

## การศึกษาประสิทธิภาพจากเปลี่ยนนิวตรอนเพื่อใช้ผลิต แผ่นกรองรูพรุนขนาดเล็ก

พินพรรณ วิศาลอรรถพันธ์<sup>1</sup> อินทรา ศรีพิชัย<sup>2</sup>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

วิเชียร รตนธงชัย<sup>3</sup> อารีรัตน์ คอนดวงแก้ว<sup>4</sup> และ สมพร จงศ์คำ<sup>5</sup>

โครงการวิจัยฟิสิกส์และวิทยาการก้าวหน้า สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ถ.วิภาวดีรังสิต จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

รับเมื่อ 26 สิงหาคม 2546 ตอรับเมื่อ 9 มกราคม 2547

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแผ่นกรองรูพรุนจากฟิล์มโพลีเมอร์ โดยใช้อนุภาคแอลฟาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์  $(n, \alpha)$  ของโบรอน  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$  และลิเทียม  $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$  และฟิชชันแฟรกเมนต์จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันของยูเรเนียม-235 ทำให้เกิดรอยแผลงบนแผ่นฟิล์ม แล้วล้างกัดรอยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6.25 นอร์มอล อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 80 นาที จากการทดสอบโดยใช้ฟิล์มโพลีเมอร์ 4 ชนิด ได้แก่ ฟิล์ม CR-39 ฟิล์ม Cellulose acetate ฟิล์ม Polyethylene terephthalate และฟิล์มบาง Polycarbonate อนุภาคแอลฟาสามารถทำให้เกิดรอยได้บนฟิล์ม CR-39 ชนิดเดียว โดยมีพิสัยต่ำกว่าความหนาของฟิล์ม ส่วนฟิชชันแฟรกเมนต์สามารถทำให้เกิดรอยได้บนฟิล์ม ทั้ง 4 ชนิด โดยสามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่าน ทำให้เกิดรูบนฟิล์ม Polycarbonate ความหนา 6 ไมโครเมตรได้ จากเปลี่ยนนิวตรอนที่เตรียมขึ้นจากสารประกอบยูเรเนียม ทำให้เกิดรูพรุนบนแผ่นฟิล์ม Polycarbonate มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $4.43 \pm 0.87$  ไมโครเมตร มีความหนาแน่น  $220 \pm 70$  รูต่อตารางมิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบจำนวนรูบนฟิล์มต่อนิวตรอนฟลักซ์คิดเป็นประสิทธิภาพของฉากเปลี่ยนนิวตรอน  $1.5 \times 10^{-8} - 2.9 \times 10^{-8}$  รูต่อนิวตรอน

**คำสำคัญ :** นิวตรอน / ฉากเปลี่ยนนิวตรอน / แผ่นกรองฟิล์มบาง / ปฏิกิริยานิวเคลียร์  $(n, \alpha)$  / โพลีเมอร์ / การกัดขยายรอยทางเคมี / ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน

<sup>1</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์

<sup>3</sup> นักนิวเคลียร์ฟิสิกส์ 6 ว กองฟิสิกส์สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

<sup>4</sup> นักนิวเคลียร์ฟิสิกส์ 7 ว กองฟิสิกส์สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

<sup>5</sup> ผู้อำนวยการกองฟิสิกส์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

## Efficiency of Neutron Converter Screens for Microfilter Production

Pinpan Visal-a-thaphand<sup>1</sup>, Indhira Sripichai<sup>2</sup>

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Wichain Ratanatongchai<sup>3</sup>, Areerat Konduangkaw<sup>4</sup> and Somporn Chongkum<sup>5</sup>

Project of Physics Research and Advanced Technology, Office of Atom for Peace,

Wiphawadee Rangsit Rd., Chatuchak, Bangkok 10900

*Received 26 August 2003 ; accepted 9 January 2004*

### Abstract

Production of microfilter polymer membrane was studied by using alpha particles from  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$  and  $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$  nuclear reactions and fission fragment from U-235 nuclear fission. The high-energy charged particle caused latent track on polymer film which was enlarged by chemical etching in  $70^\circ\text{C}$  6.25 N NaOH solution for 80 minutes. The examination of 4 types of polymer films i.e., CR-39, cellulose acetate, polyethylene terephthalate and thin film polycarbonate showed that only CR-39 film could observe alpha tracks. The track range was shorter than film thickness. Fission track could be found in all of the 4 types of films in which only 6 micrometer polycarbonate film was porous. The pore density of fission track from uranium screen on polycarbonate film was  $220 \pm 70$  pore  $\text{mm}^{-2}$  with  $4.43 \pm 0.87$  micrometer pore size. The converter efficiency of neutron to fission track was  $1.5 \times 10^{-8}$  -  $2.9 \times 10^{-8}$  tracks per neutron.

**Keywords :** Neutron / Neutron Converter Screen / Micropore Filter / Nuclear Reaction (n,  $\alpha$ )/  
Polymer / Chemical Etching / Nuclear Fission Reaction

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Physics.

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Physics.

<sup>3</sup> Nuclear Physicist, Physics Division, Office of Atom for Peace.

<sup>4</sup> Nuclear Physicist, Physics Division, Office of Atom for Peace.

<sup>5</sup> Director, Physics Division, Office of Atom for Peace.

## 1. บทนำ

เมื่ออนุภาคมีประจุที่มีพลังงานสูง วิ่งผ่านเข้าไปในวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น พลาสติกหรือโพลีเมอร์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของวัสดุตามแนวที่อนุภาคนั้นผ่านไป เกิดเป็นรอยแฉ่งขึ้นในเนื้อวัสดุ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตร รอยนี้ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ เมื่อนำไปล้างกัดขยายรอยในสารละลายเคมีที่วัสดุนั้นสามารถละลายได้ รอยอนุภาคที่ล้างกัดขยายรอยแล้ว จะมีขนาดใหญ่ขึ้นจนอยู่ในระดับไมโครเมตร สามารถมองเห็นได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ [1] เทคนิคนี้นำมาประยุกต์ใช้ผลิตแผ่นกรองรูพรุนที่มีประโยชน์นำไปใช้งานสาขาต่างๆ ได้ เช่น ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีชีวภาพ สาขาทางการแพทย์ เกษษกรรม อุตสาหกรรมการผลิตอาหารผลิตเครื่องหอม และนิเวศน์วิทยา ทั้งนี้เพราะแผ่นฟิล์มรูพรุนที่ได้จากการไอออนด้วยอนุภาคมีประจุ เมื่อล้างกัดขยายรอยแล้วมีขนาดของรูใกล้เคียงกัน สามารถนำไปใช้งานเพื่อคัดเลือกหรือคัดแยกวัสดุออกจากกันได้ อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งรูพรุนที่เกิดขึ้นสามารถกำหนดขนาดหรือปรับขนาดได้ด้วยเงื่อนไขจากการล้างกัดขยายรอย (Etching condition) จึงมีประโยชน์นำไปใช้งานได้มากด้านหลายสาขาดังที่กล่าวมา

S. K. Chakarvarti [2] และคณะ ได้ทดลองล้างแผ่นฟิล์มโพลีเมอร์ซึ่งได้แก่ Polycarbonate (Makrofol), Cellulose nitrate (CN-85), Polyethylene terephthalate (Melinex) และ Cellulose acetate (CA) ที่ไอออนด้วยอนุภาค  $^{238}\text{U}$  และ  $^{132}\text{Xe}$  จากเครื่องเร่งอนุภาค 14 MeV และล้างกัดรอยที่อุณหภูมิ 90 °ซ. ในสนามไฟฟ้า  $3.3 \times 10^7$  โวลต์/เมตร สามารถทำให้เกิดรูของรอยอนุภาคมีขนาดตามที่ต้องการ

D.Gopalani [3] และคณะ ได้ทดลองทำแผ่นกรองฟิล์มบางโดยใช้เครื่องเร่งอนุภาคยิงซิลิกอน-28 ( $^{28}\text{Si}$ ) ที่มีพลังงาน 120 MeV ผ่านฟิล์ม PET (Polyethylene terephthalate) หนา 12-25 ไมโครเมตร แล้วล้างกัดรอยอนุภาคในสารละลาย Dimethyl formamide อุณหภูมิ 70 °ซ. นาน 30 นาที และในสารละลาย NaOH 6 N อุณหภูมิ 50 °ซ. ขนาดของรูแปรผันตามเวลาที่ใช้ในการล้าง โดยทำการทดลองให้มีขนาด 0.4-1.4 ไมโครเมตร ซึ่งแผ่นกรองที่มีขนาดรู 0.4 ไมโครเมตร มีประสิทธิภาพในการกรองแบคทีเรียจากน้ำที่มีการปนเปื้อนออกได้ร้อยละ 94

Y. Komaki และ S. Tsujimura [4] ได้ทดลองใช้อนุภาคจากปฏิกิริยาฟิชชัน (Fission fragment) ของนิวตรอนกับยูเรเนียม-235 ทำให้เกิดรอยบนฟิล์ม Polyethylene naphthalate หนา 9 ไมโครเมตร แล้วล้างกัดรอยในสารละลาย NaOH เข้มข้น 3 N อุณหภูมิ 45-65 °ซ. และสารละลาย NaOH เข้มข้น 1-3 N ผสมเอทานอล ร้อยละ 25-75 อุณหภูมิ 45-55 °ซ. รูที่เกิดขึ้นมีขนาด 100-1,000 อังสตรอม ขนาดของรูแปรผันตามเวลาที่ใช้ในการล้าง โดยสารละลาย NaOH ที่ผสมเอทานอลมีอัตราการขยายขนาดของรูเร็วกว่าแผ่นฟิล์มมีความหนาแน่น  $10^5$  รูอนุภาคต่อตารางเซนติเมตร

Y. Komaki [5] ศึกษาการเกิดรูบนฟิล์ม Polyvinylidene fluoride หนา 9 ไมโครเมตร โดยใช้อนุภาคจากปฏิกิริยาฟิชชันของนิวตรอนกับยูเรเนียม-235 ในบรรยากาศของออกซิเจน แล้วล้างกัดรอยในสารละลาย NaOH เข้มข้น 5-12 N อุณหภูมิ 65-85 °ซ. นาน 10-200 ชั่วโมง รูที่เกิดขึ้นมีขนาด 100-1,000 อังสตรอม แปรผันตามเวลาที่ใช้ในการล้าง

สำหรับงานวิจัยนี้ จะเตรียมฉากเปลี่ยนนิวตรอน (Neutron converter screen) ซึ่งเป็นฉากที่ทำขึ้นจากวัสดุที่ทำปฏิกิริยากับนิวตรอนได้ดี ศึกษากระบวนการเกิดปฏิกิริยา  $(n, \alpha)$  และ  $(n, f)$  ซึ่งทำให้เกิดอนุภาคแอลฟา [6] และอนุภาคจากปฏิกิริยาการแตกตัว (Fission fragment) ตามลำดับ ที่จะไปทำให้เกิดรอยแฝงในแผ่นฟิล์มโพลีเมอร์ ศึกษากระบวนการล้างกัดขยายรอยบนแผ่นฟิล์ม เพื่อให้ได้เป็นแผ่นกรอกรูพรุนขนาดเล็กในขนาดที่ต้องการ จากนั้นจะศึกษาหาประสิทธิภาพของฉากเปลี่ยนนิวตรอนที่ใช้ผลิตแผ่นกรอกรูพรุนขนาดเล็ก เพื่อเป็นข้อมูลนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ใช้เทียบค่าหาเวลาเหมาะสมในการอาบรังสีนิวตรอนให้เกิดรอยอนุภาคบนแผ่นฟิล์มมีจำนวนความหนาแน่นรอยตามที่ต้องการ

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การเตรียมฉากเปลี่ยนนิวตรอน

2.1.1 ฉากเปลี่ยนนิวตรอนเพื่อปฏิกิริยา  $(n, \alpha)$  ที่เตรียมขึ้นมี 3 ฉาก ได้แก่

- ฉากโบรอนไนไตรด์ (BN) มีสารประกอบเป็นโบรอนไนไตรด์
- ฉากลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF) มีสารประกอบเป็นลิเทียมฟลูออไรด์
- ฉากลิเทียมบอเรต (LiBO<sub>2</sub>) มีสารประกอบเป็นลิเทียมบอเรต

2.1.2 ฉากเปลี่ยนนิวตรอนเพื่อปฏิกิริยา  $(n, f)$  ที่เตรียมขึ้นมีฉากเดียว คือ

- ฉากแอมโมเนียมไดยูรีเนต (Ammonium diurinate) หรือเค้กเหลือง (Yellow cake) มีสารประกอบของยูเรเนียมชื่อว่าแอมโมเนียมไดยูรีเนต (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>U<sub>2</sub>O<sub>7</sub>

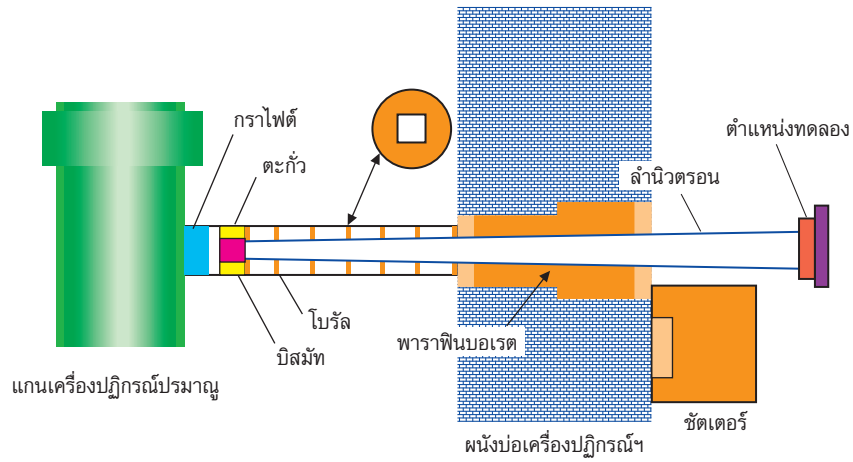
ฉากเปลี่ยนนิวตรอนแต่ละอันเตรียมขึ้นได้โดยการบดสารประกอบที่ใช้ทำฉากให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 10 กรัม ผสมอะซิโตน 20 มิลลิลิตร กาวเคมี 5 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วเทลงบนแผ่นเซลลูโลสอะซิเตท ขนาด 2 x 4 ตารางเซนติเมตร หนา 0.10 มิลลิเมตร ปล่อยให้แห้งในที่ร่ม

### 2.2 การอาบนิวตรอน (Neutron irradiation)

ฉากเปลี่ยนนิวตรอนแต่ละฉากที่เตรียมขึ้น เมื่อได้รับนิวตรอนจะปลดปล่อยอนุภาคออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ อนุภาคที่ปลดปล่อยออกมามีพิสัยสั้นมากโดยอยู่ในระดับไมโครเมตร [7] การทำให้อนุภาคที่ปลดปล่อยออกมาสามารถเข้าไปในเนื้อวัสดุได้สมบูรณ์ จึงต้องประกบฉากเปลี่ยนนิวตรอนให้สนิทกับแผ่นฟิล์มโพลีเมอร์ ฟิล์มที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มี 4 ชนิด ได้แก่

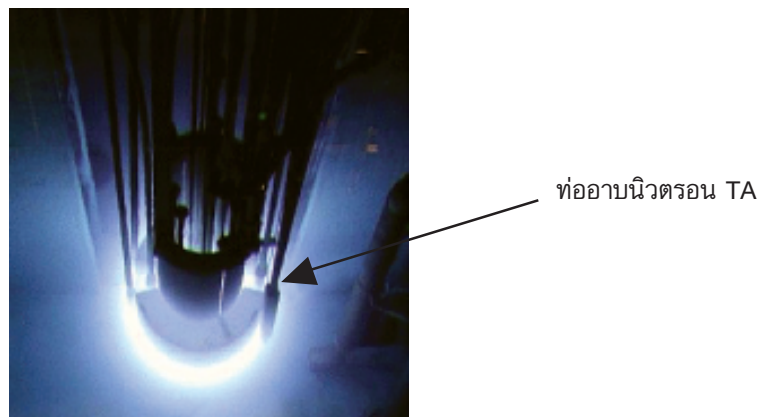
1. ฟิล์ม CR-39 (Polyallyl diglycol carbonate : PADC ; TASTRAK, Track Analysis System Ltd., UK) เป็นฟิล์มแผ่นใสหนา 1 มิลลิเมตร
2. ฟิล์ม CA (Cellulose acetate) เป็นฟิล์มแผ่นใสหนา 0.1 มิลลิเมตร
3. ฟิล์ม PET (Polyethylene terephthalate) เป็นฟิล์มแผ่นใสหนา 0.1 มิลลิเมตร
4. ฟิล์ม PC (Polycarbonate ; STRUCTURE PROBE INC., U.S.A) เป็นฟิล์มแผ่นใสบาง 6 ไมโครเมตร

การอาบรังสีนิวตรอนโดยใช้ลำนิวตรอนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ในรูปที่ 1 ในการทดลองจะนำตลับคาสเซตต์อะลูมิเนียมที่ภายในบรรจุจากเปลี่ยนนิวตรอนแบบ (n, α) กับแผ่นฟิล์มที่ประกบกันอย่างสนิทไปวางไว้ในท่อนำลำนิวตรอน ในตำแหน่งทดลองที่มีปริมาณฟลักซ์นิวตรอน  $10^6$  นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที นาน 5 นาที



รูปที่ 1 ท่อนำนิวตรอนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยฯ

ส่วนการอาบรังสีนิวตรอนโดยใช้ท่ออาบ TA ซึ่งอยู่ชิดกับแกนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ในรูปที่ 2 ในการทดลองจะหย่อนหลอดโพลีเอทิลีนที่บรรจุแผ่นฟิล์มกับฉากรับนิวตรอนแบบ (n, f) ที่ประกบกันอย่างสนิทลงไปใบบ่อลึกถึงตำแหน่งที่มีปริมาณฟลักซ์นิวตรอน  $10^{11}$  นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที นาน 10 วินาที



รูปที่ 2 แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยฯ

## 2.3 การล้างกัดขยายรอยอนุภาคบนแผ่นฟิล์ม

รอยแฝงของอนุภาคที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ระหว่างนิวตรอนกับฉากเปลี่ยนนิวตรอนในแผ่นฟิล์มที่ผ่านการอบรังสีนิวตรอนแล้ว ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจนเกิดเป็นรูได้ โดยนำฟิล์มไปแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 6.25 N อุณหภูมิ 70 °ซ. นานในช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นนำฟิล์มไปล้างด้วยน้ำสะอาดที่มีการไหลถ่ายเทตลอดอีก 5 นาที แล้วผึ่งฟิล์มให้แห้ง

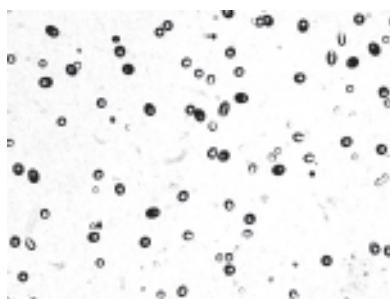
## 2.4 การตรวจสอบหาขนาดรอยอนุภาคบนแผ่นฟิล์ม

รอยอนุภาคอยู่ในเนื้อฟิล์มที่ล้างกัดขยายรอยแล้ว สามารถมองเห็นโดยกล้องจุลทรรศน์ Olympus Model BX 60 พร้อมกล้องถ่ายภาพดิจิทัล Model DP-11 ทำการวัดขนาดของรอยอนุภาคและพื้นที่แผ่นฟิล์มด้วยคอมพิวเตอร์โดยซอฟต์แวร์โปรแกรม Micro Image

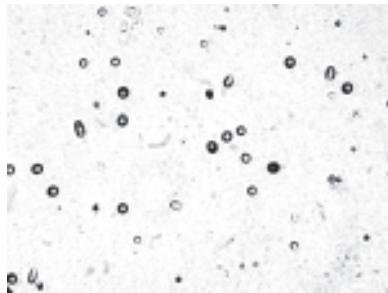
## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 3.1 รอยอนุภาคจากปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบ (n, $\alpha$ )

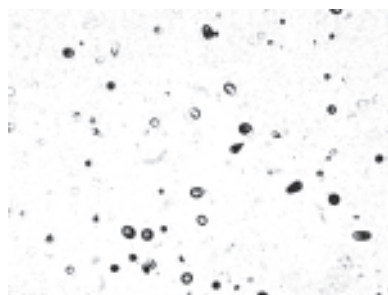
เมื่อนำฟิล์มพร้อมฉากแต่ละอันไปอบรังสีนิวตรอน ที่ตำแหน่งในลำนิวตรอนของเครื่องปฏิกรณ์ปริมาณ นาน 5 นาที ปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบ (n,  $\alpha$ ) ระหว่างนิวตรอนกับธาตุ B และธาตุ Li ที่ประกอบอยู่ในฉากเปลี่ยน นิวตรอน ปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา ปรากฏเป็นรอยอนุภาคแอลฟาบนฟิล์ม ที่เมื่อนำไปล้างกัดขยายรอยในสารละลาย NaOH เข้มข้น 6.25 N อุณหภูมิ 70 °ซ. นาน 80 นาที แล้วนำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า จะเห็นรอยปรากฏบนฟิล์ม CR-39 ดังรูปที่ 3 รูปที่ 4 และรูปที่ 5 ส่วนบนฟิล์ม CA ฟิล์ม PET และฟิล์ม PC ไม่มี รอยของอนุภาคแอลฟาปรากฏอยู่เลย [8]



รูปที่ 3 รอยอนุภาคแอลฟาบนฟิล์ม CR-39 เมื่อใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนมีสารประกอบเป็น BN



รูปที่ 4 รอยอนุภาคแอลฟาบนฟิล์ม CR-39 เมื่อใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนมีสารประกอบเป็น  $\text{LiBO}_2$



รูปที่ 5 รอยอนุภาคแอลฟาบนฟิล์ม CR-39 เมื่อใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนมีสารประกอบเป็น LiF

รอยอนุภาคแอลฟาบนฟิล์ม CR-39 ที่เกิดโดยฉากเปลี่ยนนิวตรอนทั้ง 3 มีความแตกต่างดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยอนุภาคแอลฟาและความหนาแน่นของรอยบนฟิล์ม CR-39 ที่เกิดขึ้นโดยฉากเปลี่ยนนิวตรอนต่างๆ กัน

ฉากเปลี่ยนนิวตรอน	เส้นผ่านศูนย์กลางรอย ( $\mu\text{m}$ )	ความหนาแน่นของรอย ( $\text{mm}^{-2}$ )
ฉาก BN	$4.12 \pm 0.09$	$742 \pm 92$
ฉาก $\text{LiBO}_2$	$3.98 \pm 0.13$	$365 \pm 88$
ฉาก LiF	$3.10 \pm 0.22$	$264 \pm 32$

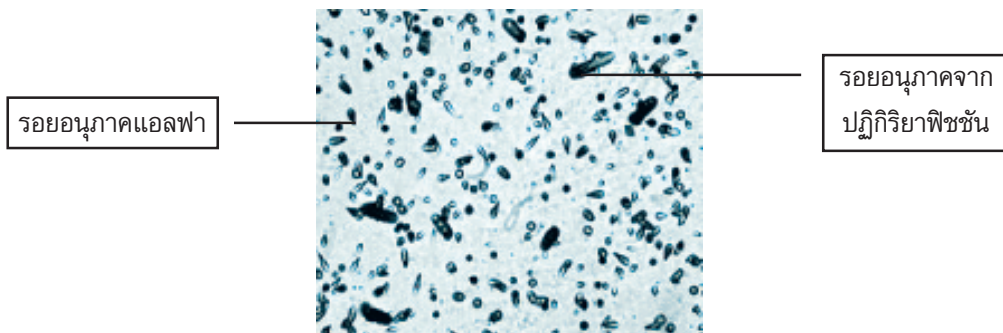
ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่ารอยอนุภาคแอลฟาบนฟิล์ม CR-39 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-4 ไมโครเมตร มีความแตกต่างกันอยู่บ้างเป็นเพราะปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนกับโบรอน  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$  ให้อนุภาคแอลฟาพลังงาน 1.47 MeV [9] ปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนกับลิเทียม  $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$  ให้อนุภาคแอลฟาพลังงาน 2.05 MeV [10] อนุภาคแอลฟาที่มีพลังงานมากกว่าจะสามารถเจาะเข้าไปในเนื้อฟิล์มได้ดีกว่าและให้รอยปรากฏขนาดเล็กกว่า [11]

ในตารางที่ 1 ยังแสดงให้เห็นอีกว่าฉากเปลี่ยนนิวตรอน BN ทำให้เกิดรอยอนุภาคมีความหนาแน่นมากที่สุดทั้งนี้ เป็นไปตามค่าครอสเซชันในการเกิดปฏิกิริยา (Reaction cross section) ระหว่างนิวตรอนกับโบรอน ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าครอสเซชันในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนกับลิเทียม [10]

จากการพบว่าปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบ  $(n, \alpha)$  ระหว่างนิวตรอนกับฉากเปลี่ยนนิวตรอนจะได้รอยของอนุภาคแอลฟาปรากฏอยู่บนฟิล์ม CR-39 เท่านั้น ทั้งนี้เป็นเพราะ CR-39 เป็นฟิล์มที่ปกติใช้เป็นตัววัดรังสีแอลฟาได้ [12] และโดยที่ฟิล์มนี้มีความหนาเกินพิสัย (Range) ของอนุภาคแอลฟา รอยที่ปรากฏจึงเป็นรูทึบ ประกอบกับเหตุผลอีกข้อหนึ่งที่แสดงว่าฟิล์ม CR-39 ใช้ผลิตเป็นแผ่นกรองรูพรุนในที่นี้ไม่ได้คือ เนื้อฟิล์ม CR-39 มีความเปราะเมื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นบางจะแตกง่าย [13]

### 3.2 รอยอนุภาคจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันแบบ $(n, f)$

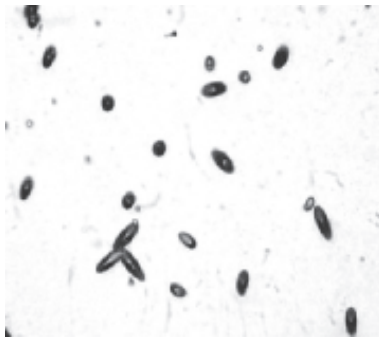
นำฟิล์มพร้อมฉากแอมโมเนียมไดยูรีเนตไปอบรังสีนิวตรอนที่ตำแหน่งในท่อ TA ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู นาน 10 วินาที เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน  $(n, f)$  ระหว่างนิวตรอนกับฉากเปลี่ยนนิวตรอนที่ประกอบจากธาตุยูเรเนียม ปล่องอนุภาคจากปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียมที่มีพลังงานสูงประมาณ 61-93 MeV [14] ออกมาปรากฏเป็นรอยบนฟิล์ม จากนั้นนำฟิล์มไปล้างกัดขยายรอยในสารละลาย NaOH เข้มข้น 6.25 N อุณหภูมิ 70 °C นาน 80 นาที เมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า ดูรอยปรากฏเป็นดังรูปที่ 6 รูปที่ 7 และรูปที่ 8



รูปที่ 6 รอยอนุภาคจากปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียมบนฟิล์ม CR-39

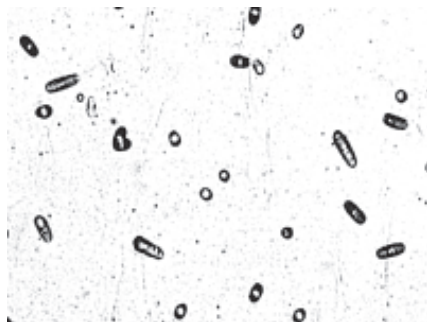
รูปที่ 6 แสดงรอยของอนุภาคบนฟิล์ม CR-39 แยกได้เป็น 2 ลักษณะ เพราะยูเรเนียมเป็นธาตุที่ปลดปล่อย อนุภาคแอลฟาออกมาด้วย บนฟิล์ม CR-39 จึงปรากฏทั้งรอยของอนุภาคแอลฟาที่มาจากยูเรเนียมเอง และ รอยของอนุภาคที่เกิดจากปฏิกิริยาแตกตัวแบบฟิชชันของยูเรเนียมเนื่องจากนิวตรอนรอยอนุภาคแอลฟามีขนาดเล็กกว่า เพราะมีมวลและพลังงานต่ำกว่า





**รูปที่ 7** รอยอนุภาคจากปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียมบนฟิล์ม PET

จากรูปที่ 7 แสดงว่าฟิล์ม PET สามารถบันทึกรอยอนุภาคจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันของธาตุยูเรเนียมได้ [8] รอยที่ปรากฏเป็นรูพรุนที่บวมไม่ทะลุเพราะฟิล์มมีความหนาเกินพิสัยของอนุภาค



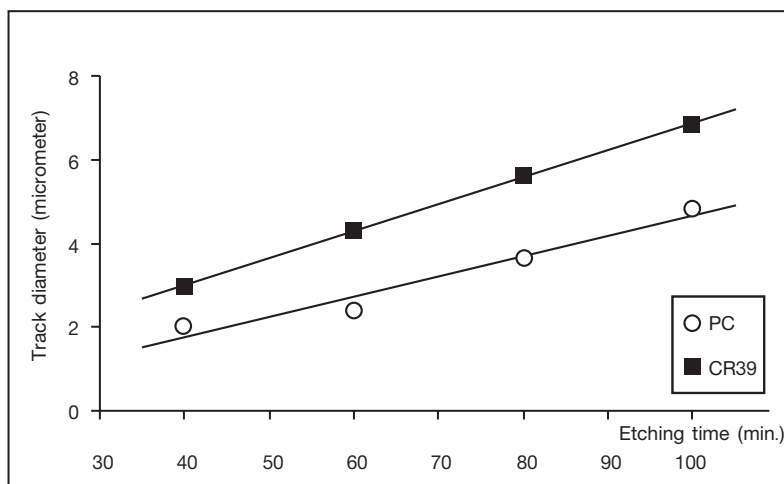
**รูปที่ 8** รอยอนุภาคจากปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียมบนฟิล์มบาง PC

จากรูปที่ 8 แสดงว่าอนุภาคจากปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียม สามารถทำให้เกิดรอยอนุภาคบนฟิล์ม PC [8] เป็นรูพรุนทะลุแผ่นฟิล์ม จึงนำไปวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอย แล้วคำนวณหาความหนาแน่นของรอยได้  $4.43 \pm 0.87$  ไมโครเมตร และ  $220 \pm 70$  รูต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ฟิล์ม PC ที่มีรูพรุนนำไปทดสอบการซึมผ่านของของเหลวที่เป็นน้ำและแอลกอฮอล์ พบว่า ของเหลวทั้งสองสามารถซึมผ่านได้จากด้านบนลงสู่ด้านล่างของฟิล์ม ผลการทดลองนี้นำไปสู่การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของฉากเปลี่ยนนิวตรอน เพื่อใช้ผลิตแผ่นกรองรูพรุนขนาดเล็กได้  $1.5 \times 10^{-8}$  -  $2.9 \times 10^{-8}$  รูต่อนิวตรอน

ส่วนฟิล์ม CA จากการทดลองพบว่ามียูเรเนียมเป็นรูที่ปรากฏอยู่เต็มเกิดขึ้นได้เพราะ CA เป็นฟิล์มที่มีความไวต่อการแผ่รังสีพลังงานต่ำ [15]

### 3.3 ขนาดรอยอนุภาคบนแผ่นฟิล์มขึ้นอยู่กับเวลาล้างกัดขยายรอย

ศึกษารอยอนุภาคที่เกิดจากปฏิกิริยาแตกตัวของยูเรเนียมเนื่องจากนิวตรอนบนฟิล์ม CR-39 และ ฟิล์ม PC พบว่าทำให้มีขนาดเพิ่มขึ้นได้เมื่อเพิ่มเวลาในการล้างกัดขยายรอยในสารละลาย NaOH เข้มข้น 6.25 N อุณหภูมิ 70 °ซ. ดังผลแสดงในรูปที่ 9

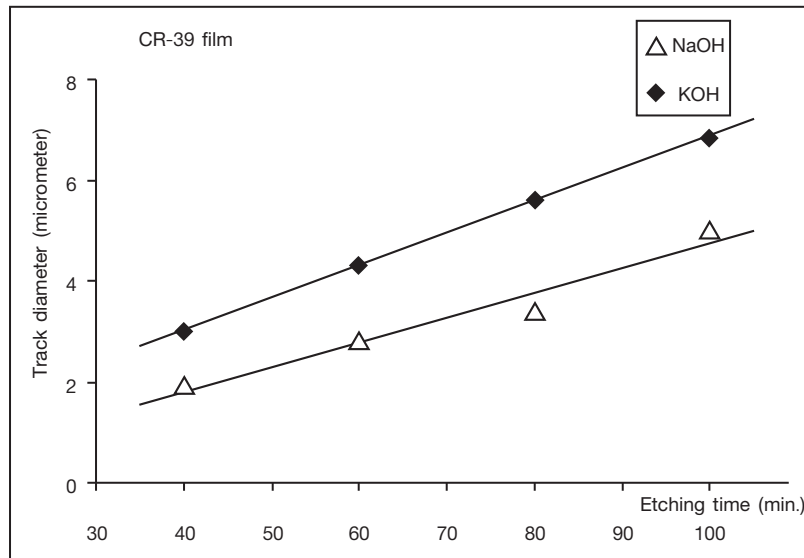


รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางรอยอนุภาคบนฟิล์ม PC และฟิล์ม CR-39 กับเวลาที่ใช้ล้างกัดขยายรอยในสารละลาย 6.25 N NaOH 70 °ซ.

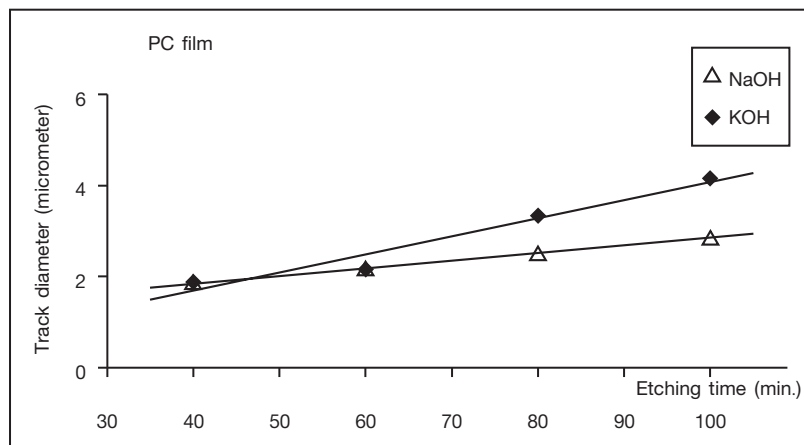
ในรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าขนาดของรอยอนุภาคสามารถกำหนดได้จากเวลาในการล้างกัดขยายรอย ในการทดลองพบว่ารอยอนุภาคบนฟิล์ม PC เริ่มปรากฏเป็นรูทะเลเมื่อใช้เวลาล้างกัดขยายรอยนาน 45 นาที รอยมีขนาดใหญ่ขึ้นตามเวลาที่ใช้ล้างกัดขยายรอย โดยช่วงเวลาในการล้างมีจำกัด ขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์ม ฟิล์มบางเมื่อล้าง นานไปจะยิ่งบางลง [1] จนอาจใช้งานไม่ได้ สำหรับฟิล์ม PC ในที่นี้ พบว่าเมื่อใช้เวลาในการล้างนาน 120 นาที ฟิล์มจะเริ่มละลายยุบไปในสารละลาย

### 3.4 เปรียบเทียบชนิดของสารละลายเคมีที่มีผลต่อการกัดขยายรอยอนุภาค

จากการทดลองล้างกัดขยายรอยอนุภาคบนแผ่นฟิล์ม CR-39 และบนแผ่นฟิล์ม PC ในสารละลาย 2 ชนิด คือ 6 N KOH 70 °ซ. กับ 6 N NaOH 70 °ซ. พบว่ารอยอนุภาคบนฟิล์มมีขนาดต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ตามลำดับ



**รูปที่ 10** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางรอยอนุภาคบนฟิล์ม CR-39 กับ เวลาที่ใช้ล้างกัดขยายรอยในสารละลาย 6 N KOH 70 °ซ. กับ 6 N NaOH 70 °ซ.



**รูปที่ 11** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางรอยอนุภาคบนฟิล์ม PC กับ เวลาที่ใช้ล้างกัดขยายรอยในสารละลาย 6 N KOH 70 °ซ. กับ 6 N NaOH 70 °ซ.

ผลการทดลองในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 แสดงว่า สารละลาย KOH สามารถกัดขยายรอยอนุภาคบนแผ่นฟิล์ม ให้ได้ชิ้นได้เร็วกว่าสารละลาย NaOH [16]

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาในปฏิกริยานิวเคลียร์ ( $n, \alpha$ ) ระหว่างนิวตรอนกับฉากเปลี่ยนนิวตรอนที่ประกอบด้วยธาตุโบรอน และที่ประกอบด้วยธาตุลิเทียมให้อนุภาคแอลฟาออกมา แล้ววิ่งไปชนตัวกลางที่เป็นแผ่นฟิล์มโพลีเมอร์ 4 ชนิด พบว่าอนุภาคแอลฟาสามารถทำให้เกิดรอยบนฟิล์มชนิดเดียวคือ ฟิล์มโพลีคาร์บอเนตชนิด CR-39 ได้รอยที่ปรากฏเป็นรูทึบ จึงใช้ผลิตเป็นแผ่นกรองไม่ได้ ทั้งนี้เป็นเพราะฟิล์ม CR-39 ที่นำมาศึกษามีความหนาเกินค่าฟิลล์ของอนุภาคแอลฟา ส่วนฟิล์มอีก 3 ชนิด คือ ฟิล์มเซลลูโลสอะซิเตท CA ฟิล์ม PET และฟิล์มบางโพลีคาร์บอเนต PC ไม่มีรอยอนุภาคแอลฟาปรากฏอยู่เลย ฟิล์มทั้ง 4 ชนิดนี้จึงนำมาใช้เพื่อผลิตเป็นแผ่นกรองรูปวงกลมโดยปฏิกริยานิวเคลียร์แบบ ( $n, \alpha$ ) ไม่ได้

ในปฏิกริยานิวเคลียร์ฟิชชันโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนชนิดยูเรเนียม นิวตรอนไปทำปฏิกริยานิวเคลียร์ฟิชชัน ทำให้นิวเคลียสของยูเรเนียมแตกตัวเป็นอนุภาคฟิชชันแฟรกที่วิ่งไปชนแผ่นฟิล์มโพลีเมอร์ พบว่ามีรอยอนุภาคปรากฏบนแผ่นฟิล์มทั้ง 4 ชนิด แต่ฟิล์มที่เกิดรอยเป็นรูทะลุมีเพียงชนิดเดียว คือ ฟิล์มบางโพลีคาร์บอเนต PC ซึ่งมีความหนา 6 ไมโครเมตร จากการศึกษาอย่างละเอียดกับฟิล์มบางโพลีคาร์บอเนต PC พบว่าขนาดของรอยอนุภาคสามารถกำหนดได้ ไม่เพียงแต่ด้วยเวลาที่ใช้ในการล้างกัดขยายรอยดังแสดงในรูปที่ 9 ยังสามารถกำหนดได้โดยชนิดของสารละลายเคมีด้วยดังแสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 จากการศึกษาขยายรอยในสารละลาย NaOH เข้มข้น 6.25 N อุณหภูมิ 70 °ซ. นาน 80 นาที วัดเส้นผ่าศูนย์กลางรอยเฉลี่ย  $4.43 \pm 0.87$  ไมโครเมตร ของเหลวประเภทน้ำและแอลกอฮอล์สามารถซึมผ่านได้ ในขนาดของรูบนแผ่นฟิล์มบางโพลีคาร์บอเนต PC ที่ไม่แตกต่างกันมาก ในที่นี้จึงสามารถนำฟิล์มนี้ไปใช้งานที่ต้องการกรองสารบางประเภทได้ จากผลการคำนวณหาความหนาแน่นรอยเฉลี่ยบนแผ่นฟิล์ม PC ได้  $220 \pm 70$  รอยต่อตารางมิลลิเมตร จึงสรุปได้ประสิทธิภาพของฉากเปลี่ยนนิวตรอนเพื่อใช้ผลิตแผ่นกรองรูปวงกลมขนาดเล็ก  $1.5 \times 10^{-8}$  -  $2.9 \times 10^{-8}$  รูต่อนิวตรอน

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนและเงินทุนวิจัยจากกองทุนวิจัยพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ ขอขอบคุณ รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณามอบฟิล์ม Kodak LR115 เพื่อใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณ รศ.วีระพงศ์ จีวประดิษฐ์กุล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณามอบฟิล์มบางสำหรับงาน X-Ray Fluorescence ขอขอบคุณคุณวิทยา แซ่ตั้ง บริษัทแสงวิทย์ 2000 จำกัด ที่กรุณามอบฟิล์มบางโพลีคาร์บอเนตและฟิล์มบางไมลาร์ เพื่อใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณผู้อำนวยการกองเคมี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้มอบเค้กเหลือง (Yellow cake) เพื่อใช้ในงานวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กองปฏิกรณ์ปฏิบัติการ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยฯ ตลอดงานวิจัยครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

1. Fleischer, R. L., Price, P. B., and Walker, R. M., 1975, *Nuclear Tracks in Solids*, Berkley, University of California Press, pp. 1-75.
2. Chakarvarti, S. K., Mahna, S. K., and Sud, L. V., 1986, "Electrolytically Controlled Etching of Micropore Polymer Filters," *Int. J. Appl. Rad. Isotopes*, Vol. 37, No. 11, pp. 1089-1093.
3. Gopalani, D., Kumar, S., Jodha, A. S., Singh, R., Khatri, P. K., and Gopal, R., 2000, "A Novel Method for Production of Polyester Films-Based Nuclear Track Microfilters," *J. Membrane Sci.*, Vol. 178, No. 11, pp. 93-98.
4. Komaki, Y., and Tsujimura, S., 1976, "Growth of Fine Holes in Polyethylenephthalate Film Irradiated by Fission Fragments," *J. Appl. Phys.*, Vol. 47, No. 4, pp. 1355 - 1358.
5. Komaki, Y., 1979, "Growth of Fine Holes by the Chemical Etching of Fission Tracks in Polyvinylidene Fluoride," *Nucl. Tracks*, Vol. 3, pp. 33-44.
6. Von Der Hardt, P. and Royyger, H., 1981, *Neutron Radiography Handbook*, D. Reidel Publishing, London, pp. 49-57.
7. Lamarsh, J. R., 1983, *Introduction to Nuclear Engineering*, 2nd ed., Addison-Wesley Publishing company, Inc., pp. 88-95.
8. Monnin, M., 1978, "Track Formation Principles and Applications," *Idea to Application some Selected Nuclear Techniques in Research and Development*, Proceeding Series ST1 / PUB / 476, pp. 261-290.
9. Kaplan, I., 1964, *Nuclear Physics*, 2nd ed., Addison-Wesley Press, London, pp. 304-335.
10. Walker, F. W., Miller, D. G., and Feiner, F., 1996, "Chart of the Nuclides," *Knolls Atomic Power Lab.*, General Electric Co.
11. Qaqish, A. Y. and Besant, C. B., 1976, "Detection Efficiency and Range Determination of Alpha Particles in Cellulose Nitrate," *Nucl. Instr. and Meth.*, Vol. 138, pp. 493-505.
12. Fews, P., "TASTRAK Applications and Basic Data," Track Analysis System Limited, HH Wills Physics Laboratory, [online], available: <http://www.tasl.co.uk> [22 Aug. 2001].

13. Aple, Y. P., "Track-Etch Technique in Membrane Technology," Running on [EURODUBNA](#) Web-Site, Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, [JINR, Dubna](#), Moscow region, [Russia](#), [online], available: file: //A:\ TRACK-ETCH%20TECHNIQUE %20IN%20MEMBRANE%20TECHNOLOGY.htm [15/ 11/ 43].
14. Krane, K. S., 1988, "Introductory Nuclear Physics", John Wiley & Sons Inc., Singapore, pp. 488-493.
15. Morgan, D. V. and Vliet, D. V., 1970, "Charge Particle Tracks in Solid," *Contemp. Phys.*, Vol. 11, pp. 173-193.
16. Enge, W., Grabisch, R., and Bartholma, K. P., 1974, "Etching Behaviour of a Cellulose Nitrate Plastic Detector Under Various Etching Conditions," *Nucl. Instrum. Meth.*, Vol. 15, No. 1, pp. 263-270.