บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

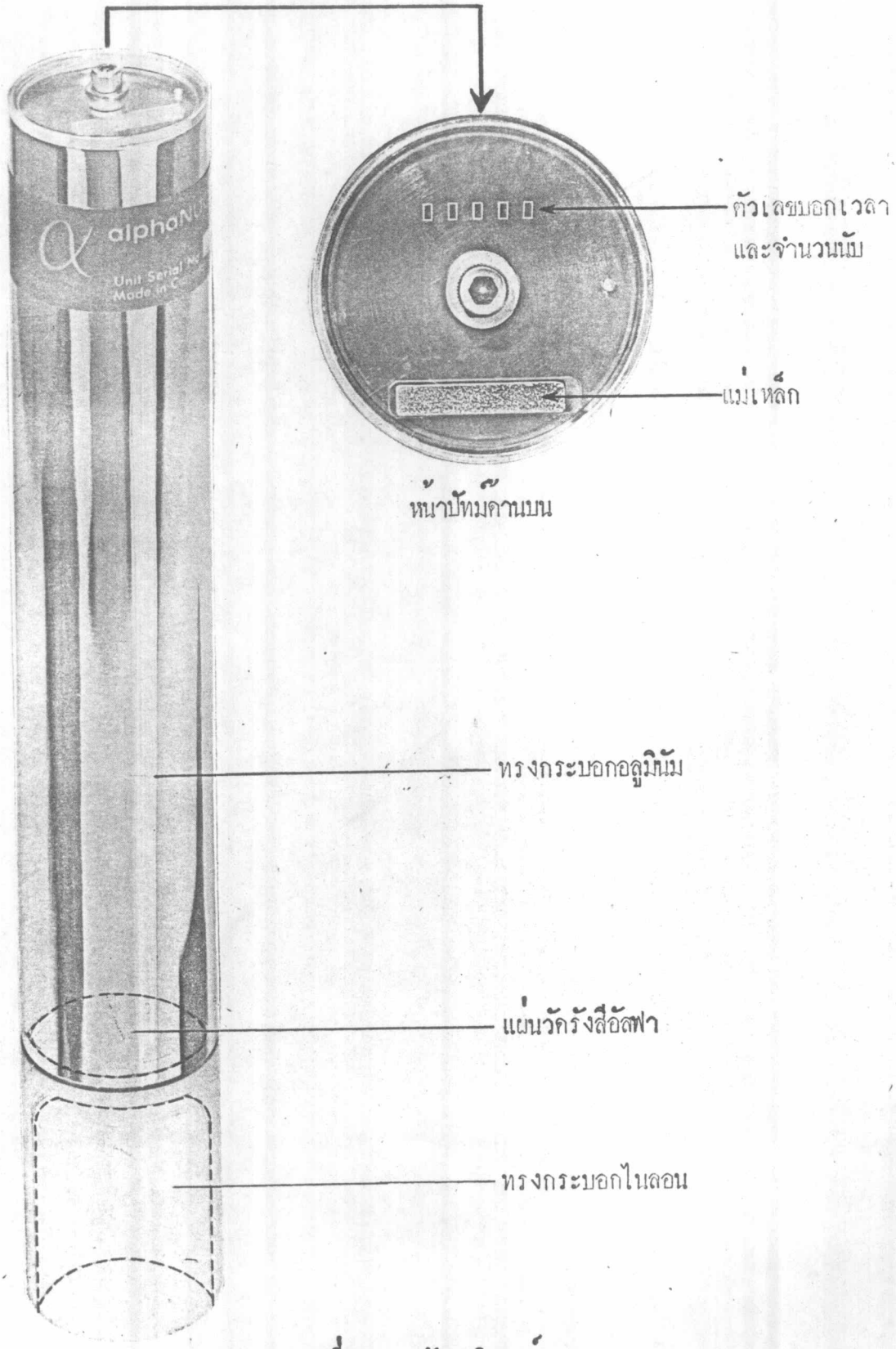
หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

4.1 วัสดุและอุปกรณ์วัดอนุภาคอัลฟา

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้วัดอนุภาคอัลฟา สำหรับการวัดการแตกตัวเรดอน ในการวิจัยมีดังนี้

4.1.1 ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท สำหรับบันทึกรอยอนุภาคอัลฟา ฟิล์มชนิดนี้ออกแบบมาใช้ในงานด้านวัดรังสีด้วยวิธีการแทรค-เอทช์ โดยเฉพาะ มีคุณสมบัติในการบันทึกรอยของโปรตอนที่มีพลังงานต่ำกว่า 100 keV อนุภาคอัลฟาที่มีพลังงานต่ำกว่า 4 MeV อนุภาคมีประจุขนาดหนักและฟิชชันแฟรกเมนต์ (fisson fragments) ไม่มีความไวโดยตรงต่อรังสีแกมมา รังสีเอกซ์ รังสีเบตา โปรตอนพลังงานสูง และ นิวตรอน ลักษณะของฟิล์มเป็นแผ่นบาง ประกอบด้วยเซลลูโลสไนเตรทสีแดงเข้มหนา 10 ไมครอน (micron) เคลือบอยู่บนด้านหนึ่งของแผ่นโพลีเอสเตอร์ (polyester) ใส ซึ่งหนา 0.1 มิลลิเมตร ด้านที่เคลือบเซลลูโลสไนเตรทเป็นด้านที่ใช้บันทึกรอยของอนุภาค

4.1.2 อัลฟามิเตอร์ (alphameter) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดการแตกตัวเรดอน และการแตกตัวธรอน ที่ออกแบบสำหรับใช้ในการสำรวจยูเรเนียมและธอเรียม ใช้ในการวิจัยเพื่อตรวจวัดการแตกตัวเรดอนเทียบกับการใช้ถ้วยสำรวจยูเรเนียมแบบแทรค-เอทช์ ลักษณะของอัลฟามิเตอร์เป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 14 นิ้ว ทรงกระบอกส่วนบนเป็นอลูมินัม (aluminum) ยาว 11 นิ้ว ส่วนล่างเป็นไนลอน (nylon) ยาว 3 นิ้ว ด้านบนสุดของอุปกรณ์เป็นหน้าปัทม์บอกเวลา และจำนวนนับ พร้อมด้วยช่องใส่แม่เหล็กซึ่งใช้เป็นตัวเปิดและปิดสวิทช์ ภายในทรงกระบอกอลูมินัมบรรจุส่วนของอิเลคตรอนิคส์ประกอบด้วยปรีแอมปลิฟายเออร์ (preamplifier) แอมปลิฟายเออร์ (amplifier) เครื่องนับ (counter) เครื่องตั้งเวลา (timer) และแบตเตอรี่ (battery) ส่วนล่างสุดภายในทรงกระบอกอลูมินัม เป็นหัววัดรังสีอัลฟาชนิด silicon diffused junction มีแผ่นพลาสติกบาง ๆ กั้นระหว่างหัววัดรังสีกับโพรงทรงกระบอกไนลอนซึ่ง



รูปที่ 4.1 อัลฟามิเตอร์

อยู่ถัดจากส่วนที่เป็นอลูมินัมลงมา คุณสมบัติและลักษณะของอัลฟามิเตอร์จากคู่มือการใช้ (operating manual) มีดังนี้คือ

Detector	Silicon Diffused Junction
Detector Active Area	400 mm^2
Energy Response	$\geqslant$ 1 MeV (alpha only)
Counting Capacity	100000
Clock Capacity	999.99 hours
Temperature Range	-15°C to 40°C
Batteries	Two Mercury PX 4 Mallory (life 1500-2500 hours at 0-25°C) or Eveready EPX 4 Two Carbon Zinc 22.5 volt 505 Eveready (life 1 year)
Humidity	No Limitations
Housing	Nylon and Aluminum
Weight	737 grams (1.6 lbs)
Size	5.1 cm diameter x 35 cm(2"diameter x 14")

อัลฟามิเตอร์ใช้แม่เหล็กเป็นตัวเปิดและปิดสวิทช์ เมื่อจะใช้งานต้องนำแม่เหล็กไปวางในช่องใส่แม่เหล็ก ขณะที่วางแม่เหล็กลงไปจะมีแสงไฟเป็นจุดสีแดงวาบขึ้นประมาณ 2 วินาที ซึ่งแสดงว่าอัลฟามิเตอร์เริ่มทำงานแล้ว เมื่อต้องการดูจำนวนนับและเวลา ต้องนำแบตเตอรี 9 โวลท์ ไปเชื่อมต่อระหว่างหัวนอตซึ่งอยู่กึ่งกลางหน้าปัทม์ด้านบนอัลฟามิเตอร์ กับหัวนอตด้านข้าง โดยให้ขั้วบวกต่อกับหัวนอตด้านข้าง ในขณะที่ต่อแบตเตอรีเข้าไปเครื่องนับและเครื่องตั้งเวลาจะหยุด ส่วนที่หน้าปัทม์ด้านบนจะปรากฏตัวเลขสีแดงจำนวนนับและเวลาสลับกัน เมื่อเลิกใช้งานนำแม่เหล็กออกจากช่องใส่แม่เหล็ก เพื่อปิดสวิทช์อัลฟามิเตอร์

4.2 วิธีกัดรอยบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท

การกัดรอยบนฟิล์มชนิดนี้เลือกใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 10 % หรือ 2.5 นอร์มาล (normal) เนื่องจากให้คุณภาพในการกัดรอยของอนุภาคดีที่สุด(34) ขั้นตอนในการล้างฟิล์มมีดังนี้คือ

4.2.1 ใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 100 มิลลิลิตร ลงในบีก-เกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงในสารละลาย และปิดด้วยกระจกนาฬิกา ใส่น้ำประมาณ 250 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร

4.2.2 นำบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร ในข้อ 4.2.1 ใส่ลงในบีกเกอร์ 500 มิล-ลิลิตร แล้วนำไปตั้งบนเตาไฟฟ้า (hot plate) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการ การจัดอุปกรณ์แสดงไว้ในรูปที่ 4.2

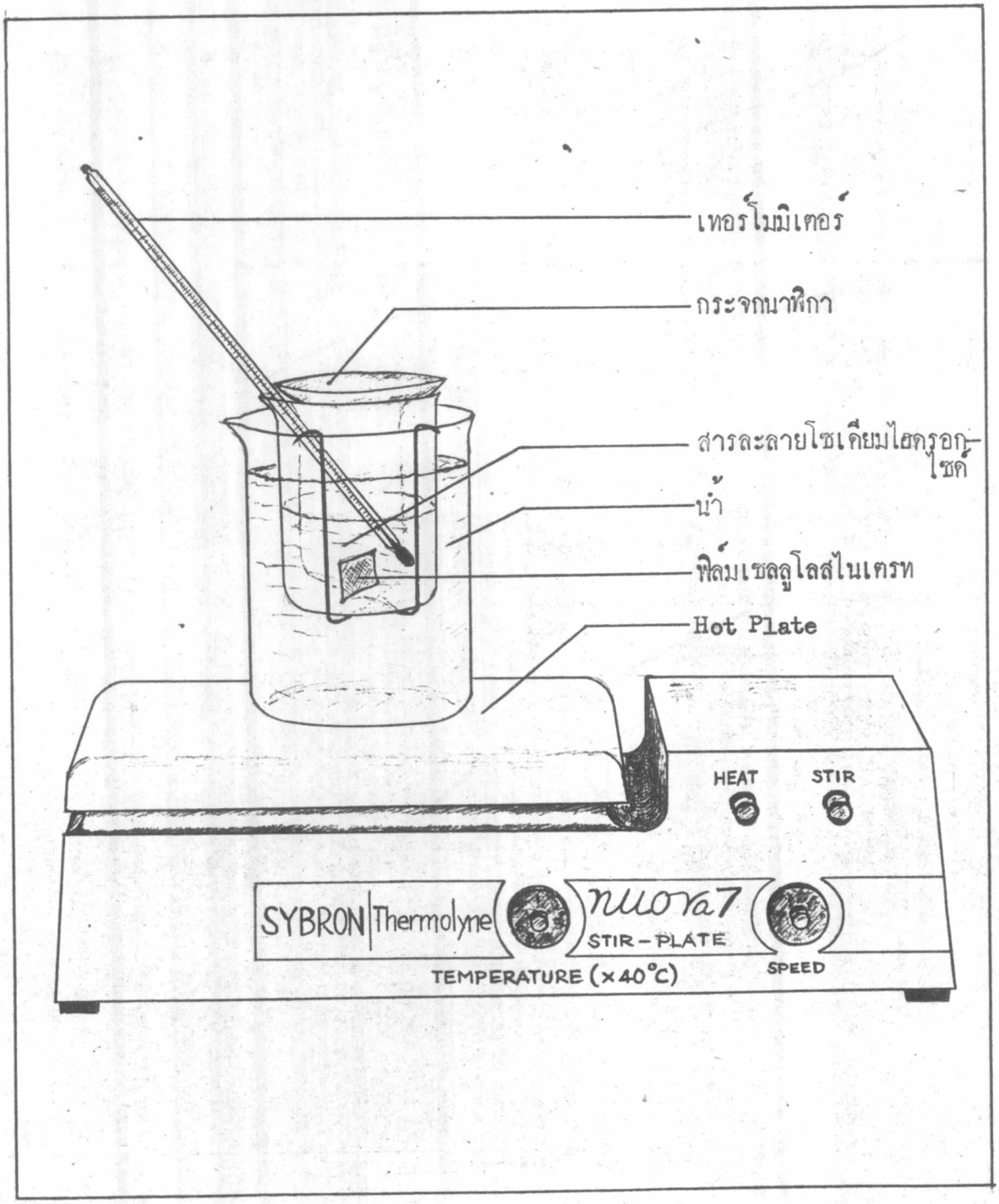
4.2.3 เมื่ออุณหภูมิของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตรงตามต้องการแล้ว ใส่ฟิล์มที่จะล้างลงไปพร้อมกับเริ่มจับเวลา ระหว่างที่ล้างฟิล์มเขย่าบีกเกอร์ที่บรรจุโซเดียมไฮดรอกไซด์บ้างเป็นครั้งคราว

4.2.4 เมื่อครบเวลา นำฟิล์มขึ้นทันทีแล้วนำไปแช่น้ำ โดยให้น้ำไหลผ่านช้า ๆ ประมาณ 30 นาที เพื่อล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกให้หมด

4.2.5 นำฟิล์มขึ้นจากน้ำ ผึ่งให้แห้ง แล้วจึงนำไปใส่กรอบสไลด์ เพื่อนับรอยด้วยกล้องจุลทรรศน์ต่อไป

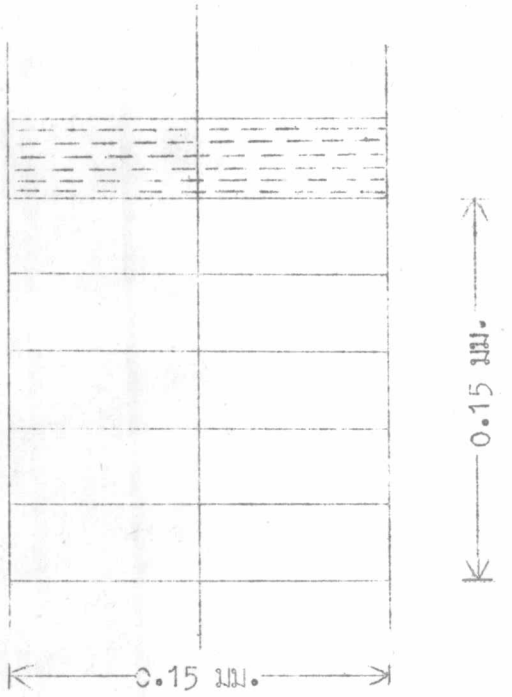
4.3 วิธีนับรอยด้วยกล้องจุลทรรศน์

การนับรอยในการวิจัยนี้ใช้กล้องจุลทรรศน์ Zeiss เลือกใช้กำลังขยายประมาณ 600 เท่า นับจำนวนรอยแต่ละครั้งในกรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังแสดงในรูปที่ 4.3 กรอบนี้ติดอยู่ที่เลนส์ใกล้ตา (eye piece) เมื่อเทียบกับสเกลที่เป็นวัตถุ (ob-



รูปที่ 4.2 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการกัดรอยบนฟิล์ม

ject) แล้วจะมีขนาด 0.15 มม. x 0.15 มม. กล่าวคือการนับแต่ละครั้งจะนับในพื้นที่เท่ากับ 0.0225 ตารางมิลลิเมตรบนฟิล์ม อนึ่งในกรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังกล่าวยังจะแบ่งออกเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเล็ก ๆ 10 ช่อง เพื่อสะดวกในการนับอีกด้วย



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะกรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มองเห็นจากกล้องจุลทรรศน์ ที่ใช้ในการนับรอย

การนับจำนวนรอยบนฟิล์ม จะเลื่อนไปนับตามจุดต่าง ๆ บนฟิล์มหลายจุดแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ย } (\bar{X}) = \frac{\sum X_i}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{N - 1}}$$

เมื่อ X = ค่าเฉลี่ยของจำนวนรอย

X_i = จำนวนรอยที่นับได้ในแต่ละครั้ง

N = จำนวนครั้งที่นับ

σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.1 ตัวอย่างผลการนับรอย (นำมาจากการทดลองในหัวข้อ 4.7)

ตารางที่ 4.1

ผลการนับรอย 100 ครั้ง บนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท ในการตรวจวัดกาซเรดอนในดินด้วยถ้วยสำรวจยูเรเนียม ที่อำเภอเมือง จังหวัดตรัง (หมายเลข 2)เป็นเวลา 35 วัน

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	66	57	62	66	56	54	60	65	59	51
2	68	38	53	63	60	57	71	53	52	60
3	50	53	55	52	50	58	62	55	59	55
4	51	44	64	52	52	44	65	48	50	61
5	60	50	36	52	52	55	47	56	53	44
6	42	36	38	42	33	55	65	69	62	62
7	51	53	56	58	59	75	69	63	68	61
8	47	57	69	63	56	62	60	55	58	63
9	47	57	59	64	54	58	51	49	59	50
10	49	56	58	64	54	47	73	48	65	60

ได้ ค่าเฉลี่ย = 55.85 รอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 8.27 รอย

4.4 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกัดรอยบนแผ่นฟิล์ม

การหาระยะเวลา และ อุณหภูมิ ที่เหมาะสมในการกัดรอยของอนุภาคอัลฟา ที่เกิดจากการสลายตัวของกาซเรดอนและกาซโธรอน บนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % แบ่งการวิจัยออกเป็น 3 ตอนดังนี้คือ

4.4.1 หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกัดรอยของอนุภาคอัลฟา ที่เกิดจากกาซเรดอน ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส การวิจัยนี้ทำโดยนำแร่ยูเรเนียมจากแหล่งแร่ยูเรเนียม อำเภอภู – เวียง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งมีปริมาณยูเรเนียม 0.048 % จำนวน 465 กรัม บดหยาบ ๆ ใส่ลงในกล่องพลาสติกใสขนาด 15 ซม. x 20 ซม. x 25 ซม. ติดฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทขนาด 9 ซม. x 12 ซม. ไว้ที่ฝากล่องด้านใน ทิ้งให้ฟิล์มอาบรังสีอัลฟาจากกาซเรดอนเป็นเวลา 36 วัน จึงนำฟิล์มออกจากกล่อง ตัดฟิล์มออกมาให้แต่ละแผ่นมีขนาด 3 ซม. x 2 ซม. นำฟิล์ม 2 แผ่นไปกัดรอยด้วยสารละลายโซ – เดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นับจำนวนรอยด้วยกล้องจุลทรรศน์ 100 ครั้ง แล้วนำฟิล์มไปกัดรอยต่ออีก 1 ชั่วโมง และนับจำนวนรอยอีก 100 ครั้ง ทำเช่นนี้สลับกันไป เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นรอย

นำฟิล์มอีก 2 แผ่น ไปกัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที นับจำนวนรอย 100 ครั้ง กัดรอยต่ออีกครั้งละ 15 นาที และนับจำนวนรอย 100 ครั้ง หลังการกัดรอยทุกครั้ง

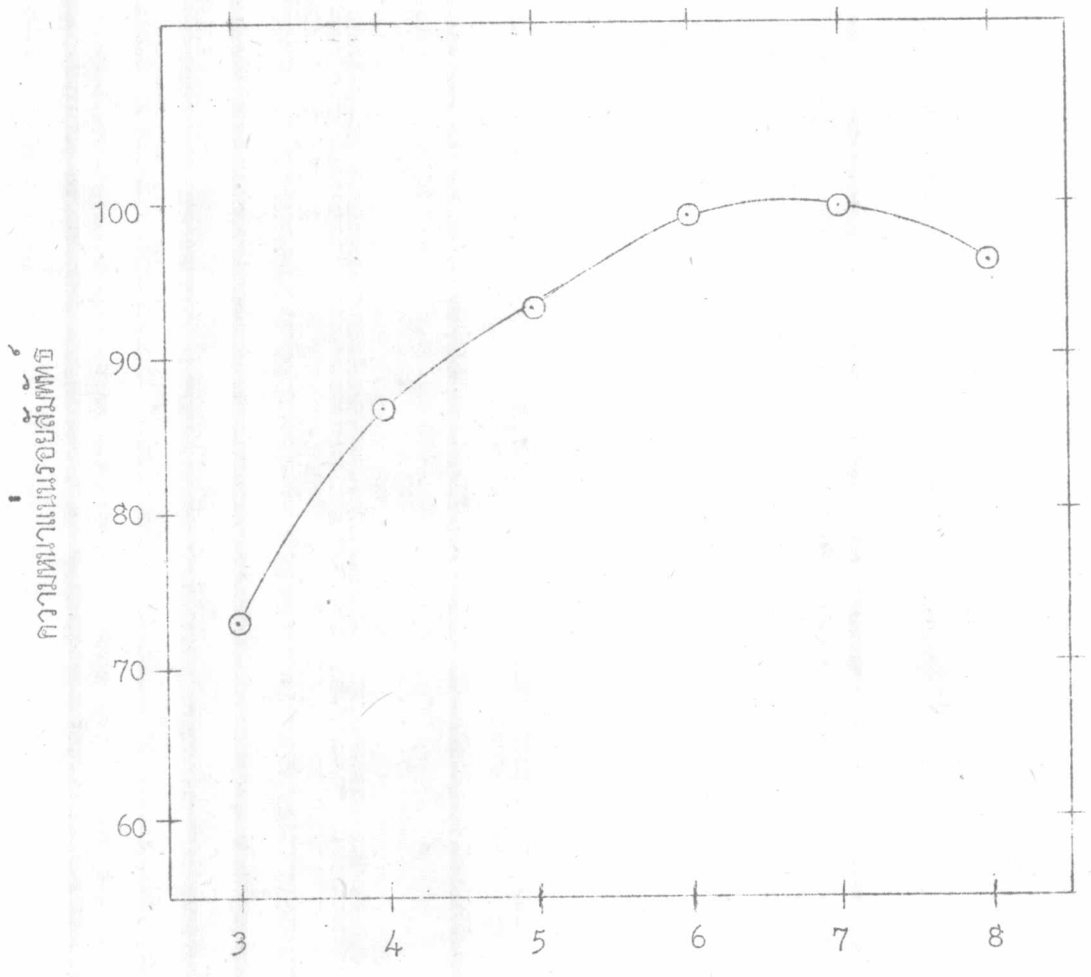
ฟิล์มอีก 2 แผ่น กัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นับจำนวนรอย 100 ครั้ง กัดรอยต่ออีกครั้งละ 5 นาที และนับจำนวนรอย 100 ครั้ง หลังการกัดรอยทุกครั้ง

ตารางที่ 4.2

ผลการนับรอยของอนุภาคอัลฟาที่เกิดจากกาซเรดอน เมื่อกัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลาในการกัดรอย (ชั่วโมง)	ความหนาแน่นรอย		ความหนาแน่นรอยสัมพัทธ์*		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
3	103.18	95.16	74.67	71.45	73.06
4	116.36	119.56	84.21	89.77	86.99
5	128.00	125.96	92.63	94.58	93.61
6	136.84	133.14	99.03	99.97	99.50
7	138.18	133.18	100.00	100.00	100.00
8	131.14	131.50	94.98	98.74	96.86

* เทียบกับความหนาแน่นรอย เมื่อกัดรอยเป็นเวลา 7 ชั่วโมง



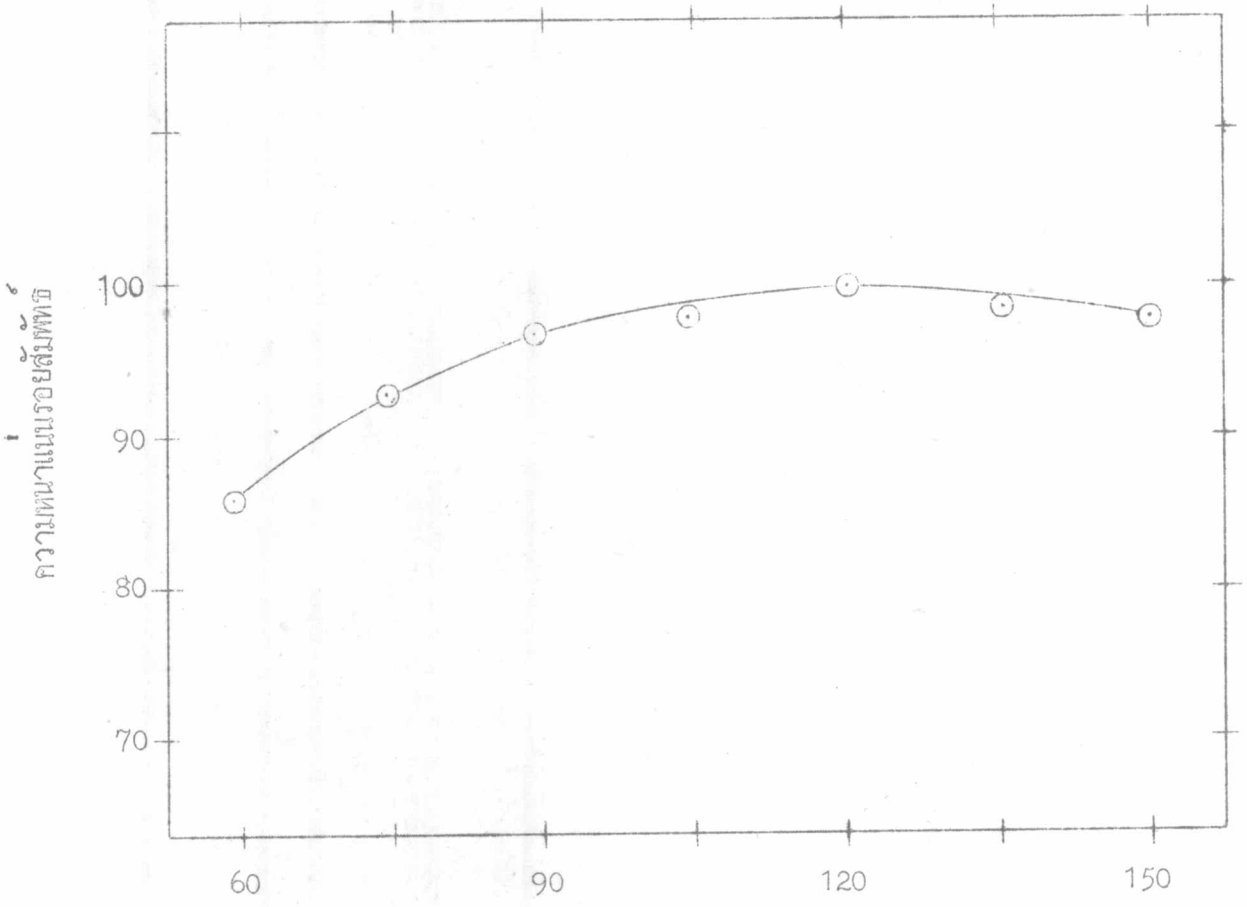
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรอยของอนุภาคอัลฟา ที่เกิดจากกาซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทกับระยะเวลาในการกัดรอย เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.3

ผลการนับรอยของอนุภาคอัลฟาที่เกิดจากกาซเรดอน เมื่อกัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลาในการกัดรอย (นาที)	ความหนาแน่นรอย		ความหนาแน่นรอยสัมพัทธ์*		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
60	97.48	109.89	86.01	85.52	85.77
75	120.00	104.06	93.39	91.81	92.60
90	126.12	107.72	98.15	95.04	96.60
105	127.66	109.24	99.35	96.38	97.87
120	128.50	113.34	100.00	100.00	100.00
135	126.28	111.64	98.27	98.50	98.39
150	126.08	110.02	98.12	97.07	97.60

* เทียบกับความหนาแน่นรอยเมื่อกัดรอยเป็นเวลา 120 นาที



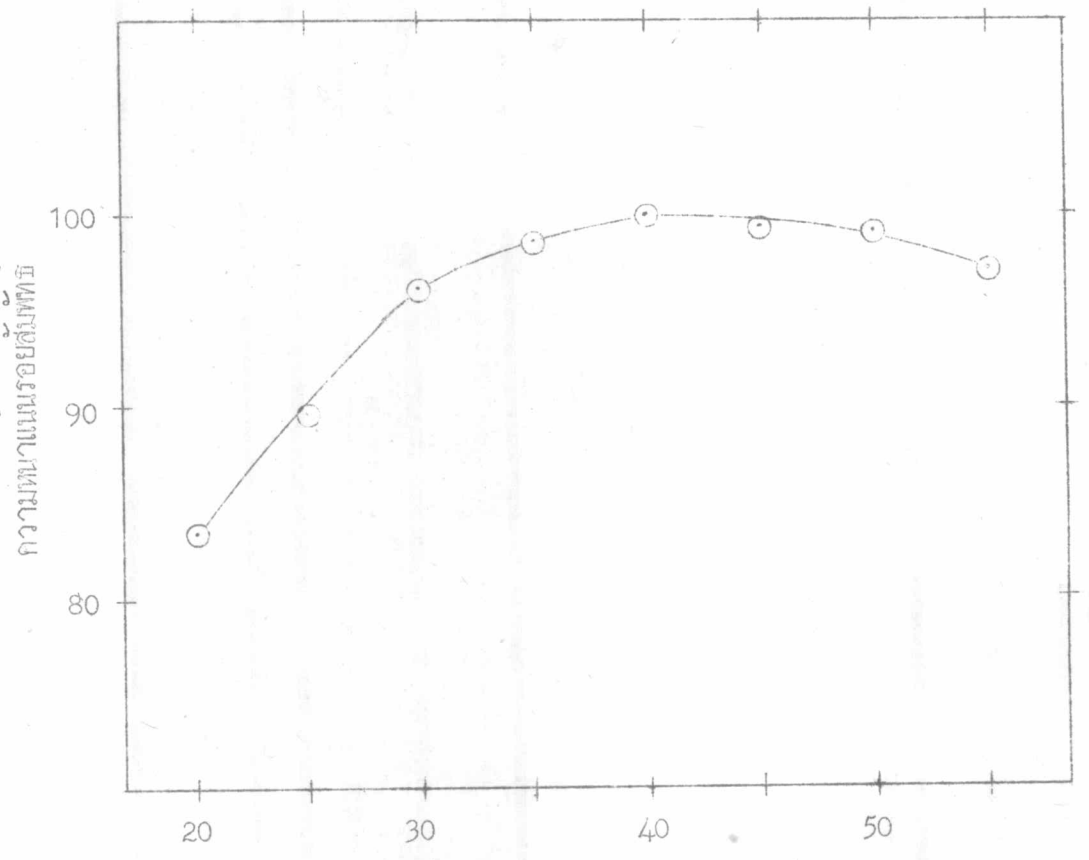
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรอยของอนุภาคอัลฟา ที่เกิดจากกาซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลสไนเกรทกับระยะเวลาในการกัดรอย เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.4

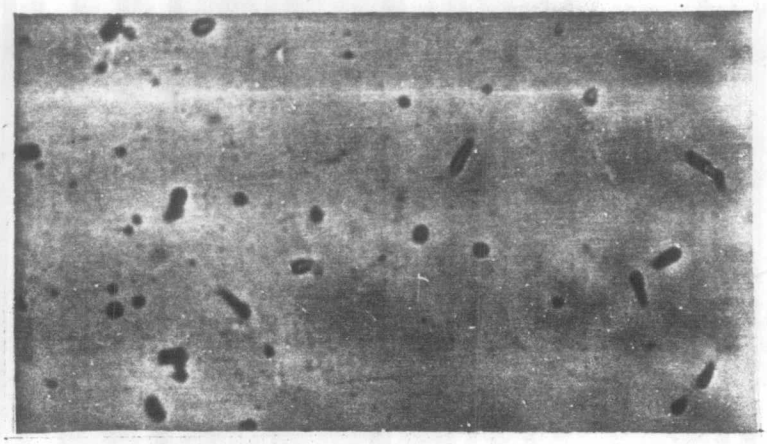
ผลการรับรอยของอนุภาคอัลฟาที่เกิดจากกาซเรดอน เมื่อกัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลาในการกัดรอย (นาที)	ความหนาแน่นรอย		ความหนาแน่นรอยสัมพัทธ์*		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
20	133.56	124.38	80.90	86.16	83.53
25	144.66	132.74	87.62	91.95	89.79
30	158.36	139.38	95.92	96.55	96.24
35	163.52	142.48	99.04	98.70	98.87
40	165.10	144.36	100.00	100.00	100.00
45	163.56	144.72	99.07	100.25	99.66
50	163.40	143.50	98.97	99.40	99.19
55	156.80	143.28	94.97	99.25	97.11

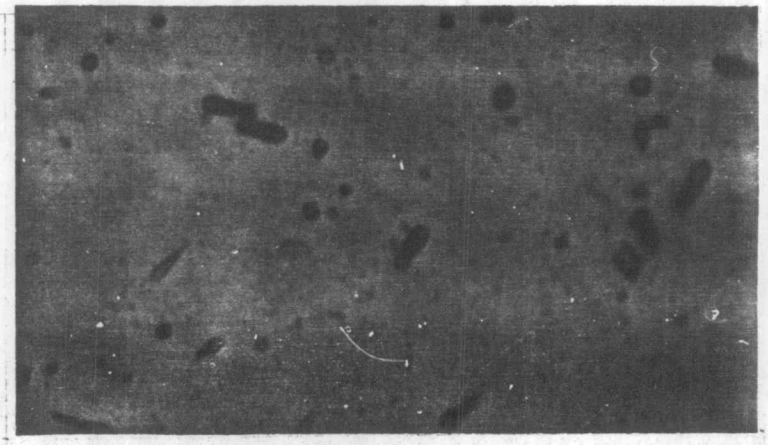
* เทียบกับความหนาแน่นรอย เมื่อกัดรอยเป็นเวลา 40 นาที



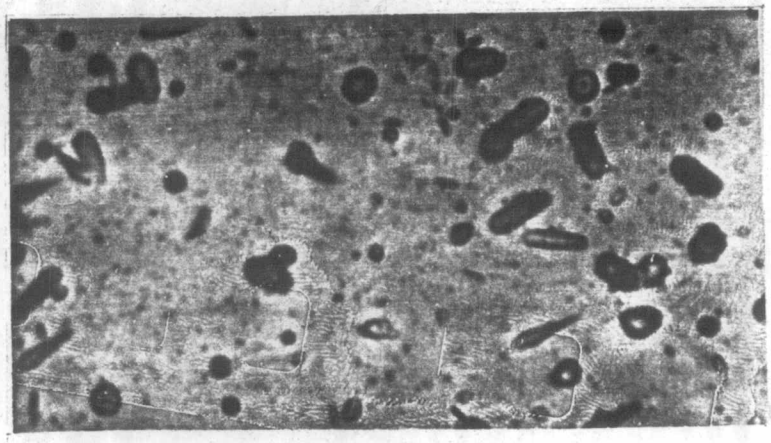
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรอยของอนุภาคอัลฟา ที่เกิดจากการเรดอน บนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท กับระยะเวลาในการกัดรอย เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



(ก)



(ข)

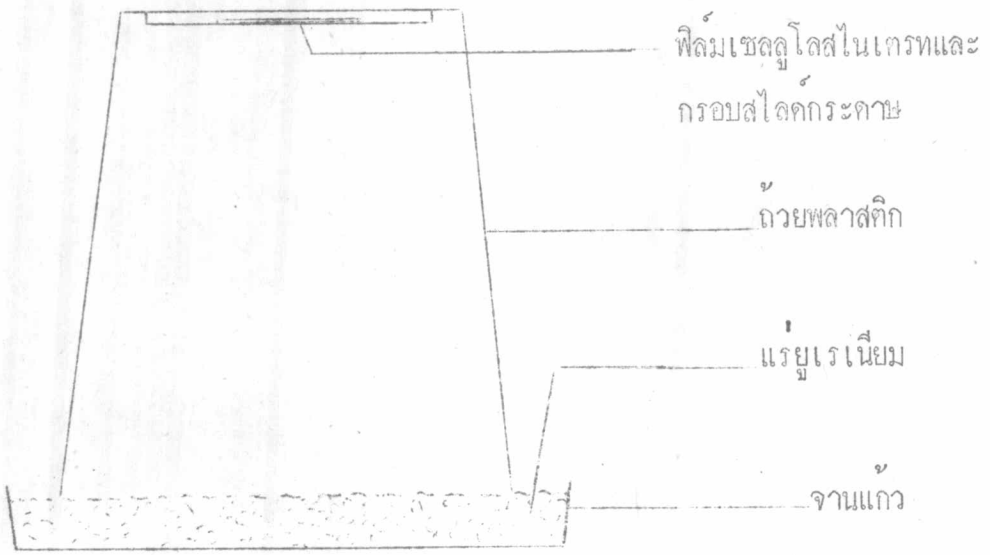


(ค)

รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายรอยของอนุภาคอัลฟาที่เกิดจากการซเรดอน บนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท เมื่อกัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที (ค) 55 นาที

4.4.2 เปรียบเทียบการถัดรอยบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

การวิจัยขั้นนี้มีจุดประสงค์ที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบันทึกรอยของอนุภาคอัลฟาที่เกิดจากกาซเรดอน (ดูจากความหนาแน่นรอย) เมื่อถัดรอยที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส การทดลองทำโดยติดฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท ขนาด 4 ซม. x 4 ซม. ใส่กรอบสไลด์กระดาษ แล้วนำไปปะติดไว้ที่ก้นถ้วยพลาสติกด้านใน ซึ่งใช้เป็นถ้วยสำรวจยูเรเนียม ถ้วยพลาสติกที่ใช้มีความสูง 8.4 เซนติเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านปากถ้วยและก้นถ้วย 7.4 และ 5.5 เซนติเมตร ตามลำดับ นำถ้วยดังกล่าวไปครอบแร่ยูเรเนียม ซึ่งมีปริมาณยูเรเนียม 0.048 เปอร์เซนต์ (นำมาจากการวิจัยในหัวข้อ 4.4.1) ซึ่งใส่ไว้ในจานแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน จึงนำฟิล์มออกมาตัดแบ่งเป็น 3 ส่วน ๆ ละ เท่า ๆ กัน นำฟิล์มแต่ละแผ่นไปถัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % ที่อุณหภูมิ 40 องศา



รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงการครอบแร่ยูเรเนียมในจานแก้ว ด้วยถ้วยสำรวจยูเรเนียม

ศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที นับจำนวนรอยแผ่นละ 100 ครั้ง การทดลองขั้นนี้ทำ 3 ชุด ปรากฏผลตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

เปรียบเทียบความหนาแน่นรอยของอนุภาคอัลฟาที่เกิดจากกาซเรดอน เมื่อกัดรอยที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

เงื่อนไขในการกัดรอย	ความหนาแน่นรอย		
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
40° ซ 7 ชั่วโมง	155.84 ± 13.26	120.48 ± 10.91	160.60 ± 13.95
50° ซ 2 ชั่วโมง	153.82 ± 11.85	116.28 ± 11.22	162.44 ± 14.74
60° ซ 40 นาที	155.46 ± 12.57	115.36 ± 12.04	158.72 ± 13.46

4.4.3 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกัดรอยของอนุภาคอัลฟา ที่เกิดจากกาซโธรอน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

การวิจัยขั้นนี้ นำธอเรียมไดออกไซด์ จำนวน 20 กรัม ใส่ไว้ในกล่องพลาสติกใสขนาด 13 ซม. x 15 ซม. x 21 ซม. ติดฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทขนาด 9 ซม. x 12 ซม. ไว้ที่ฝาด้านใน ทิ้งฟิล์มให้อาบรังสีอัลฟาจากกาซโธรอนเป็นเวลา 51 วัน นำฟิล์มออกมา ตัดฟิล์มให้มีขนาด 3 ซม. x 2 ซม. 2 แผ่น นำไปกัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นับจำนวนรอย 100 ครั้ง แล้วนำฟิล์มไปกัดรอยต่ออีกครั้งละ 5 นาที นับจำนวนรอย 100 ครั้ง หลังการกัดรอยทุกครั้งเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นรอย ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และกราฟในรูปที่ 4.9

4.5 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรอยกับปริมาณของยูเรเนียมและเรเดียม

4.5.1 หาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรอยของอนุภาคอัลฟา ที่เกิดจากกาซเรดอน กับปริมาณของยูเรเนียม

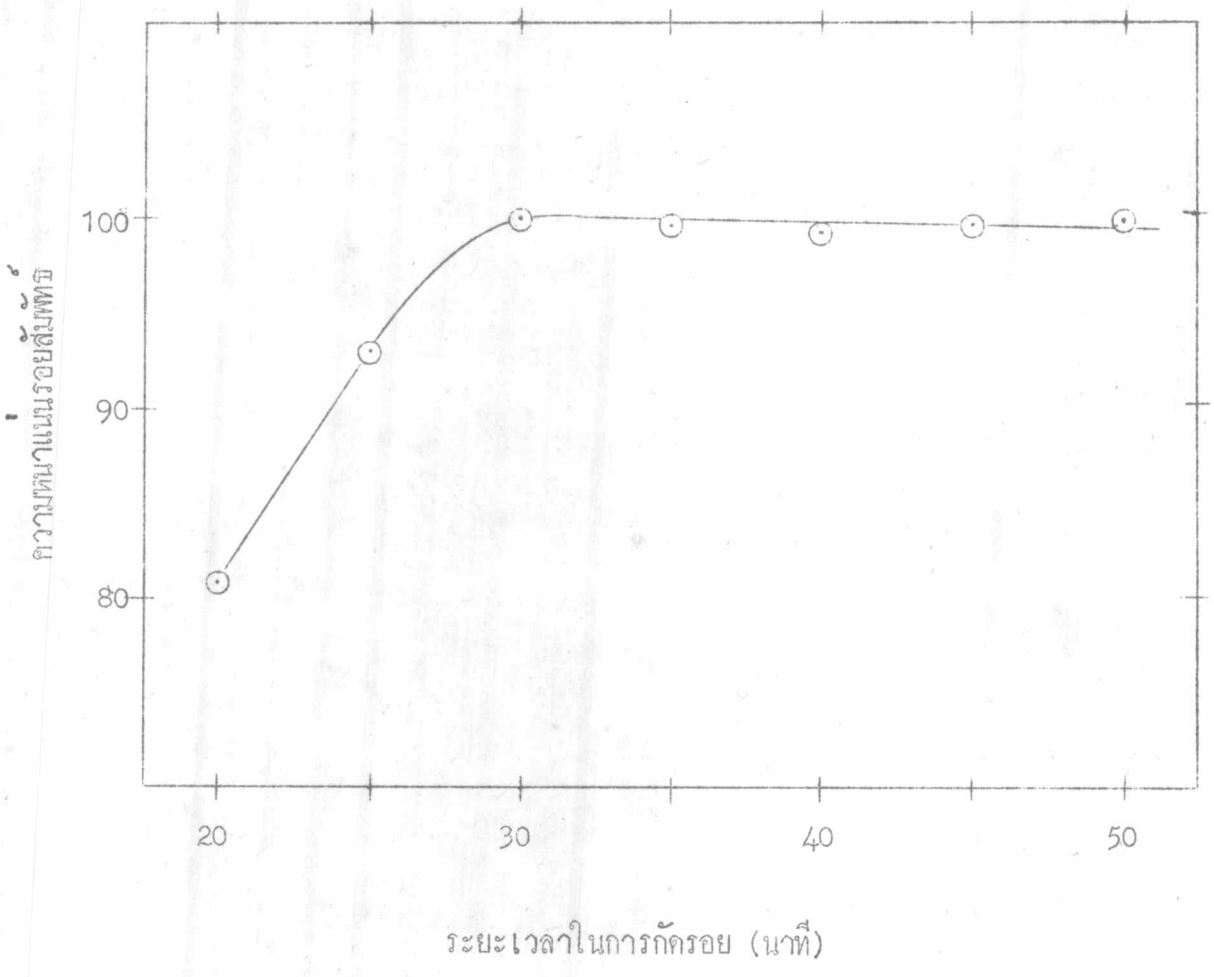
การวิจัยนี้ใช้แร่ยูเรเนียมมาตรฐานจาก IAEA ความเข้มข้น 0.039, 0.140 และ 0.527 เปอร์เซนต์ยูเรเนียมออกไซด์ เป็นต้นกำเนิดกาซเรดอน นำแร่มาตรฐานชนิดละ 25 กรัม ใส่ลงในจานพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว จานละชนิดใช้ถ้วยสำรวจยูเรเนียม 3 ใบ ซึ่งติดฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทไว้ที่ก้นถ้วยด้านใน ครอบแร่มาตรฐานแต่ละชนิดไว้เป็นเวลา 15 วัน เอาถ้วยออก นำฟิล์มไปกัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที นับจำนวนรอยบนฟิล์มแต่ละแผ่น ๆ ละ 100 ครั้ง ทำการวิจัยซ้ำโดยใช้ระยะเวลาในการครอบแร่มาตรฐานเพิ่มเป็น 30 วัน ผลของการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6

ผลการนับรอยอนุภาคอัลฟาที่เกิดจากกาซโธรอน เมื่อกัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลาในการกัดรอย (นาที)	ความหนาแน่นรอย		ความหนาแน่นรอยสัมพัทธ์ *		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
20	82.24	100.94	78.91	82.83	80.87
25	95.28	115.90	90.76	95.11	92.94
30	104.98	121.86	100.00	100.00	100.00
35	104.26	122.02	99.31	100.13	99.72
40	104.42	120.86	99.47	99.18	99.33
45	103.38	121.34	99.48	99.57	99.53
50	103.06	123.62	98.17	101.44	99.81

* เทียบกับความหนาแน่นรอยเมื่อกัดรอยเป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรอยของอนุภาคอัลฟา ที่เกิดจากการโธรอน บนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท กับระยะเวลาในการกัดรอย เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.7

แสดงความหนาแน่นรอยของอนุภาคอัลฟาที่เกิดจากกาซเรดอน
จากแร่ยูเรเนียม 25 กรัม ซึ่งมีความเข้มข้นต่าง ๆ

% ยูเรเนียมออกไซด์	จำนวนรอย/มม.^{2} ·วัน		
	ครั้งที่ 1 *	ครั้งที่ 2 **	เฉลี่ย
0.039	6.07	5.73	5.90
0.140	12.00	13.72	12.86
0.527	26.82	28.66	27.74

* ใช้เวลาครอบแร่ยูเรเนียม 15 วัน

** ใช้เวลาครอบแร่ยูเรเนียม 30 วัน

4.5.2 หาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรอยของอนุภาคอัลฟาที่เกิดจากกาซเรดอน กับปริมาณเรเดียม

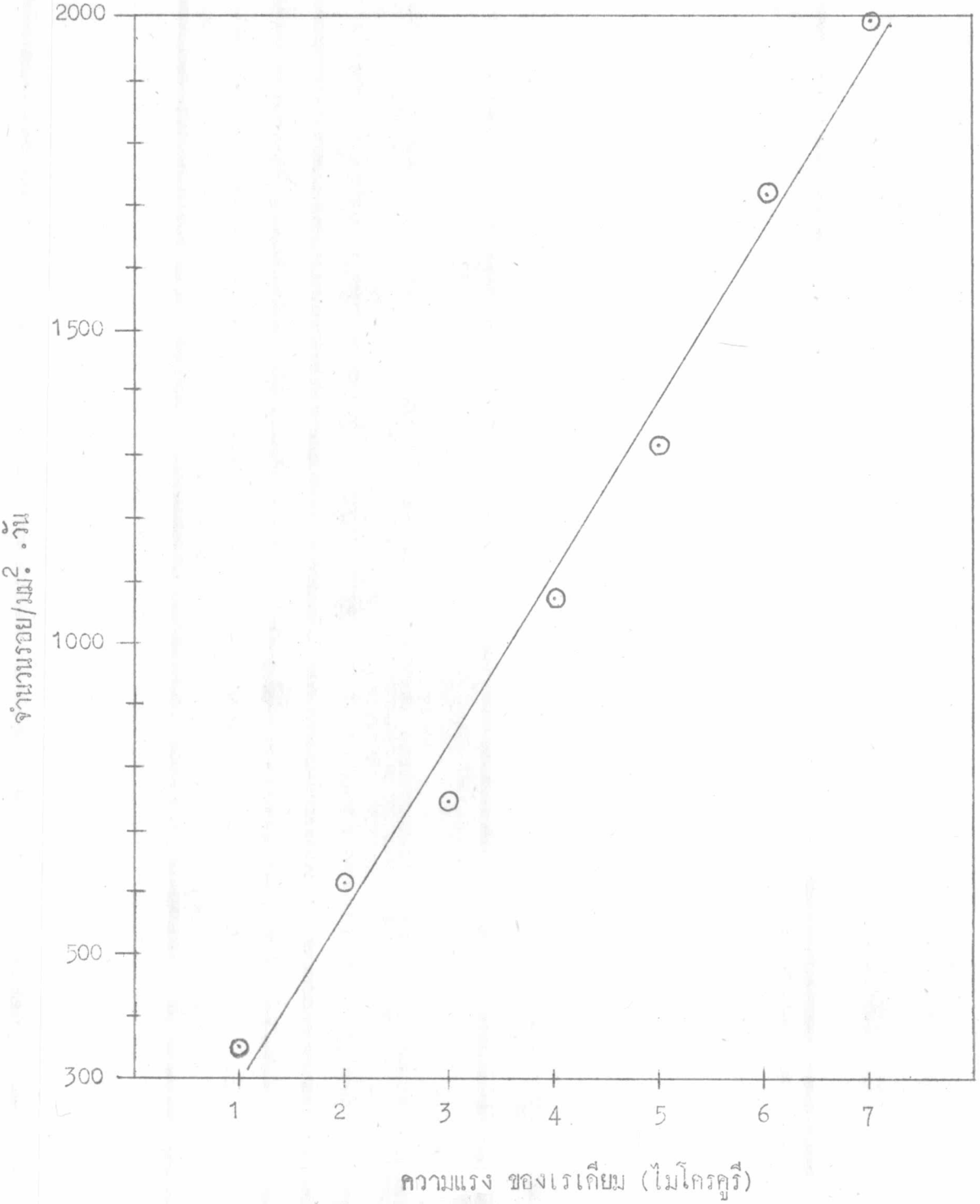
การวิจัยขั้นนี้ใช้เรเดียมจาก **The Radiochemical Centre Ltd,** Amersham ประเทศอังกฤษ เป็นต้นกำเนิดกาซเรดอน ดำเนินการวิจัยโดยดูดสารละลายเรเดียมซึ่งมีความเข้มข้น 1 มิลลิคูรี (millicurie, mCi) ต่อ ซี.ซี. มา 0.1 ซี.ซี. ผสมน้ำกลั่น 9.9 ซี.ซี. ดูดสารละลายที่ได้มา 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 ซี.ซี. นำสารละลายเรเดียมที่ดูดมาแต่ละครั้ง ใส่ลงในถ้วยพลาสติกใส ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์-

กลาง 1 นิ้ว 7 ถ้วย ตามลำดับ ทิ้งสารละลายเรเดียมในแต่ละถ้วยให้ระเหยแห้ง จะได้ความแรง (activity) ของเรเดียมในแต่ละถ้วยเท่ากับ 1,2,3,4,5,6, และ 7 ไมโครคูรี่(microcurie, μCi) ตามลำดับ นำถ้วยสำรวจยูเรเนียมซึ่งติดฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทไว้ที่ก้นถ้วยด้านใน 7 ใบ ไปครอบถ้วยบรรจุเรเดียมไว้ เป็นเวลา 2 วัน นำถ้วยออก กัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที นับจำนวนรอยบนฟิล์มแผ่นละ 100 ครั้ง ทำการวิจัยซ้ำโดยใช้เวลาในการครอบเรเดียมเพิ่มเป็น 4 วัน

ตารางที่ 4.8

แสดงความหนาแน่นรอยของอนุภาคอัลฟาที่เกิดจากกาซเรดอน จากต้นกำเนิดเรเดียมความแรง ต่าง ๆ

ความแรงของเรเดียม (ไมโครคูรี)	จำนวนรอย/มม^2 ·วัน		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	323.78	324.89	324.34
2	607.56	619.11	613.34
3	733.78	759.56	746.67
4	1113.78	1042.44	1078.11
5	1297.33	1336.22	1316.78
6	1804.89	1632.44	1718.67
7	2081.33	1907.78	1994.56



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรอยของอนุภาคอัลฟา ที่เกิดจากกาซเรดอน กับ ความแรงของเรเดียม

เนื่องจากข้อมูลมีแนวโน้มที่จะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงจึงนำข้อมูลที่ได้ไปทดสอบสมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation) จากสมการ

$$r = \frac{N\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{\left[N\sum X^2 - (\sum X)^2\right]\left[N\sum Y^2 - (\sum Y)^2\right]}} \quad (36)$$

เมื่อ r = ค่าสัมประสิทธิ์สมพันธ์

X = ความแรง ของเรเดียม เป็น ไมโครคูรี

Y = จำนวนรอย/มม.^{2} · วัน

N = จำนวนข้อมูล

ได้ค่าสัมประสิทธิ์สมพันธ์ = 0.9944 หาสมการของเส้นตรงที่เหมาะสมโดยใช้ method of least squares จากสมการ

$$a_1 = \frac{N\sum XY - \sum X \sum Y}{N\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (36)$$

$$a_0 = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum XY \sum X}{N\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (36)$$

เมื่อ a_0 = ค่าจุดตัดบนแกนตั้ง (y-intercept)

a_1 = ค่าความชัน (slope)

ได้สมการของเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดเป็น $y = 278.27\ x + 0.149$

4.6 การทดสอบความสามารถของถ้วยสำรวจยูเรเนียมแบบแทรค–เอทช์ ในการหาตำแหน่งแร่ยูเรเนียม

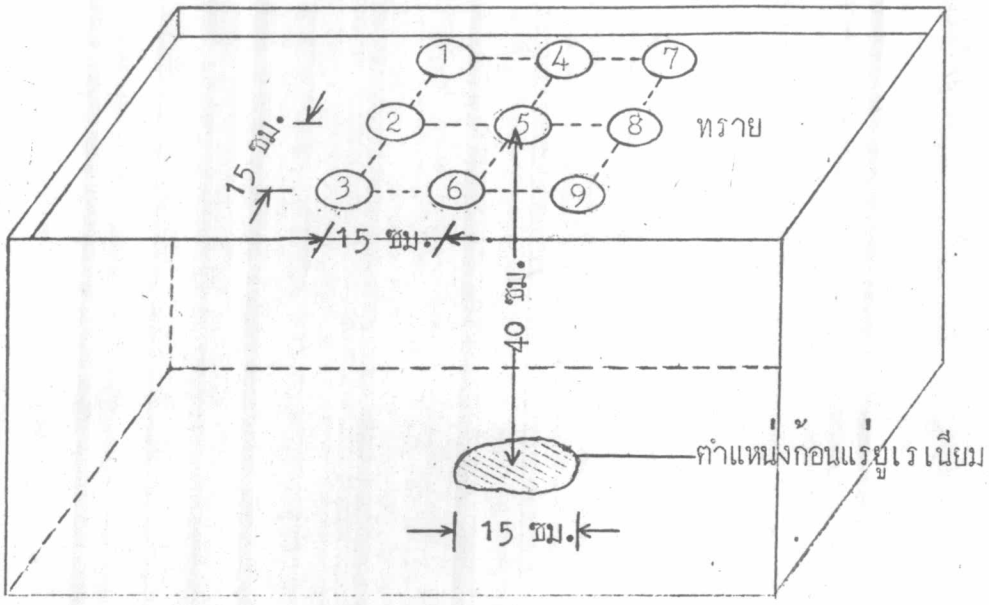
การวิจัยนี้ทดลองฝังก้อนแร่ยูเรเนียมจาก อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรเนียม 0.12 % น้ำหนัก 2.4 กิโลกรัม ไว้ตรงกลางกล่องขนาด 60 ซม. × 60 ซม. × 75 ซม. ซึ่งบรรจุทรายแห้งความหนาแน่น 1.45 กรัม/ซม.^{3} ไว้สูง 40 เซนติเมตร จากผิวของก้อนแร่ ก้อนแร่ยูเรเนียมดังกล่าวใส่ไว้ในถุงผ้า เพื่อป้องกันไม่ให้แร่ยูเรเนียมเปรอะเปื้อนทราย ทำการตรวจวัดกาซเรดอนที่ผิวทรายด้านบน โดยใช้ถ้วยสำรวจยูเรเนียมแบบแทรค–เอทช์ ซึ่งติดฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทไว้ที่ก้นถ้วยด้านใน วางถ้วยสำรวจ 9 ใบ ในลักษณะคว่ำปากถ้วยลง ณ บริเวณผิวทราย 9 ตำแหน่ง เว้นระยะระหว่างถ้วยเท่ากับ 15 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.11

ทิ้งถ้วยไว้เป็นเวลา 81 วัน จึงนำฟิล์มไปกัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และนับจำนวนรอยแผ่นละ 100 กรัง ต่อมาใช้อัลฟามิเตอร์ตรวจวัดกาซเรดอนที่ผิวทราย 9 ตำแหน่งดังกล่าว ตำแหน่งละ ประมาณ 3 วัน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบ

การวิจัยขั้นต่อไป จะตักทรายออกจากกล่องให้เหลือทรายสูงจากก้อนแร่ 15 เซนติเมตร แล้วทำการตรวจวัดกาซเรดอนที่ผิวทรายด้วยถ้วยสำรวจยูเรเนียม 9 ตำแหน่งเช่นเดียวกับที่ระยะ 40 เซนติเมตร โดยใช้เวลา 42 วัน สำหรับอัลฟามิเตอร์ ใช้ระยะเวลาประมาณ 3 วันเช่นเดิม ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.9

4.7 การตรวจวัดกาซเรดอนในที่ต่าง ๆ

การตรวจวัดกาซเรดอนในดินในที่ต่าง ๆ เป็นการวิจัยเพื่อหาค่าภูมิหลังของความหนาแน่นรอยที่เกิดขึ้นบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท เมื่อฝังถ้วยสำรวจยูเรเนียมแบบแทรค–เอทช์ไว้ในดิน การฝังถ้วยสำรวจยูเรเนียมทำโดยขุดหลุมลึก 75 เซนติเมตรจากผิวดินลงไปให้มีความกว้างพอที่จะวางถ้วยลงไปได้ วางถ้วยสำรวจลงในหลุมในลักษณะคว่ำปากถ้วยลง (ลักษณะเช่นเดียวกับในรูปที่ 3.6) ปิดปากหลุมด้วยแผ่นไม้ ทิ้งถ้วยไว้เป็นเวลาประมาณ



รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งก้อนแร่ยูเรเนียมที่ฝังไว้ในทราย และ
ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดกาซเรดอน

ตารางที่ 4.9

ผลการตรวจวัดกาซเรดอนจากแร่ยูเรเนียมที่ฝังไว้ในทราย

ตำแหน่ง	อัลฟามิเตอร์ (จำนวนนับ/ ซม.)		ถ้วยสำรวจยูเรเนียมแบบแทรค-เอทช์ (จำนวนรอย/มม.^{2} ·วัน)	
	ระยะ 15 ซม.	ระยะ 40 ซม.	ระยะ 15 ซม.	ระยะ 40 ซม.
1	120.77	75.75	8.17	5.79
2	180.84	83.58	10.82	6.20
3	121.27	83.58	7.34	4.60

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

ตำแหน่ง	อัลฟ่ามิเตอร์ (จำนวนนับ/ ซม.)		ถ้วยสำรวจยูเรเนียมแบบแทรก–เอทช์ (จำนวนรอย/มม.^{2} ·วัน)	
	ระยะ 15 ซม.	ระยะ 40 ซม.	ระยะ 15 ซม.	ระยะ 40 ซม.
4	172.30	83.34	11.64	6.86
5	209.17	106.82	17.25	7.46
6	145.91	74.83	11.73	5.71
7	118.29	74.44	11.13	5.23
8	148.72	81.10	10.50	5.43
9	108.56	75.68	4.80	3.46

1 เดือน จึงนำถ้วยขึ้นจากหลุม นำฟิล์มออกไปกัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที นับจำนวนรอยแผ่นละ 100 ครั้ง ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.10

4.8 ศึกษาการฟุ้งของกาซเรดอน

การศึกษาการฟุ้งของกาซเรดอนในการวิจัยนี้ ใช้ทรายแห้ง ซึ่งมีความหนาแน่น 1.45 กรัม/ซม.^{3} เป็นตัวกลาง และใช้เรเดียม 0.2 มิลลิคูรี(ซึ่งเป็นต้นกำเนิดชนิดเดียวกับที่ใช้ในการวิจัยหัวข้อที่ 4.5.2) เป็นต้นกำเนิดกาซเรดอน เรเดียมดังกล่าวนี้บรรจุอยู่ในขวดปากแคบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.10

ความหนาแน่นรอยบนฟิล์ม ที่ได้จากการตรวจวัดกาซเรดอนที่ผิวดินบริเวณพื้นที่บางจังหวัด

ลำดับที่	สถานที่	จำนวนวันที่ฝัง	จำนวนรอย/มม.^{2} ·วัน
1	ต.ท่าประดู่ อ.เมือง ระยอง (1)	33	3.26 ± 2.12
2	ต.ท่าประดู่ อ.เมือง ระยอง (2)	33	2.36 ± 2.05
3	อ.บางน้ำเปรี้ยว ฉะเชิงเทรา (1)	39	12.82* ± 5.46
4	อ.บางน้ำเปรี้ยว ฉะเชิงเทรา (2)	39	2.17 ± 2.13
5	อ.พนัสนิคม ชลบุรี (1)	35	5.00 ± 2.97
6	อ.พนัสนิคม ชลบุรี (3)	35	3.72 ± 2.69
7	อ.เมือง ชลบุรี (1)	35	4.94 ± 2.59
8	อ.เมือง ชลบุรี (2)	35	2.44 ± 1.89
9	อ.เมือง ชลบุรี (3)	35	1.92 ± 1.64
10	อ.กบินทร์บุรี ปราจีนบุรี	54	1.79 ± 1.03
11	อ.เมือง นครราชสีมา (1)	35	3.21 ± 2.45
12	อ.เมือง นครราชสีมา (2)	35	3.51 ± 2.02
13	อ.โนนไทย นครราชสีมา (1)	30	7.26 ± 4.82
14	อ.โนนไทย นครราชสีมา (2)	30	6.90 ± 3.56
15	ต.ปทุม อ.เมือง อุบลราชธานี	41	13.96* ± 3.54
16	ต.ร้วใหญ่ อ.เมือง สุพรรณบุรี (1)	36	5.17 ± 4.01
17	ต.ร้วใหญ่ อ.เมือง สุพรรณบุรี (2)	36	8.80 ± 3.67
18	อ.ลอง แพร่ (1)	31	19.01 ± 11.74**

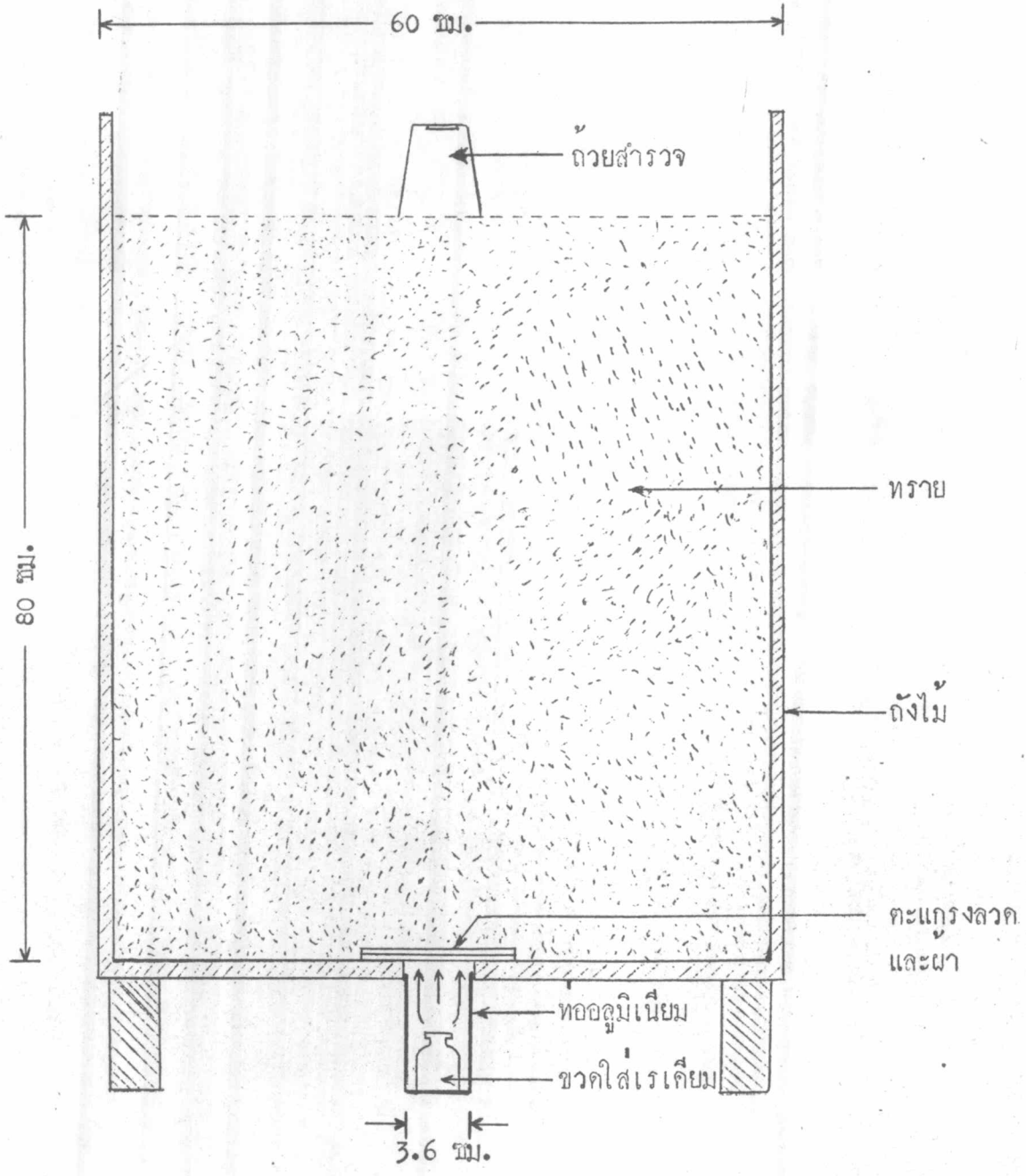
ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

ลำดับที่	สถานที่	จำนวนวันที่ฝัง	จำนวนรอย/มม.^{2} .วัน
19	อ.ลอง แพร่ (2)	31	13.52 ± 11.25**
20	อ.เมือง ตรัง (1)	35	44.71* ± 10.07
21	อ.เมือง ตรัง (2)	35	70.92* ± 10.50
22	ต.ทาฉาง อ.ทาฉาง สุราษฎร์ธานี (1)	42	30.49* ± 7.32
23	ต.ทาฉาง อ.ทาฉาง สุราษฎร์ธานี (2)	42	35.89* ± 6.61
24	ต.เขาถ่าน อ.ทาฉาง สุราษฎร์ธานี (1)	29	6.28 ± 3.66
25	ต.เขาถ่าน อ.ทาฉาง สุราษฎร์ธานี (2)	29	10.71 ± 4.70
26	ต.เขาถ่าน อ.ทาฉาง สุราษฎร์ธานี (3)	29	2.48 ± 2.36
27	ต.เขาถ่าน อ.ทาฉาง สุราษฎร์ธานี (4)	31	4.75 ± 2.72
28	ต.ทากระจาย อ.ทาชนะ สุราษฎร์ธานี	36	2.99 ± 1.89
29	วิทยาลัยครูสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี	35	4.74 ± 2.35

* ความหนาแน่นรอยสูงน่าสนใจ

** ฟิล์มเปื้อนดิน ทำให้ข้อมูลมีค่าเบี่ยงเบนมาก

ขวดนี้บรรจุไว้ในท่ออลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.6 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ซึ่งมีปลายด้านหนึ่งปิดปลายด้านเปิดของท่ออลูมิเนียมจะเสียบต่อเข้ากับรูที่เจาะไว้ที่กึ่งกลางด้านก้นของถังไม้ ซึ่งบรรจุทรายไว้สูง 80 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.12 เพื่อให้กาซเรดอนฟุ้งขึ้นไปทางด้านบน ทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ เพื่อให้กาซเรดอนฟุ้งผ่านขึ้นไปในถังทรายจนอิ่มตัว (saturate) ตรวจสอบโดยทำการตรวจวัดกาซเรดอนที่ผิวทรายด้านบนด้วยอัลฟามิเตอร์จนได้ค่าคงที่ หลังจากนั้นจึงทำการตรวจวัดกาซเรดอนที่จุดกึ่งกลางผิวทรายด้านบน ด้วยถ้วยสำรวจยูเรเนียมแบบแทรค-เอทช์ เป็นเวลาประมาณ 3 วัน และตรวจวัดด้วยอัลฟามิเตอร์



รูปที่ 4.12 แผนภาพแสดงการจัดอุปกรณ์ สำหรับศึกษาการฟุ้งของกาซเรดอน

เป็นเวลาประมาณ 1 วัน สำหรับการตรวจวัดด้วยถ้วยสำรวจยูเรเนี่ยมแบบแทรค–เอทช์ ทำการตรวจวัดซ้ำอีก 1 ครั้ง นำฟิล์มที่ได้ไปกัดรอยและนับรอยแผนละ 100 ครั้ง

ต่อมาทำการตรวจวัดกาซเรดอนที่ระยะสูง 60,40,20,10 และ 0 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยตักทรายออกจากถังไม้ให้ได้ความสูงของทรายตามต้องการ แล้วจึงตรวจวัดกาซเรดอนด้วยถ้วยสำรวจยูเรเนียม และอัลฟามิเตอร์ เช่นเดียวกับการตรวจวัดที่ระยะ 80 เซนติเมตร ผลของการวิจัยได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 ส่วนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกาซเรดอนที่ฟุ้งผ่านความหนาต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.11

ผลการตรวจวัดกาซเรดอนที่ฟุ้งผ่านทรายความหนาต่าง ๆ กัน

ความหนาของทราย (ซม.)	อัลฟามิเตอร์		ถ้วยสำรวจยูเรเนียมแบบแทรค–เอทช์ (จำนวนรอย/มม.^{2} วัน)			ความหนาแน่นรอยสัมพัทธ์
	จำนวนนับ/ชั่วโมง	อัตรานับสัมพัทธ์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
0	33953.27	100	2592.75	2541.33	2567.04	100
10	5839.79	17.20	388.18	336.59	362.39	14.12
20	2467.38	7.27	250.78	214.47	232.63	9.06
40	867.97	2.56	75.68	66.70	71.19	2.77
60	512.70	1.51	62.56	51.32	56.94	2.22
80	230.00	0.68	30.90	24.36	27.63	1.08

รูปที่ 4.13 แสดงผลการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีเรดอนที่ฟุ้งผ่านทรายความหนาต่าง ๆ