토륨(Th-232)으로 오염된 방사성폐기물의 제염 방안 연구

김휘주, 박근택, 이승창
고려검사주식회사, 부산광역시 사상구 괘법동 584-5
kic@koreandi.co.kr

핵연료물질인 ^{232}Th를 사용하여 운영하는 원자력관련 사업자는 국내에서는 극히 소수이다. 핵연료물질인 ^{232}Th는 그 방사선적 위해성이 high radiotoxicity(Group 2)[ILO guidelines for the radiation protection of workers in industry]로 H-3, U-235, U-238보다 더 높다. 이러한 위해성에도 불구하고 ^{232}Th에 오염된 방사성폐기물에 대한 제염 방안 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 ^{232}Th에 오염된 방사성폐기물의 특성을 고찰하고, 시설 해체 공사시 발생가능한 방사성폐기물에 대하여 종류별(샌드위치 판넬, 계통 pipe, stainless steel, 덕트, 공기정화 필터류 등)로 최적의 제염 방안을 강구하는데 그 목적이 있다. ^{232}Th의 물리 화학적 특성으로 물리적 반감기는 1.4X 10^{10}년이며, 여섯 번의 알파와 세 번의 베타 입자를 방출 후 ^{208}Pb 으로 된다. ^{232}Th은 알파선을 방출하며 에너지는 3.83MeV 가 0.2%, 3.95MeV 가23%, 나머지 약 76.8%는 4.01MeV를 방출한다. ^{232}Th의 체내 유입 시 알파 핵종의 특성에 의해 폐의 침착부위인 점막(mucus)층, 섬모(cilia)층과 림프관(lymph nodes)에 많은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 이러한 특성으로 제염작업 시 체내 피폭 방지를 위한 다양한 방법들이 강구되어야 할 것이다. 발생가능한 방사성폐기물 종류 및 오염 특성은 표 1과 같으며 종류별로 표면오염도를 측정한 결과 공기정화 계통의 오염도가 높게 나타났으며, 함석으로 이루어진 덕트의 알파 표면오염도는 최대 0.43 Bq/cm^2 로 나타났다.

표 1. 방사성폐기물 종류 및 특성

구 분	발 생 원	오염부위 및 특성
샌드위치 판넬	사용시설 벽체	구성 : 0.5t 철판 및 스티로폼 오염 : 접촉면(상,하,좌,우)
계통 pipe	계통 배관등	오염 : 고착된 외부 및 내부
stainless steel	사용설비등	오염 : 연결 이음새 부분
덕트	공기정화 설비 라인	오염 : 내·외부 및 연결부
공기정화 필터	공기정화용	구성 : aluminum frame, wood frame, paper, glass fiber, 부직포 오염 : 전 구성품 (frame은 제염후 자체처분)

방사성폐기물의 종류별 제염 방안을 실험하기 위한 기본조건으로 제염할 대상면의 재질 및 형태, 면적을 동일하게 하며, 제염할 대상면의 방사능오염도가 동일한 지역을 선택한다. 또한 제염 시 균일한 힘을 가하여 제염을 실시한다. 측정 방법으로는 스메어용지에 의한 간접법과 직접법에 의한 측정을 실시하여 제염계수를 산출한다. 제염대상 방사성폐기물의 특성상 오염물질이 비산될 수 있는 브라스팅(blasting)기술은 배제되었으며, 또한 대상물에 손상을 줄 수 있는 연마제(abrasion)

등 기계적 제염 방법은 실험에서 제외하였다. 2차로 발생되는 방사성폐기물을 최소화 하고, 제염효과를 극대화 할 수 있는 화학적 제염 방법을 적용하여 실험하였다. 실험에 사용된 제염제의 특성 및 방법은 표 2에 요약하여 수록하였다.

표 2. 제염제 특성 및 제염방법

제염제	특 성	제염방법
계 면 활성제	오염물을 유제화하여 물과 증기사용에 의한 제염효과를 높여준다.	- 세제용액이 묻은 걸레로 문지른다. - 마른걸레로 닦아낸다. - 필요시 회전솔 이용
CR-1	EDTA 혹은 다른 착화제와 혼합하여 사용(표면에 느슨하게 붙어있는 오염 제거에 효과적)	- 용액을 표면에 묻힌 다음 일정 시간 경과 후 닦아낸다.
Starrett cleaner	Dipropylene glycol methyl ether + water 화합물(pH 11.3)	- 용액을 표면에 묻힌 다음 일정 시간 경과 후 닦아낸다.
질산 (17%)	탄소강에는 사용 불가 (화재 및 폭발 주의)	- 유기성 침전물을 용해시키고, 질산이온은 우라늄 이온과 용해성 흡착물을 형성하는 원리를 이용하여 제거
메 틸 알코올	휘발성이 뛰어나 정밀 장비 등 부식되기 쉬운 금속류 제염	- 부드러운 천에 묻힌 다음 닦아낸다.

각 대상 폐기물의 표면오염도가 가장 높은 부분을 선정하여 제염제별로 각 5회씩 제염 전후의 표면오염도를 측정하여 제염계수를 산정하였다. 제염계수 산정공식은 아래와 같다.

제염계수(Decontamination Factor : DF)

$$DF = \frac{\text{제염전의 방사능농도}(Radioactivity\ \ before\ \ Decontamination)}{\text{제염후의 방사능농도}(Radioactivity\ \ after\ \ Decontamination)}$$

제염제 종류별로 제염대상을 바꿔가며 제염계수 산출 실험결과 전체적으로 제염효율은 높은 것으로 나타났다. stainless steel의 표면 특성상 제염효율이 가장 높게 나타 났으며, 덕트는 일부 고착성 오염이 잔존하는 것으로 파악된다. 제염제 성능은 CR-1과 메틸 알코올의 성능이 우수한 것으로 입증되었다. 핵연료물질인 ^{232}Th 사용시설 해체 및 제염 작업 수행시 적절한 제염제와 제염방법을 선택하여 작업을 수행한다면 만족한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 표 3은 제염제별로 제염대상을 바꿔가며 실험한 제염계수를 나타낸 것이다.

표 3. 제염제별 제염대상 제염계수

제염대상 / 제염제	계통 pipe		stainless steel		샌드위치 판넬		덕 트	
	α	β	α	β	α	β	α	β
계면활성제	48	21	66	49	53	39	28	16
CR-1	54	39	80	59	43	18	35	21
Starrett Cleaner	32	18	35	27	47	31	25	11
질산(17%)	51	29	52	60	49	27	32	19
메틸 알코올	63	47	40	19	52	28	21	13