

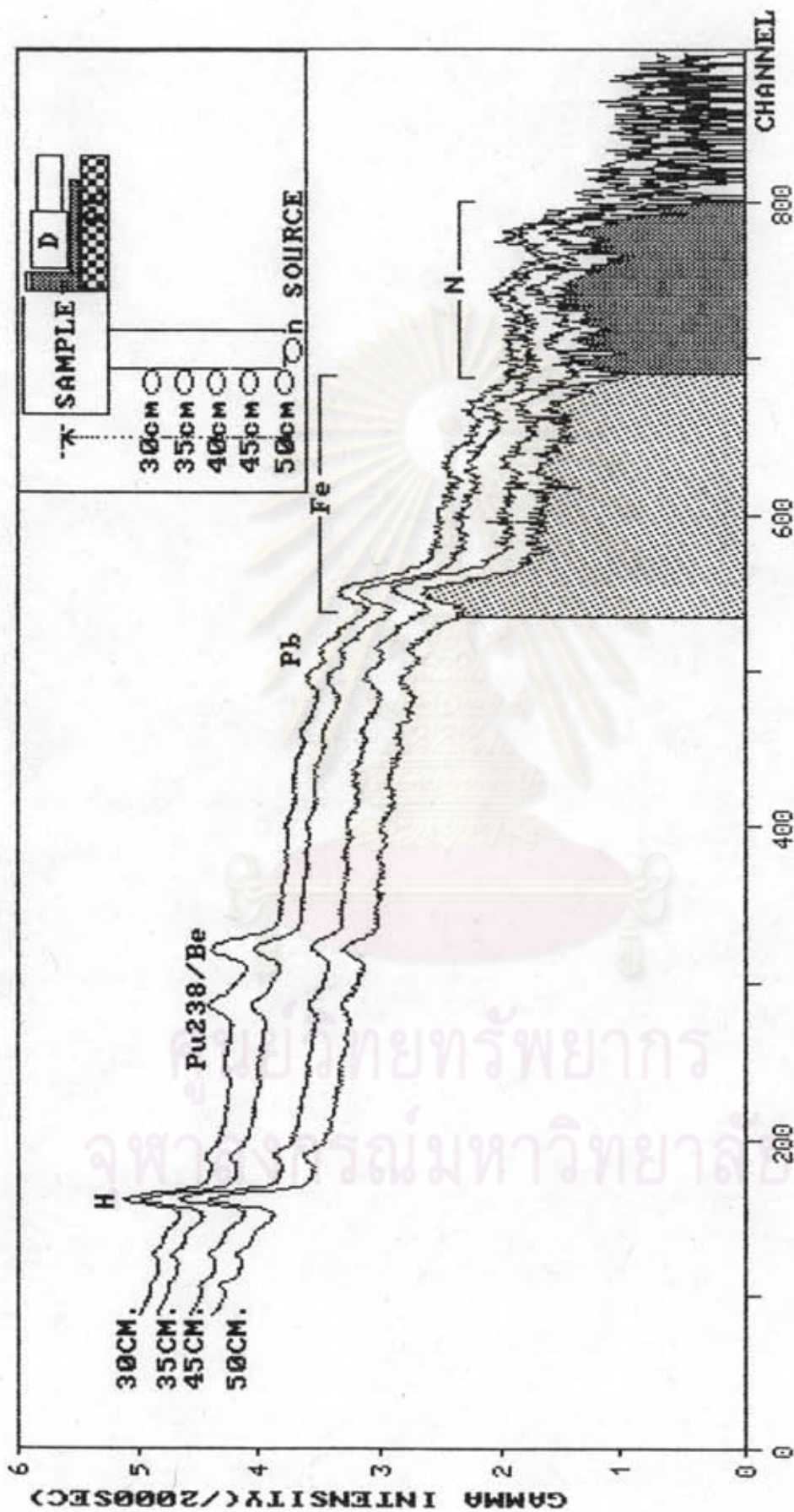
ผลการวิจัย

4.1 ผลของตำแหน่งในการวางคาน้ำเน็ดรังสีนิวตรอน

ปรากฏว่าความเข้มของสเปกตรัมรังสีฟอตอนต์แกมมาของไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากกับการเปลี่ยนตำแหน่งของคาน้ำเน็ดรังสีนิวตรอน แต่แบคกราวด์ใต้พีคจะมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงที่ระยะห่าง 45 เซนติเมตร เมื่อเลื่อนคาน้ำเน็ดรังสีนิวตรอนออกห่างต่อไป ค่าแบคกราวด์จะลดลงเล็กน้อย โดยมีอัตราส่วนของความเข้มรังสีแกมมาของไนโตรเจนต่อแบคกราวด์ค่อนข้างคงที่ดังรูปที่ 4.1 ส่วนสเปกตรัมจากรังสีแกมมาอื่น ๆ เช่น สเปกตรัมรังสีแกมมาที่ได้จากคาน้ำเน็ดรังสีนิวตรอนพลังงาน 4.43 MeV สเปกตรัมที่ได้จากปฏิกิริยานิวตรอนกับไฮโดรเจน (2.223 MeV) ตะกั่ว (6.857 MeV) และเหล็ก (7.632, 9.258 MeV) ก็ลดลงด้วยผลของการลดลงของเส้นสเปกตรัมดังกล่าวทำให้ dead time ในระบบวัดลดลงด้วย ดังนั้นในระบบวัดรังสีจึงได้เลือกใช้ตำแหน่งที่ระยะ 45 เซนติเมตรในการวางคาน้ำเน็ดรังสีนิวตรอน

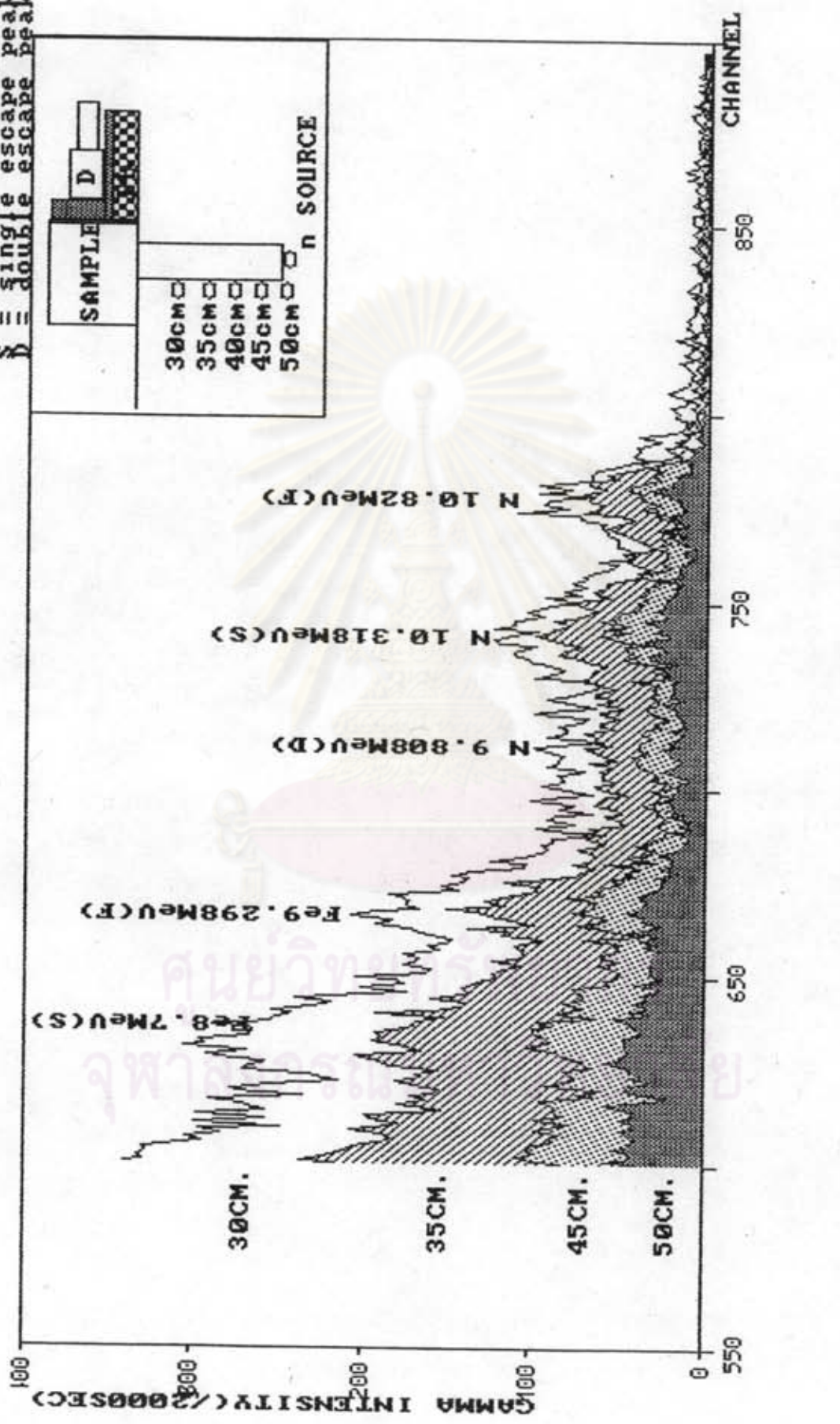
ตารางที่ 4.1 ความเข้มของรังสีฟอตอนต์แกมมาของไนโตรเจนกับตำแหน่งของคาน้ำเน็ดรังสีนิวตรอน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

ระยะระหว่างแนวระดับของหัววัดกับตำแหน่งคาน้ำเน็ดรังสีนิวตรอน (เซนติเมตร)	ค่า Integral (I)	ค่า Area (P)	ค่า Background (B)	ค่า P/B
30	7791	2346	5545	0.423
35	5717	2142	3575	0.599
40	4206	1891	2310	0.810
45	3424	1609	1815	0.880
50	1881	836	1045	0.8



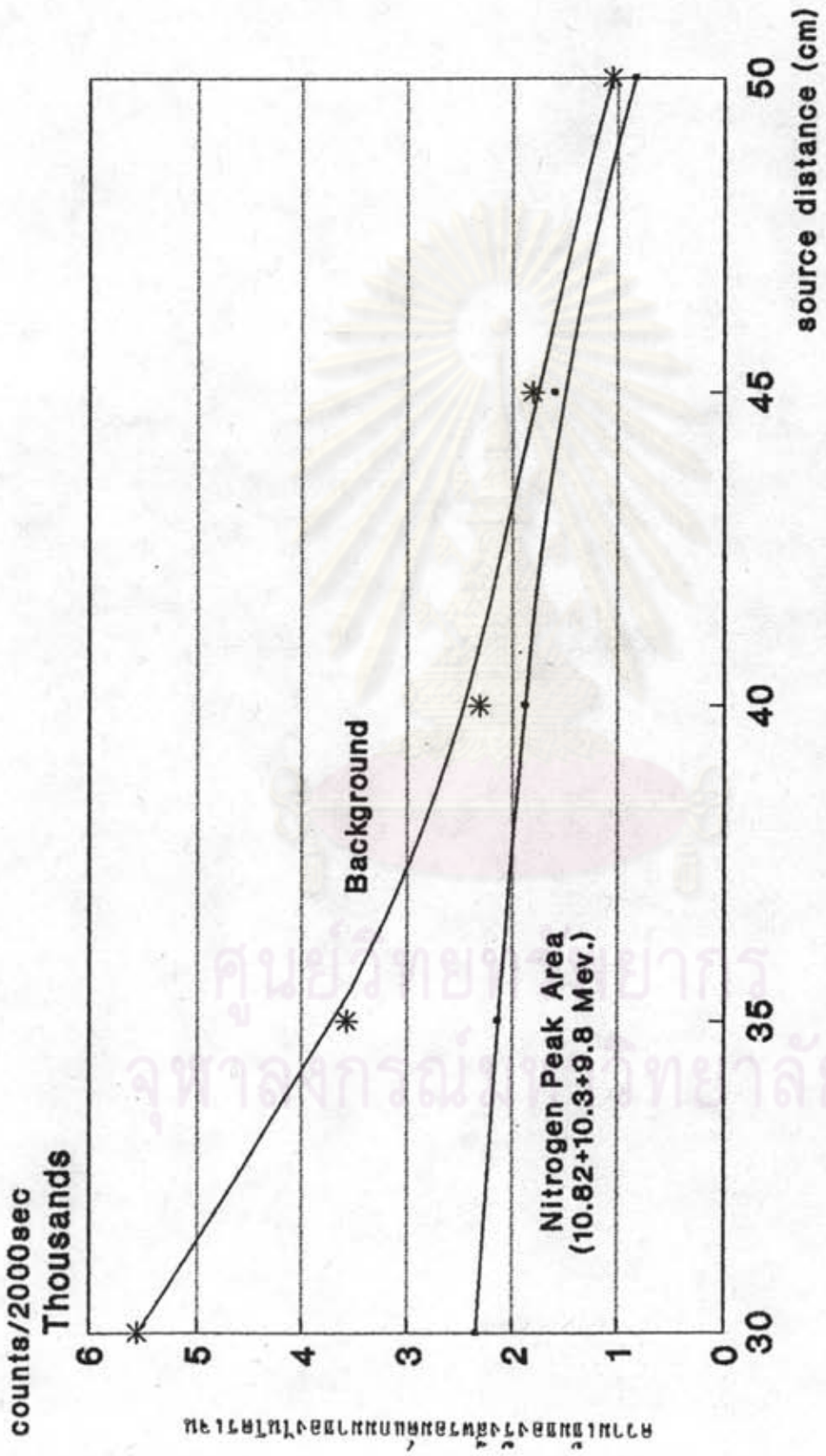
รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของรังสีฟอสฟอรัสที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในตัวอย่างที่มีความหนาแน่นต่างกัน

F = full energy peak  
 S = single escape peak  
 D = double escape peak



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของรังสีฟอตอนแคบมาของไนโตรเจน ณ ตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนต่าง ๆ





รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมคัมมมาของพีคไนโตรเจนกับแบคกราวด์  
เมื่อเปลี่ยนค่าแหล่งกำเนิดรังสีนิวตรอน

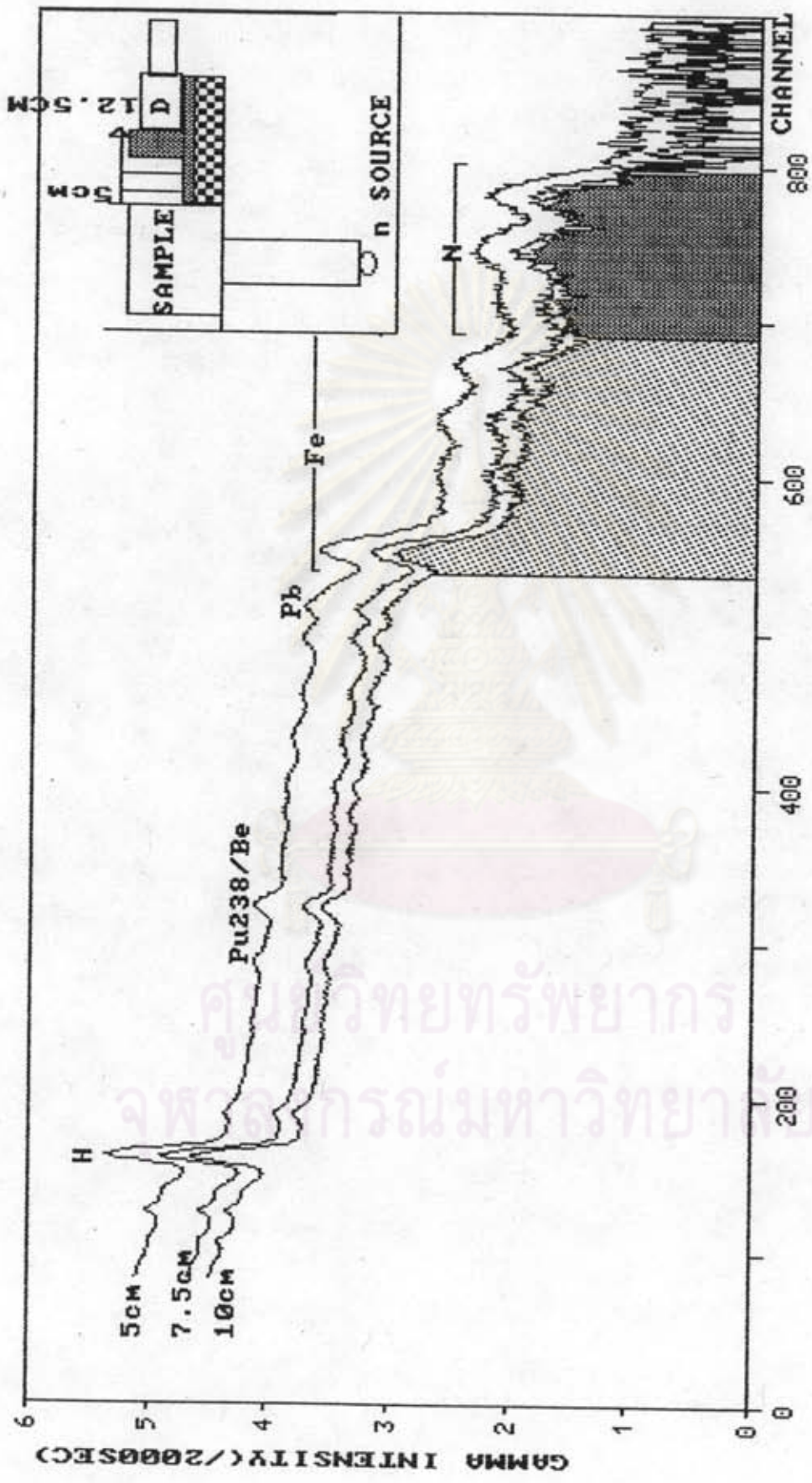
#### 4.2 ผลของตำแหน่งในการวางหัววัดรังสี NaI(Tl)

เมื่อเลื่อนหัววัดรังสีห่างออกมา ปรากฏว่าความเข้มของรังสีแกมมาจาก โนโตรเจนจะลดลงเล็กน้อยแต่แบบคกราวด์ได้สเปกตรัมจะลดลงมาก จนกระทั่งถึงระยะ 10 ซม. อัตราส่วนของความเข้มรังสีแกมมาของโนโตรเจนต่อแบบคกราวด์ค่อนข้างคงที่ ดังในรูปที่ 4.3 เป็นเพราะแบบคกราวด์สเปกตรัมของเหล็ก พลังงาน 9.298 MeV ลดลง

ตารางที่ 4.2 ความเข้มของรังสีพร้อมแกมมาของโนโตรเจนกับตำแหน่งของหัววัดรังสี NaI(Tl) ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

ระยะระหว่างหัววัดรังสี ใส่สารตัวอย่าง (เซนติเมตร)	ค่า Integral (I)	ค่า Area (P)	ค่า Background (B)	ค่า P/B
5	6840	2660	4180	0.636
7.5	5813	2568	3265	0.786
10.0	4709	2289	2420	0.946
12.5	4214	2069	2145	0.964

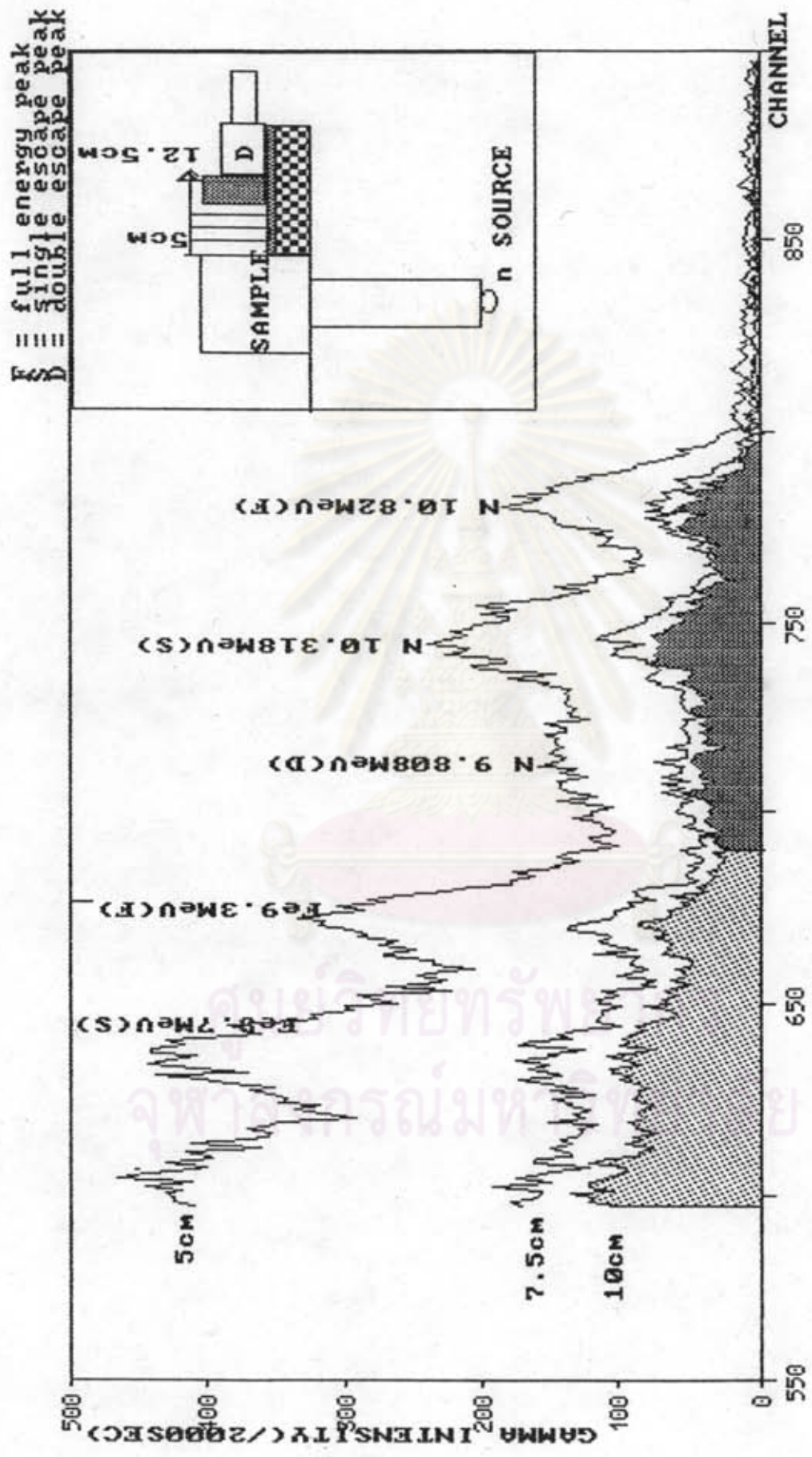
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



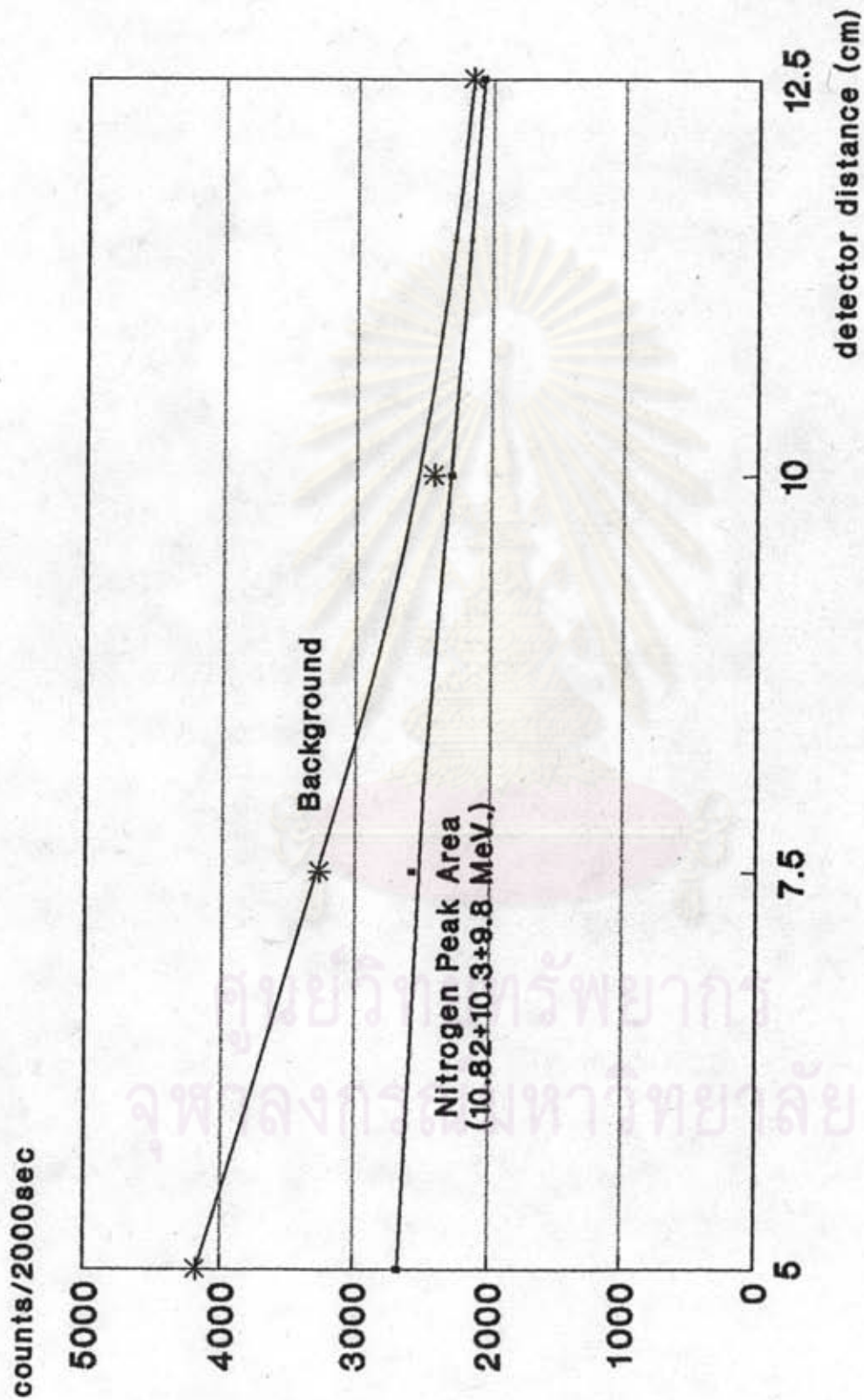
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมรังสีทรมดแกมมากับค่าแห่งของพัวรั้งสี่

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.5 สเปกตรัมรังสีแกมมาของไนโตรเจนกับค่าแห่งของหัววัดรังสี



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีพร้อมต้นกำเนิดของพีคไนโตรเจนกับแบบคกราวด์ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งหัววัดรังสี

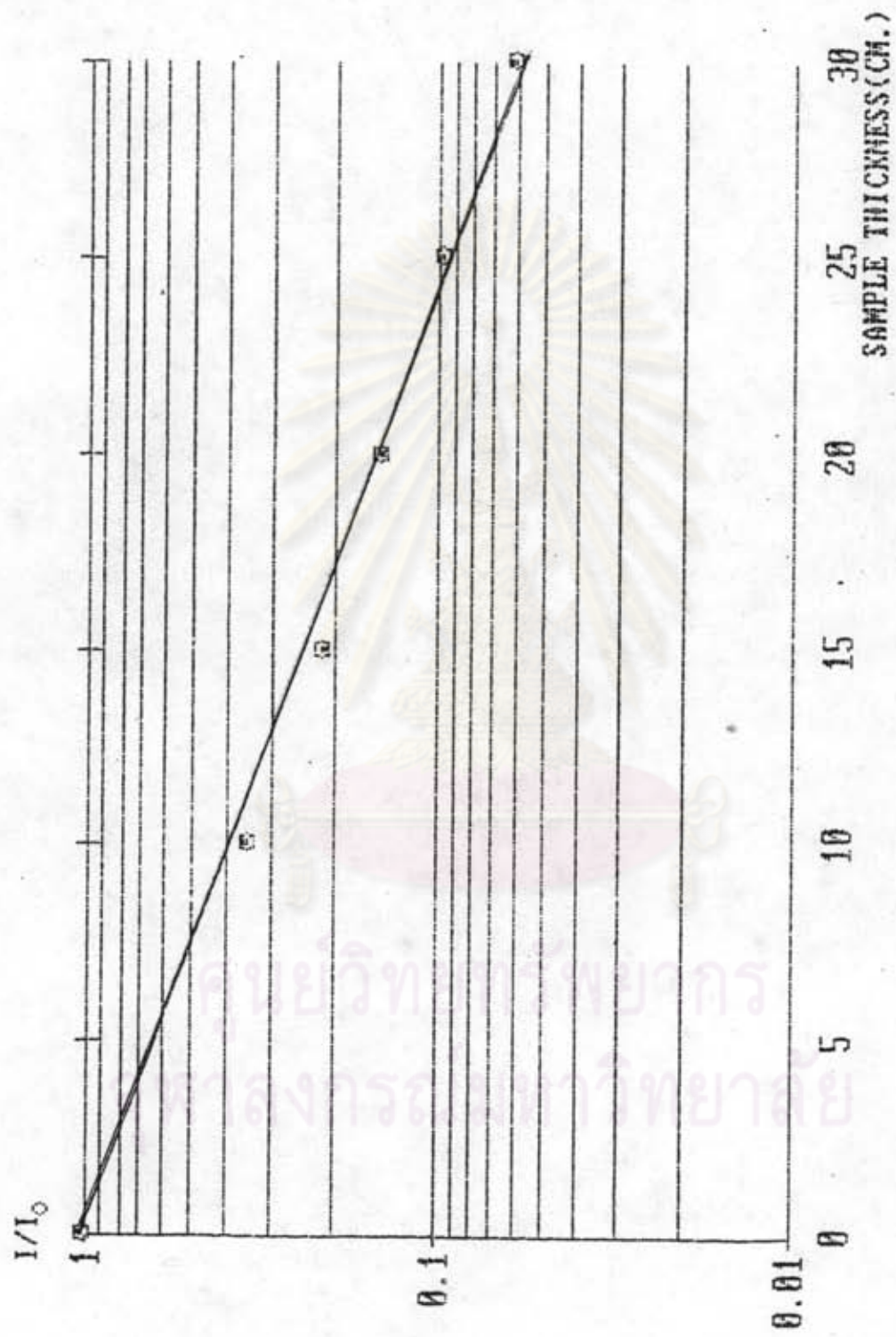


#### 4.3 ผลการศึกษาผลจากขนาดของตัวอย่าง

จากการเพิ่มความหนาของยูเรียชั้นครั้งละ 5 ซม. แล้วทำการวัดรังสีเทอร์มาลนิวตรอน พบว่าความเข้มของนิวตรอนลดลงเหลือเพียงประมาณร้อยละ 10 ที่ความหนาของยูเรีย 25 ซม. (ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และกราฟในรูปที่ 4.5) และพบว่านิวตรอนส่วนใหญ่เกิดอันตรกิริยากับยูเรียในช่วง 10 ซม. แรก ดังจะเห็นได้จากการที่ความเข้มรังสีนิวตรอนลดลงเหลือเพียงร้อยละ 34 เมื่อความหนาของยูเรียเท่ากับ 10 ซม. เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองวัดรังสีพรอมต์แกมมาของไนโตรเจนดังแสดงในตารางที่ 4.4 และกราฟในรูปที่ 4.6 กับ 4.7 พบว่าสำหรับภาชนะขนาดที่ใช้ทดลองได้ค่าความเข้มรังสีพรอมต์แกมมาค่อนข้างคงที่ที่ความหนา 20 ซม. ขึ้นไป อย่างไรก็ตามที่ความหนาเกิน 20 ซม. ขึ้นไปพบว่าอัตราส่วนของรังสีพรอมต์แกมมาต่อแบคกราวด์มีค่าลดลง และเมื่อใช้ภาชนะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 28 ซม. ได้ค่าอัตราส่วนนี้ลดลงไปเพราะแบคกราวด์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้สารละลายยูเรียความเข้มข้น 4 และ 8 โมลต่อลิตร (11.2 และ 22.4% N) แทนยูเรียในรูปของแข็งได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และกราฟในรูปที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นว่าความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมาที่วัดได้แปรผันตามความเข้มของไนโตรเจนและปริมาณของสารละลายโดยที่เมื่อปริมาณของสารละลายยูเรียอยู่ในช่วง 6-8 ลิตร ความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมา มีค่าค่อนข้างคงที่ สำหรับสารละลายความเข้มข้น 4 และ 8 โมลต่อลิตร จากผลการวิจัยในตารางที่ 4.5 และ 4.6 เมื่อใช้ปริมาณยูเรียในปริมาณเท่ากันปรากฏว่าปริมาณความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมาที่วัดได้จากสารละลายยูเรียจะวัดได้มากกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีตรวจสอบสารตัวอย่างในสถานะสารละลาย

ตารางที่ 4.3 การลดทอนของรังสีนิวตรอนกับความหนาของสารทดสอบ

ความหนา (ซม.)	จำนวนนับ/1 นาที	อัตราส่วนของการทะลุผ่านสารทดสอบ
0	40460	1.00
10	13286	0.34
15	8682	0.21
20	5776	0.14
25	3890	0.096
30	2703	0.060



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการทะลุผ่านของนิวตรอนกับความหนาของตะกั่ว

ตารางที่ 4.4 ปริมาณรังสีรวมคัมมมาของไนโตรเจนที่วัดได้กับความหนาของสารยูเรเนียมต่าง ๆ กันโดยใช้เวลาวัดรังสี 4000 วินาที

ความหนา ของสาร ทดสอบ (ซม.)	ถึงทดสอบ A ขนาด $\phi=20$ ซม.				ถึงทดสอบ B ขนาด $\phi=25$ ซม.				ถึงทดสอบ C ขนาด $\phi=28$ ซม.			
	I	P	B	P/B	I	P	B	P/B	I	P	B	P/B
5	5266	1581	3685	0.429	6170	1976	4190	0.471	6048	2101	3947	0.532
10	6954	2100	4854	0.432	8880	3201	5679	0.563	9147	3752	5395	0.675
15	7389	2397	4992	0.480	9014	4050	4964	0.815	10596	4353	6243	0.697
20	7878	2804	5074	0.552	9983	4906	5077	0.966	12114	5129	6985	0.734
25	8464	3005	5459	0.550	11159	5054	6105	0.827	12704	5059	7645	0.661
30	8957	3072	5885	0.464	12675	4800	7875	0.610	-	ไม่ได้ทดลอง	-	-

หมายเหตุ I = Nitrogen Integral Area

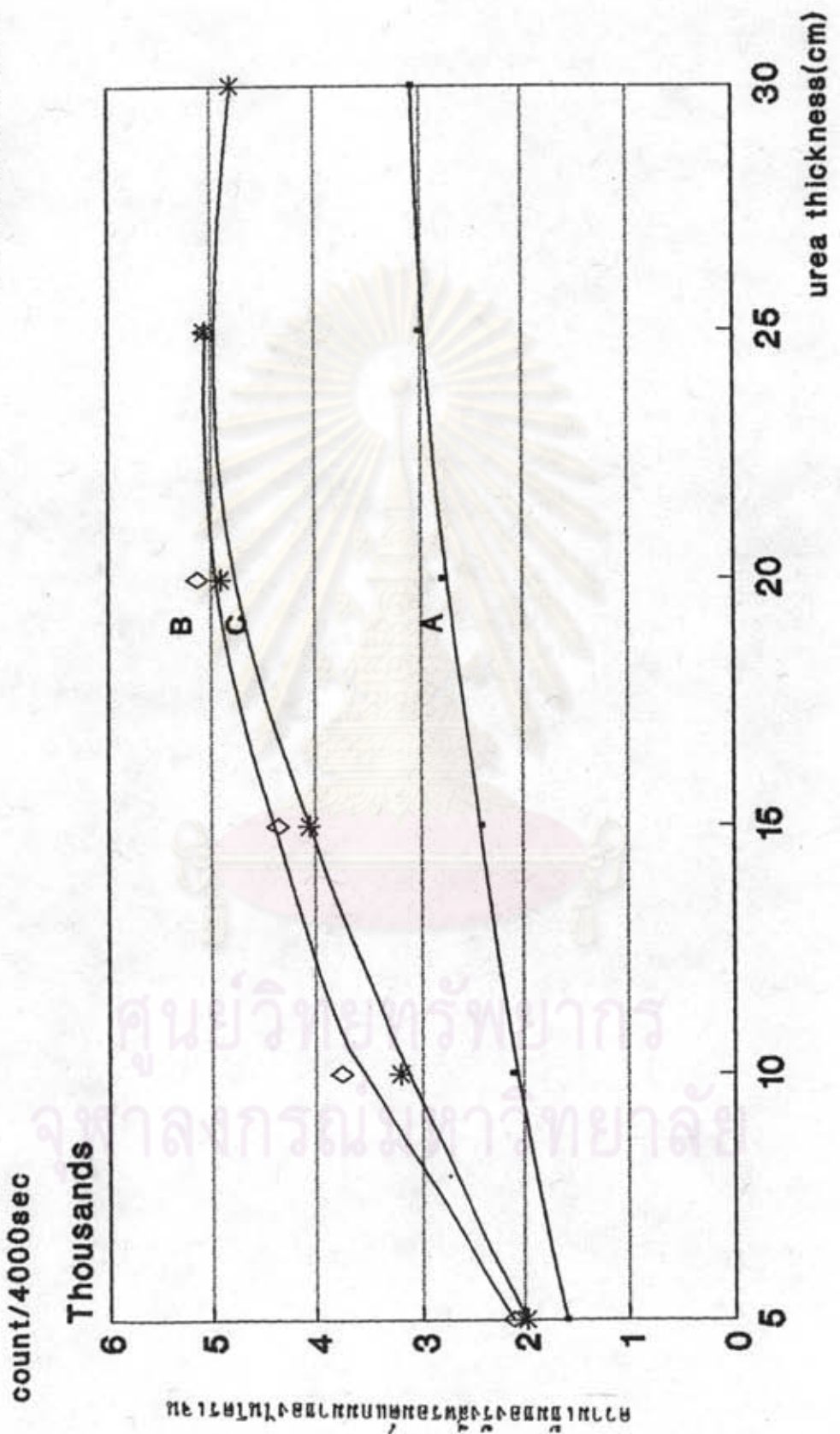
P = Nitrogen Peak Area

B = Background

ศูนย์วิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

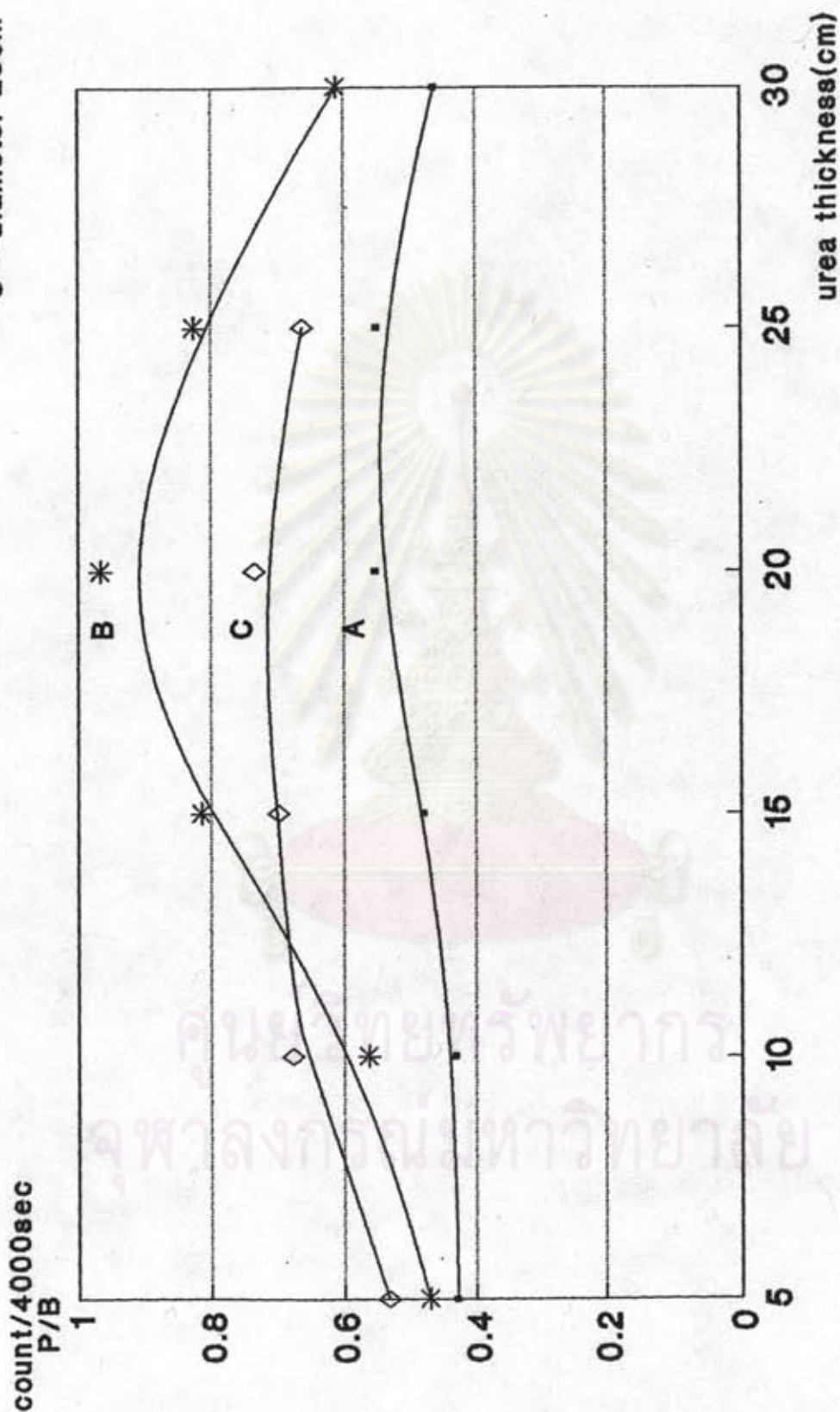


A - diameter 20cm  
 B - diameter 26cm  
 C - diameter 28cm



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีพร้อมค่าความยาวของโนโตรเจนกับความหนาของยูเรีย

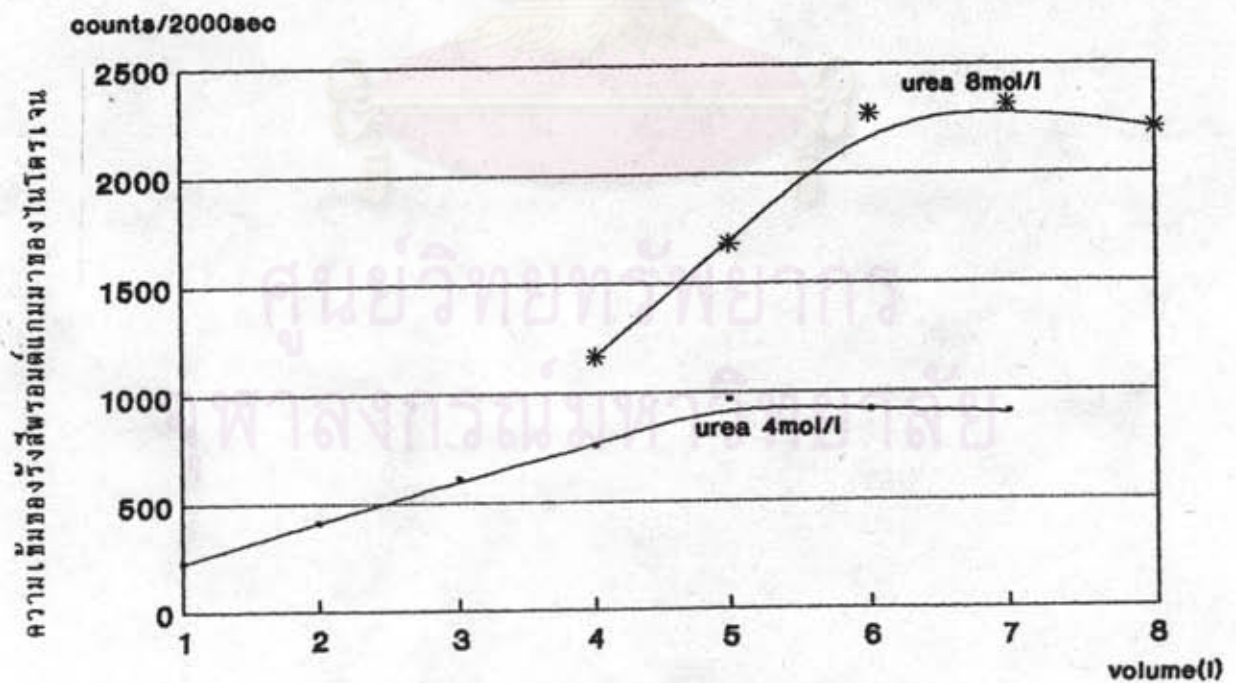
A = diameter 20cm  
 B = diameter 25cm  
 C = diameter 28cm



รูป 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มรังสีของไนโตรเจนต่อแบบกราฟ กับความหนาของสารทดสอบ (P/B)

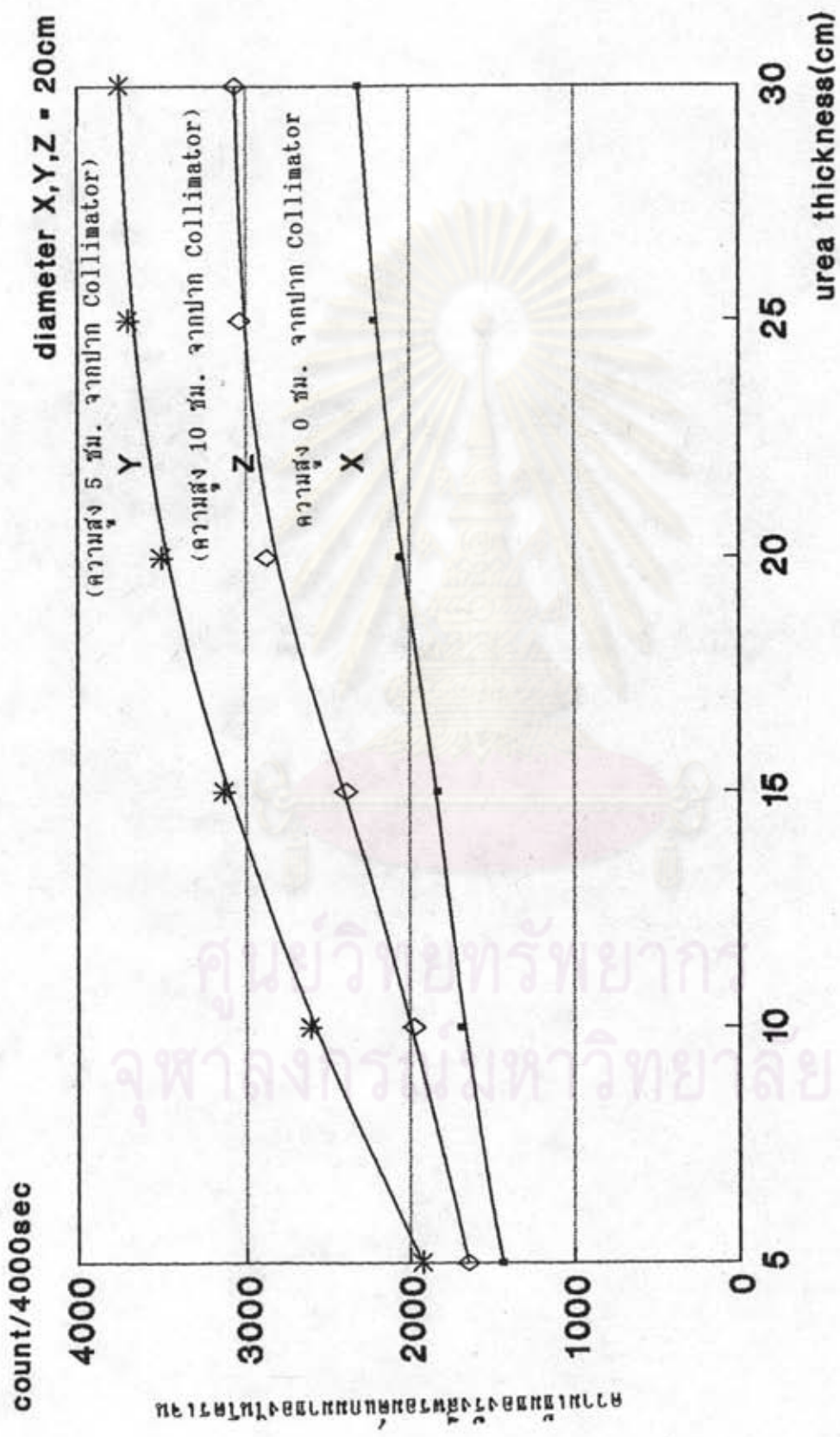
ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นสีฟรอมต์แกลมมาที่วัดได้ทีปริมาณของสารละลายยูเรียต่าง ๆ

ปริมาตร (ลิตร)	ความหนาของ สารละลาย(ซม.)	ความเข้มข้น 4 mol/L จำนวนนับรังสี/2000 sec.	ความเข้มข้น 8 mol/L จำนวนนับรังสี/2000 sec.
1	2.037	230	-
2	4.074	409	-
3	6.111	610	-
4	8.148	759	1166
5	10.185	965	1678
6	12.220	915	2273
7	14.260	900	2313
8	16.290	-	2203



รูป 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีฟรอมต์แกลมมาของไนโตรเจนกับปริมาณของสารละลายยูเรีย





รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีพร้อมค่าความหนาของไนโตรเจนกับค่าแห่ง  
ในการวางตัวอย่างยูเรีย

#### 4.4 ผลจากตำแหน่งของตัวอย่าง

เมื่อได้ทดลองเปลี่ยนระดับความสูงในการวางภาชนะใส่ตัวอย่างหน้าหัววัดรังสี 3 ระดับ พบว่าตำแหน่ง Y ได้ค่าความเข้มรังสีพร้อมดัมแกมมาสูงสุด และความเข้มแปรผันตามปริมาณยูเรเนียม และมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อความหนาแน่นค่าตั้งแต่ 20 ซม. ขึ้นไป ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.6 ปริมาณรังสีพร้อมดัมแกมมาที่วัดได้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของภาชนะบรรจุยูเรเนียม ขนาด  $\phi = 20$  ซม. ใช้เวลาวัด 4000 วินาที

ความหนา ของทดสอบ (เซนติเมตร)	น้ำหนักของ สารยูเรเนียม (กิโลกรัม)	วางสารทดสอบ ที่ตำแหน่ง X	วางสารทดสอบ ที่ตำแหน่ง Y	วางสารทดสอบ ที่ตำแหน่ง Z
5	1.2	1442	1923	1651
10	2.4	1692	2601	1973
15	3.6	1830	3133	2383
20	4.8	2053	3505	2875
25	6.0	2215	3697	3039
30	7.2	2305	3748	3066

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.5 ผลการทดสอบระบบวิเคราะห์ไนโตรเจน

จากข้อมูลผลการวิจัยที่ผ่านมา ทำให้สามารถจัดระบบอ้างอิงนิวตรอนและระบบวัดรังสีแกมมาที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถวัดรังสีพร้อมกันแกมมาจากไนโตรเจนอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดสอบระบบวิเคราะห์โดยใช้ยูเรเนียม 6 กิโลกรัม เป็นตัวอย่างได้สเปกตรัมของรังสีพร้อมกันแกมมาดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นพีคของไนโตรเจนที่พลังงาน 10.82 MeV, 10.318 MeV (single escape peak) และ 9.808 MeV (double escape) ได้ชัดเจน

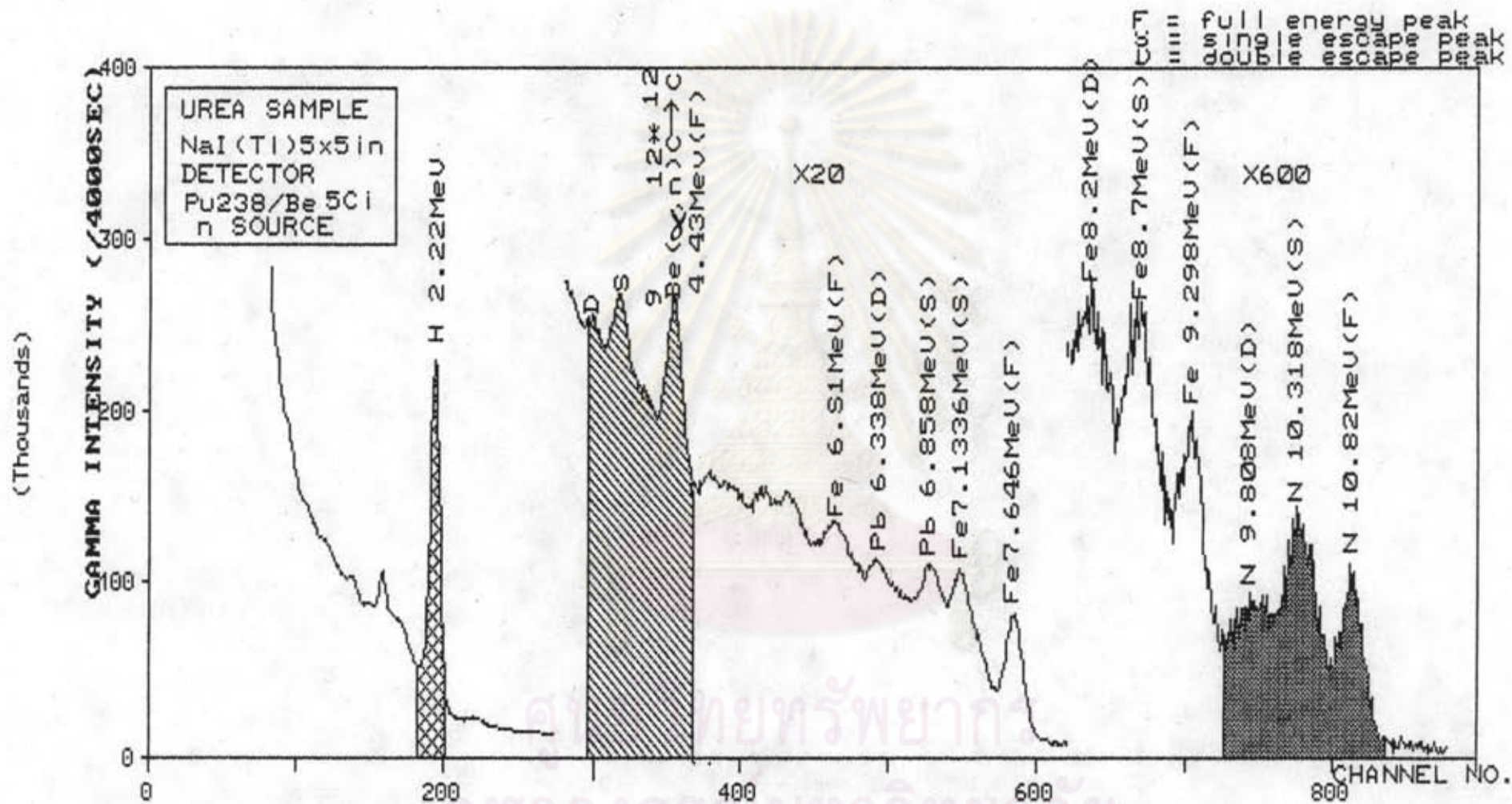
#### 4.6 ผลการสร้างกราฟเปรียบเทียบและการหาปริมาณไนโตรเจนในสารละลาย

จากการสร้างกราฟเปรียบเทียบโดยใช้สารละลายยูเรเนียมที่มีความเข้มข้น 0.5-8 โมล/ลิตร (ซึ่งคิดเป็นความเข้มข้นของไนโตรเจน 1.4-22.4 กรัมต่อ 100 มล.) พบว่าความเข้มรังสีพร้อมกันแกมมาของไนโตรเจนแปรผันตรงตามความเข้มข้นของไนโตรเจนโดยมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และกราฟในรูปที่ 4.11 เมื่อทำการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจนในสารละลายปุ๋ยสูตรต่าง ๆ และสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต พบว่า ตัวอย่างสารละลายปุ๋ยสูตร 15-0-0 กับสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้อง ดังแสดงในตารางที่ 4.8 ส่วนปุ๋ยสูตรอื่น ๆ ได้ค่าความเข้มรังสีพร้อมกันแกมมาของไนโตรเจนต่ำกว่าที่ควรเป็นมาก เนื่องจากมีธาตุอื่นที่มีภาคตัดขวางของนิวตรอนสูง เช่น คลอรีน (Cl) สตรอนเชียม (Sr) และโปแตสเซียม (K) ซึ่งสามารถเห็นได้จากสเปกตรัมของรังสีแกมมาดังแสดงในรูปที่ 4.12

#### 4.7 ผลการตรวจสอบการมีอยู่ของสารประกอบไนโตรเจน

จากการทดลองตรวจสอบการมีอยู่ของสารประกอบไนโตรเจนในกระเป๋าสาร โดยบรรจุสารประกอบยูเรเนียม 1 กิโลกรัม และวัดรังสีเป็นเวลา 1800 วินาที พบว่าเห็นพีครังสีพร้อมกันแกมมาของไนโตรเจนชัดเจน โดยได้อัตรานับรังสีสุทธิประมาณ 0.4 count/second ต่อ 1 กิโลกรัมยูเรเนียม หรือคิดเป็นค่าประมาณ 0.1 count/second ต่อ 100 กรัมไนโตรเจน ซึ่งต่ำกว่าระบบของ Cheng-Jong Lee และคณะ



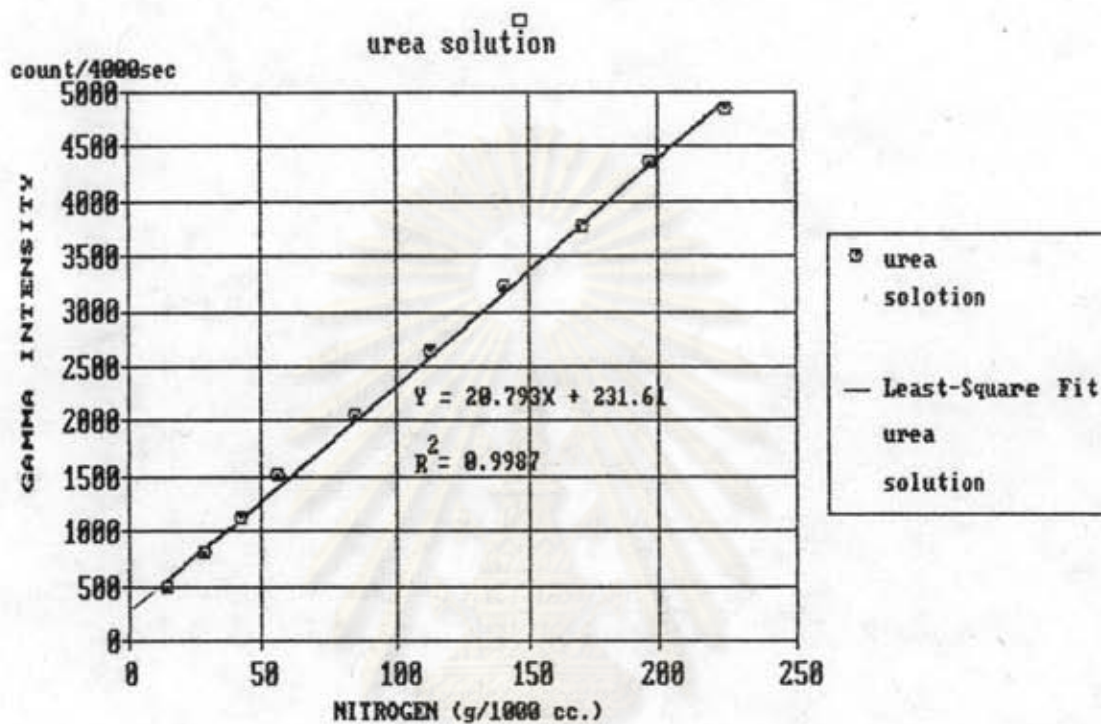


รูปที่ 4.12 สเปกตรัมที่ได้จากการวัดรังสีพร้อมคัมแกมมาเมื่อใช้ตัวอย่างยูเรีย 6 กิโลกรัม  
 เวลานับรังสี 4000 วินาที

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบรังสีพรอมต์แกมมา กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายยูเรียม

ความเข้มข้น (mol/l)	ปริมาณไนโตรเจน 1 กรัม/1000 cc	จำนวนนับ/4000 วินาที
0.5	14	440
1	28	763
1.5	42	1100
2	56	1476
3	84	2018
4	112	2626
5	140	3174
6	168	3716
7	196	4298
8	224	4829

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

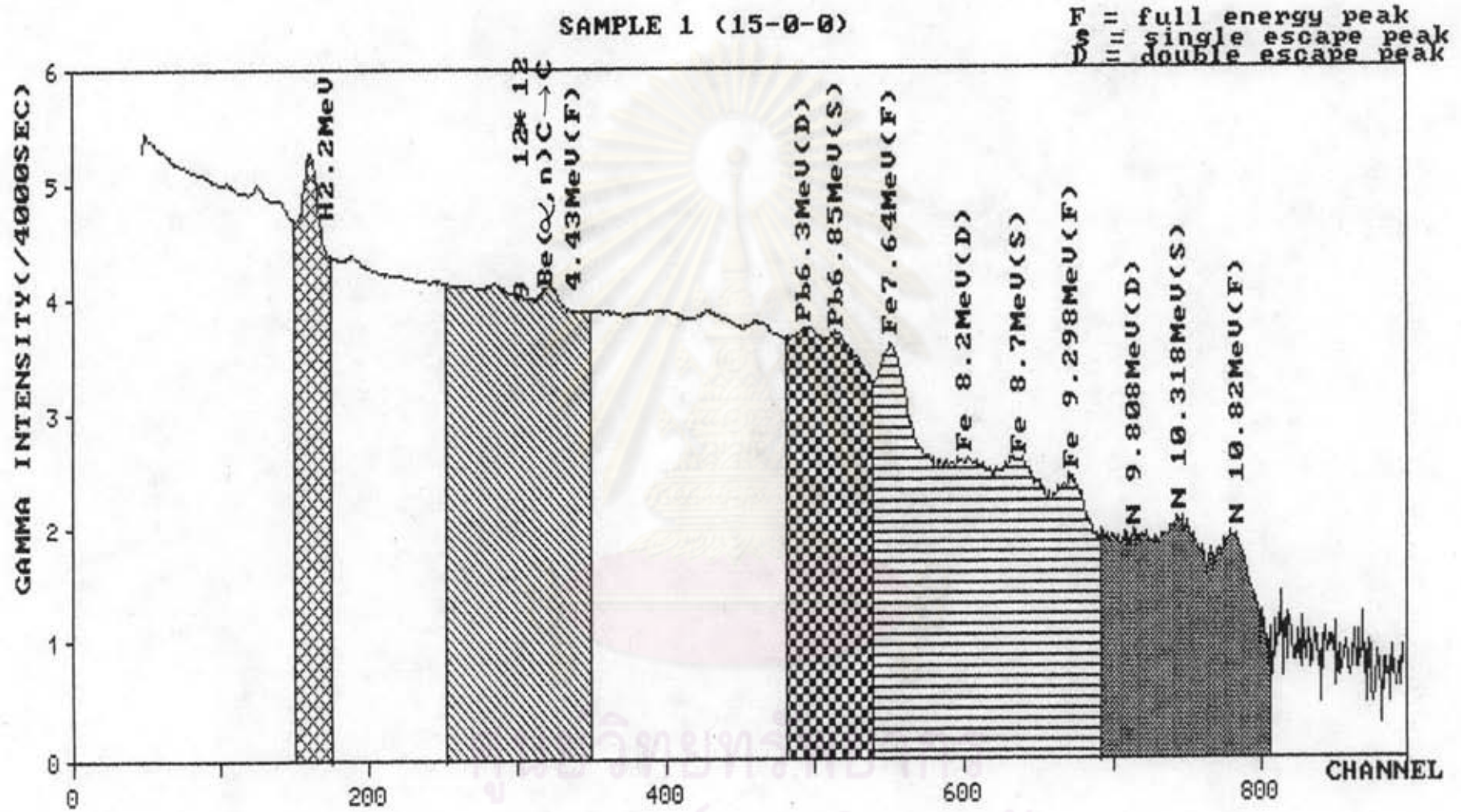


รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบความเข้มของรังสีพรอมต์แกมมา กับปริมาณไนโตรเจนในสารละลาย

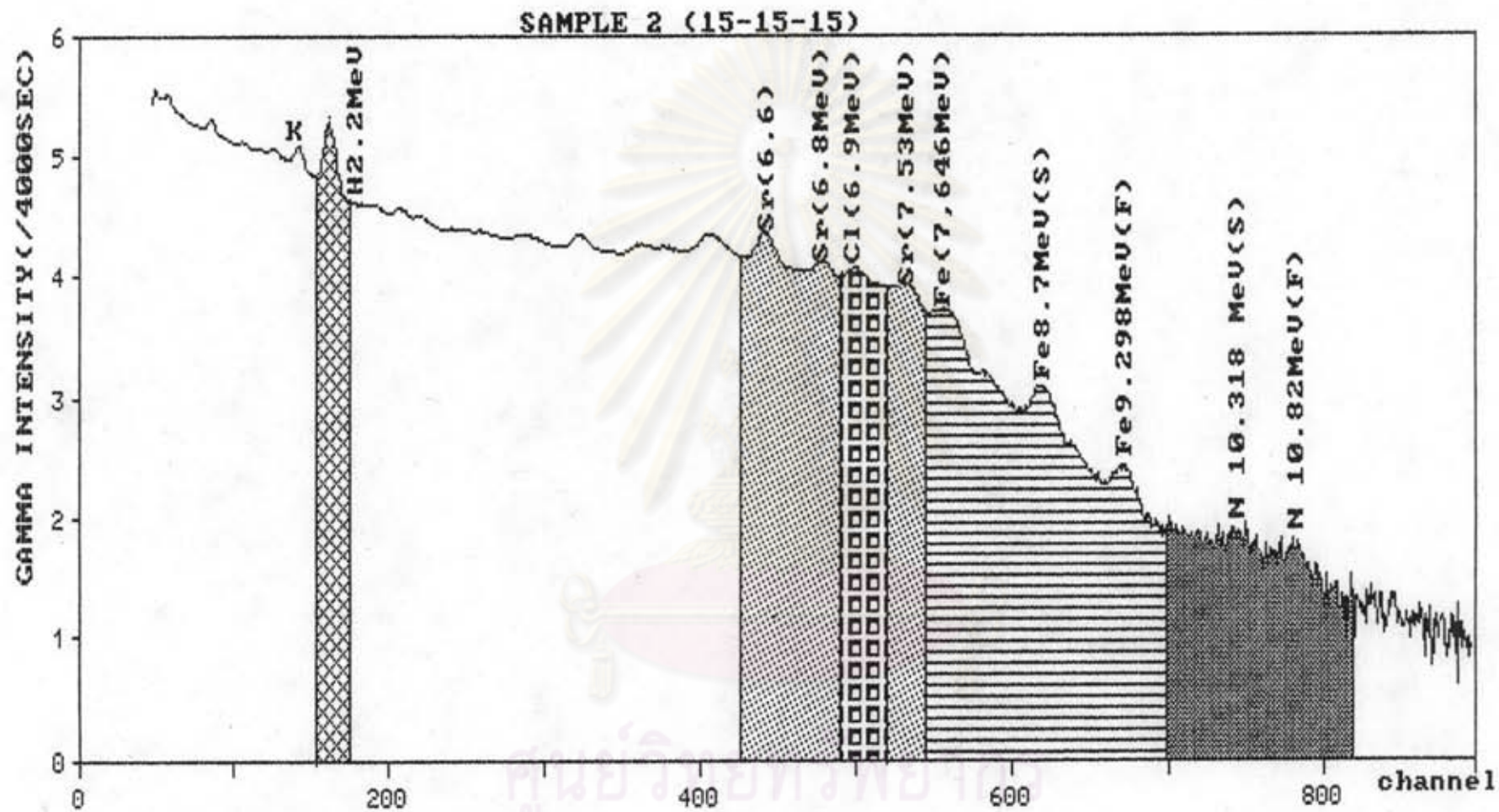
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เตรียมจากตัวอย่างกับวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิคพรอมต์แกมมา

ลำดับตัวอย่าง	ปริมาณความเข้มข้นที่เตรียม	วิธีพรอมต์แกมมาที่วัดได้
1. ปุ๋ยสูตร 15-0-0	มี N = 75 กรัม/ลิตร	76.00 ± 3 กรัม/ลิตร
2. แอมโมเนียมซัลเฟต	มี N = 22.3 กรัม/ลิตร	17.54 ± 4 กรัม/ลิตร



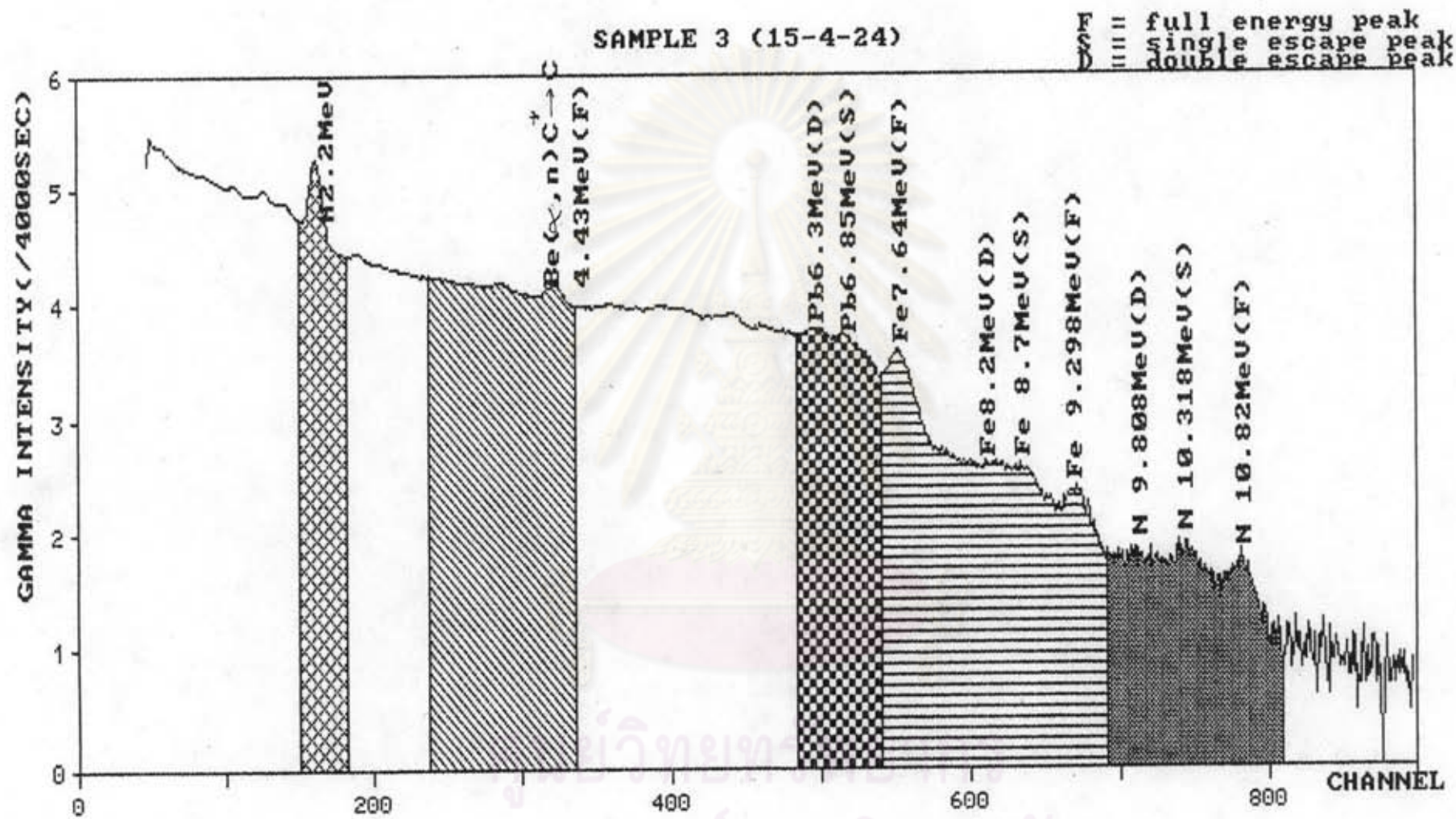


รูปที่ 4.14 สเปกตรัมของรังสีฟรอนต์แกมมาจากตัวอย่างปุ๋ยสูตร 15-0-0



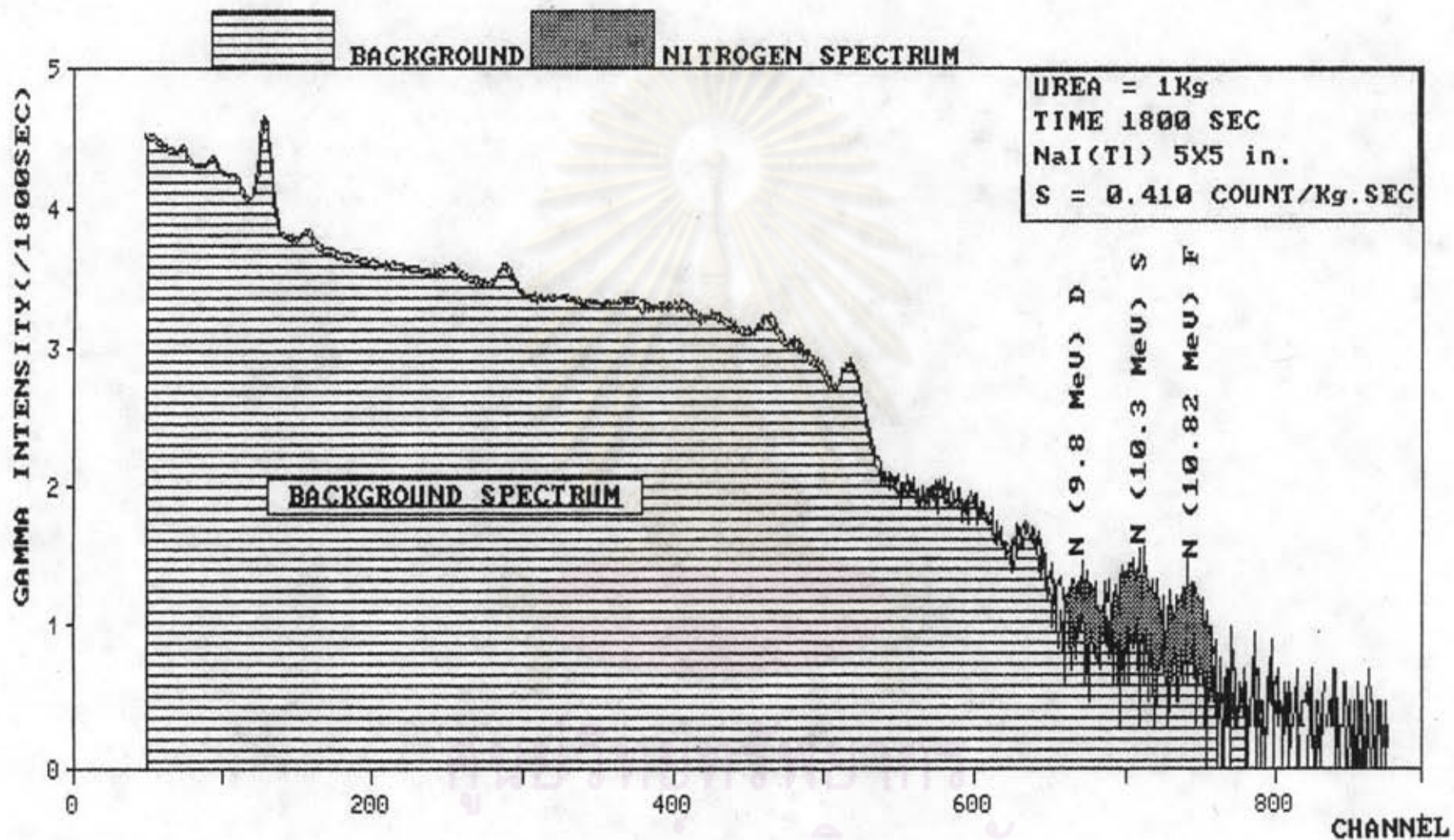
รูปที่ 4.15 สเปกตรัมของป๊อที่มีสารอนินทรีย์ปนอยู่





รูปที่ 4.16 สเปกตรัมรังสีพร้อมคั่นแกมมาจากปุ๋ยสูตร 15-4-24 เป็นปุ๋ยชนิดเม็ดคั้ง





รูปที่ 4.17 สเปกตรัมรังสีฟรอมด์แกมมาที่ได้จากยูเรีย 1 กิโลกรัม เทียบกับแบคกราวด์