

ภาคปฏิบัติและผลการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์มี

ก. แฉกแก้ว

ข. กลองจุดทรรศน์

ค. สารที่ช่วยในการวิเคราะห์ แยกออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้

2 ส่วน คือ สารตัวอย่างและสารมาตรฐานที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์

3.1.1 การเตรียมแฉกแก้ว

ปกติในเนื้อแก้วจะมีสารแตกตัวได้เช่น ยูเรเนียมหรือธอเรียมปนอยู่¹ แฉกแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์จึงต้องเลือกชนิดที่มีสารที่แตกตัวได้ปนอยู่น้อยที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้อยู่ที่ที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของสารที่แตกตัวได้ภายในเนื้อแก้วไปปนกับรอยที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของสารที่แตกตัวได้ในตัวอย่าง ซึ่งทราบได้จากการนำแฉกแก้วชนิดต่าง ๆ ไปอบนิวตรอน เพื่อนับจำนวนรอยที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของสารที่แตกตัวได้ภายในเนื้อแก้วเองแล้วเลือกดูว่าแฉกแก้วชนิดไหนมีจำนวนรอยที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด

วิธีทำการทดลอง นำแฉกแก้วชนิดต่าง ๆ 10 ชนิด ได้แก่ แก้วสไลด์, (ตรา GOLD SEAL), หลอดไฟฟ้า (ตรา OSRAM), กระจกประตุนหน้าต่าง (สีเทา), กระจกประตุนหน้าต่าง (ใส), ขวด (สีชา),

¹R.L. Fleischer and P.B. Price "Glass Dating by Fission Fragment Tracks", Journal of Geophysical Research, 69 (1964) 331

เลนส์แว่นตา (เลนส์นูนใส), กระจกแว่นตา (สีเขียวแก่) เลนส์แว่และแก้วน้ำ (ใส) ไปอบนิวตรอนที่นิวตรอนระบบท่อลม (pneumatic tube) ของเครื่องปฏิกรณ์ ปริมาณ ซึ่งมีทั้งนิวตรอนช้าและนิวตรอนเร็วเป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้รอยที่เกิดขึ้น มีจำนวนมากพอที่จะนับได้ เมื่อเอาออกมาแล้วทิ้งไว้ในถังตะกั่วเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้กัมมันตภาพรังสีจากแผ่นแก้วลดลง แล้วนำไปกัดผิว (etching) ด้วยกรด ไฮโดรฟลูออริก (HF)^{2,3} มีความเข้มข้น 4% ที่อุณหภูมิของห้องเป็นเวลา 30 นาที กรดจะทำปฏิกิริยากับผิวของแผ่นแก้วส่วนที่ได้รับความเสียหายเนื่องจากส่วนที่แตกตัวของ สารที่แตกตัวได้ในแผ่นแก้ววิ่งผ่าน และจะมีผลทำให้ส่วนที่ได้รับความเสียหายเหล่านั้น หลุดออกไป ทำให้รอยมีขนาดใหญ่ขึ้นและจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ทำ ปฏิกิริยากับกรด ที่เลือกใช้เวลาเพียง 30 นาทีเพราะไม่ต้องการให้รอยมีขนาดใหญ่ เกินไปจนรอยสองรอยที่อยู่ใกล้ ๆ กันกลายเป็นรอยเดี่ยวและไม่ให้รอยที่คั่น ๆ งาม หรือหายไปทำให้ลำบากต่อการนับ ต้องการเพียงขยายให้ใหญ่ขึ้นมาเพื่อให้เห็นได้ขยาย กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายขนาดธรรมดาเท่านั้น เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเรียบร้อยแล้วก็นำแผ่นแก้วไปล้างกรดออกให้หมด โดยใช้วิธีปล่อยให้ไหลผ่านแผ่นแก้วอย่าง ช้า ๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เช็ดแผ่นแก้วให้แห้งและสะอาด จากนั้นนำไปส่องดูด้วย กล้องจุลทรรศน์แบบ คูด ทูตัน แอนคิมส์ (Cooke Troughton & Simms) ใช้แสงสว่างจากหลอดไฟ 6 โวลต์ ใช้ฟิลเตอร์ (filter) กรองแสงสีเขียว เพื่อช่วยให้เห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และมองไถ่นาน ๆ ในการทดลองนี้ใช้เลนส์ตายพิช (eye piece) ขนาด X10 และเลนส์ออบเจกทีฟ (objective) ขนาด X10 จะเห็นรอยที่เกิดขึ้นบนแผ่นแก้วเป็นรูปกรวย มีขอบค้ำอันเนื่องมาจากการกระเจิงของ แสงที่ขอบหลอด การนับจำนวนรอยเหล่านี้ถ้าจำนวนรอยมีไม่มากก็อาจนับเป็นจำนวน

2

T. Methasiri and A.E. Johanson "High-Energy Photofission of Heavy and Medium-Heavy Elements", Nuclear Physics., 167 A (1970) 97.

3

P.B. Price and R.M. Walker "A New Track Detector for Heavy Particle Studies", Physical Review Letter., 3 (1962) 113

รอยต่อหน้ากลองก็ได้ แต่หาจำนวนรอยมีมาก ก็อาจใช้เส้นสายที่ขี้นที่มีตารางแบ่งไว้ เป็นช่อง ๆ ทิศไว้ควย นับจำนวนรอยที่มีอยู่ในช่องเล็ก ๆ นั้นก็ได้ เพื่อให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แล้วเดือนกลองไปกวาดนับรอยให้ทั่วบริเวณที่มีรอยน้อย จำนวนรอยที่จะนับได้สะดวกไม่ควรเกิน 50 รอย จากการทดสอบค่าทางสถิติ⁴ พบว่าค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยจำนวนรอยต่อพื้นที่หน้ากลองจะน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และถ้านับจำนวนรอยได้ทั้งหมด 10,000 รอย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 1 ของค่าเฉลี่ย แต่เสียเวลามาก การนับรอยให้ได้ไม่ต่ำกว่า 1,000 รอย จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณร้อยละ 3.3 เมื่อนับจำนวนรอยเสร็จแล้วนำค่าที่นับได้จากแผนแกวแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน เพื่อเห็นว่าแผนแกวชนิดไหนมีสารแตกตัวได้อยู่ภายในตัวมันน้อยที่สุด ผลของการนับแสดงดังในตาราง 3-1 ซึ่งจะเห็นว่ากระจกสไลด์ตรา GOLD SEAL ที่ใช้กับกลองจุดทรรศน์ให้ค่าจำนวนรอยต่อหน้ากลองน้อยที่สุดคือ 3.55 รอยต่อหน้ากลอง รองลงมาได้แก่หลอดไฟฟ้า 5.95 รอยต่อหน้ากลอง และกระจกประตู-หน้าต่าง 6.67 รอยต่อหน้ากลอง ดังนั้นจึงใช้กระจกสไลด์ตรา GOLD SEAL ในการวิเคราะห์ครั้งนี้

⁴ วิชัย หโยคม และผู้อื่น "รายงานการวิจัยเกี่ยวแกวการวัดรังสี"

ลำดับที่	ชนิดของแก้ว	จำนวนรอย	จำนวนหน้ากลอง	จำนวนรอย
				หน้ากลอง
1	กระจกใส (ตรา GOLD SEAL)	2307	650	3.55
2	หลอดไฟฟ้า (ตรา OSRAM)	655	110	5.95
3	กระจกประตู-หน้าต่าง (สีเทา)	1691	250	6.76
4	ขวด (ใส)	1087	113	9.62
5	เลนส์แว่นตา (เลนส์นูนใส)	1067	110	9.70
6	เลนส์แว่น	1177	117	10.06
7	กระจกแว่นตา (สีเขียวแกม)	1380	118	11.69
8	แก้วน้ำ	1358	106	12.81
9	กระจกประตู-หน้าต่าง (ใส)	2513	138	18.21
10	ขวด (สีขาว)	2265	116	19.53

ตาราง 3-1 แสดงจำนวนรอยต่อหน้ากลองที่เกิดจากการแตกตัวของสาร
ที่แตกตัวได้ภายในเนื้อแก้วของแก้วชนิดต่าง ๆ

3.1.2 การเตรียมสารตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีรหัส P-1, P-2, En-Th, En-Mo, CT-Mo, C-5, C-8, M-13 ซึ่งนายวันชัย⁵ เคยวิเคราะห์หาปริมาณขอเรียมโดยวิธีการวัดกัมมันตภาพรังสีมาแล้ว และรหัส P-3

ตัวอย่างเหล่านี้ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ ทำให้แห้งสนิทและบดให้ละเอียดเป็นผงเสียก่อน เพื่อว่าเวลาโรยลงบนแผ่นแก้วแล้ว เนื้อของตัวอย่างจะได้แนบสนิทกับผิวของแผ่นแก้ว

3.1.3 สารมาตรฐานที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์

สารที่ใช้เป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์ให้รหัสว่า S เป็น ThO_2 (spectrochemically pure standard) มีปริมาณขอเรียมออกไซด์อยู่มากกว่า 99% ซึ่งถือว่าเป็น 100% ได้มาจากสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีเทาอ่อนค่อนข้างขาว บดง่าย

3.2 คำเนิการวิเคราะห์ขอเรียม

3.2.1 การอาบนิวตรอนแก๊สตัวอย่าง

โรยผงตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วลงบนแผ่นแก้วสไลด์ ประกบด้วยแผ่นแก้วสไลด์อีกแผ่นหนึ่ง แล้วนำไปอาบนิวตรอนจากต้นกำเนิดนิวตรอนแบบอะเมอริเซียม-เบอริลเลี้ยงที่แผนกวิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นเวลา 5 วัน ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบนี้แผ่นิวตรอนเร็วออกมาประมาณ 10^6 ตัวต่อวินาที และให้รังสีแกมมาออกมาด้วย ถึงแม้จะมีรังสีแกมมาออกมาด้วย แต่ก็ทำให้เกิดการแตกตัวที่เรียกว่า

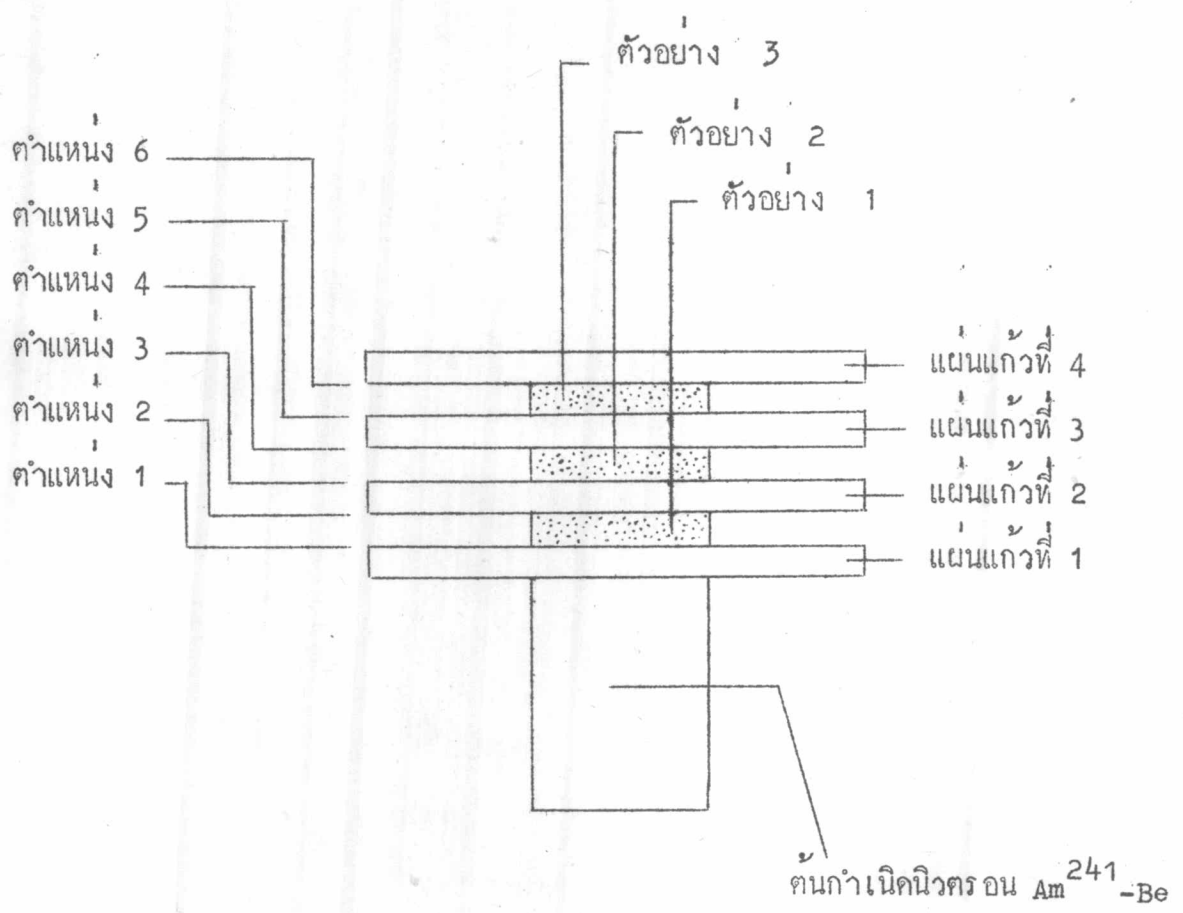
⁵ วันชัย สุ่มเล็ก "การวิเคราะห์ขอเรียมโดยวิธีการวัดกัมมันตภาพรังสี"
วิทยานิพนธ์ แผนกวิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย 2517



ฟิสิกส์ (photofission) น้อยมากเมื่อเทียบกับการแตกตัวโดยนิวตรอน⁶ เพราะพลังงานขีดเริ่มสำหรับฟิสิกส์เท่ากับ 5 Mev ความไวสูงสุดในการแตกตัวแบบฟิสิกส์จะอยู่ที่พลังงานของรังสีแกมมา เป็น 14 Mev และเมื่อเทียบความไวสำหรับการแตกตัวโดยรังสีแกมมากับนิวตรอนแล้ว ความไวสูงสุดในการแตกตัวโดยรังสีแกมมาจะเป็นเพียง 1 ใน 3 ของความไวในการแตกตัวโดยนิวตรอนที่มีพลังงาน 1 Mev เท่านั้นเอง เมื่อครบกำหนดแล้วแกะเอาตัวอย่างออกเช็คดวงตัวอย่างที่เหลือคิกอยู่บนแผ่นแก้วออกให้หมด จากนั้นนำแผ่นแก้วมากัดผิวด้วยกรดไฮโครฟลูออริก แล้วส่องดูผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคูลูม หรือคูลูม ใช้เลนส์อายุที่ขนาด $\times 10$ และเลนส์ออฟเฟกต์ที่ขนาด $\times 10$ โดยวิธีการเช่นเดียวกับที่เคยทำมาแล้วในหัวข้อ 3.1.1 ทุกอย่าง เพื่อนับจำนวนรอยที่เกิดขึ้น แล้วนำค่าจำนวนรอยที่นับได้ไปคำนวณหาปริมาณขอเริ่มต่อไป

เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์มีมาก การอบนิวตรอนคราวละ 1 ตัวอย่างจะทำให้เสียเวลามาก เพื่อความรวดเร็วจึงใช้วิธีอบคราวละหลายตัวอย่างพร้อม ๆ กัน แต่ไม่เกิน 3 ตัวอย่าง โดยโรยตัวอย่างลงบนแผ่นแก้วสไลด์ให้หนา 1 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับความหนาของแผ่นแก้วสไลด์พอดีแล้ววางซ้อนกันเป็นชั้น ๆ และในชั้นสุดท้ายประกบด้วยแผ่นแก้วสไลด์อีกแผ่นหนึ่งครึ่งรูป 3-1

⁶ R.M. Walker, P.B. Price and R.L. Fleischer, "A Versatile Disposable Dosimeter for Slow and Fast Neutron" Applied Physics , 3 (1963) 28



รูป 3-1 แสดงการจัดวางตัวอย่าง ขณะอบนิวตรอน

เพราะฉะนั้นจากรูป 3-1

รอยที่เกิดจากตัวอย่าง 1 จะปรากฏบนผิวค้ำบนของแผ่นแก้วที่ 1 และผิวค้ำกลางของแผ่นแก้วที่ 2

รอยที่เกิดจากตัวอย่าง 2 จะปรากฏบนผิวค้ำบนของแผ่นแก้วที่ 2 และผิวค้ำกลางของแผ่นแก้วที่ 3

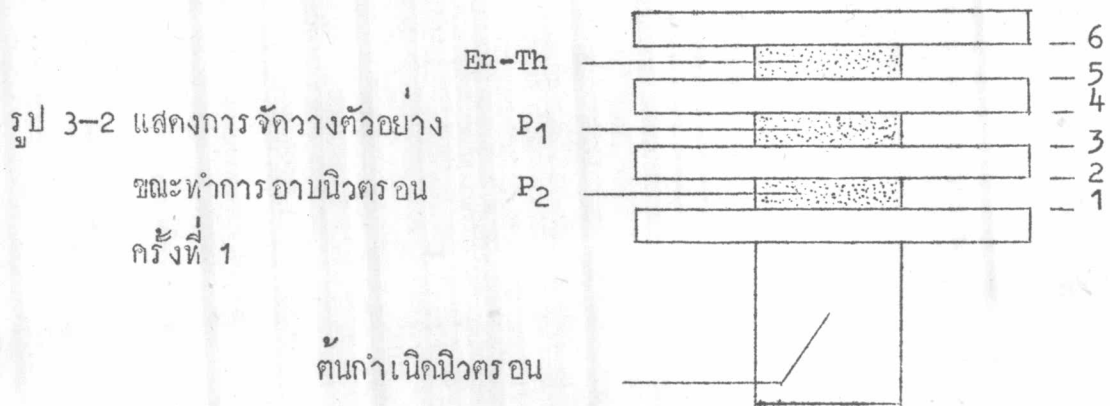
รอยที่เกิดจากตัวอย่าง 3 จะปรากฏบนผิวค้ำบนของแผ่นแก้วที่ 3 และผิวค้ำกลางของแผ่นแก้วที่ 4

เพื่อความสะดวกในการเรียกคราวต่อไป กำหนดให้

ผิวค้ำบน	ของแผ่นแก้วที่ 1	เป็นผิวแก้วที่ตำแหน่ง 1
ผิวค้ำกลาง	ของแผ่นแก้วที่ 2	เป็นผิวแก้วที่ตำแหน่ง 2
ผิวค้ำบน	ของแผ่นแก้วที่ 2	เป็นผิวแก้วที่ตำแหน่ง 3
ผิวค้ำกลาง	ของแผ่นแก้วที่ 3	เป็นผิวแก้วที่ตำแหน่ง 4
ผิวค้ำบน	ของแผ่นแก้วที่ 3	เป็นผิวแก้วที่ตำแหน่ง 5
ผิวค้ำกลาง	ของแผ่นแก้วที่ 4	เป็นผิวแก้วที่ตำแหน่ง 6

การอบนิวตรอนครั้งที่ 1

ตัวอย่างที่ใช้อบนิวตรอนคือ P₁, P₂ และ En-Th ขณะที่อบ
จัดวางตัวอย่างดังรูป 3-2 และผลของการนับจำนวนรอยที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งต่าง ๆ
ของผิวแก้วแสดงในตาราง 3-2

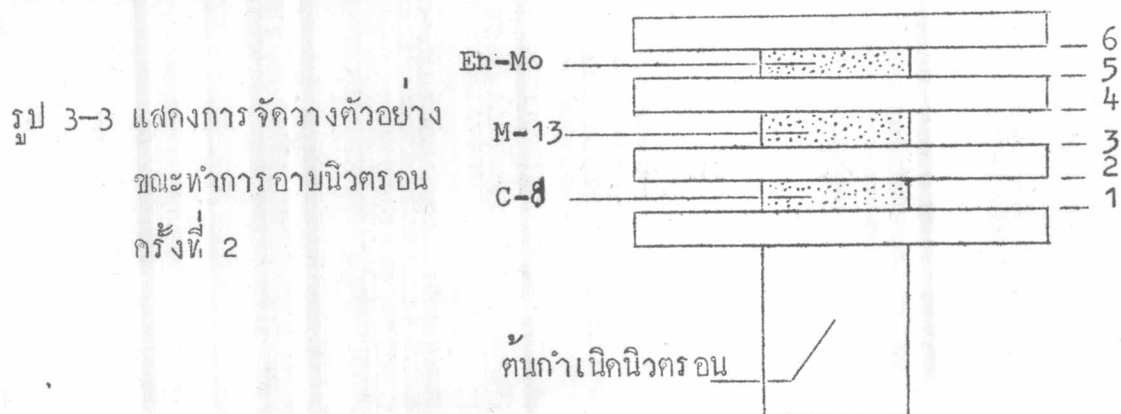


ตัวอย่างที่ทำให้เกิดรอย	ตำแหน่งของ ผิวแก้ว	จำนวนรอย	จำนวนหน้ากล้อง	จำนวนรอย / หน้ากล้อง
P-2	1	173	220	0.79
	2	151	220	0.69
P-1	3	143	220	0.65
	4	129	220	0.59
En-Th	5	571	220	2.60
	6	543	230	2.36

ตาราง 3-2 แสดงจำนวนรอยต่อหน้ากล้องของตัวอย่างในการอบนิวตรอน
ครั้งที่ 1

การอบนิวตรอนครั้งที่ 2

ตัวอย่างที่ใช้อบนิวตรอนคือ C-8, M-13, En-Mo ขณะที่อบจี้วาง ตัวอย่างดังรูป 3-3 และผลของการนับจำนวนรอยที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งต่าง ๆ ของ ผิวแก้วแสดงในตาราง 3-3



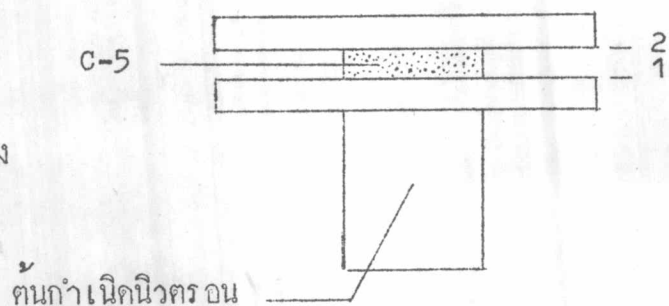
ตัวอย่างที่ทำให้เกิดรอย	ตำแหน่งของ ผิวแก้ว	จำนวนรอย	จำนวนหน้า กลอง	จำนวนรอย หน้ากลอง
C-8	1	266	220	1.21
	2	208	200	1.04
M-13	3	445	220	2.02
	4	378	220	1.72
En-Mo	5	216	222	1.03
	6	203	220	0.92

ตาราง 3-3 แสดงจำนวนรอยต่อหน้ากลองของตัวอย่างในการอบนิวตรอน ครั้งที่ 2

การอาบนิวตรอนครั้งที่ 3

ตัวอย่างที่ใช้อาบนิวตรอนคือ C-5 เพียงตัวอย่างเดียว ขณะที่อาบ
จัดวางตัวอย่างดังรูป 3-4 และผลของการนับจำนวนรอยที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งต่าง ๆ
ของผิวแก้วแสดงดังในตาราง 3-4

รูป 3-4 แสดงการจัดวางตัวอย่าง
ขณะที่การอาบนิวตรอน
ครั้งที่ 3

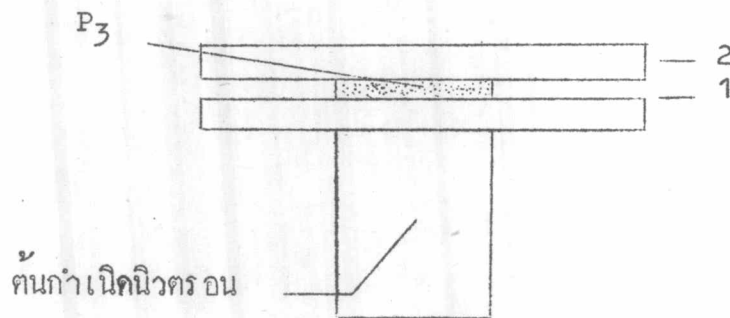


ตัวอย่างที่ทำให้เกิดรอย	ตำแหน่งของ ผิวแก้ว	จำนวนรอย	จำนวนหน้ากลอง	จำนวนรอย หน้ากลอง
C-5	1	255	220	1.16
	2	222	220	1.01

ตาราง 3-4 แสดงจำนวนรอยต่อหน้ากลองของตัวอย่างในการอาบ
นิวตรอน ครั้งที่ 3

การอบนิวตรอนครั้งที่ 4

ตัวอย่างที่ใช้อบนิวตรอนคือ P_3 เนื่องจากสารนี้มีจำนวนน้อย ไม่เพียงพอที่จะโรยบนแผ่นแก้วให้หนาถึง 1 มิลลิเมตรดังครั้งก่อน ๆ ได้จึงโรยให้หนาเพียงประมาณ $\frac{1}{2}$ มิลลิเมตร โดยจักวางตัวอย่างดังรูป 3-5 และผลการนับจำนวนรอยที่เกิดขึ้นแสดงดังในตาราง 3-5



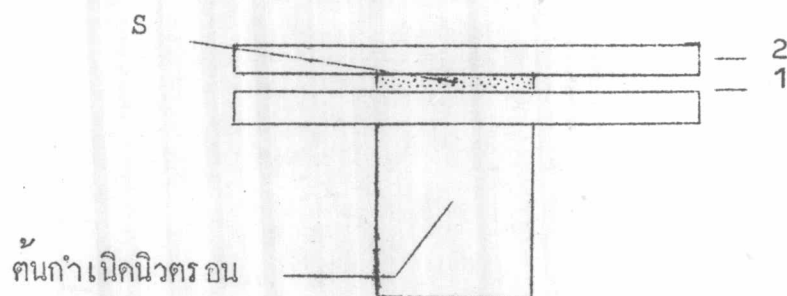
รูป 3-5 แสดงการจักวางตัวอย่าง ขณะทำการอบนิวตรอนครั้งที่ 4

ตัวอย่างที่ทำให้เกิดรอย	ตำแหน่งของผิวแก้ว	จำนวนรอย	จำนวนหน้ากลอง	$\frac{\text{จำนวนรอย}}{\text{หน้ากลอง}}$
P_3	1	1151	37	31.11

ตาราง 3-5 แสดงจำนวนรอยต่อหน้ากลองของตัวอย่าง ในการอบนิวตรอนครั้งที่ 4

3.2.2 การอบนิวตรอนแก่สารมาตรฐาน

สารมาตรฐานที่ใช้อบนิวตรอนคือ S วิธีอบและเวลาในการอบ ทำเหมือนการอบแก๊วทุกอย่าง แต่สารมาตรฐาน S มีจำนวนน้อยเวลาโรย ลงบนแผ่นแก้วจึงให้หนาเพียงประมาณ $\frac{1}{2}$ มิลลิเมตร เช่นเดียวกันกับการอบ นิวตรอนครั้งที่ 4 ในหัวข้อ 3.2.1 โดยจกวาง S ขณะอบนิวตรอนดังรูป 3-6 และผลของจกวางนับจำนวนรอยที่เกิดขึ้นแสดงในตาราง 3-6



รูป 3-6 แสดงการจกวางสารมาตรฐาน ขณะทำการอบนิวตรอน

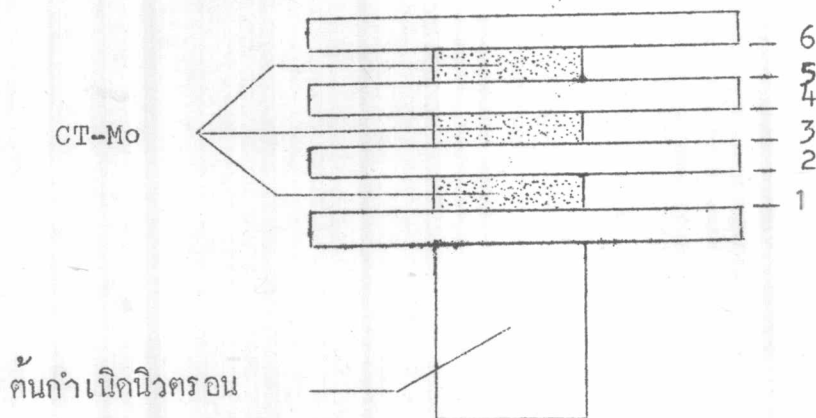
สารมาตรฐานที่ทำให้ เกิดรอย	ตำแหน่งของ ผิวแก้ว	จำนวนรอย	จำนวนหนากถ่วง	จำนวนรอย หนากถ่วง
S	1	1448	43	33.67

ตาราง 3-6 แสดงจำนวนรอยต่อหนากถ่วงของสารมาตรฐาน ในการ
อบนิวตรอน

3.2.3 การแก๊พแลคเตอร์เกี่ยวกับตำแหน่งที่อามนิวตรอน

เนื่องจากชั้นกำเนิคนิวตรอนที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นต้นกำเนิคนิวตรอนแบบจุดที่ระยะไกลต้นกำเนิคนิวตรอน ค่าฟลักซ์ของนิวตรอนย่อมมากกว่าที่ระยะไกล ๆ ออกไป และอัตราการแตกตัวขึ้นอยู่กับค่าฟลักซ์นี้ด้วย การอามนิวตรอนโดยวางตัวอย่างซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ดังรูป 3-1 นั้นแต่ละตัวอย่างจะได้รับฟลักซ์ของนิวตรอนไม่เท่ากัน ถ้านำจำนวนรอยที่นับได้มาเทียบกับจำนวนรอยของสารมาตรฐาน ซึ่งอามนิวตรอนไว้ที่ตำแหน่งเดียวเพื่อหาปริมาณหรือเริ่มแล้วจะทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้ ดังนั้นต้องแก๊พแลคเตอร์ของระยะห่างตัวอย่างการอามนิวตรอนแก่สารมาตรฐานทุกตำแหน่งพร้อม ๆ กัน เพื่อว่าเวลานำจำนวนรอยของตัวอย่างมาเทียบจะได้เทียบที่ตำแหน่งเดียวกัน

แต่เนื่องจากสารตัวอย่างมีน้อยไม่พอที่จะโรยบนแผ่นแก้วให้ครบทุกชั้นได้ จึงใช้ตัวอย่าง CT-Mo ซึ่งไม่ทราบปริมาณหรือเริ่มแต่มีมากอามแทน แล้วจึงนำมาคำนวณหาปริมาณหรือเริ่มใน CT-Mo เอาที่หลัง การอามทำ 2 ครั้ง เพื่อความแม่นยำแล้วจึงเฉลี่ย โดยจกวาง CT-Mo ขณะอามนิวตรอนดังรูป 3-7 ผลของการนับจำนวนรอยที่เกิดขึ้นในการอามครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 แสดงในตาราง 3-7 และตาราง 3-8 ตามลำดับ



รูปที่ 3-7 แสดงการจกวาง CT-Mo ขณะทำการอามนิวตรอน

ตำแหน่งของ ผิวแก้ว	จำนวนรอย	จำนวนหน้ากลอง	จำนวนรอย หน้ากลอง
1	366	190	1.93
2	342	200	1.71
3	272	180	1.51
4	261	200	1.31
5	227	200	1.14
6	234	230	1.02

ตาราง 3-7 แสดงจำนวนรอยต่อหน้ากลองในการอาบนิวตรอนแก่
CT-Mo ครั้งที่ 1

ตำแหน่งของ ผิวแก้ว	จำนวนรอย	จำนวนหน้ากลอง	จำนวนรอย หน้ากลอง
1	430	220	1.95
2	359	210	1.71
3	332	220	1.51
4	301	228	1.32
5	246	220	1.12
6	222	220	1.01

ตาราง 3-8 แสดงจำนวนรอยต่อหน้ากลองในการอาบนิวตรอนแก่
CT-Mo ครั้งที่ 2

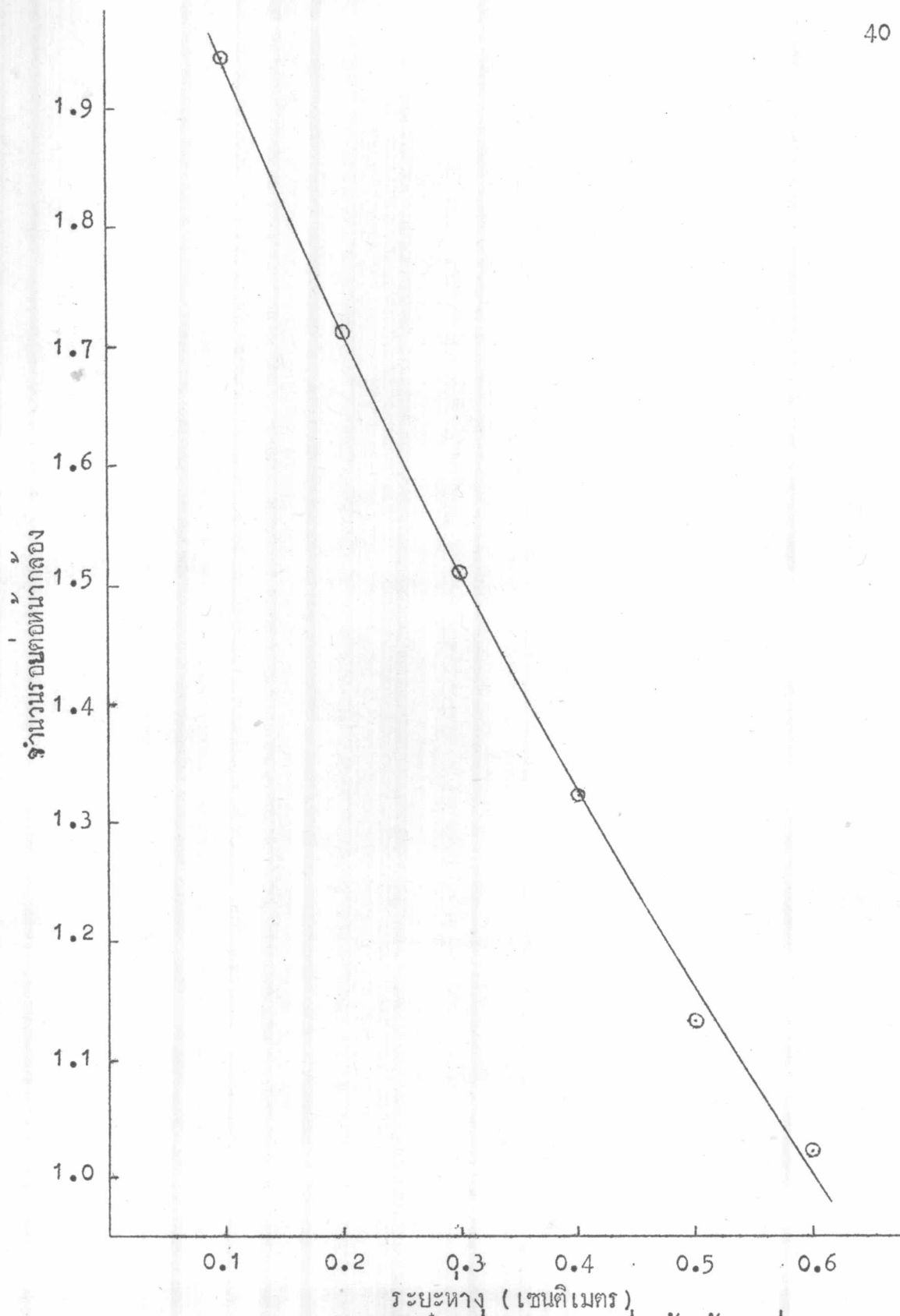
นำผลจำนวนรอยต่อหน้ากล้องของ CT-Mo ที่นับได้จากการอาบนิวตรอน
2 ครั้ง ในตาราง 3-7 และ 3-8 มาเฉลี่ย
วิธีเฉลี่ย เฉลี่ยโดยใช้สูตร

$$\frac{\text{จำนวนรอยต่อหน้ากล้อง (เฉลี่ย)}}{\text{หน้ากล้อง}} = \frac{\text{จำนวนรอยต่อหน้ากล้อง (อาบครั้งที่ 1)} + \text{จำนวนรอยต่อหน้ากล้อง (อาบครั้งที่ 2)}}{2}$$

ผลของการเฉลี่ยแสดงในตาราง 3-9 และเนื่องจากตำแหน่งของนิวแกวท์
1, 2, 3, 4, 5 และ 6 อยู่ห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอน 0.1, 0.2, 0.3, 0.4,
0.5, และ 0.6 เซนติเมตรตามลำดับ จึงสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
จำนวนรอยต่อหน้ากล้องเฉลี่ยกับระยะห่างของ CT-Mo ได้ดังรูป 3-8

ตำแหน่งของ นิวแกวท์	จำนวนรอย ต่อหน้ากล้อง อาบครั้งที่ 1	จำนวนรอย ต่อหน้ากล้อง อาบครั้งที่ 2	จำนวนรอย ต่อหน้ากล้อง เฉลี่ย
1	1.93	1.95	1.94
2	1.71	1.71	1.71
3	1.51	1.51	1.51
4	1.31	1.32	1.32
5	1.14	1.12	1.13
6	1.02	1.01	1.02

ตาราง 3-9 แสดงจำนวนรอยต่อหน้ากล้องเฉลี่ยของ CT-Mo ที่
ตำแหน่งต่าง ๆ จากการอาบนิวตรอน 2 ครั้ง



รูป 3-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอยต่อหน้ากล้องเฉลี่ยของ CT-Mo กับระยะทางจากต้นกำเนิดนิวตรอน

3.3 การคำนวณและผลการวิเคราะห์

เนื่องจากการหาปริมาณขอเรียมในแต่ละตัวอย่าง จะต้องเทียบจำนวนรอยกับของสารมาตรฐาน แต่ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เทียบกับ CT-Mo ซึ่งไม่ทราบปริมาณขอเรียม ดังนั้นในการคำนวณจึงแบ่งเป็น 2 ตอน คือต้องคำนวณหาปริมาณขอเรียมใน CT-Mo ก่อน แล้วจึงคำนวณหาของในแต่ละตัวอย่าง

3.3.1 คำนวณหาปริมาณขอเรียมใน CT-Mo

หาปริมาณขอเรียมออกไซค์ใน CT-Mo ได้โดยเปรียบเทียบจำนวนรอยที่ตำแหน่งของผิวแก้ว 1 ของ CT-Mo กับของสารมาตรฐาน S

$$\begin{aligned} \text{จากตาราง 3-6 จำนวนรอยต่อหน้ากลองของ S ที่ตำแหน่งของผิวแก้ว 1} \\ = 33.67 \frac{\text{รอย}}{\text{หน้ากลอง}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากตาราง 3-9 จำนวนรอยต่อหน้ากลอง (เฉลี่ยจากการอ่านนิวตรอน} \\ \text{2 ครั้ง) ของ CT-Mo ที่ตำแหน่งของผิวแก้ว 1} = 1.94 \frac{\text{รอย}}{\text{หน้ากลอง}} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณของขอเรียมออกไซค์ใน S} = 100 \%$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น \% ของขอเรียมออกไซค์ใน CT-Mo} &= \frac{1.94 \times 100}{33.67} \\ &= 5.76 \% \end{aligned}$$

3.3.2 คำนวณหาปริมาณขอเรียมในตัวอย่างและผลการคำนวณ

เมื่อทราบปริมาณขอเรียมใน CT-Mo แล้ว สามารถคำนวณหาปริมาณขอเรียมในตัวอย่างได้โดยการ เปรียบเทียบจำนวนรอยของตัวอย่างกับของ CT-Mo ในตาราง 3-9 โดยตำแหน่งของผิวแก้วที่จะเทียบต้องเป็นตำแหน่งเดียวกัน

ปริมาณขอเรียมในตัวอย่างหาได้จากสูตร

$$\% \text{ ของขอเรียม} = \frac{A \times Q}{B}$$

- เมื่อ A คือจำนวนรอยคอดหน้ากลองของตัวอย่าง
 B คือจำนวนรอยคอดหน้ากลองของ CT-Mo
 Q คือเปอร์เซ็นต์ของขอเรียบใน CT-Mo

ตัวอย่าง หาปริมาณขอเรียบออกไซด์ในตัวอย่าง P-1

จำนวนรอยคอดหน้ากลองของตัวอย่าง P-1 ที่ตำแหน่งของผิวแก้ว 4
 ในตาราง 3-2 = 0.59 รอย/หน้ากลอง

จำนวนรอยคอดหน้ากลองของ CT-Mo ที่ตำแหน่งของผิวแก้ว 4 ใน
 ตาราง 3-9 = 1.32

เปอร์เซ็นต์ของขอเรียบออกไซด์ใน CT-Mo ที่ทราบจากการคำนวณ
 ในหัวข้อ 3.3.1 = 5.76 %

$$\begin{aligned} \% \text{ ของขอเรียบออกไซด์ใน P-1} &= \frac{0.59 \times 5.76}{1.32} \\ &= 2.57 \% \end{aligned}$$

โดยการหาค่าตัวอย่างนี้ ผลการวิเคราะห์หาปริมาณขอเรียบออกไซด์
 ของตัวอย่างจากตาราง 3-2, ตาราง 3-3, ตาราง 3-4 และตาราง 3-5,
 ความแตกต่างของปริมาณขอเรียบออกไซด์ที่ได้จากการเทียบหาจากตำแหน่งของ
 ผิวแก้ว 2 ตำแหน่ง คิดเป็นร้อยละ โดยเทียบกับตำแหน่งที่อยู่บนผิวแก้วแผ่นล่าง
 ของแต่ละชั้น และปริมาณของขอเรียบออกไซด์เฉลี่ยจากที่หาได้โดยการเทียบที่
 ตำแหน่งของผิวแก้ว 2 ตำแหน่ง คิดเป็นร้อยละ แสดงในตาราง 3-10

ตัวอย่าง	ตำแหน่งของนิวแกว ที่ใช้เทียบ	% ของธอริยม ออกไซด์	%ความแตกต่าง เนื่องจากตำแหน่ง	%ของธอริยม ออกไซด์เฉลี่ย
P-2	1	2.34	0.85	2.33
	2	2.32		
P-1	3	2.48	3.63	2.53
	4	2.57		
En-Th	5	13.25	0.52	13.31
	6	13.33		
C-8	1	3.59	2.51	3.55
	2	3.50		
M-13	3	7.71	2.72	7.61
	4	7.50		
C-5	1	3.44	1.16	3.42
	2	3.40		
En-Mo	5	5.25	0.95	5.23
	6	5.20		
P-3	1	98.32	-	98.32

ตาราง 3-10 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธอริยมออกไซด์ในตัวอย่าง

ในตาราง 3-11 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยวิธีนี้กับโดยวิธีอื่น และความแตกต่างคิดเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับวิธีอื่น

ตัวอย่าง	% ของขอริเยมออกไซควิเคราะห์โดยวิธีนี้	% ของขอริเยมออกไซควิเคราะห์โดยวิธีอื่น	% ความแตกต่างของวิธีนี้เทียบกับวิธีอื่น	หมายเหตุ
P-2	2.34	3.38-4.75	30.77-50.74	% ของขอริเยมออกไซควิเคราะห์ในข้อที่ 3 ตั้งแต่ P-2 จนถึง En-Mo เป็นผลจากการวิเคราะห์โดยวิธีวัดกัมมันตภาพรังสีของนายวันชัย กิจที่จุกกัมมันตภาพรังสีเกิดสมคูลย์ ส่วน P-3 เป็นผลจากการวิเคราะห์โดยวิธีทางเคมี
P-1	2.52	3.87-4.34	34.88-41.94	
En-Th	13.31	12.08-16.84	10.18-20.96	
C-8	3.52	3.90	9.74	
M-13	7.61	6.80	11.91	
C-5	3.42	3.41	0.29	
En-Mo	5.23	5.35	2.24	
P-3	98.32	มากกว่า 90		

ตาราง 3-11 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีอื่น

3.4 การทดลองประกอบการวิเคราะห์

3.4.1 การทดลองเพื่อผลของความหยาบและละเอียดของผงตัวอย่าง ที่จะมีคือน้อย

ตัวอย่างที่เป็นผง ความหยาบและละเอียดของผงอาจจะมีผลต่อจำนวนรอยที่เกิดขึ้น เพราะตัวอย่างที่หยาบจะมีช่องว่างระหว่างเนื้อของตัวอย่างที่จะสัมผัสกับผิวของแผ่นแก้วน้อยกว่าตัวอย่างที่ละเอียด ในการทดลองเพื่อผลของความหยาบและละเอียดที่มีผลต่อจำนวนรอยนี้ ใช้ C-8, M-13 และ En-Mo ซึ่งเคยอาบนิวตรอนมาครั้งหนึ่งแล้ว ในการอาบนิวตรอนครั้งที่ 2 หัวข้อ 3.2.1 นำมาบดให้ละเอียดขึ้นไปอีกโดยถือว่าที่อาบครั้งก่อนนั้นเป็นตัวอย่างที่หยาบ เมื่อบดละเอียดแล้วนำไปอาบนิวตรอนอีกครั้งหนึ่งโดยจัดวางตัวอย่างและทำการอาบเช่นเดียวกันกับการอาบครั้งก่อนทุกประการ ผลการนับจำนวนรอยที่เกิดขึ้นและเปรียบเทียบกับจำนวนรอยที่ได้จากการอาบนิวตรอนครั้งก่อนแสดงในตาราง 3-12

ตัวอย่าง	ตำแหน่งของ ผิวแก้ว	จำนวนรอย	จำนวน หน้ากลอง	จำนวนรอย หน้ากลอง (ละเอียด)	จำนวนรอย หน้ากลอง (หยาบ)	%ของความ แตกต่าง
C-8	1	246	200	1.23	1.21	1.65
	2	220	210	1.05	1.04	0.96
M-13	3	290	200	1.45	2.02	28.22
	4	284	220	1.29	1.72	25
En-Mo	5	215	196	1.10	1.03	6.80
	6	198	200	0.99	0.92	7.61

ตาราง 3-12 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอยของตัวอย่างที่ละเอียดกับหยาบ

3.4.2 การทดลองเพื่อศึกษาจำนวนรอยที่เกิดจากตัวอย่างที่เป็นแผ่นโลหะ

ตัวอย่างและสารมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้เป็นผงทั้งหมด ในการจะศึกษาว่าถ้าใช้ตัวอย่างที่เป็นแผ่นโลหะแล้วจำนวนรอยจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขอริเยม เช่นเดียวกับตัวอย่างที่เป็นผงหรือไม่ ทำการทดลองโดยใช้แผ่นโลหะขอริเยม-232 บริสุทธิ์ 99.99 % ขนาด 1 x 1 นิ้ว หนา 0.001 นิ้ว ปะลงบนแผ่นแก้วสไลด์ แล้วประกบด้วยแผ่นแก้วสไลด์อีกแผ่นหนึ่ง เพื่อให้แนบสนิทกับแผ่นแก้ว แล้วทำการอาบนิวตรอนโดยการจี้ควางแผ่นขอริเยมขณะอาบ และการอาบทำเช่นเดียวกับที่เคยอาบแก่สารมาตรฐานในหัวข้อ 3.2.2 ทุกอย่าง ต่อมาสองเดือนนับจำนวนรอยที่เกิดขึ้น นำจำนวนรอยที่นับได้ไปเปรียบเทียบกับจำนวนรอยของสารมาตรฐาน S ซึ่งมีปริมาณขอริเยมออกไซด์ 100 % ในตาราง 3-13 แสดงจำนวนรอยต่อหน้ากล้องที่นับได้ และเปรียบเทียบกับจำนวนรอยต่อหน้ากล้องของสารมาตรฐาน S

สารที่ทำให้ เกิดรอย	จำนวนรอย	จำนวนหน้า กล้อง	จำนวนรอย — — หน้ากล้อง	จำนวนรอย — — หน้ากล้อง ของ S
ขอริเยม-232 (แผ่นโลหะ)	2685	50	53.7	33.67

ตาราง 3-13 แสดงจำนวนรอยต่อหน้ากล้องของแผ่นโลหะขอริเยม
เปรียบเทียบกับของสารมาตรฐาน S

3.4.3 การทดลองเพื่อศึกษาการ เกิดรอยของตัวอย่างที่อบนิวตรอน ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

เนื่องจากในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู นิวตรอนที่ออกมา มีทั้งนิวตรอนช้า และ นิวตรอนเร็ว ดังนั้นในการที่จะศึกษาว่า นำตัวอย่างไปอบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแล้ว จำนวนรอยที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนต่อกัน เช่น เกี่ยวกันกับที่อบ ตัวอย่างนิวตรอนจากต้นกำเนิดนิวตรอนหรือไม่ จึงทดลองนำตัวอย่างต่อไปนี้คือ En-Th, P-1, P-2 และ CT-Mo ไปอบนิวตรอนที่นิวตรอนระบบทอแลม โดยปฏิบัติเช่น เกี่ยวกับการทดลองในหัวข้อ 3.1.1 ทุกอย่าง แต่เวลาที่ใช้ในการอบ 5 วินาที หลังจากนำแผ่นแก้วมาถักผิวแล้ว ส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูจำนวนรอยที่เกิดขึ้น เนื่องจากจำนวนรอยมีมากจึงใช้เลนส์อายฟิชขนาด $\times 10$ และเลนส์ออฟเฟกทีฟขนาด $\times 25$ เพื่อให้ดูจำนวนรอยได้ง่ายขึ้น ผลของจำนวนรอยที่เกิดขึ้น และ อัตราส่วนของจำนวนรอยของแต่ละตัวอย่างเมื่อเทียบกับ CT-Mo ในการทดลองครั้งนี้ ก็กับในการทดลองโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนในครั้งก่อน ๆ แสดงในตาราง 3-14

ตัวอย่าง ที่ทำให้เกิด รอย	อาบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู			จำนวนรอย/หน้ากล้อง จำนวนรอย/หน้ากล้องของ CT-Mo		%ที่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับการ อาบควัตันกำ เนคนิวตรอน
	จำนวนรอย	จำนวน หน้ากล้อง	จำนวนรอย หน้ากล้อง	อาบในเครื่อง ปฏิกรณ์ ฯ	อาบควัตัน กำเนคนิวตรอน	
P-1	384	100	3.84	0.15	0.43	65.12
P-2	215	100	2.15	0.08	0.41	80.49
En-Th	2023	50	40.46	1.58	2.30	31.30
CT-Mo	1279	50	25.58	1	1	0

ตาราง 3-14 แสดงจำนวนรอยต่อหน้ากล้องของตัวอย่างที่อาบนิวตรอนในเครื่อง
ปฏิกรณ์ปรมาณูและ เปรียบเทียบอัตราส่วนของจำนวนรอยที่เกิดขึ้น
เนื่องจากอาบควัตันกำเนคนิวตรอน