해체 부지의 현장 베타선 측정을 위한 시스템의 기초 설계 연구

배준우*, 이욱제, 김희령
울산과학기술원, 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 44919
*skypia12@unist.ac.kr

1. 서론

원자력 시설의 해체가 끝난 부지에는 잔여 방사능으로 인한 오염이 남아 있을 수 있다. 부지의 제한적 또는 무제한적 개방을 위한 고오염 지점 탐지를 포함한 지속적인 모니터링이 필요하다. 감마선 방출 핵종에서 발생한 감마선 선량률은 기존의 휴대용 선량계 및 계측기를 통하여 쉽게 계측이 가능하다. 그러나 감마선을 방출하지 않는 삼중수소나 스트론튬 같은 순수 베타방출 핵종은 짧은 비정 때문에 토양 표면에서의 핵종 탐지 외에 부지 속에 존재하는 핵종에 대한 측정은 매우 힘들다.

현재까지는, 토양 부지에 대한 순수 베타 방출 핵종의 방사능 분석은 부지로부터 채집한 샘플을 실험실에서 고온 산화와 같은 방법으로 전처리 후 액체섬광계수기에 의한 계측을 통하여 이루어졌다. 이 방법은 물리화학적 전처리 과정에서 많은 시간과 인력을 소모하게 된다. 또한 부지 전체에 대하여 샘플을 채집하기에는 많은 시간이 소요 되며 해체 부지내 국부적인 고오염 지점을 찾아내기에는 적합하지 않다. 이러한 단점을 극복하기 위해 토양 속의 베타선을 현장에서 직접 계측할 수 있는 시스템 개발이 요구된다.

본 연구에서는 오염된 부지 내에 베타 방출핵종의 방사능이 상대적으로 높은 고오염 지역을 현장에서 탐지하기 위한 섬광체 기반 베타선 계측 시스템의 기초 설계에 대한 연구를 수행하고자 한다. 이는 샘플 채집에 의한 실험실 정량 분석 수준이 불필요한 현장 직접 측정을 통하여 소요 인력 및 계측 시간을 저감할 수 있다. 추후 고리 1호기 해체 부지를 비롯한 원자력 시설 해체 베타 방사능 감시, 원자력 사고시 오염 분포 현장 파악시에 적용 가능하다.

2. 본론

2.1 재료 및 방법

구상된 현장 베타선 계측 시스템은 Fig. 1과 같이 섬광체, 빛 수송물질, 그리고 신호 처리부로 구성된다. 본 연구에서는 부지 내부의 고 방사능 지점을 계측을 위한 선원의 위치에 따른 섬광체의 반응을 분석했다.

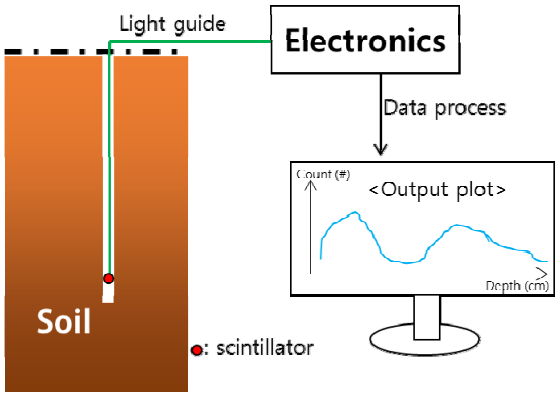

Fig. 1. Concept of In-situ Soil Beta Ray Detection System.

2.1.1 실험 준비

실험은 Fig. 2와 같이 플라스틱 섬광체(EJ-260), PMT(h10722-110, Hamamatsu) 그리고 선원 (0.1 μCi ^{90}Sr)으로 구성되었다. 선원은 섬광체로부터 1.5 cm 떨어진 선원 받침대에 고정되었으며 선원 받침대에는 총 5개의 지점이 있으며 각각의 지점 간의 거리는 4 cm이다. 섬광체가 토양 내부로 들어가면서 상대적으로 고 방사능 지점으로 점점 가까워지다 마침내 가장 근접한 지점에 도달하고 그 이후 점점 멀어지는 상황을 가정한 실험이다.

각각의 측정은 현장 계측의 개념에서 합리적이라 생각되는 120 초씩 진행 되었다. 또한, 토양 내에서 선원과 섬광체 사이의 토양의 영향을 보기 위하여 0.7 mm 알루미늄 호일을 사용하여 선원을 차폐시키면서 측정을 진행하였다.

2.1.2 플라스틱 섬광체의 감마억제

얇은 플라스틱 섬광체를 사용할 경우 베타선 계측에서 감마선의 영향을 많이 억제할 수 있다[1]. 일반적인 플라스틱 섬광체는 유효원자번호와 밀도가 낮아 베타선의 에너지 손실은 많지만 감마선은 거의 에너지를 잃지 않는 특성이 있다.

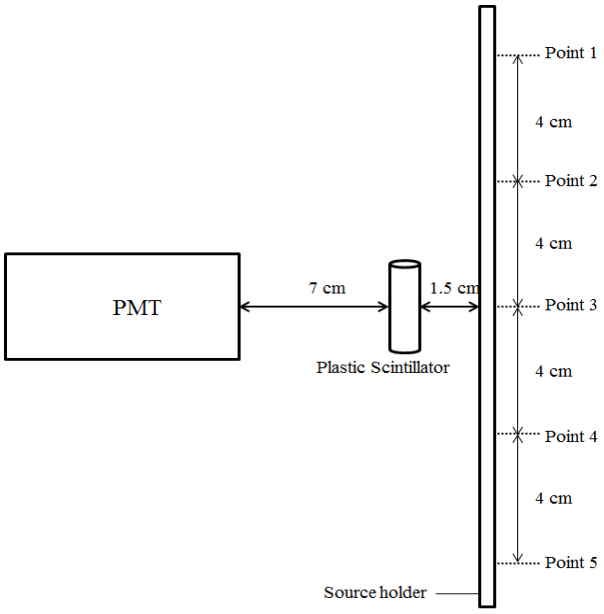

Fig. 2. Scheme of the Experimental Setup.

이러한 감마선 영향 억제 때문에 현장 베타선 방사선 측정에는 플라스틱 섬광체가 적합하다고 판단되었다.

2.2 결과 및 논의

120 초 동안 측정된 배경 계수값은 841±23.88로 측정되었다. 현 시스템에서의 정확한 효율과 샘플의 부피 혹은 무게를 유도할 수 없기 때문에 검출하한 농도대신 검출 하한 계수값을 정의하였으며 그 정의는 식 1과 같이 나타내어졌다[2]. B는 배경 계수값을 의미한다. 계산된 검출 하한 계수는 약 137.6로 나타났다.

$$2.71 + 4.65\sqrt{B} \qquad (1)$$

Fig. 3은 각각 지점에 대한 계수값이다. 섬광체에 선원이 가까워질수록 더 높은 계수값이 나타났다. 이를 통해 깊이에 따른 계수값의 곡선을 나타내면 최고 지점에 선원이 위치함을 추측할 수 있다.

Fig. 3에서 알루미늄 호일이 있을 때의 측정값은 알루미늄 호일이 없을 때보다 선원 주변에서 더 날카롭게 상승함을 보였다. 지점 3에서의 계수값은 알루미늄 호일이 없을 때와 알루미늄 호일이 있을 때가 각각 5715와 5107로, 약 10.6% 감소하였지만 지점 4에서의 계수값은 각각 3144와 1792로 약 43.0% 감소하였다. 선원과 섬광체 사이에 토양이 두꺼울수록 최고지점으로 치닫는 기울기의 차이가 발생할 것이며 이를 역산하면 선원의 위치도 추적할 수 있을 것으로 기대된다.

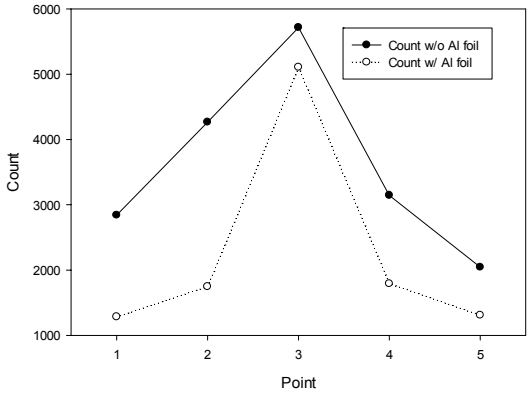

Fig. 3. Number of Count for 120 Seconds Corresponding to Each Point.

3. 결론

부지 토양 깊이에 따른 베타선 현장 측정 시스템에 대한 기초적인 접근을 수행하였다. ^{90}Sr선원의 위치 이동에 대한 베타선 계측 특성을 시험하였다. 계수값-위치 곡선에 따라 선원의 깊이 위치뿐만 아니라 선원의 반지름 방향의 거리를 유도할 수 있음을 알았다. 점선원의 가정 하에 반지름 방향의 거리는 정량적으로 계산될 수 있을 것으로 생각되었다. 샘플 부피 또는 질량 등 다양한 변수의 확보에 의한 계측 효율 계산으로부터 베타 방사능 농도를 구할 수 있을 것으로 이해되었다.

4. 참고문헌

[1] Tatsuyuki Maekawa, Akiio Sumita and Shunichiro Makino, “Thin Beta-ray Detectors using Plastic Scintillator Combined with Wavelength-shifting Fibers for Surface Contamination Monitoring” Journal of Nuclear Science and Technology, 35(12), 886-894 (1998).

[2] Glenn F. Knoll, “Radiation Detection and Measurement”, (2010).