

Determination of Attenuation Correction Methods According to the Type of Radioactive Waste Drums

Sang-Soo Kwak, Byung-Il Choi, Suk-Jung Yoon, Ik-Whan Lee
Duck-Won Kang* and Ki-Bang Sung*

Nuclear Environment Technology Institute
*Korea Electric Power Research Institute

방사성폐기물드럼 종류별 감쇠보정방법의 결정

곽상수, 최병일, 윤석중, 이익환, 강덕원*, 성기방*
한국전력공사 원자력환경기술원
*전력연구원

Abstract - The measured radioactivity of gamma-emitting radionuclides in each radioactive waste drum using the non-destructive waste assay method is underestimated than real radioactivity in radioactive waste drum because the gamma-rays are attenuated within the medium. Therefore, the measured radioactivity should be corrected for the attenuation of gamma-rays. For the correction of the attenuation of gamma-rays, the attenuation correction method should be applied differently by considering the distribution and density of medium in radioactive wastes drum generated from nuclear power plants.

In this study, the model drums were fabricated for simulating five types of radioactive waste drums generated from nuclear power plant and the optimum methods of the attenuation correction were experimentally determined to analyze the activity of radionuclides in the waste drum accurately using the segmented gamma scanning system.

With the determination of the attenuation correction methods from the experimental results, the transmission method and the average density method for the miscellaneous waste drum, the transmission method and the differential peak absorption method for the shielded miscellaneous waste drum were used to measure the density of medium in waste drums. Also, the average density method and the differential peak absorption method for the spent resin drum, the paraffin solidified drum, and the spent filter drum were used.

Key Words : Attenuation Correction Factor, Transmission Source Correction Method, Differential Peak Correction Method, Average Density Correction Method, Segmented Gamma Scanning System, Radioactive Waste Drum

요약 - 비파괴적인 방법으로 방사성폐기물드럼에 대한 핵종분석을 수행할 때 드럼내 매질에 의한 방사선의 감쇠에 의해 핵종분석장치로 측정된 계수값은 실제 드럼내 방사능에 의한 계수값보다 작게 나타나 결과적으로 방사능의 측정결과가 과소평가된다. 그러므로 드럼내 매질에 의한 감쇠를 보정해 주어야 하는데 감쇠 보정방법은 드럼내 매질의 분포나 매질의 밀도에 따라 달리 적용해야 한다. 본 연구에서는 원자력발전소에서 발생하는 드럼 종류별로 모델드럼을 제작한 후 모델드럼에 표준감마선원을 넣고 핵종분석장치를 이용해 측정을 하여 드럼내 매질의 밀도를 구하였고, 이 값을 실제 매질의 밀도와 비교해 드럼종류에 따라 매질에 의한 최적의 감쇠 보정방법을 결정하였다.

그 결과 잡고체드럼의 경우에는 전송선원 보정방법과 평균밀도 보정방법, 차폐잡고체드럼의 경우 전송선원 보정방법과 두 감마선평크비교 보정방법이 최적의 감쇠 보정방법임을 알 수 있었고, 고밀도드럼인 폐수지, 농축폐액 및 폐필터드럼의 경우에는 평균밀도 보정방법과 두 감마선평크비교 보정방법을 사용해 드럼내 매질의 감쇠를 보정할 수 있다.

중심어 : 감쇠보정인자, 전송선원 보정방법, 두 감마선평크비교 보정방법, 평균밀도 보정방법, 핵종분석장치, 방사성폐기물드럼

서 론

현재 원자력발전소에서 발생하는 고체 방사성 폐기물은 영구처분하기 전까지 발전소에 임시 저장하게 되는데 방사성폐기물을 드럼에 담을 때 잡고체, 차폐잡고체, 농축폐액, 폐필터 및 폐수지 등 크게 5가지로 분류해 방사성폐기물드럼을 생성하고 있다. 이러한 방사성폐기물드럼을 안전하게 관리하고 궁극적으로 처분의 안전성을 확보하기 위해서 발생자에게 요구되는 이력관리중 방사성폐기물드럼에 대한 핵종분석은 필수적인 사항이다[1].

방사성폐기물드럼에 대한 핵종분석은 비파괴적 측정방법으로써 감마선방출핵종 분석을 할 수 있도록 개발된 핵종분석장치[2]를 이용하여 감마선 방출핵종에 대한 핵종분석을 수행하고, 핵종분석 장치로 측정이 불가능한 α 입자나 β 선 방출핵종에 대해서는 scaling factor를 도출하여 감마선방출핵종 측정값과의 비로써 계산하는 방법을 주로 이용하고 있다[3]. 핵종분석장치를 이용한 드럼 측정방법은 드럼분할측정법을 사용하는데, 이 방법은 드럼내 매질의 반경방향으로의 불균일성에 의한 측정오차를 줄이기 위해 방사성폐기물드럼을 일정속도로 회전시키고, 높이에 따른 불균일성에 의한 측정오차를 줄이기 위해 드럼 높이에 대해 분할하여 핵종분석장치로 측정하여 방사능을 구한 후 각 분할구간에 대한 핵종별 방사능을 합하여

전 드럼에 대해 핵종별 방사능을 구하는 방법이다. 이때 드럼의 높이에 따른 분할수는 검출기콜리메이터의 aperture크기 및 드럼과 검출기와의 거리 등에 따라 다르다.

이와 같은 방법으로 감마선평크에 대한 분석을 하기 위해서는 감마선평크분석장치의 측정효율을 구하는 것이 필수적인데 드럼내 매질에 의해 감마선이 감쇠되기 때문에 측정효율에는 반드시 매질에 의한 감마선의 감쇠를 보정해 주어야 한다. 드럼내 매질에 의한 감쇠를 보정하는 방법에는 평균밀도 보정방법, 전송선원(transmission source) 보정방법과 두 감마선평크 비교(differential peak) 보정방법 등을 주로 이용하고 있다[4,5]. 이러한 감쇠보정방법은 결국 드럼내 매질의 밀도를 알아 내 매질에 의한 감마선의 감쇠가 어느 정도인가를 구하는 방법이다.

한편, 각 감쇠보정방법의 특성상 매질의 밀도에 따라 즉, 생성된 방사성폐기물드럼의 종류에 따라 감쇠보정방법을 달리 적용해야 드럼종류에 따라 매질의 밀도를 정확히 구할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 원자력발전소에서 생성하는 드럼 종류별로 최적의 감쇠보정방법을 결정하기 위해 드럼종류별로 모델드럼을 이용한 실험을 수행하였는데 잡고체드럼, 농축폐액드럼과 폐수지드럼에 대해서는 모의드럼을 제작하였고, 차폐잡고체드럼과 폐필터드럼은 실제 고리원자력발전소에서 사용하고 있는 드럼을 이용하여 모델드럼내 임의의 위치에 표준감마선원을 넣고 핵종분

석장치로 각각의 감쇠보정방법을 적용해 측정을 하여 모델드럼에 대한 매질의 밀도를 구하고, 이 값을 실제 모델드럼내 매질의 밀도와 비교해 실제 밀도값과 가장 근사한 결과를 얻을 수 있는 감쇠보정방법을 얻고자 하였다.

폐기물드럼의 측정효율

그림 1에서 보는 바와 같이 드럼분할 측정방법을 이용해 핵종분석장치로 방사성폐기물드럼을 측정해 얻은 감마선스펙트럼으로부터 드럼내 매질이 함유한 감마선 방출핵종의 방사능을 구하기 위해서는 식 (1)에 나타난 각 감마선의 광전피크에 대한 효율을 알 수 있다면 쉽게 구할 수 있다. 이때 측정효율은 드럼내 매질에 의한 감마선의 감쇠가 보정된 것이어야 한다.

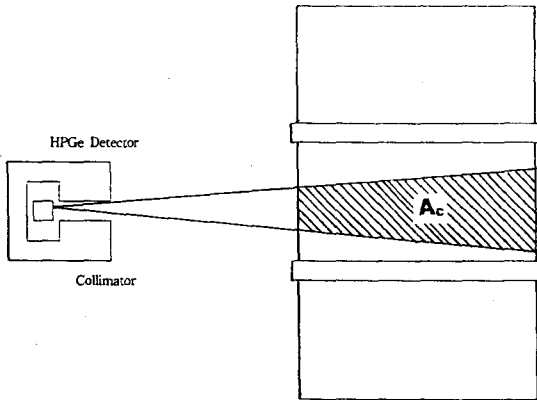


Fig. 1. 드럼분할측정방법을 이용해 핵종분석장치로 방사성폐기물드럼을 측정할 때 측정 단면의 기하학적 형태.

$$A_c = n_i / \epsilon_c \quad (1)$$

여기서,

- A_c : 분할면내 감마선 방출핵종 i 의 방사능,
- n_i : 감마선 스펙트럼상의 감마선 에너지 E_i 에서의 계수율,
- ϵ_c : 감마선의 감쇠가 보정된 감마선 에너지 E_i 에서의 측정효율.

한편, 핵종분석장치를 이용해 방사성폐기물드럼을 측정하여 감마선방출핵종에 대한 분석을 할

때 드럼내 매질에 의한 감쇠를 보정하는 방법은 다음의 식 (2)에서 감쇠보정인자(attenuation correction factor), CF값을 구하고자 하는 것이다.

식 (1)의 각 감마선에너지 피크에 대한 측정효율, ϵ_c 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다[6].

$$\epsilon_c = CF_i \times \epsilon_i \quad (2)$$

여기서,

- CF_i : 감마선에너지 E_i 에서의 감쇠 보정인자,
- ϵ_i : 빈드럼에 대한 감마선에너지 E_i 에서의 측정효율,
- ϵ_c : 매질이 들어 있는 드럼에 대한 감마선 에너지 E_i 에서의 측정효율.

그리고 각 감마선에너지에서의 감쇠보정인자, CF_i 는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다[6].

$$CF_i = e^{-(\mu/\rho)(\rho t)} \quad (3)$$

여기서,

- μ/ρ : 감마선에너지 E_i 에서의 질량감쇠계수 (mass attenuation coefficient, cm^2/g),
- ρ : 매질의 밀도(g/cm^3),
- t : 매질의 두께(cm), 즉 드럼의 반경.

식 (3)으로 부터 드럼내 매질에 대한 질량감쇠계수와 밀도를 알 수 있다면 감쇠보정인자, CF값을 구할 수 있고 빈드럼에 대한 핵종분석장치의 측정효율, ϵ_i 를 얻으면 식 (2)로 부터 실제 방사성폐기물드럼에 대한 핵종분석장치의 측정효율을 구할 수 있다.

감쇠보정방법

평균밀도 보정방법

평균밀도 보정방법은 드럼내 매질이 비교적 균질하게 분포되어 있을 경우 드럼의 무게를 전체 드럼의 부피로 나누어 매질의 밀도를 계산하는 방법으로써 간단하면서도 비교적 매질의 밀도를 정확히 구할 수 있는 방법이다.

평균밀도 보정방법을 이용하면 앞의 식 (3)에서의 (ρt) 값은 다음과 같은 식으로 간단하게 계산할 수 있다.

$$(\rho t)_{AD} = (M_{net}/V)t \quad (4) \quad \text{계산할 수 있다}[8,9].$$

여기서,

- M_{net} : 드럼내 매질의 무게,
- V : 매질의 부피,
- t : 매질의 두께.

$$CF(T_i) = \frac{-\kappa \ln(T_i)}{1 - T_i^{\kappa}} \quad (8)$$

여기서,

κ : 시료의 기하학적 형태에 관계되는 보정상수.

전송선원(transmission source) 보정방법

전송선원 보정방법은 전송선원의 특정 감마선 에너지에서 측정된 감마선스펙트럼상의 계수율을 이용해 드럼내 시료의 감쇠를 계산하여 이로부터 드럼내 시료의 밀도를 계산해 내는 방법이다. 감마선에너지 E_i 의 transmission값, T_i 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다[7].

$$T_i = \exp(-(\mu_i/\rho)x) \quad (5)$$

여기서,

x : 감쇠물질에 대한 단위면적당 질량(g/cm²).

한편, 감마선에너지 E_T 를 갖고 있는 전송선원을 사용한다면, 감마선에너지 E_i 에서의 transmission은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_i = T_T^{\alpha} \quad (6)$$

여기서, $\alpha = (\mu_i/\rho)/(\mu_T/\rho)$ 로써 두 감마선 에너지에서의 질량감쇠계수의 비를 나타낸다. 전송선원의 감마선에너지 E_T 에서의 transmission은 빈드럼에서의 전송선원의 측정값과 드럼에 매질이 채워져 있을 때의 전송선원의 측정값의 비율로서 구할 수 있는데 다음의 식 (7)과 같이 정의된다.

$$T_T = I_T(\rho t)/I_T(0) \quad (7)$$

여기서,

- $I_T(\rho t)$: 매질이 있을 때 감마선에너지 E_T 의 계수율,
- $I_T(0)$: 매질이 없는 빈드럼에서 감마선에너지 E_T 의 계수율.

그리고 감쇠보정인자, $CF(T_i)$ 는 식 (6)으로부터 구한 T_i 를 이용해 다음과 같은 근사식에 의해

식 (8)에서 보정상수 κ 는 시료의 기하학적 형태에 관계되는 것으로써 시료가 평판형태인 경우가 값은 1이 되고, 드럼과 같은 실린더 형태인 경우 0.823이 된다[9]. 이와 같은 방법으로 구한 감마선에너지 E_i 에서의 감쇠보정인자, $CF(T_i)$ 값을 식 (2)에 대입해 보정된 측정효율을 구할 수 있다.

두 감마선피크 비교(differential peak) 보정 방법

이 방법은 드럼내 방사성물질중에 한 핵종이 감마선스펙트럼상에서 두개 이상의 구별 가능한 감마선에너지 피크(photopeak)를 갖고 있어야만 이용 가능한 감쇠보정방법으로써 매질의 밀도를 구하기 위해 매질에서의 두 감마선에너지에 대한 상대적인 감쇠비를 구하여 이 비율값으로부터 매질의 밀도를 계산하는 방법이다. 이 방법을 사용하기 위해서는 먼저 빈드럼 상태에서 ¹³⁴Cs이나 ⁶⁰Co과 같은 두가지 이상의 감마선에너지를 방출하는 표준감마선원을 드럼에 넣고 측정하여 두 감마선에너지의 빈드럼에서의 계수율 비를 미리 구해 놓은 후 측정하고자 하는 실드럼에 대해 같은 두 감마선에너지에서의 계수율 비와 빈드럼에 대한 계수율 비의 차이를 비교하여 드럼내 매질의 밀도를 계산할 수 있다. 즉, 다음과 같은 정의를 이용해 두 감마선에너지에서의 계수율로부터 감쇠보정인자를 구하기 위해 필요한 (ρt) 값을 구할 수 있다.

정의 :

- $I_1(0)$ = 빈드럼에서 측정된 감마선에너지가 낮은 쪽의 계수율
- $I_2(0)$ = 빈드럼에서 측정된 감마선에너지가 높은 쪽의 계수율
- $I_1(\rho t)$ = 매질이 있는 드럼에서 측정된 감마선 에너지가 낮은 쪽의 계수율
- $I_2(\rho t)$ = 매질이 있는 드럼에서 측정된 감마선 에너지가 높은 쪽의 계수율

$$\mu_i/\rho = \text{감마선에너지 } E_i \text{에서의 질량감쇠계수}$$

$$(\text{mass attenuation coefficient, cm}^2/\text{g})$$

$$\Delta \mu/\rho = (\mu_1/\rho - \mu_2/\rho)$$

앞의 정의를 이용해 다음과 같은 방법으로 T_1 과 T_2 를 구할 수 있다.

$$T_1 = e^{-(\mu_1/\rho)(\rho t)} = I_1(\rho t)/I_1(0)$$

$$T_2 = e^{-(\mu_2/\rho)(\rho t)} = I_2(\rho t)/I_2(0) \quad (9)$$

그리고 T_1 과 T_2 의 비로 부터 다음과 같이 매질의 밀도를 구할 수 있다.

$$(\rho t) = \frac{1}{\Delta \mu} \left\{ \ln \frac{I_1(0)}{I_2(0)} - \ln \frac{I_1(\rho t)}{I_2(\rho t)} \right\} \quad (10)$$

드럼 종류별 질량감쇠계수 결정

드럼내 매질에 의한 감쇠보정인자를 구하기 위해서는 감쇠보정방법을 통해 얻은 매질의 밀도와 그 매질에 대한 질량감쇠계수, μ_i/ρ 값을 알아야 한다.

핵종분석장치를 이용해 방사성폐기물드럼에 대한 감마선스펙트럼을 측정하여 분석할 때 매질에 대한 정확한 질량감쇠계수는 각 드럼에 들어 있는 매질의 조성에 대한 정보를 통해 구하는 것이 보다 정확한 질량감쇠계수를 얻을 수 있는 방법이지만 드럼에 따라 매질에 대한 정확한 조성을 알아내는 것은 어렵고, 드럼에 대한 핵종분석시마다 질량감쇠계수를 구하여 입력해야 하기 때문에 핵종분석에 많은 시간이 소요될 수 있다. 따라서 원자력발전소에서 발생하는 방사성폐기물드럼의 종류에 따라 대표적인 물질의 조성을 가정하여 질량감쇠계수를 구하고, 이러한 대표적 물질조성에 대한 질량감쇠계수를 이용해 드럼종류별로 감쇠보정인자, CF값을 구하였다.

원자력발전소에서 발생하는 방사성폐기물드럼은 잡고체드럼, 차폐잡고체드럼, 폐수지드럼, 폐필터드럼 및 농축폐액(파라핀)드럼등 5가지로 분류하고 있다. 따라서 이들 5종류의 드럼에 대해 물질조성을 가정하여 질량감쇠계수를 구하였는데, 드럼내 매질의 대표적인 조성을 조사해 이것과

유사한 질량감쇠계수값을 나타내는 물질에 대한 질량감쇠계수를 이용하거나, 드럼내 매질의 조성비를 이용해 각 물질조성에 대한 질량감쇠계수를 구하였다. 표 1에 원자력발전소에서 발생하는 각 드럼종류별로 주요 매질의 조성과 이들 매질에 대한 질량감쇠계수를 구하기 위해 가정한 매질들을 나타냈다.

Table 1. 원자력발전소에서 발생하는 방사성폐기물드럼종류별로 질량감쇠계수를 구하기 위해 가정한 방사성폐기물드럼내 매질의 조성

드럼 종류	실제 폐기물드럼의 주요 매질 조성	질량감쇠계수를 구하기 위해 가정한 매질
잡고체드럼	비닐시트, 방호복, 종이, 목재, 형광등, 기타	폴리에틸렌
차폐잡고체 드럼	드럼내벽 6cm콘크리트차폐 유리, 철재, 모래 등	SiO ₂
폐수지드럼	시멘트(223.5kg), 물 (78.5kg), 습윤수지(물27kg, 건조수지26kg)	시멘트 63%, 물 30%, 수지 7%
폐필터드럼	18cm시멘트차폐, 필터	시멘트
농축폐액 드럼	파라핀(39.5kg), 붕소산화물 (118.5kg)	파라핀 25%, 붕소산화물 (B ₂ O ₃) 75%

물론 이와 같이 드럼내 물질의 조성을 가정한 것은 정확한 매질의 조성에 따른 질량감쇠계수를 구하여 사용하는 것과 비교하여 오차는 있지만 앞에서 설명한 이유로 이와 같은 방법을 사용할 수 밖에 없다.

즉, 표 2와 같이 드럼내 매질이 폴리에틸렌이라고 가정하고 구한 질량감쇠계수와 매질을 루사이트로 가정해 구한 질량감쇠계수를 이용해 감쇠보정인자값을 구하여 비교해 보면, 매질의 밀도가 0.5 g/cm³이고 핵종이 ⁶⁰Co이라고 가정할 경우 감

쇠보정인자의 비는 0.951로써 임의의 질량감쇠계수가 감쇠보정인자에 미치는 오차는 5% 이내이다. 그리고 매질의 밀도를 0.9 g/cm^3 로 잡고 질량감쇠계수가 감쇠보정인자에 미치는 영향을 조사해 보아도 ^{137}Cs 핵종일 경우 그 오차는 12% 이내이다. 또한 매질의 밀도가 클수록, 그리고 감마선에너지가 작을수록 임의의 매질로 가정하여 구한 질량감쇠계수값이 감쇠보정인자값에 미치는 오차는 커지는데, 고밀도드럼의 경우에 표 2의 하단부와 같이 매질조성의 차이를 콘크리트 100%, 그리고 콘크리트 50%와 폴리스틸렌 50%로 이루어졌다고 가정하여 질량감쇠계수를 구해 감쇠보정인자값을 계산하여도 밀도가 2.5 g/cm^3 인 경우로 상정하여 보면 그 오차는 20% 정도를 나타내고 밀도가 1.8 g/cm^3 인 경우에는 그 오차는 작아진다.

Table 2. 질량감쇠계수가 감쇠보정인자에 미치는 영향을 살펴보기 위해 매질밀도와 매질 조성을 가정한 임의의 매질에 대한 감쇠 보정인자값의 비

매질 밀도 (g/cm^3)	CF(polyethylene)/CF(lucite)	
	^{137}Cs	^{60}Co
0.9	0.884	0.914
0.5	0.934	0.951
매질 밀도 (g/cm^3)	CF(concrete 50% + polystyrene 50%) / CF(concrete 100%)	
	^{137}Cs	^{60}Co
1.8	0.863	0.895
2.5	0.818	0.862

따라서 표 2는 단지 질량감쇠계수값을 임의로 가정하여도 이것이 감쇠보정인자에 미치는 영향은 크지 않다는 것을 보여주기 위한 것으로써, 표 1에서 드럼종류별로 가정한 물질의 조성은 실제 드럼내 매질의 조성과 유사하도록 가정하였기 때문에 이러한 매질조성을 이용해 질량감쇠계수를 구하고 이값을 이용해 감쇠보정인자를 구한다면 그 오차는 표 2에서 가정한 매질에 대해 구한 감쇠보정인자값의 오차보다는 훨씬 작게 나타날 것이다. 그러므로 질량감쇠계수를 구할 때 드럼내 매질을 대표적물질로 가정하여 질량감쇠계수를 구하여도 이 값이 실제 감쇠보정인자값에 미치는

영향은 크지 않으므로 대표적 매질로 가정하여 구한 질량감쇠계수값을 이용하여 감쇠보정인자를 구할 수 있을 것으로 판단된다.

감쇠보정방법 결정 실험

방사성폐기물드럼내 매질에 의한 감마선의 감쇠보정방법은 드럼의 종류에 따라 즉, 드럼내 매질의 밀도에 따라 달리 적용하는 것이 측정에 따른 오차를 줄일 수 있기 때문에 드럼의 종류에 따라 적절한 감쇠보정방법을 선택하는 것이 중요하다.

따라서 원자력발전소에서 생성되는 방사성폐기물드럼종류에 따라 적절한 감쇠보정방법을 알아보기 위한 실험을 수행하였으며 이를 위해 모델드럼을 이용한 드럼 종류별 감쇠보정방법을 적용하여 드럼내 매질의 밀도를 구하였으며, 이 값을 실제 모델드럼내 매질의 밀도와 비교해 보았다.

실험방법은 드럼종류에 따라 감쇠보정방법을 평가해야 하기 때문에 5가지의 모델드럼을 사용하였는데 잠고체드럼, 폐수지드럼 및 농축폐액(파라핀)드럼은 모의드럼을 제작하여 실험을 하였으며, 잠고체드럼의 경우는 paper board로 만든 것과 목재를 이용해 만든 2가지 드럼종류를 사용하였다. 그리고 차폐잠고체드럼과 폐필터드럼은 고리원자력발전소에서 사용하고 있는 실제 빈드럼을 직접 이용하였다. 각 드럼별로 매질의 밀도를 구하기 위하여 이들 모델드럼내에 표준방사선원을 임의의 위치에 놓고 핵종분석장치로 측정하였는데, 본 실험에 이용한 핵종분석장치의 최소검출 방사능(MDA)은 드럼의 밀도, 감마선에너지, 주변방사선량을, 그리고 측정시간에 따라 다르지만, 매질의 밀도가 0.5g/cm^3 이고, 드럼분할면 한개의 측정시간이 200초이고, 주변선량율이 $3\mu\text{Sv/h}$ 정도일 경우, ^{60}Co 에 대해 약 33kBq이고, ^{137}Cs 에 대해서는 약 131kBq이다.

실험에 사용한 표준감마선원은 MDA와 취급의 용이성을 고려해 밀도가 낮은 모델드럼인 잠고체드럼, 차폐잠고체드럼인 경우에는 3441kBq의 ^{60}Co 과 3182kBq 의 ^{137}Cs 선원을 사용하고, 밀도가 높은 모델드럼인 폐수지드럼, 농축폐액드럼 및 폐필터드럼에 대해서는 저밀도드럼에 사용한 표준감마선원보다 방사능이 큰 322MBq의 ^{60}Co 과 344MBq 의 ^{137}Cs 선원을 사용하였다.

실험결과 및 토의

각 모델드럼에 감쇠보정방법을 적용하여 핵종 분석장치로 측정된 매질의 밀도를 모델드럼내 실제 매질의 밀도와 비교하여 그 결과를 표 3에 나타냈다.

매질의 밀도를 구하는데 좋은 결과를 나타내고 있는 것을 알 수 있었다.

한편 한가지 감쇠보정방법을 적용해 드럼내 매질의 밀도를 구할 경우 드럼내 매질의 분포에 따라 그 감쇠보정방법에 따라 큰 오차를 가져올 수

Table 3. 모델드럼종류에 따라 감쇠보정방법을 적용해 핵종분석장치로 구한 드럼내 매질의 밀도측정 결과

드럼 종류	감쇠보정방법으로 구한 매질의 밀도 (g/cm^3)			드럼내 실제 매질의 밀도 (g/cm^3)
	전송선원 보정방법	Differential Peak 방법	평균밀도 보정방법	
잡고체드럼				
-paper board	0.48 ± 0.02	0.28 ± 0.16	0.51 ± 0.01	0.51 ± 0.01
-목재	0.62 ± 0.02	0.54 ± 0.11	0.68 ± 0.01	0.68 ± 0.01
차폐잡고체드럼	0.75 ± 0.04	0.74 ± 0.08	1.12 ± 0.01	0.80 ± 0.02
농축폐액드럼	ND*	0.97 ± 0.22	1.16 ± 0.02	1.16 ± 0.02
폐수지드럼	ND	1.01 ± 0.09	1.05 ± 0.02	1.05 ± 0.02
폐필터드럼	ND	1.84 ± 0.08	2.00 ± 0.01	1.90 ± 0.02

* : ND는 핵종분석장치로 측정불가를 나타냄.

표 3에서 알 수 있는 바와 같이 잡고체드럼의 경우 differential peak 감쇠보정방법으로 구한 매질의 밀도값은 실제 모델드럼의 밀도값과 큰 차이를 나타내고 밀도값에 대한 오차범위도 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러므로 잡고체드럼의 경우 이 방법을 적용하면 측정결과에 큰 오차를 가져올 수 있기 때문에 잡고체드럼에 대한 감쇠보정인자를 구할 때 differential peak 감쇠보정방법은 적용하지 않는 것이 좋을 것으로 판단되었다. 그리고 평균밀도 보정방법으로 구한 매질의 밀도는 모델드럼을 하나의 물질로 비교적 균질하게 만들어 사용하였기 때문에 결국 모델드럼내 매질의 밀도와 같은 결과를 나타냈는데 실제 잡고체드럼의 경우에는 본 실험에 사용한 모델드럼과는 달리 균질하지 않기 때문에 평균밀도 보정방법을 사용해 구한 밀도값도 오차는 나타날 것이지만 잡고체드럼의 경우 드럼에 채우는 여러 매질의 밀도 차이가 크지는 않으므로 평균밀도 보정방법은 잡고체드럼에 대한 감쇠보정인자를 구하는데 유용한 방법이 될 것으로 판단된다. 또한 잡고체드럼에 대해서는 전송선원 보정방법도

도 있기 때문에 한가지 감쇠보정방법을 적용하기 보다는 두가지 방법을 적용해 매질의 밀도를 평균하여 구하는 것이 드럼내 매질의 분포에 따른 밀도값의 오차를 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 그러므로 잡고체드럼에 대한 감쇠보정방법으로 평균밀도 보정방법과 전송선원 보정방법을 함께 사용해 드럼내 매질에 의한 감쇠보정인자를 구하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

차폐잡고체드럼의 경우 드럼의 가운데는 비어 있는 상태이고 드럼내벽 전체가 6cm두께의 시멘트로 차폐되어 있기 때문에 드럼의 무게는 드럼의 밀면과 드럼의 두정부에 의해 실제 방사선원이 뚫고 지나가는 드럼벽면만의 무게에 비해 크기 때문에 평균밀도 보정방법으로 구한 매질의 밀도는 실제보다 높게 나타난다. 그러므로 평균밀도 보정방법을 적용할 경우 실제 드럼내 방사능이 과대 평가되기 때문에 차폐잡고체드럼의 경우 평균밀도 보정방법의 적용은 적절하지 않다. 그러므로 차폐잡고체드럼의 경우에는 전송선원 보정방법과 differential peak 감쇠보정방법을 적용하였다.

농축폐액드럼과 폐수지드럼은 다른 드럼에 비

해 비교적 균질하게 드럼에 채워진다고 볼 수 있으므로 평균밀도 보정방법이 다른 감쇠 보정방법에 비해 비교적 유용한 방법인 것으로 여겨지며, 실험을 통해 알 수 있는 바와 같이 differential peak 감쇠 보정방법도 오차는 크지만 실제 밀도값과 근사한 결과를 얻을 수 있는 방법이며 드럼의 균질도가 떨어질 경우 평균밀도 보정방법을 보완해주는 유일한 방법으로써 농축폐액드럼과 폐수지드럼에 대해서는 이 두가지 방법을 사용해 드럼내 매질의 밀도를 구하는 것이 적절하다고 판단된다.

한편, 폐필터드럼도 차폐잡고체드럼과 마찬가지로 형태로 드럼내벽이 18cm의 시멘트로 차폐되어 있고 가운데 빈 공간에 폐필터를 넣어 처리하기 때문에 평균밀도 보정방법을 사용할 경우 차폐잡고체드럼과 마찬가지로 과대평가되는 것은 피할 수 없으므로 폐필터드럼에 대해서는 differential peak 감쇠 보정방법을 사용하는 것이 적절하겠지만 이 방법은 differential peak의 측정오차에 의해 잘못된 결과를 나타낼 확률이 크다.

따라서 두가지 방법을 적용하는 것이 상호 보완적

적인 역할을 하여 측정오차를 줄일 수 있기 때문에 두가지 방법을 적용토록 하는 것이 좋으며, 본 실험을 통해 알 수 있는 바와 같이 평균밀도 보정방법도 차폐잡고체드럼에 비해서는 실제값과 그 차이가 크지 않기 때문에 폐필터드럼에 대해 적용 가능한 것으로 판단되었다. 한편, 폐수지드럼, 폐필터드럼 및 농축폐액드럼은 밀도가 높기 때문에 전송선원이 차폐되어 검출기에 측정되지 않기 때문에 고밀도드럼의 경우에 전송선원방법은 이용할 수 없다는 것을 알 수 있다.

표 4에는 모델드럼을 이용한 실험을 통해 얻은 각 감쇠보정방법에 대한 장점과 단점을 나타내었다.

결론

핵종분석장치를 이용한 각 드럼별 핵종분석을 위해서는 드럼내에 함유된 매질에 의한 감마선 감쇠를 보정해 주는 것이 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 원자력발전소에서 생성되는 방사성폐기물드럼 종류별로 적절한 감쇠보정방법을 제시

Table 4. 드럼내 매질의 감쇠보정방법의 장점과 단점

감쇠보정방법	장점	단점
평균밀도 보정방법	<ul style="list-style-type: none"> - 비교적 드럼내 매질의 분포가 균질할 경우 잘 맞는다. - 매질의 밀도에 관계 없이 이용할 수 있다. - 측정오차에 큰 영향을 받지 않는다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 드럼내 매질의 충전상태가 균질하지 않을 경우 오차가 크다.
전송선원 보정방법	<ul style="list-style-type: none"> - 각 segment를 분리해 측정해 밀도를 구하기 때문에 매질의 분포가 수직방향으로 비균질할 경우 잘 맞는다. - 매질내 방사능이 낮아도 밀도 보정이 가능하다. - 매질의 밀도가 낮은 경우 측정오차에 민감하지 않은 편이다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 밀도가 비교적 큰 매질일 경우 오차가 크고, 밀도가 1이상인 경우 사용할 수 없다. - 수평방향으로 매질의 분포가 비균질일 경우 오차가 크다.
Differential Peak 감쇠 보정방법	<ul style="list-style-type: none"> - 매질의 분포가 수직방향이나 수평방향으로 균질하지 않을 경우에도 잘 맞는다. - 밀도가 큰 경우에 이용 가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 측정오차에 너무 민감하다. - 표지핵종의 방사능이 낮은 경우 사용할 수 없다. - 밀도가 낮은 경우 다른 방법에 비해 오차가 크다.

하였다.

잡고체드럼인 경우에는 전송선원 보정방법과 평균밀도 보정방법을, 차폐잡고체드럼에 대해서는 전송선원 보정방법과 differential peak 감쇠 보정방법을 이용하고, 고밀도드럼인 폐수지, 농축폐액 드럼 및 폐필터드럼의 경우는 평균밀도 보정방법과 differential peak 감쇠 보정방법을 적용하는 것이 적절한 것으로 확인되었다.

따라서, 본 논문에서 제시한 감쇠보정방법을 실제 방사성폐기물드럼에 대한 핵종분석시 적용한다면 보다 정확한 핵종분석 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되며 이를 통해 방사성폐기물의 처분 안전성을 확보하는 데에도 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 과학기술처, 방사성폐기물 인도규정, 과학기술 처고시 제91-10호 (1991).
2. KEPRI, 방사성폐기물 핵종분석장치 개발, KEPRI-92N-J03 (1996).
3. KEPRI, 방사성폐기물 핵종분석 장치개발 사전 조사 연구, KRC-90N-003 (1991).
4. J. L. Parker, "The Use of Calibration Standards and the Correction for Sample Self-attenuation in Gamma-ray Nondestructive Assay", LA-10045 (1984).
5. B. M. Gillespie, Personal communication, Canberra Inc. Meriden, CT(1995).
6. *Software User Manual for Canberra Industries Segmented Gamma Scanner*, Canberra No. 49010 (1995).
7. R. H. Augustson and T. D. Reilly, "Fundamentals of Passive Nondestructive Assay of Fissionable Material", LA-5651- M (1974).
8. J. K. Sprinkle, Jr., and S. T. Hsue, "Recent Advances in Segmented Gamma Scanner Analysis", LA-UR-87-3954 (1987).
9. Doug Reilly, Norbert Ensslin, Hastings Smith, Jr., and Sarah Kreiner, "Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials", NUREG/CR-5550, LA-UR-90 -732 (1991).