บทที่ 4

การคำนวณและผลการคำนวณ

4.1 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการนับรังสี

เนื่องจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีเป็นแบบสถิติ ดังนั้นค่าที่นับได้จึงมีความคลาดเคลื่อนในทางสถิติอยู่ด้วย ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในรูปของความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) σ

$$\sigma = \sqrt{n}$$

ในการนับสารสองชนิด จะได้จำนวนนับออกมาสองค่า n_1 และ n_2 แต่ละค่ามีความเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_1 และ σ_2 จะหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม σ ได้

ถ้าเป็นการบวกหรือลบ $$\sigma = \sqrt{n_1^2 + n_2^2}$$

ถ้าเป็นการคูณกันจะได้ $$\sigma = n_1 n_2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{n_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{n_2}\right)^2}$$

ถ้าเป็นการหารกันจะได้ $$\sigma = \frac{n_1}{n_2} \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{n_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{n_2}\right)^2}$$

ในการวัดจริง ๆ ค่าที่วัดได้เป็นจำนวนนับเฉพาะของสารรวมกับจำนวนนับเนื่องจากแบคกราวน์ ดังนั้นในการนับแต่ละครั้ง จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเป็น

$$\sigma = \sqrt{N + B}$$

เมื่อ N = จำนวนนับสุทธิของสารรวมกับแบคกราวน์

B = จำนวนนับของแบคกราวน์

$N - B$ = จำนวนนับสุทธิของสาร

ความคลาดเคลื่อนคิดเป็นเปอร์เซนต์ $= \dfrac{\sqrt{N + B}}{N - B} \times 100$

ถ้าเป็นการหารกันความคลาดเคลื่อนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

$$= \left(\sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{n_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{n_2}\right)^2} \right) \times 100$$

4.2 การคำนวณและผลการคำนวณจากการวัดด้วยเครื่องนับไกเกอร์

4.2.1 จากการวัดรังสีที่แผ่ออกโดยธรรมชาติ

ตัวอย่างการคำนวณ สำหรับโคลัมไบท์หมายเลข 8 (ดูตารางที่ 4–1)

จากสมการ (3–1) แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการจะได้

ปริมาณ U_3O_8 ในตัวอย่างแร่โคลัมไบท์หมายเลข 8

$$= \frac{8757-328}{2506-328} \times 0.375 = \frac{8429}{2178} \times 0.375$$

$$= 1.451 \ \%$$

ความคลาดเคลื่อนของจำนวนนับของตัวอย่างแร่โคลัมไบท์หมายเลข 8 $= \sqrt{8757+328} = 95.315$

ความคลาดเคลื่อนของจำนวนนับของสารมาตรฐานยูเรนิไนท์ $= \sqrt{2506+328} = 53.235$

ความคลาดเคลื่อนของปริมาณ U_3O_8 ในตัวอย่างแร่โคลัมไบท์หมายเลข 8

$$= \frac{8429}{2178}\sqrt{\left(\frac{95.315}{8429}\right)^2 + \left(\frac{53.235}{2178}\right)^2}$$

$$= 3.87006 \times 0.02693 = 0.10422$$

ความคลาดเคลื่อนของปริมาณ U_3O_8 ในตัวอย่างแร่โคลัมไบท์หมายเลข 8 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์

$$= \frac{0.10422 \times 100}{3.87006}$$

$$= 2.6 \ \%$$

ส่วนข้อมูลและผลการคำนวณหาปริมาณ U_3O_8 ในโคลัมไบท์หมายเลข 9, 10, 11, 12, 13 และ 14 นั้น ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4–1

ได้ทำการทดลองซ้ำโดยลดเวลาในการวัดลงเป็นครั้งละ 20 นาที, 10 นาที และ 8 นาทีตามลำดับ ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการวัดครั้งละ 40 นาที

แร่ตัวอย่างโคลัมไบท์	แบคกราวน์	จำนวนนับของแร่ตัวอย่าง	จำนวนนับของสารมาตรฐาน	จำนวนนับสุทธิของแร่ตัวอย่าง	จำนวนนับสุทธิของสารมาตรฐาน	ปริมาณ U_3O_8 ในแร่ตัวอย่าง(%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
หมายเลข 8	328	8757	2506	8429	2178	1.451	2.6
หมายเลข 9	335	4437	2520	4102	2185	.704	2.9
หมายเลข 10	332	4865	2517	4533	2185	.778	2.9
หมายเลข 11	327	2731	2510	2404	2183	.413	3.3
หมายเลข 12	335	6229	2521	5894	2186	1.011	.1
หมายเลข 13	229	6837	2508	6508	2179	1.120	1.2
หมายเลข 14	335	4556	2530	4221	2195	0.721	2.4

ตารางที่ 4-1 แสดงข้อมูลและผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องนับไกเกอร์ โดยวัดรังสีที่แผ่จากแร่ตัวอย่างเทียบกับสารมาตรฐาน
วัดตัวอย่างละ 40 นาที

แร่ตัวอย่าง โคลัมไบท์	ปริมาณ U_3O_8 ในแร่ตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
หมายเลข 8	1.421	2.4
หมายเลข 9	.714	2.8
หมายเลข 10	.752	2.9
หมายเลข 11	.420	3.3
หมายเลข 12	1.102	.1
หมายเลข 13	1.119	1.3
หมายเลข 14	.731	2.5

ตารางที่ 4-2 แสดงผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องนับไกเกอร์ โดยวัดรังสีที่แผ่จากแร่ตัวอย่างเทียบกับสารมาตรฐาน วัดตัวอย่างละ 8 นาที

4.2.2 โดยวิธีแอดดิชัน

ข้อมูลและผลการคำนวณที่ได้จากการวัดโดยวิธีแอดดิชันแสดงอยู่ในตารางที่ 4-3 และตารางที่ 4-4

ตัวอย่างการคำนวณ สำหรับโคลัมไบท์หมายเลข 8 จากตารางที่ 4-3

เติมยูเรนิไนท์ = 0.01067 กรัม

$\therefore$ เติม U_3O_8 = $\frac{0.375 \times 0.01067}{100}$ = 0.00004 "

จากสมการ (3-4) $D = \frac{0.54208}{0.54208 + .00004} = 0.99993$

จากสมการ (3-5)

$$x = \frac{(1797/1806)0.00004}{1-[(1797/1806)0.99993]}$$

$$= 0.00004/0.00505 = 0.00792$$

โคลัมไบท์หมายเลข 8 0.54208 กรัม มียูเรเนียมออกไซด์ = 0.00792 กรัม

" " 100 " " " = $\frac{0.00792 \times 100}{0.54208}$ "

= 1.461 %

ความคลาดเคลื่อนของจำนวนนับของโคลัมไบท์หมายเลข 8 ก่อนเติมยูเรนิไนท์

$\sqrt{2229 + 432} = 51.585$

ความคลาดเคลื่อนของจำนวนนับของโคลัมไบท์หมายเลข 8 หลังเติมยูเรนิไนท์

$\sqrt{2238 + 432} = 51.672$

$\therefore$ ความคลาดเคลื่อนของปริมาณยูเรเนียมออกไซด์ในโคลัมไบท์หมายเลข 8

$$= \frac{1797}{1806}\sqrt{\left(\frac{51.585}{1797}\right)^2 + \left(\frac{51.672}{1806}\right)^2}$$

$$= (0.99502)(0.04053)$$

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = $\frac{(0.99502)(0.04053) \times 100}{0.99502}$ = 4.1 %

แร่ตัวอย่าง โคลัมไบท์	น้ำหนักแร่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักยูเรนิไนท์ที่เติม (กรัม)	B	I_x	$I_{x'+y}$	I_x-B	$I_{x'+y}$-B	ปริมาณ U_3O_8 ในแร่ตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
หมายเลข 8	0.54208	0.01067	432	2229	2238	1797	1806	1.461	4.1
หมายเลข 9	0.54101	0.01055	432	2211	2227	1779	1795	.790	4.1
หมายเลข 10	0.54324	0.01045	431	2211	2227	1780	1796	.792	4.1
หมายเลข 11	0.54510	0.01026	432	2085	2113	1653	1681	.427	4.3
หมายเลข 12	0.54218	0.01069	432	2222	2234	1790	1802	1.102	4.1
หมายเลข 13	0.54107	0.01058	432	2225	2236	1793	1804	1.189	4.1
หมายเลข 14	0.54187	0.01059	432	2211	2228	1779	1796	.752	4.1

ตารางที่ 4-3 แสดงข้อมูลและผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องนับไกเกอร์ โดยวิธีแอดดิชั่น วัดตัวอย่างละ 40 นาที

แร่ตัวอย่างโคลัมไบท์	ปริมาณ U_3O_8 ในแร่ตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
หมายเลข 8	1.464	4.1
หมายเลข 9	.789	4.2
หมายเลข 10	.790	4.3
หมายเลข 11	.420	4.3
หมายเลข 12	1.100	4.1
หมายเลข 13	1.186	4.2
หมายเลข 14	0.750	4.1

ตารางที่ 4-4 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องนับไกเกอร์ โดยวิธีแอดดิชัน วัดตัวอย่างละ 15 นาที

4.3 การคำนวณและผลการคำนวณจากการวัดด้วยเครื่องแกมมาสเปคโตรมิเตอร์แบบซินทิลเลชัน

4.3.1 กราฟมาตรฐานสำหรับเทียบหาค่าพลังงาน

ใช้ไอโซโทปมาตรฐาน 3 ตัว วัดครั้งละ 1 นาที ได้ผลดังนี้

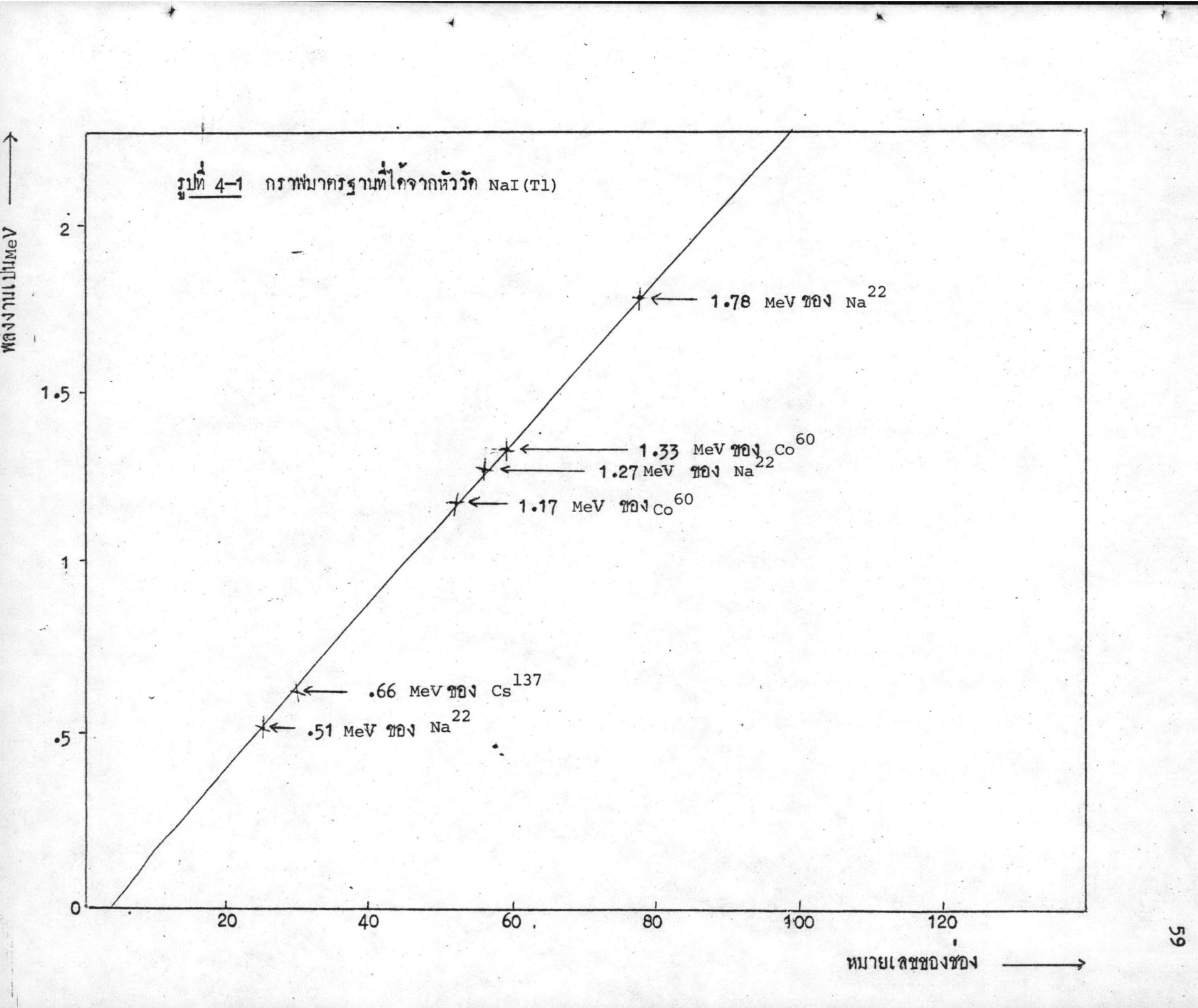
มีพลังงาน	0.66	ยอดพีคปรากฏที่ช่องหมายเลข			32
"	0.51	"	"	"	25
"	1.27	"	"	"	56
"	1.78	"	"	"	78
"	1.17	"	"	"	52
"	1.33	"	"	"	59

เขียนค่าพลังงานและหมายเลขของช่องลงในตารางที่ 4–5

พลังงาน (MeV)	ช่องหมายเลข
.51	25
.66	30
1.17	52
1.27	56
1.33	59
1.78	78

ตารางที่ 4–5 แสดงข้อมูลจากการวัดไอโซโทปมาตรฐาน

กราฟมาตรฐานที่เขียนเสร็จแล้วแสดงอยู่ในรูปที่ 4–1


รูปที่ 4-1 กราฟมาตรฐานที่ได้จากหัววัด NaI(Tl)
พลังงานเป็น MeV
2
1.5
1
.5
0
20
40
60
80
100
120
หมายเลขของช่อง
1.78 MeV ของ Na22
1.33 MeV ของ Co60
1.27 MeV ของ Na22
1.17 MeV ของ Co60
.66 MeV ของ Cs137
.51 MeV ของ Na22

040000	000000	000002	001043	003608	005870	008070	006948
006935	006469	006088	005631	005127	004630	003822	003485
003]29	002889	002740	002244	002088	001923	001862	001869
001781	001672	001551	001624	001583	001436	001214	001135
00103000	001022	001023	001041	000948	000922	000881	000947
000870	000856	000880	000809	000696	000606	000647	000672
000699	000692	000628	000632	000520	000535	000441	000468
000419	000420	000403	000421	000499	000620	000735	000746
000623	000463	000325	000251	000182	000164	000156	000153
000180	000179	000174	000169	000176	000166	000103	000114
000113	000100	000072	000088	000070	000071	000088	000089
000112	000108	000092	000097	000121	000089	000089	000081
000071	000050	000057	000046	000044	000028	000047	000041
000040	000043	000064	000097	000091	000088	000080	000091
000065	000050	000022	000023	000021	000008	000015	000002
000007	000012	000011	000008	000008	000006	000013	000006

ตารางที่ 4–6 แสดงข้อมูลของแบคกราวน์ที่วัดด้วยหัววัด NaI(Tl)

วัด 40 นาที

040000	000041	000142	013866	040001	068781	078561	059229
058826	075801	094127	091101	080246	086215	083822	086777
087355	072244	067376	032754	022187	019168	018802	018299
017762	020580	032433	048422	049471	036386	018086	013308
011681	012862	013532	012984	011212	010023	009744	010118
010656	010637	009507	008109	007151	006655	007529	009177
010967	010493	008832	007230	006552	006287	005891	005508
005078	005028	005470	005849	005841	005559	004918	004300
004000	003633	003357	002931	002623	002609	002940	003470
004265	005137	005570	005102	004394	003365	002507	001888
001467	001216	001000	000777	000793	000818	000894	001014
001178	001219	001375	001479	001425	001335	001044	000921
000680	000579	000485	000426	000463	000425	000424	000391
000426	000473	000570	000677	000727	000661	000573	000444
000322	000326	000133	000101	000071	000065	000064	000064
000055	000057	000041	000040	000052	000035	000043	000035

ตารางที่ 4-7 ข้อมูลที่ได้จากการวัดโคลัมไบท์หมายเลข 8 ด้วยหัววัด NaI(Tl)

โคลัมไบท์หมายเลข 8 หนัก 24.34330 กรัม

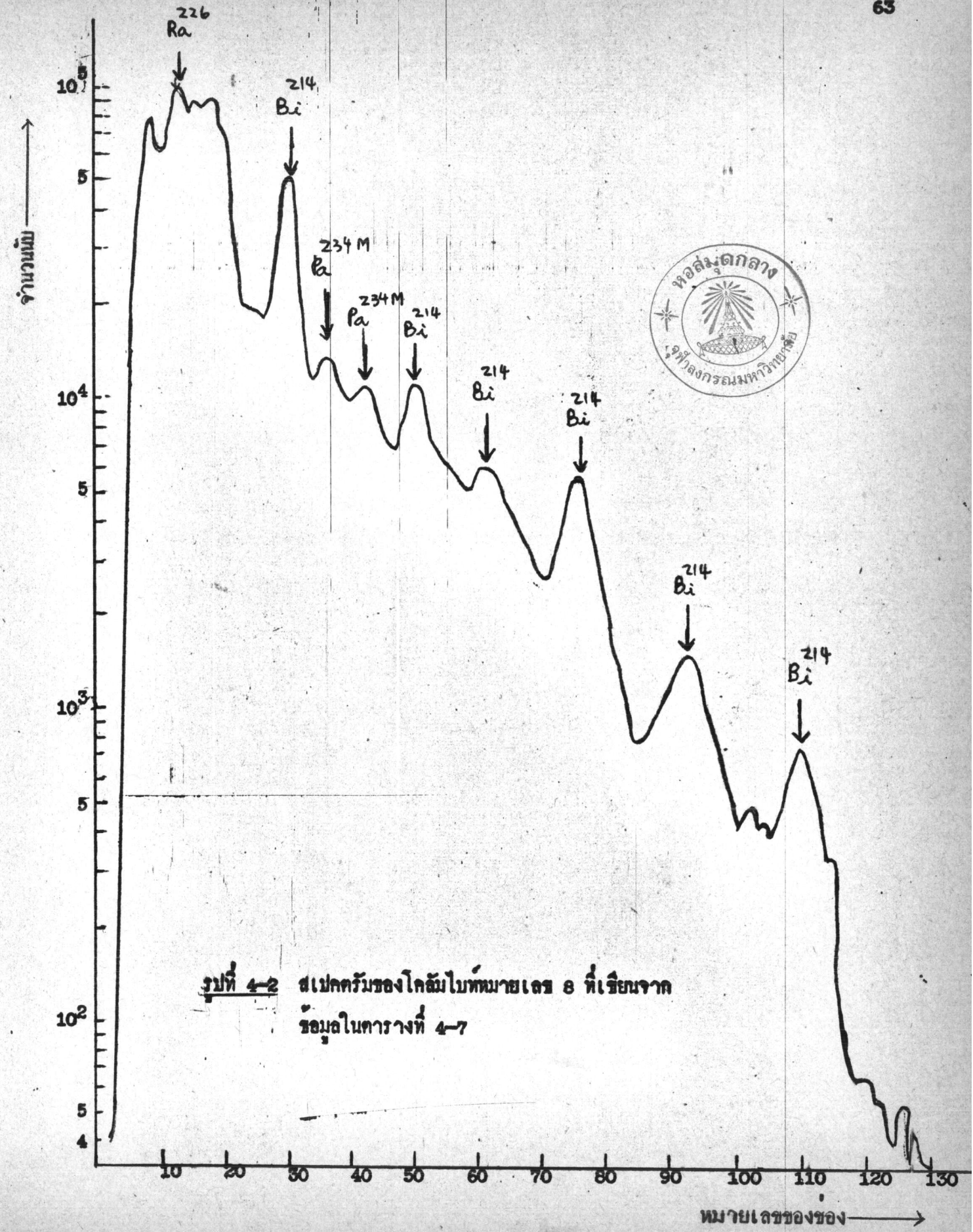
วัด 40 นาที

040000	000000	000004	001281	007977	017462	023754	021441
013540	013916	015413	014704	012884	013342	012800	014056
013095	015647	013835	007238	004316	003651	003503	003390
003021	003193	004072	006078	007667	005983	003459	002468
002139	002218	002248	002284	002218	001948	001784	001686
001638	001647	001557	001491	001363	001312	001388	001592
001776	002001	001756	001504	001403	001294	001204	001090
000934	000994	001013	001063	001102	001247	001195	001204
001058	000896	000712	000572	000454	000376	000432	000461
000596	000727	000790	000833	000741	000634	000462	000365
000272	000212	000195	000178	000148	000154	000152	000165
000181	000181	000202	000238	000266	000232	000205	000187
000132	000111	000091	000091	000068	000087	000075	000090
000062	000065	000084	000078	000107	000109	000099	000091
000058	000048	000035	000022	000013	000013	000009	000011
000008	000005	000009	000010	000010	000016	000000	000006

ตารางที่ 4–8 ข้อมูลที่ได้จากการวัดยูเรนิไนท์ด้วยหัววัด NaI(Tl)

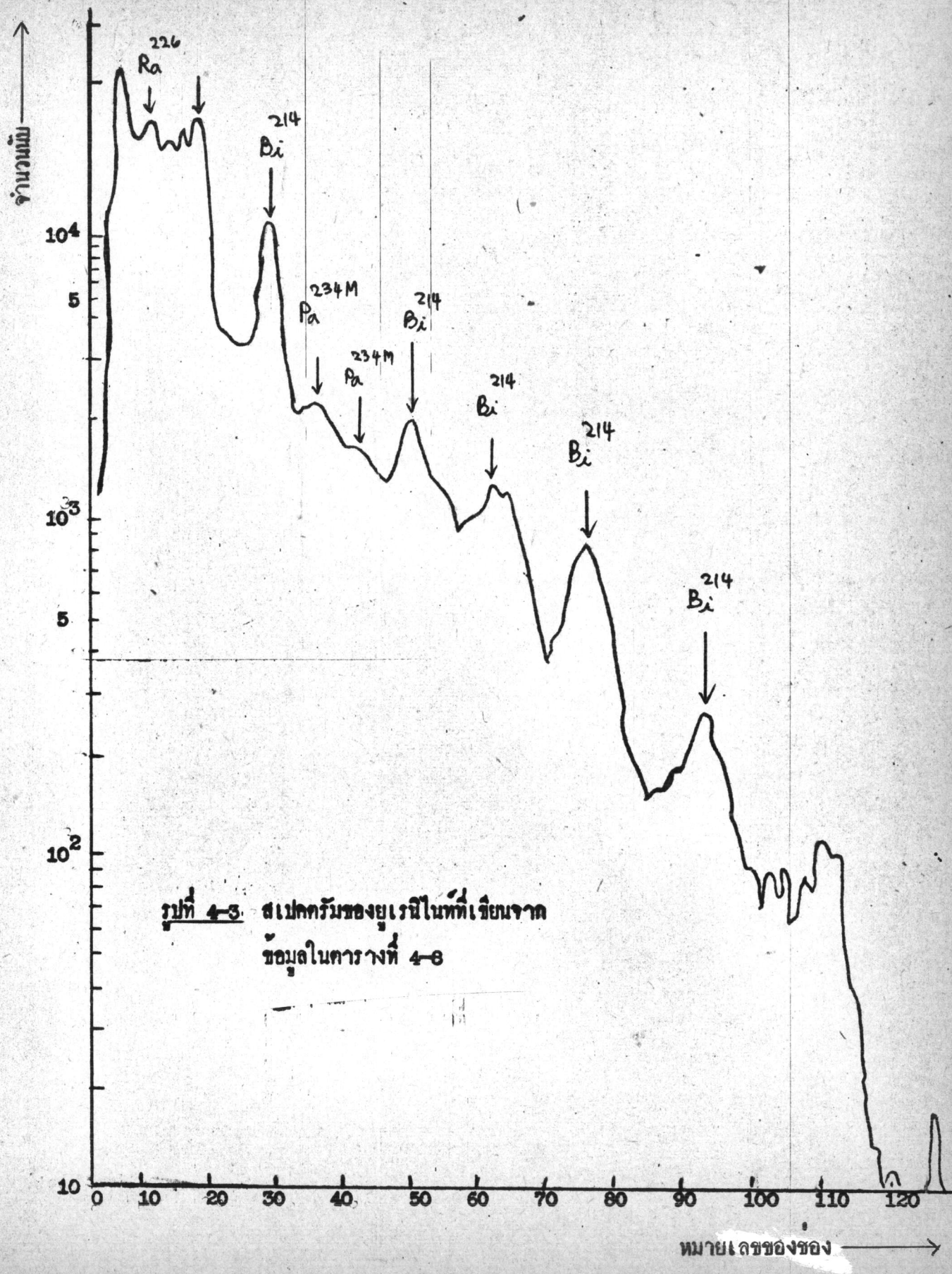
ยูเรนิไนท์ หนัก 10.35005 กรัม

วัด 40 นาที



หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4–2 สเปกตรัมของโคลัมไบท์หมายเลข 8 ที่เขียนจากข้อมูลในตารางที่ 4–7



รูปที่ 4-3 สเปคตรัมของยูเรนิไนท์ที่เขียนจากข้อมูลในตารางที่ 4-8

4.3.2 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้

ตัวอย่างข้อมูลที่ได้ จะยกมาแสดงเฉพาะของโคลัมไบท์หมายเลข 8 และสารมาตรฐานยูเรนีไนท์ ตารางที่ 4-6, 4-7 และ 4-8 เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดแบคกราวน์ โคลัมไบท์หมายเลข 8 และยูเรนีไนท์ตามลำดับ ซึ่งแสดงจำนวนนับของแต่ละช่องซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 128 ช่อง ช่องแรกสุดนั้นบอกเวลาในการใช้วัด

ในตารางที่ 4-7 และ 4-8 ซึ่งแสดงข้อมูลของโคลัมไบท์หมายเลข 8 และยูเรนีไนท์นั้น ได้ขีดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าล้อมหมายเลขช่องที่เป็นพีคไว้รวม 11 พีค แต่ละพีคให้หมายเลขกำกับไว้

พีคหมายเลข	1	คือ	มีพลังงาน	0.08	MeV
"	2	"	"	0.18	"
"	3	"	"	0.34	"
"	4	"	"	0.61	"
"	5	"	"	0.76	"
"	6	"	"	0.94	"
"	7	"	"	1.12	"
"	8	"	"	1.38	"
"	9	"	"	1.76	"
"	10	"	"	2.19	"
"	11	"	"	2.40	"

ส่วนรูปที่ 4-2 และ 4-3 แสดงกราฟที่วาดจากข้อมูลของตารางที่ 4-7 และ 4-8

4.3.3 การคำนวณและผลการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณสำหรับโคลัมไบท์หมายเลข 8

ก คิดจากพีค 0.61 MeV ซึ่งเป็นพีคของ Bi^{214} จากตารางที่ 4-7 จะเห็นว่าที่กรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าหมายเลข 4 ซึ่งเป็นตำแหน่งยอดพีคของพลังงานค่า 0.61 MeV นั้น ตัวพีคมีความกว้างคลุมทั้งหมด 9 ช่อง โดยไปทางซ้ายและขวาของยอดพีคข้างละ 4 ช่อง ผลบวกของจำนวนตัวเลขของแต่ละช่องเหล่านี้จะเป็นจำนวนนับทั้งหมดของพีค 0.61 MeV

จำนวนนับทั้งหมดของพีค 0.61 MeV ของโคลัมไบท์หมายเลข 8

= 17762+20580+32433+48422+49471+36386+18086+13308+11681

= 248129

จำนวนนับของแบคกราวน์ = 1781+1672+1551+1624+1583+1436+1214+1135+1030

= 13026

จำนวนนับทั้งหมดของพีค 0.61 MeV ของยูเรนีไนท์

= 3021+3193+4072+6078+7667+5983+3459+2468+2139

= 38476

∴ จำนวนนับสุทธิของโคลัมไบท์หมายเลข 8 = 248129−13026 = 235103

จำนวนนับสุทธิของยูเรนีไนท์ = 38476−13026 = 25450

ปริมาณยูเรเนียมออกไซด์ในโคลัมไบท์หมายเลข 8

$$= \frac{235103}{25450} \times 0.375 \times \frac{10.35005}{24.34330} = 1.496\ \%$$

ความคลาดเคลื่อนของจำนวนนับของโคลัมไบท์หมายเลข 8 $= \sqrt{248129+13026} = 511.033$

ความคลาดเคลื่อนของจำนวนนับของยูเรนีไนท์ $= \sqrt{38476+13026} = 226.940$

ความคลาดเคลื่อนของปริมาณยูเรเนียมออกไซด์ในโคลัมไบท์หมายเลข 8

$$= \frac{235103}{25450}\sqrt{\left(\frac{511.033}{235103}\right)^2+\left(\frac{226.940}{25450}\right)^2} = (9.23784)(0.00918)$$

คิดเป็นเปอร์เซนต์ $\frac{9.23784(0.00918)}{9.23784} \times 100 = 0.9\ \%$

ข คิดจากพีค 0.18 MeV ซึ่งเป็นพีคของ Ra^{226} จากตารางที่ 4–10 ที่ตำแหน่งกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าหมายเลข 2 จะเป็นตำแหน่งของยอดพีคของ Ra^{226} ซึ่งมีพลังงาน 0.18 MeV ตัวพีคมีความกว้างคลุมทั้งหมด 5 ช่อง

จำนวนนับทั้งหมดของพีค 0.18 MeV ของโคลัมไบท์หมายเลข 8

= 58826+75801+94127+91101+80246 = 400101

จำนวนนับของแบคกราวน์ = 6935+6469+6088+5631+5127 = 30250

จำนวนนับทั้งหมดของพีค 0.18 MeV ของยูเรนีไนท์

= 13540+13916+15413+14704+12884 = 70457

จำนวนนับสุทธิของโคลัมไบท์หมายเลข 8 = 400101−30250 = 369851

จำนวนนับสุทธิของยูเรนิไนท์ = 70457−30250 = 40207

ปริมาณ U_3O_8 ในแร่โคลัมไบท์หมายเลข 8 $\frac{369851}{40207} \times 0.375 \times \frac{10.35005}{24.34330}$

1.467 %

ความคลาดเคลื่อนของจำนวนนับของแร่โคลัมไบท์ $\sqrt{400101+30250} = 656.011$

ความคลาดเคลื่อนของจำนวนนับของยูเรนิไนท์ $\sqrt{70457-30250} = 317.344$

ความคลาดเคลื่อนของปริมาณ U_3O_8 ในโคลัมไบท์หมายเลข 8

$$= \frac{369851}{40207}\sqrt{\left(\frac{656.011}{369851}\right)^2 - \left(\frac{317.344}{40207}\right)^2}$$

$$= 9.19867(.00808)$$

คิดเป็นร้อยละ $= \frac{9.19867(.00808)}{9.19867} \times 100 = 0.8$ %

ส่วนข้อมูลและผลการคำนวณของแร่ตัวอย่างโคลัมไบท์หมายเลข 9, 10, 11, 12, 13 และ 14 นั้น แสดงอยู่ในตารางที่ (4–9) และตารางที่ (4–10)

นอกจากนี้แล้วได้ทดลองหาปริมาณ U_3O_8 ในตัวอย่างแร่เหล่านี้ซ้ำ โดยใช้เวลาวัดตัวละ 8 นาที ได้ผลดังแสดงอยู่ในตารางที่ (4–11)

4.4 การคำนวณและผลการคำนวณจากการวัดด้วยเครื่องแกมมาสเปคโตรมิเตอร์แบบโลหะกึ่งตัวนำ

เนื่องจากมีผู้ทำตารางสำหรับเทียบหาค่าพลังงานของข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องวัด Ge(Li) ไว้เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงไม่ต้องสร้างกราฟสำหรับเทียบหาค่าพลังงานอีก จากข้อมูลที่พิมพ์ออกมา 1024 ช่อง เอามาตรวจหาพีคและเทียบหาค่าพลังงานของพีค จากตารางที่มีผู้ทำไว้แล้ว ก็จะทราบว่าพีคไหนเป็นธาตุอะไร เลือกเอาพีค 0.61 MeV ของ Bi^{214} ซึ่งตรงกับช่อง 336 และพีค 0.18 MeV ของ Ra^{226} ซึ่งตรงกับช่อง 30 มาคิดคำนวณการหาจำนวนนับของพีค แล้วทำแบบเดียวกับที่แสดงให้ดูในหัวข้อ 4.2.3

แร่ตัวอย่าง โคลัมไบท์	น้ำหนักแร่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักสารมาตรฐาน (กรัม)	แบคกราวน์	ผลบวกของจำนวนนับในแต่ละช่องของพีค .61 MeV		จำนวนนับสุทธิทั้งหมดของพีค .61 MeV		ปริมาณ U_3O_8 ในแร่ตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
				แร่ตัวอย่าง	สารมาตรฐาน	แร่ตัวอย่าง	สารมาตรฐาน		
หมายเลข 8	24.34330	10.35005	13026	248129	38476	235103	25450	1.496	.9
หมายเลข 9	23.51860	10.35005	13016	134360	38429	121344	25413	.788	.9
หมายเลข 10	20.07865	10.64467	13057	124809	36521	111752	23464	.790	1.0
หมายเลข 11	20.48850	10.64467	13068	74201	36570	61133	23502	.423	1.0
หมายเลข 12	23.81403	10.35005	13048	184501	38521	171453	25473	1.097	.9
หมายเลข 13	16.06220	7.86206	13017	142412	29799	129395	16782	1.181	1.2
หมายเลข 14	16.30807	7.86206	13051	97232	30033	84181	16982	.748	1.2

ตารางที่ 4–9 ข้อมูลและการคำนวณที่ได้จากพีค .61 MeV ของ Bi^{214}

หัววัด NaI(Tl) วัดตัวอย่างละ 40 นาที

แร่ตัวอย่าง โคลัมไบท์	น้ำหนักแร่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักสารมาตรฐาน (กรัม)	แบคกราวน์	ผลบวกของจำนวนนับในแต่ละช่องของพีค .18 MeV		จำนวนนับสุทธิทั้งหมดของพีค .18 MeV		ปริมาณ U_3O_8 ในแร่ตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
				แร่ตัวอย่าง	สารมาตรฐาน	แร่ตัวอย่าง	สารมาตรฐาน		
หมายเลข 8	24.34330	10.35005	30250	400101	70457	369851	40207	1.467	.8
หมายเลข 9	23.51860	10.35005	30328	229203	70516	198875	40188	.789	.8
หมายเลข 10	20.07865	10.64467	30187	192844	64702	162657	34515	.782	.9
หมายเลข 11	20.48850	10.64467	30231	119148	64823	88917	34592	.418	1.0
หมายเลข 12	23.81403	10.35005	30174	299378	70243	269204	40069	1.095	.8
หมายเลข 13	16.06220	7.86206	30244	240920	57737	210676	27493	1.174	1.1
หมายเลข 14	16.30807	7.86206	30218	165882	57696	135664	27478	.745	1.1

ตารางที่ 4–10 ข้อมูลและการคำนวณที่ได้จากพีค .18 MeV ของ Ra^{226}
หัววัด NaI(Tl) วัดตัวอย่างละ 40 นาที

ตัวอย่างแร่โคลัมไบท์	คิดจากพีค 0.61 MeV ของ Bi^{214}		คิดจากพีค 0.18 MeV ของ Ra^{226}	
	ปริมาณ U_3O_8 ในตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)	ปริมาณ U_3O_8 ในตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
หมายเลข 8	1.493	.9	1.465	.8
หมายเลข 9	.789	.9	.790	.8
หมายเลข 10	.788	1.0	.780	.9
หมายเลข 11	.421	1.1	.415	1.0
หมายเลข 12	1.094	.9	1.091	.8
หมายเลข 13	1.178	1.3	1.173	1.1
หมายเลข 14	.744	1.3	.742	1.1

ตารางที่ 4–11 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากพีค 0.61 MeV และ 0.18 MeV หัววัด NaI(Tl) วัดตัวอย่างละ 8 นาที

4.4.1 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้

ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการวัดแบคกราวน์ โคลัมไบท์หมายเลข 8 และยูเรนิไนท์ แสดงอยู่ในตารางที่ 4-12 4-13 และ 4-14 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างสเปคตรัมของโคลัมไบท์หมายเลข 8 และยูเรนิไนท์แสดงอยู่ในรูปที่ 4-4 และ 4-5

20	84	79	78	79	61	85	81	76	77	76
30	51	67	66	69	86	57	74	62	76	63

320	8	12	13	14	8	6	7	12	11	13
330	11	11	10	12	20	15	8	5	6	12
340	10	8	14	13	9	9	8	8	8	16

ตารางที่ 4-12 แสดงข้อมูลของแบคกราวน์ที่วัดด้วยหัววัด Ge(Li) วัด 2000 วินาที

20	1182	1272	1212	1227	1273	1283	1230	1734	2004	2399
30	2397	1981	1556	1150	1159	1167	1163	1117	1147	1123

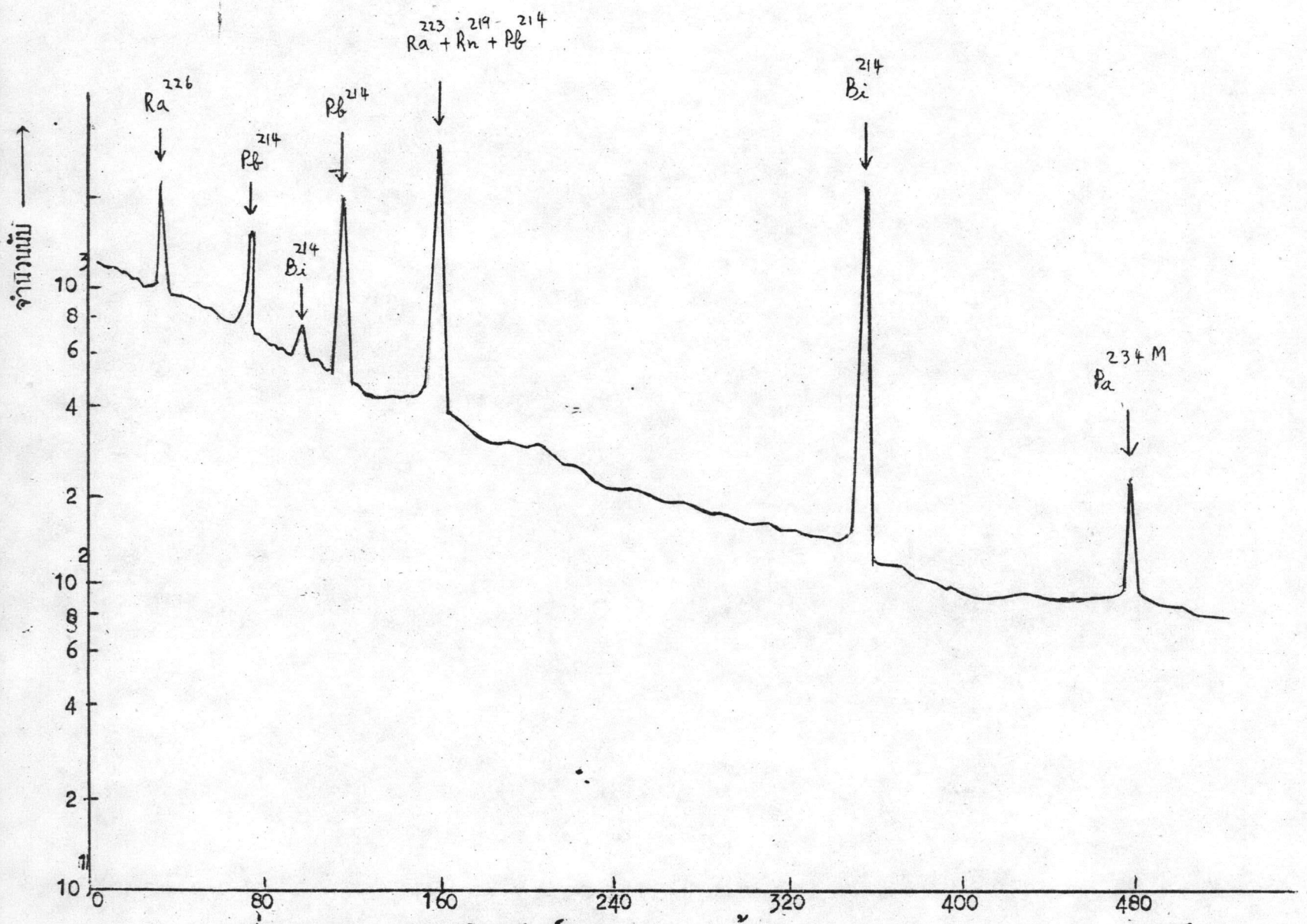
320	170	173	156	140	178	186	188	176	156	173
330	161	260	561	1072	1992	2232	1589	645	385	142
340	148	135	139	138	140	137	111	118	114	137

ตารางที่ 4–13 แสดงข้อมูลของโคลัมไบท์หมายเลข 8 ที่วัดด้วยหัววัด Ge(Li) วัด 2000 วินาที

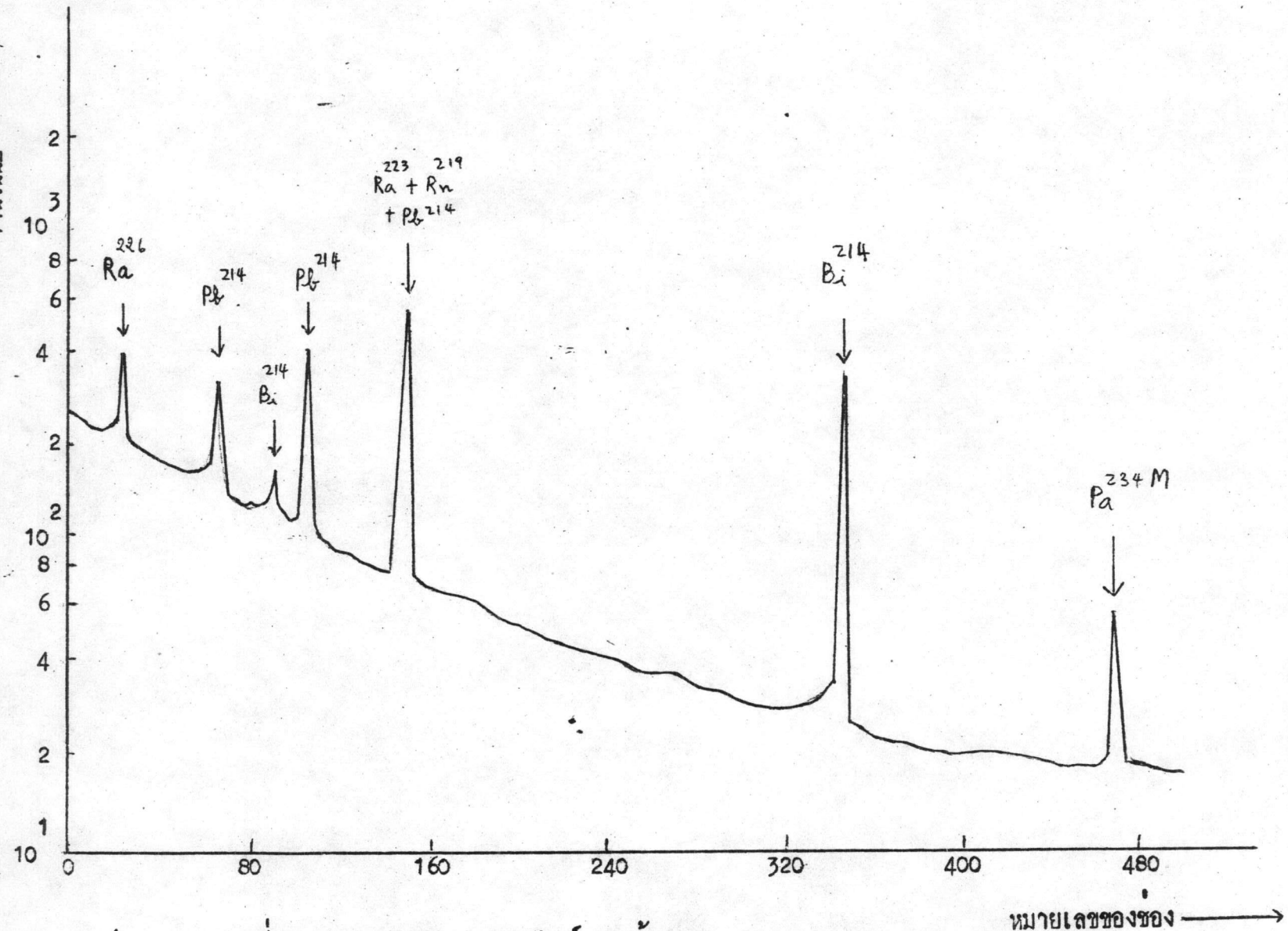
20	224	231	212	244	227	230	201	220	260	399
30	368	253	195	175	210	228	210	221	193	176

320	22	34	31	40	23	28	30	31	31	31
330	27	41	43	99	235	302	192	68	37	17
340	31	15	19	15	22	19	31	24	22	21

<u>ตารางที่ 4–14</u> แสดงข้อมูลของยูเรนิไนท์ที่วัดด้วยหัววัด Ge(Li) วัด 2000 วินาที



รูปที่ 4-4 สเปคตรัมของโคลัมไบท์หมายเลข 8 วัดด้วยหัววัด $Ge(Li)$ วัด 2000 วินาที



รูปที่ 4–5 สเปคตรัมของยูเรนิไนท์ วัดด้วยหัววัด Ge(Li)
วัด 2000 วินาที

4.4.2 ตัวอย่างการคำนวณและผลการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณสำหรับโคลัมไบท์หมายเลข 8 คิดพีค .61 MeV

จากตารางที่ 4–15 และสมการ (3–7) จะได้

ปริมาณ U_3O_8 ในโคลัมไบท์หมายเลข 8

$$= \frac{8929}{951} \times .375 \times \frac{10.35005}{24.34330} = 1.497 \%$$

ความคลาดเคลื่อนของจำนวนนับของโคลัมไบท์หมายเลข 8 $= \sqrt{9039 + 110} = 95.650$

ความคลาดเคลื่อนของจำนวนนับของยูเรนิไนท์ $= \sqrt{1061 + 110} = 34.220$

ความคลาดเคลื่อนของปริมาณ U_3O_8 ในโคลัมไบท์หมายเลข 8 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์

$$= \sqrt{\left(\frac{95.650}{8929}\right)^2 + \left(\frac{34.220}{951}\right)^2} \times 100$$

$$= 3.7 \%$$

แร่ตัวอย่าง โคลัมไบท์	น้ำหนักแร่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักสารมาตรฐาน (กรัม)	แบคกราวน์	ผลบวกของจำนวนนับในแต่ละช่องของพีค .61 MeV		จำนวนนับสุทธิของพีค .61 MeV		ปริมาณ U_3O_8 ในแร่ตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
				แร่ตัวอย่าง	สารมาตรฐาน	แร่ตัวอย่าง	สารมาตรฐาน		
หมายเลข 8	24.34330	10.35005	110	9039	1061	8929	951	1.497	3.7
หมายเลข 9	23.51860	10.35005	110	4652	1060	4542	950	.789	3.9
หมายเลข 10	20.07865	10.64467	111	4508	1037	4397	926	.788	3.9
หมายเลข 11	20.48850	10.64467	111	2503	1059	2392	926	.420	4.3
หมายเลข 12	23.81403	10.35005	110	6546	1061	6436	951	1.103	3.8
หมายเลข 13	16.06220	7.86206	110	6353	997	6243	812	1.178	4.2
หมายเลข 14	16.30807	7.86206	109	4102	995	3993	811	.743	4.4

ตารางที่ 4-15 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณที่ได้จากพีค .61 MeV ของ Bi^{214}

หัววัด Ge(Li) วัดตัวอย่างละ 2000 วินาที

แร่ตัวอย่าง โคลัมไบท์	น้ำหนักแร่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักสารมาตรฐาน (กรัม)	แบคกราวน์	ผลบวกของจำนวนนับในแต่ละช่องของพีค .18 MeV		จำนวนนับสุทธิทั้งหมดของพีค .18 MeV		ปริมาณ U_3O_8 ในแร่ตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
				แร่ตัวอย่าง	สารมาตรฐาน	แร่ตัวอย่าง	สารมาตรฐาน		
หมายเลข 8	24.34330	10.35005	563	14451	2071	13888	1508	1.468	3.5
หมายเลข 9	23.51860	10.35005	563	7762	2063	7199	1500	.792	3.8
หมายเลข 10	20.07865	10.64467	567	7575	2054	7008	1487	.782	3.9
หมายเลข 11	20.48850	10.64467	564	4355	2046	3791	1482	.416	4.2
หมายเลข 12	23.81403	10.35005	563	10962	2075	10399	1512	1.121	3.8
หมายเลข 13	16.06220	7.86206	566	10934	1933	10368	1367	1.162	4.2
หมายเลข 14	16.30807	7.86206	566	7154	1924	6588	1358	.732	4.4

ตารางที่ 4-16 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณที่ได้จากพีค .18 MeV ของ Ra^{226} หัววัด Ge(Li) วัดตัวอย่างละ 2000 วินาที

แร่ตัวอย่าง โคลัมไบท์	คิดจากพีค 0.61 MeV ของ Bi^{214}		คิดจากพีค 0.18 MeV ของ Ra^{226}	
	ปริมาณ U_3O_8 ในตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)	ปริมาณ U_3O_8 ในตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
หมายเลข 8	1.492	3.7	1.457	3.5
หมายเลข 9	.784	3.9	.789	3.8
หมายเลข 10	.780	3.9	.779	3.9
หมายเลข 11	.417	4.2	.412	4.2
หมายเลข 12	1.109	3.8	1.132	3.7
หมายเลข 13	1.171	4.2	1.154	4.3
หมายเลข 14	.736	4.4	.729	4.4

ตารางที่ 4-17 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากพีค 0.61 และ 0.18 MeV หัววัด Ge(Li) วัดตัวอย่างละ 800 วินาที

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

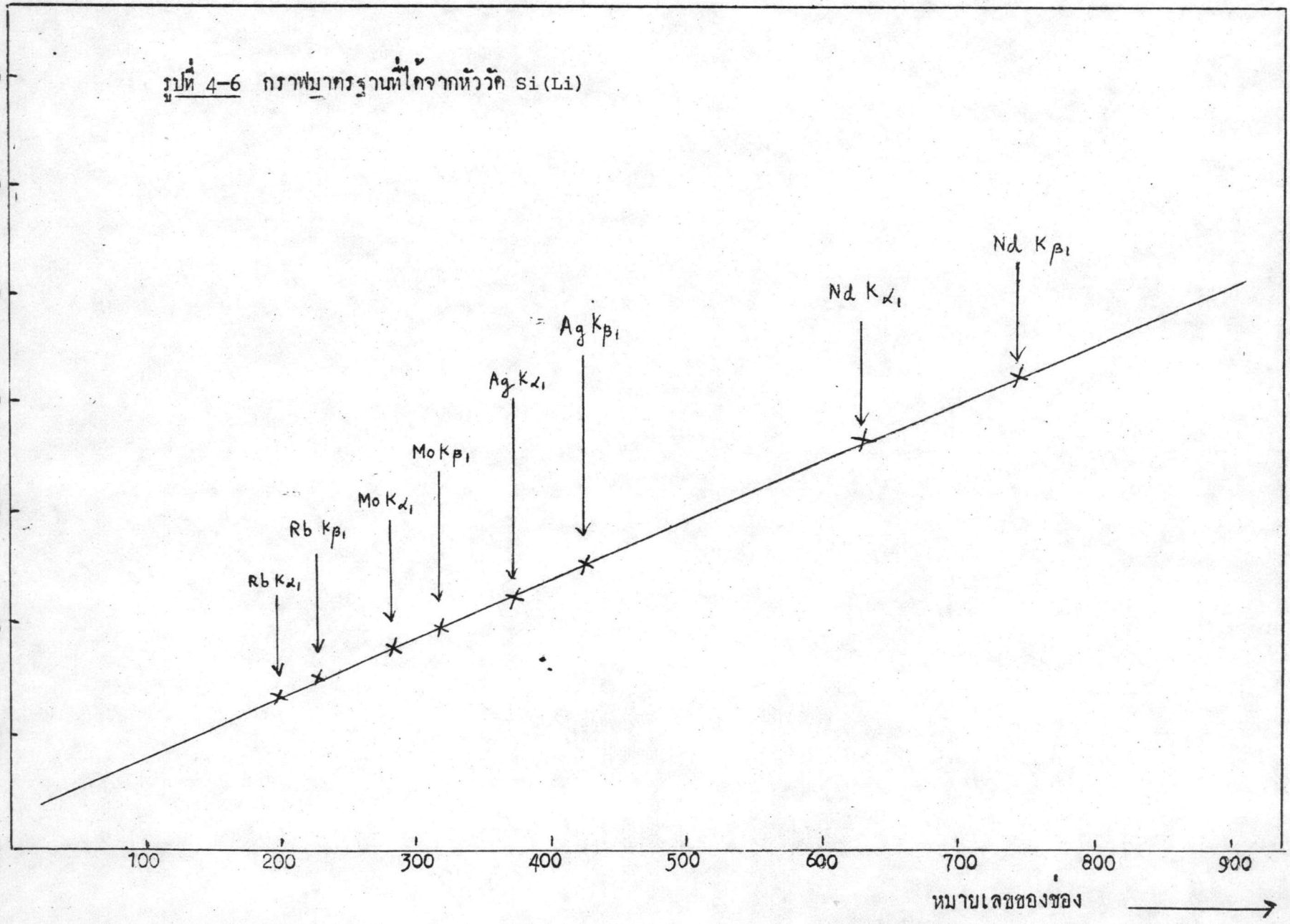
4.5 การคำนวณและผลการคำนวณจากการวัดโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์

4.5.1 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับเทียบหาพลังงาน

นำสารมาตรฐานมี Mo, Ag, Rb และ Nd ไปวัดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวด้วยหัววัด Si(Li) ทีละตัว แล้วตรวจดูว่ายอดพีคของสเปคตรัมของแต่ละธาตุอยู่ในช่องหมายเลขใด ข้อมูลที่ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4-18

สาร	พลังงาน (Kev)	หมายเลขช่อง
Rb	$K_{\alpha 1}$, 13.394	200
	$K_{\beta 1}$, 14.960	228
Mo	$K_{\alpha 1}$, 17.478	284
	$K_{\beta 1}$, 19.607	318
Ag	$K_{\alpha 1}$, 22.162	372
	$K_{\beta 1}$, 24.942	425
Nd	$K_{\alpha 1}$, 37.359	630
	$K_{\beta 1}$, 42.269	744

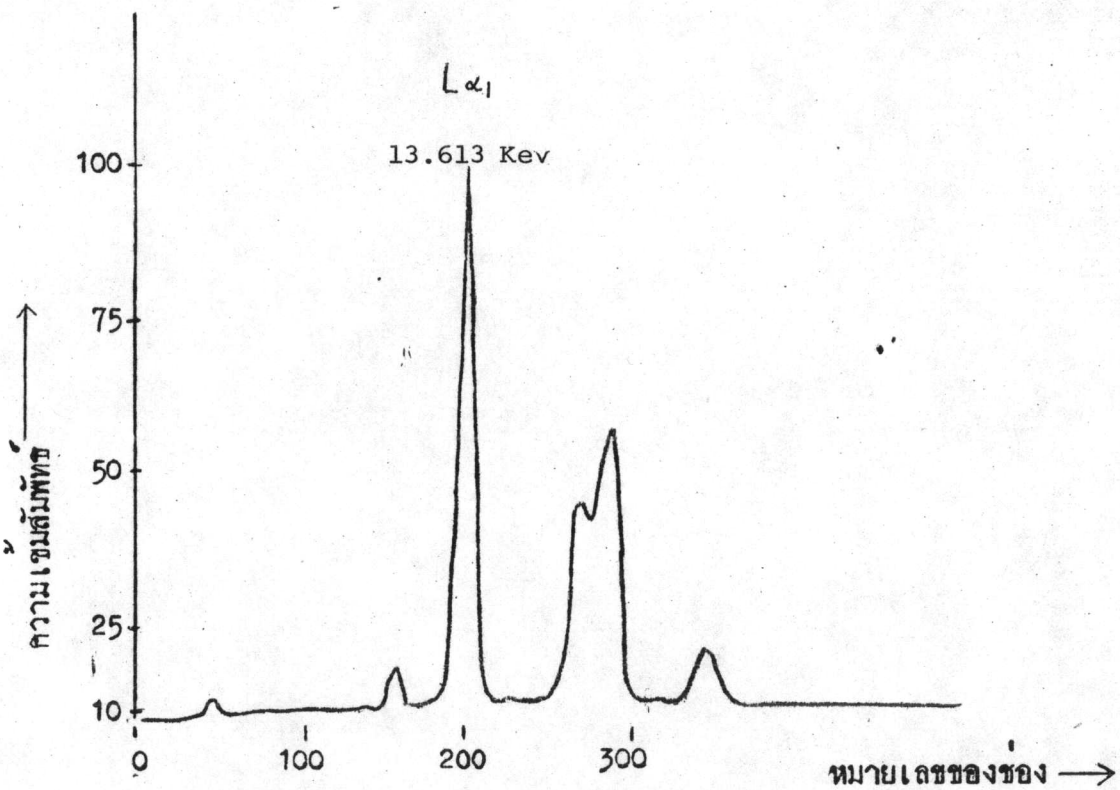
ตารางที่ 4-18 แสดงข้อมูลที่ใช้ทำกราฟมาตรฐานสำหรับเทียบหาพลังงานของพีคของสเปคตรัมที่วัดด้วยเครื่องการเรืองรังสีเอกซ์



รูปที่ 4-6 กราฟมาตรฐานที่ได้จากหัววัด Si(Li)

4.5.2 สเปคตรัมของ U_3O_8 บริสุทธิ์ที่ได้จากการวัดโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์

นอกจากการตรวจหาค่าพลังงานของพีคของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของยูเรเนียมในสารตัวอย่างโดยเทียบจากกราฟมาตรฐานใน 4.5.1 (รูปที่ 4-6) แล้วจึงตรวจว่าเป็นพีคของธาตุอะไรนั้น ยังมีวิธีตรวจสอบให้แน่นอนยิ่งขึ้นโดยเอาสาร U_3O_8 บริสุทธิ์ ซึ่งในที่นี้ใช้ $U_3O_8 \geq$ บริสุทธิ์ 99.97 % ไปตั้งวัด. ดูว่าพีคของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของยูเรเนียมอยู่ในช่องหมายเลขใด ให้ตรวจหาพีคที่ช่องหมายเลขนั้นจากสเปคตรัมของสารตัวอย่างที่วัดได้ ถ้าสารตัวอย่างมี U_3O_8 อยู่ ที่ช่องหมายเลขนั้นก็จะปรากฏพีคของยูเรเนียม ตัวอย่างของสเปคตรัมของ U_3O_8 ที่วัดโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ ซึ่งวัดด้วยหัววัด Si(Li) แสดงอยู่ในรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-7 แสดงสเปคตรัมของยูเรเนียมจาก U_3O_8 บริสุทธิ์ $\geq$ 99.97% จากการวัดโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ หัววัด Si(Li)

ตัวอย่างแร่โคลัมไบท์	ปริมาณยูเรเนียมคิดเป็นเปอร์เซนต์			
	เทียบกับ S_1	เทียบกับ S_2	เทียบกับ S_3	เทียบกับ S_4
หมายเลข 8	0.352	0.355	0.357	0.437
หมายเลข 9	0.294	0.296	0.299	0.338
หมายเลข 10	0.248	0.248	0.247	0.283
หมายเลข 11	0.170	0.178	0.178	0.197
หมายเลข 12	0.257	0.262	0.263	0.315
หมายเลข 13	0.262	0.265	0.264	0.307
หมายเลข 14	0.139	0.142	0.143	0.196

ตารางที่ 4-19 แสดงปริมาณยูเรเนียมในตัวอย่างแร่ที่หาได้โดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ โดยเทียบกับสารมาตรฐาน S_1, S_2, S_3 และ S_4
หัววัด Si(Li) วัดตัวอย่างละ 2000 วินาที

ตัวอย่างแร่โคลัมไบท์	ปริมาณยูเรเนียมคิดเป็น (%)		
	เทียบกับ S_4 (มี Nb_2O_5 5 %)	เทียบกับ S_5 (มี Nb_2O_5 7.5 %)	เทียบกับ S_6 (มี Nb_2O_5 10%)
หมายเลข 8	0.430	0.492	0.546
หมายเลข 9	0.328	0.349	0.372
หมายเลข 10	0.278	0.295	0.315
หมายเลข 11	0.189	0.213	0.234
หมายเลข 12	0.304	0.374	0.442
หมายเลข 13	0.308	0.427	0.460
หมายเลข 14	0.185	0.273	0.384

ตารางที่ 4-20 แสดงปริมาณ U_3O_8 ในตัวอย่างแร่โคลัมไบท์ เมื่อวัดเทียบกับ S_4, S_5, S_6 ซึ่งมีส่วนผสมเหมือนกันนอกจากปริมาณ Nb_2O_5

หัววัด Si(Li) วัดตัวอย่างละ 2000 วินาที

4.5.4 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้โดยวิธีแอดดิชั่น

80	2213	2963	4709	7266	10613	13459	15015	14309	12113	9660
90	7899	6489	5688	4814	3793	2951	2351	2090	1902	1873
100	1763	1750	1655	1760	1946	2408	3288	4816	6872	9933
110	12610	14472	14564	13434	11469	10495	9687	9498	9251	8381
120	6971	5658	4372	3386	3048	2581	2323	2073	1729	1639
130	1481	1470	1385	1525	1582	1691	1845	1897	1841	1878
140	2100	2521	3163	3613	3780	3791	3402	2839	2586	2439
150	2664	2782	2862	2655	2341	2085	1789	1677	1719	1692
160	1637	1646	1531	1384	1356	1245	1139	1168	1149	1185
170	12122	1176	1121	1103	1174	1158	1242	1190	1266	1328
180	1435	1502	1410	1523	1574	1562	1734	1858	1925	1856
190	1642	1422	1385	1260	1310	1365	1471	1590	1805	2149
200	2299	2528	2584	2453	2234	1933	1709	1506	1231	1121
210	1070	1066	1070	1064	1101	1074	1085	1044	1057	1152
220	1099	1185	1350	1572	2266	3237	4501	6219	7585	8258
230	8086	6923	5531	3951	2822	2016	1565	1401	1255	1229
240	1308	1440	1573	1943	2113	2366	2413	2400	2288	2128
250	1910	1791	1831	2040	2206	2912	4036	6392	11339	19909
260	330440	49680	66495	80330	85858	82230	69130	51973	35081	21441
270	12261	6949	4277	3067	2486	2337	2272	2240	2214	2074
280	1887	1703	1595	1469	1408	1415	1309	1191	1134	1129
290	1113	1036	1104	9920	1022	1077	1157	1065	1249	1362
300	1818	2852	4602	7183	10473	13955	16699	17182	16143	13690

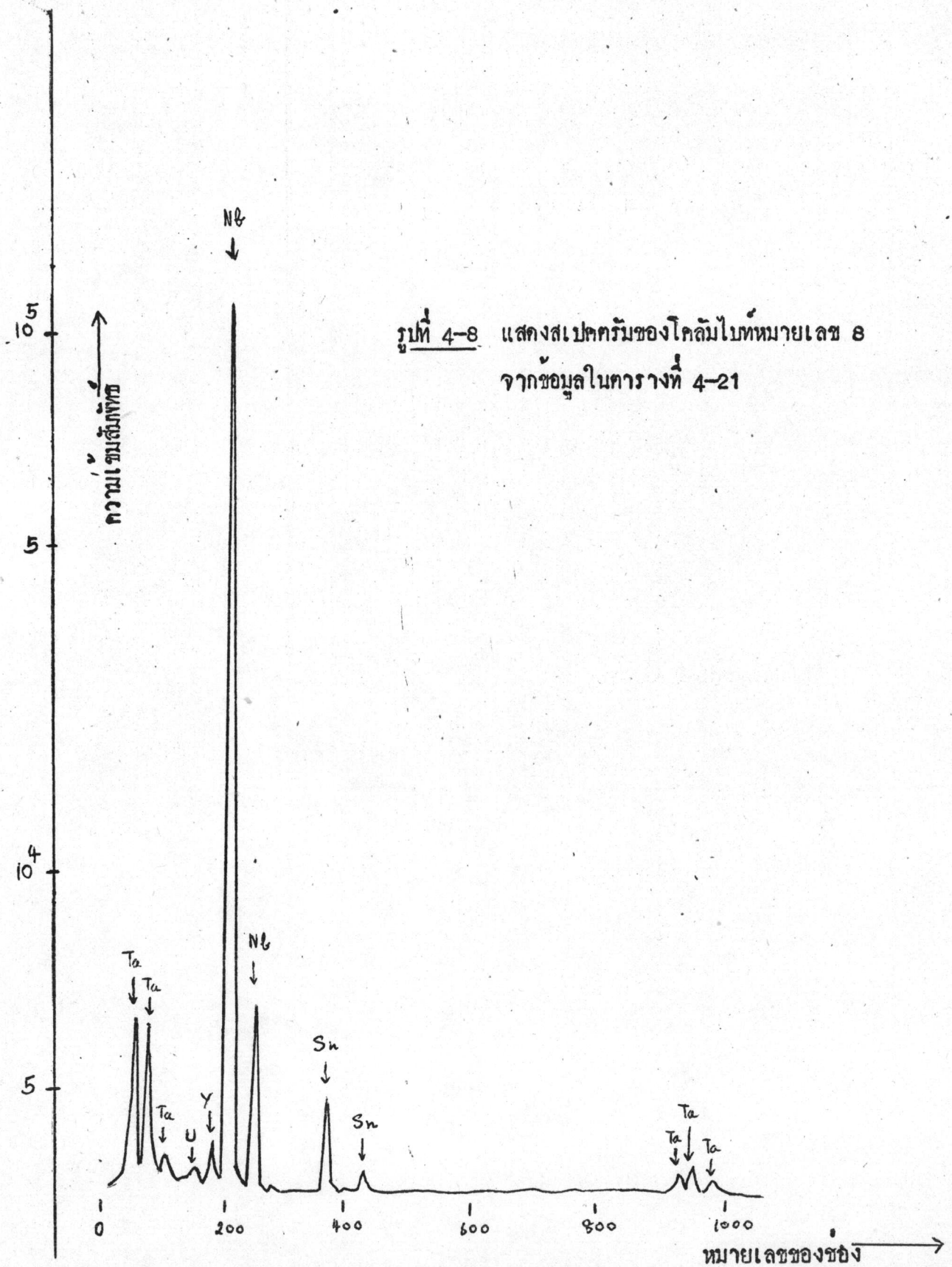
ตารางที่ 4-21 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดโคลัมไบท์หมายเลข 8 โดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์แบบใช้วิธีแอดดิชัน

หัววัด Si(Li) วัด 2000 วินาที

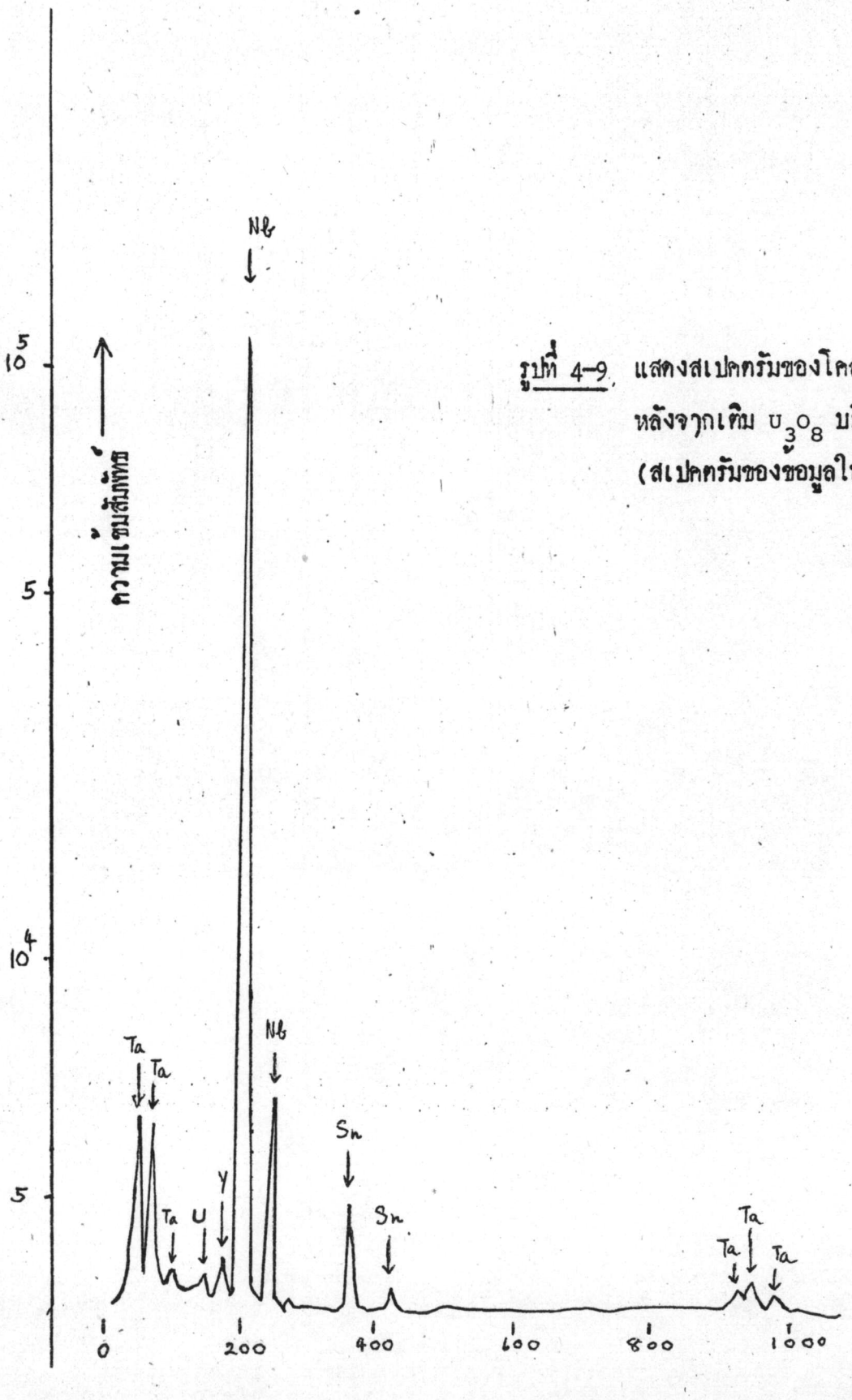
80	2383	3301	5409	8158	1608	14319	15143	13732	11556	8984
90	7401	6313	5499	4447	3476	2748	2261	2017	1880	1876
100	1660	1730	1697	1728	2038	2579	3537	5190	7740	10692
110	13258	14679	14494	13062	11324	10081	9849	9849	9769	9141
120	6545	5114	4038	3286	2900	2547	2240	1940	1740	1583
130	1407	1428	1577	1509	1584	1734	1784	1885	1881	1947
140	2150	2661	2292	3652	3762	3556	3204	2835	2543	2577
150	2675	2843	2869	26480	2310	1992	1831	1729	1819	1797
160	1747	1610	1437	1384	1245	1240	1171	1180	1211	1147
170	1217	1159	1141	1157	1139	1139	1207	1226	1343	1335
180	1430	1492	1488	1539	1595	1733	1880	1810	1854	1943
190	1629	1454	1324	1338	1366	1420	1659	**2178**	2593	3351
200	3664	3727	3753	3123	2552	1970	1557	1341	1182	1100
210	1076	1107	1098	1072	1126	1078	1051	1030	1066	1067
220	1095	1231	1375	1748	2444	3576	5093	6749	3027	8457
230	7935	6591	5080	3512	2476	1767	1481	1313	1241	1278
240	1402	1456	1762	1951	2333	2343	2340	2393	2262	1922
250	1844	1900	1884	2098	2467	3204	4684	7926	13666	23670
260	37783	54386	71370	83237	85483	78271	63758	45987	29831	17756
270	9910	5868	3866	3039	2752	2826	2907	2924	2785	2624
280	2273	1940	1740	1567	1464	1326	1276	1190	1123	1060
290	1053	1051	1017	1035	1057	1098	1117	1170	1271	1611
300	2197	3252	5207	8042	11459	14892	16938	16943	15421	12724

ตารางที่ 4–22 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดโคลัมไบท์หมายเลข 8 เมื่อเติม U_3O_8 บริสุทธิ์แล้ว วัดโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์

หัววัด Si(Li) วัด 2000 วินาที



รูปที่ 4-8 แสดงสเปคตรัมของโคลัมไบท์หมายเลข 8 จากข้อมูลในตารางที่ 4-21



รูปที่ 4-9 แสดงสเปคตรัมของโคลัมไบท์หมายเลข 8 หลังจากเติม U_3O_8 บริสุทธิ์แล้ว (สเปคตรัมของข้อมูลในตารางที่ 4-22)

4.5.5 ตัวอย่างการคำนวณและผลการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณสำหรับโคลัมไบท์หมายเลข 8

จากตารางที่ 4-23 และจากสมการ (3-5) จะได้

$$D = \frac{3.92741}{3.92741 + .03967} = 0.990$$

$$X = \frac{(10587/17478).03967}{1-[(10587/17478).99]} = .06003$$

$$\% \ U_3O_8 \text{ในโคลัมไบท์หมายเลข 8} = \frac{.06003}{3.92741} \times 100 = 1.528 \ \%$$

ความคลาดเคลื่อนของ I_x $\sqrt{32684 + 22097} = 234.053$

ความคลาดเคลื่อนของ I_{x+y} $\sqrt{40278 + 22800} = 251.153$

% ของความคลาดเคลื่อนของ U_3O_8 ในโคลัมไบท์หมายเลข 8

$$= \sqrt{\left(\frac{234.053}{10587}\right)^2 + \left(\frac{251.153}{17478}\right)^2} \times 100$$

$$= 2.6 \ \%$$

แร่ตัวอย่าง โคลัมไบท์	น้ำหนักแร่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนัก U_3O_8 ที่เติม (กรัม)	พื้นที่เบสของสารตัวอย่าง	พื้นที่เบสของสารตัวอย่าง	I_x	$I_{x'+y}$	I_x-B	$I_{x'+y}$-B	ปริมาณ U_3O_8 ในแร่ตัวอย่าง (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
หมายเลข 8	3.92741	0.03967	22097	22800	32684	40278	10587	17478	1.528	2.6
หมายเลข 9	3.05514	0.01535	19524	19417	25727	29525	6203	10108	.792	4.1
หมายเลข 10	2.52719	0.01269	15170	15735	21424	25830	6254	10095	.811	3.6
หมายเลข 11	3.10971	0.00936	20529	20740	25687	2950	5158	8760	.428	4.5
หมายเลข 12	2.99110	0.01503	18912	19371	27844	32223	8932	12852	1.132	2.9
หมายเลข 13	2.66946	0.01341	17263	17876	30833	26420	9157	12957	1.196	2.8
หมายเลข 14	2.79761	0.00842	10216	10579	16231	19779	6015	9200	.778	3.7

ตารางที่ 4-23 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณที่ได้จากการวัดแบบการเรืองรังสีเอกซ์ โดยวิธีแอดดิชัน หัววัด Si(Li) วัดตัวอย่างละ 2000 วินาที

ตัวอย่างแร่โคลัมไบท์	ปริมาณ U_3O_8 ในตัวอย่างแร่ (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
หมายเลข 8	1.510	2.7
หมายเลข 9	.789	4.0
หมายเลข 10	.803	3.7
หมายเลข 11	.419	4.6
หมายเลข 12	1.125	3.0
หมายเลข 13	1.182	2.9
หมายเลข 14	.769	3.8

ตารางที่ 4-24 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากการวัดแบบการเรืองรังสีเอกซ์โดยวิธีแอดดิชัน
หัววัด Si(Li)
วัดตัวอย่างละ 800 วินาที

แร่ตัวอย่าง โคลัมไบท์	วัดรังสีที่แผ่จากสารโดยธรรมชาติ				วัดโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์		นิวตรอน แอคติเวชั่น
	เครื่องวัดไกเกอร์		หัววัด NaI(Tl)	หัววัด Ge(Li)	หัววัด Si(Li)		
	เทียบกับ สารมาตรฐาน	วิธีแอคติชั่น	เทียบกับ สารมาตรฐาน	เทียบกับ สารมาตรฐาน	เทียบกับ สารมาตรฐาน	วิธีแอคติชั่น	เทียบกับ สารมาตรฐาน
หมายเลข 8	1.451	1.461	1.449	1.497	.526	1.528	1.518
หมายเลข 9	.704	.790	.788	.789	.372	.792	.767
หมายเลข 10	.778	.792	.790	.788	.415	.811	.807
หมายเลข 11	.413	.427	.423	.420	.234	.428	.426
หมายเลข 12	1.011	1.102	1.097	1.103	.442	1.132	1.122
หมายเลข 13	1.120	1.189	1.181	1.178	.460	1.196	1.201
หมายเลข 14	.721	.752	.748	.743	.384	.778	.767

ตารางที่ 4-25 เปรียบเทียบผลที่ได้กับผลที่ผู้อื่นวิจัยได้

แร่ตัวอย่าง โคลัมไบท์	ความคลาดเคลื่อนคิดเป็นเปอร์เซนต์					
	วัดรังสีที่แผ่จากสารโดยธรรมชาติ				วัดโดยการเรืองรังสีเอกซ์	
	เครื่องวัดไกเกอร์		หัววัด NaI(Tl)	หัววัด Ge(Li)	หัววัด Si(Li)	
	เทียบกับสารมาตรฐาน	วิธีแอดดิชั่น	เทียบกับสารมาตรฐาน	เทียบกับสารมาตรฐาน	เทียบกับสารมาตรฐาน	วิธีแอดดิชั่น
หมายเลข 8	4.4	3.7	1.4	1.3	65.3	.6
หมายเลข 9	8.2	2.9	2.7	2.8	51.4	3.2
หมายเลข 10	3.5	1.8	2.1	2.3	60.9	0.4
หมายเลข 11	3.0	.2	.7	1.4	60.6	0.4
หมายเลข 12	9.8	1.7	2.2	1.6	61.6	0.8
หมายเลข 13	6.7	.9	1.6	1.9	59.0	1.4
หมายเลข 14	5.3	1.9	2.4	3.1	49.9	1.4

ตารางที่ 4-26 แสดงความคลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์ ของผลที่ได้จากการวัดด้วยวิธีต่าง ๆ เมื่อเทียบกับวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน