

ผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียม

5.1 การเลือกพลังงานของรังสีแกมมาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ

เนื่องจากตัวอย่างที่เก็บมามีธาตุกัมมันตรังสีหลายตัว แต่สิ่งที่เราต้องการวัดคือปริมาณ โปแทสเซียม, ยูเรเนียม และทอเรียม ในทางปฏิบัติ เราสามารถวัดปริมาณ โปแทสเซียม, ยูเรเนียม และ ทอเรียมได้โดยการเตรียมสารมาตรฐานของทั้งสามตัว แล้วเลือกค่าพลังงานที่เหมาะสมมาใช้วัดในการ เลือกจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ คือ

- (1) พลังงานที่เลือกวัดจะต้องมีความเข้มมากพอและไม่รบกวนพีคที่ 1.46 MeV ของ K-40
- (2) มีพลังงานจากนิวไคลด์อื่น ๆ รบกวนน้อยที่สุด
- (3) มีพลังงานสูงพอ เพราะพลังงานต่ำจะมีปัญหาเรื่องการดูดกลืนตัวเอง (self absorption) จึงทำให้พื้นที่ใต้พีคที่สนใจมีจำนวนน้อยลง และมีการรบกวนมากขึ้น

การเลือกพลังงานดูได้จาก ตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 จากตารางจะเห็นว่าในอนุกรมยูเรเนียม นิวไคลด์ที่ให้รังสีแกมมาที่มีความเข้มมากพอควร มีพลังงานสูง และมีการรบกวนจากพลังงานในอนุกรมของ U Th และ K-40 มีน้อยมาก คือ ที่พลังงาน 1.76 MeV ซึ่งเป็นรังสีแกมมาที่ได้จาก Bi-214 แต่การเลือกพลังงาน 1.76 MeV จาก Bi-214 มีข้อเสีย คือ Bi-214 เกิดต่อจากการสลายตัวของ Rn-222 ซึ่งเป็นก๊าซดังนั้น ภาชนะจะต้องกันก๊าซไม่ให้รั่วไหล โดยการติดเทปกาวที่ฝา ก่อนทำการวัด จะต้องทิ้งไว้ให้อยู่ในสภาพสมดุลย์ ในทำนองเดียวกัน นิวไคลด์ในอนุกรมทอเรียมที่เลือกวัด คือ Tl-208 ซึ่งให้พลังงาน 2.62 MeV สำหรับ โปแทสเซียม มี K-40 เท่านั้นที่ให้รังสีแกมมา และมีเพียงค่าเดียวคือที่ 1.46 MeV

5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ โปแทสเซียม ยูเรเนียม และ ทอเรียม

การวิเคราะห์หาปริมาณทำได้ 2 วิธี คือ

5.2.1 วิธีวัดโดยตรง

การวัดโดยตรงจำเป็นต้องรู้ถึงประสิทธิภาพทั้งหมดของระบบ

5.2.2 วิธีวัดโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

การวัดโดยเปรียบเทียบนี้ทำได้หลายวิธี แต่ในการทดลองนี้เลือกใช้วิธีวัดโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโดยไม่ต้องเติมสารมาตรฐาน ลงในตัวอย่าง การวัดโดยวิธีนี้มีข้อดีคือ

- (1) สามารถวัดสารตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยได้ เพราะใช้วิธีหกลบจำนวนนับที่เกิดจากการรบกวนของพลังงานอื่น ๆ
- (2) ไม่สิ้นเปลืองสารตัวอย่าง
- (3) หักล้างผลที่เกิดจาก การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน ได้ในตัว การเตรียมสารมาตรฐานใช้วิธีคล้าย ๆ กับการเตรียมสารตัวอย่าง คือ ต้องเตรียมสารตัวอย่างให้มีค่า สัมประสิทธิ์การลดค่าความเข้มรังสี (attenuation coefficient) ใกล้เคียงกัน มีรูปร่างของภาชนะเหมือนกัน และมีปริมาตรใกล้เคียงกันกับสารตัวอย่างที่จะวัด

5.3 การเตรียมตัวอย่าง

เนื่องจากตัวอย่างที่เก็บมา มีทั้งหินและดิน ดังนั้นก่อนนำมาวัดจะต้องเตรียมตัวอย่างให้มีลักษณะเป็นผง และมีขนาดเท่ากัน โดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ถ้าเป็นหินก่อนบดต้องทำความสะอาด เพื่อไม่ให้มีสิ่งเจือปน นำผงดินและหินที่ผ่านการคัดขนาดแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำไปบรรจุในกล่องพลาสติกรูปทรงกระบอก ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซ็นติเมตร หนา 1 เซ็นติเมตร จากนั้นปิดฝาแล้วพันด้วยเทปกาว เพื่อกันไม่ให้ก๊าซเรดอนรั่วออก เก็บไว้ประมาณ 1 เดือน เพื่อให้เกิดสภาวะสมดุลย์

5.4 การเตรียมสารมาตรฐาน

สารมาตรฐานที่ใช้ควรมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับสารตัวอย่าง และควรเตรียมให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน เพื่อให้ผลจากการดูดกลืนตัวเองมีค่าเท่ากัน (ควรบรรจุสารในภาชนะให้ปริมาตรเท่ากัน มีขนาดและรูปร่างเดียวกัน) ส่วนวิธีเตรียมอื่น ๆ ใช้หลักการเดียวกับการเตรียมสารตัวอย่าง

5.4.1 สารมาตรฐานที่ใช้

สารมาตรฐานที่ใช้ คือ K_2HPO_4 , U_3O_8 และ ThO_2

- (1) K_2HPO_4 มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.0% โดยมีสารเจือปนต่าง ๆ ดังนี้

C1	<	0.01	%
SO ₄	<	0.01	%
Cu	<	0.005	%
Pb	<	0.005	%
Fe	<	0.005	%
Zn	<	0.005	%
Cd	<	0.005	%



เนื่องจากสิ่งเจือปนมีน้อยมากจึงถือว่า K_2PO_4 มีความบริสุทธิ์ 100 % ดังนั้นสารมาตรฐานนี้มี โพลแทสเซียมอยู่ = 44.64% หรือมี K-40 อยู่ = $44.64\% \times 0.000119\% = 5.3 \times 10^{-5}\%$ (ในทางปฏิบัติถือว่า อัตราส่วนของโพแทสเซียม-40 ต่อ โพแทสเซียมทั้งหมดมีค่าคงที่)

(2) U_3O_8 เป็นสารมาตรฐานที่ได้จาก IAEA มีความเข้มข้น 0.140 % = 1400 ppm ปกติการทำให้มีปริมาณใกล้เคียงกับสารมาตรฐานโดยการปนกับทรายบริสุทธิ์ (purified sand by acid) เพื่อให้มีความเข้มข้นเท่า ๆ กับสารตัวอย่าง (ประมาณ 10-100 ppm) จากนั้นบรรจุสารมาตรฐานทั้งสามในกล่องพลาสติกแล้วปิดด้วยเทปกาวกันการรั่วของเรดอน แต่สำหรับ K_2HPO_4 ไม่ต้องปิดผนึกกันรั่ว

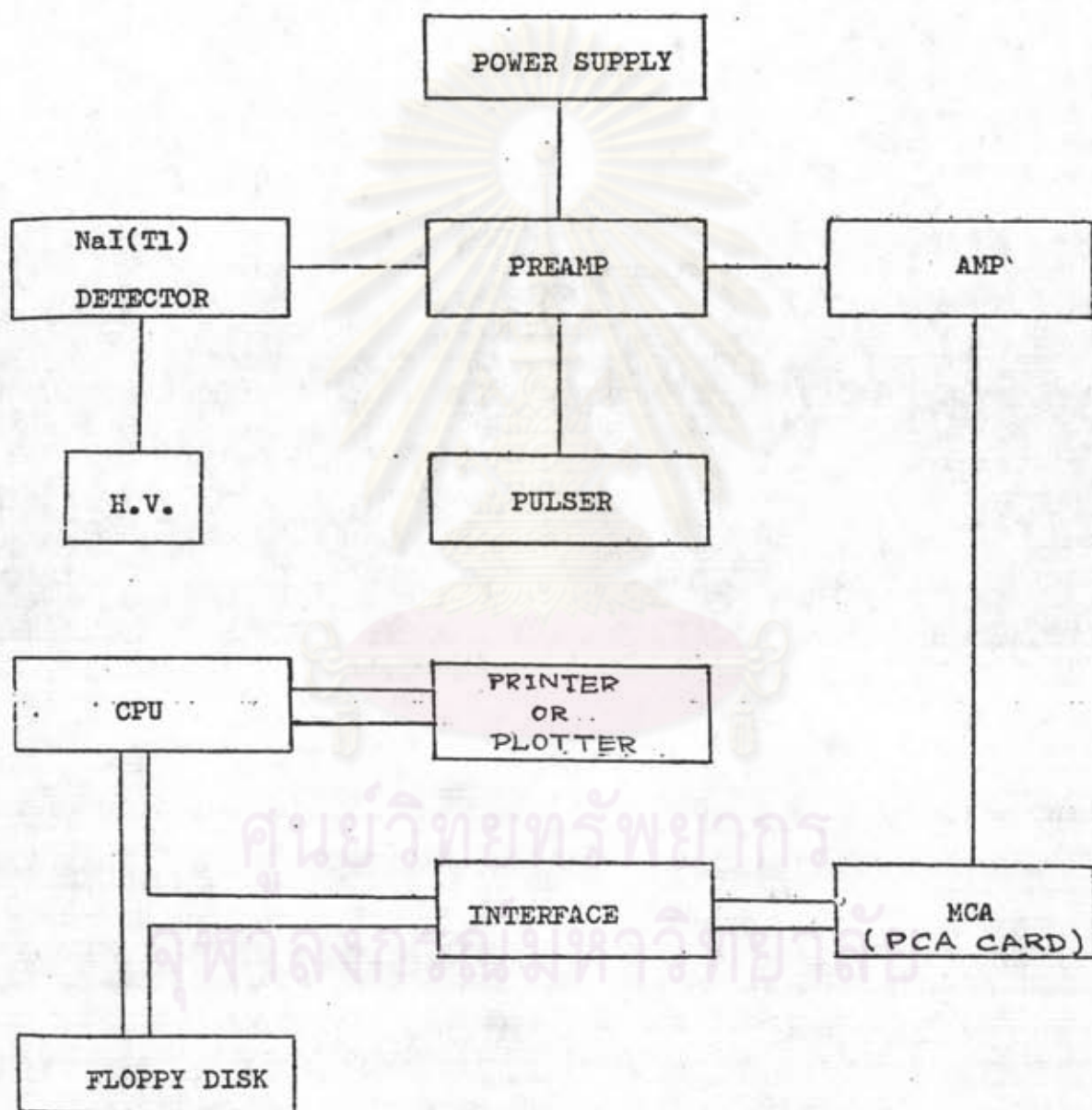
(3) ThO_2 ได้จาก IAEA มีความบริสุทธิ์ 99.0 % ผสมกับทรายบริสุทธิ์ มีความเข้มข้นประมาณ 0.0488 %

5.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์

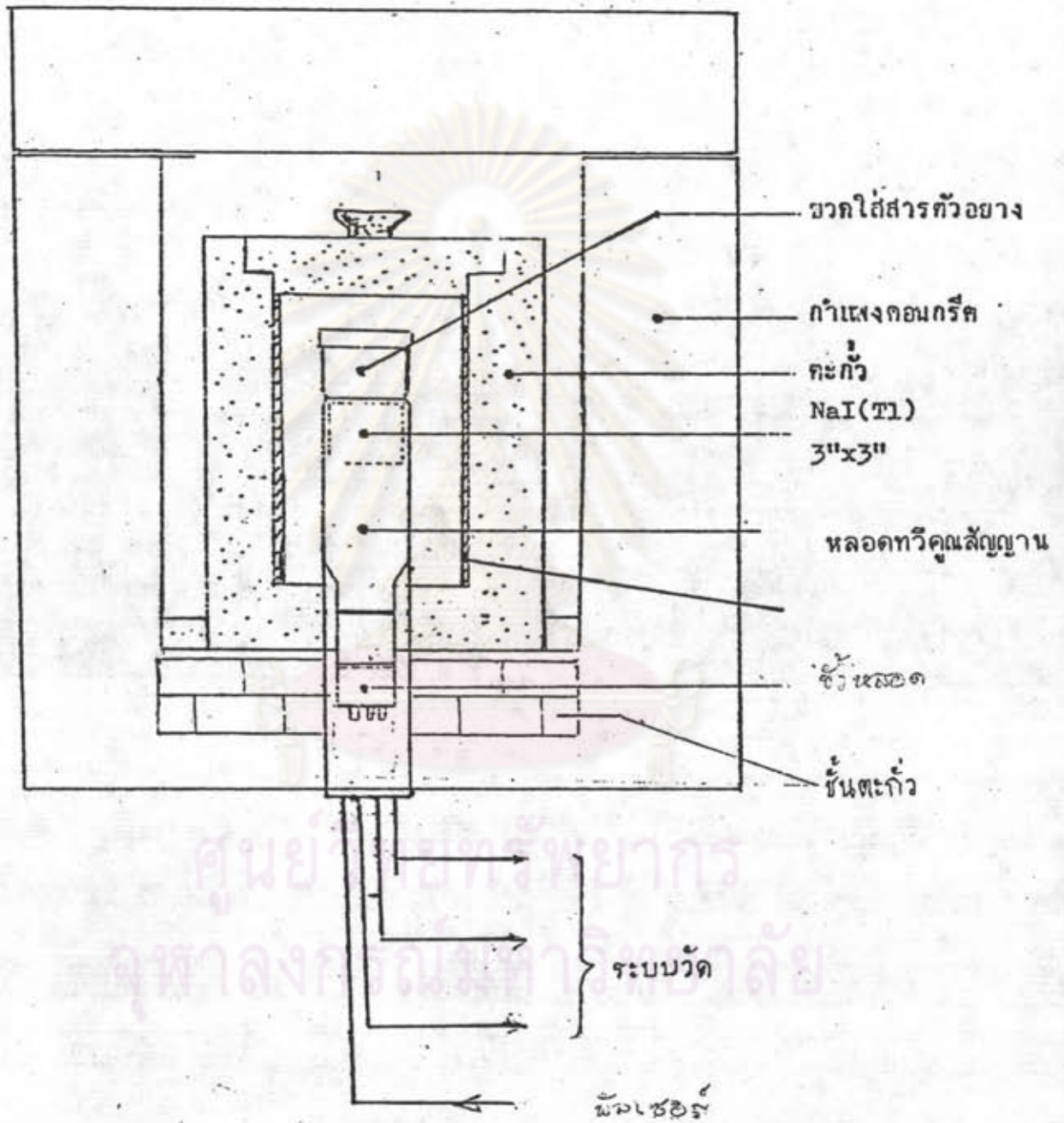
การวิเคราะห์หาปริมาณสารตัวอย่างจะทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

- (1) จัดอุปกรณ์การตรวจวัดดังรูปที่ 5.1
- (2) วางตัวอย่างบนหัววัดดังรูปที่ 5.2
- (3) วัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาจาก Co-60 เพื่อทำโค้งปรับเทียบ (calibration curve) โดยเลือกพีคที่ 1.33 MeV และพีครวม (sum peak) ที่ 2.50 MeV เป็นพีคปรับเทียบ แต่การใช้ Co-60 มีข้อเสียคือพีครวมที่พลังงาน 2.50 ค่อนข้างกว้าง ทำให้ผลการปรับเทียบผิดพลาดได้ง่าย ดังนั้นจึงควรเลือกพีคของยูเรเนียมมาตรฐาน และทอเรียมมาตรฐานเป็นตัวปรับเทียบ โดยเลือกที่พีคของ Bi-214 พลังงาน 1.76 MeV และของ Tl-208 พลังงาน 2.62 MeV บันทึกค่าในตารางที่ 5.1 (ดูรูปที่ 3.11 และ 3.12 ประกอบ)

- (4) วัดสเปกตรัมของสารมาตรฐานโพแทสเซียม แล้วหาพื้นที่ใต้



รูปที่ 5.1 การจัดอุปกรณ์ในการวัด



รูปที่ 5.2 การจัดตำแหน่งของหัววัดและสารตัวอย่าง

ผิดในช่องของ โพแทสเซียม, ยูเรเนียม และ ทอเรียม โดยตั้งหน้าต่างของ โพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ไว้ที่ 1.36-1.46 MeV 1.66-1.86 MeV และ 2.42-2.82 MeV ตามลำดับ (ดูรูปที่ 3.12 ประกอบ)

(5) วัดสเปกตรัมของสารมาตรฐานยูเรเนียม แล้วหาพื้นที่ใต้ผิดในช่องของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม (ใช้ค่าพื้นที่ใต้ผิดทั้งหมด (integral count)) บันทึกค่าในตารางที่ 5.1

(6) วัดสเปกตรัมของสารมาตรฐานทอเรียม แล้วหาพื้นที่ใต้ผิดในช่องของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม (ใช้ค่าพื้นที่ใต้ผิดทั้งหมด (integral count)) บันทึกค่าในตารางที่ 5.1

(7) วัดสเปกตรัมของแบคคราวันด์ แล้วหาพื้นที่ใต้ผิดในช่องของ โพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม บันทึกค่าในตารางที่ 5.1

(8) หาค่าหักลบคอมพ์ตัน S_{α} , S_{β} , และ S_{γ} จากสมการที่ 3.16, 3.17 และ 3.18

(9) หาค่าคงที่ความไว C_{Th} , C_U และ C_K จากสมการที่ 3.13, 3.14 และ 3.15

(10) วิเคราะห์หาปริมาณ โพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ในตัวอย่างจาก สมการที่ 3.13, 3.14, 3.15

5.6 ตัวอย่างการวิเคราะห์

จากการวัดพื้นที่ใต้ผิดตามวิธีการในหัวข้อที่ 5.5 ได้ผลดังแสดงใน ตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

สิ่งที่วัด	มวล (กรัม)	จำนวนนับใน 10000 วินาที		
		Tl-208	Bi-214	K-40
แบคคราวันด์	-	301	407	864
ทอเรียม(std)	10.60897	704	635	1199
ยูเรเนียม(std)	6.16250	432	3011	4114
โพแทสเซียม(std)	5.63819	400	444	2058
A1	16.94310	400	454	1254
A2	14.23824	405	487	1187

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

สิ่งที่วัด	มวล (กรัม)	จำนวนนับใน 10000 วินาที		
		T1-208	Bi-214	K-40
A3	9.90204	397	511	1195
A4	10.18462	401	468	1017
A5	11.73755	353	441	1036
A6	9.38157	368	430	1019
A7	11.84551	431	3064	4241
A8	21.12984	902	466	398
A9	18.90750	338	446	1730

ค่า อัตราส่วนหักลบ (stripping ratios) หาได้จากสมการ ที่ 3.16, 3.17 และ 3.18 คือ

$$S_a = \frac{n_u - b_u}{N_{Th} - b_{Th}} = \frac{635 - 407}{704 - 301} = \frac{228}{403} = 0.57$$

$$S_b = \frac{n_k - b_k}{N_{Th} - b_{Th}} = \frac{1199 - 864}{704 - 301} = \frac{335}{403} = 0.83$$

$$S_c = \frac{n_{k'} - b_{k'}}{N_u - b_u} = \frac{4114 - 864}{3011 - 407} = \frac{3250}{2604} = 1.25$$

เมื่อรู้ค่าตัวคงที่ต่าง ๆ แล้ว นำค่าเหล่านี้ไปแทนในสมการที่ 3.13, 3.14 และ 3.15 ได้ผลดังนี้

$$C_{Th} = \frac{Th(\text{ppm})}{(N_{Th} - b_{Th})} \quad \text{ppm/cps}$$

$$= \frac{488(\text{ppm})}{(704 - 301)} = 1.21 \text{ ppm/cps}$$

$$\begin{aligned}
 C_U &= U(\text{ppm}) / \{(N_U - b_U - S_U(n_{Th} - b_{Th}))\} && \text{ppm/cps} \\
 &= 1400(\text{ppm}) / \{(3011 - 407 - 0.57(432 - 301))\} && \text{ppm/cps} \\
 &= 0.55 \text{ ppm/cps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_K &= K(\%) / [N_K - b_K - S_K(n_{Th} - b_{Th}) - S_U(n_U - b_U - S_U(n_{Th} - b_{Th}))] && \text{\%/cps} \\
 &= 44.64(\%) / [2058 - 864 - 0.83(99) - 1.25(444 - 407 - 0.57(99))] && \text{\%/cps} \\
 &= 0.04 \text{ \%/cps}
 \end{aligned}$$

นำค่าคงที่ต่าง ๆ ไปแทนค่าเพื่อหาความเข้มข้นของยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 \text{Th}(\text{ppm}) &= \frac{(\text{ppm Th in standard})(\text{Net Area Th/Wt})_{\text{sample}}}{(\text{Net Area Th/Wt})_{\text{standard}}} \\
 &= C_{Th} (\text{Net Area Th})_{\text{sample}} (\text{Wt}_{\text{standard}} / \text{Wt}_{\text{sample}}) \\
 &= 1.21(338 - 301)(10.60897 / 18.90750) = 25.0 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{U}(\text{ppm}) &= \frac{(\text{ppm U in standard})(\text{Net Area U/Wt})_{\text{sample}}}{(\text{Net Area U/Wt})_{\text{standard}}} \\
 &= C_U (\text{Net Area U})_{\text{sample}} (\text{Wt}_{\text{standard}} / \text{Wt}_{\text{sample}}) \\
 &= 0.55((39 - 0.57(37)))(6.16250 / 18.90750) \\
 &= 3.2 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\text{K}(\%) = \frac{(\% \text{ K in standard})(\text{Net Area K/Wt})_{\text{sample}}}{(\text{Net Area K/Wt})_{\text{standard}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= C_x (\text{Net Area } K)_{\text{sample}} (Wt_{\text{standard}} / Wt_{\text{sample}}) \\
 &= 0.04 [866 - 0.83(37) - 1.25(39 - 0.57(37))] (5.63819 / 18.90750) \\
 &= 9.7 \%
 \end{aligned}$$

เนื่องจากตัวอย่าง A₀ คือเฟลสปาร์ที่ได้จาก IAEA มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม = 8.30 ± 0.30 % และมีความเข้มข้นของยูเรเนียม = 2.52 ± 0.26 ppm ส่วนทอเรียมไม่ได้กำหนดความเข้มข้นที่แน่นอน นำค่าที่คำนวณได้มาเทียบหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้จาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของโพแทสเซียม} = \frac{(9.7 - 8.3) \times 100}{8.3} = 16.9 \%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของยูเรเนียม} = \frac{(3.2 - 2.5) \times 100}{2.5} = 27.4 \%$$

5.7 ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ปริมาณโพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณยูเรเนียม (ส่วนในล้านส่วน)	ปริมาณทอเรียม (ส่วนในล้านส่วน)
A1	4.3	1.9	75.0
A2	3.3	4.9	93.8
A3	4.3	16.9	124.4
A4	2.7	1.3	126.0
A5	1.4	1.3	56.9
A6	2.4	-0.5	91.7
A7	2.8	739.0	140.9

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ปริมาณโพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณยูเรเนียม (ส่วนในล้านส่วน)	ปริมาณทอเรียม (ส่วนในล้านส่วน)
A8	0.8	2.7	52.2
A9	9.7	3.2	25.0

หมายเหตุ

- A₁ คือ ตัวอย่างหินโคลนสีเขียวที่เก็บจากริมถนนสายหนองบัวลำภู
- A₂ คือ ตัวอย่างหินโคลนสีเขียวที่เก็บจากริมถนนสายหนองบัวลำภู
- A₃ คือ ตัวอย่างหินโคลนสีเขียวที่เก็บจากริมถนนสายหนองบัวลำภู
- A₄ คือ ตัวอย่างหินที่เก็บจากภูเวียงในร่องน้ำ
- A₅ คือ ตัวอย่างหินที่เก็บจากริมถนนสายเลข-ภูเรือ กิโลเมตรที่ 43-44
- A₆ คือ ตัวอย่างหินที่เก็บจากทางแยกจากถนนสาย เลข-ภูเรือ ไปยัง
วังสะพุง
- A₇ คือ ตัวอย่างหินทรายที่มีเม็ดแร่ยูเรเนียมปน เก็บจาก อำเภอก
ภูเวียง ณ จุดที่มีแร่โผล่ให้เห็น โดยวัดในสนามได้ประมาณ 3000-5000
cps
- A₈ คือ ตัวอย่างหินทรายที่เก็บจากบริเวณหนองบัวลำภู ถนนสายอุดร-
หนองบัวลำภู กิโลเมตรที่ 43-44
- A₉ คือ สารมาตรฐานเฟลสปาร์ที่ได้จาก IAEA