

連續放射能 測定監視器에서 較正常數의 에너지依存性 計算

李 秀 容 · 陸 鍾 澈

漢陽大學校 工科大學 原子力工學科

河 正 雨

韓國 에너지研究所 安全管理室

Calculation of Energy Dependence of Calibration Constants in the Continuous Radioactive Effluent Monitors

Lee, Soo-Yong, Yook, Chong-Chul

Dept. of Nuclear Engr., College of Engr., Hanyang University Seoul, Kor a.

Ha, Chung-Woo

The Korea Advanced Energy Research Institute, Seoul, Korea

Abstract

A method is presented by which precise evaluation of radioactive concentrations in liquid or gaseous effluent released from large nuclear facilities is possible. Calculations have been made of the calibration constants at different energies for a commonly used liquid and gaseous effluent monitors as well.

It is expected that the method could be applicable to the particular monitors with different geometrical configuration with simple modifications.

1. 序 論

放射성液體廢棄物 中에 含有되어 있는 放射能濃度 管理測定方法은 蒸發乾固에 의한 放射能濃度를 測定하는 方法이 普遍的으로 利用되고, 한편 放射성氣體의 경우에는 氣體試料를 密閉型 이온화函에 捕集하여 電離 電流를 測定하므로써 放射能濃度를 決定한다.

이와 같은 方法들은 檢出感度가 좋은 長點이 있는 반면에 測定하는데 많은 時間이 要求되는 缺點이 있다. 따라서 이와 같은 方法은 小規模의 放射線取扱施設에서 採擇하여 利用할 수 있을지 모르나 液體 및 氣體狀

放射성廢棄物을 多量으로 排出하는 原子力發電所를 비롯한 大規模의 原子力施設에서 放射能物質의 環境放出의 監視目的으로는 不適合한 것은 既知의 事實이다.

現在 韓國 에너지研究所를 비롯한 古里原子力發電所는 原子爐施設, 放射성同位元素의 利用等으로 인하여 發生된 液體 및 氣體狀 放射성廢棄物을 環境에 放出하기 전에 放射성廢棄物中에 含有된 放射能濃度를 連續的으로 測定, 記錄하고 警報하는 放射線管理測定에서 重要한 意味를 가진 連續監視裝置를 固定, 設置하여 放射線防禦 目的을 效果的으로 達成하고 있다.

放射線監視測定裝置에 의한 放射線管理測定이 信賴性있고 正確하게 遂行되기 위하여는 放射線監視測定裝

* 國際放射線防禦學會(IRPA) 常任委員

置의 放射線檢出器의 에너지特性 및 檢出感度を 正確하게 알아야 할 必要가 있다.

이들 檢出器의 特性은 連續放射線監視測定裝置의 測定結果를 正確하게 解析, 評價하는데 가장 重要한 核心因子이다.

이 報告書는 이들 重要한 核心因子를 理論的으로 計算하는 方法에 대하여 記述하였으며, NaI (Tl) 閃光結晶體와 GM計數管을 檢出器로 使用하는 液體狀 및 氣

體狀 放射線監視測定裝置의 特性을 計算한 結果도 함께 提示하였다.

2. 計算方法

計算의 便宜를 위하여 監視測定裝置의 試料採取器 (sampler)와 檢出器의 幾何學的形態는 球形이라고 하였다.

球座標系에서 그 原點은 檢出器의 表面에 位置하여 있다고 하면 檢出器에 入射된 放射線에 의한 計數率 n

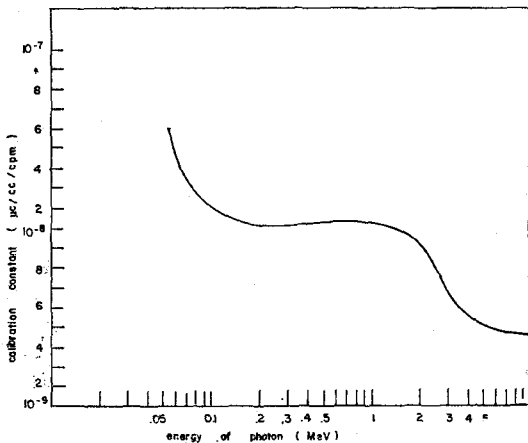


Fig. 1 Intrinsic efficiency of NaI (Tl) crystal versus gamma-ray energies for source-to-crystal distance of 1 cm to infinity; crystal, 1×1/2-in. diameter by 1 in. high.

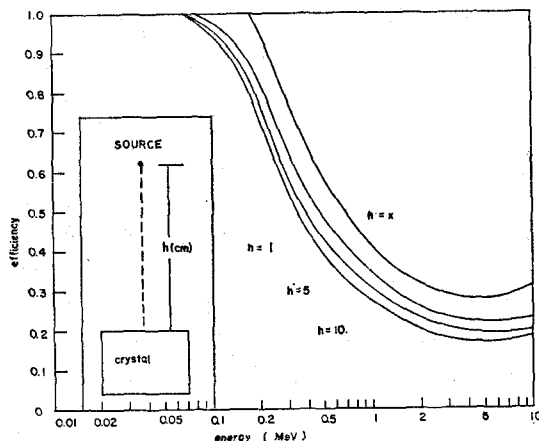


Fig. 2 Energy dependence of liquid-immersed type water monitor (used scintillation counter)

$$K = 1.8 \times 10^{-6} \frac{\mu \exp(\mu_w t)}{\eta S}$$

- K : Calibration constant ($\mu Ci/cc/cpm$)
- S : Effective surface of scintillator ($45.5cm^2$)
- η : Efficiency of scintillator
- μ : Linear absorption coefficient for water (cm^{-1})
- μ_w : Linear absorption coefficient for window (stainless steel) (cm^{-1})
- t : Window thickness (0.25cm)

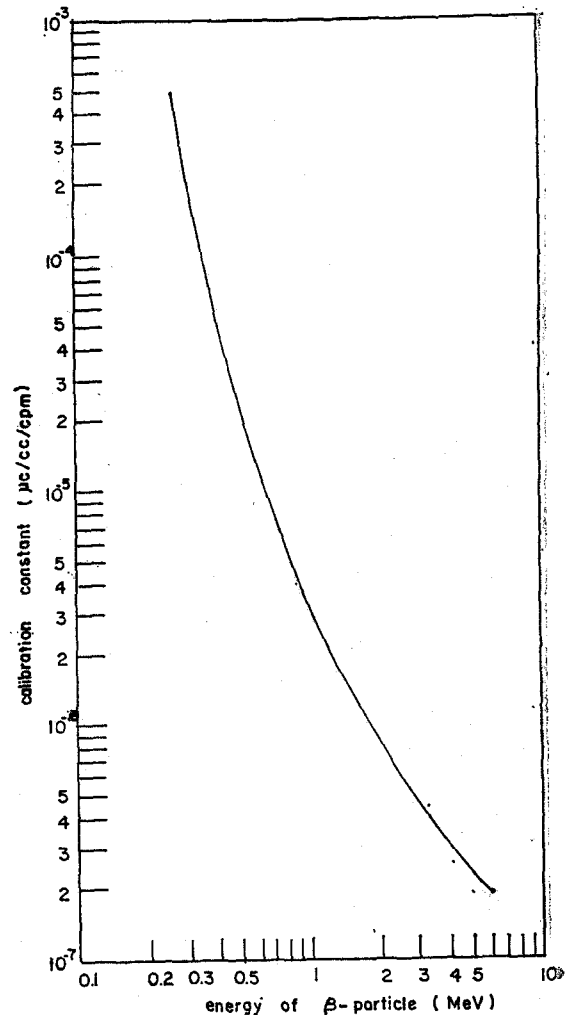


Fig. 3 Energy dependence of liquid-immersed type water monitor (used GM counter)

$$K = 1.8 \times 10^{-6} \frac{\rho \mu \exp(\mu t)}{\eta S}$$

- K : Calibration constant ($\mu Ci/cc/cpm$)
- S : Effective area of GM window ($20cm^2$)
- t : Window thickness ($0.03g/cm^2$)
- μ : Mass absorption coefficient (cm^2/g)
- η : Efficiency of GM tube (100%)
- ρ : Density of water ($1g/cm^3$)

은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$n = \frac{60 \times 3.7 \times 10^4 c \eta s \exp(-\mu_a t)}{4\pi} \int_0^R \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \sin\theta \cos\theta \exp(-\rho\mu r) dr d\theta d\phi \quad (1)$$

(1)식에서

- n : 計數率(count/min)
- c : 廢棄物中の 放射能濃度($\mu Ci/cc$)
- η : 檢出器의 全計數效率
- s : 檢出器의 有效窓面積(cm^2)
- ρ : 測定하고자 하는 物質의 密度(g/cc)
- μ : 放射性廢棄物의 質量吸收係數(cm^2/g)
- μ_a : 檢出器窓物質의 質量吸收係數(cm^2/g)
- t : 檢出器窓의 두께(g/cm^2)
- R : 샘플러의 半徑(cm)

(1)식에서 濃度 c 는 다음 식으로 주어지게 된다.

$$c = 1.8 \times 10^{-6} \frac{\eta \rho \mu (\mu_a t)}{\eta s [1 - \exp(\rho \mu R)]} \quad (2)$$

따라서 較正常數 K 는

$$K(Ci/cc/cpm) = 1.8 \times 10^{-6} \frac{\rho \mu \exp(\mu_a t)}{(\eta s [1 - \exp(\rho \mu R)])} \quad (3)$$

과 같이 주어진다.

반일에 샘플러의 吸入口의 半徑 R 이 충분히 크다면

(3)식은 다음 식과 같은 近似的으로 쓸 수 있다.

$$K = 1.8 \times 10^{-6} \frac{\rho \mu \exp(\mu_a t)}{\eta S} \quad (4)$$

3. 計算結果

3-1 : 液體廢棄物監視測定裝置

液體廢棄物監視測定裝置의 檢出器로 $1 \times \frac{1}{2} " \phi \times 1 "$ 의 圓柱形 NaI(Tl) 閃光結晶體를 使用하는 경우를 考慮하여 檢出器의 에너지特性和 檢出感度を 計算하였다.

여기에서 閃光檢出器의 表面積 S 는 同一한 體積을 가진 球의 表面積과 같다고 생각할 수 있으며, 檢出效率 η 는 線源과 檢出器사이의 距離가 5cm일 경우의 에너지에 따른 效率로서 그림 1)과 같다.

上記와 같은 假定下에서 (4)식에 의하여 각 에너지에 대한 較正常數 K 를 計算한 結果는 그림 2와 같다.

그림 2의 結果에 의하면 約 0.1 Mev에서 2 Mev 사이의 較正常數 K 는 $\sim 1 \times 10^{-8}$ 이었다.

檢出感도에 있어서 眞計數率이 自然放射能計數率의 標準偏差의 約 4.24倍라고 하자. 檢出器의 自然放射能計數率은 約 500 cpm程度이고 計數率이 67 cpm, 時定數가 60秒인 경우 檢出感度を 구하여 보면 約 7×10^{-7}

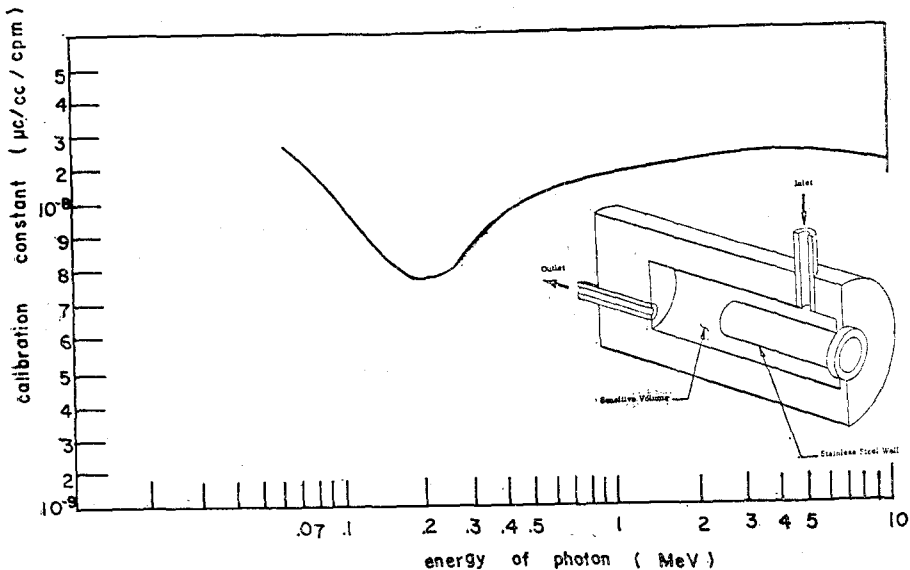


Fig. 4 Energy dependence of gas monitor (used scintillation counter)

$$K = 1.8 \times 10^{-6} \frac{\mu \exp(\mu_w t)}{\eta S [1 - \exp(-\mu r)]}$$

K : Calibration constant ($\mu Ci/cc/cpm$)

S : Effective Surface of Scintillator ($45.5cm^2$)

η : Efficiency of Scintillator

μ : Linear absorption coefficient for air (cm^{-1})

μ_w : Linear absorption coefficient of window (stainless steel) (cm^{-1})

t : Window thickness (0.25cm)

R : Radius of Sampler (9.45cm)

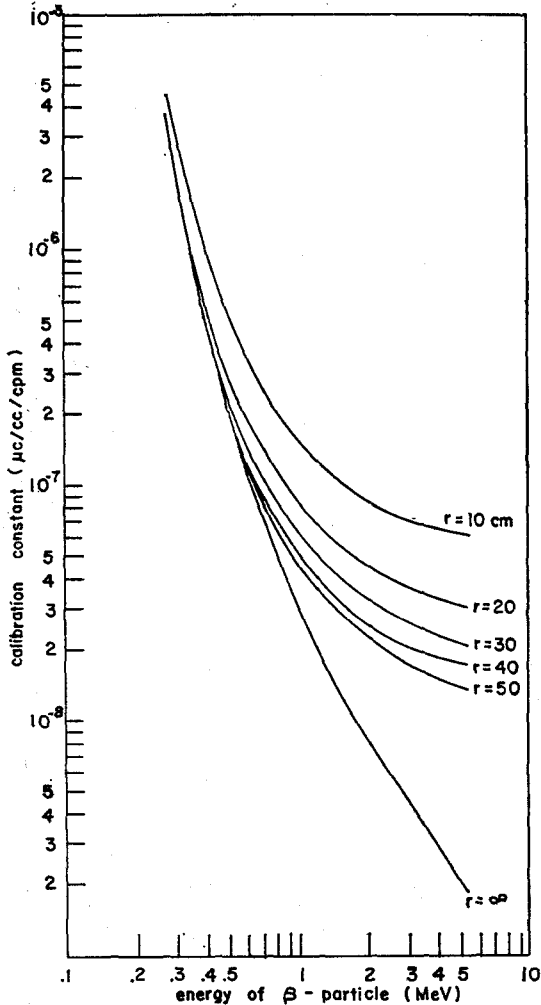


Fig. 5 Energy dependence of gas monitor (used G-M counter)

$$K = 1.8 \times 10^{-6} \frac{\rho \mu \exp(\mu t)}{\eta S [1 - \exp(-\rho \mu r)]}$$

K : Calibration constant ($\mu\text{Ci/cc/cpm}$)

S : Effective area of G-M window (33cm^2)

t : Window thickness (0.03g/cm^2)

η : Efficiency of G-M tube (85%)

ρ : Density of air (at 0°C , 760mmHg) (0.0013g/cm^3)

R : Radius of sampler (cm)

μ : Mass absorption coefficient (cm^2/g)

$\mu\text{Ci/cc}$ 가 된다.

液體廢棄物監視測定裝置의 檢出器로서 GM 計數管을 사용하는 경우 上記의 NaI (TI) 檢出器를 사용하는 경우와 마찬가지로 $R = \infty$ 인 경우 (4)式에 의하여 에너지特性을 計算한 結果는 그림 3과 같다.

이 計算에서 有效面積이 20cm^2 인 圓柱形 GM 計數管을 同一한 表面積을 가진 球라고 假定하였고 그 效率 η 는 β 線에 대하여 100%라고 보았다.

GM計數管의 γ 線에 對한 效率는 β 線에 對한 效率과 比較하여 볼 때 대단히 작기 때문에 에너지特性의 計算에서 γ 線의 寄與는 無視하였다.

計算結果인 그림 3에 의하면 에너지特性이 閃光結晶體檢出器를 사용하는 경우에 比較하여 性能이 나쁜 理由는 β 線의 吸收效果 때문이다.

3-2 : 氣體廢棄物監視測定裝置

檢出器로 NaI(Tl) 閃光結晶體를 使用하는 排氣가스監視測定裝置의 가스샘플러부는 一般의으로 그림 4의 例示圖(Victoreen社製 Air Particulate and Iodine monitor)와 같은 構造로 되어 있다.

閃光結晶體는 液體廢棄物監視測定裝置의 경우와 마찬가지로 $1 \times \frac{1}{2} \times 1'$ 의 圓柱形 NaI (TI)와 同一한 體積의 球라고 假定하였을 때 그 表面積은 S가 될 것이다.

마찬가지로 샘플러는 3.5%의 內容積을 가진 圓柱形이나 同等體積을 가진 半徑 R의 球라고 생각하자. 그리고 閃光結晶體檢出器는 샘플러의 中心에 位置하였다 고 하면, (2)式에 의하여 較正常數를 計算할 수 있다.

이 計算에서 샘플러 容器는 7.5cm · 두께의 납으로 되어 있기 때문에 γ 線의 散亂效果는 無視하였다.

計算結果는 그림 4에 주어졌다.

檢出感度は 앞에서 計算한 方法과 마찬가지로, 自然放射能計數率이 約 100cpm , γ 線의 에너지가 1MeV 인 경우 約 $5 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/cc}$ 이다.

檢出器로서 GM計數管을 使用하였을 경우 샘플러의 半徑 R이 10, 20, 30, 40, 50 그리고 ∞cm 인 各各에 대하여 較正常數의 에너지依存性을 計算한 結果는 그림 5와 같다.

計算에서 使用한 GM計數管의 特性은 DCA社製 型式 5112이었다. 그림 5의 計算結果에 의하면 에너지特性이 아주 나쁘며, 따라서 閃光結晶體檢出器를 使用하는 것이 훨씬 有利한 것은 當然하다.

參考文獻

1. W.J. Price; Nuclear Radiation Detection p.192, McGraw-Hill, N.Y.