

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 การคำนวณค่าความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity)

4.1.1 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณโปแทสเซียมสำหรับปุนชนิด A ตัวอย่างที่ 1

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

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

$$\beta = \frac{856}{1549} = 0.5526$$

$$\gamma = \frac{5263}{4689} = 1.1224$$

ในตัวอย่างปุนซีเมนต์ชนิด A ตัวอย่างที่ 1

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

แทนค่าจากตารางที่ 4.1 จะได้

$$n'_{Th} = 12919 - 11213 = 1706$$

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

$$\alpha = \frac{577}{1549} = 0.3725$$

แทนค่าจากตารางที่ 4.1 จะได้

$$n'_U = 8560 - (0.3725 \times 1706) = 7924.515$$

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

แทนค่าจากตารางที่ 4.1 จะได้

$$n'_K = 13913 - (0.5526 \times 1706) - (1.1224 \times 7924.515)$$

$$n'_K = 4075.7888$$

ในสารมาตรฐานโปแทสเซียมจะได้

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

แทนค่าจากตารางที่ 4.1 จะได้

$$n'_{Th} = 177$$

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

$$n'_U = 0 \text{ (เนื่องจากอัตราการนับทั้งหมดติดลบ)}$$

$$n'_K = 24712 - (0.5526 \times 177) - (1.1224 \times 0) = 24614.1898$$

ดังนั้น $A_K = \frac{4075.7888}{24614.1898} \times 700 = 115.9 \text{ Bq/kg}$

4.1.2 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณยูเรเนียมสำหรับปูนชนิด A ตัวอย่างที่ 1

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

ในตัวอย่างปูนซีเมนต์ชนิด A ตัวอย่างที่ 1

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

จาก 4.2.1 จะได้

$$n'_U = 7924.515$$

หา n'_{Th} ในสารมาตรฐานยูเรเนียมจะได้

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

แทนค่าจากตารางที่ 4.1 จะได้

$$n'_{Th} = 690$$

$$n'_U = 4689 - (0.3725 \times 690) = 4431.975$$

ดังนั้น
$$A_U = \frac{7924.515}{4431.975} \times 41.6411 = 74.46 \quad \text{Bq/kg}$$

4.1.3 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณทอเรียมในปูนชนิด A ตัวอย่างที่ 1

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

$$A_{Th} = \frac{1706}{1549} \times 16.699 = 18.39 \quad \text{Bq/kg}$$

จากสเปกตรัมของตัวอย่างเป็นดังรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าพีก (peak) ของ Tl-208 (ผลิตภัณฑ์ของทอเรียม-232) ไม่มี compton continuum โคมาควนจึงไม่ต้องลบออกด้วยค่าแก้สามารถแทนค่าในสมการได้เลยจะได้ ค่าความแรงรังสีของทอเรียมในปูนชนิด A ตัวอย่างที่ 1 เท่ากับ 18.39 Bq/Kg

4.2 การคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากผลการทดลองสามารถคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จาก

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

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

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

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

4.2.1 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของทอเรียบในปูนชนิด A

ตัวอย่างที่ 1

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

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



ในปูนชนิด A ตัวอย่างที่ 1 มี

$$n_{Th} = 12919$$

$$n_{bg(Th)} = 11213$$

$$T = 101$$

$$n'_{Th} = 1706$$

$$\sigma_{Th} = \left[12919 + \frac{11213}{101} \right]^{1/2} = 114.1491$$

ในสารมาตรฐานทอเรียบมี

$$n_{Th} = 12725$$

$$n_{bg(Th)} = 11176$$

$$T = 101$$

$$n'_{Th} = 1549$$

$$\sigma_{Th} = \left[12725 + \frac{11176}{101} \right]^{1/2} = 113.2945$$

$$\%error = \left[\left(\frac{114.1491}{1706} \right)^2 + \left(\frac{113.2945}{1549} \right)^2 \right]^{1/2} \times 100$$

%error ของทอเรียมไนปุน A ตัวอย่างที่ 1 = 9.9 %

4.2.2 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของยูเรเนียมไนปุน A ตัวอย่างที่ 1

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

$$\alpha = \frac{577}{1549} = 0.3725$$

ไนปุน A ตัวอย่างที่ 1 มี

$$n_U = 29321$$

$$n_{bg(U)} = 20761$$

$$T = 80$$

$$n'_U = 7924.515$$

$$\sigma_U = \left[29321 + \frac{20761}{80} + (0.3725)^2 (114.1491)^2 \right]^{1/2} = 177.1680$$

ในสารมาตรฐานยูเรเนียมมี

$$n_U = 25413$$

$$n_{bg(U)} = 20724$$

$$T = 80$$

$$n'_U = 4431.975$$

$$\sigma_{Th} = \left[11905 + \frac{11215}{101} \right]^{1/2} = 109.6177$$

$$\sigma_U = \left[25413 + \frac{20724}{80} + (0.3725)^2 (109.6177)^2 \right]^{1/2} = 165.3462$$

%error ของยูเรเนียมไนปุน A ตัวอย่างที่ 1 = 4.35 %

4.2.3 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของโปแตสเซียมในปูน A
ตัวอย่างที่ 1

$$\text{จาก } \sigma_K = \left[n_K + \frac{n_{bg(K)}}{T} + \beta^2 \sigma_{th}^2 + \gamma^2 \sigma_U^2 \right]^{1/2}$$

$$\beta = 0.5526$$

$$\gamma = 1.1224$$

ในปูน A ตัวอย่างที่ 1 มี

$$n_K = 82798$$

$$n_{bg(K)} = 68885$$

$$T = 77$$

$$n'_K = 4075.7888$$

$$\sigma_K = \left[82798 + \frac{68885}{77} + (0.5526)^2 (114.1491)^2 + (1.1224)^2 (177.1680)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_K = 356.6710$$

ในสารมาตรฐานโปแตสเซียมมี

$$n_K = 93425$$

$$n_{bg(K)} = 68713$$

$$T = 77$$

$$n'_K = 24614.1898$$

$$\sigma_{th} = \left[11472 + \frac{11295}{101} \right]^{1/2} = 107.6282$$

$$\sigma_U = \left[20642 + \frac{20661}{80} + (0.3725)^2 (107.6282)^2 \right]^{1/2} = 150.0253$$

$$\sigma_K = \left[93425 + \frac{68713}{77} + (0.5526)^2 (107.6282)^2 + (1.1224)^2 (150.0253)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_K = 355.2595$$

$$\%error = \left[\left(\frac{356.6710}{4075.7888} \right)^2 + \left(\frac{355.2595}{24614.1898} \right)^2 \right]^{1/2} \times 100$$

%error ของโปแตสเซียมในปูน A ตัวอย่างที่ 1 = 8.87 %

4.3 ผลการวัดหาปริมาณโปแตสเซียม ยูเรเนียม ทอเรียมในปูนซีเมนต์และวัสดุที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ชนิดต่างๆ

จากการทดลองและการคำนวณหาปริมาณรังสีในปูนซีเมนต์และวัสดุได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.9 ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลจำนวนนับรังสีทั้งหมดในช่วงของโปแทสเซียม ยูเรเนียมและทอเรียมจากตัวอย่างปูนซีเมนต์และสารมาตรฐานต่าง ๆ

ชนิดของตัวอย่าง	Peak ของ K-40			Peak ของ Bi-214			Peak ของ Th-232		
	$n_{bg(K)}$	n_K	$n_K - n_{bg(K)}$	$n_{bg(U)}$	n_U	$n_U - n_{bg(U)}$	$n_{bg(Th)}$	n_{Th}	$n_{Th} - n_{bg(Th)}$
ปูนAตัวอย่างที่1	68885	82798	13913	20761	29321	8560	11213	12919	1706
ปูนAตัวอย่างที่2	68949	80173	11224	20654	27958	7304	11306	12789	1483
ปูนAตัวอย่างที่3	68814	79445	10631	20480	24597	4117	11330	13060	1730
ปูนAตัวอย่างที่4	68765	81287	12522	20590	27457	6867	11222	12603	1381
ปูนBตัวอย่างที่1	68765	77689	8924	20590	24055	3465	11222	12649	1427
ปูนBตัวอย่างที่2	68815	78079	9264	20565	24079	3514	11276	12685	1409
ปูนCตัวอย่างที่1	68614	78063	9449	20640	23641	3001	11237	12788	1551
ปูนCตัวอย่างที่2	68705	77523	8818	20706	23210	2504	11386	12677	1291
ปูนDตัวอย่างที่1	68968	80659	11691	20641	24258	3617	11401	13312	1911
ปูนDตัวอย่างที่2	68689	81607	12918	20548	24682	4134	11350	13343	1993
สารมาตรฐานK	68713	93425	24712	20661	20642	-19*	11295	11472	177
สารมาตรฐานU	68772	74035	5263	20724	25413	4689	11215	11905	690
สารมาตรฐานTh	68810	69666	856	20754	21331	577	11176	12725	1549

* เนื่องจากอัตรานับเมื่อลบกับแบคกราวด์แล้วมีค่าติดลบจึงถือว่าเป็นศูนย์
 หมายเหตุ n = จำนวนนับรังสีทั้งหมด (ค่า peak integral)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความแรงรังสีและความคลาดเคลื่อนในการวัดปูนซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ โดยวัดตัวอย่างละ 15000 วินาทีในหน่วย Bq/Kg

ชนิดของปูนซีเมนต์	K-40	Bi-214(ผลิตภัณฑ์ของU-238)	Tl-208(ผลิตภัณฑ์ของTh-232)
ปูนAตัวอย่างที่1	115.9±10.3	74.46±3.24	18.39±1.82
ปูนAตัวอย่างที่2	80.4±10.0	63.44±2.87	15.99±1.69
ปูนAตัวอย่างที่3	164.3±10.1	32.63±1.96	18.65±1.84
ปูนAตัวอย่างที่4	131.6±10.2	59.69±2.75	14.89±1.63
ปูนBตัวอย่างที่1	137.7±9.9	27.56±1.83	15.38±1.66
ปูนBตัวอย่างที่2	145.9±9.9	28.08±1.84	15.19±1.65
ปูนCตัวอย่างที่1	167±9.9	22.77±1.73	16.72±1.73
ปูนCตัวอย่างที่2	165.9±9.9	19.01±1.65	13.92±1.59
ปูนDตัวอย่างที่1	209.7±10.3	27.29±1.83	20.60±1.96
ปูนDตัวอย่างที่2	227.8±10.4	31.87±1.94	21.49±2.01

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณของยูเรเนียม (ppm) ระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธี Neutron Activation Analysis และ Gamma Spectrometry ในปุ๋ยมินต์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของปุ๋ยมินต์	Neutron Activation Analysis (ppm)	Gamma Spectrometry (ppm)
ปุ๋ยมินต์ A ตัวอย่างที่ 2	3.2467	5.1855
ปุ๋ยมินต์ A ตัวอย่างที่ 4	3.4950	4.8793
ปุ๋ยมินต์ B ตัวอย่างที่ 2	1.6583	2.2958
ปุ๋ยมินต์ C ตัวอย่างที่ 2	ไม่ได้ทำการวิเคราะห์	1.5539
ปุ๋ยมินต์ D ตัวอย่างที่ 2	ไม่ได้ทำการวิเคราะห์	2.6049

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบปริมาณของทองแดง (ppm) ระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธี Neutron Activation Analysis และ Gamma Spectrometry ในปุ๋ยมินต์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของปุ๋ยมินต์	Neutron Activation Analysis (ppm)	Gamma Spectrometry (ppm)
ปุ๋ยมินต์ A ตัวอย่างที่ 2	5.8479	4.9425
ปุ๋ยมินต์ A ตัวอย่างที่ 4	6.6560	4.6026
ปุ๋ยมินต์ B ตัวอย่างที่ 2	10.6321	4.6959
ปุ๋ยมินต์ C ตัวอย่างที่ 2	5.2592	4.3026
ปุ๋ยมินต์ D ตัวอย่างที่ 2	6.6423	6.6423

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลจำนวนนับรังสีทั้งหมดในช่วงของโปแทสเซียม ยูเรเนียม และ ทอเรียมจากวัตถุดิบของตัวอย่าง A และสารมาตรฐานต่าง ๆ (C/15000sec)

ชนิดของวัตถุดิบ	Peak ของ K-40			Peak ของ Bi-214			Peak ของ Th-232		
	$n_{bg}(K)$	n_K	$n_K - n_{bg}(K)$	$n_{bg}(u)$	n_u	$n_u - n_{bg}(u)$	$n_{bg}(Th)$	n_{Th}	$n_{Th} - n_{bg}(Th)$
ดินดานตัวอย่างที่ 1	69388	92514	23126	21054	25164	4110	11429	14566	3137
ดินดานตัวอย่างที่ 2	68794	85513	16719	20873	25226	1353	11227	14392	3165
ดินดานตัวอย่างที่ 3	68661	101547	32886	20616	27190	6574	11157	15415	4258
ดินดานตัวอย่างที่ 4	68380	86406	18026	20565	27951	7386	11087	15359	4272
ดินดานตัวอย่างที่ 5	68247	106884	38637	20588	27071	6483	11116	16249	5133
ดินดานตัวอย่างที่ 6	68668	104162	35494	20668	27232	6564	11140	15818	4678
หินปูนตัวอย่างที่ 1	68676	69718	1042	20565	21332	767	11072	11557	485
หินปูนตัวอย่างที่ 2	68178	69439	1261	20362	20820	458	11124	11326	238
หินปูนตัวอย่างที่ 3	68272	97849	29577	20404	25919	5515	11161	15548	4387
หินปูนตัวอย่างที่ 4	68232	104665	36433	20398	26823	6425	11123	16132	5009
หินปูนตัวอย่างที่ 5	68286	71438	3152	20403	23090	2687	11168	11496	328
หินปูนตัวอย่างที่ 6	68626	71606	2980	20447	22888	2441	11145	11654	509
หินปูนตัวอย่างที่ 7	68816	69597	781	20511	21017	506	11075	11572	497

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ชนิดของวัตถุดิบ	Peak ของ K-40			Peak ของ Bi-214			Peak ของ Tl-208		
	$n_{bg}(K)$	n_K	$n_K - n_{bg}(K)$	$n_{bg}(u)$	n_u	$n_u - n_{bg}(u)$	$n_{bg}(Th)$	n_{Th}	$n_{Th} - n_{bg}(Th)$
แร่เหล็กจากแหล่งเขาทับควาย	68316	72704	4388	20573	23601	3028	11062	12448	1386
ศิลาแลง	68959	74389	5430	20785	24533	3748	11349	13423	2074
Raw meal ตัวอย่างที่ 1	68884	76466	7582	20559	23188	2629	11076	12350	1274
Raw meal ตัวอย่างที่ 2	68884	76128	7244	20559	23439	2880	11076	12359	1283
Clinker	69238	86280	17142	20693	26477	5784	11212	13956	2744
สารมาตรฐาน K	68914	93838	24924	20551	20858	307	11136	11554	418
สารมาตรฐาน U	69161	73889	4728	20708	25387	4679	11094	11783	689
สารมาตรฐาน Th	69668	70554	866	21130	21822	692	11435	12775	1340

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความแรงรังสีและค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดรังสีวัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์โดยวัดรังสีตัวอย่างละ 15000 วินาทีในหน่วย Bq/kg

ชนิดของวัสดุก่อสร้าง	K-40	Bi-214(ผลิตภัณฑ์ของU-238)	Tl-208(ผลิตภัณฑ์ของTh-232)
ดินดานตัวอย่างที่1	528.4±12.8	23.98±1.89	39.09±3.64
ดินดานตัวอย่างที่2	338.6±11.1	26.18±1.94	39.44±3.66
ดินดานตัวอย่างที่3	731.2±15.0	42.14±2.38	53.06±4.76
ดินดานตัวอย่างที่4	284.1±10.9	49.89±2.61	53.24±4.77
ดินดานตัวอย่างที่5	894.3±16.9	36.92±2.25	63.97±5.65
ดินดานตัวอย่างที่6	804.2±15.8	39.96±2.33	58.29±5.18
หินปูนตัวอย่างที่1	5.7±9.0	4.98±1.53	6.04±1.44
หินปูนตัวอย่างที่2	21.8±9.0	3.23±1.50	2.97±0.62
หินปูนตัวอย่างที่3	649.9±14.1	31.30±2.08	54.67±4.89
หินปูนตัวอย่างที่4	833.6±16.2	36.97±2.24	62.42±5.52
หินปูนตัวอย่างที่5	11.1±9.2	24.25±1.83	4.09±1.39
หินปูนตัวอย่างที่6	12.6±9.2	20.98±1.76	6.34±1.45
หินปูนตัวอย่างที่7	5.7±9.0	2.40±1.51	6.19±1.45
แร่เหล็ก	32.4±9.3	22.27±1.81	17.27±2.02
ศิลาแลง	38.6±9.5	25.78±1.91	25.85±2.63
Raw meal #1	135.3±9.7	18.99±1.74	15.88±1.94
Raw meal #2	118.4±9.6	21.36±1.79	15.99±1.94
clinker	311.1±11.0	42.06±2.36	34.19±3.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ค่าความแรงรังสีของปูนซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ ในหน่วย Bq/kg

ชนิดของปูนซีเมนต์	K - 40	U - 238	Th - 232
ปูนซีเมนต์ A	80.4-164.3	32.63-74.46	14.89-18.65
ปูนซีเมนต์ B	137.7-145.9	27.56-28.08	15.19-15.38
ปูนซีเมนต์ C	165.9-167	19.01-22.77	13.92-16.72
ปูนซีเมนต์ D	209.7-227.8	27.29-31.87	20.60-21.49

ตารางที่ 4.8 ค่าความแรงรังสีของวัตถุดิบที่ใช้ในตัวอย่าง A ในหน่วย Bq/kg

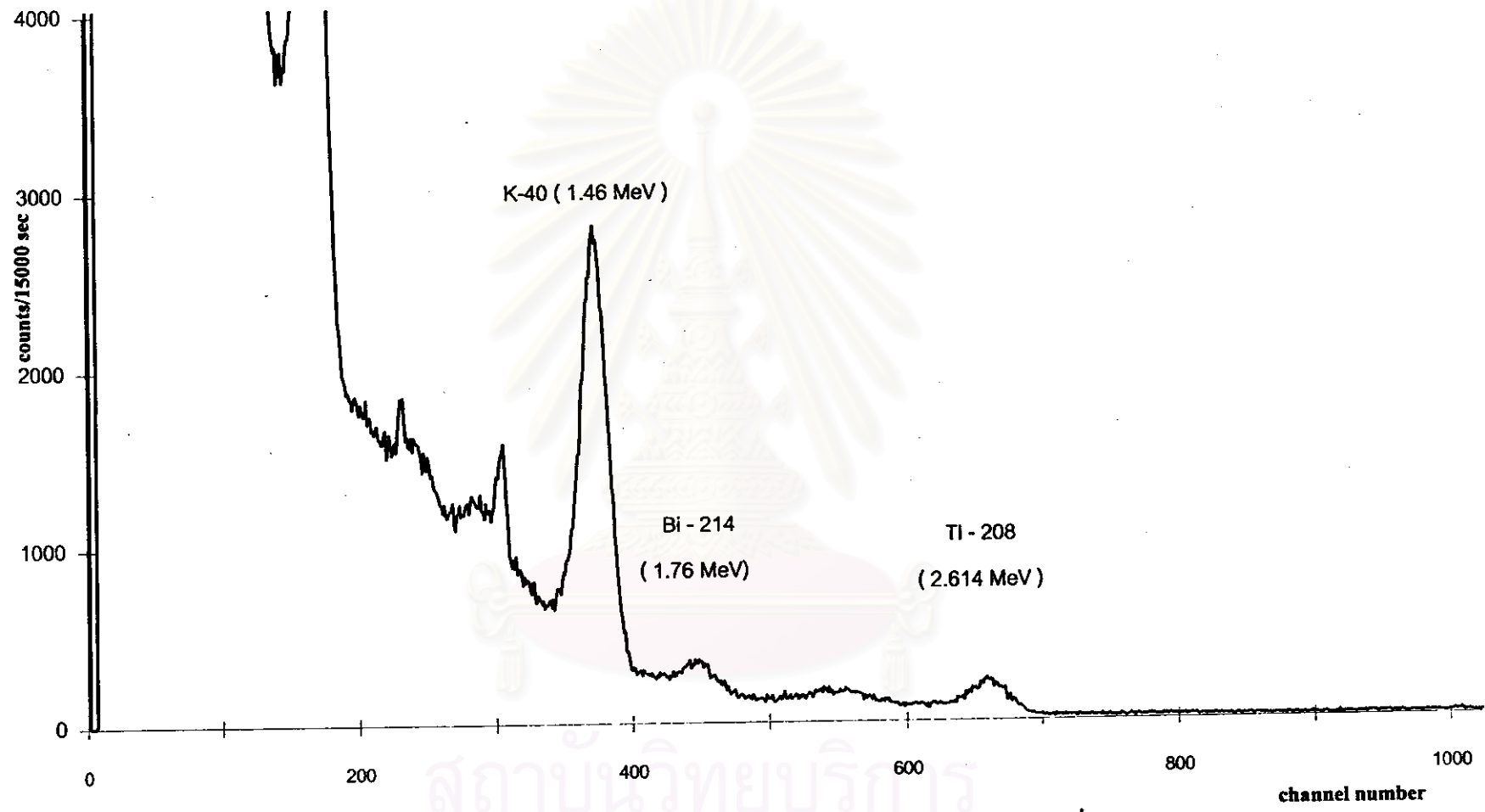
ชนิดของวัตถุดิบ	K - 40	U - 238	Th - 232
ดินดาน	284.1-894.3	23.98-49.89	39.09-63.97
หินปูน	5.7-833.6	3.23-36.97	2.96-62.42
Raw meal	118.4-135.3	18.98-21.36	15.87-15.99
clinker	331.1	42.06	34.19
ปูน A	80.4-164.3	32.63-74.45	14.89-18.65

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณของโปแตสเซียม (ร้อยละ โดยน้ำหนัก) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี X - Ray Fluorescent Analysis กับ Gamma Spectrometry ในวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ

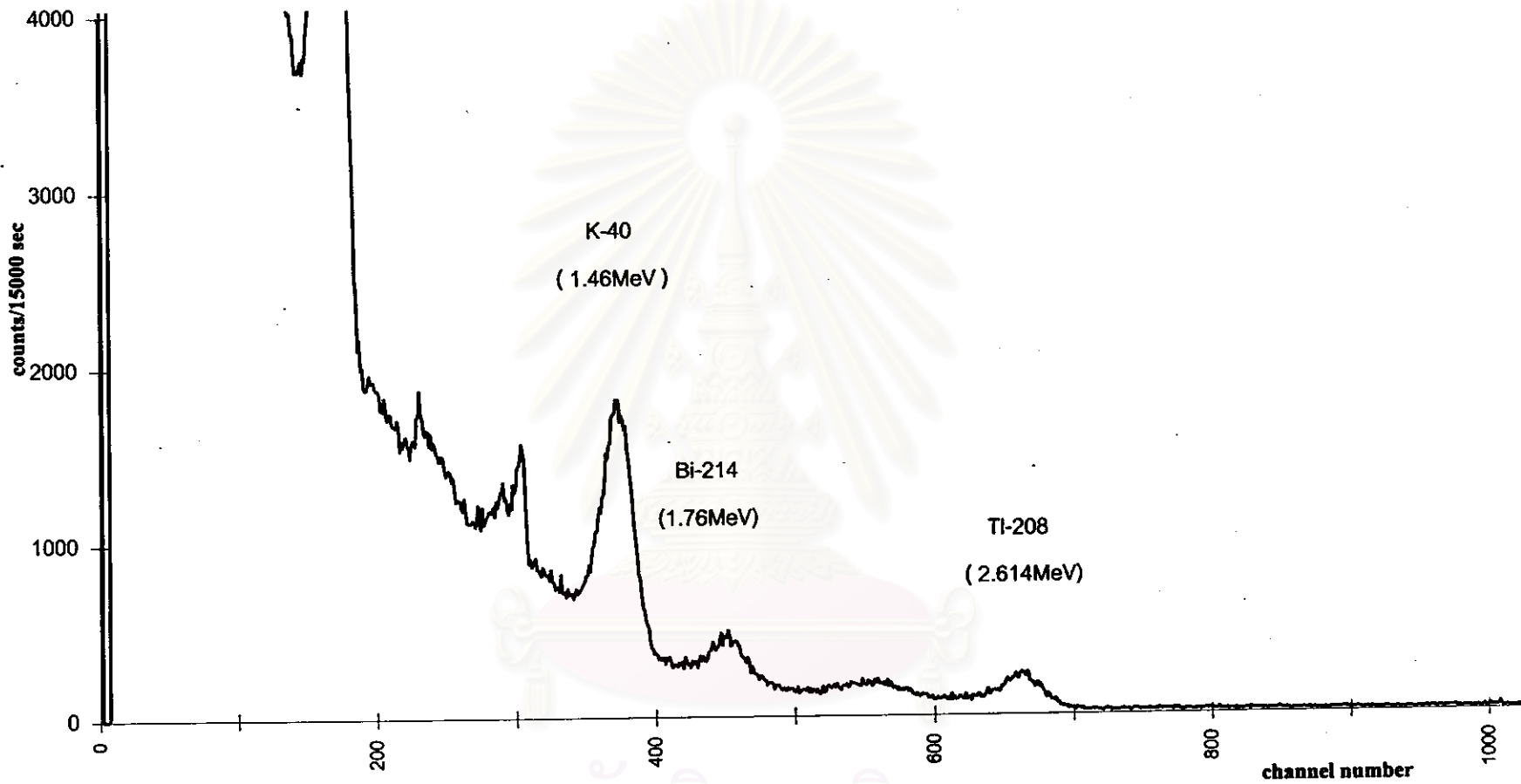
ชนิดของวัตถุดิบ	X - Ray Analysis*	Gamma Spectrometry
ดินดานตัวอย่างที่ 1	1.49%	1.69%
ดินดานตัวอย่างที่ 3	1.82%	2.34%
ดินดานตัวอย่างที่ 4	0.56%	0.91%
ดินดานตัวอย่างที่ 5	2.05%	2.86%
หินปูนตัวอย่างที่ 1	0.02%	0.02%
หินปูนตัวอย่างที่ 2	0.03%	0.07%
หินปูนตัวอย่างที่ 5	0.02%	0.03%
หินปูนตัวอย่างที่ 6	0.03%	0.04%
หินปูนตัวอย่างที่ 7	0.02%	0.02%
Clinker	0.59%	0.99%
raw meal ตัวอย่างที่ 1	0.38%	0.43%
raw meal ตัวอย่างที่ 2	0.29%	0.38%

* ผลวิเคราะห์จากบริษัทผู้ผลิต



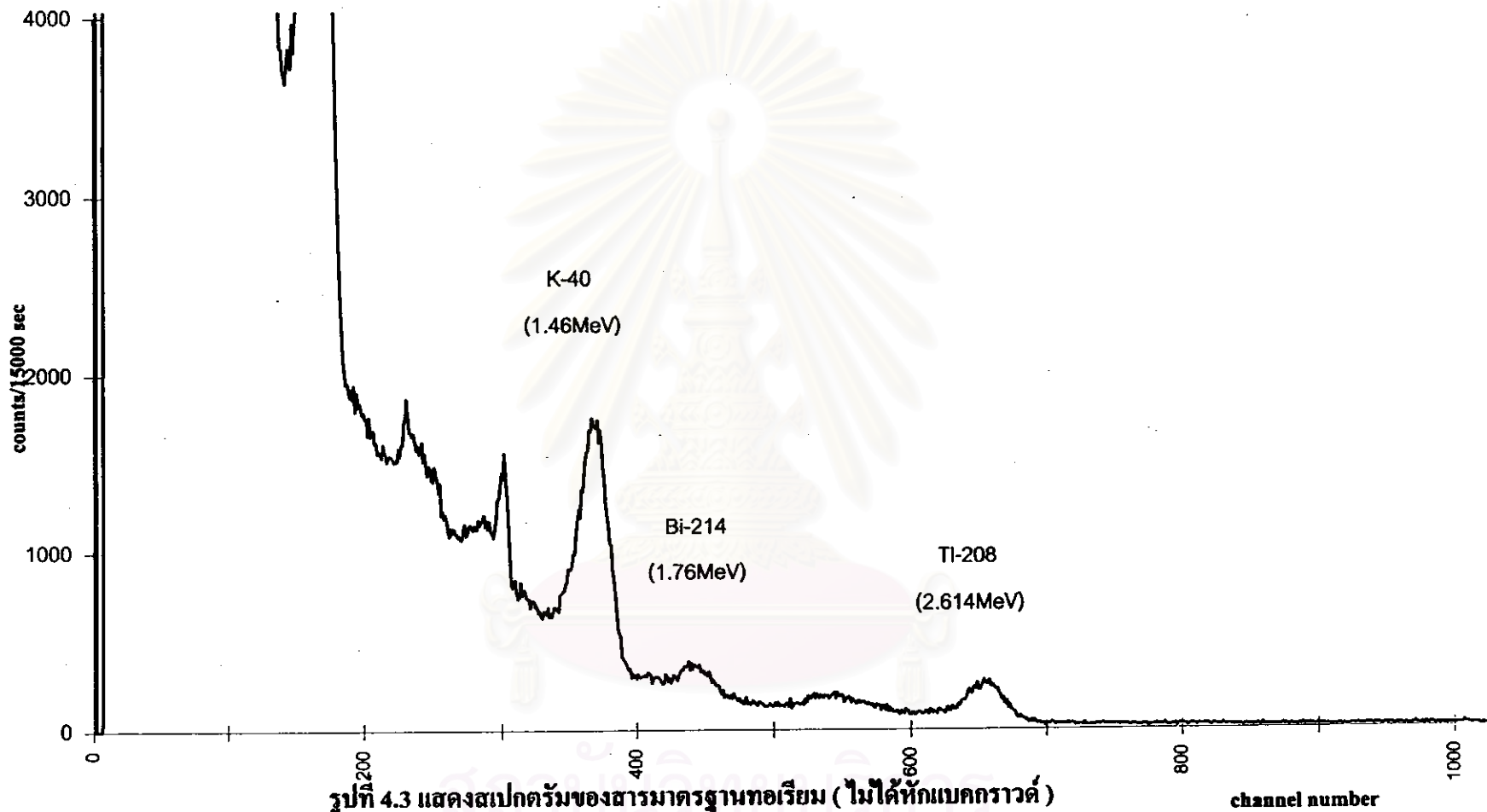
รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมของสารมาตรฐานโปแทสเซียม (ไม่ได้หักแบคกราวด์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



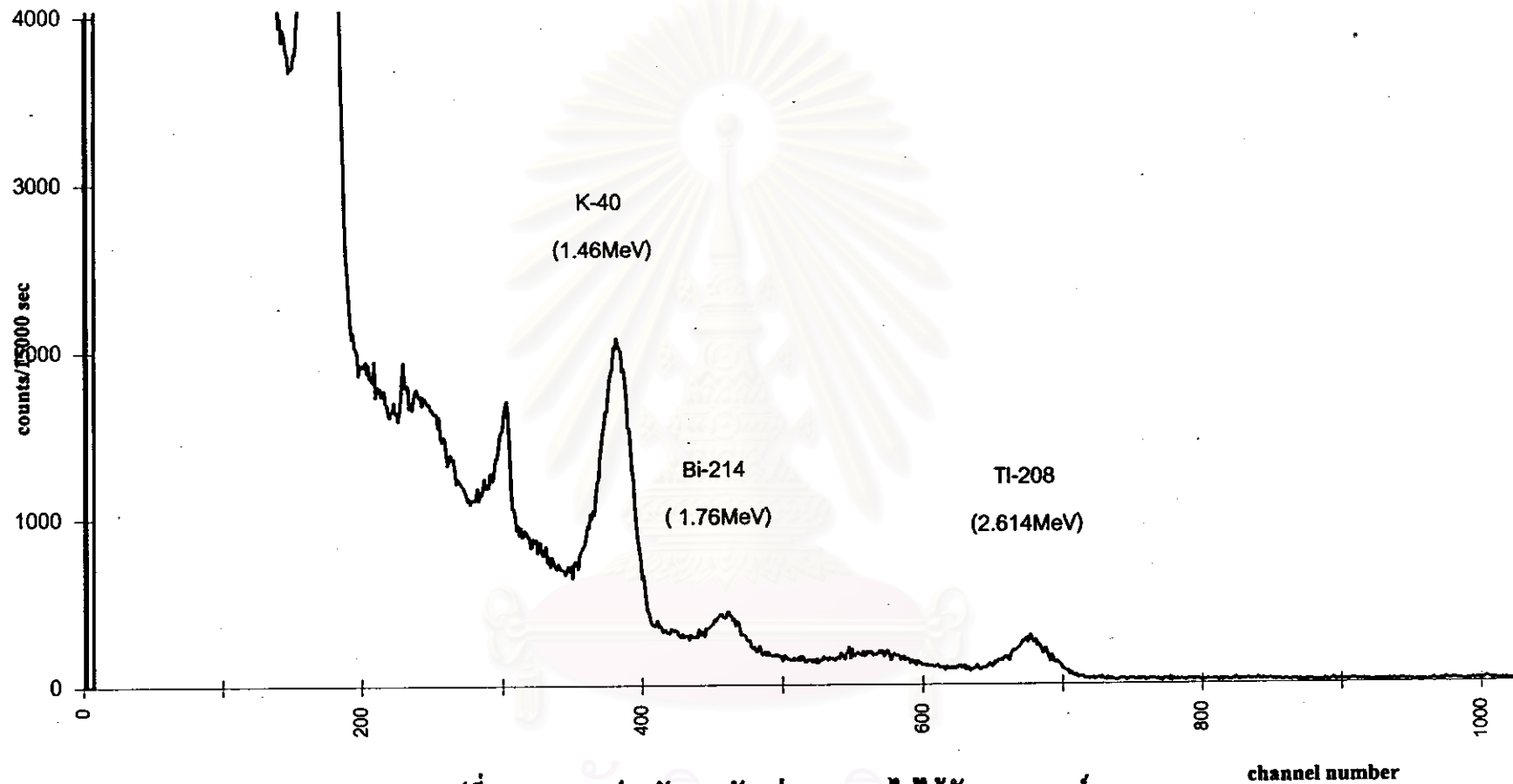
รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมของสารมาตรฐานยูเรเนียม (ไม่ได้หักแบคกราวด์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัมของสารมาตรฐานทอเรียม (ไม่ได้หักแบคกราวด์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัมของตัวอย่าง A # 1 (ไม่ได้หักแบคกราวด์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย