

'99 추계 학술발표회 논문집
한국원자력학회

저준위 방사능 측정시스템에 필요한
이중 납 차폐체 두께 결정

Determination of double lead shield thickness
for low radioactivity measurement system

김태욱, 박종묵

한국전력공사 원자력환경기술원
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

저준위 방사능 측정시스템의 외부방사선 차폐체로 사용되는 납을 일반 납과 저준위 방사능 납으로 구성하고 이들의 적절한 두께를 구하였다. 일반 납에는 ^{210}Pb 의 방사능이 328Bq/kg, 저준위 방사능 납에는 ^{210}Pb 의 방사능이 10Bq/kg 포함된 것으로 가정하였으며, 저준위 방사능 납과 일반 납을 병행 사용할 경우 발생하는 측정 백그라운드를 MCNP 코드를 이용하여 계산하였다. 계산 결과 일반 납을 10cm 사용하고 저준위 방사능 납을 5cm 사용하는 것이 최적의 조합인 것으로 나타났으며, 이 경우 전체를 일반 납으로 사용한 경우에 비하여 5%, 전체를 저준위 방사능 납으로 사용한 경우에 비하여 1.9배의 측정 백그라운드가 발생하는 것으로 나타났다.

Abstract

The lead of a gamma-ray spectroscopy system for external gamma-ray shield were consisted of normal and low activity lead and its optimum thickness was calculated. The ^{210}Pb activity was assumed to be 328Bq/kg for the normal lead and 10Bq/kg for the low activity lead. The background from lead shield was calculated by using a MCNP code. The result showed that the best combination of a double lead shield is 10cm thick normal lead and 5cm thick low activity lead. And the background of the double lead shield is about 5% of that of 15cm thick normal lead shield and 1.9 times higher than that of 15cm thick low activity lead shield.

1. 서론

저준위 방사능측정시스템의 측정 백그라운드에 영향을 주는 것으로는 외부방사선 차폐를 위하여 사용되는 납에 포함된 방사능에 의한 것이 제일 크며 그밖에 우주선에 의한 영향과 검출기의 포함된 방사능에 의한 영향 등을 들 수 있다. 납은 우라늄, 토륨 및 악티늄 계열의 붕괴 생성물로 순수하게 정제된 납에도 납의 방사성동위원소는 존재하며 그중 99% 이상을 차지하는 ^{210}Pb 이 납의 방사능 준위를 결정짓게 된다. 납에 포함된 ^{210}Pb 의 방사능은 광산의 종류와 제조시기에 따라 350Bq/kg에서 최저 0.1Bq/kg까지 다양하며[1] 팜납의 경우 최고 50kBq/kg에 이르는 경우도 있는 것으로 알려져 있다[2].

^{210}Pb 에서 발생하는 감마선으로는 ^{210}Pb 붕괴 당 4% 정도 발생하는 46.5keV 감마선이 있으나 측정 백그라운드에 미치는 영향은 크지 않고, ^{210}Pb 이 β 붕괴되어 생성되는 ^{210}Bi 에서 발생하는 최대에너지 1.2MeV의 베타입자로 인한 특성 X선과 제동복사선이 저준위 방사능 측정시스템에 주로 영향을 미치게 된다.

저준위 방사능측정시스템에 사용되는 납 차폐체는 가능한 적은 양의 ^{210}Pb 을 함유한 납을 사용하여 제작하여야 하나, 저준위 방사능 납은 보통 차폐체보다 값이 상당히 비싸고 구하기도 쉽지 않아 저준위 방사능측정시스템의 제작에 많은 어려움을 주고 있다. 그러나 방사능측정시스템의 바깥에는 일반 납을 설치하고 안쪽에 저준위 방사능 납을 설치하여 일반 납에서 발생하는 납의 특성 X선과 제동복사선을 저준위 방사능 납을 차폐할 수 있다면 저준위 방사능측정시스템 제작이 용이해 질 것이다.

본 연구에서는 저준위 방사능 납으로 시판되는 10Bq/kg의 납과 국내에서 제조된 328Bq/kg의 납을 사용하여 이러한 효과를 나타낼 수 있도록 저준위 납과 일반 납의 두께 구성을 설계하여 보았다.

Fig. 1은 ^{210}Pb 에서 발생하는 광자를 planar 게르마늄 검출기로 측정한 결과이다[3].

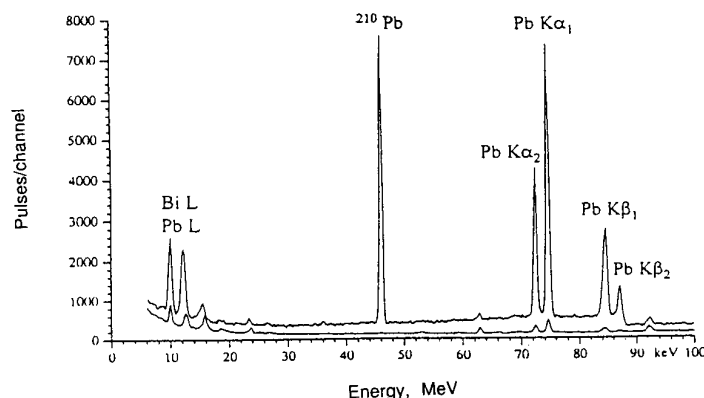


Fig. 1 The spectrum of background and of ^{210}Pb in lead, measured with a planar germanium diode.

Fig. 1에서 보듯이 ^{210}Pb 에서 발생하는 광자로는 ^{210}Pb 에서 발생하는 46.5keV 감마선과 ^{210}Bi 에서 발생하는 최대에너지 1.2MeV의 베타입자에 의하여 납에서 발생하는 74.7keV의 K_{α_1} X선, K_{α_2} X선, K_{β_1} X선, K_{β_2} X선, L X선 등의 특성 X선 및 제동복사선이 있다. ^{210}Pb 에서 발생하는 46.5keV 감마선은 ^{210}Pb 붕괴 당 4.05% 발생되며, ^{210}Bi 에서 발생하는 X선은 3"x3" 대비 32% diode로 측정 시 70keV~92keV 범위에서 ^{210}Pb 1Bq/kg 당 0.015cpm 검출되며, 제동복사선은 92keV~500keV 범위에서 0.081cpm 검출된다[4].

2. 계산 방법

외부 방사선 차폐체로 사용되는 납 차폐체의 두께는 15cm에서 20cm 사이가 적당한 것으로 알려져 있다[4]. 납 차폐체 두께를 15cm이하로 하면 외부 방사선 차폐가 미약하고 20cm 이상을 사용하면 우주선과 납과의 상호작용으로 생성되는 2차 방사선이 증가하기 때문이다. 본 계산에서는 납 차폐체 두께를 15cm로 할 경우와 20cm로 할 경우의 차폐정도 차이가 미미하여 측정시스템의 부피와 무게를 줄일 수 있도록 15cm로 하고 일반 납과 저준위 방사능 납의 두께를 1cm 씩 변경하면서 수행하였다. 또한 본 계산은 차폐체내에 함유된 ^{210}Pb 의 방사능에 의한 영향을 평가하고자 하는 목적이므로 우주선과 같은 외부 방사선원의 영향은 고려하지 않았다. 계산은 몬테카를로 묘사를 위한 코드인 MCNP4B[5]를 이용하여 수행하였다.

계산 시간을 단축하기 위하여 납 차폐체는 1m x 1m의 판형 형태로 가정하였고, ^{210}Bi 에서 발생하는 베타입자의 입사 방향을 +x 축 방향으로 고정시켰다. tally는 납 차폐체가 끝나는 표면에 대하여 평균한 f2 tally를 사용하였다.

방사선원으로는 ^{210}Pb 에서 발생하는 감마선과 ^{210}Bi 에서 발생하는 특성 X선 및 제동복사선을 고려하였다.

3. 결과

계산 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 본 계산에 사용된 history 수는 각 경우마다 1000이었는데 relative error가 약 0.077로, 이는 계산된 값이 일반적으로 믿을 만한 수준 내에 들을 나타낸다.

납 차폐체를 일반 납으로만 구성하였을 때의 flux는 0.0224 particle/s/cm² 였으며, 일반 납의 일부를 저준위 방사능 납으로 대체할수록 지수 함수적으로 flux가 떨어져 최종적으로 모두를 저준위 방사능 납으로 사용하였을 경우 flux는 6.8 x 10⁻⁴ particle/s/cm²로 일반 납의 3% 정도가 되는 것으로 나타났다.

이중 납 차폐체의 최적 두께 배합은 일반 납의 가격과 저준위 방사능 납의 가격 및 저준위 방사능 납의 두께 증가로 인한 백그라운드 감소 효과를 통해 결정하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 저준위 방사능 납의 두께를 증가시켰을 때 백그라운드의 감소만을 고려하여

이중 납 차폐체의 최적 조성을 결정하였다.

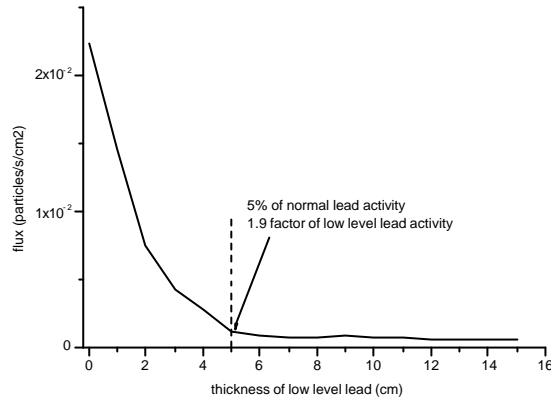


Fig. 2 The photon flux produced from various lead shield

그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 저준위 방사능 납의 두께가 5cm를 초과하면 감소곡선이 완만해지기 시작하여 값 비싼 저준위 방사능 납의 두께를 증가시킨다고 하더라도 백그라운드 감소효과가 크게 증가되지 않는다. 따라서 이중 납 차폐체의 최적 조합으로서 일반 납 10cm와 저준위 방사능 납 5cm를 선정하였다.

이와 같이 방사능측정시스템의 차폐체를 구성하면, 차폐체 안쪽에서의 광자의 flux가 1.2×10^{-4} particle/s/cm²로 모두를 일반 납으로 사용하였을 경우의 5%에 해당하고, 모두를 저준위 방사능 납으로 사용하였을 경우의 1.9 배가되어 비교적 경제적으로 저준위 방사능측정시스템을 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 값을 ORTEC 등에서 제작하여 판매하는 50Bq/kg의 저준위 납으로 제작한 경우와 비교하기 위하여 50Bq/kg의 저준위 납으로 15cm를 차폐하였을 경우 photon의 flux를 계산해본 결과 3.4×10^{-3} particle/s/cm²으로 본 연구에서 제시한 차폐체보다 3배정도 백그라운드가 높은 것으로 나타났다.

4 결론

저준위 방사능측정시스템의 외부방사선 차폐체에서 발생하는 백그라운드를 MCNP 코드를 이용하여 계산한 결과, 차폐체의 두께를 15cm로 하였을 때 ²¹⁰Pb의 방사능이 328Bq/kg인 일반 납을 10cm, 10Bq/kg인 저준위 방사능 납을 5cm 사용하는 것이 최적의 조합인 것으로 나타났다. 이 경우 전체를 일반 납으로 사용한 경우에 비하여 5%, 전체를 저준위 방사능 납으로 사용한 경우에 비하여 1.9배의 측정 백그라운드가 발생하는 것으로 나타나 비교적 경제적으로 저준위 방사능측정시스템을 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 박종목 외, "방사선환경감시기술고도화," KAERI-NEMAC/RR-172/96, p.32, 과학기술처, 1996년.
2. 박종목 외, "방사성폐기물 처분관련 핵심기술의 확보 고도화 연구 - 1부 처분장 주변 환경방사능 극미량 측정시스템 개발," TR.97NS15.1998.3," p.7, 원자력환경기술원, 1998.
3. Pall Theodorsson, "Measurement of weak Radioactivity," World scientific, Singapore, p.143, 1996.
4. R. J. Arthur et al, "Use of Low Background Germanium detectors to Preselect High Radioactivity Materials Intended for Constructing Advanced Ultra Low Level Detectors," IEEE Transaction on Nuclear Science, 35, 1, pp. 582-585, 1988.
5. J.F. Breisemeister, et al, "MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 4B", LA-12625-M.2., 1996,