



บทที่ 4

การทดลอง และการคำนวณ

4.1 การทดลอง

4.1.1 ศึกษาคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของธาตุกลุ่มแรร่เอิร์ท ดังตารางที่ 4.1

4.1.2 เตรียมสารมาตรฐานขึ้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแรร่เอิร์ทในดินแกรนิตนี้ ได้ใช้วิธีการแบบเปรียบเทียบ (relative method) ซึ่งจำเป็นจะต้องมีสารมาตรฐาน จึงได้ทำการเตรียมสารมาตรฐานที่จะใช้ในการวิเคราะห์นี้ขึ้นเอง โดยได้กระทำเป็น 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 ซึ่งสารประกอบออกไซด์ของแต่ละธาตุในกลุ่มแรร่เอิร์ทแล้วคิดเป็นร้อยละในรูปของออกไซด์ และของธาตุ ดังตารางที่ 4.2 ในการชั่งสารนั้น ได้ทำการดักสารที่ต้องการใส่ลงไปในแผ่นของอะลูมิเนียม (aluminium foil) ที่ได้เช็ดทำความสะอาดด้วย acetone แล้วชั่งน้ำหนักรวมของแผ่นอะลูมิเนียมและสาร เสร็จแล้วลงในครกบดที่ทำด้วยอะเกต (agate) แล้วชั่งน้ำหนักของแผ่นอะลูมิเนียมและสารที่ตกค้าง นำมาหักออกจากการชั่งครั้งแรก ซึ่งจะได้เป็นน้ำหนักของสารที่หลงในครกบด เปลี่ยนแผ่นอะลูมิเนียมแล้วทำการชั่งสารตัวอื่นด้วยวิธีเดียวกัน

การเตรียมสารมาตรฐานในลักษณะนี้อาจจะมีปัญหาของการติดครกของสารประกอบที่ใช้ ดังนั้นจึงได้ทำการชั่งสารประกอบออกไซด์ของธาตุที่มีส่วนผสมอยู่มากที่สุดลงไปก่อน คือ สารประกอบออกไซด์ของ La, Ce และ Nd ลงในครกบดก่อนตามลำดับ เพื่อใช้สารทั้ง 3 ตัวเป็นพื้นรองรับสารประกอบออกไซด์ตัวอื่น ๆ ที่ชั่งใส่ลงในครกบดในภายหลัง แล้วทำการคลุกเคล้าให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ซึ่งจะต้องทำอย่างระมัดระวัง มิให้มีการหลุดหายของสารในครกบด



ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของธาตุแรรี่เอิร์ท ที่เกี่ยวกับนิวตรอนแอกทีเวชัน (12, 13)

ไอโซโทปเสถียร	ปริมาณที่มีอยู่ในธรรมชาติ (%)	เทอร์มัล-นิวตรอนครอสเซชัน (barn)	ไอโซโทปรังสีที่เกิดจากปฏิกิริยา (n,γ)**	ค่าครึ่งชีวิตของไอโซโทป-รังสี *	พลังงานของรังสีแกมมา (KeV) ที่สลายออกมา (ความเข้มของรังสี %)
La-139	99.91	8.94	La-140	40.23 h	1596.2(96 %)
					487.0(45 %)
					815.8(23 %)
					328.8(21 %)
Ce-140	88.48	0.58	Ce-141	32.5 d	145.5(49 %)
Pr-141	100.0	7.5	Pr-142	19.13 h	1575.9(37 %)
Nd-146	17.2	1.3	Nd-147	10.99 d	91.1(28 %)
					531.0(13 %)
Sm-152	26.7	208	Sm-153	46.7 h	103.2(28 %)
Sm-154	22.6	5	Sm-155	22.2 m	104.2(73 %)
Eu-151	47.9	60 x 10 ²	Eu-152	13.4 a	121.8(53 %)
		32 x 10 ²	Eu-152 M	9.34 h	344.3(31 %)
					841.6(13 %)
Gd-152	0.2	4	Eu-152 N	96 m	963.5(12 %)
		1 x 10 ¹	Gd-153	241.6 d	121.8(9 %)
					89.8(74 %)
Tb-159	100	23.5	Tb-160	72.4 d	97.5(30 %)
					103.2(22 %)
					879.3(40 %)
Dy-164	28.1	10 x 10 ²	Dy-165	2.33 h	966.2(34 %)
					298.5(35 %)
					94.6(4 %)

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) คุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของธาตุเราร์เอิร์ท ที่เกี่ยวกับนิวตรอนแอกทีเวชัน (12,13)

ไอโซโทปเสถียร	ปริมาณที่มีอยู่ในธรรมชาติ (%)	เทอร์มัล-นิวตรอนครอสเซชัน (barn)	ไอโซโทปรังสีที่เกิดจากปฏิกิริยา (n,γ) **	ค่าครึ่งชีวิตของไอโซโทปรังสี *	พลังงานของรังสีแกมมา (KeV) ที่สลายออกมา (ความเข้มของรังสี %)
Dy-164	28.1	17×10^2	Dy-165 M	1.26 m	108.2(21 %) 515.5(11 %)
Ho-165	100	62	Ho-166	26.8 h	80.6(5 %)
Er-170	14.9	5.8	Er-171	7.52 h	308.3(63 %) 295.9(28 %) 111.6(25 %) 124.0(11 %)
Tm-169	100	105	Tm-170	129 d	84.3(10 %)
Yb-168	0.14	35×10^2	Yb-169	31.8 d	63.5(45 %) 197.8(40 %) 177.0(22 %)
Yb-174	31.6	19	Yb-175	4.19 d	396.1(6 %) 282.6(3 %)
Lu-175	97.4	16	Lu-176 M	3.69 h	88.3(10 %)
Lu-176	2.6	20×10^2 3×10^2	Lu-177 Lu-177 M	6.71 d 161 d	208.3(11 %) 208.3(62 %) 228.4(37 %)

* m = นาที , h = ชั่วโมง ; d = วัน ; a = ปี

** M และ N เป็น metastable state ของ Radioisotope

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบของสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นในขั้นตอนที่ 1

สารเคมีที่ใช้	น้ำหนัก (mg)	ปริมาณในรูปออกไซด์ (%)	ปริมาณในรูปของธาตุ (%)
La ₂ O ₃	1173.30	22.678	19.337
CeO ₂	2457.28	47.495	38.666
Pr ₆ O ₁₁	174.37	3.370	2.790
Nd ₂ O ₃	816.19	15.776	13.524
Sm ₂ O ₃	232.39	4.492	3.874
Eu ₂ O ₃	34.97	0.676	0.584
Gd ₂ O ₃	27.64	0.534	0.463
Tb ₄ O ₇	24.76	0.479	0.407
Dy ₂ O ₃	117.45	2.270	1.978
Ho ₂ O ₃	18.89	0.365	0.319
Er ₂ O ₃	41.52	0.803	0.702
Tm ₂ O ₃	10.98	0.212	0.186
Yb ₂ O ₃	32.45	0.627	0.551
Lu ₂ O ₃	11.57	0.224	0.197

ทำการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันภายหลังจากคลุกเคล้าจนคิดว่าน่าจะเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว โดยลุ่มตัวอย่างจากตำแหน่งต่างๆของครกบดจำนวน 7 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 1 ตัวอย่าง ใช้น้ำหนักตัวอย่างละประมาณ 10 มิลลิกรัมบรรจุลงในขวดโพลีเอทิลีน (polyethylene) ปิดผนึกฝาด้วยความร้อนให้สนิท แล้วนำไปทำนิวตรอนแอกทีเวชัน ณ ตำแหน่งที่มีเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ประมาณ 5×10^{10} นิวตรอน/ตารางเซนติเมตร/วินาที เป็นเวลานาน 1 นาที ทิ้งให้สลายตัวนาน 30 นาที แล้วนำมาวัดความแรงรังสีแกมมาพลังงาน 94.6 KeV จากการสลายตัวของ Dy-165 โดยวัดห่างจากหัววัดเป็นระยะทาง 2 เซนติเมตร ใช้เวลาในการวัดอย่างละ 400 วินาที แล้วคำนวณหาความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) ของ Dy-165 จากนั้นจึงทิ้งให้มีการสลายตัวต่อไปอีกประมาณ 14-24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาทำการวัดความแรงของรังสีแกมมาพลังงาน 103.2 KeV และ 121.8 KeV จากการสลายตัวของ Sm-153 และ Eu-152 M ตามลำดับโดยใช้เวลาในการวัดรังสี 600 วินาที ที่ระยะติดหัววัดรังสี เพื่อหาอัตราส่วนของความแรงรังสีจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีทั้ง 2

ถ้าสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นมีความเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ความแรงรังสีจำเพาะของ Dy-165 จากตัวอย่างทั้ง 7 จะมีค่าใกล้เคียงกัน และในขณะเดียวกันอัตราส่วนของความแรงรังสีควรจะมีค่าใกล้เคียงกันด้วย ถ้าค่าที่ได้ในแต่ละแบบมีความแตกต่างกันมากแสดงว่าสารมาตรฐานยังไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ต้องทำการคลุกเคล้าในครกบดต่อไปอีกทำเช่นนี้จนกว่าจะแน่ใจว่าสารมาตรฐานมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 2 นำสารมาตรฐานที่เป็นเนื้อเดียวกันของขั้นตอนที่ 1 มาทำให้เจือจาง (dilute) วิธีการก็คือชั่งน้ำหนักของสารมาตรฐานจากขั้นตอนที่ 1 (วิธีซึ่งเหมือนขั้นตอนที่ 1) มา 119.88 มิลลิกรัม ใส่ลงในทราย (SiO_2) ที่ใช้สำหรับเตรียมสารมาตรฐานหนัก 40878.96 มิลลิกรัม แล้วทำการคลุกและตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันด้วยวิธีการเดียวกับขั้นตอนที่ 1 แต่เวลาที่ใช้ในการทำนิวตรอนแอกทีเวชันนาน 10 นาที และน้ำหนักของตัวอย่างที่ลุ่มมาตัวละประมาณ 50 มิลลิกรัม ปริมาณของสารประกอบออกไซด์ และของแต่ละธาตุ แสดงในตารางที่ 4.3

ในหินแกรนิตจะมี SiO_2 และ Al_2O_3 ประกอบอยู่เป็นส่วนประกอบหลักเมื่อนำไปทำนิวตรอนแอคติเวชัน จะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ของ $^{28}\text{Si}(n,p)^{28}\text{Al}$ และ $^{27}\text{Al}(n,\gamma)^{28}\text{Al}$ นั่นคือจะเกิดไอโซโทปรังสีของ Al-28 ที่มีค่าครึ่งชีวิต 2.24 นาที เมื่อทิ้งให้มีการสลายตัว 20 นาที ความแรงรังสีแกมมาจากการสลายตัวของ Al-28 จะลดลงจนไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ธาตุแรรี่เอิร์ท ดังนั้นในการเตรียมสารมาตรฐานในการทดลองนี้จึงได้เลือกใช้ทรายเป็นส่วนประกอบหลักเพียงตัวเดียว

ตารางที่ 4.3 ส่วนประกอบของสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นในตอนที่ 2

สารเคมีที่ใช้	น้ำหนัก (mg)	ปริมาณในรูปของออกไซด์ (ppm หรือ 10^{-4} %)	ปริมาณในรูปของธาตุ (ppm หรือ 10^{-4} %)
La_2O_3	27.186	663.1	565.0
CeO_2	56.937	1389.0	1131.0
Pr_6O_{11}	4.040	98.5	81.5
Nd_2O_3	18.912	461.3	395.5
Sm_2O_3	5.385	131.3	113.0
Eu_2O_3	0.810	19.8	17.0
Gd_2O_3	0.640	15.6	13.5
Tb_4O_7	0.574	14.0	11.8
Dy_2O_3	2.721	66.4	57.9
Ho_2O_3	0.438	10.7	9.3
Er_2O_3	0.962	23.5	20.6
Tm_2O_3	0.254	6.2	5.4
Yb_2O_3	0.752	18.3	16.1
Lu_2O_3	0.268	6.5	5.7
SiO_2	40878.96	99.70760 %	40.60588 %

4.1.3 การตรวจสอบความถูกต้องของสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้น

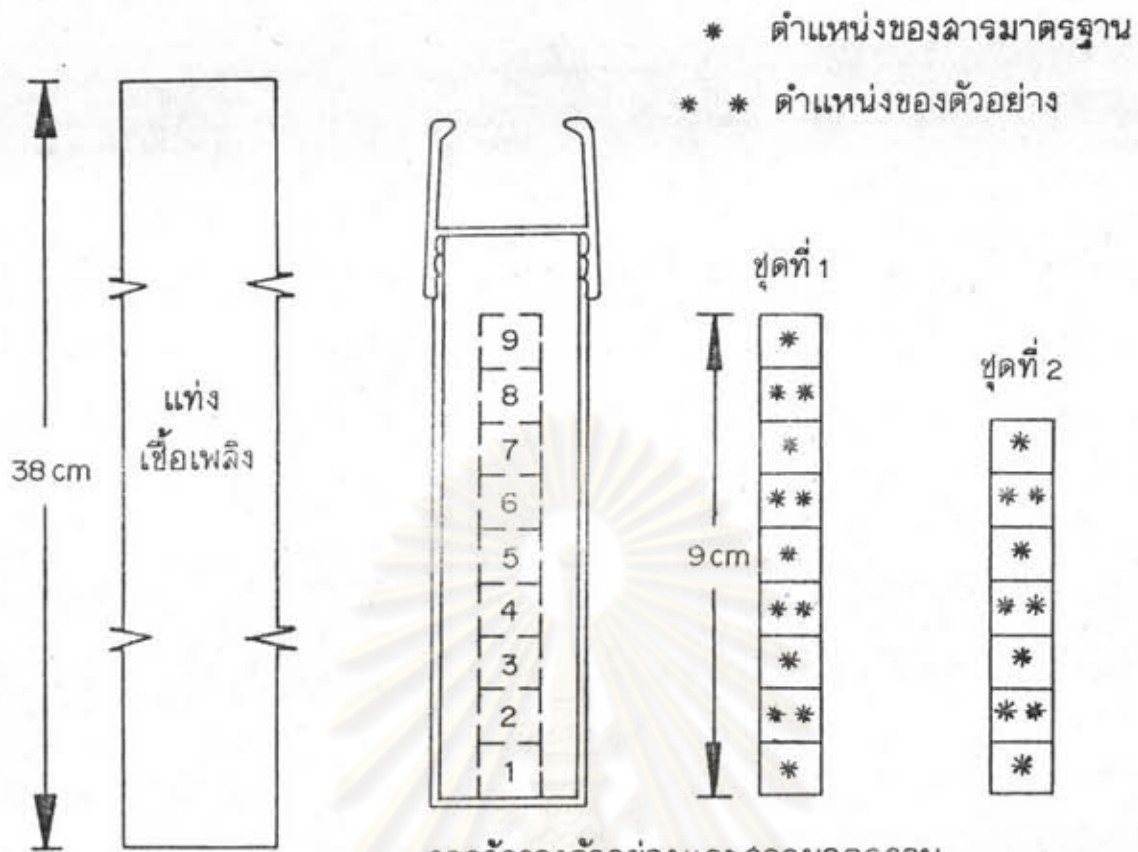
ในการเตรียมสารมาตรฐานสามารถเกิดความผิดพลาดได้ แม้ว่าจะมีการระมัดระวังอย่างดีแล้วก็ตาม จึงต้องทำการตรวจสอบสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้น ในการทดลองนี้ได้ทำการตรวจสอบด้วยการใช้สารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นนี้ไปทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเรย์เธียมในหินมาตรฐานของ U.S.G.S. (U.S. Geological Survey) จำนวน 3 ตัว คือหินมาตรฐานหมายเลข G-2, GSP-1 และ AGV-1 และหินมาตรฐานของทบวงการประมาธระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency : IAEA) หมายเลข SL-1 เปรียบผลที่ได้จากการทดลองกับค่าที่รายงานจากเอกสาร เพื่อทำเป็นค่าแก้ (correction factor) ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ซึ่งได้ทำเป็นขั้นตอนดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมตัวอย่าง (หินมาตรฐาน 4 ตัว) และสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้น

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ๆ ละ 7 ตัว แต่ละตัวหนักประมาณ 150-200 มิลลิกรัม บรรจุลงในขวดโพลีเอทิลีน ปิดผนึกฝาให้สนิทด้วยความร้อน และชั่งสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นแต่ละประมาณ 30 มิลลิกรัม บรรจุลงในขวดโพลีเอทิลีนในลักษณะเดียวกับการเตรียมตัวอย่าง ใช้สารมาตรฐาน 9 ตัวต่อการวิเคราะห์ตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง (7 ตัว)

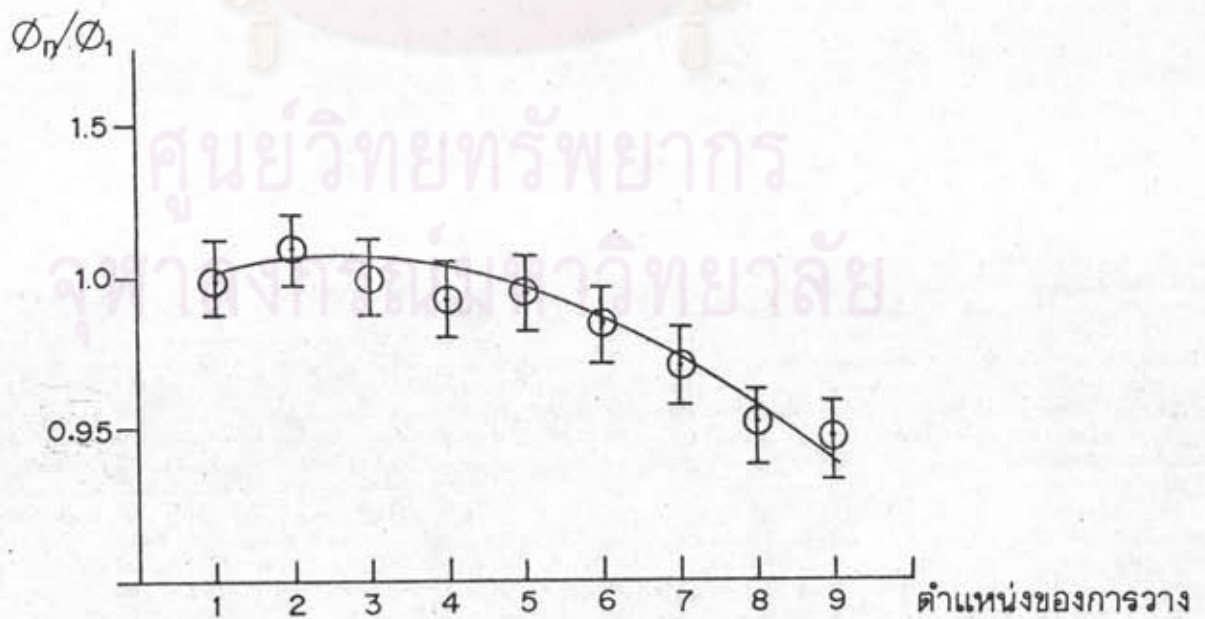
การจัดวางตัวอย่าง และสารมาตรฐานนั้นทำเป็น 2 ชุด ชุดแรกใช้สารมาตรฐาน 5 ตัว และตัวอย่าง 4 ตัว ชุดที่ 2 ใช้สารมาตรฐาน 4 ตัว และตัวอย่าง 3 ตัว จัดวางในแนวตั้งโดยเรียงสลับ บรรจุลงในกระบอกโพลีเอทิลีน และในกระบอกอะลูมิเนียม ดังรูป 4.1 เมื่อใช้เวลาในการทำนิวตรอนแอกทีเวชันด้วยเวลาที่สั้นและยาวตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 นำตัวอย่างชุดที่ 1 ไปทำนิวตรอนแอกทีเวชัน ณ ตำแหน่งที่มีเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ประมาณ 5×10^{10} นิวตรอน/ตารางเซนติเมตร/วินาที เป็นเวลา 10 นาที ึ่งให้สลายตัวนาน 20 นาที แล้วนำมาวัดความแรงรังสีแกมมาพลังงาน 94.6 KeV และ 121.8 KeV จากการสลายตัวของ Dy-165 และ Eu-152 M โดยตัวอย่างอยู่ห่างจากหัววัดรังสี 1 เซนติเมตร เพื่อหาปริมาณของ Dy และ Eu ตามลำดับ เวลาที่ใช้ในการวัดรังสีแต่ละตัวละ 500 วินาที โดยมีเวลาที่เริ่มต้นในการวัดความแรงรังสีแต่ละตัวห่างกัน 10 นาที สำหรับชุดที่ 2 ทำเช่นเดียวกับชุดที่ 1



การจัดวางตัวอย่างและ ลารมาตรฐาน
ในกระบอกอะลูมิเนียมหรือกระบอกโพลีเอทิลีน

รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการจัดวางตัวอย่างและลารมาตรฐาน
ในการทำนิวตรอนแอกทิเวชัน



รูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายของฟลักซ์เมื่อวางตัวอย่าง
และลารมาตรฐาน ในแนวนานกับความยาวของแท่งเชื้อเพลิง

ขั้นตอนที่ 3 นำตัวอย่างที่วิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 2 แล้วเรียงในลักษณะเดิมบรรจุลงในกระบอกอะลูมิเนียมจากนั้นนำไปทำนิวตรอนแอกทีเวชัน ณ ตำแหน่งที่มีเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ประมาณ 3×10^{12} นิวตรอน/ตารางเซนติเมตร/วินาที เป็นเวลานาน 14 ชั่วโมง ทิ้งให้สลายตัวนานประมาณ 3-7 วัน แล้วนำมาหาปริมาณของ Sm และ La จากการวัดความแรงรังสีแกมมาพลังงาน 103.2 KeV และ 328.8 KeV จากการสลายตัวของ Sm-153 และ La-140 ตามลำดับ โดยตัวอย่างอยู่ห่างจากหัววัดรังสี 6 เซนติเมตร ใช้เวลาในการวัดความแรงรังสีตัวละ 1000 วินาที และใช้เวลาเริ่มต้นในการวัดรังสีแต่ละตัวห่างกัน 20 นาที เสร็จแล้วทิ้งให้มีการสลายตัวต่อไปอีกประมาณ 10-20 วัน จึงนำมาทำการวัดรังสีแกมมาพลังงาน 91.1 KeV, 145.5 KeV, (177.0 และ 197.8) KeV, 208.3 KeV, 298.5 KeV และ 311.9 KeV จากการสลายตัวของ Nd-147, Ce-141, Yb-169, Lu-177, Tb-160 และ Pa-233 ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการวัดตัวละ 40 นาที และวัดที่ระยะติดหัววัดรังสี เพื่อหาปริมาณของ Nd, Ce, Yb, Lu, และ Tb หลังจากนั้นทิ้งให้สลายตัวต่อไปอีกจนกว่าเวลาของการสลายตัวภายหลังการทำนิวตรอนแอกทีเวชันมากกว่า 30 วัน แล้วจึงนำมาวัดความแรงรังสีแกมมาพลังงาน 84.3 KeV, 103.2 KeV, 152.4 KeV และ 311.9 KeV จากการสลายตัวของ Tm-170, Gd-153, Ta-182 และ Pa-233 ตามลำดับ โดยวัดที่ระยะติดหัววัดรังสีใช้เวลาในการวัดตัวละ 1 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณของ Tm และ Gd

4.1.4 การหาอัตราส่วนของพีค

ในการวัดรังสีแกมมาบางพลังงานอาจจะมีการเสริมกัน เนื่องจากไอโซโทปรังสีที่ต่างกันแต่สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงานเดียวกัน หรือใกล้เคียงกันจนหัววัดรังสีไม่สามารถแยกพลังงาน (resolve) ที่ใกล้เคียงกันนั้นให้เป็นอิสระต่อกันได้ ดังนั้นการวัดความแรงรังสีที่พลังงานเหล่านี้จะได้สูงกว่าที่เป็นจริง นั่นคือ

$$\begin{aligned} \text{ความแรงรังสีรวมที่พลังงานที่ถูกรบกวน} &= \text{ความแรงรังสีไอโซโทปรังสีที่สนใจ} \\ &+ \text{ความแรงรังสีจากไอโซโทปรังสีอื่น} \end{aligned}$$

ในการทดลองนี้การวิเคราะห์ปริมาณของ Tm, Gd และ Tb ด้วยการวัดความแรงรังสีแกมมาพลังงาน 84.3 KeV, 103.2 KeV และ 298.5 KeV ตามลำดับนั้นจะถูกเสริมจากพลังงาน 84.7 KeV และ 103.4, 300.1 KeV จากการสลายตัวของ Ta-182 และ

Pa-233 ตามลำดับ จึงต้องทำการหาอัตราส่วนของพีค เพื่อคำนวณหาความแรงรังสีจาก ไอโซโทปรังสีอื่นที่เข้าไปรบกวนมาหักออก อัตราส่วนของพีคที่ต้องใช้ในการคำนวณคือ

ความแรงรังสีพลังงาน 84.7 KeV	จากการสลายตัวของ Ta-182
ความแรงรังสีพลังงาน 152.4 KeV	
ความแรงรังสีพลังงาน 103.4 KeV	จากการสลายตัวของ Pa-233
ความแรงรังสีพลังงาน 311.9 KeV	
ความแรงรังสีพลังงาน 300.1 KeV	จากการสลายตัวของ Pa-233
ความแรงรังสีพลังงาน 311.9 KeV	

วิธีการก็คือนำเอาสารประกอบ Ta_2O_5 และ ThO_2 ที่มีความบริสุทธิ์ 99.9 % มาทำให้เจือจางโดยผสมกับทรายที่ใช้เตรียมสารมาตรฐาน ทำให้ทั้ง 2 ตัวมีความเข้มข้นประมาณ 20 ppm แล้วทำการชั่งมาจำนวน 9 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างหนัก ประมาณ 50 มิลลิกรัม (เตรียมด้วยวิธีการเดียวกับตัวอย่างและสารมาตรฐานดังที่กล่าวมาแล้ว) นำไปทำเอกซเรย์ที่ตำแหน่งที่มีเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ประมาณ 3×10^{12} นิวตรอน/ตารางเซนติเมตร/วินาที นาน 14 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้สลายตัวนานประมาณ 1 เดือน จึงนำมาวัดความแรงรังสี พลังงาน 84.7 KeV, 103.4 KeV, 152.4 KeV, 300.1 KeV และ 311.9 KeV โดยวัดที่ระยะ ติดหัววัดรังสี และใช้เวลาในการวัด 40 นาที

4.1.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างหิน

ภายหลังจากการตรวจสอบความถูกต้องของสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นแล้ว จึงได้ทำการ วิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของธาตुरาเร่อร์โทเนียมในหินแกรนิตจำนวน 10 ตัวอย่าง โดยใช้น้ำหนักของ ตัวอย่างหินแกรนิตประมาณ 150-200 มิลลิกรัม และสารมาตรฐานใช้ประมาณ 30 มิลลิกรัม สำหรับการเตรียมตัวอย่าง และตำแหน่งที่ใช้ในการทำนิวตรอนเอกซเรย์ เหมือนกับข้อ 4.1.3 โดยมีเงื่อนไขดังตารางที่ 4.4

ธาตุ ที่วิเคราะห์	เวลาที่ใช้ใน การเอกซเรย์	เวลาที่ใช้ใน การสลายตัว	วัดความแรงรังสี จากไอโซโทป รังสี	เวลา ที่ใช้ในการวัด	ระยะจาก ตัวอย่าง-หัววัด	พลังงานรังสี แกมมา (KeV) ที่วิเคราะห์	หมายเหตุ
Dy Eu	10 นาที	20 นาที	Dy-165 Eu-152M	500 วินาที	1 ซม.	94.6 121.8	เวลาที่ใช้เริ่มวัดตัวอย่างแต่ละตัว ห่างกัน 10 นาที
Sm La Nd Ce Yb Lu Tb	14 ชั่วโมง	3-7 วัน	Sm-153 La-140	1000 วินาที	6 ซม.	103.2 328.8	เวลาที่ใช้เริ่มวัดตัวอย่างแต่ละตัว ห่างกัน 20 นาที
		15-25 วัน	Nd-147 Ce-141 Yb-169 Lu-177 Tb-160	40 นาที	ติดหัววัด	91.1 145.5 177.0 208.3 298.5	ต้องวัด 311.9 KeV ของ Pa-233

ตารางที่ 4.4 เงื่อนไขที่ใช้ในการหาปริมาณธาตุเรย์เอิร์ทในตัวอย่างหินแกรนิต ในการทดลองนี้⁽¹⁻⁷⁾

4.2 การคำนวณ

4.2.1 การหาพื้นที่ใต้พีค⁽¹⁴⁾ (peak area) ในการวัดความแรงรังสี
จำนวนนับที่ได้จากการวัดรังสีจะมีค่าดังสมการ

$$\text{จำนวนนับที่ได้} = \text{จำนวนนับสุทธิ} + \text{จำนวนนับจาก background}$$

$$\text{หรือ integral area} = \text{net area} + \text{background area}$$

$$\text{หรือ net area} = \text{integral area} - \text{background area}$$

$$\text{โดยที่ integral area} = \sum_{a=u}^v X_a$$

$$\text{background area} = [(N/2) \cdot (B_1 + B_2)]$$

$$\text{ดังนั้น net area} = \sum_{a=u}^v X_a - [(N/2) \cdot (B_1 + B_2)] \quad (4.1)$$

เมื่อ $N = v - u + 1 =$ จำนวนช่องที่เลือกใช้ในการคำนวณ

$u =$ หมายเลขช่องทางด้านซ้ายมือ (จุดเริ่มต้น) ของบริเวณที่เลือก

$v =$ หมายเลขช่องทางด้านขวามือ (จุดสุดท้าย) ของบริเวณที่เลือก

$$B_1 = \left(\sum_{a=u}^{u+k-1} X_a \right) / K = \text{ค่าเฉลี่ยของ background ทางซ้ายมือ}$$

$$B_2 = \left(\sum_{a=v-k+1}^v X_a \right) / K = \text{ค่าเฉลี่ยของ background ทางด้านขวามือ}$$

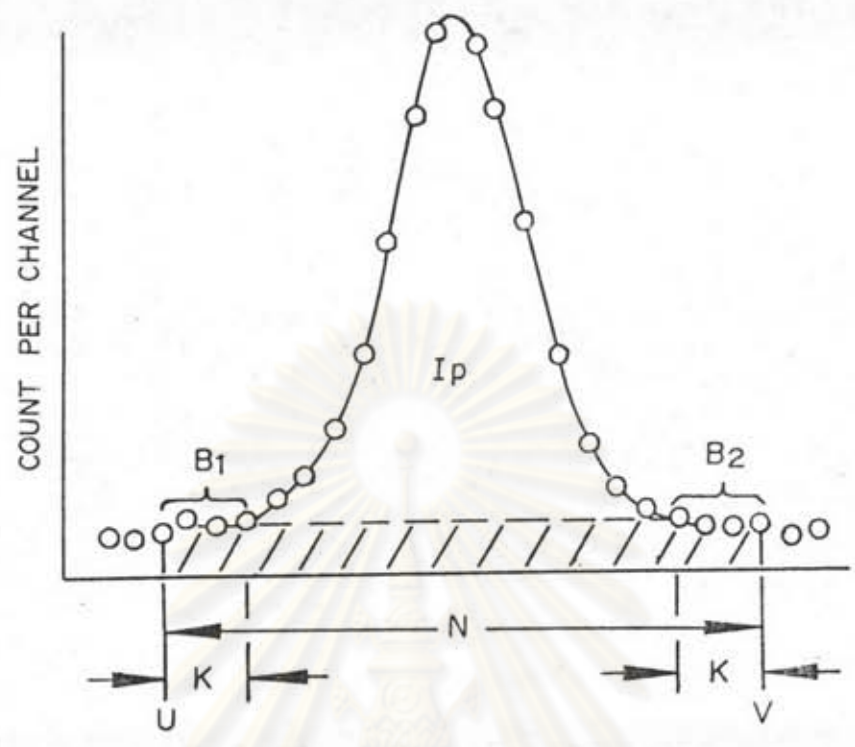
$K =$ จำนวนช่องที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของ background

$$X_u = \text{จำนวนนับในหมายเลขช่อง } u$$

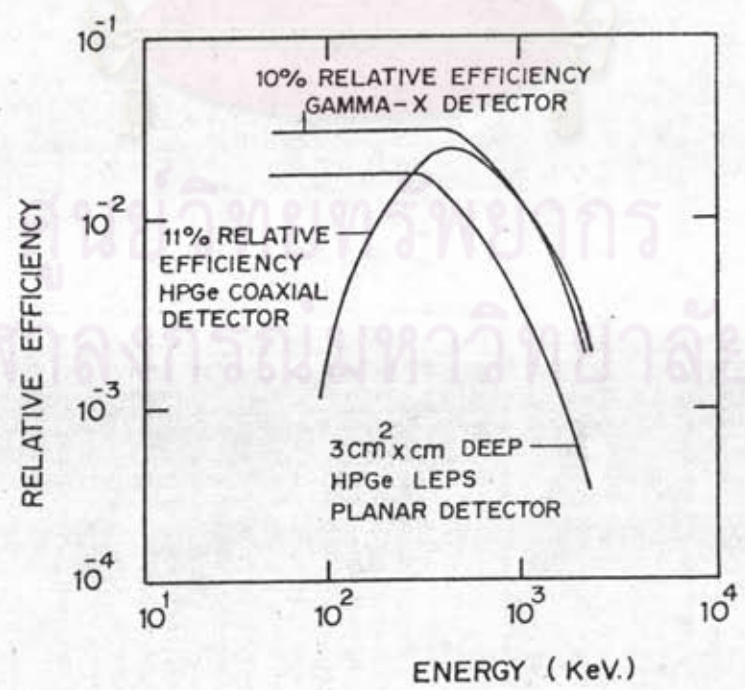
$$X_v = \text{จำนวนนับในหมายเลขช่อง } v$$

4.2.2 อัตราส่วนของพีค (peak ratio)

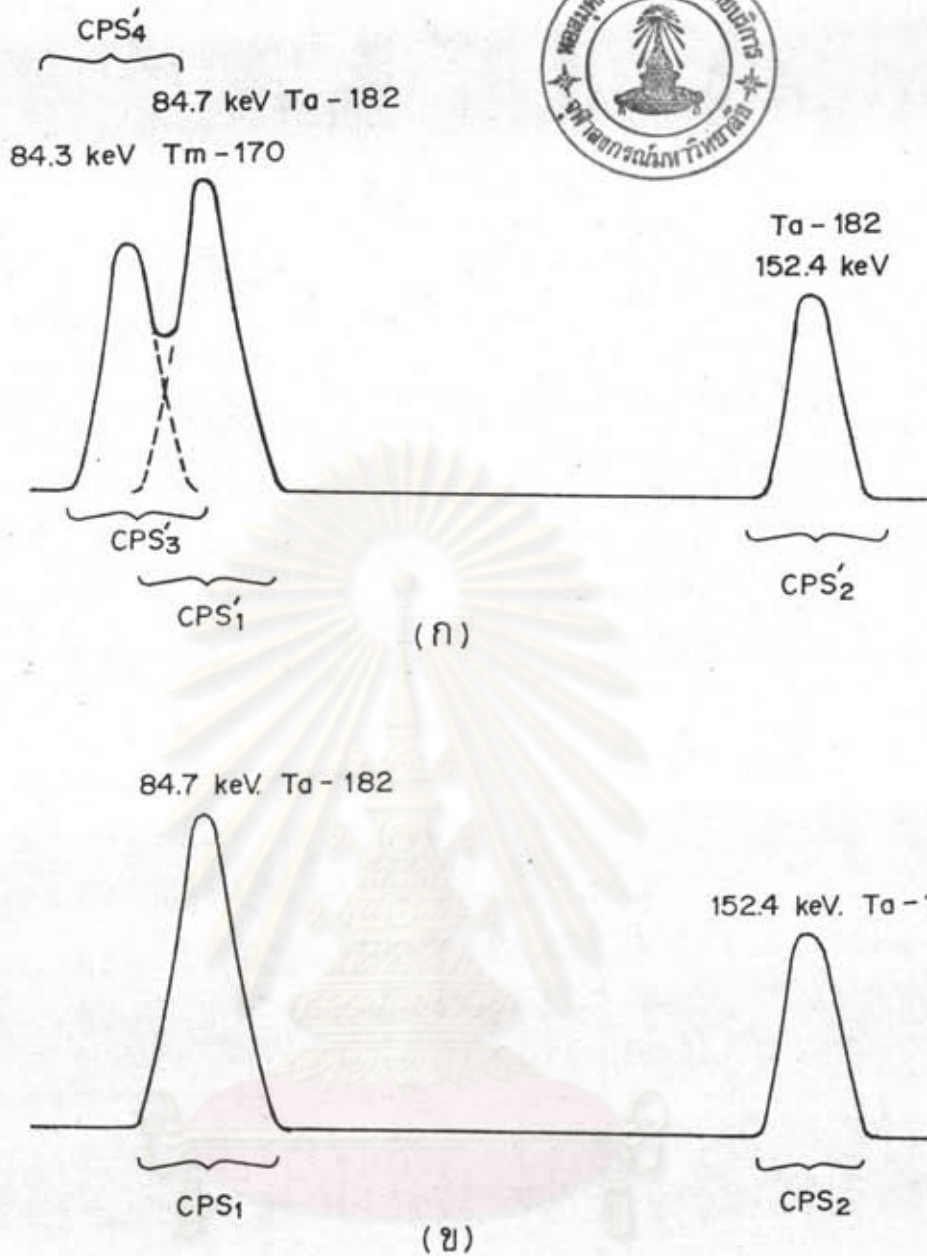
ความแรงรังสีแกมมาบางพลังงานจะมีการเสริมกัน เนื่องจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีต่างชนิดกันแต่ให้พลังงานเดียวกัน ดังนั้น



รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงการคำนวณหาจำนวนนับสุทธิ (net area)



รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแกมมาชนิดกึ่งตัวนำที่ทำจาก high purity germanium แบบต่างๆ



รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของการรบกวน และแก้ปัญหา โดยใช้ อัตราส่วนของพีค

- ก. ลักษณะของพีค พลังงาน 84.3 keV ของ Tm-170 ที่ถูกรบกวน จากพีคพลังงาน 84.7 keV ของ Ta-182 ในตัวอย่าง
- ข. พีคพลังงาน 84.7 keV และ 152.4 keV ของ Ta-182 จากสารมาตรฐานที่นำมาหาอัตราส่วนของพีค

จำนวนนับจริงที่ได้ = จำนวนนับจริงจากไอโซโทปรังสีที่สนใจ
+ จำนวนนับจริงจากไอโซโทปรังสีอื่น

หรือ
$$\text{cps}'_4 = \text{cps}'_3 + \text{cps}'_1$$

เมื่อ cps'_4 คือจำนวนนับจริงที่ได้จากพลังงานที่มีการเสริมกัน

cps'_3 คือจำนวนนับจริงของไอโซโทปรังสีที่สนใจ

cps'_1 คือจำนวนนับจริงของไอโซโทปรังสีอื่น

ไอโซโทปรังสีอื่นนั้นสลายตัวให้รังสีแกมมาออกมามากกว่า 2 พลังงาน ถ้าพลังงานเหล่านั้น ไม่มีการเสริมกันจากพลังงานอื่นจะได้ว่า

$$\frac{\text{จำนวนนับจากพลังงานที่ 1}}{\text{จำนวนนับจากพลังงานที่ 2}} = \frac{\text{cps}_1}{\text{cps}_2} = k = \text{ค่าคงที่}$$

ค่าคงที่นี้จะไม่ขึ้นกับเวลาที่สลายตัว เพราะมาจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีตัวเดียวกัน แต่จะเป็นค่าเฉพาะสำหรับตัววัดรังสีที่ใช้ และจะต้องเป็นพลังงานรังสีเดียวกัน วัดที่ตำแหน่งและรูปทรงที่เหมือนกัน

โดยที่ cps_1 คือจำนวนนับจริงของพลังงานที่มีการเสริมกันจากไอโซโทปรังสีอื่น

cps_2 คือจำนวนนับจริงของพลังงานที่ใช้อ้างอิงของไอโซโทปรังสีอื่น

และ
$$\frac{\text{cps}_1}{\text{cps}_2} = \frac{\text{cps}'_1}{\text{cps}'_2} = k$$

หรือ
$$\text{cps}'_1 = \frac{\text{cps}_1}{\text{cps}_2} \times \text{cps}'_2 = k \text{ cps}'_2$$

เพราะฉะนั้น
$$\text{cps}'_3 = \text{cps}'_4 - k \text{ cps}'_2 \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \text{correction factor} &= (\text{cps}'_3 - k \text{ cps}'_2) / \text{cps}'_3 \\ &= 1 - k \left[\frac{\text{cps}'_2}{\text{cps}'_3} \right] \end{aligned} \quad (4.3)$$

4.2.3 การคำนวณหาปริมาณ

โดยทั่วไปแล้วการคำนวณหาปริมาณด้วยวิธี relative method จะใช้สมการ 2.13 ภายหลังจากแก้เวลาในการสลายตัวแล้ว และให้เทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ (ϕ) มีค่าเท่ากันทุกจุด ในตำแหน่งที่ทำการแอกติเวชันซึ่งยังไม่ถูกต้องนัก และเพื่อคำนวณโดยไม่ต้องแก้เวลาในการสลายตัว ในการทดลองนี้จึงอาศัยสมการ 2.10 และการจัดเรียงตัวอย่างดังรูป 4.1 มาคำนวณหาปริมาณดังนี้คือ

ความแรงรังสีของสารมาตรฐานตำแหน่งที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{(\text{cps})_1 \times 100}{\text{Eff} \times f} = N_1 \sigma \phi_1 (1 - e^{-\lambda T}) e^{-\lambda t_1} \quad (\text{A})$$

ความแรงรังสีของตัวอย่างตำแหน่งที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{(\text{cps})_2 \times 100}{\text{Eff} \times f} = N_2 \sigma \phi_2 (1 - e^{-\lambda T}) e^{-\lambda t_2} \quad (\text{B})$$

ความแรงรังสีของสารมาตรฐานตำแหน่งที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{(\text{cps})_3 \times 100}{\text{Eff} \times f} = N_3 \sigma \phi_3 (1 - e^{-\lambda T}) e^{-\lambda t_3} \quad (\text{C})$$

ดังนั้น (B)/(A + C) จะได้

$$\begin{aligned} \frac{(\text{cps})_2/N_2}{(\text{cps})_1/N_1 + (\text{cps})_3/N_3} &= \frac{\sigma(1-e^{-\lambda T})\phi_2 e^{-\lambda t_2}}{\sigma(1-e^{-\lambda T})\phi_1 e^{-\lambda t_1} + \sigma(1-e^{-\lambda T})\phi_3 e^{-\lambda t_3}} \\ &= \frac{\phi_2 e^{-\lambda t_2}}{\phi_1 e^{-\lambda t_1} + \phi_3 e^{-\lambda t_3}} \end{aligned}$$

ให้ $t_1 = t_d$, $t_2 = 2t_d$ และ $t_3 = 3t_d$

เอา ϕ_1 ทหารตลอดทั้งเศษและส่วน

$$\frac{(cps)_2/N_2}{(cps)_1/N_1 + (cps)_3/N_3} = \frac{(\phi_2/\phi_1)e^{-2\lambda t_d}}{(\phi_1/\phi_1)e^{-\lambda t_d} + (\phi_3/\phi_1)e^{-3\lambda t_d}}$$

$$= \frac{(\phi_2/\phi_1)e^{-\lambda t_d}}{1 + (\phi_3/\phi_1)e^{-2\lambda t_d}}$$

โดยปกติจะถือว่า $\phi_1 \sim \phi_2 \sim \phi_3$

$$= \frac{e^{-\lambda t_d}}{1 + e^{-2\lambda t_d}}$$

เมื่อ λt_d มีค่าใกล้ศูนย์ ($t_d \ll t_{1/2}$)

$$e^{-\lambda t_d} \sim 1 - \lambda t_d$$

$$e^{-2\lambda t_d} \sim 1 - 2\lambda t_d$$

เพราะฉะนั้น

$$\frac{(cps)_2/N_2}{(cps)_1/N_1 + (cps)_3/N_3} \sim \frac{1 - \lambda t_d}{1 + (1 - 2\lambda t_d)}$$

$$\sim \frac{1}{2}$$

ในการทดลองนี้ใช้

$$\frac{(cps)_2/N_2}{(cps)_1/N_1 + (cps)_3/N_3} \sim \frac{(\phi_2/\phi_1)e^{-\lambda t_d}}{1 + (\phi_3/\phi_1)e^{-2\lambda t_d}} = \frac{1}{2} \quad (4.4)$$

โดยที่ $N = \frac{(6.02 \times 10^{23} \times W \times K)}{M}$

ซึ่ง $W = wX$

- เมื่อ W คือ น้ำหนักของธาตุที่สนใจ
 w คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้
 X คือ ปริมาณของธาตุที่สนใจที่ปนอยู่

สามารถเขียนสมการ (4.4) ใหม่ได้ว่า

$$\frac{(cps)_2 / [(6.02 \times 10^{23} \times w_2 X_2 \times K) / M]}{(cps)_1 / [(6.02 \times 10^{23} \times w_1 X_1 \times K) / M] + (cps)_3 / [(6.02 \times 10^{23} \times w_3 X_1 \times K) / M]} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{(cps)_2 / w_2 X_2}{(cps)_1 / w_1 X_1 + (cps)_3 / w_3 X_1} = \frac{1}{2}$$

หรือ
$$X_2 = \frac{2 [(cps)_2 / w_2]}{[(cps)_1 / w_1 + (cps)_3 / w_3] X_1} \quad (4.5)$$

- เมื่อ X_2 คือ ปริมาณของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ที่ปนอยู่ในตัวอย่าง
 X_1 คือ ปริมาณของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ที่ปนอยู่ในสารมาตรฐาน
 $(cps)_2 / w_2$ คือ ความแรงรังสีจำเพาะของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ของตัวอย่าง
 $(cps)_1 / w_1$ และ $(cps)_3 / w_3$ คือ ความแรงรังสีจำเพาะของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ของสารมาตรฐานที่วางไว้ตำแหน่งที่ 1 และที่ 3

4.2.4 การหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ⁽¹⁵⁾

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (4.6)$$

- เมื่อ X_i คือ ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้ในครั้งที่ i ($i = 1, 2, \dots, 7$)
 N คือ จำนวนครั้งของการวิเคราะห์ในการทดลองนี้ เท่ากับ 7

$$x = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1} \quad (4.7)$$

และ
$$(\bar{X} \pm x) / (\bar{Y} \pm y) = (\bar{X}, \bar{Y}) (1 \pm (x^2 / \bar{Y}^2) + (y^2 / \bar{X}^2)) \quad (4.8)$$

- เมื่อ \bar{X}, \bar{Y} คือ ค่าเฉลี่ยของธาตุที่สนใจจากรายงานและจากการทดลองตามลำดับ
 x, y คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของธาตุที่สนใจจากรายงานและจากการทดลองตามลำดับ

4.2.5 ขีดจำกัดของการวัด (detection limit) ⁽¹⁶⁾

$$L_D = 3\sigma_B$$

โดยที่

$$\sigma_B = \sqrt{\text{background area}}$$

$$= \sqrt{(N/2) \cdot (B_1 + B_2)}$$

นั่นคือ

$$L_D = 3\sqrt{(N/2) \cdot (B_1 + B_2)} \quad (4.9)$$

4.3 การเตรียมสารมาตรฐานอ้างอิงทุติยภูมิ (secondary reference standard material)

ใช้หินแกรนิตที่หาปริมาณโดยเทียบกับสารมาตรฐานปฐมภูมิที่เตรียมขึ้น และได้ใช้ค่าแก้ เพื่อแก้ไขปริมาณแรร์เอิร์ท หินแกรนิตที่ใช้เป็นสารมาตรฐานอ้างอิงนี้ได้ตรวจค่าปริมาณแรร์เอิร์ท แล้วว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ไม่ต่ำมาก และไม่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแรร์เอิร์ทในตัวอย่าง จากแหล่งอื่น ๆ ที่ได้มาในการวิเคราะห์ทั้งหมดนี้ ปริมาณของสารมาตรฐานอ้างอิงทุติยภูมินี้ต้องมีมากพอเพื่อเก็บ หรือ แจกจ่ายให้ห้องปฏิบัติการอื่นได้ใช้ประโยชน์ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย