

Cellulose Nitrate 의 알파粒子飛跡特性

忠南大學校 物理學科

都 珍 悅 · 田 載 植

韓國標準研究所 放射線標準研究室

黃 善 泰

抄 錄

Cellulose nitrate 의 α 粒子飛跡特性, 特別 化學腐蝕條件에 따른 α 粒子의 飛跡直徑을 中心으로 研究하였다. Cellulose nitrate 의 KOH 溶液腐蝕에에는 同一한 腐蝕條件下에서 NaOH 경우보다 α 飛跡直徑이 約 3 倍 크게 나타났다. 그밖에 腐蝕時間 및 α 粒子의 에너지에 따른 飛跡直徑의 데이터를 얻었고, α 粒子의 照射條件이 같을 때 홀루언스率(fluence rate)이 腐蝕時間에 無關함을 알았다.

條件의 데이터를 얻고 α 粒子의 線量測定精度를 確認하고저 하였다.

緒 論

荷電粒子가 誘電體를 通過할 때 粒子가 物體의 原子를 이온화시키던가 原子와 衝突하여 原子를 다른 位置로 밀어내므로 粒子가 通過된 자리에는 電氣의 損傷(damage)이 생기는데 이 誘電體를 化學腐蝕(chemical etching)시키면 損傷 자리는 損傷이 없는 자리보다 腐蝕速度가 커서 飛跡(track)이 形成되며, 이 飛跡은 적절한 化學腐蝕을 통하여 光學顯微鏡으로 觀測이 된다. 이와같이 化學腐蝕方法으로 粒子의 飛跡을 檢出하는데 使用하는 誘電體들을 通常 固體飛跡檢出器(solid state nuclear track detector, SSNTD)라 한다. 粒子의 飛跡檢出方法은 1958年 Young 에 依하여 發見된 後 1960 年代에 Fleischer, Price, Walker 等に 依하여 여러 物質에 對한 飛跡特性이 發見되었으며^{1~4)}, 現在는 SSNTD 의 材料開發 및 飛跡의 特性과 飛跡計數方法 等の 研究와 荷電粒子 및 中性子의 線量測定, 宇宙科學, 地球化學等 廣範圍한 分野에 걸쳐 그 應用에 關한 研究가 활발하다.^{5~7)}

固體飛跡檢出器는 荷電粒子의 入射에너지와 飛跡檢出器에 對한 腐蝕條件에 따라 飛跡의 크기가 달라진다.^{5, 8~11)}

本 研究에서는 cellulose nitrate(CN)의 腐蝕條件에 따라 α 粒子의 飛跡特性을 調査하여, 粒子의 에너지구분 및 粒子의 飛跡確認에 적절히 活用할 수 있는 腐蝕

實 驗

本 實驗에 使用한 CN 은 Kodak Pathé(프랑스)에서 製作한 CA 80-15와 LR 115 type-1이다. CA 80-15는 두께가 100 μm 인 CN 으로 되어 있고 LR 115 type-1 은 두께 7 μm 의 붉은색 CN 이 1000 μm 두께의 polyester base 에 입혀져 있다. CN 의 組成은 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_9\text{N}_2$ 이다. α 粒子의 線源은 ^{241}Am 을 使用하였는데 α 粒子의 에너지는 5.48 MeV 이고 放射能은 $6.814 \times 10^3 \text{Bq}$ 이다.

實驗은 CN 에 α 粒子의 照射, 強酸溶液에 依한 化學腐蝕 그리고 CN 의 洗滌 및 乾燥의 過程을 거친 後 金屬顯微鏡(Versamet Unitron 5383)으로 飛跡의 크기와 數를 測定하는 過程으로 이루어졌다. CN 에 入射하는 α 粒子의 에너지는 CN 과 α -線源사이의 공기층의 두께(air thickness)를 變化시켜 여러가지의 에너지값으로 換算適用하였으며, 本 研究過程에서 공기밀도의 狀態는 $1.17 \pm 0.07 \text{mg/cm}^3$ 이었다. 또한 공기층의 두께를 零으로 하는 實驗은 10^{-3}torr 의 真空狀態때 CN 과 α -線源과의 距離를 10 mm 및 25 mm 에서 照射하는 것으로 代置시켰다.

그림 1은 α 粒子를 CN 에 照射시킬 때 α -線源과 CN 檢出器의 배치모습이다. α -線源은 直徑이 6 mm 인 平面이며 檢出器는 直徑 5 mm 의 구멍이 있는 시료의 지

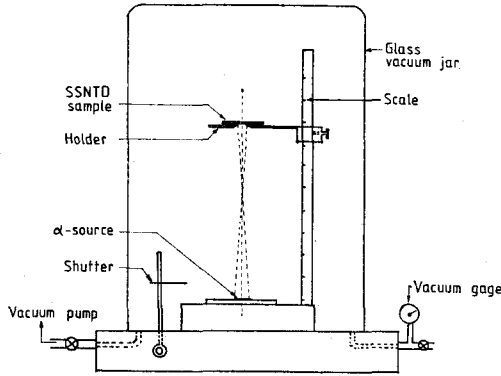


Fig. 1. Device for SSNTD irradiation.

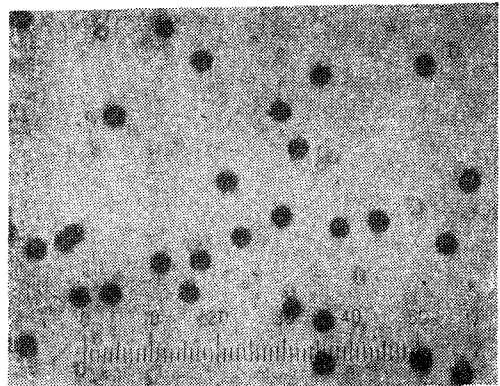
지체 위에 놓여 있다. 이 경우 檢出器를 腐蝕시켰을 때 α -線源에 露出시킨 部分과 露出이 안된 部分이 區分되어 백그라운드(background)影響을 檢討할 수 있는 利點이 있었다. 飛跡의 觀測은 檢出器 中心直徑 3 mm 以內에서 調査되었으며 粒子의 入射角을 거의 90 도로 看做하였다.

結果 및 考察

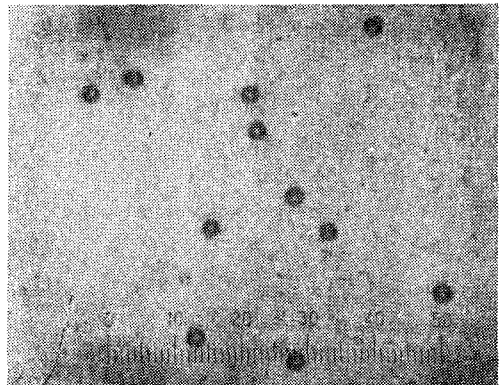
사진 1은 CN에 檢出된 α 粒子의 飛跡을 600배로 본 사진이다. (a)는 CA 80-15檢出器를 α -線源으로부터 15 mm 距離에 두고 空氣中에서 照射시켜 NaOH 2.5 N 60°C에서 120分間 腐蝕시킨 것이고, (b)는 LR 115 type-1檢出器를 α -線源로부터 35 mm 距離에 두고 空氣中에서 10分間 照射시켜 NaOH 2.5 N 60°C에서 90分間 腐蝕시킨 것이다. 飛跡들은 形態와 크기가 거의 均一하고 뚜렷하다.

그림 2는 CA 80-15에 對하여 NaOH 2.5 N 溶液에 腐蝕時間을 140分으로 固定시키고 腐蝕溫度를 55°C에서 70°C까지 5°C 間隔으로 달리하였을 때 特定에너지의 α 粒子에 對한 飛跡의 直徑變化를 보인다. 各 飛跡의 直徑값은 最頻값이며 bar로 表示한 값은 直徑값의 分布이다. 腐蝕溫度에 따른 飛跡의 直徑은 α 粒子의 入射에너지가 1.43 MeV, 2.65 MeV 그리고 5.48 MeV 인 3가지의 경우에 對한 것이다. 溫度에 따른 直徑의 變化는 曲線形態로 增加하는 모습을 보였는데 에너지의 크기에 따라 飛跡의 直徑變化의 曲線이 약간 다르게 나타났다.

그림 3은 CA 80-15檢出器에 2.65 MeV의 α 粒子를 照射시켜 2.5 N의 NaOH와 KOH를 腐蝕溶液으로 使



(a)



(b)

20 μ m

Photo. 1. Alpha tracks in cellulose nitrate.

(a) CA80-15(etching: 60°C, 2.5 N NaOH, 120 min)

(b) LR 115 type-1(etching: 60°C, 2.5 N NaOH 60 min)

用하였을 때 腐蝕時間에 따른 飛跡直徑의 變化特性을 比較한 것이다. 飛跡直徑이 KOH인 경우 NaOH때 보다 약 3배가 더 크게 나타났다.

Fig. 3에 나타난 2.65 MeV의 α 粒子에 對한 CA 80-15의 飛跡直徑(D)을 腐蝕時間(t)으로 나타내면

$$D_{\text{NaOH } 2.5\text{N } 60^\circ\text{C}} = 4t - 1 \dots\dots\dots(1)$$

$$D_{\text{KOH } 2.5\text{N } 60^\circ\text{C}} = 12t - 2.5 \dots\dots\dots(2)$$

$$D_{\text{NaOH } 2.5\text{N } 60^\circ\text{C}} = 3D_{\text{KOH } 2.5\text{N } 60^\circ\text{C}} \dots\dots\dots(3)$$

의 關係로 表示되었다. 이 實驗式들은 원하는 飛跡直徑을 얻기 위하여 적절한 腐蝕時間을 선택하는데 적용할 수 있다.

그림 4는 CA 80-15에 入射한 α 粒子의 에너지별로

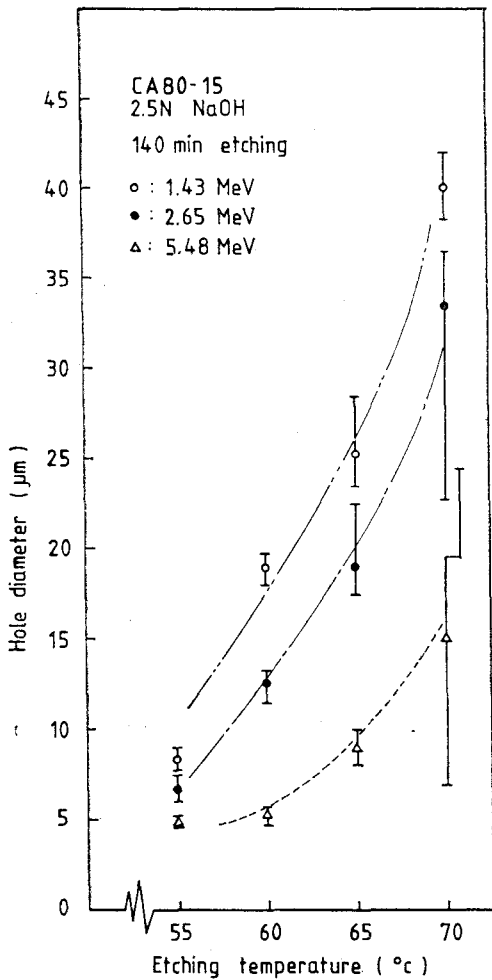


Fig. 2. Variation of hole diameter in CN with temperature of etchant NaOH 2.5 N for the etching time of 140 min.

NaOH 2.5 N 60°C 때 腐蝕時間에 따라 飛跡直徑의 變化를 240分間 調査한 것이다. α粒子的 에너지는 0.48 MeV, 2.65 MeV 그리고 5.48 MeV 이다. 120分間の 腐蝕까지는 10分間隔으로 그리고 120分間부터 240分間까지는 20分間隔으로 飛跡直徑을 調査하였다. 0.48 MeV의 α粒子에 對한 飛跡直徑은 약간 위로 볼록한 曲線形으로 增加하였고 5.48 MeV의 α粒子에 對하여는 약간 밑으로 볼록한 曲線을 보였다. 한편 240分間の 腐蝕에서 3가지의 에너지가 어느 時間에서나 뚜렷이 區別되었으며, α粒子的 에너지가 적은 쪽이 큰 쪽보다 飛跡直徑이 크게 나타났다. 사진 2는 그림 4의 0.48 MeV α粒子에 對한 飛跡直徑變化를 600倍의 光學顯微鏡으로 관찰한 것이다.

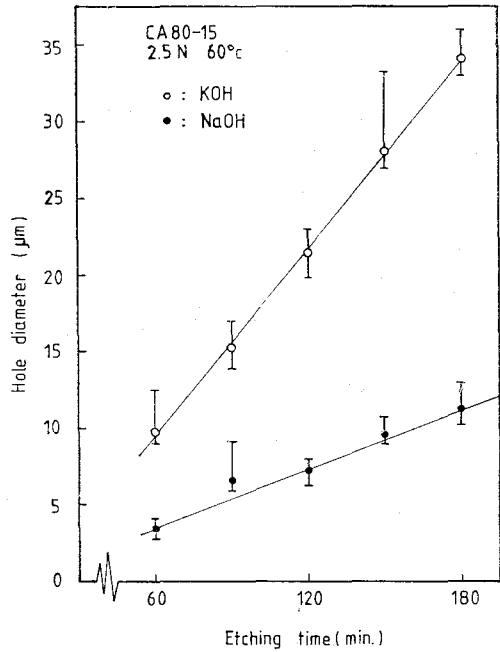


Fig. 3. Hole diameter of etched 2.65 MeV α-tracks in cellulose nitrate as a function of etching time in 2.5 N NaOH and 2.5 N KOH at 60°C.

그림 5는 腐蝕條件을 一定하게 놓았을 때 檢出器와 α-線源 사이의 공기층의 두께變化에 따른 飛跡直徑의 變化를 觀測한 것이다. 맨 위 曲線은 CA 80-15를 140分間 腐蝕시켰으며 10 mm 부터 30 mm까지는 5 mm 間隔으로 調査하였고 30 mm 以上에서는 2 mm 間隔으로 調査하였다. 飛跡直徑이 0 mm에서 30 mm까지는 5 μm에서 13 μm까지 계속 增加하였고 30 mm에서 35 mm 사이에서 飛跡直徑의 피크(peak)를 보였으며 35 mm 以上에서는 계속 減少하여 40 mm가 超過되어서는 明確한 飛跡을 볼 수 없었다. CA 80-15를 90分間 腐蝕한 경우와 LR 115 type-1을 60分間 腐蝕한 것도 曲線의 形態가 비슷한 樣相을 나타내었다. 그림 5의 曲線은 α粒子的 電離曲線과 비슷한 모습을 나타내고 있는데 이점으로 볼 때 CN에 있어서 α粒子에 依한 飛跡生成機構가 電離率에 關係를 가지고 있음을 알 수 있다.

사진 3은 그림 5의 140分間腐蝕 CA 80-15에서 공기층의 두께가 0 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 34 mm 일 때의 飛跡狀態를 사진으로 比較한 것이다.

그림 6은 CA 80-15를 α-線源으로부터 25 mm와 35

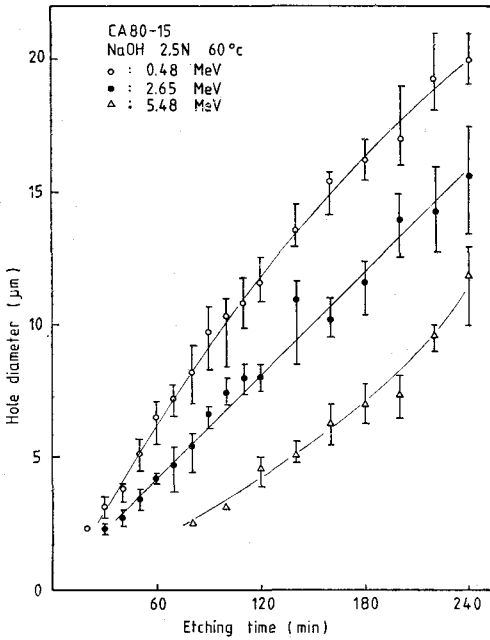


Fig. 4. Hole diameter as a function of etching time for the irradiation with 0.48, 2.83 and 5.48 MeV α -particle.

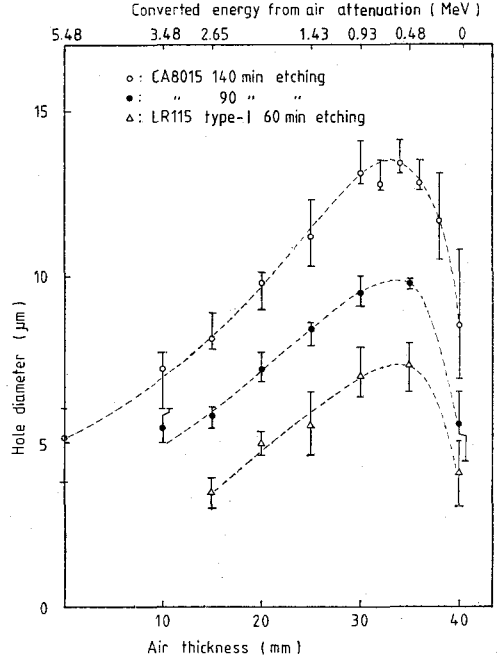


Fig. 5. Dependence of hole diameter of α -particle on the air thickness for the etching condition of NaOH 2.5N 60°C.

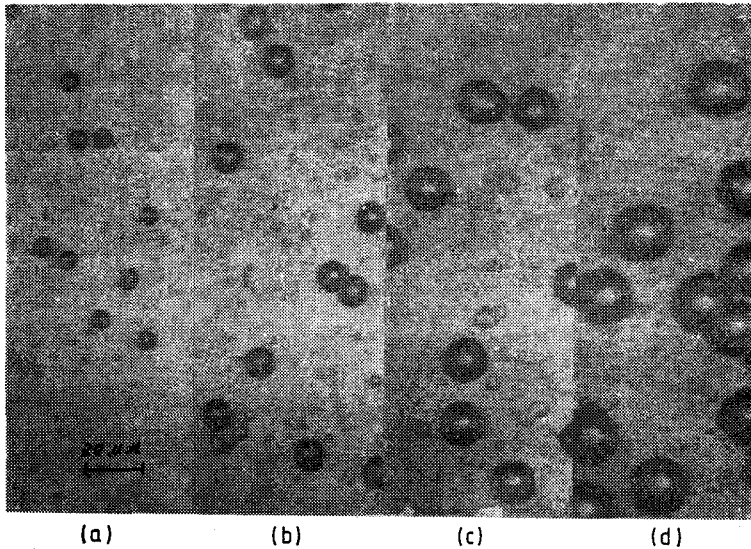


Photo. 2. Increase of track hole diameter according to etching time in CA 80-15. (a) 60 min, (b) 120min, (c) 180 min (d) 240 min(etching: 60°C 2.5 N NaOH)

mm 떨어져서 照射시켰을 때 腐蝕時間別 홀루언스率 (fluence rate)을 살펴본 것이다. 腐蝕時間을 50分間 취했을 때부터 10分間隔으로 하여 120分까지 調査해본

結果, 홀루언스率의 uncertainty는 1% 이내이었다. 여기서 볼 때 α 粒子的 照射條件이 같다면 홀루언스率은 腐蝕條件과 無關함을 알 수 있다.

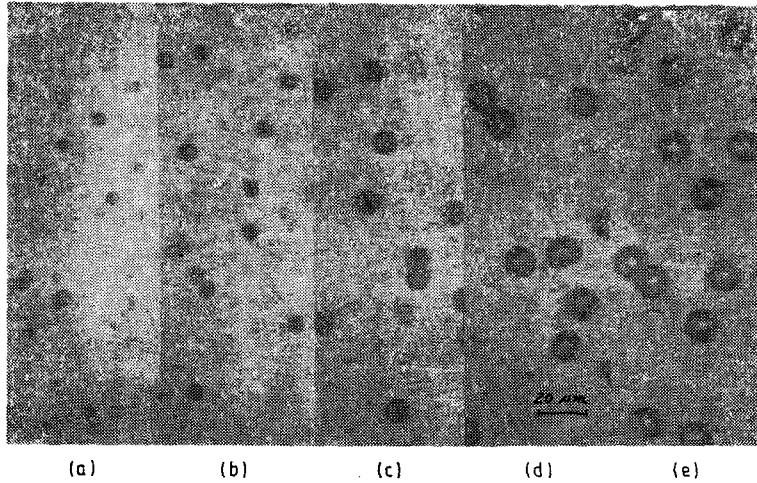


Photo. 3. Hole diameter of α -particles from ^{241}Am with different air thickness at normal pressure (a) 0 mm, (b) 10 mm (c) 20 mm, (d) 30 mm, (e) 34 mm.

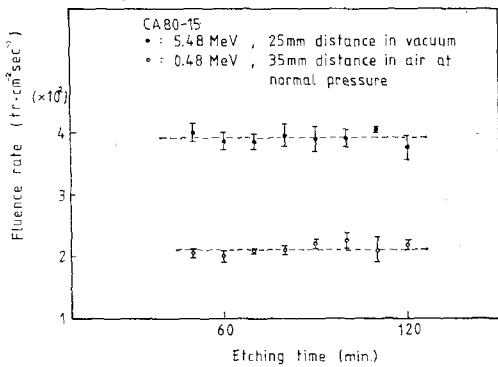


Fig. 6. Fluence rate vs. etching time for the α -particles with energies 0.48 MeV and 5.48 MeV.

結 論

본 研究에서는 α 粒子의 入射角을 거의 90度로 하여 CN 에 入射시켰을 때 化學腐蝕條件에 따른 飛跡直徑變化를 中心으로 CN 의 α 粒子飛跡特性을 調査하였다. 腐蝕條件을 2.5 N 60°C 로 하였을 때 腐蝕用 試藥이 KOH 인 경우가 NaOH 인 경우보다 飛跡直徑이 約 3 倍 크게 나타났으며 腐蝕時間과 飛跡直徑의 關係를 式 (1), (2), (3) 과 같이 얻었다.

α 粒子의 에너지가 0.48 MeV, 2.65 MeV 그리고 5.48 MeV 인 경우 NaOH 2.5 N, 60°C 條件에서 4時間까지의 腐蝕時間別 飛跡直徑의 데이터를 充分히 얻으므로

서 α 粒子의 에너지에 따라 적절한 飛跡直徑을 얻기 위한 腐蝕條件選擇의 根據를 마련하였다.

腐蝕條件을 NaOH 2.5 N, 60°C 로 하였을 때 α 粒子의 에너지에 따라 CN 에 나타난 飛跡直徑變化曲線을 그림 6과 같이 얻으므로 飛跡直徑으로 α 粒子의 에너지를 區分할 수 있음을 確認하였다. 또 그림 6의 特性曲線으로부터 α 粒子의 에너지에 따른 飛跡直徑의 特性曲線이 α 의 電離曲線과 類似한 모습을 나타내므로서 이는 飛跡生成機構가 電離效果和 密接한 關係가 있음을 보여 주었다.

入射粒子의 條件이 같을 때 50分에서 120分 사이의 腐蝕時間變化에서 홀루언스率의 變化가 거의 없음을 確認하였다.

感謝의 글

본 實驗이 원활히 遂行될 수 있도록 材料購入과 實驗遂行에 協力하여 주신 韓國標準研究所 質量標準研究室 鄭光和博士님과 室員여러분께 그리고 同研究所放射線標準研究室 室員여러분께 感謝드립니다.

參 考 文 獻

- 1) D.A. Young, Nature 182, 375(1958).
- 2) R.L. Fleischer and P.B. Price, J. Appl. Phys. 34, 2903(1963).
- 3) R.L. Fleischer, P.B. Price and R.M. Walker, Phys. Rev. 133, A1443(1934).

- 4) R.L. Fleischer, P.B. Price and R.M. Walker, Science **149**, 383(1965).
- 5) R.L. Fleischer, P.B. Price and R.M. Walker, Nuclear Track in Solids, Univ. of California, Berkley (1975).
- 6) C. Hepburn and A.H. Windif, J. Mater. Sci. **15**, 279(1980).
- 7) B.E. Fischer and R. Spohr, Rev. Mod. Phys. **55**, 907(1983).
- 8) V.E. Pilcher, C.C. Jones and G.R. Ellmers, Am. J. Phys. **40**, 679(1972).
- 9) H.G. Paretzke, E.V. Benton and R.P. Henke, Nucl. Inst. Meth. **108**, 73(1973).
- 10) Y.H. Kang and D.S. Kim, Res. Rev. Kyung-pook National Univ. **34**, 147(1982).
- 11) N. Ishigure and O. Matsuoka, Radioisotopes, **31**, 447(1982).

Characteristics of Alpha Particle Track on Cellulose Nitrate Film

Jin-Yeol Do, Jae-Shik Jun

Department of Physics, Chungnam National University

Sun-Tae Hwang

Radiation Standards Laboratory, Korea Standards Research Institute

= Abstract =

A study on the characteristics of α -particle track on cellulose nitrate film was carried out with a particular emphasis on the dependence of track diameter upon chemical etching condition. The track diameters etched in KOH solution appeared to be, on average, three times larger than those etched in NaOH under the same etching condition. The relationship between the track diameters and both etching time and the energy of incident α -particles was also investigated. It is shown that the particle fluence rate is fairly independent of etching time as far as the condition of irradiation remains unchanged.