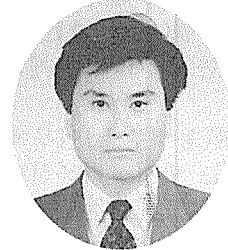


필름뱃지에 의한 速中性子 測定 기술



全 勝 燁
방 사 선 측 정 실
한 일 전 자 력 주 식 회 사

산업의 발달과 함께 방사선의 사용이 증가함에 따라 방사선량 측정분야에 있어서도 각 특성에 맞는 여러가지 방법이 발달되어 왔다. 국내에서는 방사선의 이용이 시작된지 약 30여년이 되었으며 그간 꾸준한 발전을 거듭하여 왔으나 아직은 선진국의 수준에 미치지 못하고 있다.

최근에는 여러가지 종류의 Gauge에 정착되어 수분측정기 등의 용도로 사용되는 속중성자의 이용이 증가되는 실정에 따라 이 글에서는 속중성자 선원의 측정에 대한 내용을 소개하고자 한다.

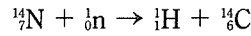
1. 속중성자의 원리
2. 속중성자의 표준화
3. 속중성자 계측
4. 품질보증 검사

I. 速中性子の 測定 原理

速中性子が 필름에 入射하게 되면 필름의 乳劑(Emulsion)나 필름의 包裝製 중에 포함되어 있는 窒素나 水素原子와 彈性 散亂을 일으키게 되며, 이때 返照 되어진 陽子(Recoiling proton)가 乳劑 중에서 흔적을 만들게 되는데 이것을 飛跡(Track)이라 한다. 飛跡은 주로 다음 몇가지 Mechanism을 통해서 일어나게 된다.

첫째, 乳劑中 제라틴속의 窒素原子와 中性

子와의 (n, p)反應에 의해 生成된 陽子が 乳劑中에 飛跡을 만드는 경우로, 反應式으로 다음과 같이 表現한다.



上記의 反應은 주로 10eV 以下の 中性子에 의해 일어나고 0.62MeV 以下の 에너지를 放出한다.

둘째, 入射하는 速中性子が 乳劑나 필름 Base 및 包裝製속의 水素原子와 彈性衝突을 하고 陽子를 返照시킨다. 이 陽子の 에너지 E_p 는 入射 中性子の 에너지 E_n 와 다음과 같은 關係를 가지고 있다.

$$E_p = E_n \cos^2 \theta \quad (\theta \leq 90)$$

여기서 θ 는 入射 中性子和 返照陽子が 나가는 角度를 나타낸다. 위에 列擧한 反應에 의해 生成된 飛跡을 光學 顯微鏡으로 計數(Counting)함으로써 綜量을 算出하게 된다.

II. 速中性子の 標準(基準)照射

速中性子の 測定法이 있어 被曝된 필름만으로는 中性子の 에너지에 관한 情報을 얻을 수가 없기 때문에 速中性子綜源으로 부터 照射를 통해 얻은 感度를 利用하여 綜量을 算出한다.

一般的으로, 速中性子の 綜源(Source)으로

는 0.25MeV 以上の 에너지를 갖는 Am-Be, Pu-Be, Cf등이 對象이 된다. 國內의 경우 대부분의 中性子源으로 Am-Be를 使用하고 있기 때문에 여기서의 實驗 基準調査도 Am-Be를 使用하였다. 이때 使用되는 綜源은 國家 標準 規格과 트레이서빌리티가 一致되는 것이어야 하며 半減期の 補整을 통해 Fluence를 換算해야 한다.

反感期の 補整은,

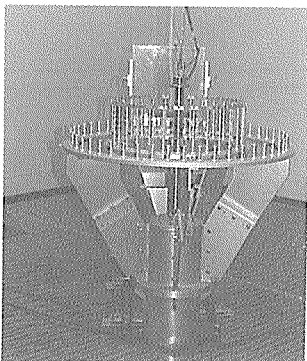
基準日의 Fluence를 ϕ_0 , 基準日보다 1년 後의 Fluence를 ϕ_1 이라하면,

$$\phi_1 = \phi_0 \times \exp[-1.2 \times 10^{-4} \times 432 \times 1] \quad \text{여기서}$$

Am-Be의 反感期 : 432年 = $\phi_0 \times 0.9984$

$$\frac{\phi_1 - \phi_0}{\phi_0} \times 100 = -0.16(\%)$$

基準照射를 實施할 때는 Monitor(Film Badge 또는 TLD)를 Phantom에 附着하거나 Free Air 狀態에서 實施하게 되는데, 人體에 의한 散亂線 等の 條件을 考慮하여 人體의 比重과 類似한 아크릴 系統의 Phantom을 使用하는 것이 바람직하다. 通常 照射거리는 Source에서 30, 50cm 거리에서 照射하되 3개 以上の Monitor를 基準 照射하여 平均값을 취한다.



個人 線量計 校正用 照射

III. 速中性子の 計測

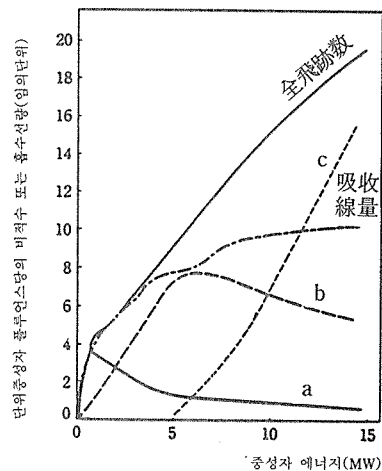
1. 필름의 速中性子에 대한 特性

필름 뱃지에 의한 速中性子 測定法은 필름의 乳劑나 필름 包裝劑 中에서 일어나는 彈

性 散亂에 의해 返照 되어진 陽子가 乳劑中에서 만들어진 飛跡(Track)을 計數하는 方法이라고 言及하였다. 一般적으로 速中性子 測定에 利用되는 原子核 乳劑는 粒子의 直徑이 30 μ 程度の AgBr 結晶粒子를 含有한 乳劑로 $\gamma(X)$ 線用 필름과 같은 Plastic Base 위에 製 成되어져 있다.

乳劑中의 飛迹은 返照 陽子에 의해 생기지만 陽子の 에너지가 작은 경우에는 產出되는 銀粒子의 集合體도 적고, $\gamma(X)$ 線이나 電子에 의한 墨化와 區別이 어렵게 된다.

또한 中性子の 測定은 返照 陽子에 의한 飛跡이라고 認定되는 3-4個의 粒子가 連結해서 算出되는 것이 必要하며 이를 위해 0.25 MeV 程度の 에너지를 갖는 陽子가 必要하다. 다음 그림은 NTA 필름의 感度を 나타낸다. 그림에서 “吸收線量”은 一次散亂線에 의한 線量寄與를 나타내는 것으로 그림에서 알 수 있는 것과 같이 NTA 필름의 感度は 4 MeV 程度까지 吸收線量에 잘 對應하고 있는 것을 알 수 있다. 그 以上の 에너지에서는 필름 自體의 感度が 減少하게 된다.(a+b)

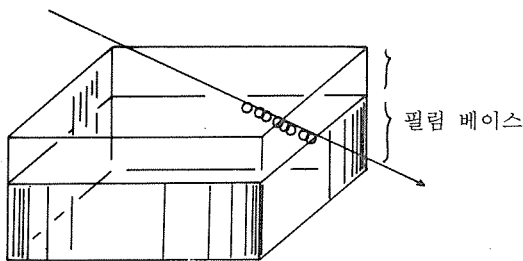


- a. 乳劑
- b. 필름 Base
- c. 包裝劑 等の 返照에 의해 生成된 陽子の 飛跡數

NTA 필름의 感도와 吸收線量

2. 飛跡의 形成

필름에 入射된 速中性子は 乳劑, 필름 base, 包裝劑의 水素原子를 速中性子과 反應 斷面積이 큰 輕原子의 原子核과 彈性散亂을 하고 返照 陽子를 生成한다. 返照 陽子는 하 전 粒子로서 그 軌跡에 연달과 炭化銀을 電離시킨다. 이때에 그림과 같은 모습의 飛跡을 만들게 된다.



飛跡의 形成課程 모습

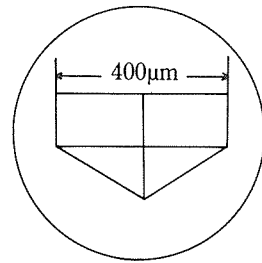
3. 線量 評價法 (評價 原理)

返照 陽子에 의해 生成된 飛跡의 計數는 光學 顯微鏡을 使用한다. 計數置는 顯微鏡 視野面積의 倍數에 대해 一定 面積內의 飛跡數 즉, 飛跡數/面積으로서 求하게 된다. 그러나, NTA 필름은 中性子の 에너지에 따라 感度가 변하기 때문에 각 에너지 마다의 感度を 基準照射를 통하여 求해 놓아야 한다.

通常 使用되는 Am-Be, Pu-Be의 平均 에너지는 약 4 MeV 程度이다. 이 線源의 照射에 의해 필름 視野(倍率 420內에서 0.085mm²)內에서 觀測되는 平均 飛跡數는 1 rem當 16개 程度이고, 5 rem에서 약 80개 程度이다. 普通 루틴 測定 走査法에 의해 計數可能한 線量當量의 限度는 5 rem 程度이다. 그 以上의 線量이 되면 飛跡의 數가 많아짐에 따라 計數누락(漏落) 또는 증첩되게 計數되는 수가 있어 通常의 計數法으로는 매우 어려움이 따르게 된다. 따라서, 多量의 放射性이 入射할 경우 飛跡數 增加에 따른 計數誤差를 防止하기 위해 Mesh法이라는 方法이 利用된다.

Mesh法이란 顯微鏡 接眼렌즈안에 그림과 같은 Mesh를 넣어 Mesh內에 存在하는 飛跡을 計數하는 方法으로 單位距離를 移動시켜 가며 計數置를 누적하는 方法이다.

이 方法은 Scan法과 Spot法으로 나누어 진다.

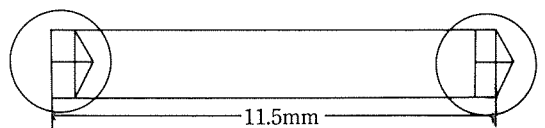


視野內의 Mesh의 모습

1) Scan 法

이 方法은 필름의 Cd 필터아래 部分의 一定距離를 Mesh를 통해 移動하여 計數하는 方法으로 그다지 크지 않는 被爆인 경우 注로 利用한다.

Scan 法의 例로서



위의 그림과 같이 一定距離를 移動하면서 單位 面積內에서 生成된 飛跡을 計數하는 것으로 飛跡數가 單位 移動距離 面積內에서 500개 程度 以下인 경우에 一般의로 利用된다.

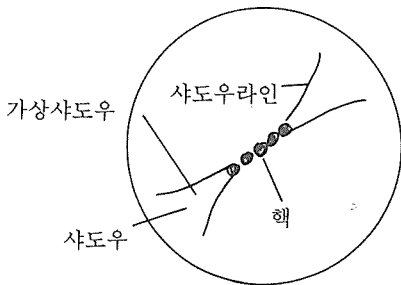
2) Spot 法

Scan法으로 計數하여 飛跡數가 500개 되는 경우 使用되는 方法으로 즉, 1 spot內에서 飛跡이 35개 以上일때 利用된다. Spot란 Mesh의 한 面積(移動하지 않은 狀態)을 말한다. 그러나, 1 spot內에서 35개 以上의 경우는 매우 드물고 大部分 研究用이나 環境

Monitoring용으로 사용된 것이 이에 該當한다.

4. 飛跡의 判斷(區分)

返照되어진 陽子는 乳劑中에 그림과 같은 몇가지 共通된 特性을 갖는 飛跡을 만들게 되는데, 實際 顯微鏡을 통해 飛跡을 觀察할 때 放射性的의 影響과 關聯없는 飛跡과 類似한 흔적을 볼수가 있다. 이것의 明確한 區別은 正確한 中性子 線量 算出의 매우 重要한 바탕이 된다. 따라서, 다음과 같이 返照 陽子에 의한 飛跡인가 그렇지 않은가를 識別하는 몇가지 方法을 說明한다.



- 1) 飛跡의 認定條件(一般的인 경우)
 - a. 核의 存在
 - b. 샤도우(Shadow)의 存在
 - c. 샤도우 라인(Shadow line)이 核의 位置에서 較差한다.
 - d. 顯微鏡의 pint를 變化시킬때 核의 샤도우 위를 移動한다.
 - e. 識別되는 銀粒子의 數가 4個 以上이 存在한다.
 - f. 銀粒子 列의 長이가 600 μm 以下 이여야 한다.

大部分의 中性子는 필름 Base에 대해 對角線 方向으로 入射되므로 飛跡의 中間 部分에 顯微鏡의 Focus가 맞추어질 경우 核의 左右 銀粒子 部分은 Pint가 맞질 않아 희미하게 보이는 Shadow現象을 나타내며 pint를 以下로 變化시키면 核의 位置가 Shadow를 移動하는 모습을 볼 수 있다.

- 2) 飛跡의 認定 條件(潛像退行이 있는 경우)

$\gamma(X)$ 綜用 필름과 마찬가지로 中性子用 필름도 時間이 經過함에 따라 潛像退行이라는 飛跡 消滅 現像이 일어난다. 潛像退行된 NTA 필름의 飛跡은 初期보다 多少 희미해진 像을 남기게 되며, 대개 위의 경우와 마찬가지로 方法으로 識別하며 다만, 核周圍 샤도우의 鮮明도가 減少된 모습을 보이는 것이 特徵이다.

- 3) 飛跡의 認定條件 (中性子線이 필름베이스와 垂直으로 入射된 경우)
 - a. 核의 存在
 - b. 核 周圍를 둥글게 shadow가 存在한다.
 - c. 核의 shadow中間에 存在하고 pint를 變化시켜도 核이 shadow 안쪽에 있다.



中性子線의 大部分은 필름에 대해 對角線 方向으로 入射하지만 一部는 垂直方向으로 入射하기도 한다. 이때는 核을 中心으로 한 銀粒子의 烈도 1-2個 程度밖에 보이지 않게 되며, shadow의 모습도 分明하지 않다. 따라서, 익숙하지 않은 測定者의 경우, 자칫 單純한 흠으로 볼수 있을 정도로 區分하기 어려우므로 매우 細心한 注意가 必要하다.

- 4) 中性子の 에너지가 數 MeV 以上이 되면 物質과의 非彈性 散亂이 일어나기 始作하고 20 MeV 程度가 되면 核破壞 反應이 일어난다.

이와 같은 彈性散亂 以外的 核反應의 一部는 "Star"라고 하는 形態로 나타나게 되는데 大概 線量 評價에서 除外한다.

지금까지 速中性子の 飛跡을 計數하는 몇가지 方法에 대해 間斷히 說明하였다. 그러나, 飛跡數를 顯微鏡으로 計數하는 것은 대단한 努力을 必要로 하며 특히 눈의 피로가 매우 크게 된다. 또한, 測定者가 다른 경우 각 測定者마다의 飛跡認識 程度 및 基準이 다를 수 있으므로 충분한 敎育과 훈련을 통한 후 선량측정에 임해야만 精確한 結果를 얻을수 있으리라 생각된다.