

ผลการทดลอง-อภิปราย

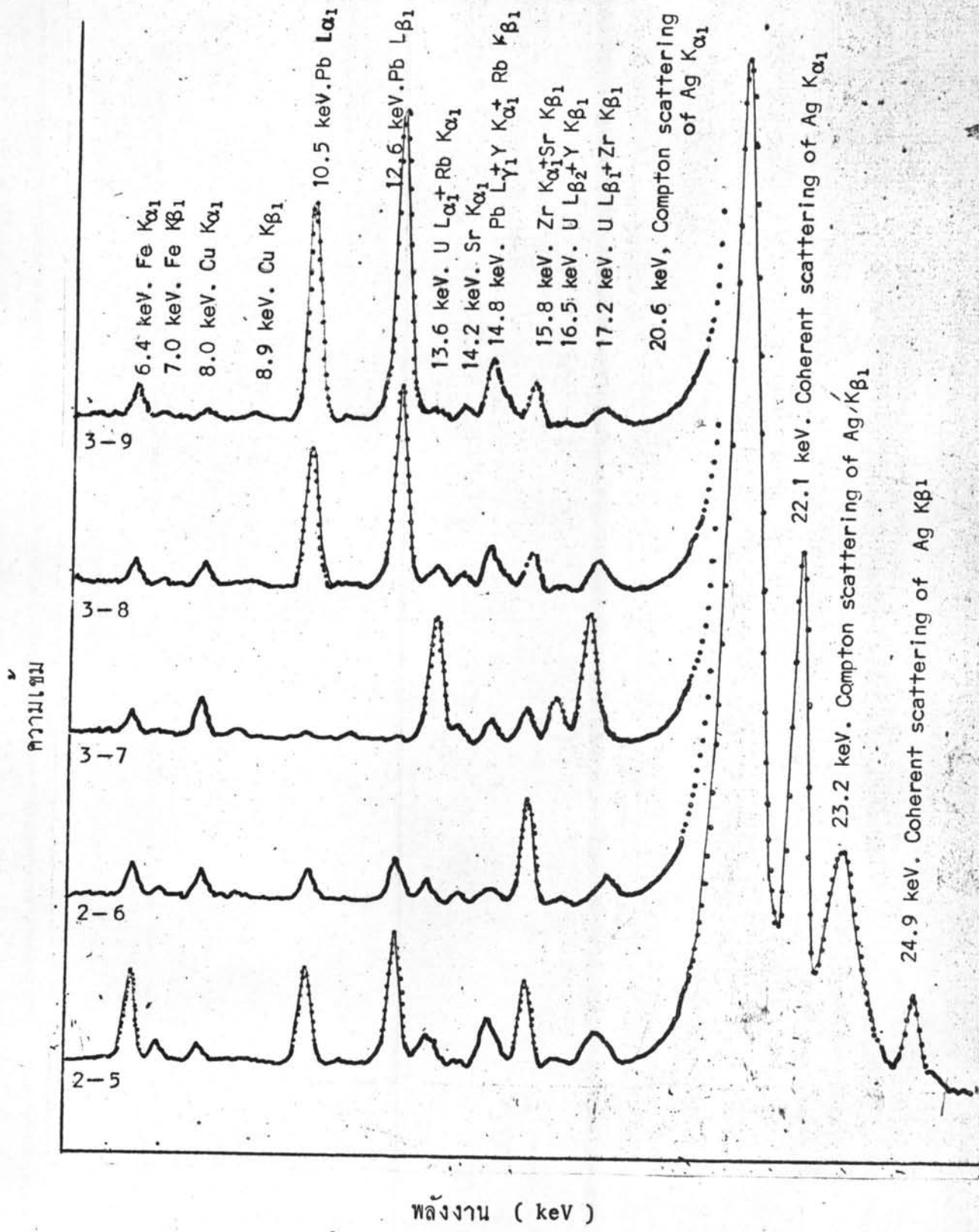


5.1 ผลการวิเคราะห์แร่หินทรายเชิงคุณภาพ

รูปที่ 5.1- 5.3 แสดงสเปกตรัมรังสีเอกซ์เรียงจากการกระตุ้นของต้นกำเนิดแคดเมียม-109 ของสารตัวอย่างต่างๆ รวมทั้งสิ้น 12 ตัวอย่างเปรียบเทียบกับของสารมาตรฐาน STD -1 พลังงานและชนิดของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุที่พบในสเปกตรัมของสารตัวอย่างได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 5.1

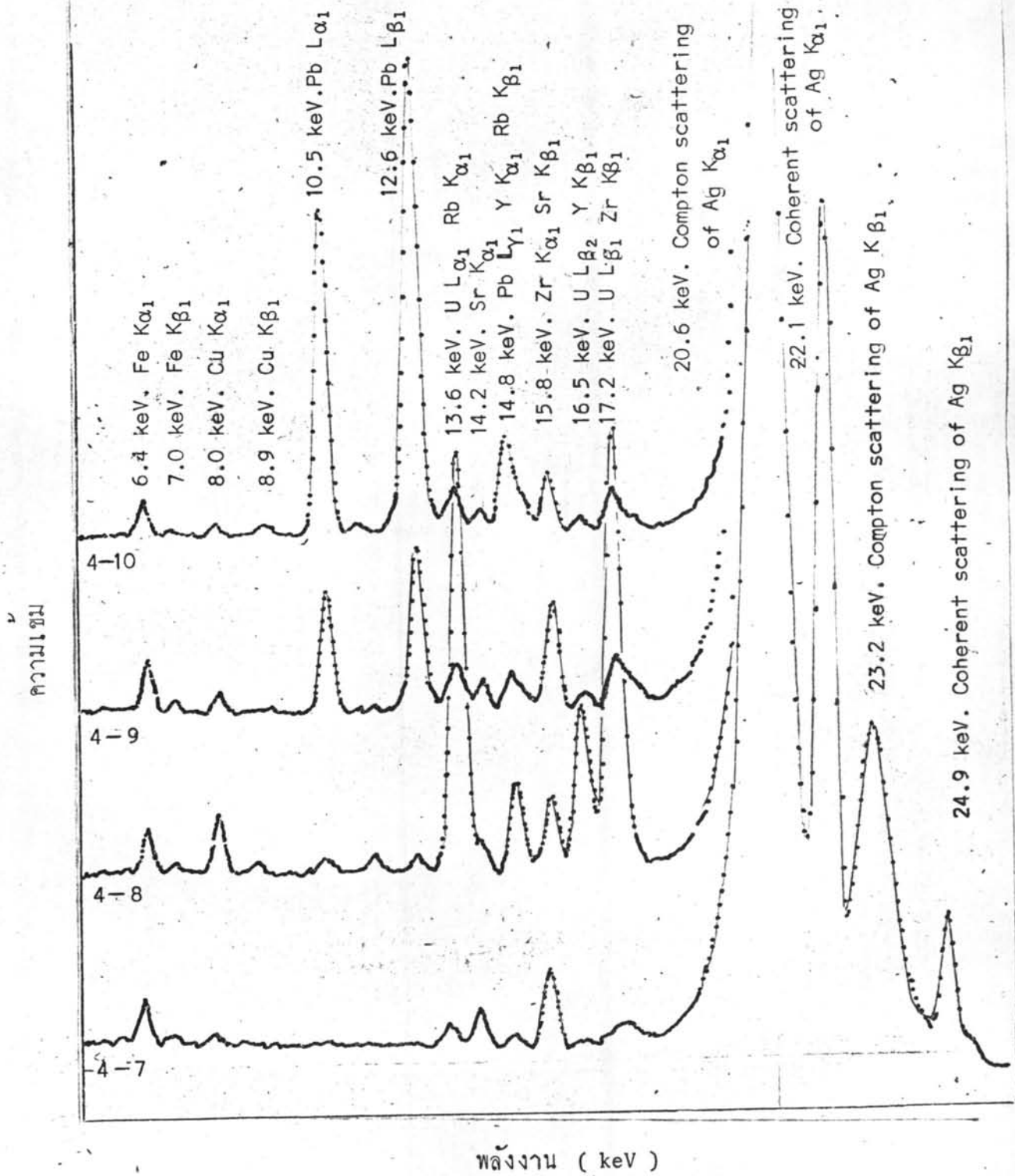
ตารางที่ 5.1 แสดงตำแหน่งของพีคและชนิดของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุต่างๆ

หมายเลขของ	พลังงาน (keV)	ชนิดของรังสีเอกซ์ (keV)
103	6.40	FeK _{α1} (6.403)
114	7.05	FeK _{β1} (7.057)
130	8.05	CuK _{α1} (8.047)
144	8.90	CuK _{β1} (8.904)
172	10.55	PbL _{α1} (10.549)
207	12.61	PbL _{β1} (12.611)
224	13.61	UL _{α1} (13.613), RbK _{α1} (13.394)
233	14.10	SrK _{α1} (14.104)
246	14.90	YK _{α1} (14.975), RbK _{β1} (14.960) PbL _{γ1} (14.762)
260	15.80	ZrK _{α1} (15.774), SrK _{β1} (15.834)
271	16.70	YK _{β1} (16.734), UL _{β2} (16.425)
291	17.61	UL _{β1} (17.218), ZrK _{β1} (17.660)



รูปที่ 5-1

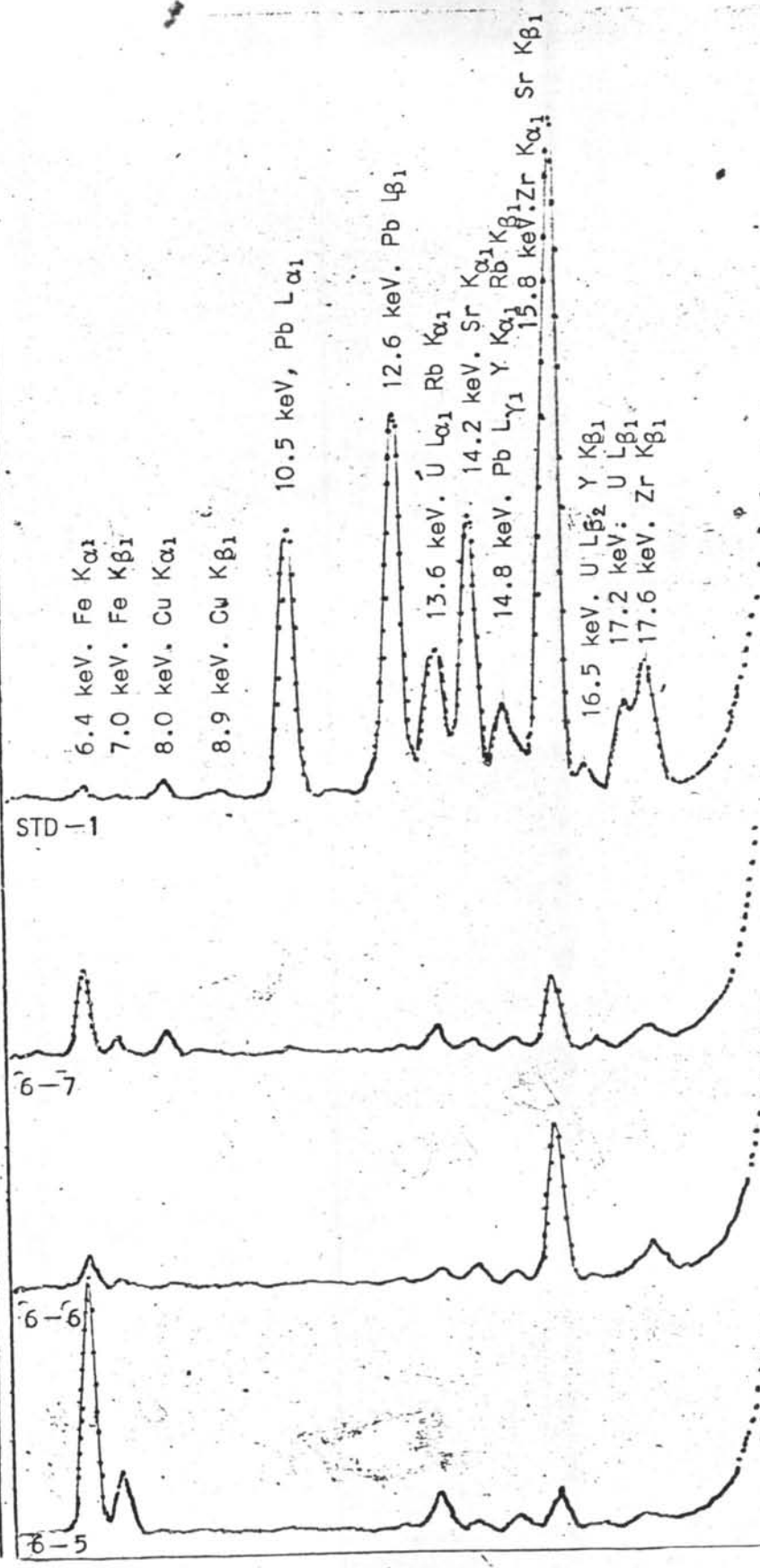
แสดงสเปกตรัมรังสีเอกซ์เรือง จากการกระตุ้นของต้นกำเนิดแคดเมียม-109 ของสารตัวอย่างหมายเลข 2-5, 2-6, 3-7, 3-8 และ 3-9.



รูปที่ 5-2

แสดงสเปกตรัมรังสีเอกซ์เรือง จากการกระตุ้นของต้นกำเนิดแคดเมียม-109 ของสารตัวอย่างหมายเลข 4-7, 4-8, 4-9 และ 4-10.

ความเข้ม



พลังงาน (keV)

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ พบว่าสารตัวอย่างทั้ง 12 ตัวอย่างประกอบด้วย Fe, Cu, Pb, U, Rb, Sr, Y และ Zr ในปริมาณต่างๆ กัน พิกของธาตุเหล่านี้บางตัวซ้อนกันในลักษณะแยกไม่ออก

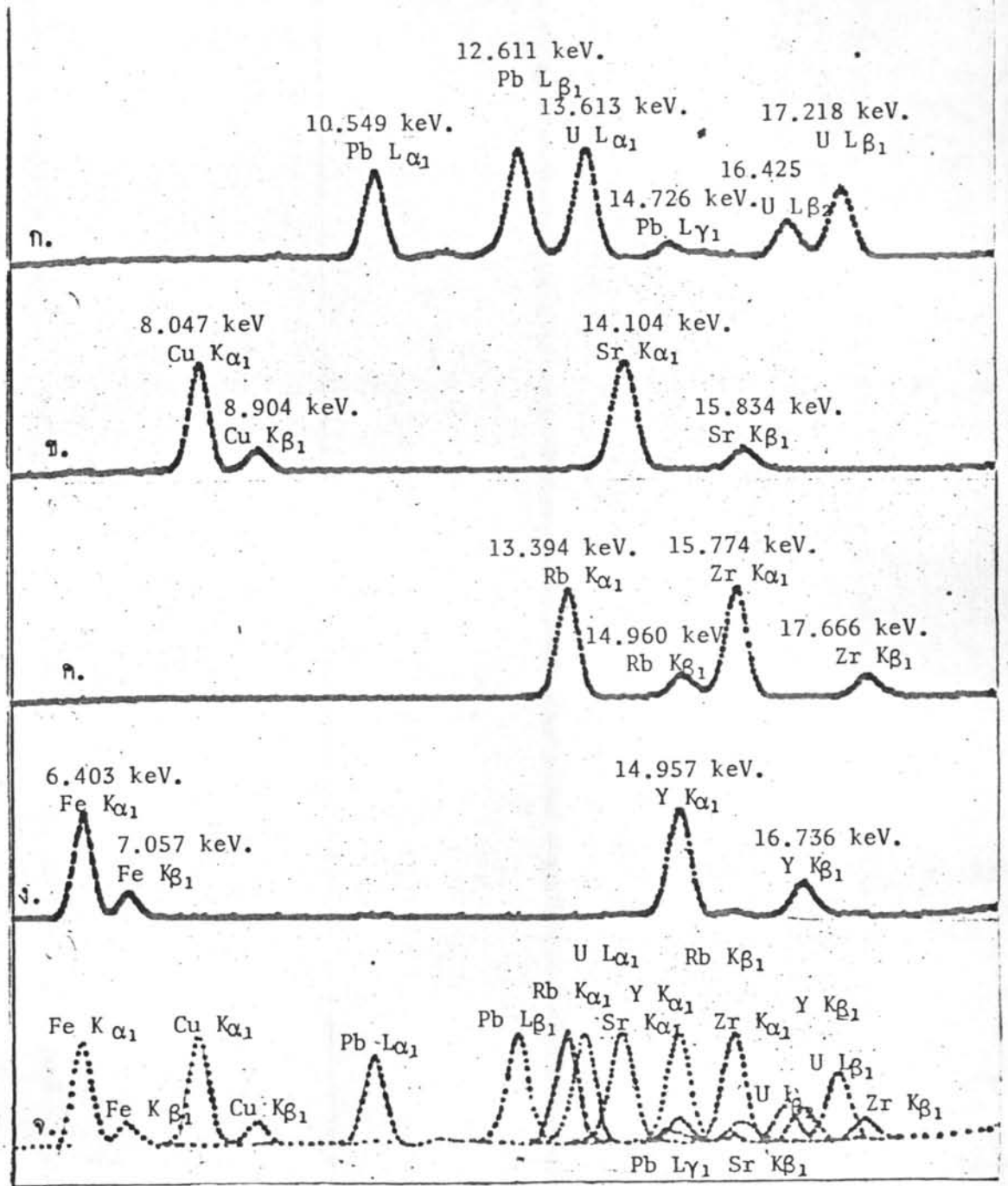
5.2 การรบกวนซึ่งกันและกันของพิกของธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่างแร่ดินทราย

รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะสเปกตรัมของสารบริสุทธิ์ของธาตุต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้ในข้อ 5.1 เมื่อนำสเปกตรัมเหล่านี้มาซ้อนกันจะเห็นถึงการรบกวนซึ่งกันและกันของพิกบางตัว (รูปที่ 5.4 (ง) พิกที่รบกวนกันได้รวบรวมสรุปไว้ในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงพลังงานของธาตุที่รบกวนซึ่งกันและกัน

ธาตุ	ชนิดของรังสีเอกซ์ (keV)
U, Rb	$UL_{\alpha 1}$ (13.613), $RbK_{\alpha 1}$ (13.390)
Y, Rb, Pb	$YK_{\alpha 1}$ (14.957), $RbK_{\beta 1}$ (14.960), $PbL_{\gamma 1}$ (14.762)
Zr, Sr	$ZrK_{\alpha 1}$ (15.774), $SrK_{\beta 1}$ (15.834)
U, Y	$UL_{\beta 2}$ (16.425), $YK_{\beta 1}$ (16.736)
U, Zr	$UL_{\beta 1}$ (17.218), $ZrK_{\beta 1}$ (17.666)

ความถี่



พลังงาน (keV.)

รูปที่ 5.4 แสดงสเปกตรัมและการรบกวนของพีคต่างๆ ของธาตุ

- ก. Pb และ U
- ข. Cu และ Sr
- ค. Rb และ Zr
- ง. Fe และ Y
- จ. Fe, Cu, Pb, U, Rb, Sr, Y และ Zr

5.3 ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณขั้นต้น (Semi quantitative analysis)

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุต่างๆ โดยการเปรียบเทียบพีคที่สมนัยกันระหว่างสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน STD-1

สารตัวอย่าง	%FeO	%CuO	%PbO	%SrO	%ZrO ₂
STD - 1	0.0700	0.0800	0.2800	0.0070	0.0080
2 - 5	0.1668	0.1165	0.2286	0.0668	0.0254
2 - 6	0.0701	0.1823	0.0749	0.0072	0.0313
3 - 7	0.0496	0.2322	0.0093	-	0.0088
3 - 8	0.0490	0.1557	0.3237	0.0084	0.0094
3 - 9	0.0705	0.0476	0.3215	0.0103	0.0096
4 - 7	0.0481	0.0325	0.0067	0.0163	0.0102
4 - 8	0.0559	0.1962	0.0197	-	0.0096
4 - 9	0.0638	0.0574	0.1507	0.0127	0.0141
4 -10	0.0062	0.0453	0.6142	0.0076	0.0101
6 - 5	0.4759	0.0012	0.0086	0.0067	0.0096
6 - 6	0.0641	0.0212	0.0066	0.0144	0.0348
6 - 7	0.1490	0.0113	0.0087	0.0096	0.0161

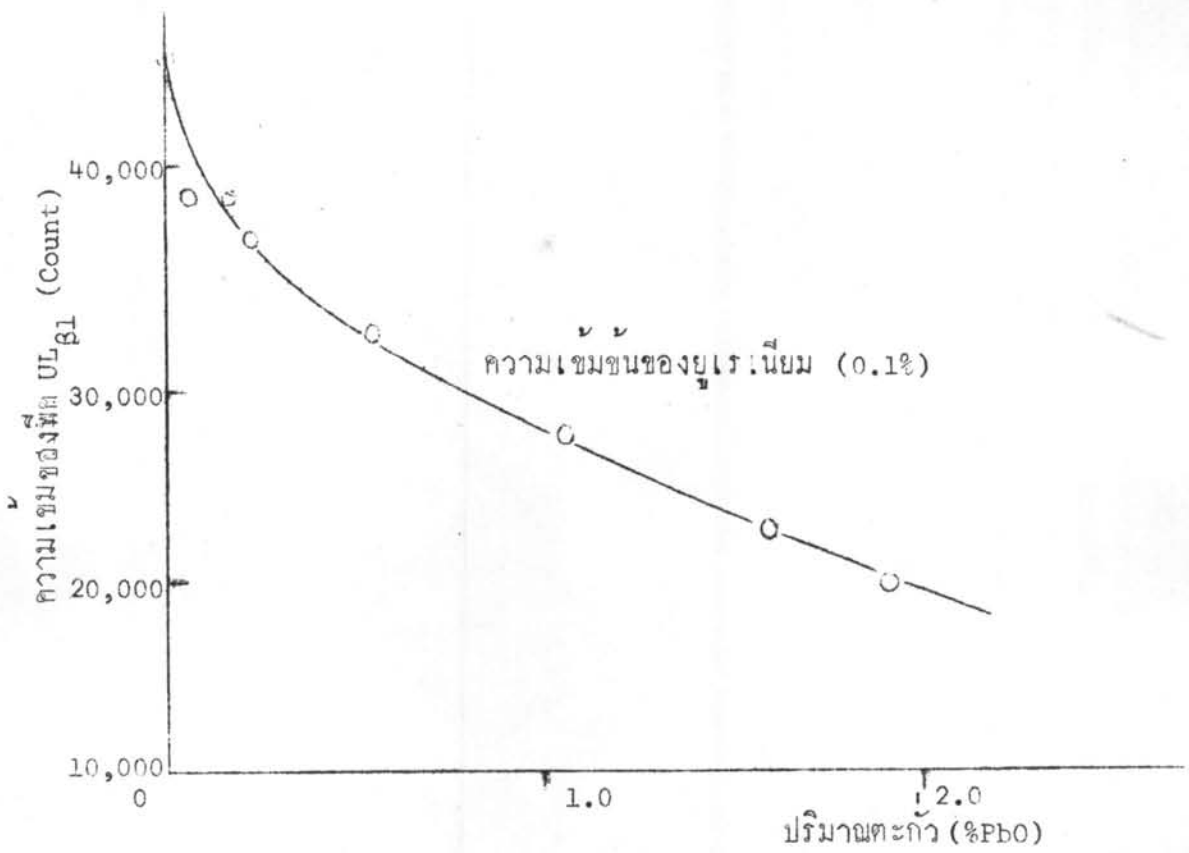
หมายเหตุ ธาตุ Rb, Y และ U ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เพราะพีคของธาตุเหล่านี้ถูกรบกวนจากธาตุอื่นและมีปริมาณน้อยเกินขีดขีดความสามารถของวิธีวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยการเปรียบเทียบพีคที่สมนัยกันระหว่างสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน STD-1 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 เป็นการวิเคราะห์ขั้นต้น โดยไม่คำนึงถึงการรบกวน, การดูดกลืนและการเสริมของธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่าง ผลที่ได้ อาจไม่ถูกต้องกับความเป็นจริง แต่ก็เป็นครรชนชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างของปริมาณของธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่างทั้ง 12 ตัว

5.4 ผลการศึกษาการดูดกลืนรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของยูเรเนียมโดยตะกั่ว

ตารางที่ 5.4 แสดงความเข้มของพีค $U_{\beta 1}$ ในสารตัวอย่างที่มีปริมาณตะกั่วต่างๆ กัน แต่มีปริมาณยูเรเนียมเท่ากัน ($0.1\% U_3O_8$)

%PbO	ความเข้มของ $U_{\beta 1}$ (Counts) ($0.1\%U_3O_8$) (800 sec.)
0	46635
0.065	38542
0.145	37962
0.210	36160
0.541	32971
1.095	27863
1.590	22326
1.915	19578



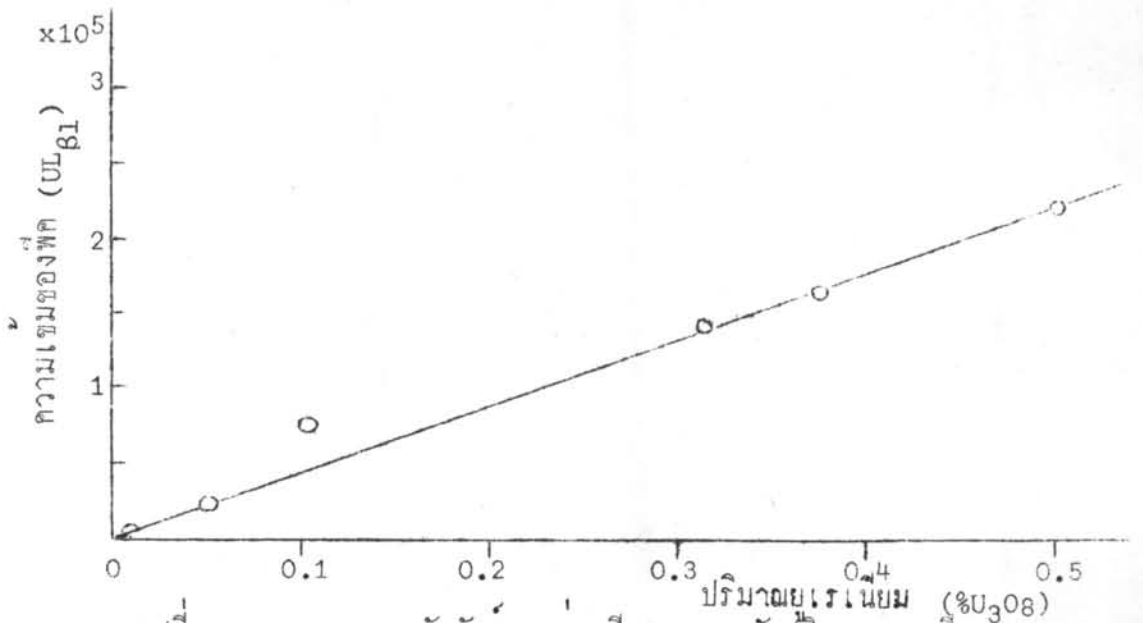
รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของพีค UL_{B1} (0.1% ²³⁵U) กับปริมาณตะกั่วจากตารางที่ 5.4

จากตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 พบว่าในสารตัวอย่างที่มีปริมาณยูเรเนียมเท่ากัน (0.1%) แต่มีปริมาณตะกั่วแปรผันระหว่าง 0-1.915% ความเข้มของพีค $UL_{\beta 1}$ จะลดลงเมื่อสารตัวอย่างมีปริมาณตะกั่วเพิ่มขึ้น ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสารตัวอย่างที่มีปริมาณตะกั่วมากจะดูดกลืน $UL_{\beta 1}$ มากกว่าสารตัวอย่างที่มีปริมาณตะกั่วน้อย การที่ในสารตัวอย่างแต่ละตัวมีปริมาณตะกั่ว (หรือธาตุอื่น) แตกต่างกัน ทำให้การดูดกลืนพีค $UL_{\beta 1}$ แตกต่างกันไปด้วยเป็นเหตุให้การวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมของสารตัวอย่างต่างๆ เหล่านี้โดยการเปรียบเทียบพีคที่สมนัยกันกับสารมาตรฐานที่มีส่วนประกอบของธาตุต่างๆ คงที่ไม่ถูกต้อง

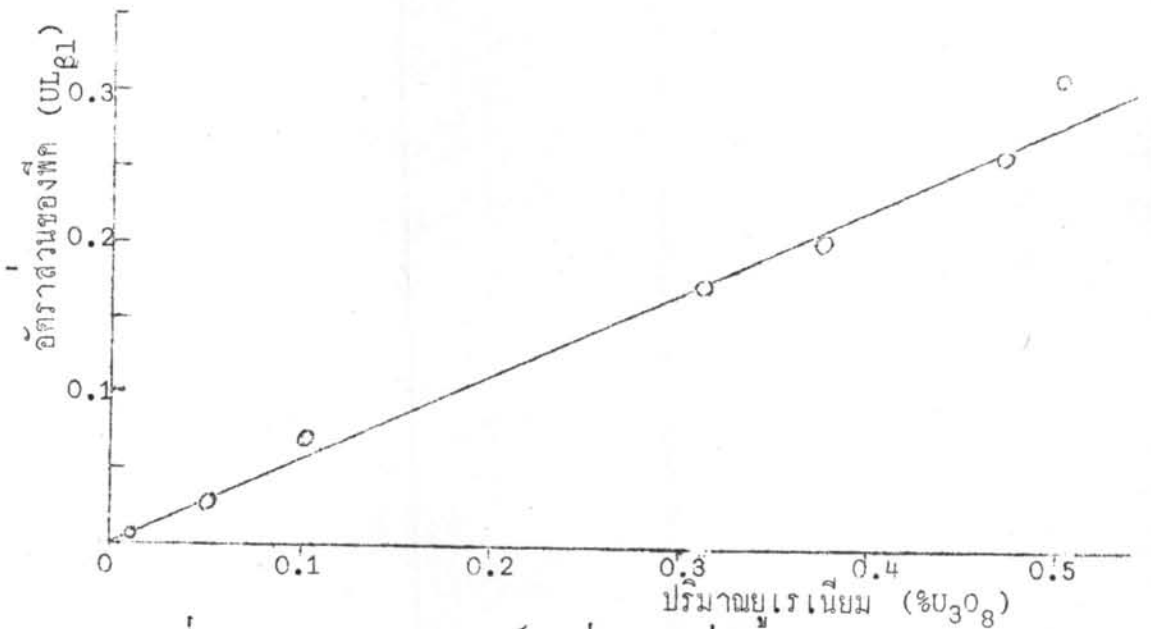
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของพีค $UL_{\beta 1}$ และความเข้มของพีครังสีเอกซ์กระเจิง กับปริมาณยูเรเนียมในสารตัวอย่างที่มีส่วนประกอบอื่นเหมือนกัน

ตารางที่ 5.5 แสดงความเข้มของพีค $UL_{\beta 1}$ ความเข้มของพีครังสีเอกซ์กระเจิง และอัตราส่วนของพีคทั้งสองของสารมาตรฐาน NBL

NBL (%U)	$UL_{\beta 1}$ (Counts/800 sec.)	Coherent Scatter peak (Counts/800 sec.)	Coherent $UL_{\beta 1}$ / Scatter peak
0.01	4134	888044	0.00465
0.05	23759	916259	0.0261
0.11	78688	1075231	0.07263
0.313	141799	816896	0.17358
0.375	161686	794069	0.20288
0.50	219833	764518	0.311078



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟีด UL_{β1} กับปริมาณยูเรเนียม จากตารางที่ 5.5



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของฟีด กับปริมาณยูเรเนียม จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อองค์ประกอบอื่นๆ เหมือนกัน ความเข้มของพีค UL_{β_1} และอัตราส่วนของพีค ($UL_{\beta_1}/\text{Scatter peak}$) จะแปรผันกับ ปริมาณยูเรเนียมในลักษณะเดียวกันในกรณีเช่นนี้อาจใช้ค่าความเข้มของพีค UL_{β_1} หรืออัตราส่วนของพีควิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในสารตัวอย่างที่มีองค์ประกอบอื่น เหมือนกับสารตัวอย่างใด

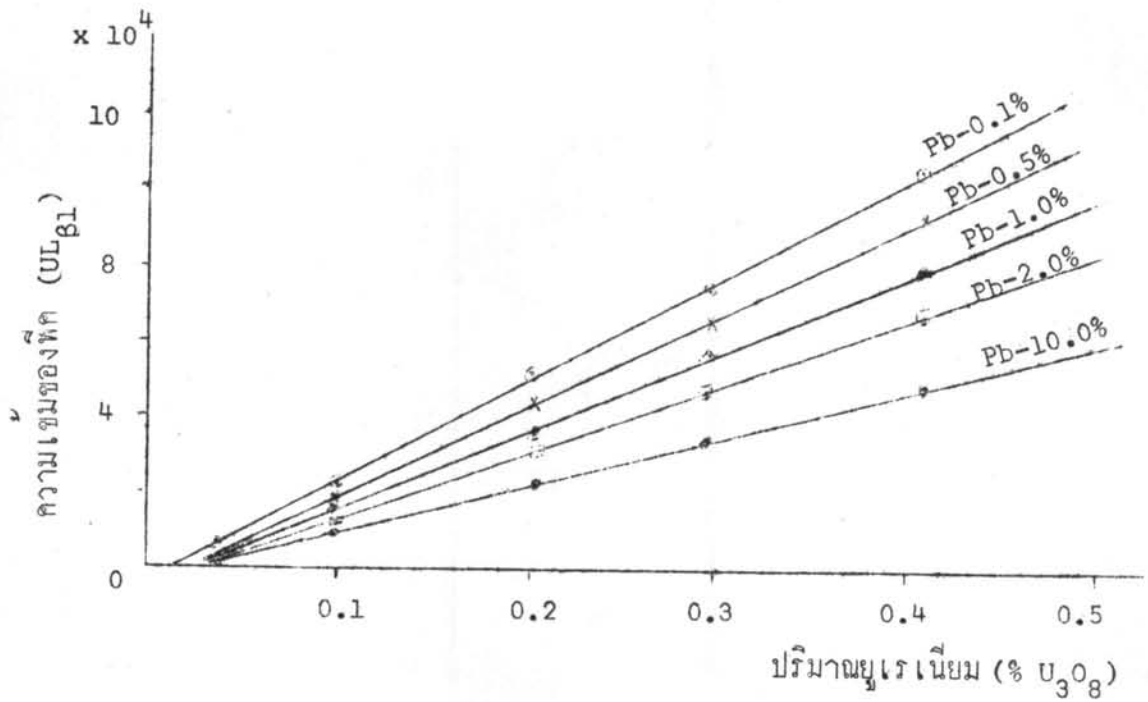
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของพีค UL_{β_1} และอัตราส่วนของพีคต่อปริมาณ ยูเรเนียมในสารตัวอย่างที่มีปริมาณขององค์ประกอบอื่นต่างกัน

ตารางที่ 5.6 แสดงความเข้มของพีค UL_{β_1} พีครังสีเอกซ์ที่ละเอียด และ อัตราส่วนของพีคในสารตัวอย่างที่มีปริมาณยูเรเนียมและ ตะกั่วต่างกัน

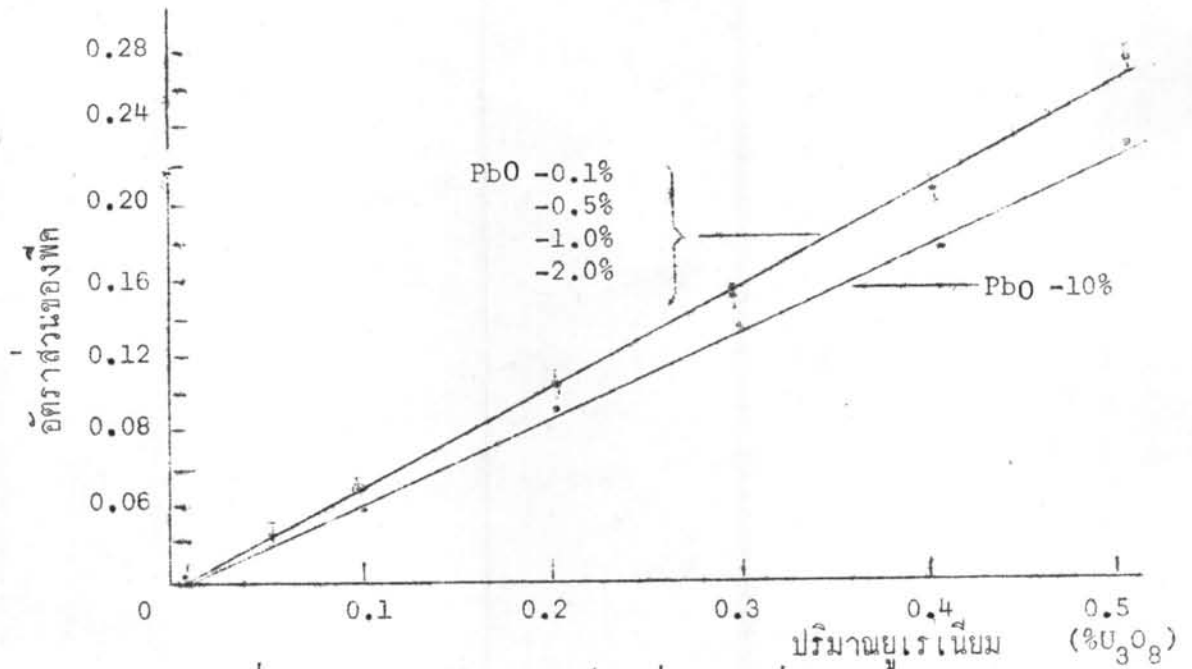
	$\begin{matrix} \%PbO \\ \%U_3O_8 \end{matrix}$	0.1	0.5	1.0	2.0	Average Peak Ratio
UL_{β_1} Scatter Ratio	0.011	2866 520273 0.0055	1003 474169 0.002	603 464187 0.0016	- - -	0.00305 ± 0.00047
UL_{β_1} Scatter Ratio	0.051	11100 518243 0.0214	4323 473313 0.0197	7720 423773 0.0182	5425 349719 0.0155	0.0182 ± 0.0087
UL_{β_1} Scatter Ratio	0.10	23888 514488 0.0463	21687 462024 0.0469	19671 423539 0.0441	14432 346500 0.4165	0.0447 ± 0.0024
UL_{β_1} Scatter Ratio	0.206	53438 502325 0.1064	47270 462109 0.1023	41088 413989 0.0993	30814 342629 0.0912	0.0995 ± 0.007

ตารางที่ 5.6 แสดงความเข้มของพีค $UL\beta_1$ พีครังสีเอกซ์สะท้อนกลับและอัตราส่วนของพีคในสารตัวอย่างที่ปริมาณยูเรเนียมและตะกั่วต่างกัน (ต่อ)

	$\%PbO$ $\%U_3O_8$	0.1'	0.5'	1.0'	2.0	Average Peak Ratio
$UL\beta_1$ Scatter Ratio	0.206	53438 502325 0.1064	47270 462109 0.1023	41088 413989 0.0993	30814 342629 0.0912	0.0995 ± 0.007
$UL\beta_1$ Scatter Ratio	0.298	76239 496337 0.1540	62446 436948 0.1431	60359 413008 0.1462	47756 341056 0.1401	0.1456 ± 0.0058
$UL\beta_1$ Scatter Ratio	0.398	102380 489516 0.2091	90665 446703 0.2030	78238 405907 0.1931	66371 335670 0.1982	0.200 ± 0.0069
$UL\beta_1$ Scatter Ratio	0.50	123858 479688 0.2582	126677 429337 0.2951	99607 403583 0.2470	89768 322008 0.2793	0.2698 ± 0.021



รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของฟลัก UL_{B1} กับ ปริมาณยูเรเนียมในสารตัวอย่างที่มีปริมาณตะกั่วต่างกัน จากตารางที่ 5.6



รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของฟอสกับปริมาณยูเรเนียม
ในสารตัวอย่างที่มีตะกั่วต่างกันจากตารางที่ 5.6

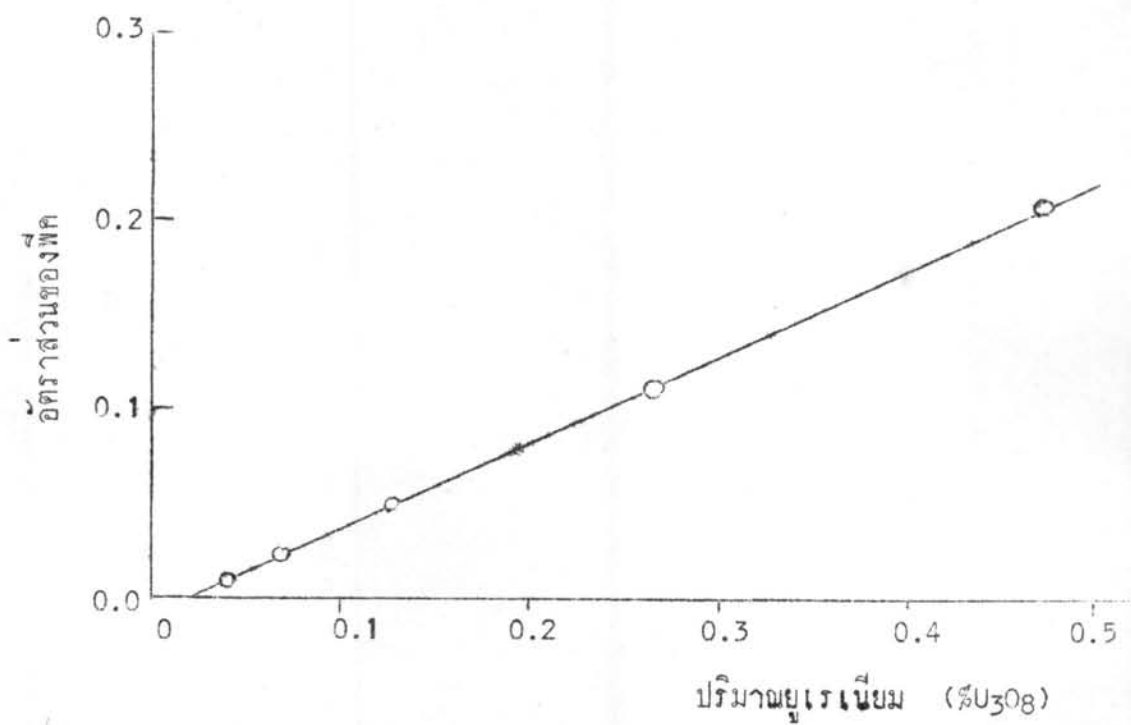
รูปที่ 5.8 พบว่าความเข้มของพีค $UL_{\beta 1}$ ลดลงเมื่อปริมาณตะกั่วเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกับผลการทดลองในข้อ 5.4 รูปที่ 5.9 แสดงว่าอัตราส่วนของพีคจะคงที่ แม้ว่าปริมาณตะกั่วในสารตัวอย่างจะแปรผันระหว่าง 0.1-2.0% ทั้งนี้เนื่องจาก ตะกั่วถูกคลื่นรังสีเอกซ์เรืองและรังสีเอกซ์กระเจิง เป็นเหตุให้อัตราส่วนของพีค ทั้งสองไม่เปลี่ยนแปลงใดทำการทดลองแบบเดียวกันโดยเปลี่ยนจากตะกั่วมาเป็นทองแดง ผลที่ได้เหมือนกัน

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าในการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมหากปริมาณ ขององค์ประกอบอื่นไม่ต่างจากกันมากนักอาจใช้วิธีการคำนวณจากอัตราส่วนของพีค โดยที่สารตัวอย่างไม่จำเป็นต้องมีส่วนประกอบเหมือนกับสารมาตรฐานทุกประการได้

5.7 กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์แบบคำนวณจากอัตราส่วนของพีค

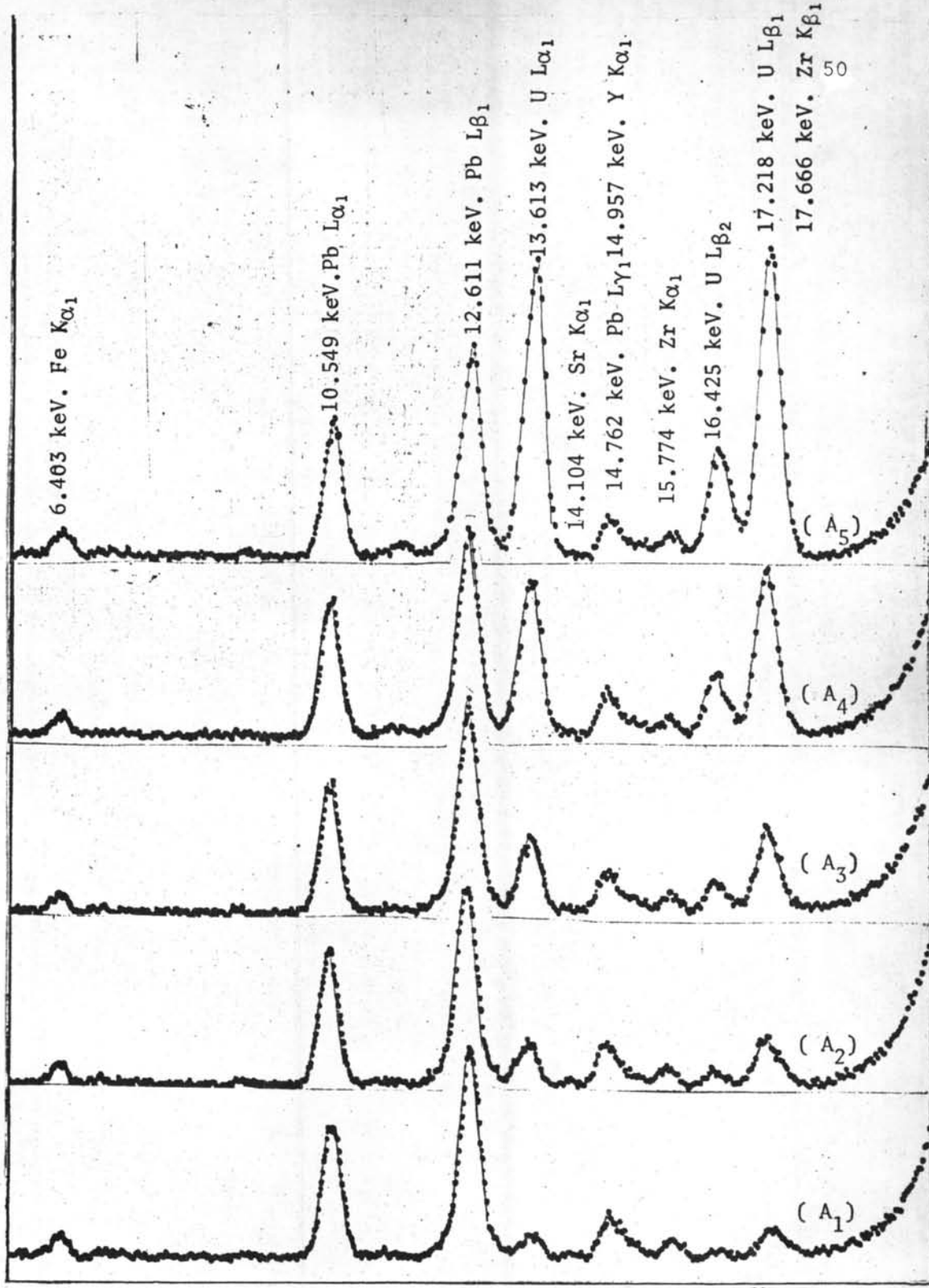
ตารางที่ 5.7 แสดงความเข้มของพีค $UL_{\beta 1}$ พีครังสีเอกซ์กระเจิง อัตราส่วนของพีคของสารมาตรฐานชุด A

Standard	U_{308}	UL_1 Counts (800 sec.)	Coherent Scatter peak (Counts/800 sec.)	Coherent $UL_{\beta 1}$ / Scatter peak
A ₁	0.038	3861	452191	0.0067
A ₂	0.067	10977	495443	0.0221
A ₃	0.125	22384	457691	0.0489
A ₄	0.264	50137	448730	0.1117
A ₅	0.472	92168	435910	0.2114



รูปที่ 5.10 แสดงลักษณะของกราฟมาตรฐานชุด A

ความเข้ม



พลังงาน (keV,)

รูปที่ 5.11 แสดงสเปกตรัมของสารมาตรฐาน ชุด A

5.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมของแร่มาตรฐาน NBL จากอัตราส่วนของพีค
เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานชุด A

ตารางที่ 5.8 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมของแร่มาตรฐาน NBL
จากอัตราส่วนของพีค

NBL (%U ₃ O ₈)	UL _{β1} Counts (200 sec.)	Coherent Scatter peak (Counts/200 sec.)	Coherent UL _{β1} /Scatter peak	%U ₃ O ₈
0.01	1597	386826	0.004	0.01
0.058	8775	381520	0.023	0.056
0.11	17453	379428	0.046	0.109
0.315	58631	375842	0.150	0.357

ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5.8 แมว้าแรมมาตรฐาน NBL กับสารตัวอย่าง ชุด A มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันอย่างมากร่วมตามผลจากการวิเคราะห์หิมค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมโดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนของพีคสามารถทำได้ถูกต้องแมว้าสารตัวอย่างแตกต่างกับสารมาตรฐาน

5.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในแร่หินทรายโดยการคำนวณและเปรียบเทียบ จากอัตราส่วนของพีค

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในสารตัวอย่าง แร่หินทรายโดยการคำนวณเปรียบเทียบอัตราส่วนของพีค สำหรับสารตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ($\%U_3O_8$)

สารตัวอย่าง หมายเลข	Incoherent $UL_{\beta 1}$ / Scattering	Coherent $UL_{\beta 1}$ / Scattering	Coherent & Incoherent Scattering $UL_{\beta 1}$ / Scattering
2 - 5	0.02946 ± 0.0032	0.02825 ± 0.0028	0.02954 ± 0.0031
2 - 6	-	-	-
3 - 7	0.17028 ± 0.0093	0.15421 ± 0.0087	0.16833 ± 0.0145
3 - 8	0.02931 ± 0.0033	0.03025 ± 0.0035	0.03423 ± 0.0041
3 - 9	0.01478 ± 0.0052	0.01823 ± 0.0047	0.01722 ± 0.0048
4 - 7	0.01365 ± 0.0021	0.01273 ± 0.0023	0.01294 ± 0.0031
4 - 8	0.31527 ± 0.0193	0.32431 ± 0.0214	0.32347 ± 0.0182
4 - 9	0.03014 ± 0.0021	0.03147 ± 0.0017	0.03082 ± 0.0023
4 - 10	0.05132 ± 0.0045	0.04820 ± 0.0043	0.04921 ± 0.0047
6 - 5	-	-	-
6 - 6	0.01043 ± 0.0048	0.00872 ± 0.0035	0.00945 ± 0.0042
6 - 7	-	-	-

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในสารตัวอย่าง
แร่หินทรายที่อัดเม็ดโดยการคำนวณจากอัตราส่วน
ของพีคคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (% U_3O_8)

สารตัวอย่าง หมายเลข	Incoherent $UL_{\beta 1} /$ Scatter	Coherent $UL_{\beta 1} /$ Scatter	Inco Coherent $UL_{\beta 1} /$ Scatter
2 - 5	0.03633 ± 0.00277	0.03067 ± 0.00209	0.03433 ± 0.0028
2 - 6	-	-	-
3 - 7	0.17667 ± 0.00763	0.16500 ± 0.00866	0.16833 ± 0.1227
3 - 8	0.03715 ± 0.00328	0.03300 ± 0.00346	0.03623 ± 0.0020
3 - 9	0.01642 ± 0.00424	0.01575 ± 0.00315	0.01691 ± 0.0044
4 - 7	0.01050 ± 0.00134	0.00912 ± 0.00124	0.01072 ± 0.0017
4 - 8	0.28502 ± 0.01504	0.28714 ± 0.01583	0.28831 ± 0.0162
4 - 9	0.03450 ± 0.00147	0.03267 ± 0.00138	0.03316 ± 0.0017
4 -10	0.04901 ± 0.00358	0.04352 ± 0.00359	0.04997 ± 0.0046
6 - 5	-	-	-
6 - 6	0.00555 ± 0.00163	0.00567 ± 0.00145	0.00642 ± 0.00175

หมายเหตุ สารตัวอย่างหมายเลข 2-6, 6-5 มีปริมาณยูเรเนียมน้อยเกินขีดความสามารถ
ในการวิเคราะห์โดยวิธีนี้

ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5.9-5.10 พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียม โดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนของพีคทั้ง 3 อย่างคือ อัตราส่วนของ UL_{β_1} ของรังสีเอกซ์- กระจิงแบบ โคฮีเรนท์ อัตราส่วนระหว่าง UL_{β_1} ของรังสีเอกซ์ กระจิง อินโคฮีเรนท์ และอัตราส่วนระหว่าง UL_{β_1} ของผลรวมของรังสีเอกซ์ กระจิงทั้ง 2 แบบให้ผลออกมาใกล้เคียงกัน สำหรับตัวอย่างหมายเลข 2-6, 6-5 และ 6-7 ไม่สามารถวิเคราะห์ออกมาได้เนื่องจากปริมาณน้อยเกินขีดจำกัดในการวิเคราะห์โดยวิธีนี้