

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### ผลของปริมาณสารเรืองแสงปฐมภูมิต่อประสิทธิภาพการนับรังสีโดยเครื่องลิวทอนทิลเลขัน

การหาปริมาณสารเรืองแสงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการนับรังสีแอลฟาโดยเครื่องลิวทอนทิลเลขันสูงสุด ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4, 5 และรูปที่ 7 พบว่า เมื่อสารเรืองแสงปฐมภูมิเป็น Butyl-PBD จำนวน 8 กรัมต่อลิตร จะให้ประสิทธิภาพในการนับรังสีสูงสุด ส่วนกรณีของ PPO พบว่า เมื่อใช้ PPO จำนวน 6 กรัมต่อลิตร จะให้ประสิทธิภาพการนับรังสีสูงสุด ซึ่งเมื่อมีปริมาณสารเรืองแสงที่มากเกินไปจะทำให้ค่าประสิทธิภาพการนับรังสีลดลง จากการเปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพการนับรังสีระหว่าง Butyl-PBD และ PPO พบว่า ในกรณีของ Butyl-PBD ให้ประสิทธิภาพการนับรังสีสูงกว่าในกรณีของ PPO ดังนั้นในการศึกษาที่จะดำเนินงานต่อไปจึงเลือกใช้ Butyl-PBD เป็นสารเรืองแสงปฐมภูมิโดยใช้ในปริมาณ 8 กรัมต่อลิตร

#### ตารางที่ 4 ผลของ Butyl-PBD ต่อประสิทธิภาพการนับรังสี

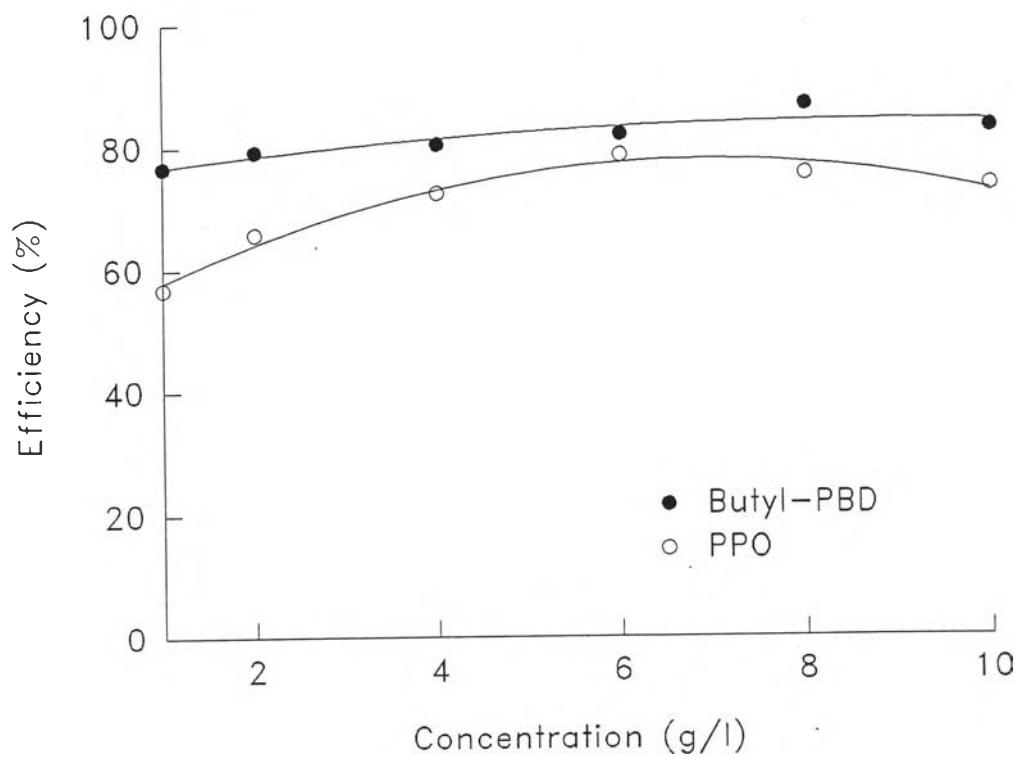
Butyl-PBD (g/l)	ประสิทธิภาพการนับรังสี (%)
1	76.7 ± 4.41
2	79.2 ± 4.52
4	80.4 ± 4.57
6	82.1 ± 4.64
8	86.8 ± 4.83
10	83.1 ± 4.68

เมื่อ n = 3

ตารางที่ 5 ผลของ PPO ต่อประสิทธิภาพการนับรังสี

PPO (g/l)	ประสิทธิภาพการนับรังสี (%)
1	56.8 ± 3.58
2	65.7 ± 3.96
4	72.4 ± 4.24
6	78.6 ± 4.49
8	75.5 ± 4.37
10	73.6 ± 4.29

เมื่อ n = 3



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเรืองแสง Butyl-PBD และ PPO กับประสิทธิภาพการนับรังสี

### ผลของปริมาณสารเรืองแสงทุกชนิดต่อประสิทธิภาพการนับรังสี

จากผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 6, 7, 8 และ 9 และรูปที่ 8 และ 9 จะเห็นว่า naphthalene และ POPOP ซึ่งเป็นสารเรืองแสงทุกชนิด เมื่อผสมลงใน cocktail ที่มี Butyl-PBD และ PPO เป็นสารเรืองแสงปฐมภูมิ ทำให้ประสิทธิภาพการนับรังสีมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แสดงว่าการวัดรังสีด้วยเครื่องลิวทอนเทิลเลชันนั้น สารเรืองแสงทุกชนิด ไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการนับรังสี และนอกจากนี้ปริมาณของสารเรืองแสงทุกชนิด ที่เพิ่มมากขึ้นก็มีผลทำให้ประสิทธิภาพการนับรังสีลดลง

ตารางที่ 6 ผลของ naphthalene ต่อประสิทธิภาพการนับรังสี เมื่อสารเรืองแสงปฐมภูมิ เป็น Butyl-PBD

naphthalene (g/l)	ประสิทธิภาพการนับรังสี (%)
100	84.7 ± 4.75
150	85.3 ± 4.77
200	85.1 ± 4.76
250	82.5 ± 4.66
300	80.2 ± 4.56

เมื่อ  $n = 3$

ตารางที่ 7 ผลของ POPOP ต่อประสิทธิภาพการนับรังสี เมื่อสารเรืองแสงปฐมภูมิ เป็น Butyl-PBD

POPOP (g/l)	ประสิทธิภาพการนับรังสี (%)
0.2	83.5 ± 4.69
0.4	82.6 ± 4.65
0.6	82.7 ± 4.67
0.8	79.3 ± 4.53
1	79.1 ± 4.52

เมื่อ n = 3

ตารางที่ 8 ผลของ naphthalene ต่อประสิทธิภาพการนับรังสี เมื่อสารเรืองแสงปฐมภูมิ เป็น PPO

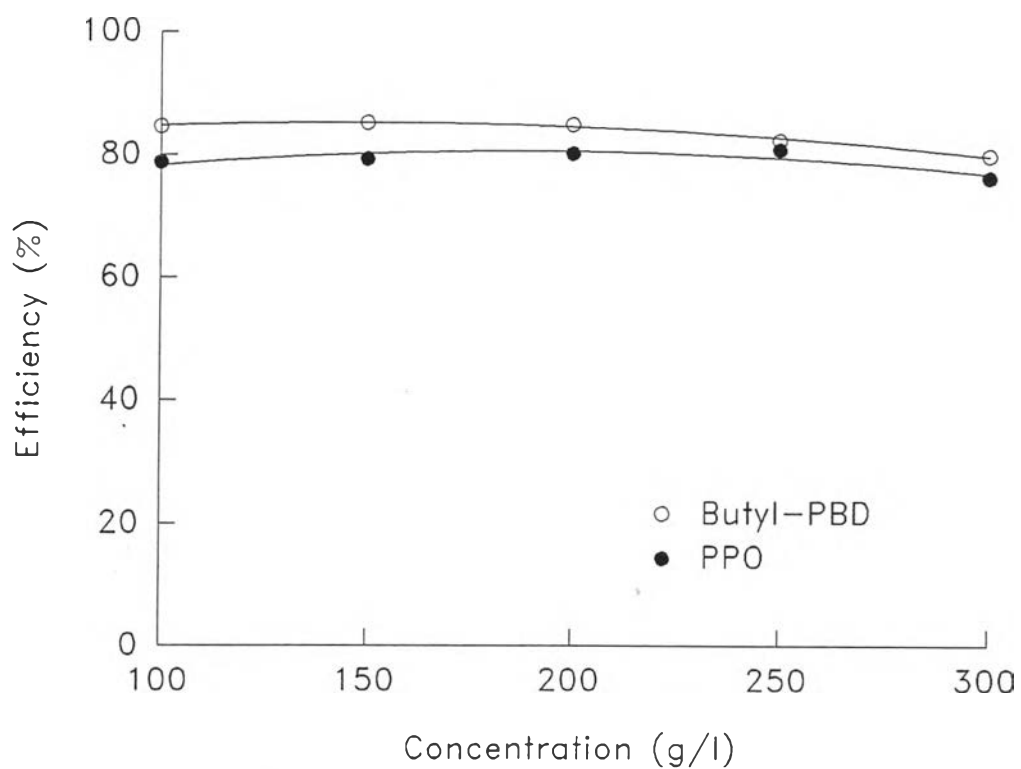
naphthalene (g/l)	ประสิทธิภาพการนับรังสี (%)
100	78.80 ± 4.51
150	79.32 ± 4.53
200	80.29 ± 4.57
250	81.07 ± 4.60
300	76.49 ± 4.41

เมื่อ n = 3

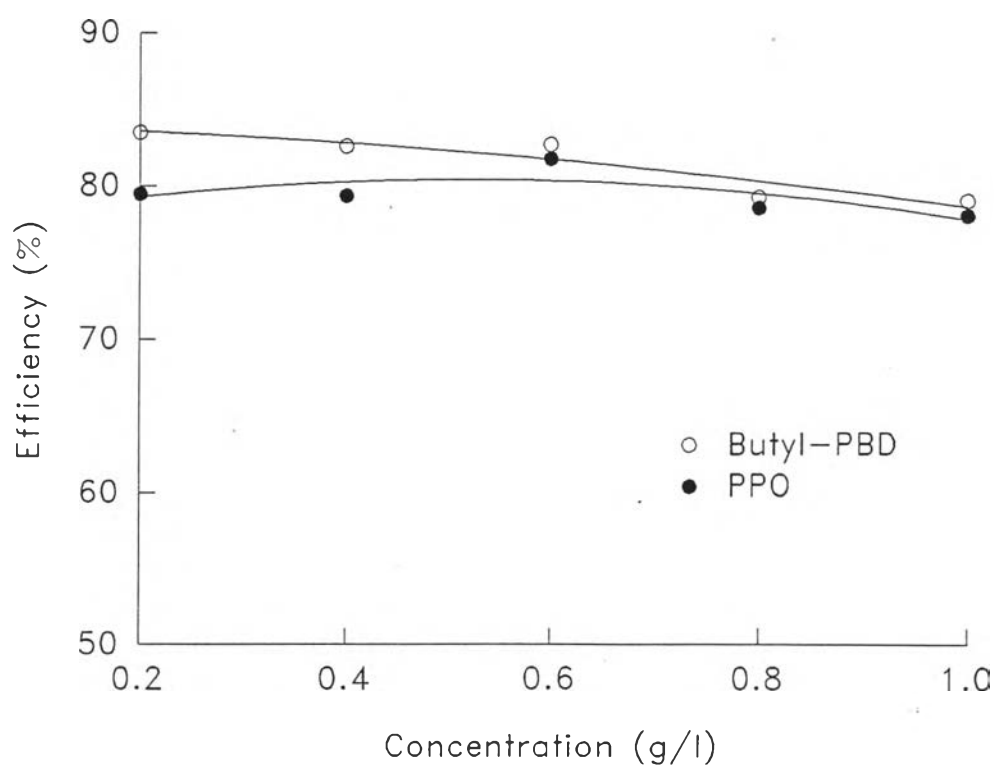
ตารางที่ 9 ผลของ POPOP ต่อประสิทธิภาพการนับรังสี เมื่อสารเรืองแสงปฐมภูมิ เป็น PPO

POPOP (g/l)	ประสิทธิภาพการนับรังสี (%)
0.2	79.50 ± 4.54
0.4	79.34 ± 4.53
0.6	81.77 ± 4.63
0.8	78.63 ± 4.50
1	78.12 ± 4.48

เมื่อ n = 3



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ naphthalene และประสิทธิภาพการนับรังสี เมื่อสารเรืองแสงปฐมภูมิเป็น Butyl-PBD และ PPO



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ POPOP และประสิทธิภาพการนับรังสี เมื่อสารเรืองแสงปฐมภูมิเป็น Butyl-PBD และ PPO

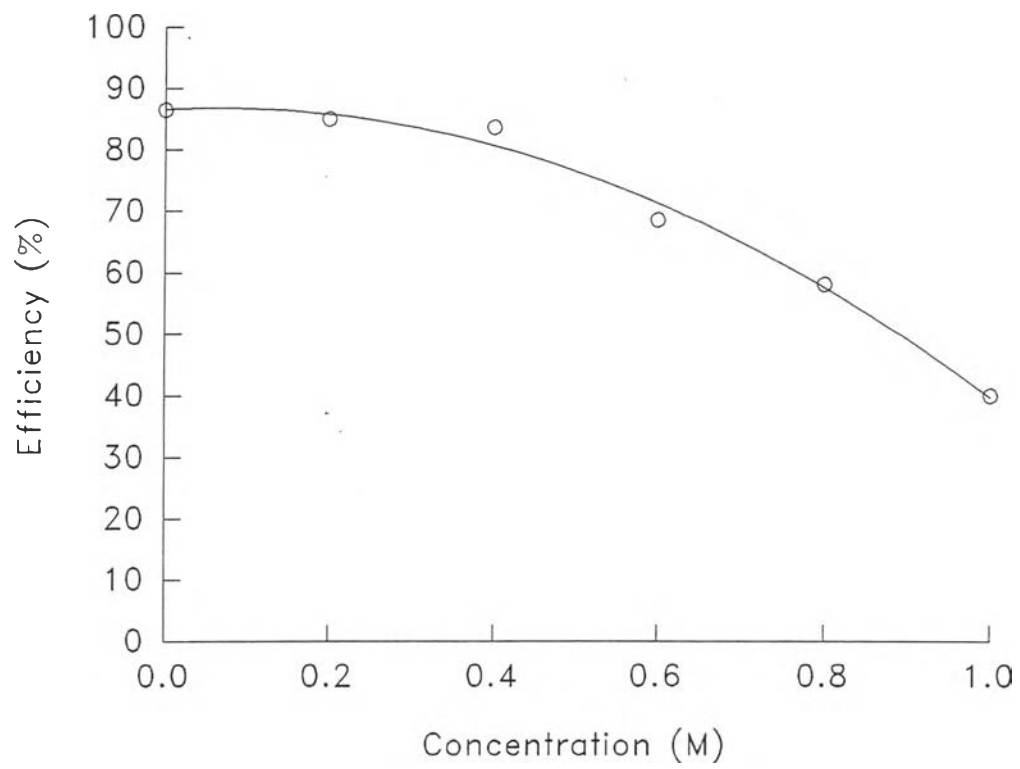
### ผลของปริมาณ TOPO ต่อประสิทธิภาพการนับรังสี

จากผลการศึกษาถึงปริมาณตัวสกัดต่อประสิทธิภาพการนับรังสี ดังแสดงในตารางที่ 10 และรูปที่ 10 พบว่า ปริมาณตัวสกัดที่เติมลงใน cocktail มีผลต่อประสิทธิภาพการนับรังสี โดยเมื่อเติมปริมาณตัวสกัดให้มีปริมาณมากขึ้น จะทำให้ค่าประสิทธิภาพการนับรังสีลดลง จึงถือได้ว่าตัวสกัด TOPO เป็นตัวที่ทำให้เกิดคววนซิงได้ ดังนั้นจะต้องคำนึงถึงปริมาณที่ใช้ โดยปริมาณ TOPO ที่ให้ประสิทธิภาพในการวัดสูงสุดคือ 0.2 M

ตารางที่ 10 ผลของปริมาณ TOPO ต่อประสิทธิภาพการนับรังสี

TOPO (M)	ประสิทธิภาพการนับรังสี (%)
0	86.5 ± 4.82
0.2	85.0 ± 4.76
0.4	83.6 ± 4.70
0.6	68.6 ± 4.08
0.8	58.1 ± 3.64
1	39.9 ± 2.84

เมื่อ n = 3



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวสกัด TOPO และประสิทธิภาพการนับรังสี

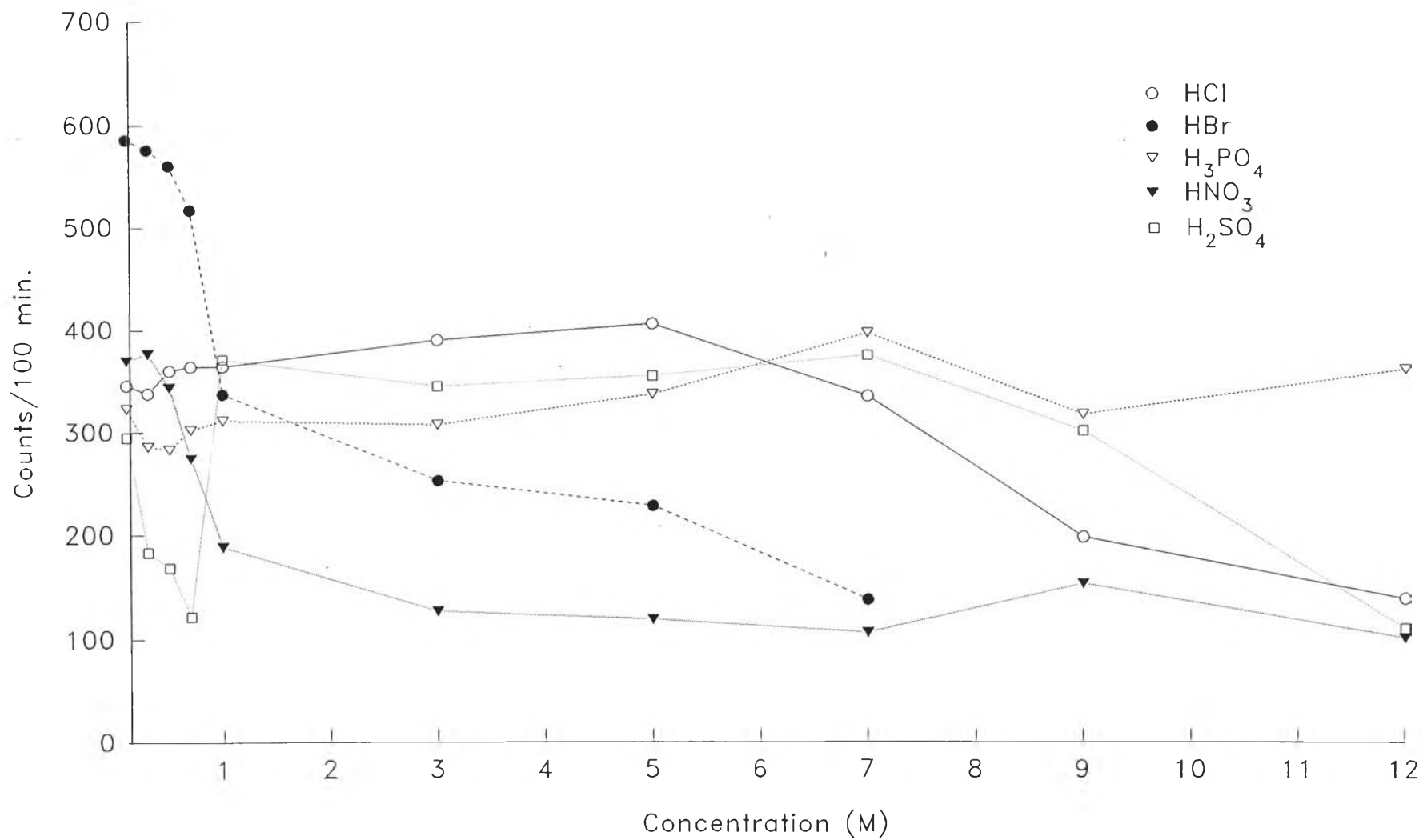


ผลของอิทธิพลต่าง ๆ ของกรดและความเข้มข้นของกรดที่มีต่อการสกัดและการนับรังสีของพอลิเนียม

จากผลการทดลองในตารางที่ 11 และรูปที่ 11 พบว่ากรดไฮโดรโบรมิกที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ จะให้ค่าการสกัดพอลิเนียมที่สูง แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ค่าของการสกัดจะลดลง ในกรณีของกรดฟอสฟอริก ก็จะให้ค่าการสกัดสูงที่ความเข้มข้นของกรด 7 M เช่นเดียวกับกับกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งให้ค่าสูงสุดที่ความเข้มข้น 5 M ส่วนกรดซัลฟูริกให้ค่าการสกัดสูงสุดที่ความเข้มข้น 0.1 M และกรดไนตริกให้ค่าการสกัดสูงสุดที่ความเข้มข้น 0.3 M ซึ่งกรดที่ค่าการสกัดสูงสุดคือ กรดไฮโดรโบรมิกที่มีความเข้มข้น 0.1 M ดังนั้นจึงเลือกใช้กรดไฮโดรโบรมิกในการสกัดพอลิเนียมในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 11 แสดงอิทธิพลของกรดและความเข้มข้นของกรดที่มีต่อการสกัดพอลิเนียม

ชนิดของกรด ความเข้มข้น (M)	ค่าการนับ (counts/100 m)				
	HCl	HBr	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
0.1	346	586	323	370	295
0.3	338	576	286	377	184
0.5	360	560	283	344	169
0.7	364	517	302	274	122
1	364	337	311	189	371
3	390	252	307	127	345
5	406	228	337	119	355
7	335	138	397	106	375
9	198	-	317	153	301
12	139	-	362	101	110



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสกัดพอลิเนียม และค่าการนับรังสี

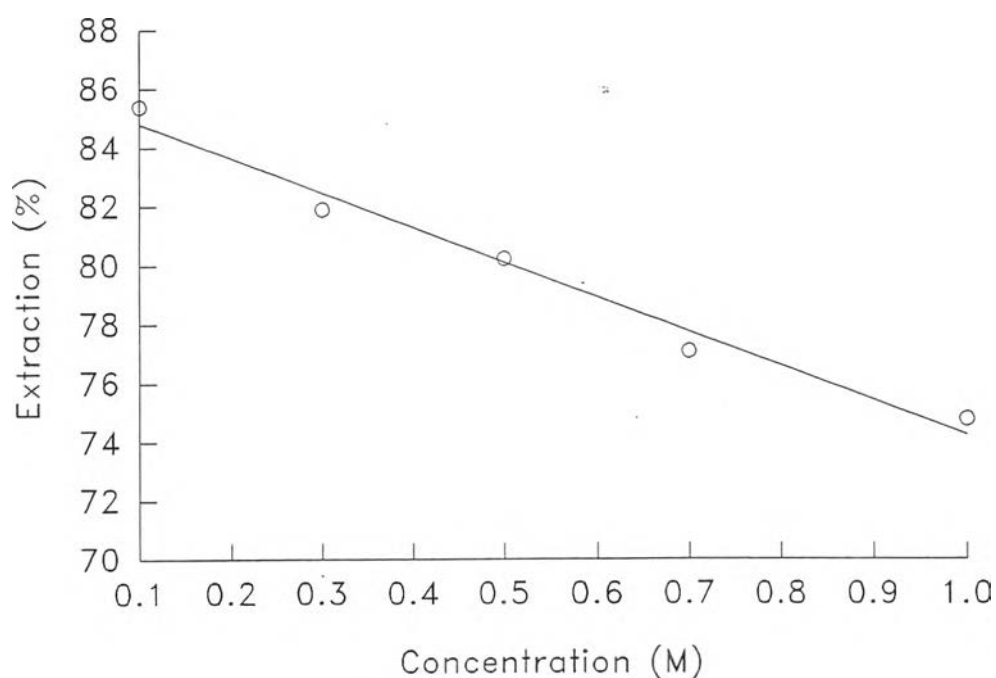
### ผลของกรดไฮโดรโบรมิกต่อการสกัดยูเรเนียม

จากตารางที่ 12 และรูปที่ 12 จะเห็นว่า TOPO สามารถสกัดยูเรเนียมได้ดี ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับในกรณีของการสกัดพอลิเนียม คือ สามารถสกัดได้ถึง 85.39 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 0.1 M ของกรดไฮโดรโบรมิก

ตารางที่ 12 ผลของความเข้มข้นของกรดไฮโดรโบรมิกต่อการสกัดยูเรเนียม

ความเข้มข้นของ HBr (M)	เปอร์เซ็นต์การสกัด (%)
0.1	85.39 ± 4.94
0.3	71.90 ± 4.63
0.5	80.23 ± 4.56
0.7	77.11 ± 4.44
1	84.77 ± 4.34

เมื่อ  $n = 3$



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดไฮโดรโบรมิกในการสกัดยูเรเนียม-232 และเปอร์เซ็นต์การสกัดยูเรเนียม

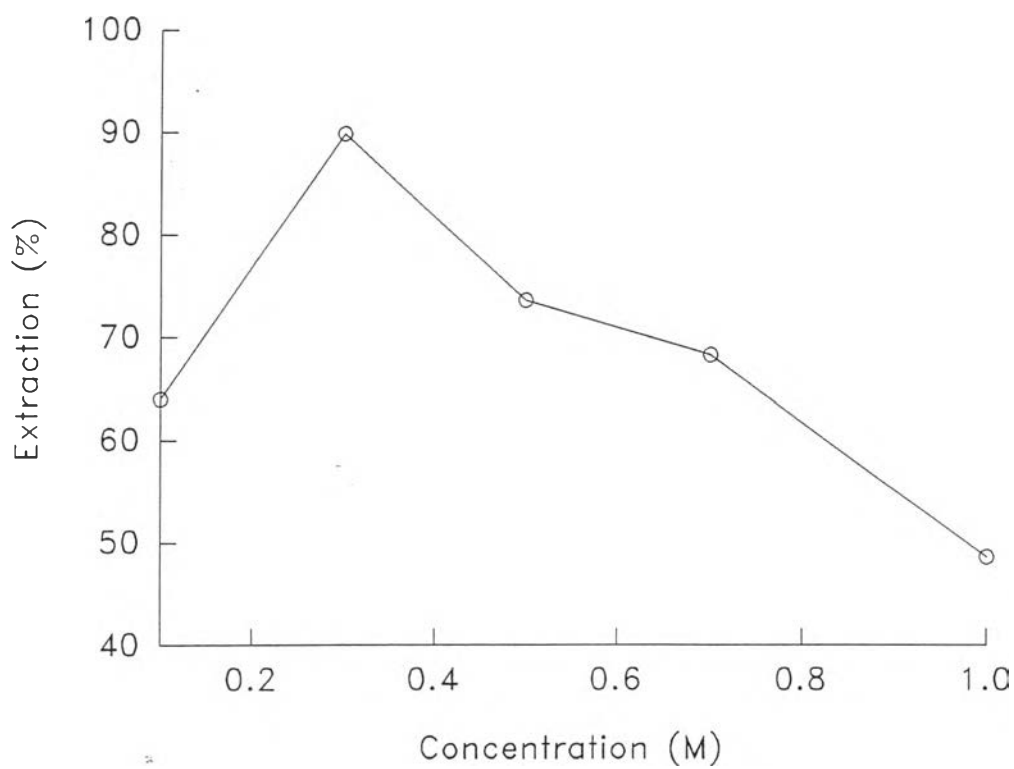
### ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในการสกัดกลัยยูเรเนียม

จากการทดลอง พบว่า กรดซัลฟูริกสามารถสกัดกลัยยูเรเนียมได้ดี โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก เป็น 0.3 M จะให้ค่าการสกัดกลัยยูเรเนียมได้ถึง 89.88% ดังผลที่แสดงในตารางที่ 13 และรูปที่ 13 ดังนั้นเมื่อทำการสกัดพอลิเนียมให้เข้าอยู่ในชั้นที่เป็น extractive scintillator แล้วและอาจจะมียูเรเนียมปนเข้าไปด้วย สามารถทำการสกัดกลัยเพื่อแยกยูเรเนียมออกจาก extractive scintillator ได้ จึงจะใช้วิธีการนี้ในการศึกษาการสกัดพอลิเนียมในตัวอย่างต่อไป

ตารางที่ 13 ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในการสกัดกลัยยูเรเนียม

ความเข้มข้นของ $H_2SO_4$ (M)	เปอร์เซ็นต์การสกัดกลัย (%)
0.1	63.96 ± 3.89
0.3	89.88 ± 4.96
0.5	73.62 ± 4.23
0.7	68.37 ± 4.07
1	48.63 ± 3.23

เมื่อ  $n = 3$



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก และเปอร์เซ็นต์การสกัดกลับของยูเรเนียม

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการวัดรังสีแอลฟาด้วยเครื่องลิวทิตอนทิลเลชัน  
เมื่อสกัดด้วย extractive scintillator

จากตารางที่ 14 แสดงว่าประสิทธิภาพการนับรังสีแอลฟาด้วยเครื่องลิวทิตอนทิลเลชัน จาก  
การทดลอง 10 ครั้ง พบว่า ประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ย  $85.16 \pm 4.59$

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพในการสกัดและวัดรังสีแอลฟาด้วยเครื่องลิวทิตอนทิลเลชัน  
เมื่อใช้ extractive scintillator

ครั้งที่	ประสิทธิภาพการนับรังสี (%)
1	$85.55 \pm 4.78$
2	$86.38 \pm 4.81$
3	$83.27 \pm 4.26$
4	$84.93 \pm 4.61$
5	$84.72 \pm 4.58$
6	$82.45 \pm 4.13$
7	$87.26 \pm 4.87$
8	$87.83 \pm 4.91$
9	$83.01 \pm 4.18$
10	$86.17 \pm 4.79$
ค่าเฉลี่ย	$85.16 \pm 4.59$

### ผลการหาปริมาณพอลิเนียม-210 จากตัวอย่างอาหารทะเล

จากการหาปริมาณพอลิเนียม-210 จากตัวอย่างอาหารทะเล ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 15 สามารถสรุปได้ว่า หอยแมลงภู่เป็นหอยที่มีปริมาณพอลิเนียมสูงที่สุด รองลงมา คือ หอยแครง ปลาตาโต ปลาลัง ปลาหู ปลาหูนา กุ้งแชบ๊วย ปลาหมึก ปลากระพงแดง และปลาทูแดง จากผลการหาปริมาณพอลิเนียมจากตัวอย่างอาหารทะเล (ดังแสดงในภาคผนวก) ที่นับรังสีโดยวิธีแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ ที่ได้รายงานไว้ในหัวข้อ "Long-lived radionuclides in the marine environment of Thailand (Mahapanyawong, S. และคณะ, 1992) ได้ผลดังตารางที่ 16 จะเห็นว่า ค่าการนับรังสีใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 15 ปริมาณพอลิเนียม-210 จากตัวอย่างอาหารทะเลบริเวณอ่าวไทย  
ปี ค.ศ.1993 โดยการนับรังสีด้วยเครื่องลิวทิดซินทิลเลชัน

ชนิดของตัวอย่าง	ค่าการนับ (cpm)			ปริมาณพอลิเนียม-210 Bq/kg dry wt.
	cpm <sub>1</sub>	cpm <sub>2</sub>	cpm <sub>3</sub>	
ปลากระพงแดง	0.78	1.31	1.89	1.92
ปลาลัง	1.25	1.76	2.35	6.17
ปลาทูแดง	0.72	1.25	1.83	1.38
ปลาตาโต	1.49	1.6	2.68	7.09
ปลาหูนา	1.15	1.75	2.25	5.49
ปลาหมึก	2.92	3.52	3.99	22.32
กุ้งแชบ๊วย	0.88	1.39	1.98	2.74
หอยแครง	2.52	3.12	3.59	18.43
หอยแมลงภู่	3.59	4.06	4.65	28.48
ปลาทู	1.2	1.8	2.3	5.95

เมื่อ cpm1 = ค่าการนับรังสีเมื่อหยด Po-210 ลงในตัวอย่าง 10  $\mu$ l

cpm2 = ค่าการนับรังสีเมื่อหยด Po-210 ลงในตัวอย่าง 20  $\mu$ l

cpm3 = ค่าการนับรังสีเมื่อหยด Po-210 ลงในตัวอย่าง 30  $\mu$ l

ตารางที่ 16 แสดงปริมาณพอลิเนียม-210 ในตัวอย่างอาหารทะเลบริเวณอ่าวไทย  
ปี ค.ศ. 1991 (Mahapanyawong, S., และคณะ, 1992)  
โดยการนับรังสีด้วยเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์

ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณพอลิเนียม-210 (Bq/kg dry wt)
ปลากระพงแดง	1.04
ปลาลัง	5.22
ปลาทูแดง	1.27
ปลาดูโต	7.36
ปลาทูนา	-
ปลาหมึก	19.26
กุ้งแชบ๊วย	3.21
หอยแครง	15.69
หอยแมลงภู่	32.01
ปลาทู	4.62



การหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวัดรังสี (Lower limit of detection, LLD)

Altshuler, B. และ Pasternack, B. (1963) ได้กำหนดค่าต่ำสุดของการวัดรังสี LLD ดังนี้

$$LLD = g (K_a + K_b) C_B^{0.5}$$

เมื่อ  $g$  = Calibration factor (Bq/count)

$C_B$  = ค่าการนับของแบคกราวด์ทั้งหมด

$K_a$  และ  $K_b$  = ค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์สูงสุดของมาตรฐานปกติของการเลือก  
กำหนดว่ามีความแรงรังสีสูงกว่าแบคกราวด์

( $a = 0.05$ ,  $K_a = 1.645$  และ  $b = 0.025$ ,  $K_b = 1.960$ )

สำหรับการวัดตัวอย่างจำนวน 2 กรัม เวลา 1000 นาที และค่าประสิทธิภาพการนับรังสีคือ 85.16%

ค่าการนับรังสีคือ  $1000 \times 60 \times 0.8516$  หรือ 51096 counts ต่อ Bq/2g

ค่า  $g = 1/51096 = 1.9571 \times 10^{-5}$

สำหรับการวัดแบคกราวด์เวลา 1000 นาที, ค่า  $C_B = 0.23 \times 1000 = 230$  counts.

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น LLD} &= 1.9571 \times 10^{-5} (1.645 + 1.960) \times 230^{0.5} \\ &= 1.9571 \times 10^{-5} \times (3.605) \times 15.1657 \\ &= 1.0699 \times 10^{-3} \text{ Bq/2g} \\ &= 0.5350 \text{ Bq/kg dry wt.} \end{aligned}$$