

## 수용성 방호용품 제염 감용처리 기술 개발

김진길, 김현기, 홍성준, 이상태, 윤용기\*, 허성기\*, 이병국\*

하나검사기술(주), 경기도 하남시 감북동 412-5

\*한국수력원자력, 경상북도 경주시 양남면 나아리 260

[freelying04@naver.com](mailto:freelying04@naver.com)

### 1. 개요

국내 각 원전 부지별 보유하고 있는 폐기물 저장고의 저장능력이 포화상태에 도달하고 있으며 경주의 중저준위 영구처분장 또한 당초 상업 운전 예정일보다 2년 이상 지연됨에 따라 원전에서 발생되는 방사성폐기물의 감용화는 당면 과제로 대두되었다. 원전 운영 중 발생된 폐기물 드럼의 처분비용도 드럼 당 약 700 만원을 초과할 것으로 예상하고 있어 이들 폐기물의 처분비용 또한, 원전 사업자에겐 상당한 부담으로 작용할 것을 판단된다. 국내 원전에서 발생되는 폐기물발생 특성을 2003~2005년까지 발생된 폐기물에 대해 유형별로 살펴본 결과, 잡고체 폐기물 발생량이 83%로 주종을 이루었으며, 그 중에서도 가연성폐기물이 전체의 반 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 가연성폐기물의 발생은 원전의 가동과 더불어 필연적으로 발생될 수밖에 없는 상황을 감안할 때, 이러한 유형의 폐기물 발생량을 저감하기 위한 근본적인 해결책이 요구된다. 원전 종주국인 미국의 경우도 3곳의 영구처분장이 포화상태에 도달하고 처분비도 하루가 다르게 치솟고 있어 이들 폐기물의 감용화를 위한 다양한 연구와 노력이 진행되고 있는 실정이다. 특히, 85%에 달하는 미국 원전에서는 이미 PVA(Polyvinyl alcohol)로 제조된 방호용품을 채택하여 사용하고 있으며, 이러한 재질의 방호용품 채택으로 방사성 폐기물 발생량 저감화에 크게 기여해 오고 있다. 미국 원전과 유사한 환경에 놓여있는 국내에서도 발생 폐기물의 처분 제한성을 감안할 때 감용 효과가 뛰어난 수용성 방호용품의 적용은 방사성폐기물 저감화에 대한 해답을 지니고 있다고 본다. PVA 물질은 다른 고분자 물질과는 달리 면(Cotton)에 가까운 물리·화학적 특성을 지니고 있으면서도 100℃의 물에 용해되는 장점을 가지고 있다. 이 PVA 재질의 수용성 방호용품을 전량 용해시켜 최종 처리 후 폐액 중에 함유된 방사성 물질만을 MDA 미만으로 제거하여 자체처분을 유도할 수 있다면 국내 원전에서 발생되는 가연성 폐기물을 상당부분 감용시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 이러한 수용성 방호용품의 특징을 감안해, 감용 처리된 PVA 용액을 소의 소각시설에서 자체처분 할 수 있도록 유도하기 위해 개발했던 감용 처리기술과 성능 시험결과에 대해 기술하였다.

### 2. 본론

#### 2. 1. 시스템 구성

본 설비의 주요 특징은 세탁, 용해 및 농축 공정이 단일 반응기에서 이뤄지므로 설비 설치 면적을 최소화 할 수 있도록 구성하였으며, 특히 농축공정에서 발생하는 응축수를 용해공정에서 재활용함으로써 폐수발생이 없는 친환경적인 무방류 처리설비를 구축하였다.

- ◎ 제 1 단계(분리공정) : 고오염 방호용품과 저오염 방호용품의 분리
- ◎ 제 2 단계(세탁공정) : 처리 대상 수용성 방호복으로부터 H-3, C-14, 및 입자성 물질의 1차 제거
- ◎ 제 3 단계(용해공정) : 수용성 방호복에 부착된 감마핵종 제거를 위한 전처리 공정
- ◎ 제 4 단계(감마핵종제거공정) : 응집, 필터 및 흡착 기술을 이용한 PVA 용액 중 감마핵종제거 공정

표 1. Pilot 규모 수용성 방호용품 감용 제염설비 사양

항 목	사양	비고
전원	220V/3상/50A	-
사용 전력	12kWh(최대)	3kWh(평균)
크기(가로×세로×높이)	2,930mm × 900mm × 1,775mm	이동형 설비
처리용량	6벌/Batch	1일 3Batch 운전

2. 2. 실험

본 실험에 사용된 수용성 방호용품은 월성 1호기 대규모 설비개선 공사에서 사용된 작업복이며, 실험은 월성 제1발전소 2호기 제염실에서 수행되었다. 별도 보관 중인 수용성 작업복은 세탁공정을 통해 감마핵종 제거를 위한 전처리 공정을 거친 후 98~100℃의 고온 반응로에서 1차 용해시킨 후, 25~30wt% 용액으로 농축하였다. 농축된 PVA 용액은 응집반응조로 이송되며, 감마핵종제거를 위한 pH 조절과 소량(0.2mL/L)의 응집제 투입/혼합 과정을 거친다. 응집반응조에서 응집제와 충분한 혼합이 진행된다면 여과시스템 및 선택적 방사성핵종 제거공정을 거쳐 감마핵종을 제거 하며, 방사성물질이 제거된 PVA 용액은 감용화를 위해 건조공정을 거친 후 자체처분이 가능한 고체폐기물로 전환시킬 수 있다.

2. 3. 실험결과

Pilot 규모의 수용성 방호용품 감용 제염설비를 이용해 월성 1호기 대규모 설비개선 공사에서 사용된 작업복을 제염한 결과는 다음 표 2와 같다. 실험 #1에서는 세탁공정에 의한 수용성 방호복의 핵종 제거 효율 평가를 수행하였으며, 실험#2에서는 수용성 방호복 용해 후 PVA 용액에서의 핵종 제거 효율을 수행하였다. 실험결과 세탁공정에서의 DF값은 약 4.4로 나타났으며, 응집제를 이용한 응집/여과 공정에서의 DF값은 약 179.3으로 나타났다. Cs 핵종을 제거하기 위해 설치된 선택적 Cs 제거설비에 의한 <sup>137</sup>Cs 제거효율은 매우 우수한 것으로 나타났다.

표 2. 수용성 방호복 제염공정별 핵종농도 분석 결과

핵종	실험 #1		실험 #2		
	원 방호복	세탁 후	용해 후	여과 후	선택적 Cs 매질 사용후
<sup>54</sup> Mn	1.37×10 <sup>0</sup>	4.28×10 <sup>-1</sup>	3.78×10 <sup>-2</sup>	1.39×10 <sup>-3</sup>	MDA미만 (2.14×10 <sup>-3</sup> )
<sup>59</sup> Fe	4.87×10 <sup>0</sup>	MDA미만 (4.12×10 <sup>-3</sup> )			
<sup>60</sup> Co	4.02×10 <sup>0</sup>	6.70×10 <sup>1</sup>	1.10×10 <sup>2</sup>	MDA미만 (5.88×10 <sup>-4</sup> )	
<sup>95</sup> Nb	5.57×10 <sup>0</sup>	1.44×10 <sup>0</sup>	5.80×10 <sup>1</sup>	MDA미만 (1.49×10 <sup>-3</sup> )	MDA미만 (4.96×10 <sup>-4</sup> )
<sup>110m</sup> Ag			2.75×10 <sup>3</sup>	MDA미만 (2.02×10 <sup>-3</sup> )	
<sup>95</sup> Zr	2.50×10 <sup>0</sup>	7.17×10 <sup>0</sup>			
<sup>137</sup> Cs	2.94×10 <sup>-1</sup>		7.87×10 <sup>-2</sup>	2.57×10 <sup>-3</sup>	MDA미만 (1.20×10 <sup>-3</sup> )
Total activity (Bq/g)	1.42×10 <sup>1</sup>	3.26×10 <sup>0</sup>	7.1E×10 <sup>1</sup>	3.96E×10 <sup>3</sup>	-
DF	-	4.4	-	179.3	-

3. 결론

본 연구를 통해 개발된 감용 제염처리 설비를 통해 수용성 방호용품은 25~30wt%의 PVA 용액 조건에서 모든 핵종이 MDA 수준으로 처리될 수 있음을 확인하였다. 최종 처리된 잔유 PVA 용액은 규제기관의 승인을 거쳐 소외에서 소각 처리하게 된다면, 중·저준위 가연성 폐기물의 획기적인 감량을 기대할 수 있으며, 이를 통해 원전운영비 절감, 방사성폐기물 발생량 저감 및 작업자의 방호 및 위생 측면 등 다양한 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 원자력발전백서 2003년 ~ 2005년
- [2] 원자력발전소 방사선 관리 연보(2004)