

물질통합을 이용한 금속방사성폐기물의 제염모사도표 오염경로 모사

한상욱¹, 박수리¹, 홍용호², 김병직^{1*}

¹송실대학교, 서울특별시 동작구 상도로 369

²(주)엑트, 대전광역시 유성구 테크노 9로 35

*bjkim@ssu.ac.kr

1. 서론

방사성폐기물은 방사성 물질 또는 그에 의해 오염된 물질로서 폐기의 대상이 되는 물질을 말한다. 이와 관련하여 전 세계적으로 발전용 원자로의 평균 가동년수는 약 30년으로써 국내외 원전 가동년수 증가에 따른 노후화로 원전 핵심기기인 증기발생기와 원자로헤드 교체 공사가 활발히 진행 중에 있다. 원전수명이 종료되는 발전용 원자로 또한 점진적으로 증가 추세에 있으며 현재까지 노후기기 교체는 국외의 경우 2040년까지 증기발생기 약 594기가 예상되고 있고, 2060년까지 증기발생기 880기, 원자로헤드 440기가 예상된다. 국내의 경우 현재까지 교체된 노후기기 중 증기발생기 8기, 원자로헤드 1기로서 2035년까지 증기발생기 52기가 추가로 교체되어 방사성폐기물이 배출 된다. 또한 2014년 방사성폐기물 분류기준이 기존 고준위와 중·저준위로 분류되던 것이 고준위, 중준위, 저준위, 극저준위로 변경되었다. 따라서 방사성폐기물에 대한 전번적인 정책변화로 인한 전체 금속방사성폐기물의 처분비용 절감을 위한 재활용과 규제해제 목적의 자체처분 중요성이 크게 부각되고 있다[2-3].

방사성폐기물의 처리는 기체폐기물, 액체폐기물, 고체폐기물로 분류되는데, 물리적 제염 방법 중 자기장, 초음파, 용융 제염이 방사성폐기물 처리에 있어 발생하는 고체, 액체, 기체의 방사성폐기물 검출 핵종 제염 경로를 알아보고자 한다. 물질통합을 이용한 제염모사도표 결과를 제염공정의 오염핵종 거동에 따른 2차 폐기물의 존재위치를 예측함으로써 2차 폐기물의 처리를 용이하게 할 수 있다 [1].

2. 본론

2.1 금속방사성폐기물의 오염제거

금속방사성 폐기물의 오염제거를 위해 적용되는 제염공정은 크게 건식과 습식이 있다. 건식 제염의 경우 제염효율이 낮거나 고비용(플라즈마 제염)이고, 습식의 경우는 화학제염공정 적용으로 효과는

높으나 다량의 2차 폐기물이 발생한다.

본 연구는 물리적 제염 방식으로 자기장 및 초음파 제염을 통한 고착성, 유리성 오염물을 제거하고, 용융제염을 통한 침투성 오염물을 제거하였다. 각각의 제염계수를 산출하여 제염모사도표에 적용하였다.

2.2 실험 개요

실험은 STS 304 Pipe, 두께 2 mm 원형 및 사각 모양으로 제염계수를 확인하고, 자기장제염, 초음파제염, 용융제염의 순서로 진행하였다. 제염계수는 표면에 오염이 되었다고 가정하고, 외·내부 도색 후 도색된 양(g)에 자기장 제염 후, 초음파 제염 후, 용융 제염 후, 각각 처음 질량(A)에서 남아있는 잔존량(B)으로 나눈 값(A/B)이다. 모의시편으로 실험을 진행하고, 핵종별 함량의 경우 실제 시편의 오염된 비율 평균값을 사용하였다.

2.2.1 실험 과정

제염계수를 얻기 위해 실험은 길이 5~20 cm, 직경 1~3 in, 20~50 mm의 원형 및 사각 파이프를 자기장의 일정한 회전 속도에서 시간이 지남에 따라 제염을 진행하였다. 그 다음 초음파의 cavitation을 통한 제염을 진행 후 제염계수를 확인하였다. 1500°C의 용융제염을 통한 자기장, 초음파 제염에서의 잔여물을 제거하였다.

2.2.2 실험 보정

자기장 제염의 제염 대상물에 대한 원형 및 사각 단면 모양에 따른 제염계수의 영향을 보정 하였다. 사각 강관의 가로x세로의 길이가 원형의 직경과 비교 할 수 있도록 다음 식(1)을 사용하였다.

$$d_e = 1.30 \times (a \times b)^{0.625} / (a + b)^{0.25} \quad (1)$$

Equivalent diameter

d_e = 상당직경 (사각 직경의 원형직경 환산 계수)

a = 가로 또는 세로 길이 (mm, inches)

b = 세로 또는 가로 길이 (mm, inches)

2.3 제염계수를 통한 제염모사도표

자기장, 초음파, 용융 제염을 통한 제염계수의 산출 후 제염 모사 도표에 적용하였다. 실제 방사능에 오염된 파이프의 방사능 농도 평균값을 기준으로 방사능 총량은 500 Bq/g로 가정하고, 자기장, 초음파, 용융 제염계수는 각각 4, 7, 9의 제염계수 값을 산출하였다.

Table 1. Simulated decontamination of radionuclides detected

시편명	방사능 총량	검출 핵종	핵종별 함량	방사능량	
STS304 Pipe	500 Bq/g	Co ⁵⁸	0.24	120	
		Co ⁶⁰	0.40	200	
		Cs ¹³⁷	0.36	180	
오염경로 비율					
자기장제염		초음파제염		용융제염	
gas	solid	gas	liquid	gas	solid
0.30	0.70	0.10	0.90	0.40	0.60
0.30	0.70	0.10	0.90	0.40	0.60
.070	0.30	0.20	0.80	0.50	0.50

핵종별 함량의 경우 실제 시편 전체의 오염된 비율 평균값을 사용하였다. 검출핵종이 Co⁵⁸, Co⁶⁰, Cs¹³⁷ 일 경우 500 Bq/g의 방사능 총량 중 Co⁵⁸의 함량이 0.24일 경우 방사능량(120 Bq/g)을 알 수 있다.

Table 2. Decontamination of magnetic, ultrasonic, melting (Bq/g)

검출 핵종	제거 방사능량	자기장 오염경로 예측 모사			모재 잔류 방사능량
		gas filter	solid sludge	liquid sludge	
Co ⁵⁸	90.0	27.0	63	0.0	30.0
Co ⁶⁰	150.0	45.0	105.0	0.0	50.0
Cs ¹³⁷	154.29	108.0	46.29	0.0	25.71
total	394.29	180.0	214.29	0.0	105.71
검출 핵종	제거 방사능량	초음파 오염경로 예측 모사			모재 잔류 방사능량
		gas filter	solid sludge	liquid sludge	
Co ⁵⁸	25.71	2.57	0.0	23.14	4.29
Co ⁶⁰	42.86	4.29	0.0	38.57	7.14
Cs ¹³⁷	22.04	4.41	0.0	17.63	3.67
total	90.61	11.27	0.0	79.35	15.10
검출 핵종	제거 방사능량	용융 오염경로 예측 모사			모재 잔류 방사능량
		gas filter	solid sludge	liquid sludge	
Co ⁵⁸	3.81	4.52	2.29	0.0	0.48
Co ⁶⁰	6.35	2.54	3.81	0.0	0.79
Cs ¹³⁷	3.27	1.63	1.63	0.0	0.41
total	13.42	5.70	7.73	0.0	1.68

방사능량에 실험을 통해 얻은 제염계수 값을 나누어 주면 모재 잔류 방사능량을 알 수 있다. 이는 제거방사능량이 확인 가능하고 가정한 오염경로 비

율의 수치에 따라 gas filter, solid sludge, liquid sludge 의 오염경로 예측 모사가 가능하다 [4].

3. 결론

모의 시편을 통한 실험을 진행하였다. 방사능 총량이 500 Bq/g일 경우, 오염경로 비율에 따라 자기장 제염을 통한 모재 잔류 방사능량 105.71 Bq/g, 초음파 제염을 통한 모재 잔류 방사능량 15.10 Bq/g, 용융을 통한 모재 잔류 방사능량 1.68 Bq/g로 나타났다. Hot sample을 통한 실험을 진행하여 제염계수, 오염경로의 자기장, 초음파, 용융제염의 오염경로 비율을 정확히 파악한다면, 제염공정의 오염핵종 거동에 따른 2차 폐기물의 존재위치를 예측하여 폐기물 처리를 용이하게 할 수 있다.

4. 감사의 글

"본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥센터의 ICT융합고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행"(IITP-2015-H8601-15-1001) 되었고, 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학협력력 기술개발사업(No. 201413201503)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

5. 참고문헌

- [1] 홍용호, "물질통합을 활용한 효율적 금속 방사성폐기물 제염방법 연구", 박사학위논문 (2014).
- [2] MOST, Strategy Establishment in Preparedness of Upcoming Nuclear Facility D&D Technology Needs, (2012).
- [3] 홍용호, 박수리, 한상욱, 김병직, 소형 금속방사성폐기물 제염장치 개발, Journal of Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology, Vol. 12, No. 1, 79-88, (2014).
- [4] 한상욱, 박수리, 홍용호, 박형민, 김병직 "제염 모사도표를 이용한 제염계수 및 방사능 오염경로 추적" 한국방사성폐기물학회학술발표회, (2014).