

## บทที่ 4

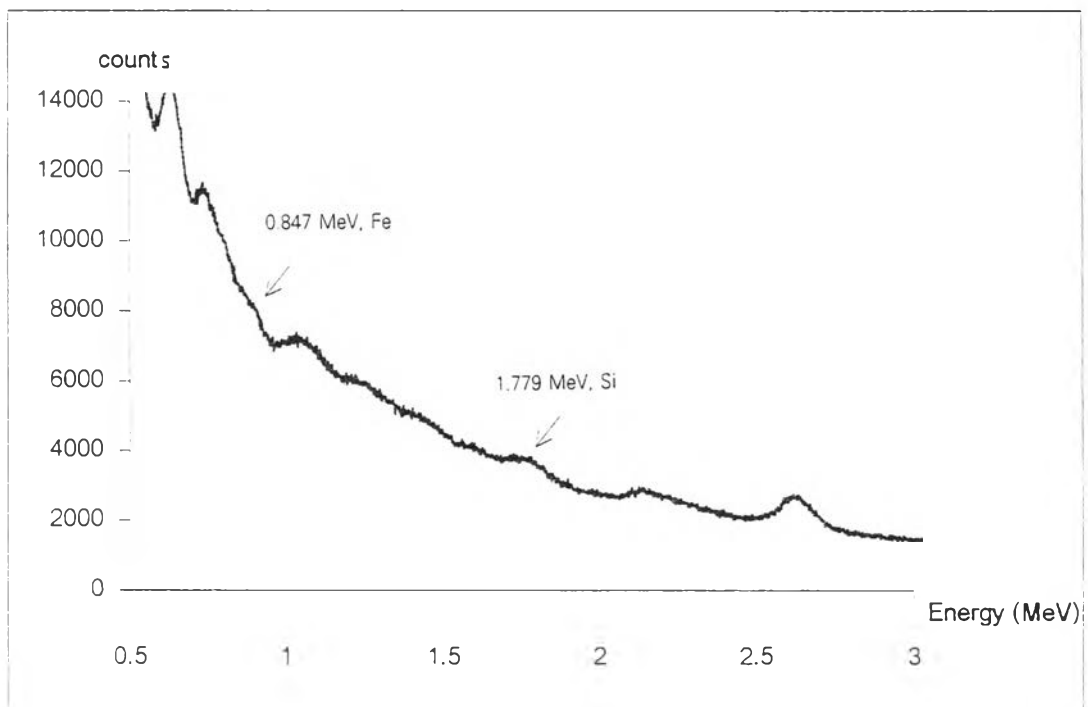
### ผลการวิจัย

#### ก. ผลการศึกษาการวิเคราะห์ธาตุ โดยเทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยา การชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน

1. การตรวจสอบวัดรังสีพรอมต์แกมมา จากระบบวิเคราะห์ที่เลือกและตัวอย่างปูนซีเมนต์ B ได้จำนวนนับรังสีสุทธิของธาตุเหล็ก และซิลิกอน ที่พลังงาน 0.847 MeV และ 1.779 MeV ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดรังสีพรอมต์แกมมา ของเหล็กและซิลิกอน  
จากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน

ธาตุ	ปริมาณธาตุ ใน ตัวอย่าง(% wt)	integral background	integral peak	Net counts	$\pm\sigma$
เหล็ก	2.34	619648	637998	18350	1121
ซิลิกอน	15.68	512674	523388	10714	1018



D = double escaped peak, S = single escaped peak

รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของตัวอย่างปูนซีเมนต์ B จากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน และระบบวิเคราะห์ที่เลือก

2. ผลการทดลองวัดรังสีรังสีฟอสฟอรัสจากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน ที่ระดับพลังงาน 0.847 MeV และ 1.779 MeV เพื่อหาปริมาณของเหล็กและซิลิกอน (%wt) ในสารตัวอย่าง ตามลำดับ

• สำหรับธาตุเหล็ก ใช้ตัวอย่าง raw meal 10, ปูน B, หินปูน 4 และดินส. ผู้พัฒนาในการสร้างกราฟเปรียบเทียบ และตัวอย่างทดสอบหาปริมาณสาร ได้แก่ ปูน A, C และ D ได้ผลการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก

ตัวอย่าง	Fe (% wt) *	Net counts, Fe (2,000 s.)	$\pm\sigma$	% Fe ที่คำนวณ ได้
<u>ตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบ</u>				
raw meal 10	1.45	11852	1119	ใช้เปรียบเทียบ
ปูนซีเมนต์ B	2.34	18489	1122	ใช้เปรียบเทียบ
หินปูน 4	5.16	38229	1130	ใช้เปรียบเทียบ
ดินส. ผู้พัฒนา	29.82	71419	1145	ใช้เปรียบเทียบ
<u>ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ</u>				
ปูน A	2.74	17647	1121	2.248 $\pm$ 0.158
ปูน C	0.5 - 6.0	6273	1116	0.642 $\pm$ 0.157
ปูน D	0.5 - 6.0	8869	1117	1.01 $\pm$ 0.158
calibration equation : $y = 7083.2x + 1725.2$ , $R^2 = 0.9998$				

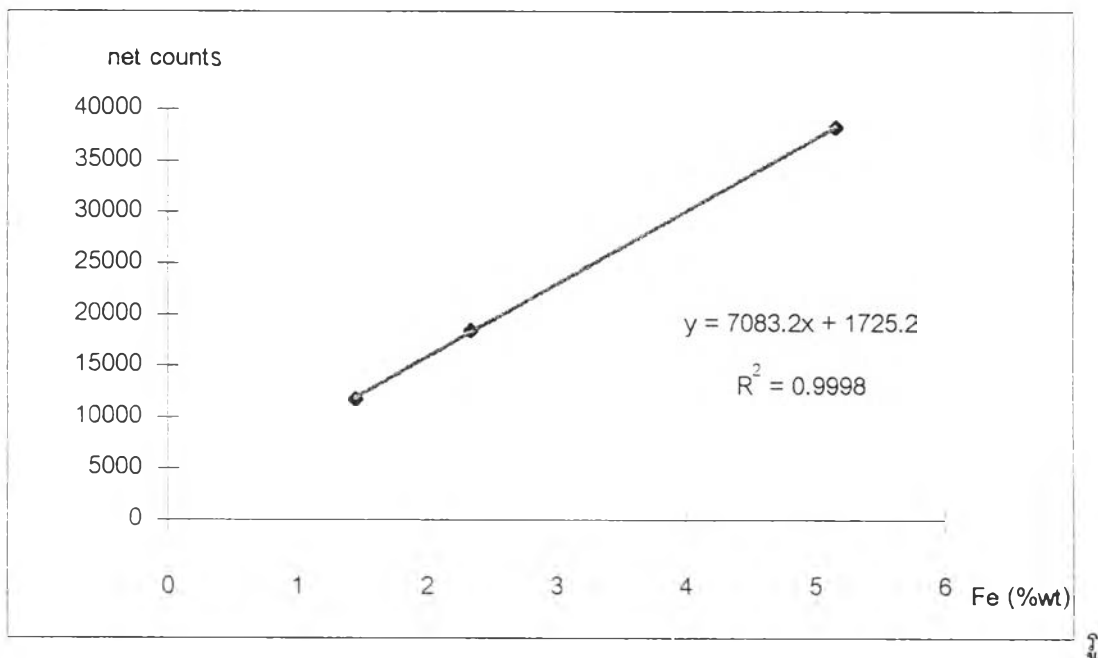
\* ผลวิเคราะห์โดยเทคนิคเครื่องรังสีเอกซ์ จากโรงงานปูนซีเมนต์

เมื่อนำจำนวนนับรังสีสุทธิของแกมมาจากตัวอย่างที่ใช้เปรียบเทียบ มาสร้างกราฟเปรียบเทียบ ได้ดังรูปที่ 4.2 ค่า least squares สำหรับสมการเส้นตรงนี้ คือ 0.9998 สมการของกราฟเปรียบเทียบนี้และคือ

$$y = 7083.2x + 1725.2 \quad (4.1)$$

โดยที่ y : จำนวนนับรังสีสุทธิของแกมมา

x : ปริมาณธาตุเหล็ก (% wt)



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก

• สำหรับธาตุซิลิกอน ใช้ตัวอย่าง raw meal 10, ปูน B, หินปูน 6 และดินส. ผู้พัฒนาในการสร้างกราฟเปรียบเทียบ และตัวอย่างทดสอบหาปริมาณสาร ได้แก่ ปูน A, C และ D ได้ผลการวิเคราะห์ธาตุซิลิกอน ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ธาตุซิลิกอน

ตัวอย่าง	Si (% wt)*	Net counts, Si (2,000 s.)	$\pm\sigma$	% Si ที่คำนวณ ได้
<u>ตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบ</u>				
raw meal 10	11.66	3379	1014	ใช้เปรียบเทียบ
ปูนซีเมนต์ B	15.68	10714	1018	ใช้เปรียบเทียบ
หินปูน 6	18.3	11085	1018	ใช้เปรียบเทียบ
ดินส. ผู้พัฒนา	33.68	40882	1033	ใช้เปรียบเทียบ
<u>ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ</u>				
ปูน A	22.69	11371	1018	16.832 $\pm$ 0.593
ปูน C	15 - 25	9013	1017	15.457 $\pm$ 0.593
ปูน D	15 - 25	4314	1015	12.718 $\pm$ 0.592
calibration equation : $y = 1715.7x - 17507$ , $R^2 = 0.987$				

\* ผลวิเคราะห์โดยเทคนิคเรืองรังสีเอกซ์ จากโรงงานปูนซีเมนต์

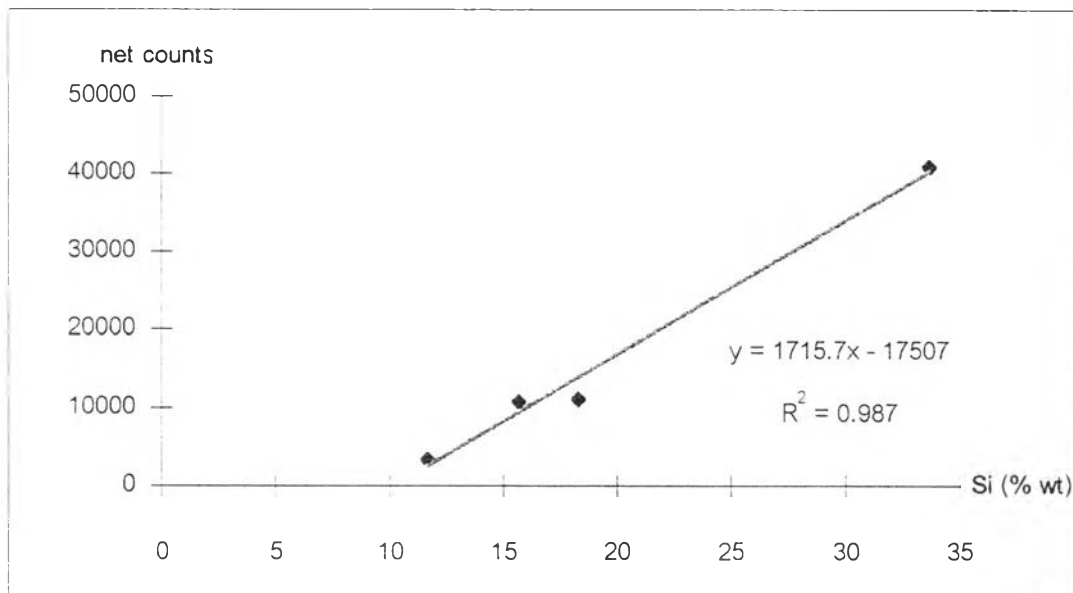
เมื่อนำจำนวนนับรังสีสุทธิของแกมมาจากตัวอย่างที่ใช้เปรียบเทียบ มาสร้างกราฟเปรียบเทียบ ได้ดังรูปที่ 4.3 สมการของกราฟเปรียบเทียบนี้คือ

$$y = 1715.7x - 17507 \quad (4.2)$$

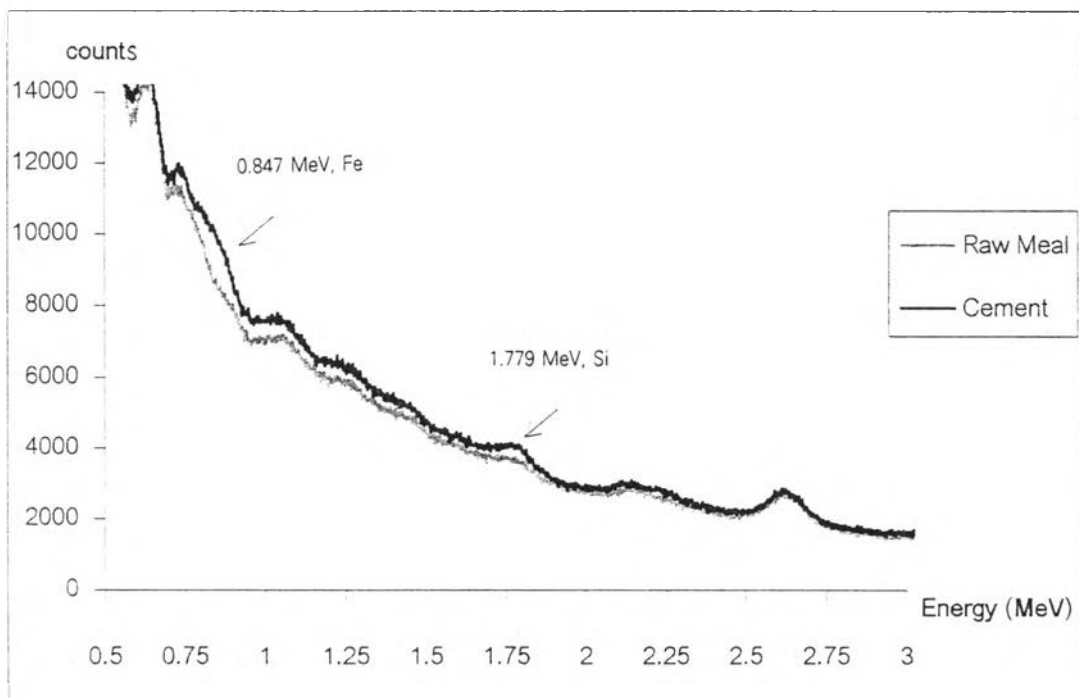
โดยที่  $y$  : จำนวนนับรังสีสุทธิของแกมมา

$x$  : ปริมาณธาตุซิลิกอน (% wt)

และค่า least squares สำหรับสมการเส้นตรงนี้ คือ 0.987



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ซิลิกอน



D = double escaped peak, S = single escaped peak

รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของตัวอย่าง จากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน

ข. ผลการศึกษาการวิเคราะห์ธาตุ โดยเทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยา  
การจับนิวตรอน

1. ผลการทดสอบผลของตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน กับหัววัดรังสีแกมมา ที่มีผลต่อ  
แบบกราฟด์ ที่ตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนดังต่อไปนี้

- ตำแหน่งไกลจากหัววัดรังสีแกมมา (O)
- ตำแหน่งตรงกลางใต้ท่อคอลลิเมเตอร์ (M)
- ตำแหน่งใกล้กับหัววัดรังสีแกมมา (I)

พบว่า อัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมา ที่พลังงาน 6.420 MeV ต่อ  
แบบกราฟด์ มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนตำแหน่ง ของต้นกำเนิดนิวตรอน โดยที่เมื่อต้นกำเนิด  
นิวตรอนอยู่ที่ตำแหน่ง M จะได้อัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมาต่อแบบกราฟด์  
ที่มีค่ามากที่สุด (ในทุกตำแหน่งของหัววัดแกมมา) แต่จากการคำนวณนับรังสีสุทธิของแคลเซียม  
พบว่าเมื่อต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ที่ตำแหน่ง O ได้จำนวนวัดรังสีสุทธิของแคลเซียมมากที่สุด

และที่ตำแหน่งของหัววัดรังสีแกมมา 3 ตำแหน่ง คือ

- ที่ตำแหน่งลึกเข้าไปจากปากช่องกำบังรังสี 5 เซนติเมตร
- ที่ตำแหน่งลึกเข้าไปจากปากช่องกำบังรังสี 10 เซนติเมตร
- ที่ตำแหน่งลึกเข้าไปจากปากช่องกำบังรังสี 15 เซนติเมตร

พบว่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมา ต่อแบบกราฟด์ ที่พลังงาน  
6.420 MeV มีค่าสูงสุดเมื่อหัววัดรังสีแกมมาอยู่ที่ตำแหน่ง C รองลงมาได้แก่ ที่ตำแหน่ง B และ  
A ตามลำดับ และค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม ได้ผลสูงสุดเมื่อหัววัดรังสีแกมมาอยู่ที่  
ตำแหน่ง B รองลงมาได้แก่ ที่ตำแหน่ง A และ C ตามลำดับ

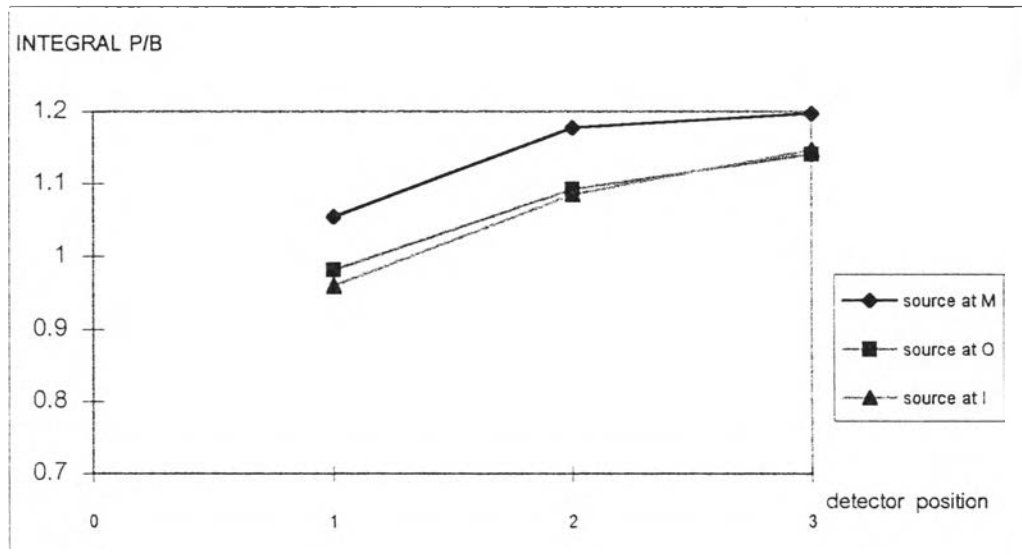
ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาผลของตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน กับหัววัดรังสีแกมมา  
ที่มีผลต่อแบบกราฟด์

ตำแหน่งต้นกำเนิดนิวตรอน	ตำแหน่งหัววัดรังสีแกมมา (ลึกเข้าไปใน shield , cm.)	integral P / B	Net counts, Ca (2,000 s.)	$\pm\sigma$
1. ที่ M , source อยู่กลาง ใต้ท่อคอลลิเมเตอร์	ที่ A , 5 cm.	1.053962	2148	452
	ที่ B , 10 cm.	1.17789	2975	386
	ที่ C , 15 cm.	1.197388	960	341
2. ที่ O , source อยู่ไกลจาก หัววัดรังสีแกมมา	ที่ A , 5 cm.	0.981135	6976	701
	ที่ B , 10 cm.	1.091527	7492	586
	ที่ C , 15 cm.	1.140091	4198	506
3. ที่ I , source อยู่ ใกล้ หัววัดรังสีแกมมา	ที่ A , 5 cm.	0.959204	6651	634
	ที่ B , 10 cm.	1.084343	5934	535
	ที่ C , 15 cm.	1.146856	2956	459

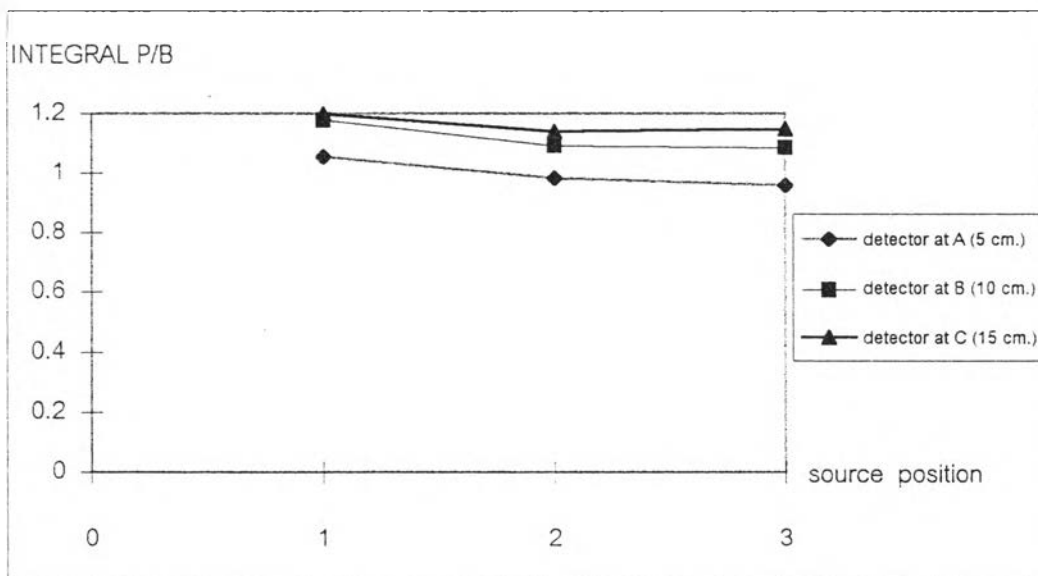
สาเหตุที่อัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมา ต่อแบบกราฟด์ที่พลังงาน 6.420 MeV ที่มีค่าสูงสุดเมื่อต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ที่ตำแหน่ง M รองลงมา ได้แก่ ตำแหน่ง O และ I ตามลำดับ (ดังรูปที่ 3.9) เพราะที่ตำแหน่ง M ต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ลึกจากผิวหน้ามากที่สุด สำหรับค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม คำนวณโดยหักลบค่ารบกวนจาก รังสีพรอมต์แกมมาของตะกั่ว ได้ผลว่าเมื่อต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ที่ตำแหน่ง O จำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียมมีค่าสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ตำแหน่ง I และ M แสดงว่ามีค่ารบกวนจากรังสีพรอมต์แกมมาของตะกั่วที่น้อยที่สุดที่ตำแหน่ง O



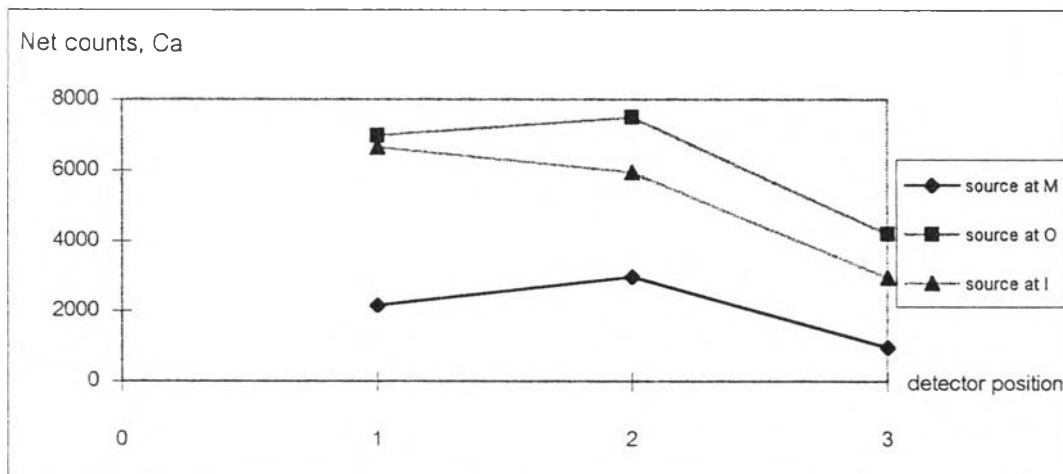
ต้นฉบับ หน้าขาดหาย



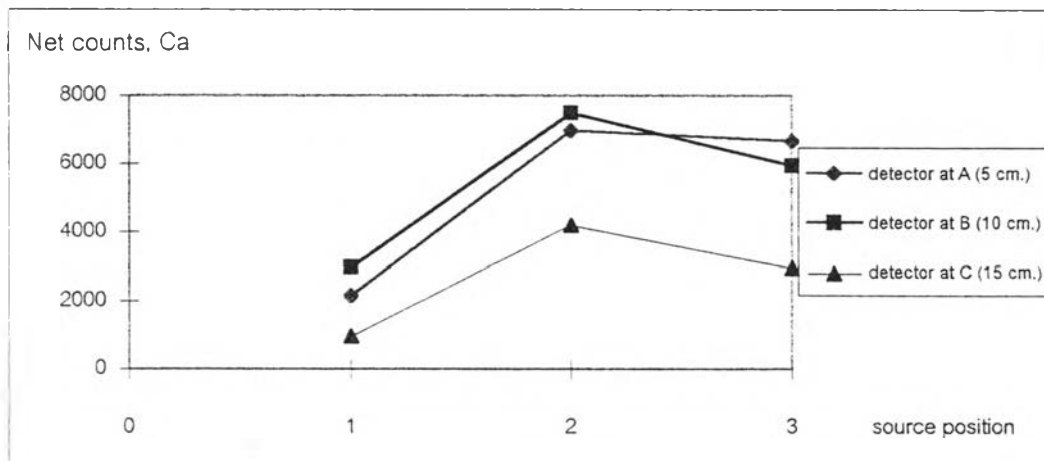
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน กับอัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีฟรอมต์แกมมา ต่อแบคกราวด์



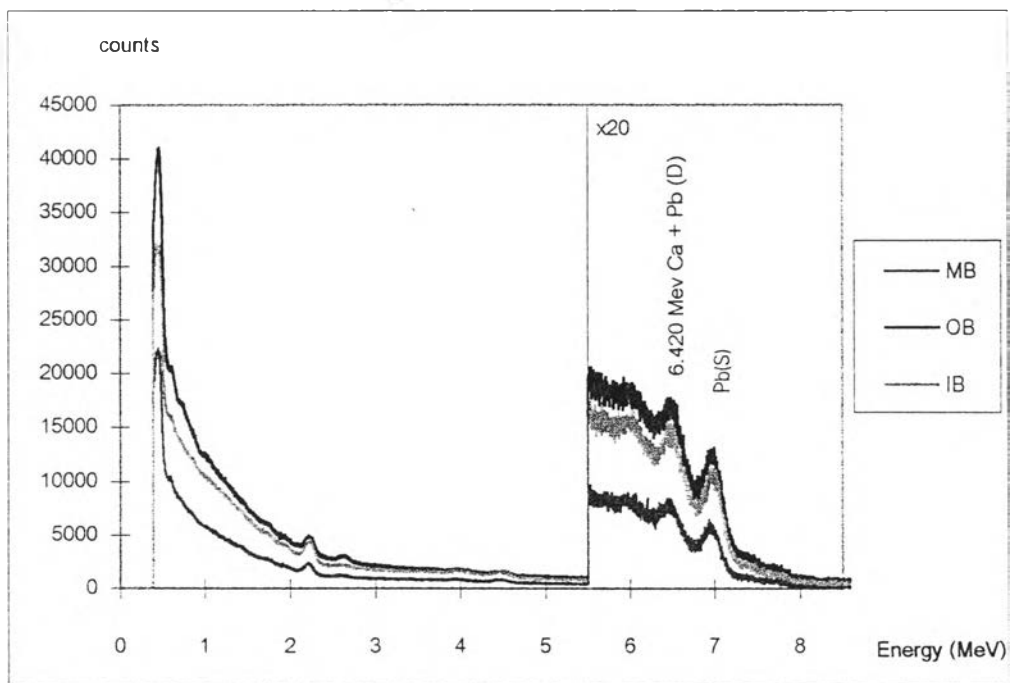
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างตำแหน่งหัววัดรังสีแกมมา และอัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีฟรอมต์แกมมา ต่อแบคกราวด์



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกำเนิดรังสีนิวตรอน  
กับค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม

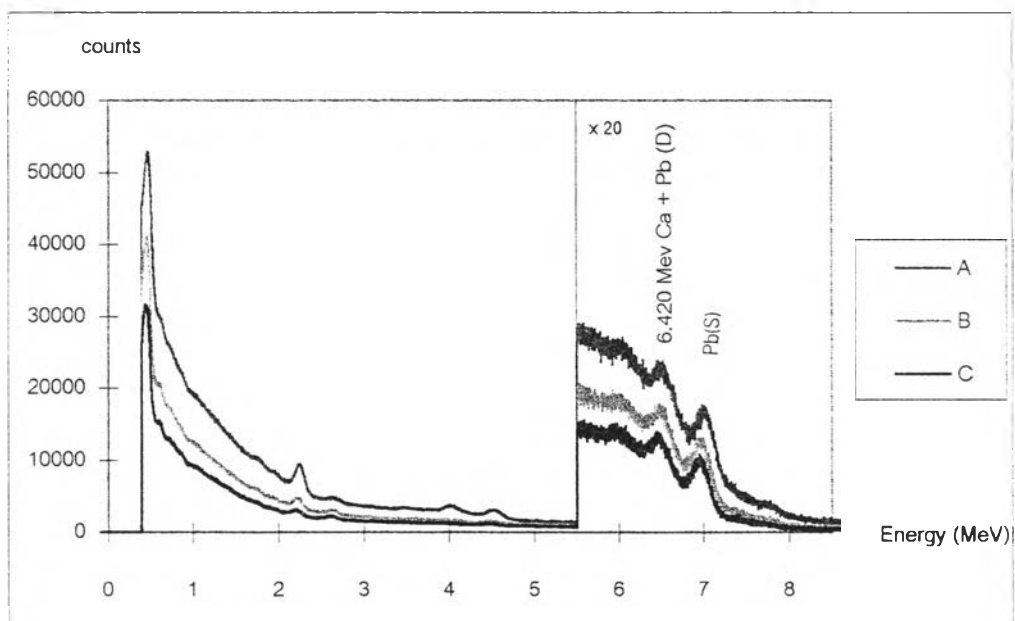


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งหัววัดรังสีแกมมา  
และจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม



D = double escaped peak, S = single escaped peak

รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของรังสีฟอสมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอนของแคลเซียม  
เมื่อต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนอยู่ที่ตำแหน่ง M, O และ I



D = double escaped peak, S = single escaped peak

รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของรังสีฟอสมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอนของแคลเซียม  
จากหัววัดรังสีแกมมาที่ตำแหน่ง A, B และ C

2. ผลการทดสอบผลของระยะห่างของต้นกำเนิดนิวตรอน กับปลายท่อคอลลิเมเตอร์ ที่มีผลต่อเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ โดยให้มีระยะห่างดังต่อไปนี้

- ความกว้างของน้ำ (ที่หนองนิวตรอน) 0 เซนติเมตร
- ความกว้างของน้ำ (ที่หนองนิวตรอน) 2 เซนติเมตร
- ความกว้างของน้ำ (ที่หนองนิวตรอน) 4 เซนติเมตร

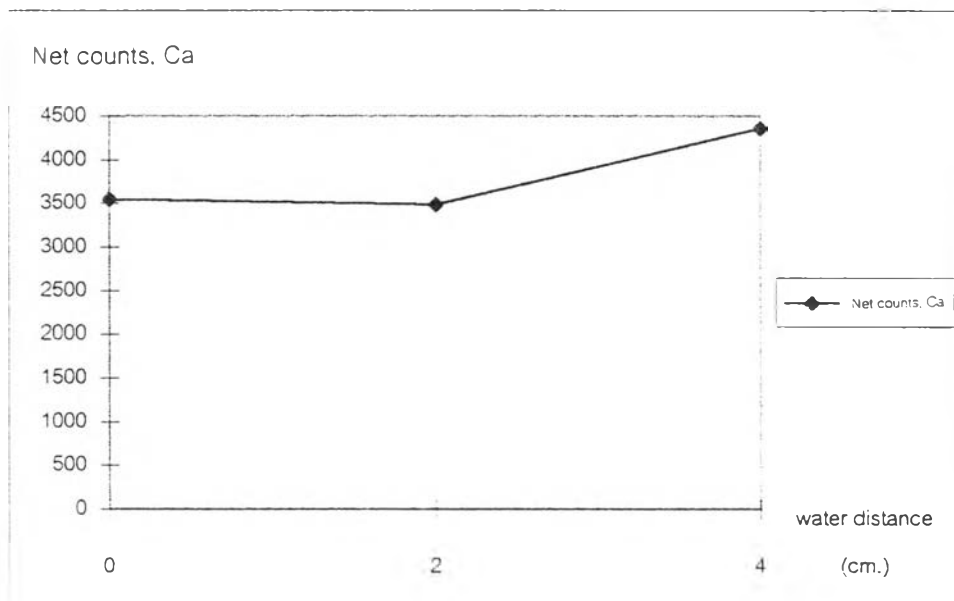
พบว่าค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียมมีค่าสูงสุด เมื่อจัดให้มีความกว้างของน้ำ หรือระยะห่างระหว่างปลายท่อคอลลิเมเตอร์และต้นกำเนิดนิวตรอน 4 เซนติเมตร เนื่องจากนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดนิวตรอนถูกหน่วงพลังงานด้วยน้ำระยะทาง 4 เซนติเมตร เป็นเทอร์มัลนิวตรอน

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาผลของระยะห่างของต้นกำเนิดนิวตรอน กับปลายท่อคอลลิเมเตอร์

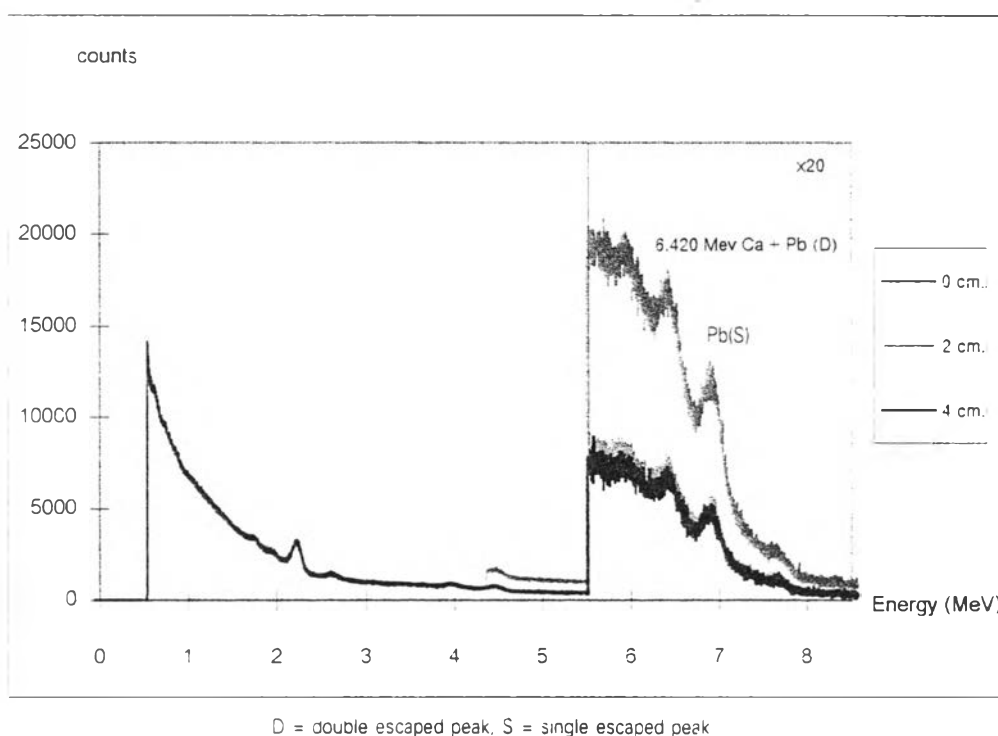
ระยะห่างระหว่างปลายท่อคอลลิเมเตอร์และต้นกำเนิดนิวตรอน (cm)	Net counts, Ca (1,000 s.)	$\pm\sigma$
0	3549	361
2	3487	313
4	4354	330
6	ไม่ได้ทำการทดลอง*	-

(\* สาเหตุที่ไม่ได้ทำการทดลองที่ตำแหน่ง 6 เซนติเมตร เพราะอยู่ใกล้กับริมถังน้ำมาก อาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้)

ดังนั้นในการจัดระบบออบรังสีเทอร์มัลนิวตรอน จึงเลือกวัดต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนไว้ที่ตำแหน่งด้านไกลจากหัววัดรังสีแกมมา และมีระยะห่างจากปลายท่อคอลลิเมเตอร์ 4 เซนติเมตร



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายท่อคอลลิเมเตอร์ และต้นกำเนิดนิวตรอน กับจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของรังสีฟรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอนของแคลเซียม เมื่อระยะระหว่างปลายท่อคอลลิเมเตอร์และต้นกำเนิดนิวตรอนเท่ากับ 0, 2 และ 4 เซนติเมตร

### 3. ผลการศึกษาผลของความสูงของตัวอย่าง

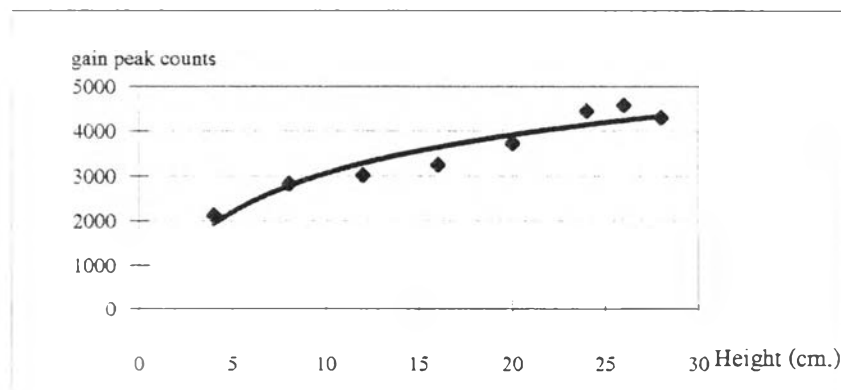
ผลการทดสอบผลของระดับความสูงของตัวอย่างที่มีแคลเซียม ปริมาณมากและปริมาณน้อย ได้ทำการทดสอบหาความสูงอิมิตัว

3.1 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอย่าง กับค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม โดยใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมสูง คือ ตัวอย่างปูน B มีปริมาณแคลเซียม 41.44% โดยน้ำหนัก

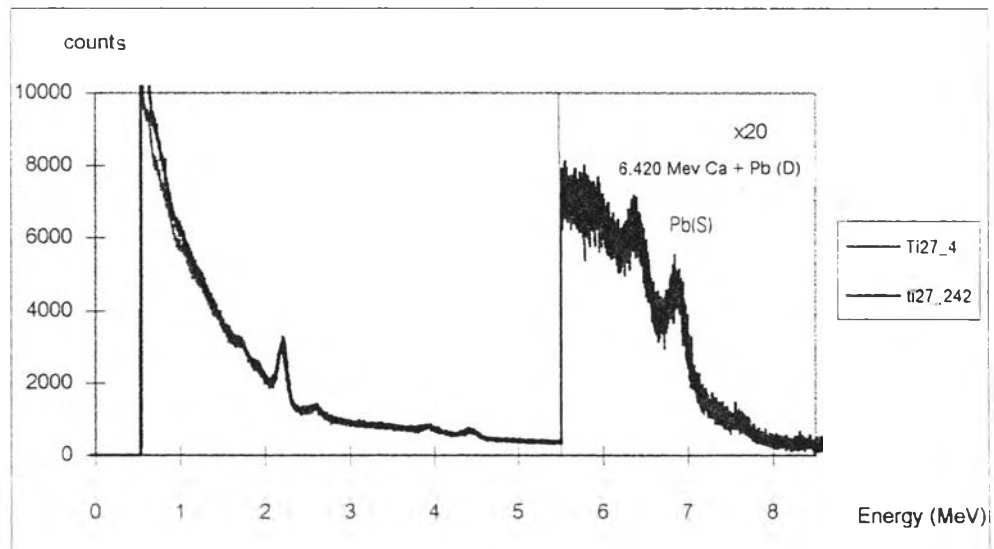
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอย่าง กับค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม โดยใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมสูง

ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	Net counts, Ca(1,000 s.)	$\pm\sigma$
4	2.5	2127	356
8	5.25	2824	345
12	8.9	3006	344
16	11.7	3244	346
20	14.65	3730	352
24	18.1	4447	355
26	20	4577	357
28	22.25	4298	358

Pb yield of background = 1,540882



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมสูง และจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม



D = double escaped peak, S = single escaped peak

รูปที่ 4.14 สเปกตรัมของของรังสีฟรอมด์แกมมา จากการทดสอบความสูงของตัวอย่าง ปริมาณแคลเซียมสูง

3.2 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอย่าง กับค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม โดยใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำ

3.2.1 ผลการทดสอบหาตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำสุดที่สามารถวัดได้ โดยเลือกจากตัวอย่าง ได้แก่ ดินดาน ตัวอย่างที่ 5 (shale 5) ,ดินดาน ตัวอย่างที่ 7 (shale 7) และหินปูนตัวอย่างที่ 3 (limestone 3) มีปริมาณแคลเซียม 3.66%, 13.69% 21.54% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าสามารถนับจำนวนรังสีสุทธิของแคลเซียม ได้จากตัวอย่างหินปูน 3 แต่ไม่สามารถนับจำนวนรังสีสุทธิของแคลเซียมได้จากตัวอย่างดินดาน 7 และ ดินดาน 5 ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบหาตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำสุดที่สามารถวัดได้

ตัวอย่าง	ปริมาณแคลเซียม (% wt)*	Net counts, Ca (1000 s.)
ดินดาน 5	3.66	วัดไม่ขึ้น (-596)
ดินดาน 7	13.69	วัดไม่ขึ้น (-381)
หินปูน 3	21.54	2102

\* ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเครื่องรังสีเอกซ์ จากโรงงานปูนซีเมนต์

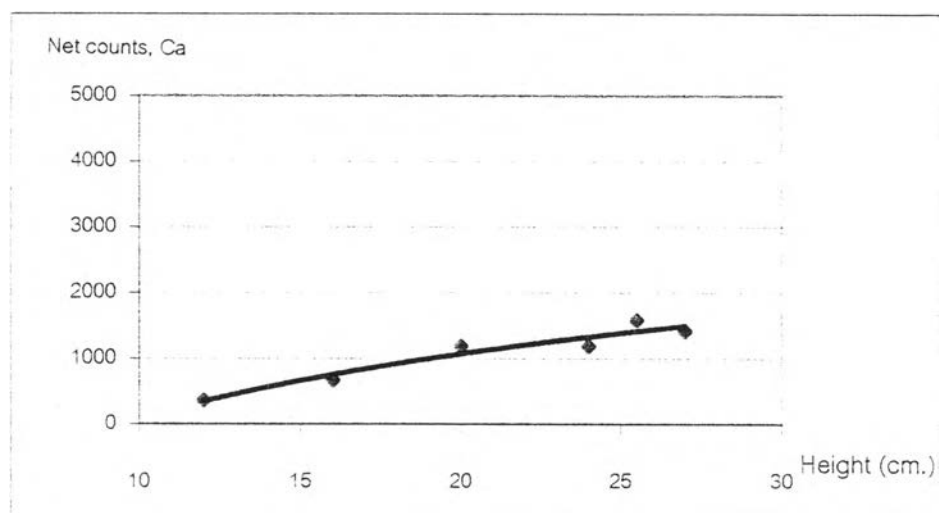


3.2.2 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอย่าง กับค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม โดยใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำที่สุดที่ทำการวัดได้

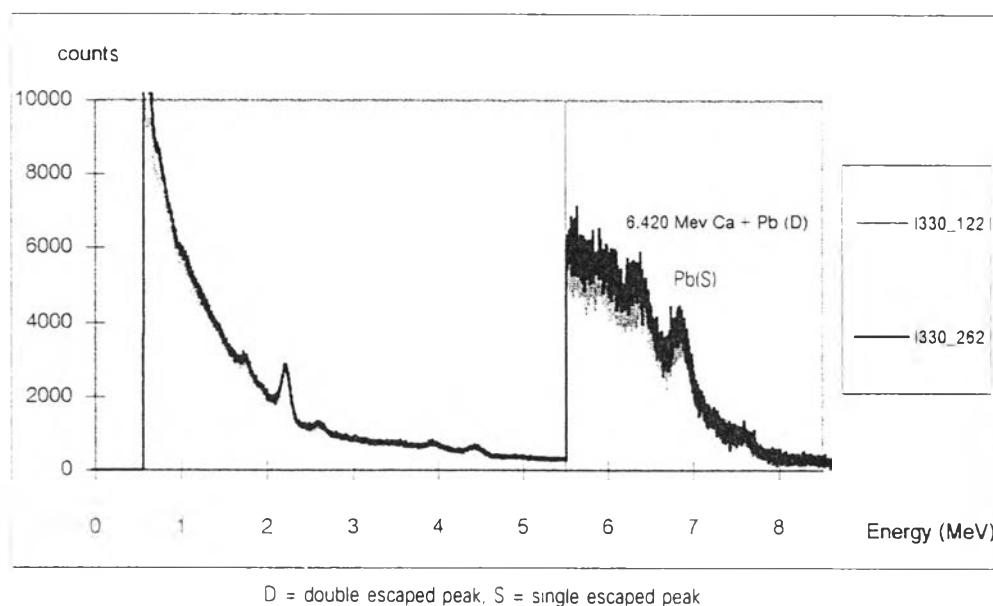
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอย่าง กับค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม โดยใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำที่สุดที่ทำการวัดได้

ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	Net counts. Ca (1,000 s.)	$\pm\sigma$
4	2.75	937	307
8	5.75	792	298
12	9.35	371	294
16	12.6	672	299
20	16.35	1189	306
24	19.55	1187	310
25.5	21.75	1580	310
27	23.25	1413	311

Pb yield of background = 1.519992



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอย่าง ที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำ และจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม



รูปที่ 4.16 สเปกตรัมของรังสีฟอตอนต์แกมมา จากการทดสอบความสูง  
ของตัวอย่างปริมาณแคลเซียมต่ำ

#### 4. ผลการทดลองวัดรังสีฟอตอนต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน แบ่งเป็น

##### 4.1 ผลการทดลองวัดรังสีฟอตอนต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน ครั้งที่ 1

ผลการทดลองวัดรังสีฟอตอนต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน ที่ระดับพลังงาน 6.420 MeV เพื่อสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์แคลเซียม กับจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม จากหินปูนตัวอย่างที่ 1 , หินปูนตัวอย่างที่ 2 , หินปูนตัวอย่างที่ 6 , หินปูนตัวอย่างที่ 3 , ตัวอย่างปูนซีเมนต์ B และ A โดยใช้ตัวอย่างหินปูนตัวอย่างที่ 2 , หินปูนตัวอย่างที่ 6 , หินปูนตัวอย่างที่ 3 และตัวอย่างปูนซีเมนต์ B ในการเปรียบเทียบ และคำนวณหาปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างปูนซีเมนต์ A และหินปูนตัวอย่างที่ 1

จากการทดลอง ได้ค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียมของแต่ละตัวอย่างต่างกันไป โดยตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมมาก จะได้จำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียมมาก และจะลดลงตามปริมาณแคลเซียมที่ลดลง ดังตารางที่ 4.9

สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม และปริมาณแคลเซียมในตัวอย่าง ได้คือ

$$y = 311.51x - 1647.1 \quad (4.3)$$

โดยที่  $y$  : จำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม

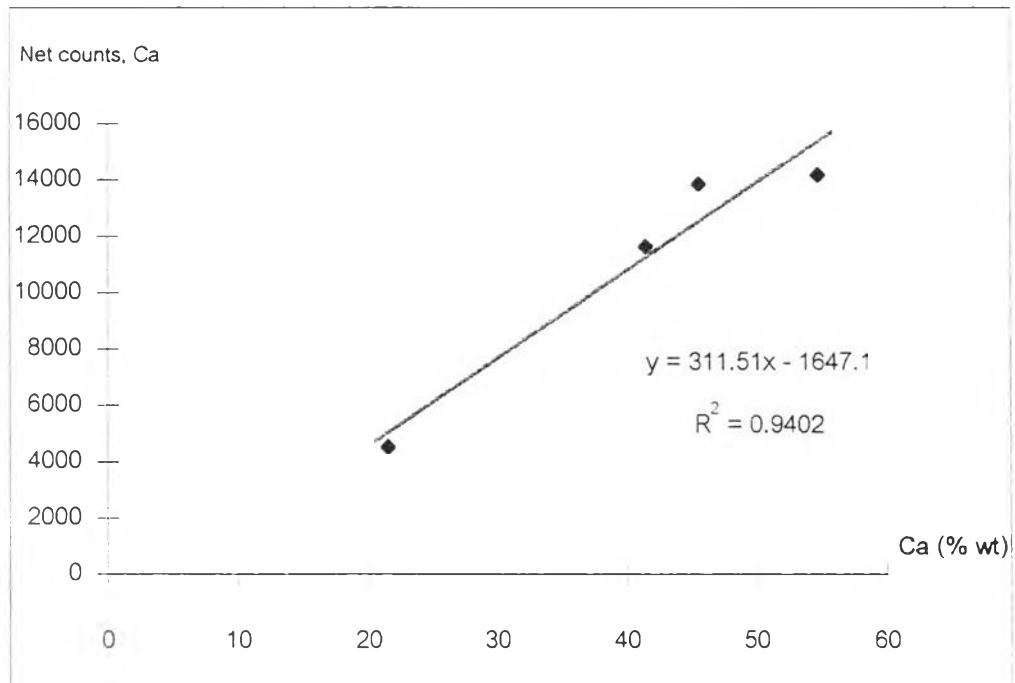
$x$  : ปริมาณแคลเซียมในตัวอย่าง (wt % )

และค่า least squares สำหรับสมการเส้นตรงนี้ คือ 0.9402

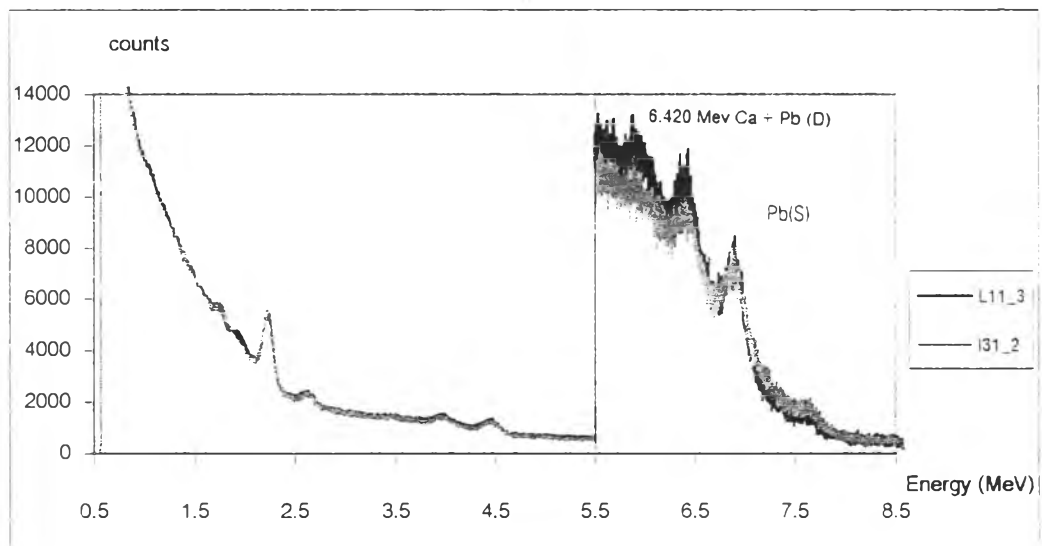
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองวัดรังสีพร้อมดักแกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน

ตัวอย่าง	ปริมาณแคลเซียม (% wt)*	Net counts, Ca (2,000 s.)	$\pm\sigma$	ปริมาณแคลเซียม ที่ ได้จากการคำนวณ (% wt)
<u>ตัวอย่างที่ใช้ในการปรับเทียบ</u>				
หินปูน 2	54.72	14202	511	ใช้ปรับเทียบ
หินปูน 6	45.55	13873	508	ใช้ปรับเทียบ
ปูน B	41.44	11652	499	ใช้ปรับเทียบ
หินปูน 3	21.54	4539	505	ใช้ปรับเทียบ
<u>ตัวอย่างที่ทดสอบ</u>				
หินปูน 1	55.4	14674	510	$52.393 \pm 1.637$
ปูน A1	36.028	11266	517	$41.453 \pm 1.670$
Pb yield of background = 1.659466				
calibration equation : $y = 311.51x - 1671.1$ , $R^2 = 0.9402$				

\* ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเรืองรังสีเอกซ์ จากโรงงานปูนซีเมนต์



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมในตัวอย่าง และจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม



D = double escaped peak, S = single escaped peak

รูปที่ 4.18 สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมา จากตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมต่างกัน (จากการทดลองที่ 4.1)

#### 4.2 ผลการทดลองวัดรังสีรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน ครั้งที่ 2

ผลการทดลองวัดรังสีรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน ที่ระดับพลังงาน 6.420 MeV เพื่อหาปริมาณของแคลเซียมในสารตัวอย่าง โดยเพิ่มตัวอย่างชนิดอื่นนอกเหนือจากตัวอย่างในการทดลองที่ 4.1 ได้แก่ ตัวอย่างปุนตราA ตัวอย่างที่ 2 (A2) ปุนตราC (C) ปุนตราD (D) และตัวอย่างจากการทดลองที่ 4 ได้แก่ หินปูน ตัวอย่างที่ 2 (L2) ตัวอย่างปุนB และหินปูนตัวอย่างที่ 3 (L3)

ตารางที่ 4.10 ผลการนับจำนวนรังสีสุทธิของแคลเซียม ที่ได้จากการทดลองที่ 4.2

ตัวอย่าง	ปริมาณแคลเซียม (% wt)*	Net counts, Ca (2,000 s.)	$\pm\sigma$	ปริมาณแคลเซียม ที่ ได้จากการคำนวณ (% wt)
<u>ตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบ</u>				
หินปูน 2	54.72	13219	452	ใช้เปรียบเทียบ
ปุน B	41.44	11273	486	ใช้เปรียบเทียบ
หินปูน 3	21.54	6042	470	ใช้เปรียบเทียบ
<u>ตัวอย่างที่ทดสอบ</u>				
ปุน D	35-67	15446	491	$63.182 \pm 2.232$
ปุน C	35-67	14488	460	$58.827 \pm 2.091$
ปุน A2	35-67	14348	494	$58.191 \pm 2.246$
Pb yield of background = 1.659466				
calibration equation : $y = 219.97x + 1547.8$ , $R^2 = 0.9795$				

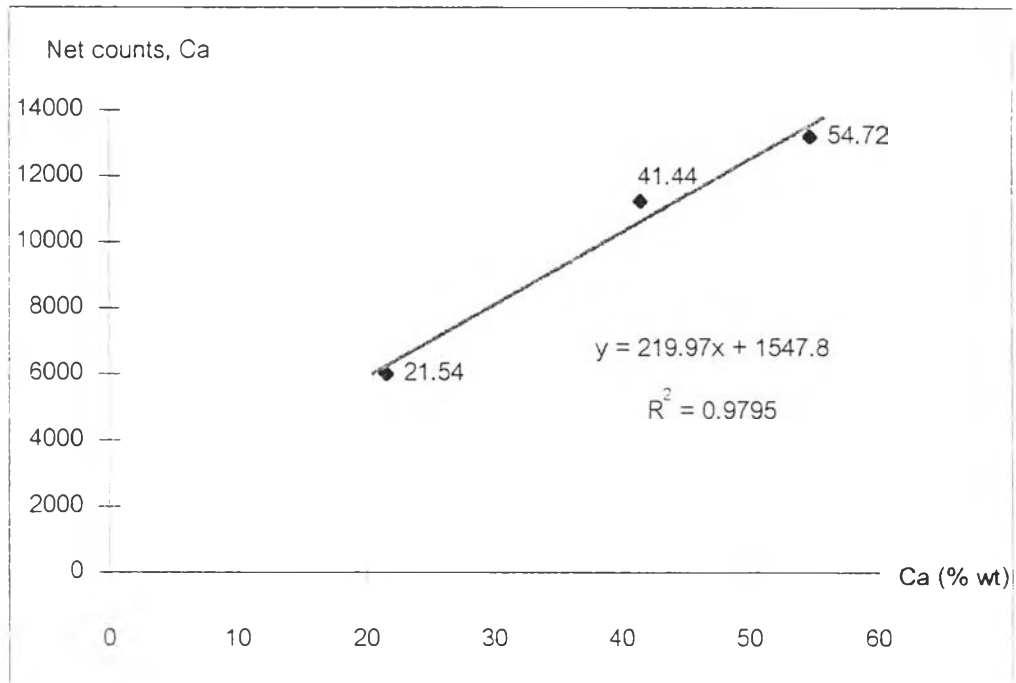
\* ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเรอรังสีเอกซ์ จากโรงงานปูนซีเมนต์

เมื่อนำจำนวนนับรังสีสุทธิของแกมมาจากตัวอย่างในข้อ 4.1 (L2 ,L3 และปุนB) มาสร้างกราฟเปรียบเทียบ ได้ดังรูปที่ 4.19 สมการของกราฟเปรียบเทียบนี้คือ

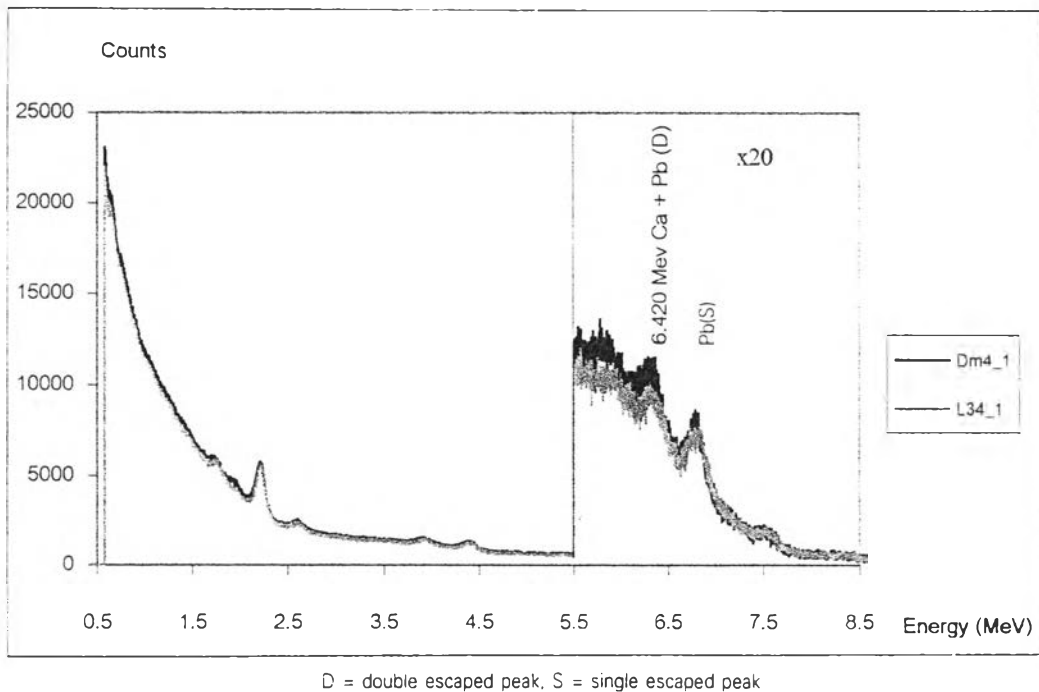
$$y = 219.97x + 1547.8 \quad (4.4)$$

โดยที่ตัวแปรมีความหมายเช่นเดียวกับสมการที่ (4.2)

และค่า least squares สำหรับสมการเส้นตรงนี้ คือ 0.9795



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียม และจำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียมที่ใช้ในการเปรียบเทียบ



รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของรังสีฟอตอนด์แกมมา จากปฏิกิริยาจับนิวตรอน (จากการทดลอง 4.2)

5. ผลการทดลองวัดรังสีรังสีฟอสมต์เกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอนของเหล็ก เพื่อสร้างกราฟเปรียบเทียบ และหาปริมาณของเหล็กในสารตัวอย่าง ที่ระดับพลังงาน 7.64 MeV โดยใช้ข้อมูลเดียวกับการวิเคราะห์แคลเซียม แบ่งเป็น

5.1 ผลการทดลองวัดรังสีรังสีฟอสมต์เกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอนของเหล็ก ครั้งที่ 1

ผลการทดลองวัดรังสีรังสีฟอสมต์เกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน ที่ระดับพลังงาน 7.64 MeV เพื่อทดลองสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์เหล็ก กับจำนวนนับรังสีสุทธิของเหล็ก จากหินปูนตัวอย่างที่ 1 , หินปูนตัวอย่างที่ 2 , หินปูนตัวอย่างที่ 6 , หินปูนตัวอย่างที่ 3 , ตัวอย่างปูนซีเมนต์ B และ A

จากการทดลอง ได้ค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของเหล็กของแต่ละตัวอย่างต่างกันไป โดยตัวอย่างที่มีปริมาณเหล็กมาก จะได้จำนวนนับรังสีสุทธิของเหล็กมาก และจะลดลงตามปริมาณเหล็กที่ลดลง ได้ผลการทดสอบและสร้างกราฟเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.21

สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีสุทธิของเหล็ก และปริมาณเหล็กในตัวอย่าง ได้คือ

$$y = 478.87x + 11511 \quad (4.5)$$

โดยที่  $y$  : จำนวนนับรังสีสุทธิของเหล็ก

$x$  : ปริมาณเหล็กในตัวอย่าง (wt % )

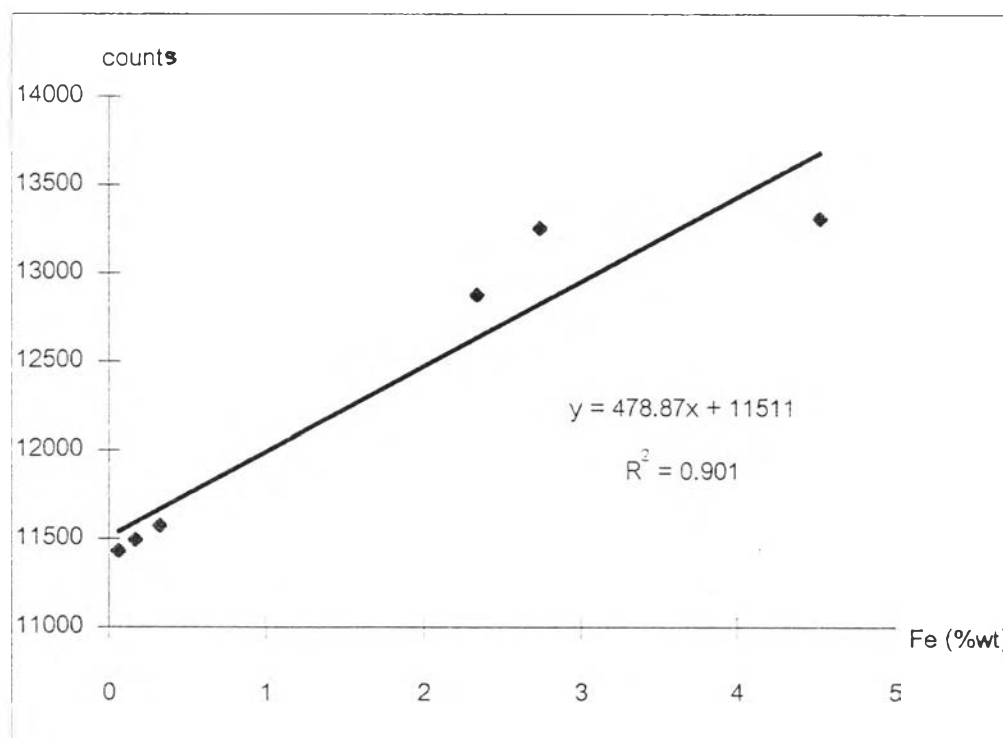
และค่า least squares สำหรับสมการเส้นตรงนี้ คือ 0.901

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอนของเหล็ก

ตัวอย่าง	ปริมาณเหล็ก (% wt)*	Net counts, Fe (2,000 s.)	$\pm\sigma$
หินปูน 3	4.53	13307	115
ปูน A	2.74	13254	115
ปูน B	2.34	12873	113
หินปูน 2	0.324	11576	108
หินปูน 6	0.17	11494	107
หินปูน 1	0.06	11430	107

calibration equation :  $y = 478.87x + 11511$  ,  $R^2 = 0.901$

\* ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเครื่องรังสีเอกซ์ จากโรงงานปูนซีเมนต์



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กในตัวอย่าง และจำนวนนับรังสีสุทธิของเหล็ก



## 5.2 ผลการทดลองวัดรังสีรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอนจากเหล็ก ครั้งที่ 2

ผลการทดลองวัดรังสีรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาจับนิวตรอน ที่ระดับพลังงาน 6.420 MeV เพื่อหาปริมาณของเหล็กในสารตัวอย่างปูนตรา A ปูนตรา C และปูนตรา D โดยใช้ตัวอย่างในการเปรียบเทียบ ได้แก่ หินปูนตัวอย่างที่ 2 (L2) ตัวอย่างปูน B และหินปูนตัวอย่างที่ 3 (L3)

ตารางที่ 4.12 ผลการนับจำนวนรังสีสุทธิของเหล็ก ที่ได้จากการทดลองที่ 5.2

ตัวอย่าง	ปริมาณเหล็ก (% wt)*	Net counts, Fe (2,000 s.)	$\pm\sigma$	ปริมาณเหล็ก ที่ได้ จากการคำนวณ (% wt)
<u>ตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบ</u>				
หินปูน 3	4.53	12471	112	ใช้เปรียบเทียบ
ปูน B	2.34	11805	109	ใช้เปรียบเทียบ
หินปูน 2	0.34	10705	103	ใช้เปรียบเทียบ
<u>ตัวอย่างที่ทดสอบ</u>				
ปูน D	2.74	11866	109	$2.893 \pm 0.260$
ปูน C	0.5-6.0	11842	109	$2.836 \pm 0.260$
ปูน A	0.5-6.0	11585	108	$2.223 \pm 0.257$
calibration equation : $y = 419.63x + 10652$ , $R^2 = 0.9723$				

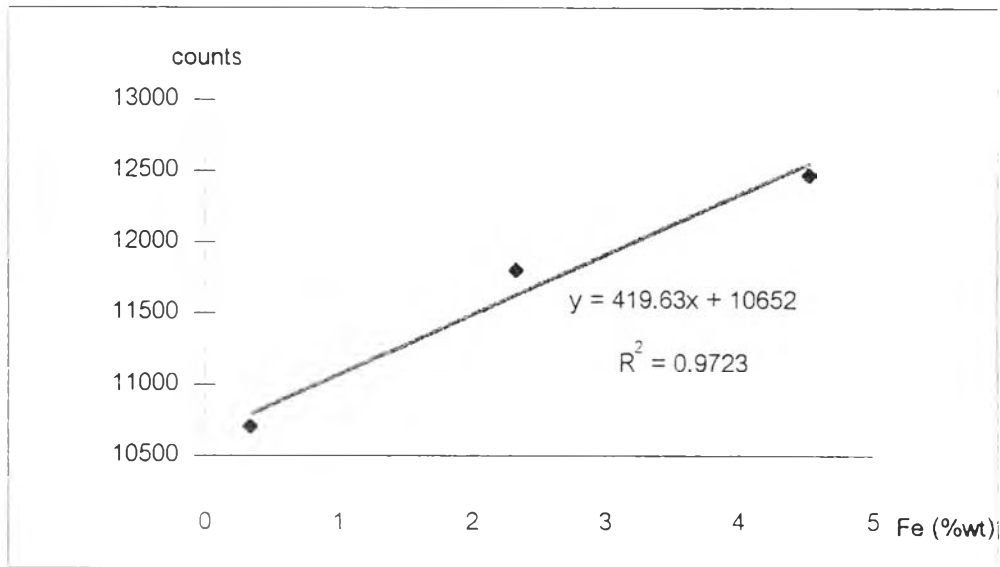
\* ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเรืองรังสีเอกซ์ จากโรงงานปูนซีเมนต์

เมื่อนำจำนวนนับรังสีสุทธิของแกมมาจากตัวอย่าง L2 ,L3 และ ปูนB มาสร้างกราฟเปรียบเทียบ ได้ดังรูปที่ 4.22 สมการของกราฟเปรียบเทียบนี้คือ

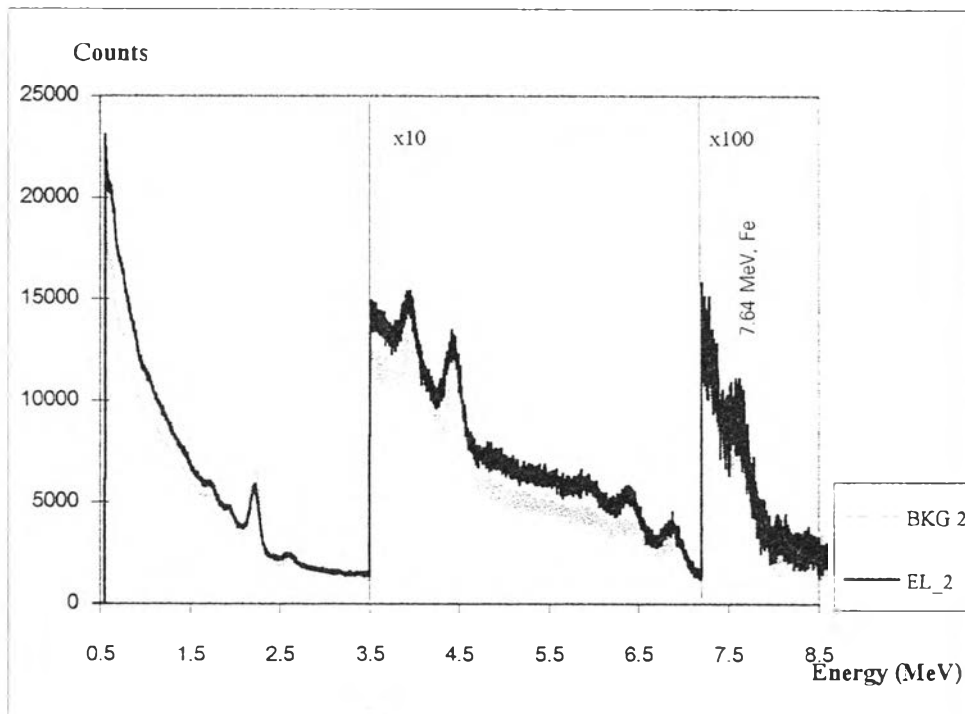
$$y = 419.63x + 10652 \quad (4.6)$$

โดยที่ตัวแปรมีความหมายเช่นเดียวกับสมการที่ (4.5)

และค่า least squares สำหรับสมการเส้นตรงนี้ คือ 0.9723



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็ก และจำนวนนับรังสีสุทธิของเหล็กที่ใช้ในการเปรียบเทียบ



รูปที่ 4.23 สเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมา จากปฏิกิริยาจับนิวตรอน (จากการทดลอง 5.2)

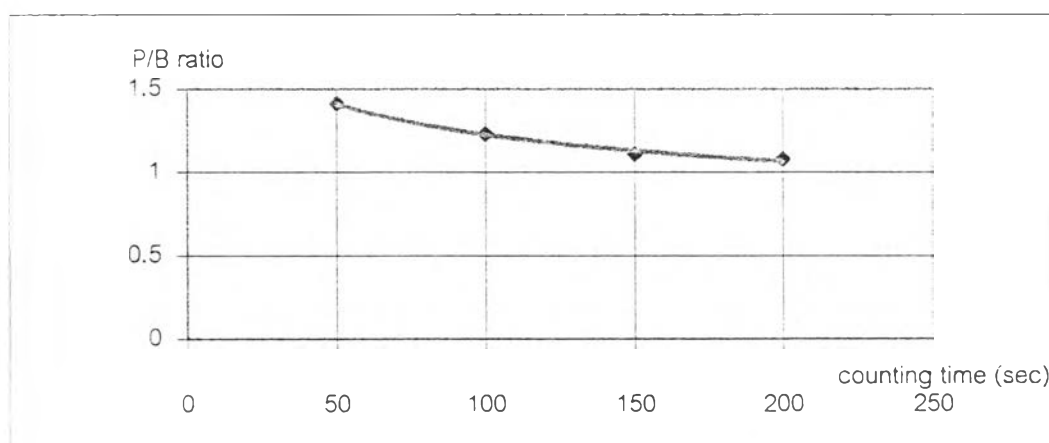
### ค. ผลการศึกษาการวิเคราะห์ธาตุ โดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน

#### 1. ผลการศึกษาการทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการวัด

ผลการทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสม สำหรับการวัดรังสีแกมมาที่เกิดขึ้นจากการอาบรังสีนิวตรอน เทียบกับค่าแบคกราวด์ พบว่าเมื่อทำการวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 50 วินาที หลังการอาบรังสีนิวตรอน จะได้ค่าอัตราส่วนของโฟโตพีคของอะลูมิเนียมต่อแบคกราวด์สูงสุด รองลงมาได้แก่ เวลา 100, 150 และ 200 วินาทีตามลำดับ ดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.24 แสดงว่าผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎี นิวตรอนแอกติเวชัน ดังนั้น จึงเลือกทำการทดลอง โดยใช้เวลาวัดรังสีแกมมาหลังการอาบรังสี 50 หรือ 100 วินาที

ตารางที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้วัด และจำนวนนับรังสีสุทธิของอะลูมิเนียม

เวลา (sec.)	background	AI	P/B ratio
50	1139	1610	1.413520
100	2107	2590	1.229236
150	2694	2984	1.107647
200	4467	4815	1.077905



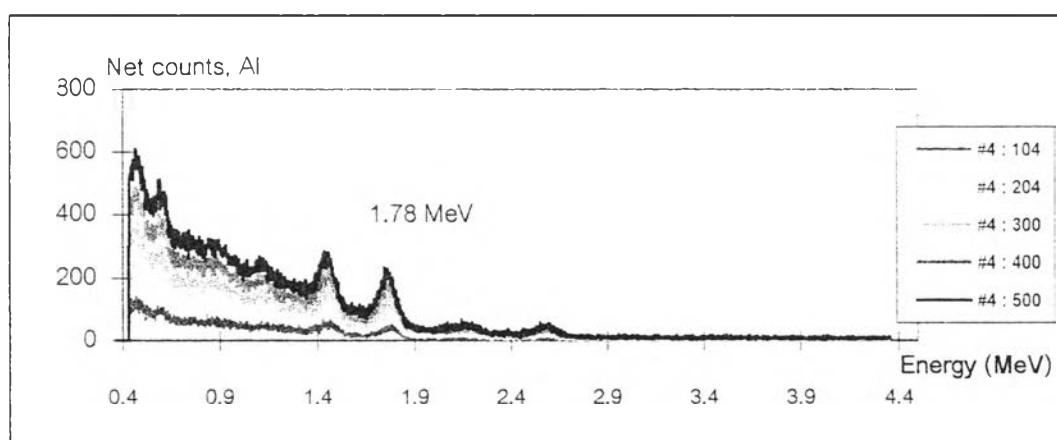
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้วัด และ P/B ratio

## 2. ผลการศึกษาการทดสอบวัดรังสีแกมมาจากกาการอบนิวตรอน แบบหมุนวน

จากการทดสอบวัดรังสีแกมมาจากกาการอบรังสีนิวตรอนแบบหมุนวน (cyclic activation) พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการอบรังสีนิวตรอนและวัดรังสีแกมมา ได้ค่าจำนวนนับรังสีสุทธิของอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบวัดรังสีแกมมาจากกาการอบรังสีนิวตรอนแบบหมุนวน

ครั้งที่	เวลารวม (sec)	INTEGRAL			
		background	Al	Net counts, Al	$\pm\sigma$
1	50	904	1102	198	45
2	100	1832	2200	368	63
3	150	2723	3257	534	77
4	200	3641	4372	731	90
5	250	4521	5469	948	100
6	300	5423	6562	1139	109
7	350	6349	7717	1368	119
8	400	7251	8896	1645	127
9	450	8120	10026	1906	135
10	500	8995	11120	2125	142



รูปที่ 4.25 สเปกตรัมของอะลูมิเนียม จากระบบวิเคราะห์ที่เลือกใช้

3. ผลการศึกษาการทดสอบวัดรังสีแกมมาจากการอาบนิวตรอน แบบหมุนวน เพื่อสร้างกราฟเปรียบเทียบ ครั้งที่ 1 กับตัวอย่างจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ปูน A, ปูน B, หินปูนตัวอย่างที่ 4 และดินดานตัวอย่างที่ 3 โดยใช้ตัวอย่างปูน B, หินปูนตัวอย่างที่ 4 และดินดานตัวอย่างที่ 3 เป็นตัวอย่างในการเปรียบเทียบ และทดสอบหาปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่างปูน A พบว่าจำนวนนับรังสีสุทธิของอะลูมิเนียมจากตัวอย่าง ดินดาน 3 มีค่ามากที่สุด รองลงมาได้แก่ หินปูนตัวอย่างที่ 4, ปูน A และปูน B ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่างนั้น ๆ

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบวัดรังสีแกมมาจากการอาบรังสีนิวตรอนแบบหมุนวน เพื่อสร้างกราฟเปรียบเทียบ

ตัวอย่าง	ปริมาณ AI (% wt)	INTEGRAL ( per 575 sec)				ปริมาณ AI ที่ได้จากการคำนวณ (% wt)
		bkg	AI	Net counts, AI	$\pm\sigma$	
<u>ตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบ</u>						
ปูน B	4.04	11080	13868	2788	158	ใช้เปรียบเทียบ
limestone 4	10.27	11130	17131	6001	168	ใช้เปรียบเทียบ
shale 3	12.03	11759	18730	6971	175	ใช้เปรียบเทียบ
<u>ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ</u>						
ปูน A	5.6	11168	14504	3336	160	5.103 $\pm$ 0.307

เมื่อนำจำนวนนับรังสีสุทธิของอะลูมิเนียมและปริมาณอะลูมิเนียม มาสร้างกราฟเปรียบเทียบ ได้กราฟเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 4.26 และสามารถหาสมการของกราฟเปรียบเทียบ ได้คือ

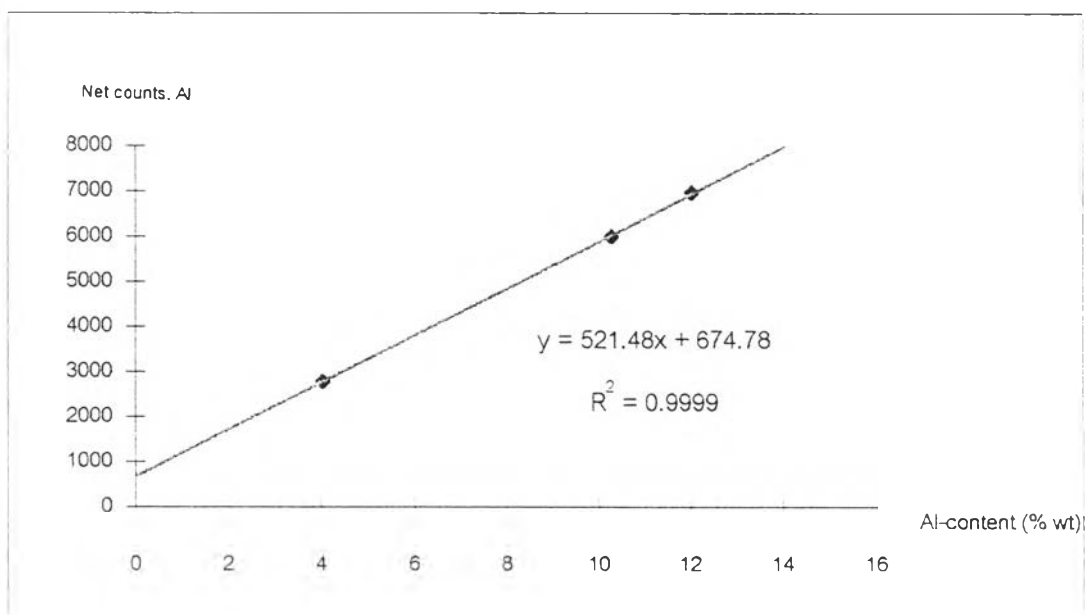
$$y = 521.48x + 674.78 \quad \dots\dots\dots(4.7)$$

โดย y : จำนวนนับรังสีสุทธิของแคลเซียม

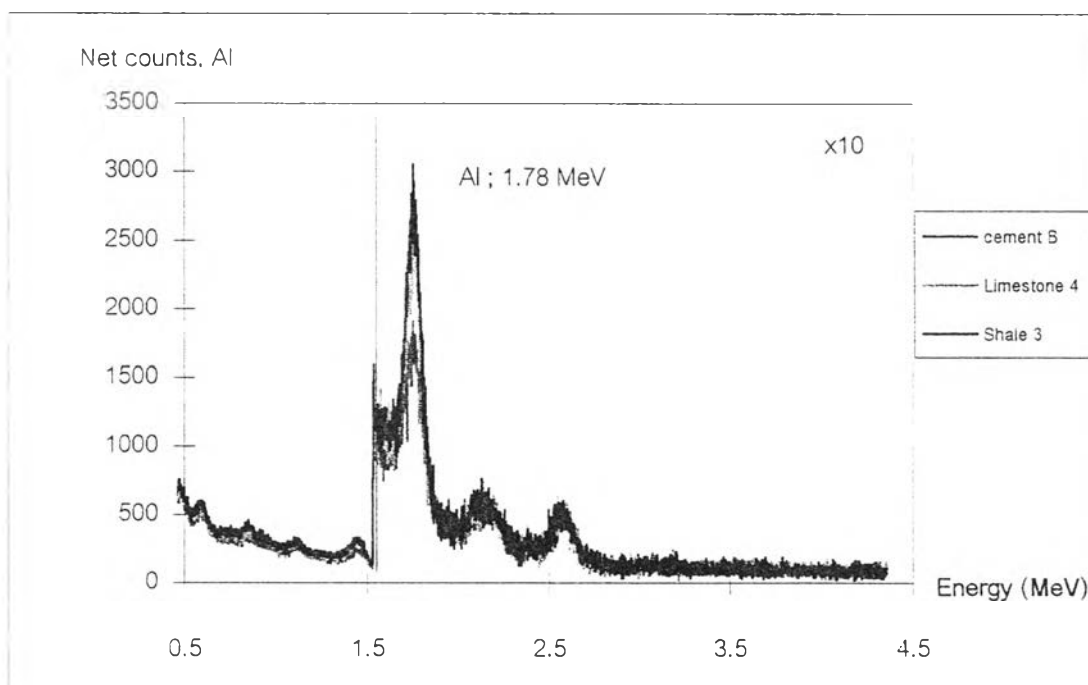
x : ปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่าง (% wt)

และสมการนี้มีค่า least squares เท่ากับ 0.9999

นำสมการของกราฟเปรียบเทียบ มาคำนวณหาปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่าง ปูน A ได้เท่ากับ 5.103 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่าง และจำนวนนับรังสีสุทธิของอะลูมิเนียม ที่ใช้ในการเปรียบเทียบในการทดสอบครั้งที่ 1



รูปที่ 4.27 สเปกตรัมของอะลูมิเนียม จากตัวอย่างที่มีปริมาณอะลูมิเนียมต่างกัน (จากการทดลองที่ 3)

#### 4. ผลการศึกษาการทดสอบวัดรังสีแกมมาจากการอบนิวตรอน

ผลการศึกษาการทดสอบวัดรังสีแกมมาจากการอบนิวตรอนแบบหมุนวน เพื่อหาปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่าง จากกราฟเปรียบเทียบครั้งที่ 2 กับตัวอย่างจำนวน 6 ชนิด โดยเพิ่มตัวอย่างนอกเหนือจากตัวอย่างในการทดลองที่ 3 ได้แก่ ตัวอย่างปูน A2, ปูน C และปูน D และตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ได้แก่ หินปูน ตัวอย่างที่ 4, ปูน B และ raw meal 10 ผลการทดลองและปริมาณอะลูมิเนียมแสดงไว้ในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การทดสอบวัดรังสีแกมมาจากการอบรังสีนิวตรอนแบบหมุนวน เพื่อหาปริมาณของอะลูมิเนียมในตัวอย่าง

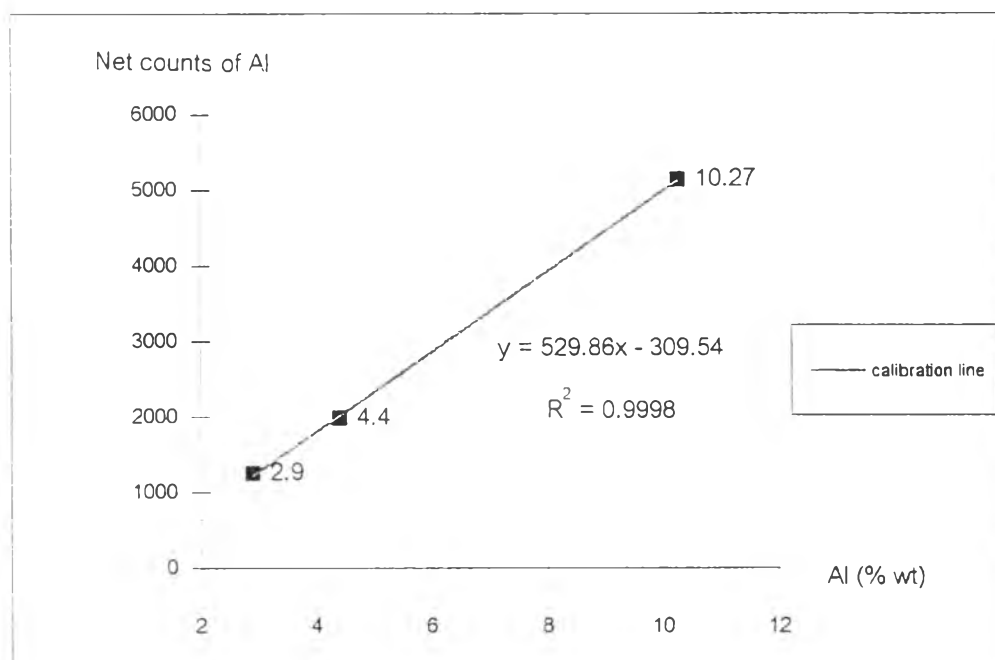
ตัวอย่าง	ปริมาณ AI (% wt)	INTEGRAL ( per 575 sec)				ปริมาณ AI ที่ได้จากการ คำนวณ (% wt)
		background	AI	Net counts, AI	$\pm\sigma$	
<u>ตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบ</u>						
raw meal 10	2.90	7047	8301	1254	124	ใช้เปรียบเทียบ
ปูน B	4.04	6310	8298	1988	121	ใช้เปรียบเทียบ
limestone 4	10.27	6577	11716	5139	135	ใช้เปรียบเทียบ
<u>ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ</u>						
ปูน D	-	6001	11901	5900	134	11.719 $\pm$ 0.253
ปูน C	-	6131	11185	5054	132	10.123 $\pm$ 0.249
ปูน A	5.60	7252	9852	2600	132	5.491 $\pm$ 0.249

เมื่อนำจำนวนรังสีสุทธิของอะลูมิเนียม จากตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบ มาสร้างกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 4.28 สามารถหาสมการของกราฟเปรียบเทียบได้คือ

$$y = 529.86x - 309.54 \quad (4.8)$$

โดยที่ตัวแปร x และ y มีความหมายเช่นเดียวกับสมการที่ 4.7 และค่า least squares สำหรับสมการเส้นตรงนี้ คือ 0.9998 สมการของกราฟเปรียบเทียบ ที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณของอะลูมิเนียมในตัวอย่าง คือ

$$x = \frac{y + 309.54}{529.86}$$



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณอะลูมิเนียม และจำนวนนับรังสีสุทธิของอะลูมิเนียม ที่ใช้ในการปรับเทียบ