

วิธีดำเนินการวิจัย และผลการวิจัย

4.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยพอสรุปได้ดังนี้

4.1.1 แผ่นไมลาร์ เป็นพลาสติกสังเคราะห์ชนิดโพลีเอสเตอร์ (polyester film) โดยมีโครงสร้างทางเคมี (empirical formula) $C_{10}H_8O_4$ ขนาดที่ใช้ในการวิจัยนี้มีความหนา = 0.1 มม.

4.1.2 สารประกอบยูเรเนียมที่ถูกนำมาใช้ มีทั้งทราเบอเรียม-235 ยูเรเนียม-235 และสารตัวอย่าง คือ

4.1.2.1 สารมาตรฐานที่ใช้คือสารประกอบแอมโมเนียม ไดยูเรเนต (ammonium diuranate) $(NH_4)_2 U_2O_7$ เป็นเค็กละเอียด ที่มีปริมาณยูเรเนียม 79.0%

4.1.2.2 สารประกอบยูเรเนียมออกไซด์ ที่มีความเข้มข้นยูเรเนียม-235 ต่ำกว่าธรรมชาติ (depleted uranium) มีความเข้มข้นยูเรเนียมออกไซด์ 99.97% และยูเรเนียม-235 0.4% ของยูเรเนียมทั้งหมด

4.1.3 กรดสเตียริก (stearic acid, $CH_3(CH_2)_{16}COOH$) ใช้สำหรับผสมกับแร่ยูเรเนียม และสารประกอบยูเรเนียม เพื่อใช้เป็นตัวทำให้เจือจาง และเป็นตัวยึดเหนี่ยว (binder) ในการเตรียมตัวอย่างยูเรเนียม

4.1.4 แผ่นแคดเมียม มีความหนา = 0.6 มม. ใช้หุ้มตัวอย่างเมื่อต้องการดูดกลืนเทอร์มัลนิวตรอน เพื่อให้แต่เฉพาะนิวตรอนเร็วผ่าน

4.1.5 กล้องจุลทรรศน์ OLYMPUS BH-2 สำหรับใช้นับรอย โดยใช้กำลังขยาย 400 เท่า (เลนส์ใกล้วัตถุ 40x , เลนส์ใกล้ตา 10x) และมีสเกลที่เลนส์ใกล้ตาเป็นสเกลลิเนียร์ มีพื้นที่ขนาด 0.02 ซม. x 0.02 ซม. = 4.0×10^{-4} ตาราง ซม. ในพื้นที่ดังกล่าวยังแบ่งออกเป็นสเกลลิเนียร์เล็ก ๆ อีก 100 ช่อง (10 ช่อง x 10 ช่อง) เพื่อความสะดวกในการนับรอย

4.1.7 อุปกรณ์สำหรับการอัดเม็ดตัวอย่าง ประกอบด้วย

4.1.7.1 แบบสำหรับอัดเม็ดตัวอย่าง (die) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.3 ซม. ซึ่งไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป สำหรับใช้ในการเตรียมตัวอย่าง หากใหญ่ไปจะทำให้เปลือกตัวอย่างมากขึ้น หากเล็กกว่านี้ก็ไม่มีผลแต่อย่างไรต่อผลการวิเคราะห์ แต่ควรจะมีพื้นที่มากพอที่จะสามารถนับจำนวนรอยได้สะดวก

4.1.7.2 วงแหวนอะลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ซม. และหนา 0.2 ซม. ขนาดของวงแหวนที่ใช้ก็มีเหตุผลเช่นเดียวกับ 4.1.7.1 ส่วนความหนาที่เลือกให้หนาพอที่จะไม่ทำให้ตัวอย่างแตกได้ง่าย

4.1.7.3 เครื่องอัดแรงไฮดรอลิก

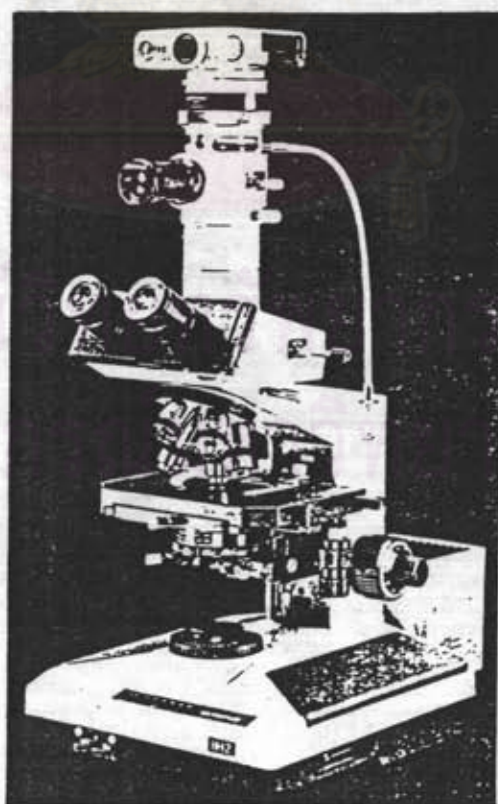
4.1.8 อุปกรณ์สำหรับการกักขยายรอย ประกอบด้วย

4.1.8.1 เตาไฟฟ้า (hot plate) ปรับอุณหภูมิได้

4.1.8.2 เทอร์โมมิเตอร์

4.1.8.3 บีกเกอร์ขนาด 250, 600, 1000 มิลลิลิตร พร้อมด้วยกระจกนาฬิกา สำหรับปิดปากบีกเกอร์

4.1.8.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 10% และ 25%



รูปที่ 4.1 รูปกล้องจุลทรรศน์ OLYMPUS BH-2 ซึ่งใช้ในการนับรอย

4.1.9 อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบความเข้มของนิวตรอน ประกอบด้วย

4.1.9.1 ลวดอินเดียม

4.1.9.2 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs^{137} และ Bi^{207}

4.1.9.3 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA)

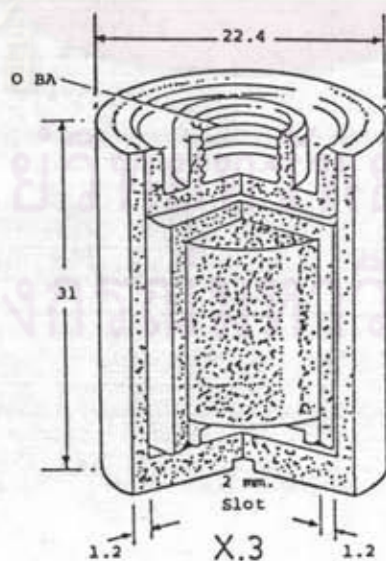
CANBERRA 35 plus

4.1.9.4 แหล่งจ่ายคัทตาไฟฟ้าสูง (high voltage)

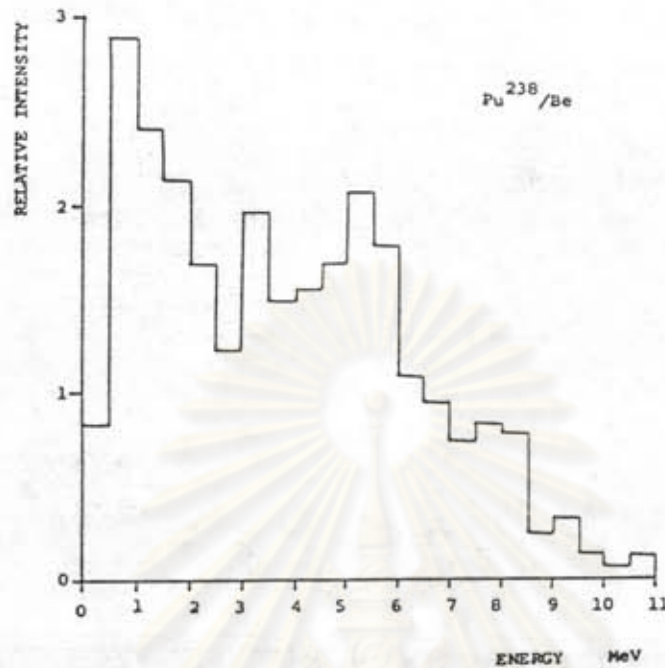
ORTEC 556

4.1.9.5 หัววัดเรืองรังสี ชนิดผลึกโซเดียมไอโอไดด์
ขนาด 2"x2"

4.1.10 ต้นกำเนิดนิวตรอน Pu^{239}/Be ซึ่งให้ความแรงนิวตรอน
ขนาด 5 คูรี มีลักษณะโครงสร้างและล่วนประกอบดังแสดงไว้ใน รูปที่ 4.2
และใน รูปที่ 4.3 แสดงลูปตรัมพลังงานของนิวตรอนที่ได้จาก ต้นกำเนิด
นิวตรอนชนิดนี้



รูปที่ 4.2 ลักษณะของต้นกำเนิดนิวตรอน Pu^{239}/Be



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมพลังงานของนิวตรอน ที่ได้จากต้นกำเนิด $\text{Pu}^{238}/\text{Be}$

4.2 การเตรียมตัวอย่างยูเรเนียม

ก่อนที่จะนำสารประกอบยูเรเนียมไปอบรังสีนิวตรอน ต้องให้สารประกอบยูเรเนียมอยู่ในรูปแบบของการอัดเม็ด เพื่อให้มีความหนาแน่นเท่ากัน และมีผิวเรียบสม่ำเสมอ สามารถประกบกับแผ่นไมลาร์ได้แนบสนิท และทำให้ได้รอยที่มีการกระจายสม่ำเสมอ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์

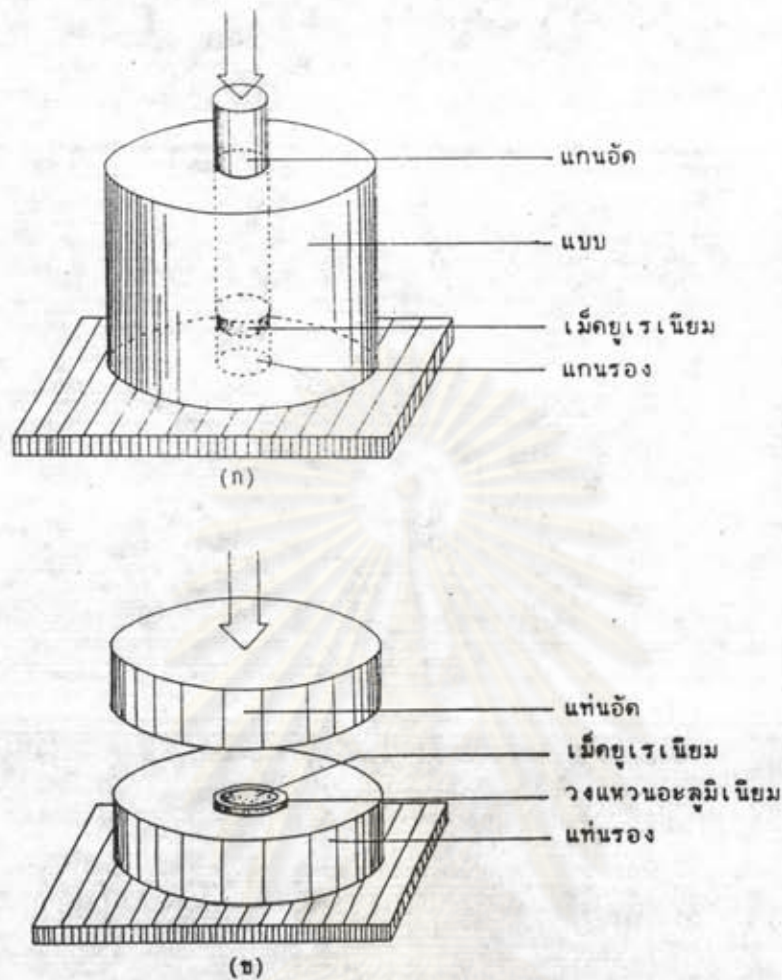
ในการศึกษาวิธีการอัดเม็ด เพื่อเตรียมตัวอย่างสารประกอบยูเรเนียม ได้ศึกษา 2 วิธี คือ

4.2.1. อัดตัวอย่างโดยใช้แบบเตรียมตัวอย่าง (die)

4.1.2. ใช้วงแหวนอะลูมิเนียม เป็นกรอบ

ทั้ง 2 วิธีต้องอัดแรงด้วยเครื่องอัดแรงไฮดรอลิก เมื่ออัดเม็ดต้องพิจารณาส่วนผลของกรดสเทียริก และแรงที่ใช้อัดให้ได้ตามความเหมาะสม ทุกครั้งในการอัดเม็ดโดยการใช่วงแหวนอะลูมิเนียมเป็นกรอบ ใช้แรงอัดจากเครื่องไฮดรอลิก 30 กิโลกรัม/ซม.²

ลักษณะและวิธีของการอัดเม็ด ทั้ง 2 วิธี ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4



- รูปที่ 4.4 ลักษณะของการอัดเม็ดยูเรเนียม
- (ก) อัดเม็ดโดยใช้แบบ
- (ข) อัดเม็ดโดยใช้วงแหวนอะลูมิเนียมเป็นกรอบ

4.3 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกักขยายรอยบนแผ่นไมลาร์

ในการกักขยายรอย ได้เลือกความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตลอดจนต้องหาระยะเวลา และอุณหภูมิ ต่าง ๆ เพื่อกักขยายรอยฟิชชันแฟรกเมนต์ที่เกิดจากยูเรเนียม ในการนี้ ได้ใช้สารประกอบแอมโมเนียมโดยูเรเนต $(\text{NH}_4)_2 \text{U}_2\text{O}_7$ ผสมกับกรดลเทียริก ปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก อัดเป็นเม็ดตัวอย่างได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.3 ซม. หนา 2 มม. แล้วนำไปอบรังสีนิวตรอน โดยประกบกับแผ่นไมลาร์ซึ่งใช้เป็นวัสดุบันทึกรอย

ขั้นตอนการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกักขยายรอย แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

4.3.1 เลือกความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% หรือ 2.5 นอร์มัล ซึ่งเป็นขนาดความเข้มข้นที่ใช้กันทั่วไปในการกัดขยายรอย อนุภาคแอลฟาบนพลาตินิกบั้นที่กรอย เช่น เซลลูโลสไนเตรท , เซลลูโลส อาซิเตท (16) ใช้เวลาในการอาบรังสีนิวตรอน 5 วัน นำแผ่นไมลาร์ที่ตัด ได้ ขนาด 1.5 x 1.5 ซม.² ซึ่งประกบทั้งด้านบน และแผ่นที่ประกบด้านล่าง ไปกัดขยายรอยที่อุณหภูมิ 65 °ซ 70 °ซ 75 °ซ และ 80 °ซ โดยแต่ละอุณหภูมิ มีขั้นตอนคล้ายกัน คือ

ที่อุณหภูมิ 65 °ซ นำแผ่นไมลาร์แผ่นที่ 1 และแผ่นที่ 2 แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% รักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ 65 °ซ เลมอเป็นเวลา 60 นาที แล้วนำไปแช่น้ำที่ไหลผ่านช้า ๆ เป็นเวลาประมาณ 30 นาที จึงนำไปผึ่งให้แห้ง หลังจากแผ่นไมลาร์แห้งแล้วจึงนำไปใส่กรอบ นับรอยบนแผ่นไมลาร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ 50 จุด แล้วนำไปกัดขยายรอยเพิ่มอีกเป็นเวลา 15 นาที และนับรอย 50 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ย ทุกครั้งหลังกัดขยายรอย

ที่อุณหภูมิ 70 °ซ ปฏิบัติในทำนองเดียวกัน โดยกัดขยายรอยครั้งแรกใช้เวลา 30 นาที แล้วจึงเพิ่มครั้งละ 60 นาที และนับรอย 50 จุด ทุกครั้งหลังกัดขยายรอย

ที่อุณหภูมิ 75 °ซ เริ่มกัดขยายรอยครั้งแรกใช้เวลา 21 นาที และเพิ่มขึ้นครั้งละ 4 นาที และนับรอย 50 จุด ทุกครั้งหลังกัดขยายรอย

ที่อุณหภูมิ 80 °ซ เริ่มกัดขยายรอยครั้งแรกใช้เวลา 15 นาที และกัดขยายรอยเพิ่มครั้งละ 2 นาที นับรอย 50 จุด ทุกครั้งหลังกัดขยายรอย

จำนวนรอยที่นับ 50 จุด นำมาหาค่าจำนวนรอยเฉลี่ย โดยใช้สูตรค่าเฉลี่ย , $(\bar{X}) = \frac{\sum Xi}{N}$

เมื่อ X_i = จำนวนรอยที่นับได้ในแต่ละครั้ง

N = จำนวนครั้งที่นับ

ผลของการวิจัยได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 4.2 4.3 และ 4.4 และเส้นกราฟแสดงผลที่ได้ในรูปที่ 4.6 4.7 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

4.3.2 ขั้นตอนนี้คล้ายกับขั้นตอนแรกโดยเลือกความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25% หรือ 6.25 นอร์มัล (ตามเอกสารอ้างอิงหมายเลข 16 และ 17) โดยใช้เวลาในการอาบรังสีนิวตรอน 7 วัน นำแผ่นไมลาร์ทั้งแผ่นที่ 1 และแผ่นที่ 2 กัดขยายรอยที่อุณหภูมิ 50 °ซ 55 °ซ 60 °ซ และ 65 °ซ มีขั้นตอนดังนี้

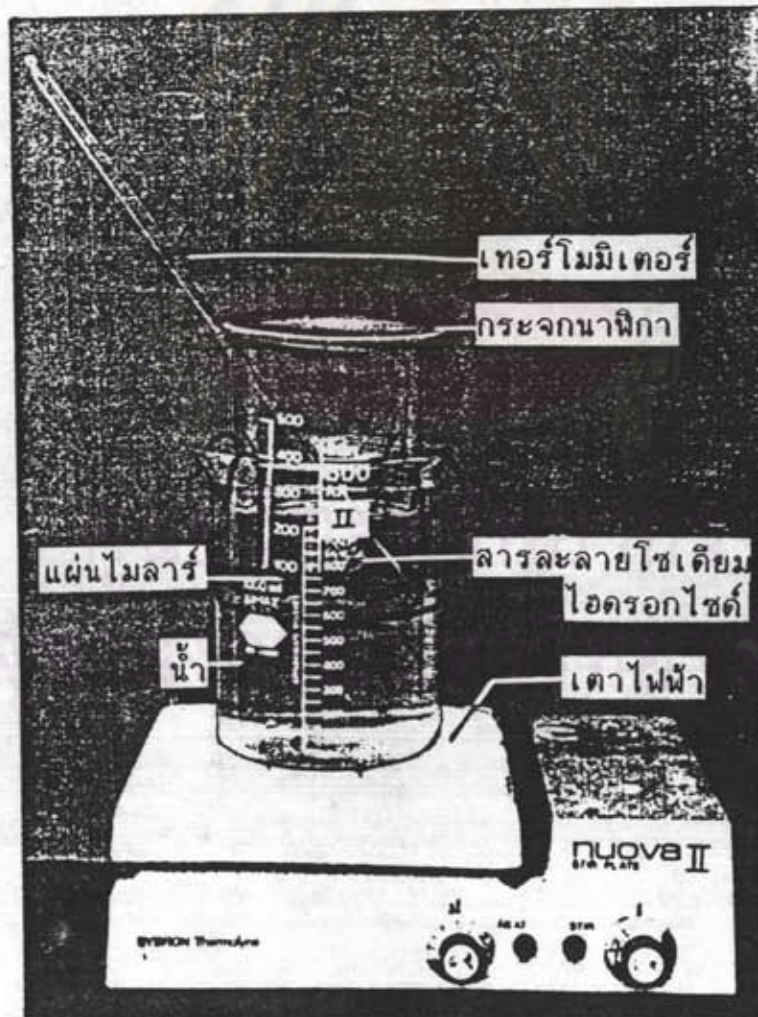
ที่อุณหภูมิ 50 °ซ กัดขยายรอยครั้งแรกใช้เวลา 50 นาที และใช้เวลากัดขยายรอยเพิ่มครั้งละ 10 นาที นับรอย 50 จุด ทุกครั้งหลังกัดขยายรอย

ที่อุณหภูมิ 55 °ซ กัดขยายรอยครั้งแรกใช้เวลา 30 นาที และใช้เวลากัดขยายรอยเพิ่มครั้งละ 6 นาที นับรอย 50 จุด ทุกครั้งหลังกัดขยายรอย

ที่อุณหภูมิ 60 °ซ กัดขยายรอยครั้งแรกใช้เวลา 20 นาที และใช้เวลากัดขยายรอยเพิ่มครั้งละ 4 นาที นับรอย 50 จุด ทุกครั้งหลังกัดขยายรอย

ที่อุณหภูมิ 65 °ซ กัดขยายรอยครั้งแรกใช้เวลา 12 นาที และใช้เวลากัดขยายรอยเพิ่มครั้งละ 2 นาที นับรอย 50 จุด ทุกครั้งหลังกัดขยายรอย

ผลของการวิจัยได้แสดงไว้ในตาราง 4.5, 4.6, 4.7, และ 4.8 เส้นกราฟแสดงผลที่ได้ในรูป 4.10, 4.11, 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

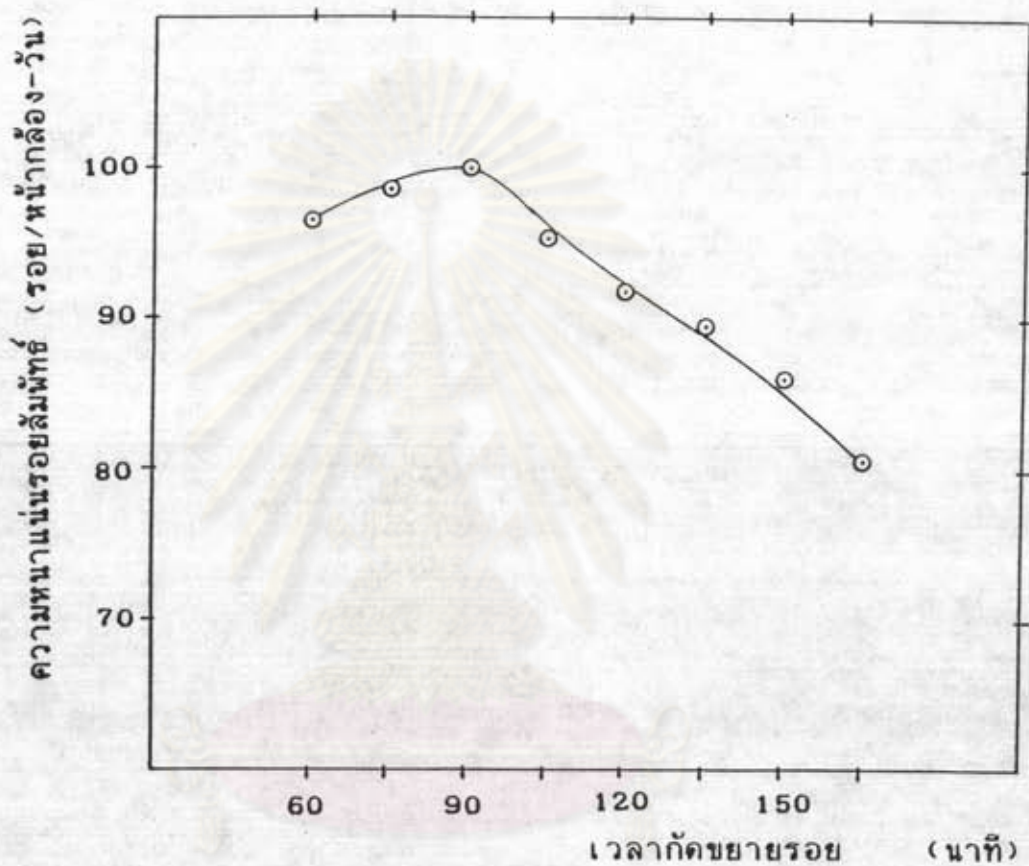


รูปที่ 4.5 การจัดอุปกรณ์ของการกัดขยายรอย

ตารางที่ 4.1 จำนวนรอยของพิษชั้นแฟรกเมนต์ เมื่อผ่านการรังสีนิวตรอน เป็นเวลา 5 วัน และกักขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 10% อุณหภูมิ 65 °ซ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลากักขยายรอย (นาที)	ความหนาแน่นรอย*		ความหนาแน่นรอยสัมพันธ์**		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
60	48.80	51.10	97.44	95.59	96.52
75	49.66	52.28	99.16	97.79	98.48
90	50.08	53.46	100.00	100.00	100.00
105	48.24	50.42	96.33	94.31	95.32
120	46.58	48.34	93.01	90.42	91.72
135	45.42	47.24	90.69	88.37	89.53
150	43.36	45.72	86.58	85.52	86.05
165	40.60	42.64	81.07	79.76	80.42

- * มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-5 วัน
- ** เทียบกับความหนาแน่นรอยเมื่อกักขยายรอยเป็นเวลา 90 นาที



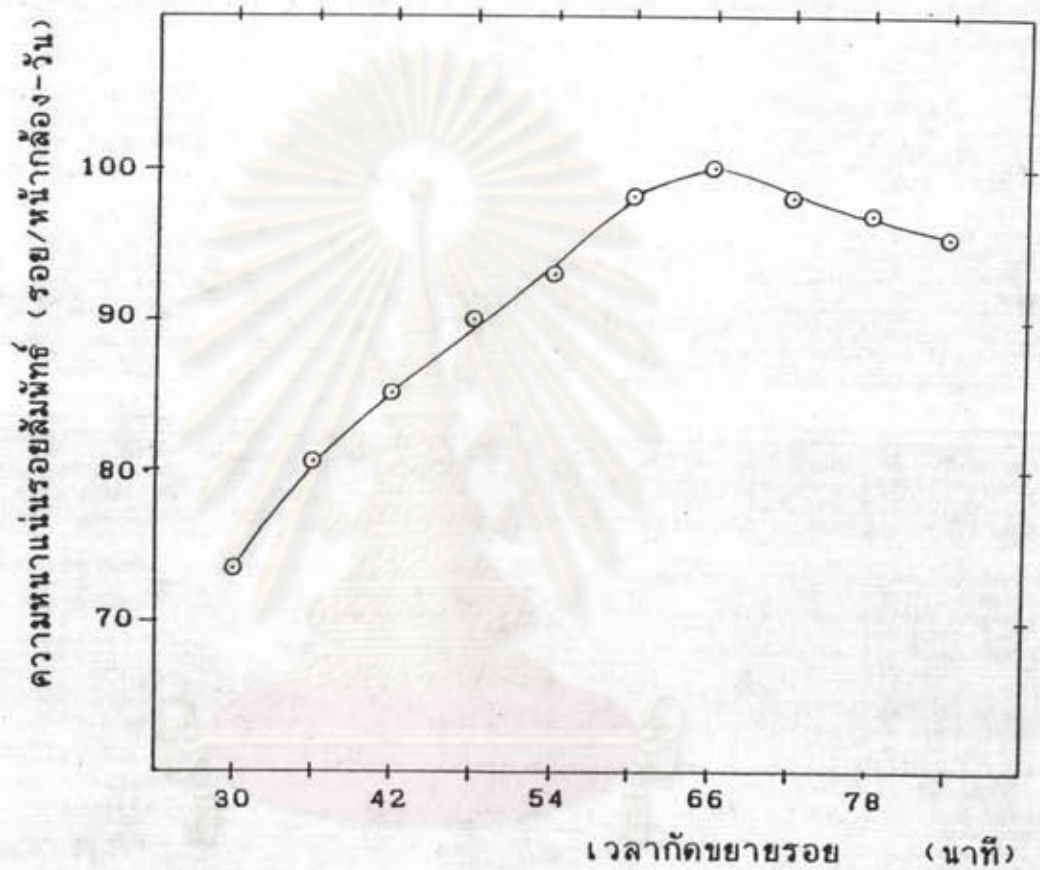
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นรอยลัมพัทธ์ กับเวลาที่กักขยายรอย บนแผ่นไมลาร์ ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 จำนวนรอยของนิชชั้นแฟรกเมนต์ เมื่อผ่านการอบรังสีนิวตรอน เป็นเวลา 5 วัน และกัดขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% อุณหภูมิ 70 °ซ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลากัดขยายรอย (นาที)	ความหนาแน่นรอย [*]		ความหนาแน่นรอยล้มพับ ^{**}		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
30	42.26	43.20	71.10	75.76	73.43
36	47.34	46.58	79.64	81.69	80.67
42	50.28	48.70	84.59	85.41	85.00
48	53.98	50.80	90.82	89.09	89.96
54	54.46	53.86	91.62	94.46	93.04
60	58.44	55.98	98.32	98.18	98.25
66	59.44	57.02	100.00	100.00	100.00
72	58.56	55.80	98.52	97.86	98.19
78	57.62	55.78	96.94	97.83	97.39
84	56.55	54.80	95.14	96.11	95.63

* มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-5 วัน

** เทียบกับความหนาแน่นรอยเมื่อกัดขยายรอย เป็นเวลา 66 นาที

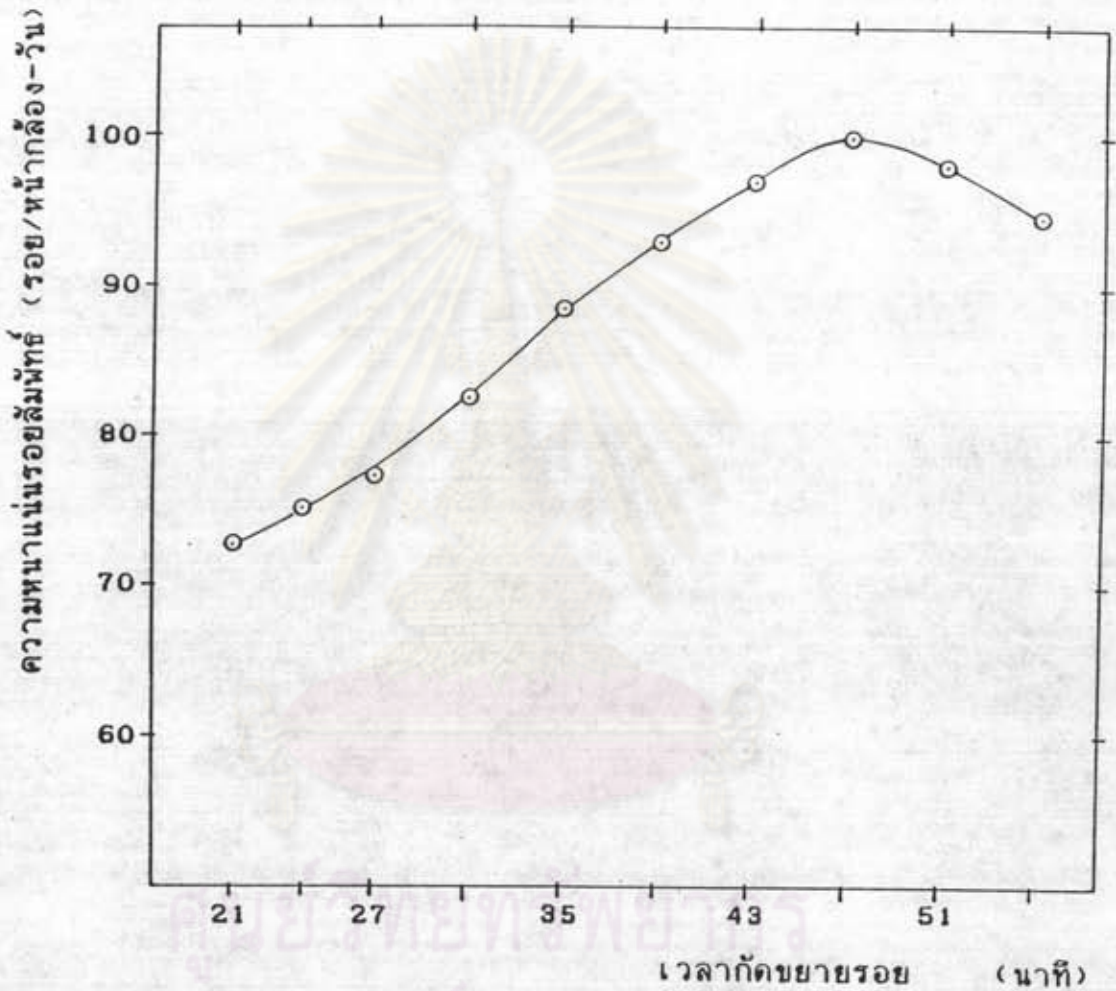


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นรอยลัมพัทธ์ กับเวลาที่กักขายรอย บนแผ่นไมลาร์ ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.3 จำนวนรอยของพิษชั้นแฟรกเมนต์ เมื่อผ่านการอบรังสีนิวตรอน เป็นเวลา 5 วัน และกักขอย่อยด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 10% อุณหภูมิ 75 °ซ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลากักขาย่อย (นาทึ)	ความหนาแน่นรอย*		ความหนาแน่นรอยล้มพัทธ์**		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
21	45.98	40.36	77.99	67.24	72.62
24	46.96	42.38	79.61	70.61	75.11
27	47.50	44.42	80.56	74.09	77.33
31	49.18	49.00	83.41	81.64	82.53
35	52.42	52.78	88.91	87.94	88.43
43	57.76	57.62	97.96	96.00	96.98
47	58.96	60.02	100.00	100.00	100.00
51	57.64	58.74	97.76	97.87	97.82
55	56.22	56.40	95.35	93.97	94.66

- * มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-5 วัน
- ** เทียบกับความหนาแน่นรอยเมื่อกักขาย่อยเป็นเวลา 47 นาทึ



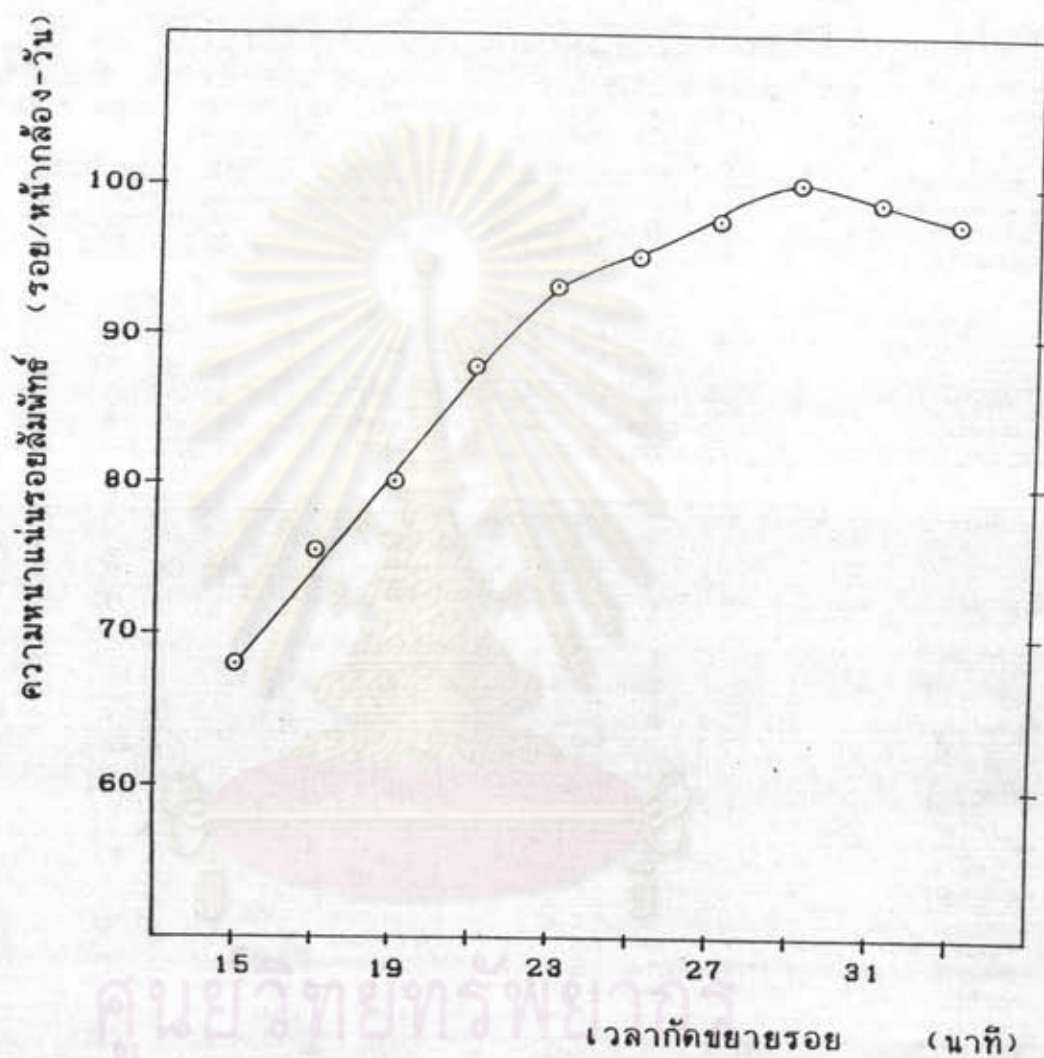
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นรอยลัมพ์พัทธ์ กับเวลาที่กักขายรอย บนแผ่นไมลาร์ ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.4 จำนวนรอยของพืชชั้นแฟรกเมนต์ เมื่อผ่านการอบรังสีนิวตรอน เป็นเวลา 5 วัน และกัศขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% อุณหภูมิ 80 °ซ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลากัศขยายรอย (นาทึ)	ความหนาแน่นรอย [*]		ความหนาแน่นรอยสัมพันธ์ ^{**}		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
15	40.90	40.98	69.08	67.47	68.28
17	44.84	45.92	75.59	75.60	75.60
19	47.98	48.34	80.82	79.59	80.21
21	51.38	54.16	86.61	89.17	87.89
23	55.28	56.68	93.19	93.32	93.26
25	57.24	57.18	96.49	94.14	95.32
27	58.72	58.36	98.99	96.08	97.54
29	59.32	60.74	100.00	100.00	100.00
31	58.56	60.10	98.72	98.95	98.84
33	58.08	59.00	97.91	97.14	97.53

* มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-5 วัน

** เทียบกับความหนาแน่นรอยเมื่อกัศขยายรอยเป็นเวลา 29 นาทึ



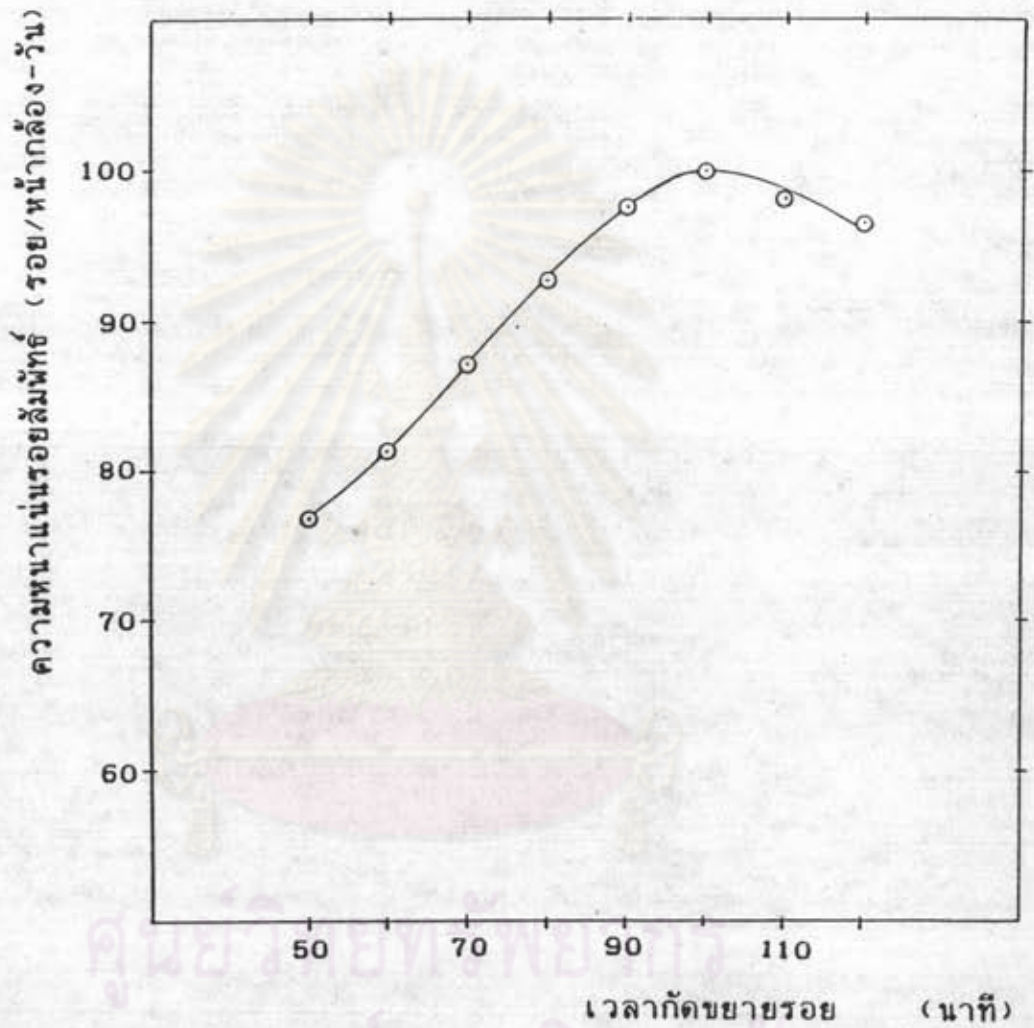
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นรอยสัมพัทธ์ กับเวลาที่กักขายรอย บนแผ่นไมลาร์ ด้วยสารละลาย โซเดียมไอโครอไซด์ 10 % ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



ตารางที่ 4.5 จำนวนรอยของพิษชั้นแฟรกเมนต์ เมื่อผ่านการอาบรังสีนิวตรอน เป็นเวลา 7 วัน และกัศขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 25% อุณหภูมิ 50 °ซ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลากัศขยายรอย (นาที)	ความหนาแน่นรอย [*]		ความหนาแน่นรอยล้มพัทธ์ ^{**}		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
50	53.86	57.48	75.94	77.24	76.59
60	58.16	60.04	82.01	80.68	81.35
70	61.68	65.00	86.97	87.34	87.16
80	66.28	68.42	93.46	91.94	92.70
90	69.00	72.92	97.29	97.98	97.64
100	70.92	74.42	100.00	100.00	100.00
110	70.32	72.42	99.15	97.34	98.25
120	69.53	70.72	98.04	95.03	96.54

- * มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-7 วัน
- ** เทียบกับความหนาแน่นรอยเมื่อกัศขยายรอยเป็นเวลา 100 นาที



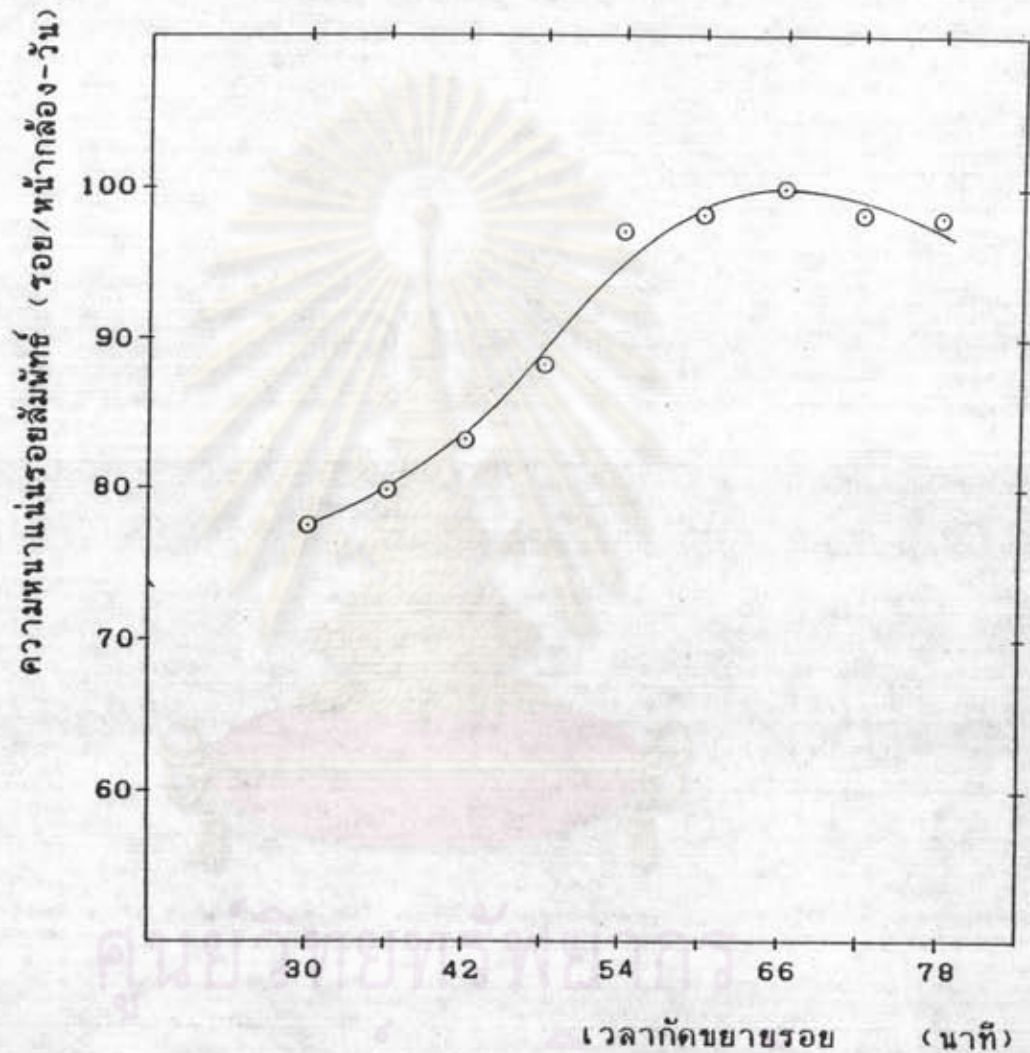
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นรอยสัมผัส กับเวลาที่กักขายรอย บนแผ่นไมลาร์ ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 25 % ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.6 จำนวนรอยของพิษชั้นแฟรกเมนต์ เมื่อผ่านการอบรังสีนิวตรอน เป็นเวลา 7 วัน และกักขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 25% อุณหภูมิ 55 °ซ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลากักขยายรอย (นาที)	ความหนาแน่นรอย [*]		ความหนาแน่นรอยสัมพันธ์ ^{**}		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
30	61.26	58.62	78.72	76.55	77.64
36	63.26	60.04	81.29	78.40	79.85
42	65.96	62.76	84.76	81.95	83.36
48	69.16	67.22	88.87	87.78	88.33
54	75.60	74.62	97.15	97.44	97.30
60	75.80	75.84	97.41	99.03	98.22
66	77.82	76.58	100.00	100.00	100.00
72	76.18	75.56	97.89	98.67	98.28
78	76.14	75.36	97.84	98.41	98.13

* มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-7 วัน

** เทียบกับความหนาแน่นรอย เมื่อกักขยายรอยเป็นเวลา 66 นาที



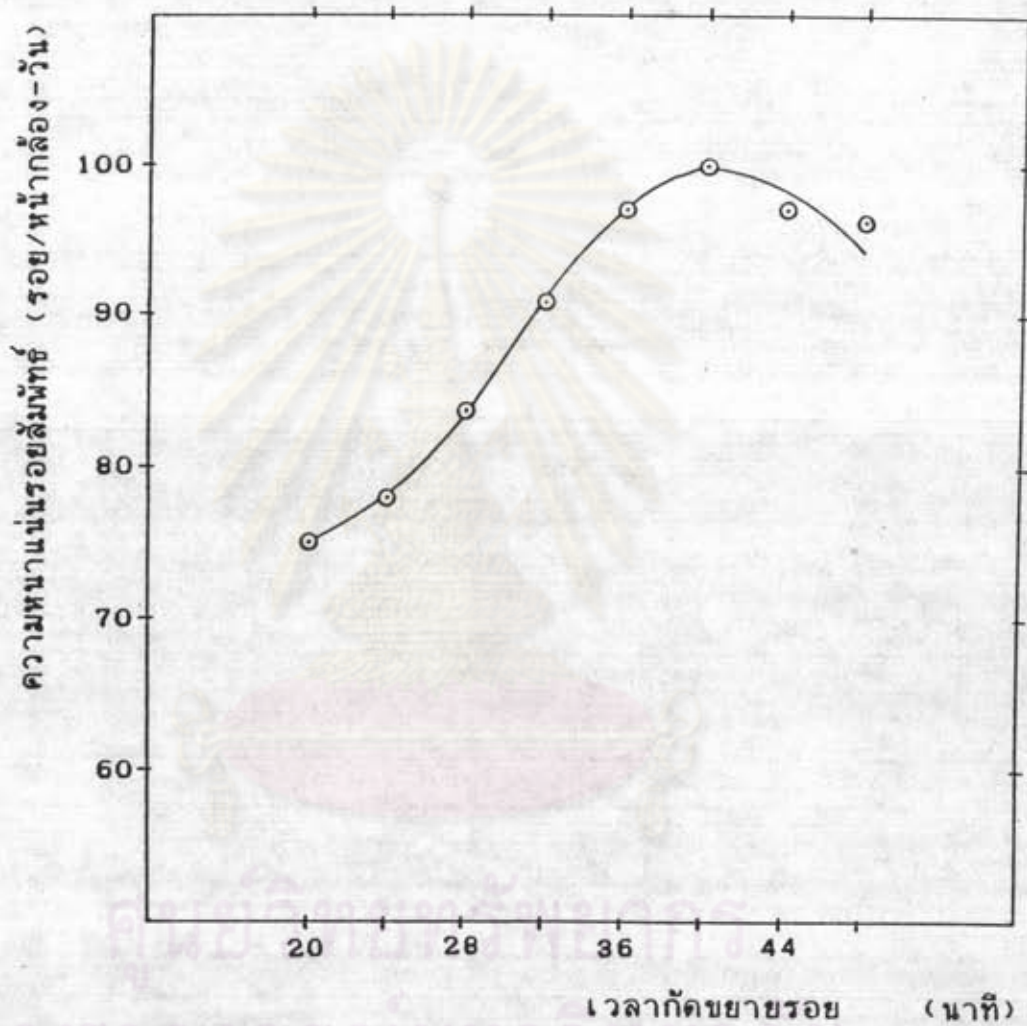
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นรอยสัมผัส กับเวลาที่กัขยายรอย บนแผ่นไมลาร์ ด้วยสารละลาย โซเดียมไอโครกไซด์ 25 % ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.7 จำนวนรอยของพิษชั้นแฟรกเมนต์ เมื่อผ่านการอบรังสีนิวตรอน เป็นเวลา 7 วัน และกัดขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25% อุณหภูมิ 60 °ซ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลากัดขยายรอย (นาที)	ความหนาแน่นรอย*		ความหนาแน่นรอยล้มพัทธ์**		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
20	63.36	60.44	76.87	73.49	75.18
24	64.68	63.92	78.48	77.55	78.02
28	69.46	68.40	84.28	83.17	83.73
32	75.64	74.08	91.77	90.08	90.93
36	80.02	79.78	97.09	97.01	97.05
40	82.42	82.24	100.00	100.00	100.00
44	79.84	79.74	96.87	96.96	96.92
48	79.24	79.59	96.14	96.78	96.46

* มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-7 วัน

** เทียบกับความหนาแน่นรอย เมื่อกัดขยายรอยเป็นเวลา 40 นาที



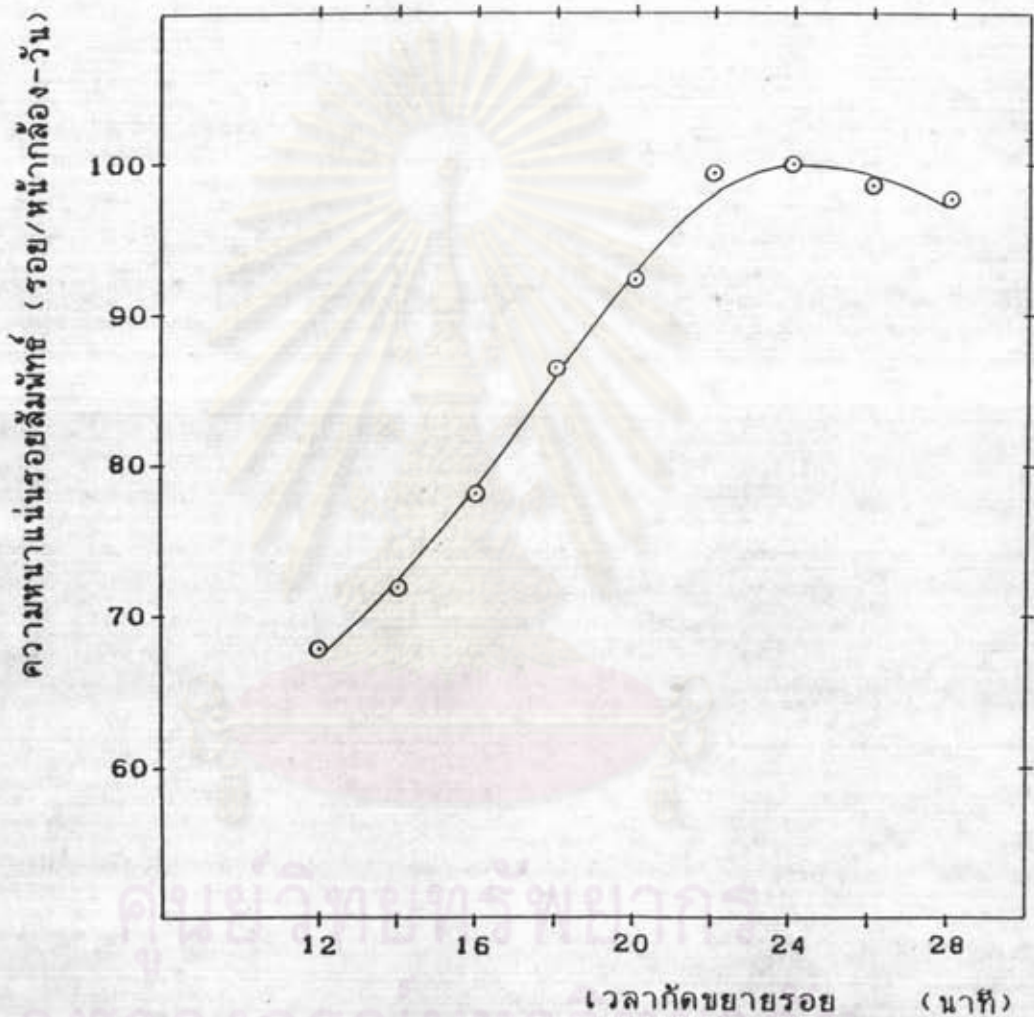
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นรอยสัมพัทธ์ กับเวลาที่ค้ดขยายรอย บนแผ่นไมลาร์ ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 25 % ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.8 จำนวนรอยของพิษชั้นแฟรกเมนต์ เมื่อผ่านการอบรังสีนิวตรอน เป็นเวลา 7 วัน และกัศขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25% อุณหภูมิ 65 °ซ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลากัศขยายรอย (นาทึ)	ความหนาแน่นรอย [*]		ความหนาแน่นรอยล้มพัทธ์ ^{**}		
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	เฉลี่ย
12	55.58	55.08	67.87	67.95	67.91
14	59.62	57.66	72.79	71.13	71.96
16	64.78	62.76	79.10	77.42	78.26
18	71.88	69.00	87.77	85.12	86.45
20	76.38	74.20	93.26	91.54	92.40
22	81.50	80.68	99.51	99.53	99.52
24	81.90	81.06	100.00	100.00	100.00
26	80.48	80.12	98.27	98.84	98.56
28	80.14	79.52	97.85	98.10	97.98

* มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-7 วัน

** เทียบกับความหนาแน่นรอย เมื่อกัศขยายรอยเป็นเวลา 24 นาทึ



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นรอยลัมพัทธ์ กับเวลาที่กีดขยายรอย บนแผ่นไมลาร์ ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 25 % ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

4.4 ศึกษาความคงที่ของความหนาแน่นรอย

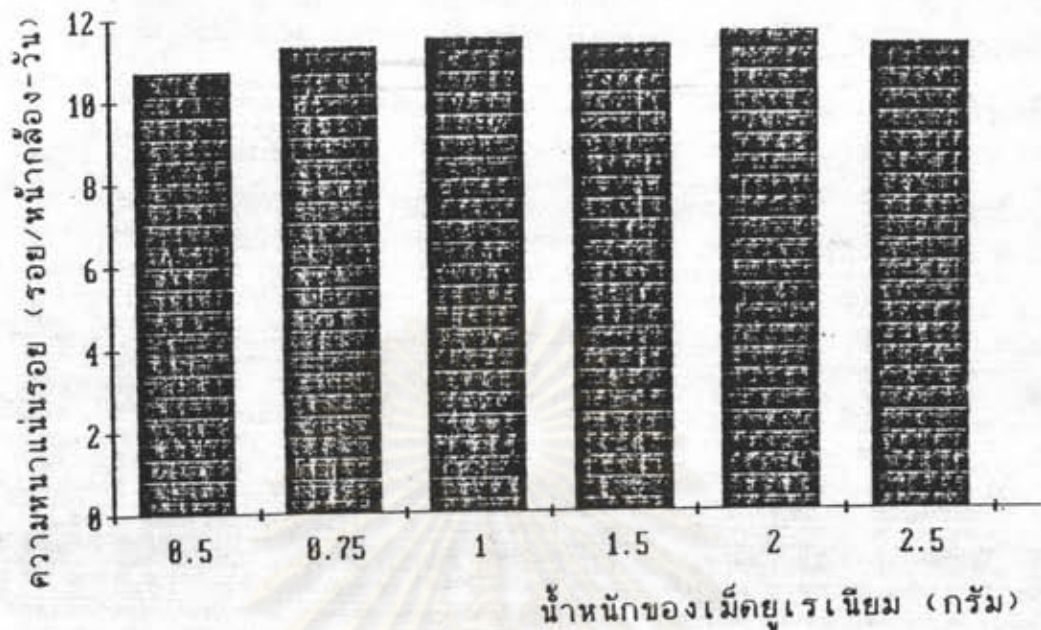
การวิจัยชิ้นนี้ เป็นการตรวจสอบความคงที่ของความหนาแน่นรอยซึ่งเกิดจากตัวอย่างเดียวกัน ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สารประกอบยูเรเนียมโดยยูเรเนตผสมกับกรดสเทียริกในอัตราส่วน 9 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก

จากการเตรียมตัวอย่างยูเรเนียมผสมกรดสเทียริกในอัตราส่วน 9 ต่อ 1 และแบ่งให้ได้น้ำหนักต่าง ๆ กัน 6 ตัวอย่าง คือ 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, และ 2.5 กรัม อัดเม็ดตัวอย่างให้ได้ความหนาแน่นเท่า ๆ กัน ใช้เวลาในการอบรังสีนิวตรอน 10 วัน โดยจัดวางเม็ดยูเรเนียมลักษณะเดียวกับขั้นตอนหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกักขยายรอย เมื่อกักขยายรอย ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกด์ 25% ที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 40 นาที แล้วนำไปนับจำนวนรอย 100 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย ผลของการวิจัยแสดงไว้ใน ตารางที่ 4.9 และกราฟรูปที่ 4.14

อนึ่งการวิจัยตั้งแต่นี้ไปได้เลือกใช้เงื่อนไขในการกักขยายรอย คือที่ 60 °ซ โดยใช้ 25% โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 40 นาที เนื่องจากใช้เวลาในการกักขยายรอยไม่นานนัก และใช้อุณหภูมิไม่สูงนัก

ตารางที่ 4.9 น้ำหนักตัวอย่าง กับความหนาแน่นรอย

น้ำหนักเม็ดยูเรเนียม (กรัม)	ความหนาแน่นรอย (รอย/หน้ากล้อง-วัน)		
	แผ่นที่1	แผ่นที่2	เฉลี่ย
0.5	10.67	10.75	10.71
0.75	11.31	11.37	11.34
1.0	11.50	11.55	11.53
1.5	11.24	11.37	11.31
2.0	11.53	11.74	11.64
2.5	11.02	11.58	11.30



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของเม็ดยูเรียกับความหนาแน่นของรอย

4.5 การหาปริมาณยูเรีย-235

ขั้นตอนการหาปริมาณยูเรีย-235 พอสรุปได้ดังแสดงในแผนภูมิ

รูปที่ 4.15

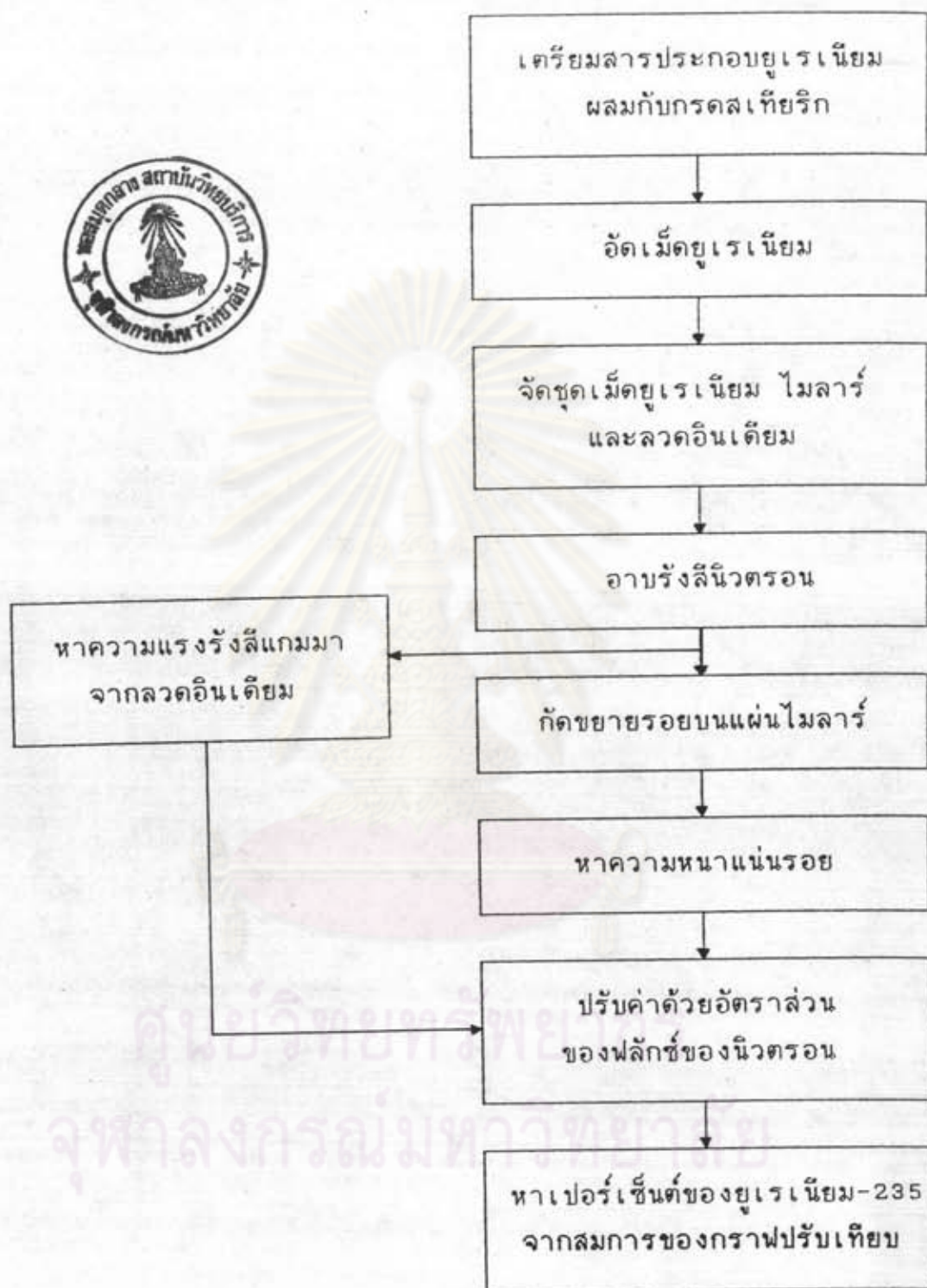
4.5.1 การเตรียมตัวอย่าง

การหาความสัมพันธ์ ระหว่างความหนาแน่นรอยกับปริมาณยูเรียธรรมชาติและยูเรีย-235 ต้องใช้สารประกอบที่มีปริมาณยูเรียต่าง ๆ โดยนำแอมโมเนียมไดยูเรเนต ที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน ผลผสมกับกรดสเทียริก ในปริมาณต่าง ๆ โดยเตรียมไว้ 5 ตัวอย่าง คือ

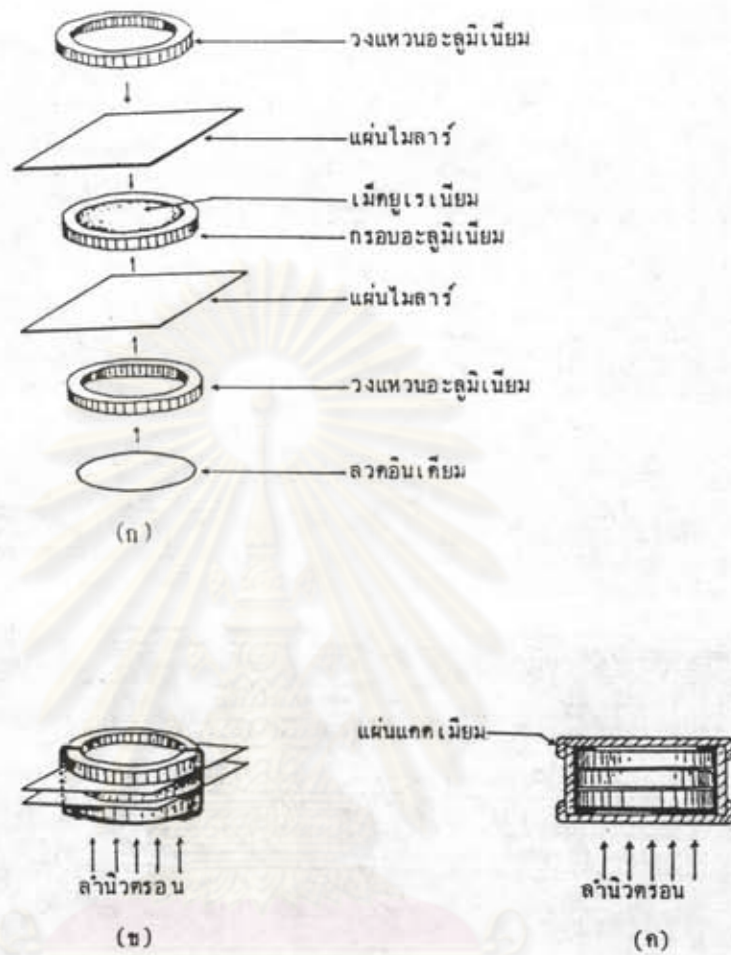
4.5.1.1 สารมาตรฐาน 100% คือไม่ต้องผสมกรดสเทียริก ซึ่งมีปริมาณยูเรียรวม เท่ากับ 79.0% โดยน้ำหนัก และปริมาณยูเรีย-235 เท่ากับ 0.57% โดยน้ำหนัก

4.5.1.2 สารมาตรฐาน 90% ผสมกับกรดสเทียริก 10% โดยน้ำหนัก คำนวณปริมาณยูเรียรวมได้ เท่ากับ 71.1% โดยน้ำหนัก และปริมาณยูเรีย-235 เท่ากับ 0.51% โดยน้ำหนัก

4.5.1.3 สารมาตรฐาน 70% ผสมกับกรดสเทียริก 30% โดยน้ำหนัก คำนวณปริมาณยูเรียรวมได้ เท่ากับ 55.3% โดยน้ำหนัก และปริมาณยูเรีย-235 เท่ากับ 0.40% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.15 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการหาปริมาณยูเรเนียม-235



รูปที่ 4.16 การจัดส่วนประกอบต่าง ๆ ในขั้นตอนการนำเม็ดยูเรเนียมอาบรังสีนิวตรอน

- (ก) แสดงตำแหน่งการจัดเม็ดยูเรเนียม แผ่นไมลาร์ และลวดอินเตียม
- (ข) ลักษณะเมื่อประกอบกันเป็นชุด
- (ค) กรณีที่ใช้แผ่นแคดเมียมหุ้มรอบหมดทุกด้าน

4.5.1.4 สารมาตรฐาน 50% ผสมกับกรดสเทียริก 50% โดยน้ำหนัก คำนวณปริมาณยูเรเนียมรวมได้ เท่ากับ 39.5% โดยน้ำหนัก และ ปริมาณยูเรเนียม-235 เท่ากับ 0.28 % โดยน้ำหนัก

4.5.1.5 สารมาตรฐาน 30% ผสมกับกรดสเทียริก 70% โดยน้ำหนัก คำนวณปริมาณยูเรเนียมรวมได้ เท่ากับ 23.7% โดยน้ำหนัก และ ปริมาณยูเรเนียม-235 เท่ากับ 0.17% โดยน้ำหนัก

4.5.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่ออาบรังสีนิวตรอน

อัดเม็ดแต่ละตัวอย่าง ไว้อย่างละ 2 ชุด ชุดแรกนำไปประกอบ เข้ากับแผ่นไมลาร์แล้วทาด้วยวงแหวนอะลูมิเนียมอีกครั้ง เพื่อให้แผ่นไมลาร์ แนบกับผิวหน้าของเม็ดยูเรเนียม และติดลวดอินเดียมที่ทราบน้ำหนักแล้วไว้ใต้ ขอบวงแหวนอะลูมิเนียม ยึดติดด้วยเทปให้แน่น ลักษณะการจัดตั้งกล่าวแสดงไว้ ในรูป 4.16 เมื่อประกอบเสร็จแล้ว นำไปอาบรังสีนิวตรอน จากต้นกำเนิด Pu^{239}/Be โดยจัดให้ตัวอย่างอยู่ห่างจากต้นกำเนิดประมาณ 2.5 ซม. ใช้ เวลาอาบรังสีนิวตรอน 10 วัน

สำหรับลวดอินเดียมนั้นใช้เป็นตัว ชี้ออกความแปรปรวนของความ เข้มนิวตรอนในการอาบรังสีนิวตรอนตัวอย่าง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน

ชุดที่สอง ประกอบเหมือนกับชุดแรก แต่หุ้มด้วยแผ่นแคดเมียมหนา 0.6 มม. รอบหมดทุกด้าน ตั้งการจัดแสดงไว้ในรูป 4.16(ค) แล้วนำไป อาบรังสีนิวตรอนในลักษณะเดียวกันกับชุดแรก เป็นเวลา 10 วัน

4.5.3 การตรวจสอบค่าฟลักซ์ของนิวตรอน

เมื่อตัวอย่างอาบรังสีนิวตรอนแล้ว ตรวจสอบค่าฟลักซ์ของนิวตรอน จากลวดอินเดียมโดยการวัดรังสีแกมมา จากลวดอินเดียม ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

4.5.3.1. ทุกครั้งก่อนวัดฟลักซ์ของนิวตรอน ต้องทำ ปรับเทียบ (Calibration) เครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (MCA) โดยใช้ ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs^{137} ซึ่งให้แกมมาพลังงาน 0.6616 MeV และ ปรับให้พีคของซีเซียม ตรงกับช่อง (channel) 331 และ Bi^{207} ซึ่งให้ แกมมาพลังงาน 0.5697 MeV และ 1.0637 MeV ปรับให้พีคตรงกับช่อง 282 และ 512 ตามลำดับ ใช้ศักดาไฟฟ้าสูง (high volage) เท่ากับ 800 โวลต์ Course Gain 10 Fine Gain 0.356 ADC Gain 4094 วัดแกมมา ของ In^{116} ที่มีพลังงาน 1.097 MeV

4.5.3.2. เมื่อนำลวดอินเดียมออกจากต้นกำเนิดนิวตรอน

จับเวลาไว้ทันที ก่อนที่จะเริ่มทำการวัด ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้นานกว่า 1 นาที เพื่อให้แกมมาที่เกิดจาก \ln^{116} และ \ln^{116m2} ซึ่งมีครึ่งชีวิตสั้น คือ 2.2 วินาที และ 14.2 วินาที สลายตัวให้หมดก่อน บันทึกเวลาเมื่อเริ่มวัด ใช้เวลาในการวัด 300 วินาที และบันทึกค่าพื้นที่ใต้พีคในช่วงช่อง 474 ถึง 574

4.5.4 การคำนวณเทียบอัตราส่วนของฟลักซ์ของนิวตรอน

ในการคำนวณนี้ไม่ได้หาฟลักซ์ของนิวตรอนโดยตรง แต่เป็นการวัดความเข้มของรังสีแกมมาจากลวดอินเดียม โดยใช้สูตร

$$\text{ความเข้มของรังสีแกมมา} = \frac{A \cdot e^{-\lambda t}}{W} \quad \dots (4.1)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ใต้พีคระหว่างช่อง 474 ถึงช่อง 574 (จำนวนนับ/300วินาที)

λ คือ ค่าคงที่การสลายตัว เท่ากับ $0.693/T_{1/2}$

โดย $T_{1/2}$ คือ ครึ่งชีวิตของ \ln^{116} เท่ากับ 54.2 นาที

$$\begin{aligned} \therefore \lambda &= 0.693 / (54.2 \times 60) \\ &= 2.1309963 \times 10^{-4} \text{ วินาที}^{-1} \end{aligned}$$

t คือ เวลานับตั้งแต่ เอลวดอินเดียมออกจาก ต้นกำเนิดนิวตรอนจน ถึงเวลาวัดรังสี

W คือ น้ำหนักของลวดอินเดียมก่อนการอาบรังสีนิวตรอน

จำนวนนับรังสีจำเพาะของอินเดียม จะใช้เป็นค่า เทียบอัตราส่วนของฟลักซ์ของนิวตรอน

4.5.5 กราฟปรับเทียบ เพื่อใช้หาปริมาณยูเรเนียม-235

กราฟปรับเทียบ เป็นเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยูเรเนียม-235 กับความหนาแน่นรอยจริง ซึ่งความหนาแน่นรอยจริง ก็คือ จำนวนรอยของนิซซันแฟรกเมนต์ ที่เกิดจากปฏิกิริยาแตกตัวกับเทอร์มัลนิวตรอน อย่างเดียวหาได้จากความหนาแน่นรอย (เมื่อแก้ค่าแล้ว) หักด้วยความหนาแน่นรอย (เมื่อแก้ค่าแล้ว) เมื่อหุ้มด้วยแคดเมียมขณะอาบรังสีนิวตรอน

ผลจากการทดลองซึ่งได้แสดงไว้ ในตารางที่ 4.10 4.11 และ 4.12 จะได้กราฟปรับเทียบ ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.17 และได้สมการของเส้นกราฟโดยหาได้จากการเทียบกับสมการโพลิโนเมียล (polynomial) คือ

$$Y = -1.5683 + 24.2689X - 78.6913X^2 + 126.6204X^3 \dots (4.2)$$

ตารางที่ 4.10 ผลของจำนวนรอยฟิชชันแฟรกเมนต์ ความเข้มของรังสีแกมมา จากลวดอินเดียม และอัตราส่วนของฟลักซ์ของนิวตรอน สำหรับสารมาตรฐานที่มียูเรเนียม-235 ปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณ U-235 ในสารมาตรฐาน (%โดยน้ำหนัก)	ความหนาแน่น รอยที่นับได้*	ความเข้ม** รังสีแกมมา	อัตราส่วนของฟลักซ์ ของนิวตรอน***	ความหนาแน่น รอยที่แก้ค่า*
0.57	13.83	140956	1.0000	13.83
0.51	8.68	148658	1.0546	8.23
0.40	5.45	171142	1.2142	4.49
0.28	2.55	162730	1.1545	2.21
0.17	1.42	159121	1.1289	1.26

- * มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-วัน
- ** มีหน่วยเป็น จำนวนนับ/กรัม-300 วินาที
- *** เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มรังสีแกมมาพลังงาน 1.097 MeV จากลวดอินเดียมซึ่งติดไว้ที่ตัวอย่าง กับที่ค่าความเข้มรังสีแกมมา 140956 /กรัม-300 วินาที เพื่อใช้เป็นค่าในการ normalize

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ผลของจำนวนรอยพิษชั้นแฟรกเมนต์ ความเข้มของรังสีแกมมา จากลวดอินเดียม และอัตราส่วนของฟลักซ์ของนิวตรอนสำหรับ สารมาตรฐานที่มียูเรเนียม-235 ปริมาณต่าง ๆ และใช้ แคดเมียมหุ้มเม็ดยูเรเนียม ขณะอบรังสีนิวตรอน

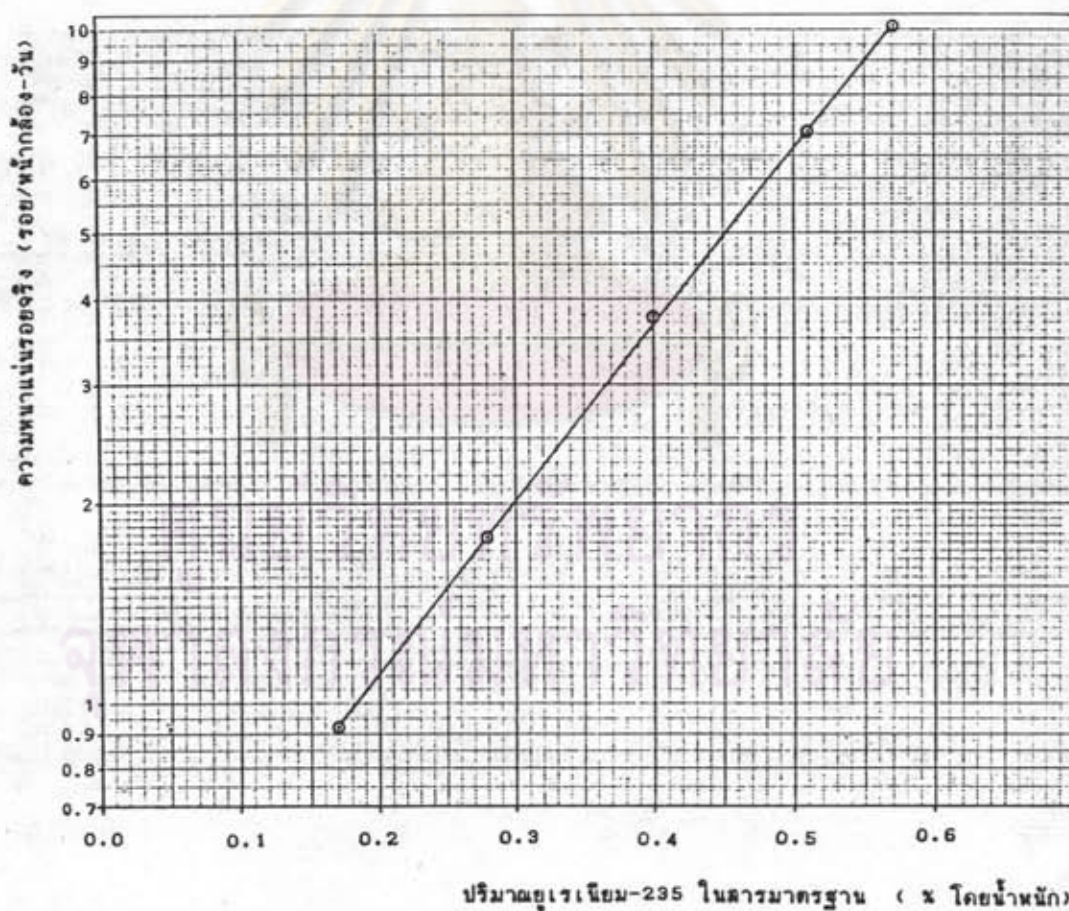
ปริมาณ U-235 ในสารมาตรฐาน (%โดยน้ำหนัก)	ความหนาแน่น รอยที่นับได้*	ความเข้ม** รังสีแกมมา	อัตราส่วนของฟลักซ์ ของนิวตรอน***	ความหนาแน่น รอยที่แก้ค่า*
0.57	2.68	9425	0.7353	3.64
0.51	1.19	12820	1.0000	1.19
0.40	0.55	9571	0.7466	0.74
0.28	0.43	12935	1.0090	0.43
0.17	0.34	12703	0.9910	0.34

- * มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-วัน
- ** มีหน่วยเป็น จำนวนนับ/กรัม-300 วินาที
- *** เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มรังสีแกมมาพลังงาน 1.097 MeV จากลวดอินเดียมซึ่งติดไว้ที่ตัวอย่าง กับค่าความเข้มรังสีแกมมา 12820 /กรัม-300 วินาที เพื่อใช้เป็นค่า ในการ normalize

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ความหนาแน่นรอยจริงของพืชชั้นแฟรกเมนต์และปริมาณยูเรเนียม-235 ที่มีอยู่ในลารมาตรฐาน

ปริมาณ U-235 ในลารมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ความหนาแน่นรอยจริง (จำนวนรอย/หน้ากล้อง-วัน)
0.57	10.19
0.51	7.04
0.40	3.75
0.28	1.78
0.17	0.92



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบ ของความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรอยจริงกับ ปริมาณยูเรเนียม-235

4.5.6 การหาปริมาณยูเรเนียม-235 จากเส้นกราฟเปรียบเทียบ การทดสอบหาปริมาณยูเรเนียม-235 ในสารประกอบยูเรเนียมที่มีความเข้มข้นยูเรเนียม-235 ต่ำกว่าธรรมชาติ โดยใช้กราฟที่ได้จากรูป 4.17 เติริมสารประกอบยูเรเนียมเพื่อให้มีปริมาณยูเรเนียม-235 ในปริมาณต่าง ๆ ไว้ 3 ตัวอย่าง คือ

- ตัวอย่าง -1 เป็นสารประกอบยูเรเนียมออกไซด์ที่มีความเข้มข้นยูเรเนียม-235 ต่ำกว่าธรรมชาติ โดยมียูเรเนียม-235 อยู่ 0.34% ของยูเรเนียมทั้งหมด

- ตัวอย่าง -2 เป็นสารประกอบยูเรเนียมออกไซด์ที่ใช้ในตัวอย่างที่ 1 ผสมกับกรดสเฟอริก ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก และคำนวณหาปริมาณยูเรเนียม-235 ได้ เท่ากับ 0.27%

- ตัวอย่าง -3 เป็นสารประกอบยูเรเนียมออกไซด์ที่ใช้ในตัวอย่างที่ 1 ผสมกับกรดสเฟอริก ปริมาณ 50% โดยน้ำหนัก และคำนวณหาปริมาณยูเรเนียม-235 ได้ เท่ากับ 0.17%

นำตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างไปทำตามขั้นตอนต่าง ๆ เช่นเดียวกับขั้นตอนของสารมาตรฐานจนได้ความหนาแน่นรอยจริง ซึ่งแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ไว้ใน ตารางที่ 4.13 และ ตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 จำนวนรอยพิชชันแฟรกเมนต์ ความเข้มของรังสีแกมมา จากลวดอินเดียม และอัตราส่วนของฟลักซ์ของนิวตรอน สำหรับสารประกอบยูเรเนียมตัวอย่าง

สารตัวอย่าง	ความหนาแน่นรอยที่นับได้*	ความเข้มรังสีแกมมา**	อัตราส่วนของฟลักซ์ของนิวตรอน***	ความหนาแน่นรอยที่แก้ค่า*
ตัวอย่าง-1	10.31	143760	1.020	10.11
ตัวอย่าง-2	4.75	141451	1.004	4.73
ตัวอย่าง-3	2.04	122705	0.871	2.34

* มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-วัน

** มีหน่วยเป็น จำนวนนับ/กรัม-300 วินาที

*** เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มรังสีแกมมาพลังงาน 1.097 MeV จากลวดอินเดียมซึ่งติดไว้ที่ตัวอย่าง กับที่ค่าความเข้มรังสีแกมมา 140956 /กรัม-300 วินาที เพื่อใช้เป็นค่า ในการ normalize

ตารางที่ 4.14 จำนวนรอยฟิชชันแฟรกเมนต์ ความเข้มของรังสีแกมมา จากลวดอินเดียม และอัตราส่วนของฟลักซ์ของนิวตรอน สำหรับสารประกอบยูเรเนียมตัวอย่าง และใช้แคดเมียมหุ้ม เม็ดตัวอย่าง ขณะอาบรังสีนิวตรอน

สารตัวอย่าง	ความหนาแน่น รอยที่นับได้*	ความเข้มรังสีแกมมา**	อัตราส่วนของ*** ฟลักซ์ของนิวตรอน	ความหนาแน่น รอยที่แก้ค่า*
ตัวอย่าง-1	5.02	11636	0.9077	5.53
ตัวอย่าง-2	1.91	12398	0.9671	1.97
ตัวอย่าง-3	0.71	11451	0.8933	0.79

- * มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-วัน
- ** มีหน่วยเป็น จำนวนนับ/กรัม-300 วินาที
- *** เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มรังสีแกมมาพลังงาน 1.097 MeV จากลวดอินเดียมซึ่งติดไว้ที่ตัวอย่าง กับที่ค่าความเข้มรังสีแกมมา 12820 /กรัม-300 วินาที เพื่อใช้เป็นค่า ในการ normalize

จากตารางที่ 4.13 และ ตารางที่ 4.14 หาความหนาแน่นรอยจริง ได้ดังนี้

$$\text{ตัวอย่าง-1} = 10.11 - 5.53 = 4.58 \quad \text{รอย/หน้ากล้อง-วัน}$$

$$\text{ตัวอย่าง-2} = 4.73 - 1.97 = 2.76 \quad \text{รอย/หน้ากล้อง-วัน}$$

$$\text{ตัวอย่าง-3} = 2.34 - 0.79 = 1.55 \quad \text{รอย/หน้ากล้อง-วัน}$$

หาปริมาณยูเรเนียม-235 โดยใช้ความหนาแน่นรอยจริงที่ได้และ ใช้สมการ (4.2) ซึ่งเป็นสมการจากกราฟเปรียบเทียบ ในรูปที่ 4.17 โดยแทนค่า Y ด้วยค่าความหนาแน่นรอยจริงแล้วคำนวณหาค่า X ซึ่งเป็นค่าของปริมาณยูเรเนียม-235 และค่าที่ได้ต้องแก้ค่าด้วยสัดส่วนน้ำหนักอะตอมของยูเรเนียมออกไซด์กับของยูเรเนียม ($U_{2}O_{5}/U_{3}$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 842/714 ได้ผลดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่าง-1} \text{ ได้ปริมาณยูเรเนียม-235} &= (0.437 \times 842) / 714 \\ &= 0.515\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่าง-2} \text{ ได้ปริมาณยูเรเนียม-235} &= (0.352 \times 842) / 714 \\ &= 0.415\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่าง-3} \quad \text{ได้ปริมาณยูเรเนียม-235} &= (0.247 \times 842) / 714 \\ &= 0.291\% \end{aligned}$$

4.7 การคำนวณหาปริมาณยูเรเนียมจากความหนาแน่นรอย

ในการคำนวณหาปริมาณของยูเรเนียม ได้พิจารณาจาก สมการ (3.26) และการจัดลักษณะเรขาคณิตเหมือนกันหมด ในขั้นตอนการอาบรังสี จะได้ปริมาณยูเรเนียม ในตัวอย่าง ดังนี้

$$n_2 = (T_2 / T_1) \cdot n_1 \quad \dots\dots(4.3)$$

เมื่อ n_1 = ปริมาณยูเรเนียมในสารมาตรฐาน โดยเทียบกับสารมาตรฐานที่มีความหนาแน่นรอยใกล้เคียงที่สุด ($= 23.7\%$ โดยน้ำหนัก)
 T_1, T_2 = ความหนาแน่นรอยจริงของสารมาตรฐาน และของสารตัวอย่างตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 จำนวนรอยฟิชชันแฟรกเมนต์ ความเข้มรังสีแกมมาจาก ลวดอินเดียม และอัตราส่วนของฟลักซ์ของนิวตรอน สำหรับแร่ยูเรเนียมตัวอย่าง

แร่ยูเรเนียม	ความหนาแน่นรอยที่นับได้*	ความเข้มรังสีแกมมา**	อัตราส่วนของฟลักซ์ของนิวตรอน***	ความหนาแน่นรอยที่แก้ค่า*
ยูเรเนียม-1	0.23	118250	0.8389	0.27
ยูเรเนียม-2	0.58	141451	1.0035	0.58

- * มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-วัน
- ** มีหน่วยเป็น จำนวนนับ/กรัม-300 วินาที
- *** เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มรังสีแกมมาพลังงาน 1.097 MeV จากลวดอินเดียมซึ่งติดไว้ที่ตัวอย่าง กับที่ค่าความเข้มรังสีแกมมา 140956 /กรัม-300 วินาที เพื่อใช้เป็นค่าในการ normalize

ตารางที่ 4.16 จำนวนรอยฟิชชันแฟรกเมนต์ ความเข้มรังสีแกมมาจาก ลวดอินเดียม และอัตราส่วนของฟลักซ์ของนิวตรอน สำหรับแร่ยูเรเนียมตัวอย่าง และหุ้มแคดเมียมรอบเม็ด แร่ยูเรเนียมขณะอาบรังสีนิวตรอน

แร่ยูเรเนียม	ความหนาแน่น รอยที่นับได้*	ความเข้มรังสีแกมมา**	อัตราส่วนของ*** ฟลักซ์ของนิวตรอน	ความหนาแน่น รอยที่แก้ค่า*
ยูเรเนียม-1	0.07	11414	0.8903	0.08
ยูเรเนียม-2	0.16	14735	1.1494	0.14

- * มีหน่วยเป็น จำนวนรอย/หน้ากล้อง-วัน
- ** มีหน่วยเป็น จำนวนนับ/กรัม-300 วินาที
- *** เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มรังสีแกมมาพลังงาน 1.097 MeV จากลวดอินเดียมซึ่งติดไว้ที่ตัวอย่าง กับที่ค่าความเข้มรังสีแกมมา 12820 /กรัม-300 วินาที เพื่อใช้เป็นค่า ในการ normalize

จาก ตารางที่ 4.15 และ ตารางที่ 4.16 ได้ความหนาแน่นรอยจริง ดังนี้

$$\text{ยูเรเนียม-1} = 0.27 - 0.08 = 0.19 \text{ รอย/หน้ากล้อง-วัน}$$

$$\text{ยูเรเนียม-2} = 0.58 - 0.14 = 0.44 \text{ รอย/หน้ากล้อง-วัน}$$

โดยการใช้ สมการ (4.3) คำนวณหาปริมาณยูเรเนียม ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{แร่ยูเรเนียม-1 มีปริมาณยูเรเนียม} &= (0.19/0.92) \times 23.7 \\ &= 4.895 \% \text{ โดยน้ำหนัก} \end{aligned}$$

เนื่องจากมิกรอสเทียริกผลมอยู่ในปริมาณ 5%

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ได้ปริมาณยูเรเนียม} &= (4.895/95) \times 100 \\ &= 5.15 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แร่ยูเรเนียม-2 มีปริมาณยูเรเนียม} &= (0.44/0.92) \times 23.7 \\ &= 11.33 \% \text{ โดยน้ำหนัก} \end{aligned}$$

เนื่องจากมิกรอสเทียริกผลมอยู่ในปริมาณ 5%

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ได้ปริมาณยูเรเนียม} &= (11.33/95) \times 100 \\ &= 11.93 \% \end{aligned}$$

และจากการทดสอบหาปริมาณยูเรเนียม จากแร่ยูเรเนียมตัวอย่าง
ทั้ง 2 ตัวอย่าง ด้วยวิธี แกมมา สเปคโตรเมตริ ได้ผลดังนี้

$$\text{แร่ยูเรเนียม-1 มีปริมาณยูเรเนียม} = 2.53\%$$

$$\text{แร่ยูเรเนียม-2 มีปริมาณยูเรเนียม} = 6.29\%$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย