

บทที่ 3

อนุภาคอัลฟาและวิธีการแทรก-เอทซ์



3.1 อนุภาคอัลฟา (Alpha Particle,  ${}^4_2\alpha$ ,  ${}^4_2\text{He}$ )

อนุภาคอัลฟา ก้อนนิวเคลียสของอะตอมฮีเลียม ประกอบด้วยนิวตรอน และโปรตอน อย่างละ 2 อนุภาค มีขนาดประจุเท่ากับบวกสอง ในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป อนุภาคอัลฟาส่วนใหญ่เกิดจากการสลายตัวของธาตุที่มีเลขอะตอม (atomic number) สูงกว่า 82 คือกึ่งแก่มีรัศมีขึ้นไป เช่น เรดอน-222 เรเดียม-226 และ อเมอริเซียม-241 เป็นต้น การสลายตัวให้อนุภาคอัลฟาจะให้ธาตุใหม่ที่มีเลขอะตอมลดลงไป 2 และเลขมวล (mass number) ลดลงไป 4 ดังตัวอย่างต่อไปนี้



พลังงานของอนุภาคอัลฟาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ จะอยู่ในช่วง 4 - 9 MeV นอกจากนี้อนุภาคอัลฟายังเกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ เช่น ปฏิกิริยา ( $n, \alpha$ ) ปฏิกิริยา ( $p, \alpha$ ) เป็นต้น ตัวอย่างเช่น



### 3.1.1 อันตรกิริยา (interaction) ของอนุภาคอัลฟา กับสสาร

เมื่ออนุภาคอัลฟาเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางใด ๆ จะสูญเสียพลังงานเกือบทั้งหมด ในการชนกับอิเล็กตรอนของตัวกลาง เป็นผลทำให้มีการเกิดไอออน และความโลด (ionization and excitation) การสูญเสียพลังงานดังกล่าวเป็นไปอย่างรวดเร็ว อนุภาคอัลฟาจึงมีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ อนุภาคอัลฟาจะรวมกับอิเล็กตรอนกลายเป็น อะตอมที่เป็นกลางของธาตุนั้นในที่สุด

เนื่องจากอนุภาคอัลฟามีมวลมากเมื่อเทียบกับอิเล็กตรอน ดังนั้นในการชนกับอิเล็กตรอนของตัวกลาง แทบจะไม่ทำให้อนุภาคอัลฟาเคลื่อนที่หักเหออกจากทิศทางเดิม จึงถือว่า อนุภาคอัลฟามีทางเดินเป็นเส้นตรง

อัตราการสูญเสียพลังงานของอนุภาคมีประจุหนัก (heavy charged particles) เป็นไปตามสมการที่เบเท (Bethe) และ บล็อก (Bloch) ทั่วไปดังนี้

คือ

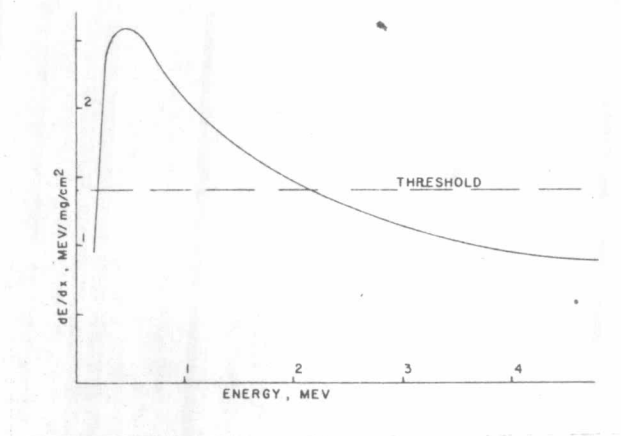
$$\frac{dE}{dX} = \frac{4\pi e^4 z^2 NZ}{m_0 V^2} \left[ \ln \frac{2m_0 V^2}{I} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right] \quad \dots (3.1)$$

เมื่อ	$\frac{dE}{dX}$	=	อัตราการสูญเสียพลังงาน
	$e$	=	ประจุของอิเล็กตรอน
	$z$	=	ขนาดประจุของอนุภาค
	$m_0$	=	มวลพัก (rest mass) ของอิเล็กตรอน
	$N$	=	ความหนาแน่นอะตอมของตัวกลาง
	$Z$	=	เลขอะตอมของตัวกลาง
	$V$	=	ความเร็วของอนุภาค
	$c$	=	ความเร็วของแสงในสูญญากาศ
	$I$	=	ค่าศักย์ของความโลดเฉลี่ย (mean excitation potential) ของตัวกลาง
	$\beta$	=	$\frac{V}{c}$

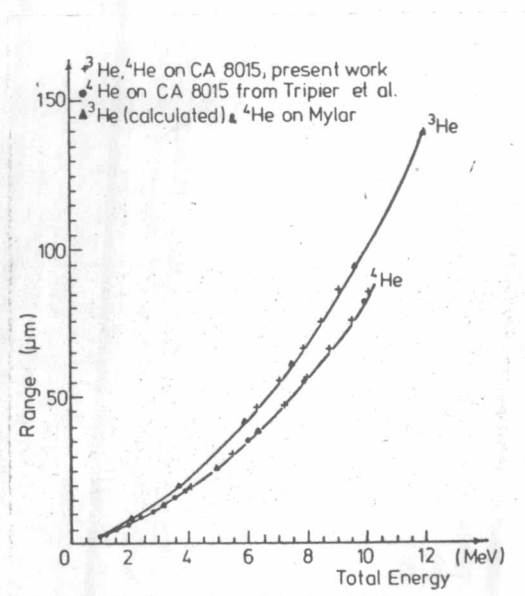
ตารางที่ 3.1 (29)

ค่า mean excitation potential ของก๊าซบางชนิด

Gas	$\bar{Z}$	I (eV)	I Z
He	2	36.0	18.0
Ne	10	125	12.5
A	18	198	11.0
Kr	36	396	11.0
Xe	54	529	9.8
air	7.22	30.1	11.1
H <sub>2</sub>	1	16.5	16.5
N <sub>2</sub>	7	81.2	11.6
O <sub>2</sub>	8	91.2	11.4
CO	7	81.2	11.6
CO <sub>2</sub>	7.35	118	16.0
CH <sub>4</sub>	2	41.6	20.8
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	2.25	45.9	20.6
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2.36	48.0	20.3
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2.43	45.5	18.7



รูปที่ 3.1 (34) อัตราการสูญเสียพลังงานของอนุภาคอัลฟาในเซลลูโลสไนเตรท



รูปที่ 3.2 (4) พิสัยของ  ${}^3\text{He}$  และ  ${}^4\text{He}$  ในเซลลูโลสไนเตรท CA 80-15 และ มายดาร์(mylar)

สำหรับอนุภาคอัลฟา พลังงานจลน์ E MeV จะหาอัตราการสูญเสียพลังงานในหน่วย MeV/cm ได้จาก

$$\frac{dE}{dX} = 3.79 \times 10^{-21} \frac{NZ}{E} \left[ \ln \frac{2m_0 V^2}{I} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right] \quad (14) \dots (3.2)$$

3.1.2 พิสัย (range) ของอนุภาคอัลฟา

พิสัยของอนุภาคอัลฟา หมายถึงระยะทางที่อนุภาคอัลฟาสามารถเคลื่อนที่ไกลที่สุดในตัวกลาง พิสัยจะแปรผันตรงกับพลังงานจลน์ ความสัมพันธ์ระหว่างพิสัยของอนุภาคอัลฟาในตัวกลางใด ๆ กับในอากาศแห้งที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เป็นไปตามกฎแบรกก์-คีลีแมน (Bragg-Kleeman rule) ดังนี้

$$R = 3.20 \times 10^{-4} \frac{\sqrt{A}}{\rho} R_a \quad (5), (10), (14), (29) \dots (3.3)$$

เมื่อ R = พิสัยของอนุภาคอัลฟาในตัวกลางใด ๆ ที่มีความหนาแน่น  $\rho$  เลขมวล A

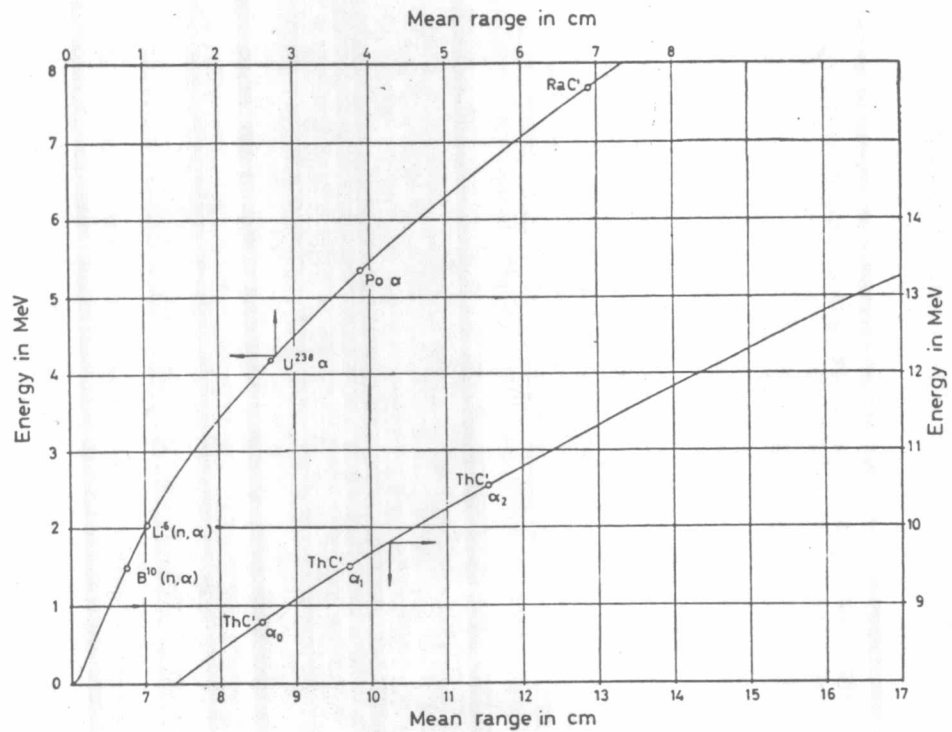
$R_a$  = พิสัยของอนุภาคอัลฟาในอากาศแห้ง ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งอ่านได้จากรูปที่ 3.3

ในกรณีที่ตัวกลางเป็นของผสม ต้องใช้ค่า  $\sqrt{A}^{eff}$  แทนค่า  $\sqrt{A}$  โดยที่

$$\sqrt{A}^{eff} = \frac{n_1 A_1 + n_2 A_2 + \dots}{n_1 \sqrt{A_1} + n_2 \sqrt{A_2} + \dots} \quad (5), (10), (14), (29) \dots (3.4)$$

เมื่อ  $\sqrt{A}^{eff}$  = ค่ายังผลของเลขมวล (effective mass number)

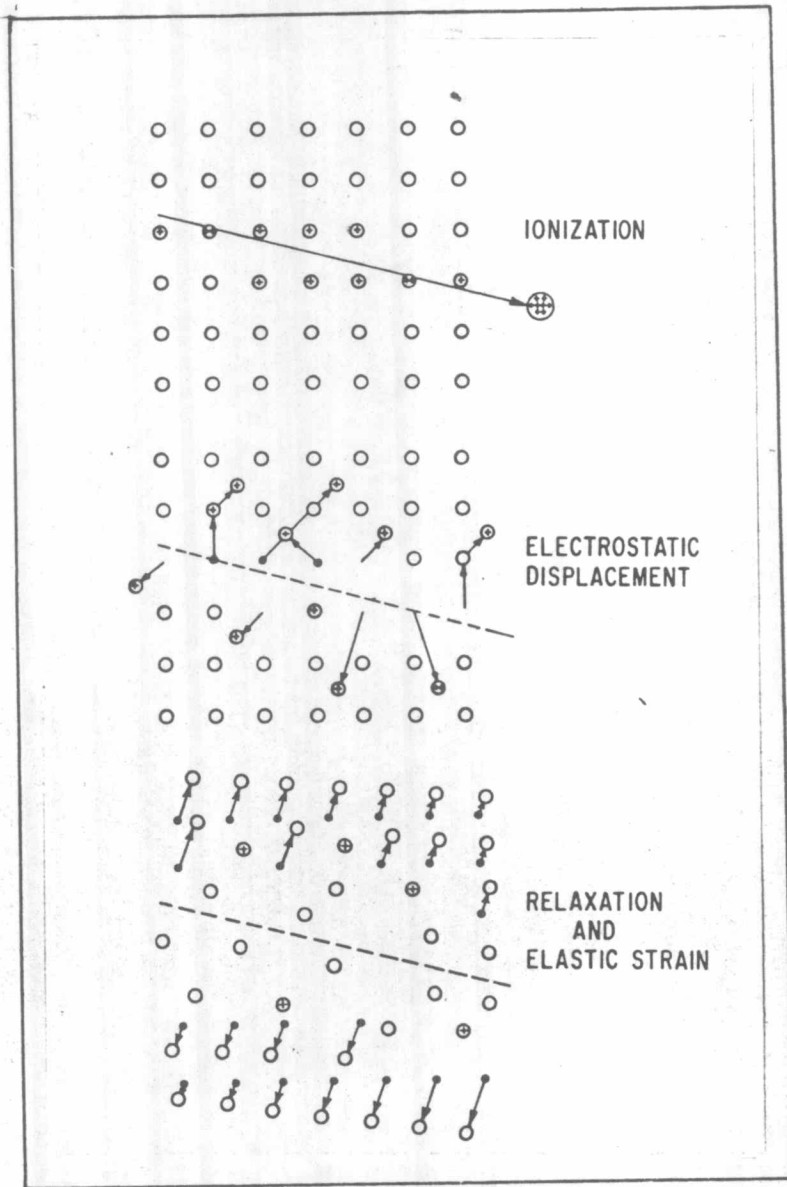
$n_1, n_2, \dots$  = ค่า atomic fraction ของธาตุที่มีเลขมวล  $A_1, A_2, \dots$  ในของผสม



รูปที่ 3.3 (29) ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของอนุภาคอัลฟา กับพิสัย  
ในอากาศแห้ง ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดัน  
1 บรรยากาศ

### 3.2 วิธีการแทรก-เอทซ์

เมื่ออนุภาคมีประจุวิ่งผ่านวัสดุที่เป็นฉนวนบางชนิด เช่น แก้ว ใยลวด ไมกา และพลาสติก จะเกิดรอยเล็ก ๆ ขึ้นตามทางที่อนุภาควิ่งผ่าน รอยเล็ก ๆ เหล่านี้สามารถมองเห็นได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ถ้านำวัสดุดังกล่าวไปแช่ในสารละลายเคมีที่เหมาะสมเพื่อกัดรอย (etch) ให้โตขึ้น ก็สามารถมองเห็นรอยได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา จำนวนรอยที่ปรากฏบนวัตถุขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคมีประจุที่วิ่งผ่าน ดังนั้นวิธีการนี้จึงนำไปประยุกต์ในการวัดรังสีได้ แผ่นวัตถุที่กัดรอยดังกล่าวมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น แทรค-เอทซ์เคเทคเจอร์



รูปที่ 3.4 (11) แผนภาพอธิบายกลไกการเกิดรอย

ไดอิเล็กทริกแทรค ดีเทคเตอร์ (dielectric track detector) พลาสติกดีเทคเตอร์ (plastic detector) โซลิดสเตทแทรคดีเทคเตอร์ (solid state track detector หรือ SSTD) และ โซลิดสเตทนิวเคลียร์แทรคดีเทคเตอร์ (solid state nuclear track detector หรือ SSNTD) เป็นต้น

### 3.2.1 กลไกการเกิดรอย (Track Formation Mechanism)

นักฟิสิกส์หลายท่านได้ให้คำอธิบายกลไกในการเกิดรอยไว้ แต่คำอธิบายที่สมเหตุสมผลที่สุดและยอมรับกันเป็นคำอธิบายของ Fleischer และคณะ ซึ่งให้ไว้ในปี ค.ศ. 1965 เรียกว่า "ไอออน เอ็กซ์ปlosion spike" อธิบายว่า เมื่ออนุภาคมีประจุวิ่งผ่านตัวกลาง มีการสูญเสียพลังงานให้แก่อะตอมของตัวกลาง ทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรหลุดไป เป็นผลให้เกิดอะตอมที่มีประจุบวกขึ้นรอบ ๆ แนวทางที่อนุภาควิ่งผ่าน อะตอมที่มีประจุบวกเหล่านี้จะผลักซึ่งกันและกัน ต้องมีการจัดเรียงอะตอมใหม่เพื่อความสมดุล จึงเกิดช่องว่างขึ้นที่บริเวณนั้น สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ในกรณีที่ตัวกลางเป็นตัวนำ (conductor) หรือกึ่งตัวนำ (semi-conductor) บางชนิด อะตอมที่ขาดอิเล็กตรอนสามารถจับเอาอิเล็กตรอนเข้าไปรวมได้อย่างรวดเร็วก่อนที่จะมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ จึงไม่เกิดเป็นช่องว่างที่เห็นเป็นรอยอย่างเด่นชัดที่เป็นฉนวน

อนุภาคมีประจุของถ่ายเทพลังงานให้วัสดุตัวกลางมากกว่าค่าพลังงานวิกฤต (critical energy) ของวัสดุนั้น ๆ จึงจะปรากฏรอยขึ้น (อัตราการสูญเสียพลังงานของอนุภาคมีประจุชนิดหนึ่ง เป็นไปตามสมการ 3.1) นั่นก็หมายความว่า การเกิดรอยได้หรือไม่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและพลังงานของอนุภาคมีประจุ และชนิดของวัสดุ ซึ่งจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม

### 3.2.2 การกัดกรอย (Etching)

เนื่องจากรอยของอนุภาคมีประจุที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กมาก ต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนซึ่งมีราคาสูง จึงจำเป็นต้องทำการกัดกรอยด้วยสารเคมี ที่



ตารางที่ 3.2 (32)

สารละลายเคมีที่ใช้กัดรอยและค่าพลังงานวิกฤตของวัสดุบางชนิด

Material	Etchant	Critical Energy (MeV.cm <sup>2</sup> /mg )
Phosphate glass	48 % HF	15
Mica	48 % HF	15
Mylar	6 N NaOH	5
Cellulose nitrate	6 N NaOH	2

ตารางที่ 3.3 (11)

ความไวในการบันทึกรอยของแผ่นบันทึกรอยบางชนิด

A. Inorganic Detectors		
Detector	Atomic Composition	Least Ionizing Ion Seen
Hypersthene	Mg <sub>1.5</sub> Fe <sub>0.5</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	100 MeV <sup>56</sup> Fe
Olivine	MgFeSiO <sub>4</sub>	
Labradorite	Na <sub>2</sub> Ca <sub>3</sub> Al <sub>8</sub> Si <sub>12</sub> O <sub>40</sub>	
Zircon	ZrSiO <sub>4</sub>	
Bronzite	Mg <sub>1.7</sub> Fe <sub>0.3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	
Enstatite	MgSiO <sub>3</sub>	
Diopside	CaMg(SiO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	170 MeV <sup>56</sup> Fe
Augite	CaMg <sub>3</sub> Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>19</sub>	170 MeV <sup>56</sup> Fe
Oligoclase	Na <sub>4</sub> CaAl <sub>6</sub> Si <sub>14</sub> O <sub>40</sub>	4 MeV <sup>28</sup> Si
Bytownite	NaCa <sub>4</sub> Al <sub>9</sub> Si <sub>11</sub> O <sub>40</sub>	4 MeV <sup>28</sup> Si

### ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

Detector	Atomic Composition	Least Ionizing Ion Seen
Orthoclase	$KAlSi_3O_8$	100 MeV $^{40}Ar$
Quartz	$SiO_2$	100 MeV $^{40}Ar$
Phlogopite Mica	$KMg_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$	
Muscovite Mica	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	2 MeV $^{20}Ne$
Silica Glass	$SiO_2$	16 MeV $^{40}Ar$
Flint Glass	$18SiO_2:4PbO:1.5Na_2O:K_2O$	2-4 MeV $^{20}Ne$
Tektite Glass (Obsidian similar)	$22SiO_2:2Al_2O_3:FeO$	
Soda Lime Glass	$23SiO_2:5Na_2O:5CaO:Al_2O_3$	20 MeV $^{20}Ne$
Phosphate Glass	$10P_2O_5:1.6BaO:Ag_2O:2K_2O:2Al_2O_3$	

#### B. Organic Detectors

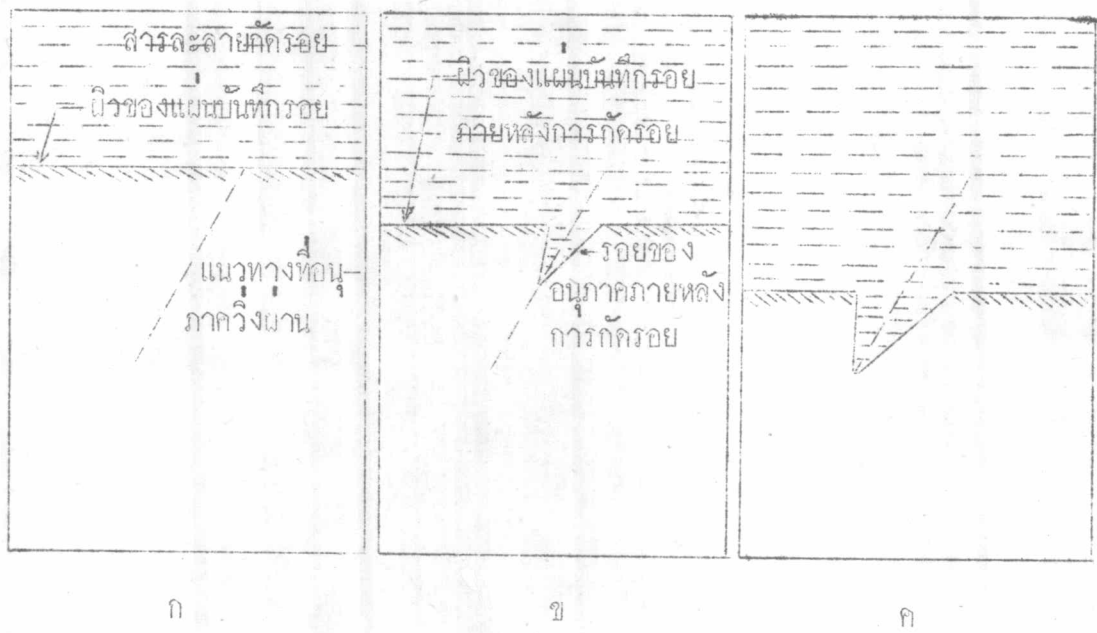
Detector	Atomic Composition	Least Ionizing Ion Seen
Amber	$C_2H_3O_2$	Full-energy fission fragments
Phenoplaste	$C_7H_6O$	
Polyethylene	$CH_2$	Fission fragments
Polystyrene	$CH$	
Polyvinylacetochloride	$C_6H_9O_2Cl$	42 MeV $^{32}S$
Polyvinylchloride - Polyvinyledene chloride copolymer	$C_2H_3Cl + C_2H_2Cl_2$	42 MeV $^{32}S$
Polyethylene Terephthalate (Cronar, Melinex)	$C_5H_4O_2$	
Polyimide	$C_{11}H_4O_4N_2$	36 MeV $^{16}O$
Ionomeric Polyethylene (Surlyn)		36 MeV $^{16}O$
Bisphenol A-polycarbonate (Lexan, Makrofol)	$C_{16}H_{14}O_3$	0.3 MeV $^4He$
Polyoxymethylene (Delrin)	$CH_2O$	28 MeV $^{11}B$
Polypropylene	$CH_2$	1 MeV $^4He$
Polyvinylchloride	$C_2H_3Cl$	
Polymethylmethacralate (Plexiglas)	$C_5H_8O_2$	3 MeV $^4He$
Cellulose Acetate Butyrate	$C_{12}H_{18}O_7$	
Cellulose Triacetate (Cellit, Triafol-T, Kodacel TA-401 unplasticized)	$C_3H_4O_2$	
Cellulose Nitrate (Daicell)	$C_6H_8O_9N_2$	0.55 MeV $^1H$

Notes: Solid lines represent relatively clear separations; broken lines represent unclear but likely separations.

Many materials have different sensitivities depending on their exposure to oxygen, ultra-violet light, ..., and on the etchant used.

I 159068AX

เหมาะสม เพื่อให้สามารถเห็นได้ด้วยการกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา บริเวณช่องว่างที่เกิดขึ้นตามทางที่อนุภาควิ่งผ่าน จะถูกสารเคมีกัดละลายออกมาได้เร็วกว่าบริเวณอื่น จึงทำให้รอยที่ปรากฏอยู่โตขึ้น จนมองเห็นได้ด้วยการกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา การที่จะให้ได้รอยที่กัดแล้ว ชัดเจนมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลายเคมี อุณหภูมิ ความเข้มข้น และเวลาในการกัดรอย เป็นสำคัญ ซึ่งต้องได้มาจากการทดลองทั้งสิ้น เงื่อนไข



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงการกัดรอยของอนุภาคบนแผ่นวัสดุ  
บันทึกรอย

ในการกัดรอย (etching condition) สำหรับวัสดุบันทึกรอยบางชนิด ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 3.2 และในภาคผนวก

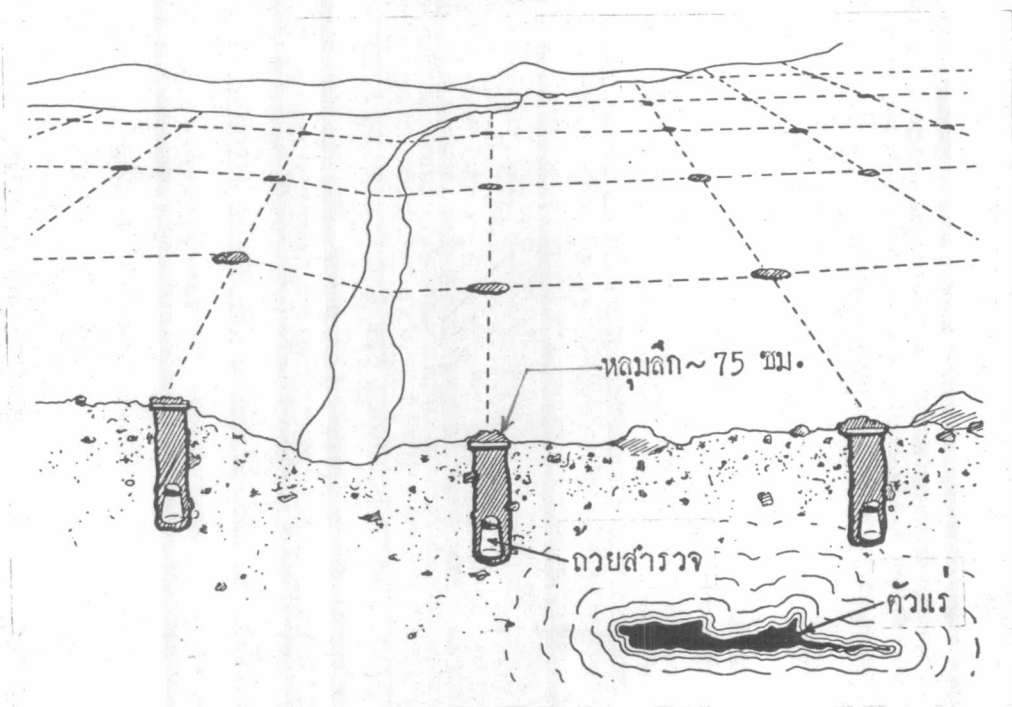
3.2.3 การนั้บรอย

การนั้บรอยเป็นการประเมินผลเพื่อความหนาแน่นรอยของอนุภาค บนแผ่นบันทึกรอย วิธีที่ใช้กันทั่วไปคือการนับจำนวนรอยด้วยการกล้องจุลทรรศน์ ในปัจจุบันการพัฒนาวิธีการนั้บรอยยังคงดำเนินอยู่ เพื่อที่จะหาวิธีที่สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นและที่ใช้กันแล้ว เช่น

การนับรอยคล้ายสปาร์คเคาน์เตอร์ (spark counter) เป็นต้น

### 3.2.4 การประยุกต์วิธีการแทรก-เอทซ์ ในการสำรวจเรเนียม

การสำรวจเรเนียมด้วยวิธีนี้ต้องใช้แผ่นวัสดุที่มีที่กรอยที่มีความไวต่ออนุภาคอัลฟา เช่น เซลลูโลสอะซิเตท เซลลูโลสไนเตรท และโพลีคาร์บอเนต (polycarbonate) เป็นต้น เพื่อตรวจวัดอนุภาคอัลฟาที่เกิดจากการสลายตัวของกาซเรคอน แผ่นบันทึกกรอยนี้จะติดไว้ที่ก้นคานในของถ้วยสำรวจ ความสูงของถ้วยต้องมากกว่า 7 เซนติเมตร ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคอัลฟาจากต้นกำเนิดอื่น นอกจากจากกาซเรคอน มีโอกาสวิ่งไปถึงแผ่นบันทึกกรอย ในบริเวณพื้นที่ทำการสำรวจ จะขุดหลุมลึกลงไปประมาณ 75 เซนติเมตรหลาย ๆ หลุมแบบคี่กระแวง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 แต่ละ



รูปที่ 3.6 แสดงการวางถ้วยสำรวจเรเนียมแบบ  
แทรก-เอทซ์ ในบริเวณพื้นที่สำรวจ

หลุมมีถ้ำสำรวจวางอยู่ที่ก้นหลุมในลักษณะที่ว่าปากถ้ำวางลง ก๊าซเรดอนที่พุ่ง กระจาย  
ออกมาจากตัวแร่ (ore body) เมื่อผ่านชั้นเมตาบอน ก๊าซบางส่วนจะถูกกักอยู่ใน  
ถ้ำสำรวจ เมื่อสลายตัวอนุภาคอัลฟาที่เกิดขึ้นก็มีโอกาสที่จะวิ่ง ไปชนแผ่นบันทึกรอยได้  
จำนวนรอยที่เกิดขึ้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณก๊าซเรดอน ส่วนปริมาณก๊าซเรดอน  
ขึ้นอยู่กับปริมาณยูเรเนียมในแร่ ดังนั้นความหนาแน่นของรอยอนุภาคอัลฟาที่ปรากฏบน  
แผ่นบันทึกรอย สามารถบอกได้ว่าบริเวณพื้นที่สำรวจมียูเรเนียมหรือไม่