

방사성폐기물 자체처분 전용오염검사장비(Clearance Monitor) 측정챔버 개발

이영주^{1*}, 강기두¹, 이모성²

¹한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전 유성구 유성대로 1312번길 70

²청주대학교, 충청북도 청주시 청원구 대성로 298-0

*ramsessyoung@khnp.co.kr

1. 서론

자체처분이란 원자력안전법에 따라 원자력안전위원회가 정하는 값 미만이 된 방사성폐기물을 소각·매립·재활용 등의 방법으로 처분하는 것으로 실제 원전에서는 IAEA 해제준위⁽¹⁾ 핵종별 농도 (⁶⁰Co ¹³⁷Cs의 경우, 0.1 Bq/g)의 1/10~1/100 수준에 해당되는 것 위주로 처분하고 있다. 현재 규제기관에서는 철제류 대상 폐기물에 대해서는 전수검사와 자체처분 전용오염검사장비(이하 검사장비) 측정결과를 함께 제출하도록 요구하고 있다. 이미 해외에서 상용화된 검사장비는 Clearance 혹은 Free Release Monitor로 불리우며 독일, 미국 등의 원전에서 운영되고 있다. 그러나 이들 해외 상용 검사장비는 국내원전 적용시 기능개선이나 측정알고리즘 변경 등에 있어서 매우 제한적인 것이 사실이다. 한수원(주) 중앙연구원에서는 2013년 9월부터 철제류 자체처분 대상 폐기물에 대해 최종 오염여부를 재확인할 수 있는 오염검사장비 개발을 착수하여 현재 측정챔버 제작을 완료하였고 고유 알고리즘 개발을 진행중이다. 본 논문에서는 해외 상용 장비의 설계특징을 분석/반영하고 국내원전 대상폐기물(철제류) 특성과 사용 편의성을 고려한 측정챔버 설계요건에 대해 기술하였다.

2. 본론

2.1 해외 상용 검사장비

독일 Mirion사 및 Thermo-Fisher사의 오염검사장비의 측정챔버는 Table 1과 같이 직육면체 혹은 정육면체 형태이며, 주변 백그라운드 영향을 최소화하기 위해 50 nmm 납으로 차폐를 하고 있다. 또한 대상폐기물의 감마방사능을 상대적으로 신속하게 측정하기 위해 플라스틱 섬광검출기를 이용하여 총 감마방사능을 측정한다. 플라스틱 섬광검출기는 NaI 섬광검출기나 HPGe 보다 검출효율은 좋으나, 분해능이 좋지 못하기 때문에 대부분의 상용장비는 감마핵종 판별은 거의 불가능하다는 단점이

있다. ⁶⁰Co과 ¹³⁷Cs과 같이 대략적으로 고/저에너지 구간을 나누어 판별할 수 밖에 없다. 따라서 자연 방사선 핵종에 의한 영향을 판별하기가 사실상 불가능하다. 그럼에도 플라스틱 섬광검출기를 사용하는 이유는 대형 측정챔버에 사용할 만한 크기의 검출기는 플라스틱 섬광검출기가 유일하기 때문이다.

Table 1. Comparison of commercial clearance monitor from oversea manufacturer.

구분	A사	B사	C사
검출기	Plastic Scintillation		
검출기 수	24 ea	6 ea	32 ea
검출기 배치	4ea/1면	1ea/1면	확인불가
챔버형태	직사각형 (1.4×1.1×1.2)m	정사각형 (0.9×0.9×0.9)m	직사각형 (1.3×0.9×0.9)m
검출영역	58%	60%	58%
차폐	50mm 납(4파이)	50mm 납(4파이)	50mm 납(4파이)
1회 최대 측정용량	1000 kg	600 kg	1000 kg

측정챔버 1면에 검출기 배치는 1개에서 최대 약 4개씩 배치하고 있는데, 이렇게 검출기 수량이 많으면 챔버내 오염위치를 파악하는데 유리한 점은 있으나, 광전증배관의 증가로 인해 불감지역이 증가하는 단점이 있다. 또한 50 mm 납으로 측정챔버 전체를 차폐하고 있기 때문에 사용자가 검출기 교체 등 필요한 경우 차폐를 분해해야 하는 어려움이 있다.

2.2 국내원전 철제류 폐기물 현황

발생된 폐기물의 약 90% 이상은 철이며 일부 알루미늄, 스테인리스, 납 등이며, 형상은 배관, 공기조화기 필터 프레임, 방화문, 모터, H빔 및 전 등갓 등 매우 다양한 형태를 보이고 있다. 현재 원전에서는 생성원 별로 Fig. 1과 같이 약200 kg 단위로 분류하여 임시저장고에 보관하고 있다. 가동 중인 원전에서 지난 10여년간 발생된 고체폐기물은 평균적으로 연간 약 220 드럼규모이고 총 발생량은 약 4만드럼이며 이중 약 26%가 철제류 이다.

그러나 이중 제염 및 자체처분을 위해 임시저장은 인 폐기물은 총 2,500여 톤으로 추정되며, 이중 철제류 폐기물은 약 620여톤이 임시저장 중이다.^[2]



Fig. 1. Status of metal scrap for self disposal.

또한 원전 해체 시는 약 4만톤 가량(드럼 환산시 약 95,000 드럼)의 금속폐기물 발생이 예상되고 이중 92%는 비오염이며, 6%는 처리 후 재활용, 나머지 2% 만이 방사성폐기물로 분류되는 것으로 알려져 있어^[3] 상당수의 자체처분 폐기물이 발생될 것으로 보여진다.

2.3 검사장비 측정챔버 설계 및 제작

측정챔버 주요 특성은 Table 2와 같다. 플라스틱 섬광검출기외에 핵종분석을 2" × 4" × 16"의 NaI 섬광검출기를 측정챔버 좌/우면과 바닥면에 설치하였으며 플라스틱 섬광검출기는 챔버 1면당 2개씩 설치하였다.

Table 2. Design characteristics of KHNP's measurement chamber for clearance

구분	설계특성
검출기	Plastic Scintillation(12 ea) NaI 섬광검출기(3 ea)
검출기 배치	플라스틱 섬광검출기 : 2ea/1면 NaI 섬광검출기 : 좌/우/바닥 각 1ea
챔버형태	직사각형(1.5×1.0×1.0)m
검출영역	71%
차폐	50mm 납(4파이)

챔버 전체 면적에 대비 플라스틱 섬광검출기가 차지하는 면적은 71%로 불감지역을 최소화 하였다. 특히 NaI 섬광검출기의 주요 단점인 주변온도에 따른 파고 이동 현상 보정을 위해 ²⁴¹Am 선원을 검출기에 부착하였다. ²⁴¹Am에서 방출되는 저에너지 감마선(약 59 keV)의 온도에 따른 파고이동비를 이용하여 스펙트럼 전영역의 피크를 자동으로 보정할 수 있게 하였다. 또한 검출기 교체 등 유지보수를 용이하게 하기 위해서 외부 납차폐 분해가

필요없도록 검출부를 자동으로 인출할 수 있게 하였다. 즉 Fig. 2 와 같이 챔버 바닥면을 제외한 모든 검출기를 일체형으로 제작하여 필요시 자동으로 인출할 수 있다.

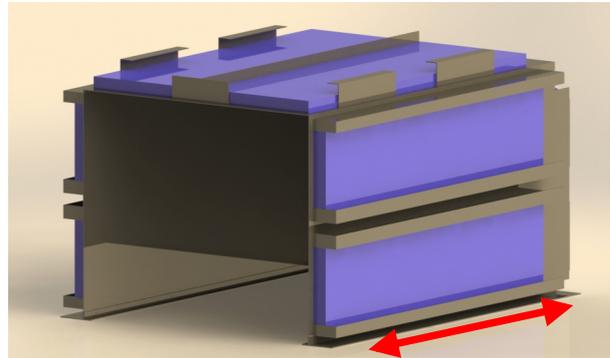


Fig. 2. Schematic diagram of detection part.

챔버형태는 철제류 자체분 대상폐기물의 길이가 보통 1m ~1.2m를 고려하여 한면의 길이를 1.5m인 장방형으로 하여 추가 절단 없이 측정할 수 있도록 하였다.

3. 결론

해외상용 검사장비에 비해 측정성능 및 편의성을 고려하여 자체처분 전용오염검사장비 측정챔버를 개발하였다. 폐기물의 총 감마 방사능외에 핵종분석이 가능하도록 하였으며, 개발된 측정챔버 조건에서의 MDA 모사결과 빈챔버에서 1분간 측정시 ⁶⁰Co 42 Bq, ¹³⁷Cs 78 Bq로 산출되었다. 2016년말 완료될 측정알고리즘 개발은 27개 지역에 대한 핫소스 판별, 챔버내 폐기물 부피(높이) 및 밀도에 따른 보정기능 등을 구현할 계획이다.

4. 참고문헌

- [1] IAEA Safety Series RS-G-1.7 'Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance.
- [2] 2013-50003339-단-0823TR "원전 저오염 방사성폐기물 자체처분 기술개발 연구 최종보고서 (2012).
- [3] 강기두, 이영주, 원유호 "방사성폐기물 자체처분 오염감시기 설계요건", 방사성폐기물학회 2014 추계학술발표회,441-442, 10.15~17, 2014, 여수.