดำเนินการวิจัย

3.6.1 การหาค่าของจำนวนนับรังสีของแบคกราวด์

วัดค่าจำนวนนับรังสีต่อ 15,000 วินาที ของแบคกราวด์ภายในวัสดุกำบังรังสีขณะที่ไม่มีสารตัวอย่าง และ สารมาตรฐานอยู่ข้างใน โดยวิเคราะห์ โปแทสเซียม - 40 ที่ พีค (peak) 1.46 MeV ยูเรเนียม - 238 ที่ พีค (peak) 1.764 MeV ของบิสมัท - 214 และ ทอเรียม - 232 ที่พีค (peak) 2.614 MeV ของทัลเลียม - 208

3.6.2 การหาค่าของจำนวนนับรังสีของสารมาตรฐาน

วัดค่าจำนวนนับรังสี ต่อ 15,000 วินาที ของสารมาตรฐาน ซึ่งได้แก่ สารมาตรฐานโปแทสเซียม สารมาตรฐานยูเรเนียม และสารมาตรฐานทอเรียม โดยหาค่าความเข้มของรังสีทั้งสามช่วงพีค (peak) เช่นเดียวกับแบคกราวด์

3.6.3 การหาค่าของจำนวนนับรังสีของสารตัวอย่าง

วัดค่าจำนวนนับรังสี ต่อ 15,000 วินาที ของสารตัวอย่าง ซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์ 10 ตัวอย่าง หินปูน 7 ตัวอย่าง ดินดาน 6 ตัวอย่าง แร่เหล็ก 1 ตัวอย่าง ศิลาแลง 1 ตัวอย่าง วัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา 2 ตัวอย่าง และ คลิงเกอร์ (Clinker) 1 ตัวอย่าง โดยวัดความเข้มรังสีในช่วงทั้งสามพีค (peak) เช่นเดียวกับแบคกราวด์

3.7 วิธีการคำนวณหาค่าความแรงรังสี (Activity) ของสารตัวอย่าง

การคำนวณหาค่าความแรงรังสีของสารตัวอย่างสามารถคำนวณได้จาก

$$sample\ activity = \frac{n'_{sample}}{n'_{std}} \times \text{ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสารมาตรฐาน}$$

n'_{sample} = อัตราการนับสุทธิของตัวอย่าง

I17942214

n'_{std} = อัตราการนับสุทธิของสารมาตรฐาน

การคำนวณหาค่าเปอร์เซนต์ความเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถคำนวณได้จาก[10] สูตร

$$\sigma_{Th} = \left[n_{Th} + \frac{n_{bg(Th)}}{T} \right]^{1/2}$$

$$\sigma_{U} = \left[n_{U} + \frac{n_{bg(U)}}{T} + \alpha^{2}\sigma_{Th}^{2} \right]^{1/2}$$

$$\sigma_{K} = \left[n_{K} + \frac{n_{bg(K)}}{T} + \beta^{2}\sigma_{Th}^{2} + \gamma^{2}\sigma_{U}^{2} \right]^{1/2}$$

$$\%error = \left[\left(\frac{\sigma_{sample}}{n'_{sample}} \right)^{2} + \left(\frac{\sigma_{std}}{n'_{std}} \right)^{2} \right]^{1/2} \times 100$$

$\sigma_{Th}, \sigma_{U}, \sigma_{K}$ = ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการนับของทอเรียม ยูเรเนียม และ โปแทสเซียม ตามลำดับ

T = จำนวนช่องในแต่ละพีค (peak)

n_{K}, n_{U}, n_{Th} = อัตราการนับทั้งหมดในช่วงของโปแทสเซียม ยูเรเนียมและทอเรียม

n_{bg} = อัตราการนับทั้งหมดของแบคกราวด์ในพีคนั้นๆ

3.7.1 การคำนวณหาความแรงรังสีของโปแทสเซียมในตัวอย่าง[10]

เนื่องจากมีการรบกวนจากรังสีแกมมาของทอเรียม และ ยูเรเนียม ต่อโปแทสเซียมทำให้อัตราการนับรังสีเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) ของพีคที่มีพลังงานสูงกว่า โดยพีคของโปแทสเซียมจะถูกรบกวนจากพีคของยูเรเนียม และ ทอเรียม ส่วน

พีคของยูเรเนียมจะถูกรบกวนจากพีคของทอเรียม จึงมีสูตรแก้การรบกวน ซึ่งกันและกันของธาตุทั้งสามดังต่อไปนี้

$$n'_K = n_K - n_{bg(K)} - \beta n'_{Th} - \gamma n'_U$$

n'_K, n'_U, n'_{Th} = อัตราการนับสุทธิของK , U และ Th ตามลำดับ

ในสารมาตรฐานทอเรียม $\beta = \dfrac{n'_K}{n'_{Th}}$

= อัตราส่วนระหว่างอัตรานับสุทธิของโปแทสเซียมกับทอเรียม ในสารมาตรฐานทอเรียม

ในสารมาตรฐานยูเรเนียม $\gamma = \dfrac{n'_K}{n'_U}$

= อัตราส่วนระหว่างอัตรานับสุทธิของโปแทสเซียม กับยูเรเนียม ในสารมาตรฐานยูเรเนียม

n_K, $n_{bg(K)}$ = อัตราการนับทั้งหมดของโปแทสเซียม และ แบคกราวน์ ตามลำดับ

$$A_K = \frac{n'_{K(sample)}}{n'_{K(std)}} \times \text{ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสารมาตรฐานK}$$

A_K = ค่าความแรงรังสีของโปแทสเซียมในตัวอย่าง

3.7.2 การคำนวณหาค่าความแรงรังสีของยูเรเนียมในตัวอย่าง

เนื่องจากมีการรบกวนจากรังสีแกมมาของทอเรียมต่อยูเรเนียมทำให้อัตราการนับรังสีเพิ่มขึ้น จึงมีสูตรแก้การรบกวนซึ่งกันและกันของธาตุทั้งสองดังต่อไปนี้

$$n'_U = n_U - n_{bg(U)} - \alpha n'_{Th}$$

n_U, $n_{bg(U)}$ = อัตราการนับทั้งหมดของยูเรเนียม และแบคกราวน์ตามลำดับ

ในสารมาตรฐานทอเรียม $\alpha = \dfrac{n'_U}{n'_{Th}}$

$$A_U = \frac{n'_{U(sample)}}{n'_{U(std)}} \times \text{ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสารมาตรฐานยูเรเนียม}$$

A_U = ค่าความแรงรังสีของยูเรเนียมในตัวอย่าง

3.7.3 การคำนวณหาค่าความแรงรังสีของทอเรียมในตัวอย่าง

เนื่องจากพีค(peak) ของทอเรียมไม่ได้ถูกรบกวนจากรังสีแกมมาจากพีค(peak)อื่นดังนั้น

$$n'_{Th} = n_{Th} - n_{bg(Th)}$$

n_{Th}, $n_{bg(Th)}$ = อัตราการนับทั้งหมดของทอเรียมและแบคกราวน์

$$A_{Th} = \frac{n'_{Th(sample)}}{n'_{Th(std)}} \times \text{ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสารมาตรฐานทอเรียม}$$

A_{Th} = ค่าความแรงรังสีของทอเรียมในตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย