

ผลของการลบ เลื่อนของรอยอนุภาคแอลฟาจากก๊าซเรดอนบนฟิล์ม เซลลูโลสใน เครื่อง

นายสิทธิชัย สุนันท์ศิริกุล



วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมี เทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2528

ISBN 974-564-454-4

009320

i 1791730x

FADING EFFECTS OF RADON ALPHA TRACKS ON CELLULOSE NITRATE FILMS

Mr. Sitthichai Sununsirikul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Nuclear Technology  
Graduate School  
Chulalongkorn University

1985

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการลดเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาจากก๊าซ เรดอนบนฟิล์ม เซลลูโลส  
ในเครท  
โดย นายสิทธิชัย สุนันทศิริกุล  
ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

*สมเกียรติ บุญนาค*

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

*ธีรชัย สุมิตร*

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรชัย สุมิตร)

*สุวรรณ์ แสงเพชร*

..... กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ สุวรรณ์ แสงเพชร)

*นเรศร์ จันทน์ขาว*

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

|                   |  |
|-------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟาจากก๊าซ เรดอนบนฟิล์ม<br>เซลลูโลสในเตรท |
| ชื่อนิสิค         | นายสิทธิชัย สุนันท์ศิริกุล   |
| อาจารย์ที่ปรึกษา  | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว                                    |
| ภาควิชา           | นิวเคลียร์เทคโนโลยี  |
| ปีการศึกษา        | 2527   |



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟาบนฟิล์มเซลลูโลสในเตรท ผลการวิจัยพบว่าความหนาแน่นรอยลดลง เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาภายหลังการอาบรังสีเพิ่มขึ้น เมื่อนำฟิล์มที่อาบรังสีแล้วไปเก็บที่อุณหภูมิห้อง ( $30 \pm 5$  องศาเซลเซียส) 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-75 นาที พบว่าการลบลีออนของรอยเกิดขึ้นในช่วงร้อยละ 0-2, 0-9, 11-22 และ 13-30 ตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 10-78% ไม่ได้แสดงผลต่อการลบลีออนของรอยอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อนำฟิล์มที่อาบรังสีแล้วไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 25-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนการกักรอยพบว่า ความหนาแน่นรอยลดลงระหว่างร้อยละ 5-59 แล้วยังพบว่าการลบลีออนของรอยขึ้นอยู่กับพลังงานของอนุภาคแอลฟาด้วย จากผลการวิจัยพบว่าการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟาพลังงาน 5.49 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ที่เกิดจากก๊าซเรดอนมีน้อยกว่ารอยที่เกิดจากอนุภาคแอลฟาพลังงาน 6.29 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ที่เกิดจากก๊าซโพตรอน อย่างไรก็ตามไอออนลบในอากาศและความกดอากาศในช่วง 0.04-10 บรรยากาศ มิได้แสดงให้เห็นผลต่อการลบลีออนของรอยบนฟิล์ม

9

|                |   |
|----------------|---|
| Thesis Title   | Fading Effects of Radon Alpha Tracks on Cellulose Nitrate Films |
| Name           | Mr. Sitthichai Sununsirikul                                     |
| Thesis Advisor | Assistant Professor Nares Chankow                               |
| Department     | Nuclear Technology  |
| Academic Year  | 1984  |

#### ABSTRACT

In this research, the factors that affect the fading of alpha particle tracks on cellulose nitrate films were investigated. It was found that the track density decreases as temperature and the length of time after the exposure increase. The exposed films were stored at ambient temperature ( $30 \pm 5^\circ\text{C}$ ),  $50$ ,  $70$  and  $90^\circ\text{C}$  for 15-75 minutes and the percentage of track losses were found to be in the range of 0-2, 0-9, 11-22 and 13-30 respectively. The effect of relative humidity between 10-78 % was found to be insignificant. When the exposed films were immersed for 1 hour in water maintained at  $25-85^\circ\text{C}$  before etching, the track density decreased by 5-59 %. The amount of track fading also depends on the energy of the incident alpha particles. The percentage of track loss on films exposed to 5.49 MeV radon alpha particles was found to be lower than that of 6.29 MeV thoron alpha particles. However, the negative ions present in air and the atmospheric pressure in the range of 0.04-10 atm did not show noticeable effect on the density of alpha particle tracks on the films.



### กิติกรรมประกาศ

ด้วยความศรัทธา เริ่มและสนับสนุนให้มีการวิจัยเรื่องผลของการลบ เลื่อนของรอยอนุภาค แอลฟาจากก๊าซเรดอนบนฟิล์ม เซลลูโลสในเครท ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ภาควิชาชีว เคสียร์ เทคโนโลยี ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ปรึกษาจัดหา อุปกรณ์ เครื่องมือ และตรวจแก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่ได้ช่วยเหลือจัดหาเครื่องวัดความชื้น ที่ใช้ในการทดลอง จนการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามจุดประสงค์

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาชีว เคสียร์ เทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำ แก้ไขอุปสรรคจนการวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณชูศักดิ์ ชำนาญนทรกิจ ที่ให้ความช่วยเหลือในการประมวลผลข้อมูลด้วย คอมพิวเตอร์ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จบริบูรณ์

ขอขอบคุณทุกท่านซึ่งมิได้กล่าวออกนาม ณ ที่นี้ ที่กรุณาช่วยเหลือในการทดลอง ให้คำแนะนำ ประมวลผลข้อมูล การเขียนและพิมพ์วิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ เรียบร้อย

อนึ่ง การสนับสนุนทางทุนทรัพย์ก็เป็นปัจจัยสำคัญยิ่งที่ทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลงได้ จึงขอขอบคุณท่านคณะกรรมการจัดสรร เงินทุนวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย ประจำปี พ.ศ. 2526 ที่เล็งเห็นความสำคัญของงานวิจัยนี้ โดยจัดสรรเงินทุนให้ถึง 14,850 บาท จึงสามารถทำให้จัดซื้อ อุปกรณ์สำคัญในการทดลองจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ในที่สุด



สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....                                       | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....                                    | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ .....                                       | ฉ    |
| สารบัญตารางประกอบ .....                                     | ญ    |
| สารบัญรูปประกอบ .....                                       | ท    |
| บทที่   |      |
| 1. บทนำ .....   | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....                            | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ .....                                      | 3    |
| 1.3 ขั้นตอนการวิจัย .....                                   | 3    |
| 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย .....                      | 4    |
| 2. อนุภาคแอลฟา .....  | 5    |
| 2.1 คุณสมบัติของอนุภาคแอลฟา .....                           | 5    |
| 2.2 ทฤษฎีการส่งอนุภาคแอลฟา .....                            | 7    |
| 2.3 พลังงาน พิสัย การกระเจิงและอันตรกิริยาของอนุภาคแอลฟา .. | 12   |
| 3. ก๊าซเรดอนและก๊าซทอรอน .....                              | 34   |
| 3.1 ก๊าซเรดอน .....   | 34   |
| 3.2 ก๊าซทอรอน .....   | 41   |
| 4. ทฤษฎีแทรค-เอทซ์ .....                                    | 45   |
| 4.1 ประวัติ เรื่องแทรค-เอทซ์ .....                          | 45   |
| 4.2 กลไกการเกิดรอย .....                                    | 45   |

บทที่

หน้า

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 4.3 | ลักษณะของรอยอนุภาค .....   | 51  |
| 4.4 | การกัดรอย .....  | 53  |
| 4.5 | การนับรอย .....  | 61  |
| 4.6 | การลบ เลือนของรอยอนุภาค .....  | 61  |
| 4.7 | การประยุกต์ใช้วิธีการแทรก- เอทซ์ในงานต่าง ๆ .....  | 71  |
| 5.  | อุปกรณ์และวิธีการวิจัย .....   | 80  |
| 5.1 | วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย .....   | 80  |
| 5.2 | วิธีการกัดรอยของอนุภาคแอลฟานฟิล์ม เซลลูโลสใน เทรท ..   | 86  |
| 5.3 | การนับรอยด้วยกล้องจุลทรรศน์ .....  | 87  |
| 5.4 | ระยะเวลาในการอาบรังสี .....  | 89  |
| 5.5 | การดำเนินการทดลองผลของการลบ เลือนของรอยอนุภาคแอลฟา<br>บนฟิล์ม เซลลูโลสใน เทรท .....                        | 90  |
| 5.6 | อุปกรณ์และ เงื่อนไขของ เครื่องมือในการทดลอง .....  | 98  |
| 6.  | ผลการวิจัย   |     |
| 6.1 | ผลการวิจัยการลบ เลือนของรอยอนุภาคแอลฟานฟิล์ม เซลลูโลส<br>ใน เทรทเนื่องมาจากเวลา .....                      | 99  |
| 6.2 | ผลการวิจัยอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการลบ เลือนของรอยอนุภาค<br>แอลฟานฟิล์ม เซลลูโลสใน เทรท .....           | 109 |
| 6.3 | ผลการวิจัยอิทธิพลของพลังงานของอนุภาคแอลฟาที่มีต่อการ<br>ลบ เลือนของรอยอนุภาคแอลฟานฟิล์ม เซลลูโลสใน เทรท .. | 117 |
| 6.4 | ผลการวิจัยอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อการลบ เลือนของรอย<br>อนุภาคแอลฟานฟิล์ม เซลลูโลสใน เทรท .....           | 140 |
| 6.5 | ผลการวิจัยอิทธิพลของความดันบรรยากาศที่มีต่อการลบ เลือน<br>ของรอยอนุภาคแอลฟานฟิล์ม เซลลูโลสใน เทรท .....    | 145 |
| 6.6 | ผลการวิจัยอิทธิพลของน้ำที่มีต่อการลบ เลือนของรอยอนุภาค<br>แอลฟานฟิล์ม เซลลูโลสใน เทรท .....                | 145 |



| บทที่   | หน้า |
|---|------|
| 6.7 ผลการวิจัยอิทธิพลของประจุไฟฟ้าที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของรอย<br>อนุภาคแอลฟาบนฟิล์ม เซลลูโลสไนเตรท ..... | 145  |
| 7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....  | 153  |
| 7.1 สรุปผลการวิจัย .....  | 153  |
| 7.2 ข้อเสนอแนะ .....  | 160  |
| เอกสารอ้างอิง .....   | 163  |
| ภาคผนวก .....   | 168  |
| ประวัติผู้เขียน .....   | 171  |

สารบัญตารางประกอบ

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 เปรียบเทียบ decay constant จากการคำนวณในสมการ 2.15<br>กับที่ได้จากการทดลอง .....  | 17   |
| 2.2 ค่า mean excitation potential ของก๊าซบางชนิด ..   | 30   |
| 2.3 แสดงพิสัยของอนุภาคแอลฟาในอากาศ .....  | 32   |
| 3.1 กัมมันตภาพรังสีจากอนุกรมยูเรเนียม .....   | 35   |
| 3.2 กัมมันตภาพรังสีจากอนุกรมทอเรียม .....   | 42   |
| 4.1 สารละลายเคมีที่ใช้กักรอยและค่าพลังงานวิกฤติของวัสดุบางชนิด .  | 48   |
| 4.2 ความไวในการบันทึกรอยของแผ่นวัสดุบันทึกรอยบางชนิด ..   | 49   |
| 4.3 เงื่อนไขในการกักรอยของฟิซชันแฟรกเมนต์ .....   | 56   |
| 4.4 แสดงผลของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการลบเลือนของรอยอนุภาคบนแผ่น<br>วัสดุบันทึกรอยแต่ละชนิด .....  | 62   |
| 4.5 การลบเลือนของรอยอนุภาคเนื่องจากอุณหภูมิ .....   | 70   |
| 6.1 ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลส<br>โนเตรท LR115 type 2 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ $30 \pm 5$<br>องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 ถึง 5 สัปดาห์ .....    | 101  |
| 6.2 ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลส<br>โนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ $30 \pm 50$ องศาเซลเซียส<br>เป็นเวลา 0 ถึง 5 สัปดาห์ .....           | 102  |
| 6.3 ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลส<br>โนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มเซลลูโลสโนเตรท CN85 ไปเก็บไว้ที่<br>อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 ถึง 5 ชั่วโมง ... | 103  |
| 6.4 ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลส<br>โนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส<br>เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที .....                      | 104  |

## ตารางที่

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 6.5  | ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลส<br>ไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส<br>เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที .....  | 105 |
| 6.6  | ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาจากก๊าซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลส<br>ไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35 <sup>0</sup> C ถึง 90 <sup>0</sup> C<br>เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....                           | 110 |
| 6.7  | ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาจากก๊าซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลส<br>ไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30, 50, 70 และ<br>90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที .....                                | 111 |
| 6.8  | ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอนและโตรอนบน<br>ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ<br>35 <sup>0</sup> C ถึง 90 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....            | 120 |
| 6.9  | ความหนาแน่นรอยสัมผัสที่ของรอยอนุภาคแอลฟาจากก๊าซเรดอน<br>และโตรอนบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บ<br>ไว้ที่อุณหภูมิ 35 <sup>0</sup> C ถึง 90 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .... | 121 |
| 6.10 | ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอนและโตรอนบน<br>ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ<br>30±5 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 0 ถึง 5 สัปดาห์ .....                          | 122 |
| 6.11 | ความหนาแน่นรอยสัมผัสที่ของรอยอนุภาคแอลฟาจากก๊าซเรดอน<br>และโตรอนบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บ<br>ไว้ที่อุณหภูมิ 30±5 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 0 ถึง 5 สัปดาห์ ...                | 123 |
| 6.12 | ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอนและโตรอนบน<br>ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ<br>50 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 0 ถึง 5 ชั่วโมง .....                            | 124 |

- 6.13 ความหนาแน่นรอยลัมพัทธ์ของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจาก  
ก๊าซเรดอนและโทรอนบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท CN85  
เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 0 ถึง 5 ชั่วโมง 125
- 6.14 ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอนและโทรอนบน  
ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 70  
องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที ..... 126
- 6.15 ความหนาแน่นรอยลัมพัทธ์ของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซ  
เรดอนและโทรอนบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์ม  
ไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที ... 127
- 6.16 ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอนและโทรอน  
บนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $90^{\circ}\text{C}$   
เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที ..... 128
- 6.17 ความหนาแน่นรอยลัมพัทธ์ของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซ  
เรดอนและโทรอนบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์ม  
ไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $90^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที .... 129
- 6.18 ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาจากก๊าซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลส  
ไนเตรท CN85 เมื่อเก็บฟิล์มไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์  $10 \pm 1$ ,  
 $57 \pm 6$  และ  $77 \pm 3\%$  อุณหภูมิ  $30 \pm 5^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 0 ถึง  
5 สัปดาห์ ..... 141
- 6.19 ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาจากก๊าซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลส  
ไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ภายใต้ความดันบรรยากาศ  
 $0.04$  ถึง  $10$  บรรยากาศ อุณหภูมิ  $30 \pm 5^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 วัน .. 147
- 6.20 ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาจากก๊าซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลส  
ไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ในน้ำที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$   
ถึง  $85^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ..... 148

## ตารางที่

## หน้า

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 6.21 | ผลการนับรอยอนุภาคแอลฟาจากก๊าซเรดอนบนฟิล์มเซลลูโลส<br>ไนเตรท CN85 เมื่อนำฟิล์มไปรับไอออนลบ เป็นเวลา 0 ถึง<br>6 วัน ที่อุณหภูมิ $30 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .....                                | 149 |
| 7.1  | สรุปผลการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟานฟิล์มเซลลูโลส<br>ไนเตรท เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน ..  | 153 |
| 7.2  | สรุปผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาน<br>ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35 ถึง<br>$90^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....                         | 154 |
| 7.3  | สรุปผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาน<br>ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่ระดับอุณหภูมิ<br>$30 \pm 5$ , 50, 70 และ $90^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที ..  | 155 |
| 7.4  | สรุปผลของพลังงานที่มีต่อการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาน<br>ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35 ถึง<br>$90^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....                          | 156 |
| 7.5  | สรุปผลของพลังงานที่มีต่อการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาน<br>ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ $35 \pm 5$ ,<br>50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ..                 | 156 |
| 7.6  | สรุปผลของความชื้นที่มีต่อการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาน<br>ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์<br>$10 \pm 1$ , $57 \pm 3$ และ $77 \pm 3$ % เป็นเวลา 0 ถึง 5 สัปดาห์ .. | 158 |
| 7.7  | สรุปผลของน้ำที่มีต่อการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟานฟิล์ม<br>เซลลูโลสไนเตรท เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ในน้ำที่อุณหภูมิ 25 ถึง<br>$85^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....                         | 158 |
| 7.8  | สรุปผลการวิจัยผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาน<br>ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท  | 159 |

## สารบัญรูปประกอบ

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ภาพทางเดินของอนุภาคแอลฟาในคลาวด์แชมเบอร์ .....   | 6    |
| 2.2 แสดงการเบี่ยงเบนของรังสีแอลฟา, รังสีเบตาและรังสีแกมมาใน<br>สนามแม่เหล็กที่มีทิศตั้งฉากพุ่งเข้าหากระดาษ .....   | 6    |
| 2.3 แสดงการใช้สนามแม่เหล็กแยกอนุภาคพลังงานต่าง ๆ กัน อนุภาค a<br>มีพลังงานสูงกว่าอนุภาค b และหักเหน้อยกว่าอนุภาค b เส้นสนาม<br>แม่เหล็กในรูปสามเหลี่ยมมีทิศตั้งฉากพุ่งออกจากหน้ากระดาษ ..... | 9    |
| 2.4 แผนผังการสลายตัวของอนุภาคแอลฟาของยูเรเนียม-238 .....   | 10   |
| 2.5 นิวเคลียสทำหน้าที่เป็นบ่อศักดา .....   | 12   |
| 2.6 แสดงความหนาของ "กำแพงคูลอมบ์" ที่อนุภาคพลังงาน 5 และ<br>9 MeV จะต้อง "ทะลุ" ออกมาจากนิวเคลียสที่มีเลขอะตอมสูงและต่ำ .  | 13   |
| 2.7 บ่อศักดาและคูลอมบ์แบร์รีเจอร์สำหรับอนุภาคแอลฟาและยูเรเนียม-238 ..  | 13   |
| 2.8 แสดงพลังงานศักย์สำหรับนิวเคลียส-อนุภาคแอลฟา .....  | 14   |
| 2.9 แสดง Potential diagram สำหรับธาตุพอลเนียม .....  | 16   |
| 2.10 แสดงภาพในจินตนาการของการสลายตัวของอนุภาคแอลฟาของ<br>นิวเคลียสที่มี A เป็นเลขคี่ .....   | 18   |
| 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของอนุภาคแอลฟาและครึ่งชีวิต<br>ของการสลายตัวของอนุภาคแอลฟา (สำหรับนิวเคลียส คู่-คู่ และเป็น<br>การสลายตัวที่ให้นิวไคลด์ลูกที่สภาวะกราวนด์สเทต) .....      | 18   |
| 2.12 แสดงค่า $Q_\alpha$ กับเลขมวลสำหรับสารส่งอนุภาคแอลฟาจากตะกั่วถึง<br>โบเบเลียม .....  | 19   |
| 2.13 กราฟที่ Geiger-Nuttall สร้างขึ้น แสดงการส่งอนุภาคแอลฟา<br>ของอนุกรมยูเรเนียม .....  | 20   |
| 2.14 แสดงแผนผังการสลายตัวของ $^{212}\text{Bi}$ และ $^{212}\text{Po}$ .....   | 21   |

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.15 แสดงการกระเจิงของอนุภาคแอลฟา เมื่อชนกับนิวเคลียสหนัก<br>ประจุ Ze .....   | 22   |
| 2.16 แสดงปฏิกิริยาระหว่างสนามไฟฟ้าของอิเล็กตรอนกับอนุภาคแอลฟา ..  | 24   |
| 2.17 แสดงการเกิดเอกซ์ไซเคชัน .....  | 25   |
| 2.18 แสดงไอออนไนเซชันเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเร็วของอนุภาคแอลฟา<br>ลดลงตามความลึกของการกระแทก .....                          | 26   |
| 2.19 (ก) แสดงการวัดฟิล์มของอนุภาคแอลฟา .....  |      |
| (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับฟิล์มของอนุภาคแอลฟา   | 28   |
| 2.20 แสดงการแปรเปลี่ยนของค่าสโตปมิง เทาเวอร์กับเลขอะตอม ...   | 29   |
| 2.21 อัตราการสูญเสียพลังงานของอนุภาคแอลฟาในเซลล์โลสไนเตรท ..  | 30   |
| 2.22 ฟิล์มของ $^3\text{He}$ และ $^4\text{He}$ ในเซลล์โลสไนเตรท CA80-15 และ<br>มายลาร์ (mylar) .....                       | 31   |
| 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของอนุภาคแอลฟา กับฟิล์มในอากาศแห้ง<br>ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ..... | 33   |
| 3.1 การสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม .....  | 34   |
| 3.2 แผนผังการสลายตัวของเรเดียม-226 ได้ เรดอน-222 .....  | 36   |
| 3.3 แสดงการสลายตัวของเรดอน-222 ได้พอโลเนียม-218 .....   | 36   |
| 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซ เรดอนกับความลึก ..  | 38   |
| 3.5 แสดงแผนผังในการวัดก๊าซ เรดอนที่พื้นดิน เหนือต้นกำเนิดก๊าซ เรดอน<br>ในเหมืองตะกั่วที่ Laisvall .....                   | 39   |
| 3.6 แสดงผลการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่าง vertical gas flow<br>velocity V กับ $V/c$ .....                                     | 40   |
| 3.7 การสลายตัวของอนุกรมทอเรียม .....  | 41   |
| 3.8 แสดงการสลายตัวของเรเดียม-224 ให้อนุภาคแอลฟาได้<br>เรดอน-220 .....   | 43   |

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 3.9 แสดงการสลายตัวของเรดอน-220 ให้อนุภาคแอลฟาได้<br>พอโลเนียม-216 .....  | 44   |
| 4.1 แผนภาพอธิบายกลไกการเกิดรอย .....   | 47   |
| 4.2 แสดงภาพการเกิดรอยในตัวอย่างที่เป็นผลึก (ก) และตัวอย่างที่เป็น<br>โพลีเมอร์ (ข) .....   | 48   |
| 4.3 แผนภาพแสดงการเกิดรอยของอนุภาคในวัสดุเมื่ออนุภาคมีพลังงานจลน์<br>ต่างกัน ( $E =$ พลังงานจลน์) .....   | 52   |
| 4.4 แสดงการกัดรอยของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากอนุภาคแอลฟา<br>พลังงานต่างกันบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท CA80 โดยใช้ NaOH 2.5N<br>เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ $18^{\circ}\text{C}$ ..... | 52   |
| 4.5 แสดงลักษณะของรอย เมื่อนำไปทำการขยายรอยด้วยการกัดรอย ...  | 53   |
| 4.6 แผนภาพแสดงการกัดรอยของอนุภาคบนแผ่นวัสดุบันทึกรอย ...   | 54   |
| 4.7 ก. รูปของรอยจะปรากฏเมื่อ $V_T > V_G$ และ $\phi = 90$<br>ข. รูปของรอยจะหายไปเมื่อ $V_T \sin \phi < V_G$<br>ค. รูปของรอยจะเริ่มหายไปเมื่อ $V_T \sin \phi = V_G$ .....            | 54   |
| 4.8 ความสัมพันธ์ของจำนวนรอยสัมพันธ์ของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นวัสดุ<br>บันทึกรอยชนิดต่าง ๆ กับเวลาในการกัดรอย โดยใช้สารละลาย<br>KOH 30 % ที่ $60^{\circ}\text{C}$ .....                   | 55   |
| 4.9 แสดงการลบ เลื่อนของรอยพิษชั้นแฟรกเมนต์บน Kimfol foil ที่ชั้น<br>อยู่กับ เวลา .....   | 62   |
| 4.10 แสดงการลบ เลื่อนของรอยอนุภาคนิวตรอนพลังงานต่างกัน โดย<br>แสดง เป็นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน เปอร์เซ็นต์ของรอยอนุภาคกับ เวลา  | 63   |
| 4.11 แสดงการลบ เลื่อนของรอยพิษชั้นแฟรกเมนต์กับระยะเวลาที่เก็บแผ่นวัสดุ<br>บันทึกรอยจะพบว่า เมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีอัตราการลบ เลื่อนของรอย<br>พิษชั้นแฟรกเมนต์มากขึ้น .....   | 65   |



|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.12 | แสดงการลบลีวนของรอยรียคอยลักับระยะเวลาที่เก็บแผ่นวัสดุ<br>บันทึกรอยจะพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีอัตราการลบลีวนของรอย<br>รียคอยลัมากขึ้น .....   | 65 |
| 4.13 | แสดงการลบลีวนของรอยอนุภาคนิวตรอนที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ<br>เมื่อความชื้นสัมพัทธ์คงที่ 53 % .....  | 66 |
| 4.14 | แสดงการลบลีวนของรอยพิชชันแฟรกเมนต์กับระยะเวลาที่เก็บ<br>แผ่นวัสดุบันทึกรอย เมื่อนำแผ่นวัสดุบันทึกรอยไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิคงที่<br>50°C ณ ระดับความชื้นต่าง ๆ จะพบว่า เมื่อระดับความชื้นสูงขึ้น<br>จะมีอัตราการลบลีวนของรอยพิชชันแฟรกเมนต์มากขึ้น .... | 67 |
| 4.15 | แสดงการลบลีวนของรอยรียคอยลักับระยะเวลาที่เก็บแผ่นวัสดุ<br>บันทึกรอย เมื่อนำแผ่นวัสดุบันทึกรอยไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิคงที่ 50°C<br>ณ ระดับความชื้นต่าง ๆ กัน จะพบว่า เมื่อระดับความชื้นสูงขึ้นจะมี<br>อัตราการลบลีวนของรอยรียคอยลัมากขึ้น .....          | 67 |
| 4.16 | แสดงการลบลีวนของรอยอนุภาคบนแผ่นแก้ว V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .PO <sub>5</sub> จะเห็นว่า<br>annealing time จะแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ T .....   | 68 |
| 4.17 | แสดงการลบลีวนของรอยอนุภาคบนแผ่น เซอร์คอนซึ่งในการทดลอง<br>นี้ได้กำหนดเงื่อนไขของเวลา อุณหภูมิและความดัน เข้าไปในการสังเกต<br>พฤติกรรมต่าง ๆ ด้วย .....   | 69 |
| 4.18 | แสดงถ้วยสำรวจเรเนียมและฟิล์ม เซลลูโลสไนเตรทที่ใช้ในการ<br>สำรวจเรเนียม .....   | 72 |
| 4.19 | แสดงการวางถ้วยสำรวจเรเนียมแบบแทรก-เอทซ์ ในบริเวณ<br>พื้นที่สำรวจ .....   | 72 |
| 4.20 | แสดงภาพแทรก-เอทซ์ จากการใช้อนุภาคแอลฟาจาก <sup>235</sup> U ในภาพ<br>เป็นภาพเนื้อเยื่อของกระดาษความหนา 0.0005 นิ้ว ส่วนสีดำเป็น<br>แผ่นโลหะที่อนุภาคแอลฟาผ่านไม่ได้ .....   | 74 |

| รูปที่ |  | หน้า |
|--------|--|------|
| 4.21   | ภาพใบไม้ที่ถ่ายจากอนุภาคโปรตอน โดยใช้ฟิล์ม เซลลูโลสไนเตรท type 106-01 .....  | 75   |
| 4.22   | แสดงแผนภาพการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยใช้เทคนิคแทรก-เอทซ์   | 76   |
| 4.23   | ภาพถ่ายด้วยนิวตรอนพลังงาน 14 MeV บนฟิล์ม เซลลูโลสไนเตรท CA8015 แสดงภาพเหล็กหนา 5 มิลลิเมตร ขนาด 1x25 เซนติเมตร มีรู 4 รู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5, 2.5, 2 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยใช้นิวตรอน $2.5 \times 10^{10}$ นิวตรอน/ตารางเซนติเมตร | 76   |
| 5.3    | แสดงอุปกรณ์การนับรอยอนุภาคแอลฟาซึ่งประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ Zeiss และแซนด์เคาน์เตอร์ .....   | 82   |
| 5.4    | แสดงแผนภาพการวัดอนุภาคแอลฟาจากก๊าซเรดอนหรือโธรน ..   | 83   |
| 5.5    | ภาชนะเก็บก๊าซพร้อมทั้ง เครื่องดูดอากาศออกเพื่อใช้ทดลองผลของความดันบรรยากาศที่มีต่อการลบ เลือนของรอยอนุภาคแอลฟา ..  | 84   |
| 5.6    | ภาชนะทนความดันสูงพร้อมทั้ง เกยวัดความดันและถังอากาศอัด เพื่อทดลองผลของความดันบรรยากาศที่มีต่อการลบ เลือนของรอยอนุภาคแอลฟา .....  | 84   |
| 5.7    | เครื่องทำอากาศให้บริสุทธิ์ที่ใช้ในการทดลองผลของประจุไฟฟ้าที่มีต่อการลบ เลือนของรอยอนุภาคแอลฟาบนฟิล์ม เซลลูโลสไนเตรท .  | 85   |
| 5.8    | การผลิตไอออนลบจากการชนกันระหว่างอิ เล็กตรอนที่ออกมาจาก ปลายเข็มกับโม เลกุลของก๊าซที่อยู่รอบ ๆ ปลาย เข็ม .....  | 85   |
| 5.9    | แสดงลักษณะของรอยอนุภาคแอลฟาบนฟิล์ม เซลลูโลสไนเตรทที่ กัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % ที่อุณหภูมิ $60^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 40 นาที .....  | 87   |
| 5.10   | แสดงการนับรอยบนสเกลสี่เหลี่ยมของกล้องจุลทรรศน์ ..  | 88   |
| 5.11   | แสดงการนับรอยแต่ละหน้ากล้องบนฟิล์ม เซลลูโลสไนเตรท ..   | 89   |

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 6.1 แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์ม เซลลูโลส<br>โนเตรท LR115 type 2 ไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ $30 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา<br>0 ถึง 5 สัปดาห์ ..... | 106  |
| 6.2 แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์ม เซลลูโลส<br>โนเตรท CN85 ไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ $30 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 0 ถึง 5<br>สัปดาห์ .....         | 106  |
| 6.3 แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้<br>ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 0 ถึง 5 ชั่วโมง .....                                       | 107  |
| 6.4 แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้<br>ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที .....   | 107  |
| 6.5 แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้<br>ที่อุณหภูมิ $90^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที .....   | 108  |
| 6.6 แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้<br>ที่อุณหภูมิ $35^{\circ}\text{C}$ ถึง $90^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....                    | 113  |
| 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอยอนุภาคแอลฟา กับ เวลาที่ใช้ในการ<br>เก็บฟิล์ม ที่อุณหภูมิ $30 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .....  | 114  |
| 6.8 แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้<br>ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที .....   | 114  |
| 6.9 แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้<br>ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที .....   | 115  |
| 6.10 แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้<br>ที่อุณหภูมิ $90^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที .....  | 115  |
| 6.11 เปรียบเทียบผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา ที่อุณหภูมิ<br>30 5, 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส .....  | 116  |

รูปที่

หน้า

|      |  |           |
|------|--|-----------|
| 6.12 | แสดงภาพรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอนและโทรอน   |           |
|      | (ก) เป็นรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอน  |           |
|      | (ข) เป็นรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซโทรอน  | ..... 118 |
| 6.13 | แสดงผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอน<br>เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35 <sup>0</sup> C ถึง 90 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง | 130       |
| 6.14 | แสดงผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซโทรอน<br>เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35 <sup>0</sup> C ถึง 90 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง | 130       |
| 6.15 | เปรียบเทียบผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซ<br>เรดอนและโทรอน ที่อุณหภูมิ 35 <sup>0</sup> C ถึง 90 <sup>0</sup> C                         | ..... 131 |
| 6.16 | แสดงผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอน<br>เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30±5 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 0 ถึง 5 สัปดาห์               | 132       |
| 6.17 | แสดงผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซโทรอน<br>เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30±5 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 0 ถึง 5 สัปดาห์               | 132       |
| 6.18 | เปรียบเทียบผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซ<br>เรดอนและโทรอน ที่อุณหภูมิ 30±5 <sup>0</sup> C   | ..... 133 |
| 6.19 | แสดงผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอน<br>เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 0 ถึง 5 ชั่วโมง                 | 134       |
| 6.20 | แสดงผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซโทรอน<br>เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 0 ถึง 5 ชั่วโมง                 | 134       |
| 6.21 | เปรียบเทียบผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซ<br>เรดอนและโทรอน ที่อุณหภูมิ 50 <sup>0</sup> C   | ..... 135 |
| 6.22 | แสดงผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอน<br>เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 70 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที                   | 136       |
| 6.23 | แสดงผลของการลบเลือนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซโทรอน<br>เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 70 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที                   | 136       |

| รูปที่ | หน้า   |
|--------|--|
| 6.24   | เปรียบเทียบผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจาก<br>ก๊าซเรดอนและโทรอน ที่อุณหภูมิ 70 <sup>0</sup> C ..... 137   |
| 6.25   | แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซเรดอน<br>เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 90 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที .. 138                  |
| 6.26   | แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากก๊าซโทรอน<br>เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 90 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 0 ถึง 75 นาที .. 138                  |
| 6.27   | เปรียบเทียบผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจาก<br>ก๊าซเรดอนและโทรอน ที่อุณหภูมิ 90 <sup>0</sup> C ..... 139   |
| 6.28   | แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้<br>ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 10±1 % เป็นเวลา 0 ถึง 5 สัปดาห์ .... 143                                   |
| 6.29   | แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้<br>ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 57±5 % เป็นเวลา 0 ถึง 5 สัปดาห์ .... 243                                   |
| 6.30   | แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้<br>ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 77±3. % เป็นเวลา 0 ถึง 5 สัปดาห์ .... 144                                  |
| 6.31   | เปรียบเทียบผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา ที่ความชื้น<br>สัมพัทธ์ 10±1, 57±5 และ 77±3 % ..... 144  |
| 6.32   | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอยอนุภาคแอลฟากับความดัน<br>บรรยากาศที่ใช้ในการ เก็บฟิล์ม ..... 150  |
| 6.33   | แสดงผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไปเก็บไว้<br>ในน้ำที่อุณหภูมิ 25 <sup>0</sup> C ถึง 85 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .... 151           |
| 6.34   | เปรียบเทียบผลของการลบลีออนของรอยอนุภาคแอลฟา เมื่อนำฟิล์มไป<br>เก็บไว้ในน้ำและอากาศที่อุณหภูมิ 25 <sup>0</sup> C ถึง 90 <sup>0</sup> C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 151 |
| 6.35   | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอยอนุภาคแอลฟากับเวลาที่นำฟิล์มไป<br>รับไอออนลบ เป็นเวลา 0 ถึง 6 วัน ..... 152   |