

FISSION TRACK MEMBRANE FILTERS

จรรย์ พุดพวง และ สุนิศา ฤกษ์อุดม
คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
การฝึกงานภาคฤดูร้อน เม.ย.-พ.ค. 2551

ABSTRACT

Tracks on 6-micrometer polycarbonate film<PC> and on 12.7micrometer polyimide film were created by fission fragments from nuclear reaction between thermal neutrons and a yellow cake screen in Thai Research Reactor. The reaction occurs on film that is charged particles as high energy, which can penetrate into the film. The particles could produce fission track on polymerfilm. Track etching on 6-micrometer polycarbonate was performed in 6N NaOH solution at 60 Celsius .We developed the film in 60 minutes. Sizes of track depend on the time that the film spent inside the thermal column. The longerit takes, the more dense the tracks. It was observed that the densities of the tracks are best at 5 minutes, and there are not too few pores on film. So we chose at 5 minutes for fission track experiment on polyimide film. A part of etching 12.7-micrometer polyimide into sodium hypochlorite solution at 10.6 PH which could be reduced by Boric acid. The track etching time was per formed for 30-80 minutes at 60 Celsius that we find out tracks etching on film depend on the time of etching 1-6 mm discriminator,it is made of polyethylene placed between uranium screen and the polyimide film. The discriminator allowed only the fission fragments incident to the film perpendicular, to the film.

1. แผ่นกรองฟิล์มบาง

ฟิล์มบางที่ใช้กรองแบบ micro filtration สามารถมองเห็นรูบนฟิล์มได้โดยกล้องจุลทรรศน์ ส่วนฟิล์มบางที่ใช้กรองแบบ ultra filtration แบบ Nan filtration และแบบ Reverse Osmosis ไม่สามารถมองเห็นได้ แต่สามารถให้ของเหลวหรือแก๊สความดันสูงซึมผ่านได้ แผ่นกรองฟิล์มบางที่ใช้กรองแบบ microfiltration โดยทั่วไปทำจากโพลีเมอร์เช่น

polycarbonate(PC), nylon, polyvinylidenedifluorid(PVDF), polypropylene, polysulfone, polyethersulfone และ polytetrafluoroethylene (PTFE) เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเนื้อวัสดุ มีความเหนียวแน่น ทนทาน ไม่ดูดซับหรือเกิดปฏิกิริยากับสารละลายที่ต้องการกรอง วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการผลิตแผ่นกรองฟิล์มบางก็คือการยิงแผ่นฟิล์มด้วยอนุภาคที่มีประจุพลังงานสูง แล้วนำไปล้างในสารละลายกรดหรือด่างเข้มข้น เพื่อขยายรอยอนุภาคให้เป็นรูเมื่อนิวตรอนวิ่งเข้าชนยูเรเนียม-235 จะทำให้เกิดปฏิกิริยาแตกตัว (Fission reaction) เกิดฟิชชันแฟรกเมนต์ (Fission fragment) และรังสีออกมา โดยที่ฟิชชันแฟรกเมนต์จะมีมวลอยู่ในช่วง 70-160 หน่วยมวลอะตอม มีพลังงาน 61-93 MeV² อนุภาคที่มีมวลและพลังงานสูงเหล่านี้ สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านวัสดุที่เป็นฉนวนบาง ๆ เช่น ฟิล์มโพลีเมอร์ที่มีความหนา 10-20 ไมโครเมตร โดยทำให้เกิดรอยแฉ่งขนาดเล็ก วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาเงื่อนไขของเวลาที่ใช้ในการล้างกรดรอยอนุภาคที่เกิดจากฟิชชันแฟรกเมนต์บนแผ่นฟิล์มโพลีคาร์บอเนตกับขนาดของรูที่เกิดขึ้น

การทำให้เกิดช่องหรือรูบนแผ่นฟิล์มบางเพื่อใช้ในการกรอง สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

- stretch membrane หรือ Extrusion stretching method เป็นการยืดฟิล์มออกที่อุณหภูมิสูงโดยการดึงโพลีเมอร์ที่หลอมเหลวออกจากเครื่อง Extruder ในสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน ทำให้เส้นใยโพลีเมอร์มีลักษณะเป็นช่องตาข่าย
- Phase inversion หรือ Template leaching method ใช้วิธีละลายโพลีเมอร์ในตัวทำละลายแล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบาง เมื่อตัวทำละลายระเหยไป จะทำให้เกิดเป็นช่องบนแผ่นฟิล์มโพลีเมอร์ที่แห้งและแข็งตัว
- Skin casting หรือ Double casting เป็นการขึ้นรูปฟิล์มบางที่มีช่องขนาดเล็ก ด้วยฟิล์มที่มีช่องขนาดใหญ่
- Track-etch membrane ใช้วิธีการยิงด้วยอนุภาคมีประจุ ที่มีพลังงานสูง แล้วนำไปล้างในสารละลายกรดหรือด่างเข้มข้น เพื่อกัดขยายรอยอนุภาคให้เป็นรู

กระบวนการกรองโดยใช้แผ่นฟิล์มบาง อาจเป็นการส่งสารละลายผ่านแผ่นกรองให้ดักจับสารแขวนลอย โดยจัดให้แผ่นกรองอยู่ที่ตำแหน่งปลายทาง(Dead end filtration) ตั้งฉากกับทิศทางการไหล หรืออยู่ที่ด้านข้าง (Cross flow filtration) ขนานกับทิศทางการไหล

2. ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน (Nuclear fission reaction)

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน(Nuclear fission reactor) คือการแตกตัวของนิวเคลียส หมายถึง การที่นิวเคลียสของธาตุหนักบางธาตุที่เป็นเชื้อเพลิง เช่น ยูเรเนียม พลูโทเนียม ถูกชนด้วยนิวตรอนแล้วแตกตัวออกเป็นสองเสี่ยงเป็นนิวเคลียสของธาตุเบาที่มีขนาดเกือบเท่ากัน เรียกว่าผลผลิตจากฟิชชัน (Fission product) พร้อมกับมีอนุภาครังสีและพลังงานมหาศาลถูกปลดปล่อยออกมาด้วย

ไอโซโทปของธาตุหนักบางชนิด เช่น ยูเรเนียม-235 ยูเรเนียม-233 หรือ พลูโทเนียม-239 เมื่อได้รับนิวตรอน จะทำให้แตกออกเป็นสองเสี่ยงกลายเป็นนิวเคลียสของธาตุที่มีมวลอะตอมขนาดกลางซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนสูงขึ้น และมีความเสถียรมากขึ้นด้วย ปฏิกิริยาที่

นิวเคลียสของธาตุจับนิวตรอนแล้วแตกออกเรียกว่า ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน ผลของปฏิกิริยา ทำให้มีการปลดปล่อยนิวตรอนออกมา 2-3 นิวตรอน และพลังงานประมาณ 200 MeV ไอโซโทปที่เกิดปฏิกิริยาฟิชชันได้เมื่อรับเทอร์มัลนิวตรอน เรียกว่า “fission nuclide”

เมื่อนิวเคลียสดูดกลืนนิวตรอนแล้วกลายเป็นนิวเคลียสประกอบที่มีพลังงานสูง ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาฟิชชันได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 เมื่อพลังงานยึดเหนี่ยว (Binding energy) ของนิวเคลียสประกอบ มีค่าสูงกว่าพลังงานกระตุ้น (Critical energy) ตัวอย่างเช่น พลูโตเนียม-239 (^{239}Pu) เมื่อได้รับเทอร์มัลนิวตรอนจะกลายเป็นนิวเคลียสประกอบของ ^{240}Pu ซึ่งมีพลังงานยึดเหนี่ยว (6.6 MeV) มากกว่าพลังงานกระตุ้น (5.0 MeV) จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาฟิชชันได้โดยง่ายและมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาสูงตามค่า Cross-section

ตารางที่ 1 พลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันในไอโซโทปของธาตุหนัก

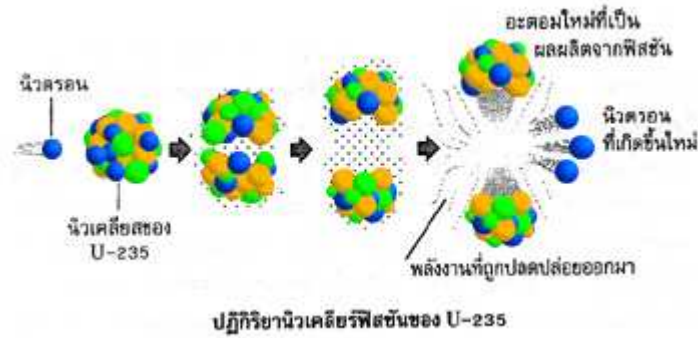
Target Nucleus	*Critical Energy (E_{crit})	*Binding energy of Last Neutron (BE_n)	$BE_n - E_{crit}$	Cross section (barns)
^{232}Th	7.5 MeV	5.4 MeV	-2.1 MeV	$<10^{-6}$
^{233}U	6.0 MeV	7.0 MeV	+1.0 MeV	530
^{235}U	6.5 MeV	6.8 MeV	+0.3 MeV	579
^{238}U	7.0 MeV	5.5 MeV	-1.5 MeV	2.7×10^{-6}
^{239}Pu	5.0 MeV	6.6 MeV	+1.6 MeV	742

*พลังงานยึดเหนี่ยวของนิวตรอน (Binding energy of last neutron) และพลังงานกระตุ้น (Critical energy) ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันของนิวเคลียสประกอบ

ไอโซโทปที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวของนิวเคลียสประกอบน้อยกว่าพลังงานกระตุ้น จะทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันได้ ก็ต่อเมื่อเพิ่มพลังงานยึดเหนี่ยวของนิวเคลียสประกอบ ให้มากกว่าพลังงานกระตุ้น โดยการใช้นิวตรอนพลังงานสูง เช่น ^{238}U จะทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันได้ต้องใช้นิวตรอนที่มีพลังงานอย่างน้อย 1.5 MeV (5.5-7.0 MeV) ไอโซโทปที่ไม่เกิดฟิชชันกับเทอร์มัลนิวตรอน แต่สามารถเกิดฟิชชันเมื่อได้รับนิวตรอนพลังงานสูง (Fast neutron) เรียกว่า “Fissionable nuclide”

นิวเคลียสของยูเรเนียม-235 เมื่อจับเทอร์มัลนิวตรอน จะทำให้กลายเป็นนิวเคลียสประกอบของยูเรเนียม-236 ที่มีสภาวะพลังงานกระตุ้นสูง ซึ่งจะแตกออกเป็นนิวเคลียสขนาดกลางเรียกว่า Fission Fragment พร้อมกับปลดปล่อยนิวตรอนและพลังงานออกมาประมาณ 200 MeV ดังตัวอย่างของสมการนิวเคลียร์ดังต่อไปนี้





รูปที่ 4 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันของยูเรเนียม-235

พลังงานที่ปลดปล่อยออกจากปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียม-235 สามารถคำนวณได้จากมวลที่แตกต่างกันระหว่าง มวลรวมก่อนและหลังปฏิกิริยา ซึ่งจะได้พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากการคำนวณมวลที่เปลี่ยนเป็นพลังงานตามสมการของไอน์สไตน์ $E = mc^2$ พลังงานส่วนใหญ่ปลดปล่อยออกมาทันทีที่เกิดปฏิกิริยา ซึ่งกว่า 90% เป็นพลังงานจลน์ของนิวเคลียสที่แตกออกมาหรือ Fission fragment โดยมีสัดส่วนของพลังงานจากอนุภาคและรังสีที่ปลดปล่อยออกมา ดังตารางที่ 2 พลังงานเกือบทั้งหมดปลดปล่อยออกมาภายในเวลา 10^{-12} วินาที ซึ่ง Fission fragment จะเคลื่อนที่ไปได้ไม่กี่ไมโคร ทำให้พลังงานจลน์เปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน

ตารางที่ 2 พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาทันทีจากปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียม-235

พลังงานจลน์ของ fission fragments	167 MeV
พลังงานจลน์ของ prompt neutrons	5 MeV
พลังงานจลน์ของ Captured gamma ray	10 MeV
พลังงานจลน์ของ Prompt gamma rays	5 MeV
พลังงานทั้งหมด	187 MeV

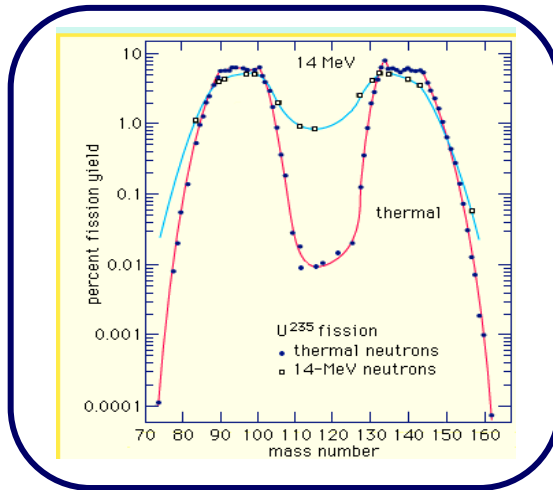
นอกจากนี้ยังมีพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาภายหลัง จากผลผลิตฟิชชัน (Fission product) ที่เป็นไอโซโทปรังสี มีการปลดปล่อยรังสีบีตา รังสีแกมมาและแอนตินิวตริโน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาในภายหลังจากปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียม-235

พลังงานของรังสีบีตาจาก Fission product	7 MeV
พลังงานของรังสีแกมมาจาก Fission product	6 MeV
พลังงานของนิวตริโน	10 MeV
พลังงานทั้งหมด	23 MeV

นิวเคลียสของยูเรเนียม-235 ที่เกิดปฏิกิริยาฟิชชัน เมื่อแตกออกเป็นสองส่วน Fission fragments จะมีมวลไม่เท่ากัน โดยมีมวลระหว่าง 70 ถึง 160 หน่วยมวลอะตอม ซึ่งอยู่ในระดับนิวเคลียสของอะตอมขนาดกลาง Fission fragments มีมวลที่แบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ส่วนใหญ่จะเป็นนิวเคลียสที่มีมวลประมาณ 95 และ 140 หน่วยมวลอะตอม ดังรูปที่ 5

มวลที่แตกต่างกันของ Fission fragment ซึ่งแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ทำให้พลังงานของ Fission fragment แตกต่างกันออกเป็นสองกลุ่มเช่นกัน ตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม ($mv_1 = mv_2$) ทำให้นิวเคลียสที่มีมวลมาก มีพลังงานจลน์น้อยกว่านิวเคลียสที่มีมวลน้อย โดยส่วนใหญ่จะมีพลังงานประมาณ 61 MeV และ 93 MeV ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 มวลของนิวเคลียสที่เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชันแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม

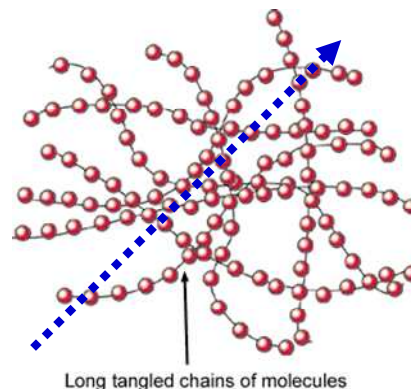
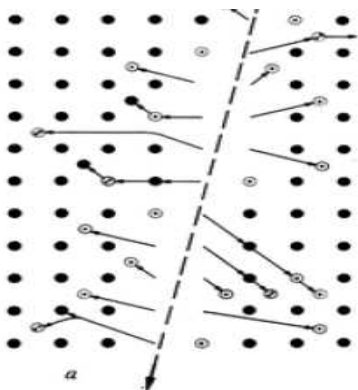
ยูเรเนียมมีเลขอะตอม 92 มีน้ำหนักอะตอม 238.0289 ยูเรเนียมอยู่ในธรรมชาติ มี 3 ไอโซโทป ได้แก่ ยูเรเนียม-234 (^{234}U) ยูเรเนียม-235 (^{235}U) และ ยูเรเนียม-238 (^{238}U) ทั้งหมดเป็นไอโซโทปรังสี แต่ละไอโซโทปมีมวล สัดส่วนของไอโซโทป(Isotopic abundance) ครึ่งชีวิต และครอสเซกชันในการเกิดปฏิกิริยาฟิชชัน (Fission cross section) เมื่อได้รับเทอร์มัลนิวตรอน (σ_f, th) และ Resonance Integral (σ_f, RI) ดังตารางที่ 3 ยูเรเนียม-235 เป็นไอโซโทปที่มีค่าครอสเซกชัน(cross section) ต่อนิวตรอนสูงกว่าไอโซโทปอื่น ปฏิกิริยาฟิชชันส่วนใหญ่ จึงเป็นปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนกับยูเรเนียม-235

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของไอโซโทปของยูเรเนียมธรรมชาติ

Isotope	^{234}U	^{235}U	^{238}U
Abundance	0.0055	0.720	99.2745
Half-life(y)	$10^8 \cdot 2.46 \times 10^8$	7.04×10^8	4.47×10^9
σ_f, th	5 mb	585 b	5 ub
σ_f, RI	7 b	275 mb	13 mb
mass	234.040947	235.043924	238.050785

3. กระบวนการกัดรอยอนุภาค(Particle track etching)

เมื่ออนุภาคที่มีประจุที่มีพลังงานสูง ผ่านเข้าไปในวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น พลาสติก แก้ว หรือผลึก จะเกิดการไอออไนซ์ ทำให้เกิดรอยแผลขนาดเล็ก เมื่อล้างด้วยยาขอยในสารละลายกรดหรือด่างเข้มข้น เนื้อวัสดุตรงส่วนที่เกิดรอยแผล มีอัตราการละลายเร็วกว่าส่วนอื่น ทำให้รอยมีขนาดใหญ่ขึ้น จนสามารถสังเกตเห็นได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์



Long tangled chains of molecules

รูปร่างและขนาดรอยของอนุภาค แปรผันตามชนิดและพลังงานของอนุภาควัสดุที่ใช้บันทึกรอยอนุภาค รวมทั้งเงื่อนไขที่ใช้ในการล้างกัด รอย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการล้างกัดรอย

การศึกษาโดยการกัดรอยอนุภาคนิวเคลียร์(Nuclear track etching) มีการประยุกต์ใช้หลายด้าน เช่น การตรวจวัดปริมาณแก๊สเรดอนซึ่งเป็น แก๊สที่ไร้รังสีแอลฟาในธรรมชาติ โดยวัดความหนาแน่นของรอยอนุภาคแอลฟาบนฟิล์ม CR-39 การตรวจวัดรอยอนุภาคจากรังสีคอสมิกบน ฟิล์มพลาสติก เพื่อการศึกษาทางดาราศาสตร์ การหาอายุทางธรณีวิทยา โดยคำนวณจากความหนาแน่นของรอยอนุภาคจากปฏิกิริยาฟิชชัน ของยูเรเนียมในผลึก (Fission track dating) รวมทั้งการใช้อนุภาคมีประจุพลังงานสูงวิ่งทะลุผ่านฟิล์มบาง เพื่อใช้ในการกรองที่ต้องการ ประสิทธิภาพสูง



(ก)



(ข)



(ค)

(ก)อนุภาคแอลฟาบนฟิล์ม CR-39

(ข)Fission fragment บนฟิล์มคาร์บอน

(ค)อนุภาคจากรังสีคอสมิกบนฟิล์ม CR39

4. การทำแผ่นกรองฟิล์มบางโดยการกัดรอยอนุภาค(Track etch membrane)

แผ่นกรองฟิล์มบางที่ใช้เทคนิคการกัดรอยอนุภาค ที่มีจำหน่ายในทางการค้า ส่วนใหญ่เป็นฟิล์มโพลีเมอร์ชนิด Polycarbonate (PC) และ Polyethylene terephthalate (PET) มีการผลิตโดยใช้อนุภาคมีประจุที่มีพลังงานสูง เคลื่อนที่ทะลุผ่านฟิล์มบางโพลีเมอร์ แล้วล้างใน สารละลายต่างเข้มข้นทำให้รอยอนุภาคละลายออกจนเป็นรูบนฟิล์มอุปกรณ์ที่เป็นต้นกำเนิดอนุภาคพลังงานสูง ได้แก่

*เครื่องเร่งอนุภาค(Particle accelerator) แบบ Tandemหรือ cyclotron ซึ่งมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เร่งอนุภาคมีประจุที่มีมวลมาก ให้มีพลังงาน สูง เคลื่อนที่ทะลุผ่านฟิล์มโพลีเมอร์ ทำให้เกิดรอยอนุภาค

*เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย(Nuclear research reactor) ปลดปล่อยนิวตรอนความเข้มสูงออกมาทำปฏิกิริยาฟิชชัน กับยูเรเนียม-235 ซึ่ง Fission fragment ที่เกิดขึ้นเป็นอนุภาคมีประจุและมีพลังงานสูง สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านแผ่นฟิล์มและทำให้เกิดรอยบนฟิล์มโพลีเมอร์ แผ่นกรองฟิล์มบางจากการกัดรอยอนุภาค ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.01 ไมโครเมตร ถึง 14 ไมโครเมตร โดยมีชื่อเรียก ต่างๆ กัน เช่น Track-etch membrane (TeM) ของบริษัท Nerox Filter, Polycarbonate track etch membrane filter (PCTE) ของบริษัท osmosics, SPI-pore Polycarbonate

Membrane filters ของบริษัท SPI supplies, Nucleopore polycarbonate track-etch membrane filter ของบริษัท Whatman นอกจากนั้น ยังมีการเรียกในชื่ออื่นอีกเช่น Nuclear track filters, track membrane, Track etch membrane filters, Nuclear track membrane filters, Track etch poretic screen membrane, Ion track filters เป็นต้น

แผ่นกรองฟิล์มบางที่ใช้เทคนิคการกัดรอยอนุภาค มีลักษณะเด่นหลายประการ ได้แก่

1. เนื้อวัสดุเป็นพลาสติกหรือโพลีเมอร์ ซึ่งไม่ละลายในน้ำหรือกรด
2. เนื้อฟิล์มมีความเหนียวแน่น ทนต่อแรงดันได้ดี
3. สิ่งที่ต้องการกรองไม่ทำปฏิกิริยาและไม่ติดบนผิวของแผ่นกรอง
4. การผลิตสามารถกำหนดความหนาแน่นของฟิล์มได้
5. ขนาดของรูบนฟิล์มโพลีเมอร์มีขนาดสม่ำเสมอ ใกล้เคียงกัน ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานสูง

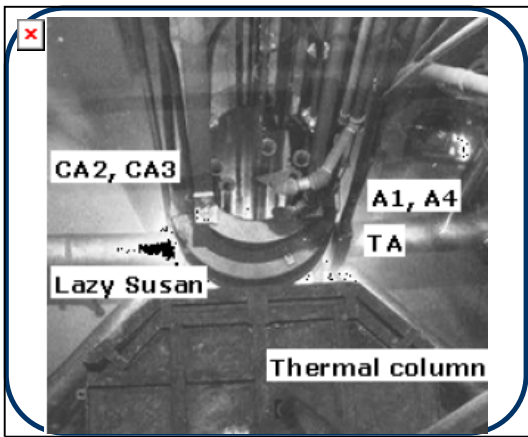
แผ่นกรองฟิล์มบางที่ผลิตขึ้นโดยเทคนิคนี้ มีข้อจำกัดที่ต้นทุนค่อนข้างสูง โดยเฉพาะค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง สำหรับการใช้งานเครื่องเร่งอนุภาค ที่ใช้ยิงอนุภาคมีประจุพลังงานสูง หรือ เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ซึ่งเป็นต้นกำเนิดนิวตรอนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียม-235

5. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

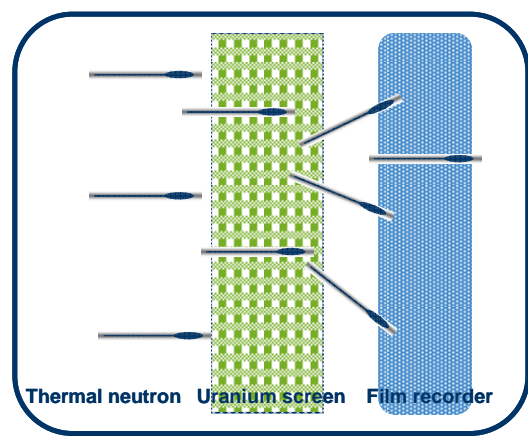
ฟิล์มบางโพลีเมอร์ที่ใช้ในการทำแผ่นกรอง ใช้ฟิล์มโพลีคาร์บอนเนต ความหนา 6 ไมโครเมตร อนุภาคมีประจุ พลังงานสูงที่ใช้ในการทำให้เกิดรอยบนฟิล์ม เป็น Fission fragment ที่เกิดจาก ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันระหว่างเทอร์มัลนิวตรอนกับยูเรเนียม-235

สารประกอบยูเรเนียม ใช้แอมโมเนียไดยูรีเนต $(\text{NH}_4)_2 \text{U}_2\text{O}_7$ หรือ แยกเหลือง (yellow cake) ขึ้นรูปเป็นแผ่นขนาด 2x6 ตารางเซนติเมตร หนา 0.2 มิลลิเมตร ติดอยู่บนแผ่นฟิล์มเซลลูโลสอะซิเตท ความหนา 0.1 มิลลิเมตร

การอบนิวตรอนเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันระหว่างนิวตรอนกับยูเรเนียม-235 ใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนจากท่ออบ Thermal column ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยฯ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเดินเครื่องด้วยกำลัง 1200 กิโลวัตต์ โดยประกบฟิล์มโพลีคาร์บอนเนตกับแผ่น แยกเหลือง บรรจุลงในท่ออบ Thermal column ใช้เวลาในการอบ 3 วินาที



รูปที่ 12 ตำแหน่ง Thermal column ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยฯ



รูปที่ 13 Fission fragment จาก) ปฏิกิริยาฟิชชันนิวตรอนกับยูเรเนียม-235ทำให้เกิดรอยแผลงบนฟิล์มโพลีเมอร์

ฟิล์มบางคาร์บอนเนตที่อบนิวตรอนแล้ว ทำให้เกิดรอยแผลงของ Fission fragment ทำการล้างฟิล์มดังกล่าว ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 นอร์มอล (6N NaOH) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการล้างฟิล์ม 30-120 นาทีเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของรอยอนุภาคกับเวลาที่ใช้ในการล้างฟิล์ม

Fission fragment ที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน ระหว่างนิวตรอนกับยูเรเนียม-235 มีทิศ ทางไม่แน่นอน เนื่องจากมีกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบสุ่ม รอยอนุภาคของ fission fragment บนฟิล์มโพลีคาร์บอนเนต จึงมีทิศทางตั้งแต่ 0-180 องศา ทำให้รูบนฟิล์มมีความ



ยาวไม่แน่นอน รอยอุกาศที่ต้องการ เป็นรอยที่มีทิศทางตั้งฉากกับผิวหน้าของฟิล์ม การลดจำนวนรอยที่มีทิศทางขนานกับแผ่นฟิล์ม สามารถทำได้โดยการใช้แผ่นคัดกรองอนุภาค(Particle discriminator) วางอยู่ระหว่างฟิล์มโพลีคาร์บอเนตกับแผ่นแก้วเหลือง โดยทำการทดสอบการใช้แผ่นคัดกรองอนุภาค 2.5×5 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีช่องค้ำยขนาด 0.25×0.30 ตารางเซนติเมตร มีความหนา 1-6 มิลลิเมตร ออบนิวตรอนในท่อออบ Thermal column ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยฯ ใช้เวลาในการออบนิวตรอน 40 วินาที

รอยอนุภาคของ Fission fragment บนแผ่นฟิล์มโพลีคาร์บอเนต มีความหนาแน่น หรือ จำนวนรอยต่อพื้นที่ แปรผันตามเวลาที่ใช้ในการออบนิวตรอน โดยมีทิศทางไม่แน่นอน อนุภาคที่มีทิศทางตั้งฉากกับแผ่นฟิล์มจะมีลักษณะกลม ขณะที่อนุภาคที่มีทิศทางในแนวเฉียงจะมีความยาวมากกว่า

เมื่อใช้เวลาในการล้างกัทรอยมากขึ้น รอยอนุภาคบนฟิล์มโพลีคาร์บอเนตจะมีขนาดใหญ่ขึ้นจากการล้างกัทรอยฟิล์ม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 นอร์มอล อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการล้าง 30 -120 นาที รอยอนุภาคมีขนาดแปรผันตามเวลาที่ล้าง เมื่อออบนิวตรอนโดยใช้ร่วมกับแผ่นคัดกรองอนุภาค ความหนา 1-6 มิลลิเมตร รอยอนุภาคของ Fission fragment จากปฏิกิริยาฟิชชันของเทอร์มัลนิวตรอนกับยูเรเนียม-235 บนฟิล์มโพลีคาร์บอเนต มีความหนาแน่นของรอยอนุภาค และความยาวของอนุภาคลดลง เมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นกรองอนุภาค

การใช้แผ่นคัดกรองอนุภาคที่มีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้รอยอนุภาคบนฟิล์มโพลีคาร์บอเนตที่สังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์มีความยาวลดลง แสดงว่ามีการคัดให้เหลืออนุภาคที่มีทิศทางที่ตั้งฉากกับผิวหน้าของฟิล์มมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน ระหว่างเทอร์มัลนิวตรอนกับนิวเคลียสของยูเรเนียม-235 ให้ Fission fragment ซึ่งมีประจุและมีพลังงานสูง สามารถทะลุผ่านฟิล์มบางโพลีคาร์บอเนต ความหนา 6 ไมโครเมตรได้ โดยทำให้เกิดรอยแฝงบนแผ่นฟิล์ม สามารถสังเกตได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์เมื่อล้างกัทรอยให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยใช้สารละลายล้างเข้มข้น

รอยอนุภาคที่ปรากฏบนแผ่นฟิล์ม มีขนาดแปรผันตามเวลาที่ใช้ในการล้างกัทรอย โดยมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-8 ไมโครเมตร เมื่อใช้เวลาในการล้างกัทรอย 30-120 นาที ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 นอร์มอล อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

รอยอนุภาคบนแผ่นฟิล์มโพลีคาร์บอเนต มีทิศทางไม่แน่นอน เนื่องจากปฏิกิริยาฟิชชัน มีกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นแบบสุ่ม ซึ่งรอยอนุภาคขนาดใหญ่มีทิศทางในแนวเฉียง จากการใช้แผ่นคัดกรองอนุภาค ทำจากโพลีเอธิลีน ขนาด 2×5 ตารางเซนติเมตร มีช่องลักษณะเป็นตารางขนาด 0.25×0.30 ตารางเซนติเมตร สามารถคัดเลือกให้อนุภาคที่ผ่านไป มีทิศทางใกล้เคียงกับแนวตั้ง ฉากกับแผ่นฟิล์ม เมื่อใช้แผ่นคัดกรองมีความหนา 4-6 มิลลิเมตร โดยอนุภาคยังมีพิสัยที่สามารถเคลื่อนที่ทะลุแผ่นฟิล์มไปได้

แผ่นกรองฟิล์มบางที่ทำขึ้นจากกัทรอยอนุภาคจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน บนฟิล์มบางโพลีคาร์บอเนต มีขนาดรูบนแผ่นฟิล์มค่อนข้างสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน สามารถกำหนดความหนาแน่น และขนาดของรูบนฟิล์มได้ค่อนข้างแน่นอน จากเงื่อนไขที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับนิวตรอน และเงื่อนไขในการล้างกัทรอย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ วิเชียร รตนธงชัย และอาจารย์ รพพน พิชา ที่ช่วยให้ความรู้และคำแนะนำเป็นอย่างดี และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวิชาที่เรียนได้เป็นอย่างมาก

