

농축폐액 건조분말 파라핀 고화드럼 처리기술 개발

최영구, 김대환, 김병태, 안승건, 방수일*, 박종민*

선광원자력안전(주), 서울시 구로구 구로동 106-4번지

*한국수력원자력(주), 서울시 강남구 삼성동 영동대로 512번지

choivk09@gmail.com

1. 서론

원자력발전소를 운영하면서 발생하는 액체폐기물들은 CWDS(Concentrated Water Dry System)를 통하여 물은 증발, 응축해서 회수되고 방사성폐기물들은 농축해서 분말 형태로 보관한다. 이들 농축폐액분말들은 고화 과정을 거치게 되는데 파라핀 고화의 경우, 제조과정에서 층 분리가 일어나 균질성 확보가 어렵고 내 침출 특성이 불량하여 중·저준위 방사성폐기물처분장 인수기준을 만족하지 못하고 있다. 이것을 해결하기 위해서 한국수력원자력(주)는 파라핀을 대체할 새로운 농축폐액 건조분말 고화기술을 개발하기 위해서 노력하고 있으며 또한 현재 각 원전에 저장되어 있는 약 3,650드럼의 파라핀고화드럼을 처리해서 최종적으로 방사성폐기물처분장으로 안전하게 인도하기 위해서 처리 기술을 개발하고 있다.

본 연구의 목적은 현재 발전소에 저장되어 있는 파라핀고화드럼 처리를 위해서 파라핀과 방사성폐기물을 분리하고 분리된 파라핀은 자체처분이 가능한 수준으로 제염하고, 분리된 방사성폐기물은 방사성폐기물처분장 인수기준을 만족할 수 있도록 고화 하는데 있다.

2. 본론

2.1 파라핀 고화체 분리

파라핀고화는 폐기물 발생량 저감 차원에서 1995년부터 도입되었으며 새로운 대체 기술이 확보 되지 못한 상태에서 현재까지 발전소에서 진행되고 있다. 2011년 1월 기준으로 원전별 파라핀 고화드럼 발생현황은 고리, 울진, 영광에 각각 942드럼, 1,246드럼, 1,462드럼이 저장되어 있다. 실증실험을 위해서 각 발전소에서 사용되고 있는 200ℓ 파라핀 고화 드럼을 축소하여 30ℓ 크기의 고화드럼을 제작하였으며, 이것을 사용하여 2011년 4월 5일부터 8일 사이에 진행된 고리1발전소 파라핀고화드럼 생성과정에서 30ℓ 용기의 파라핀 고화드럼 5개를 만들었다. 그림1은 파라핀 고화체

처리를 위한 30ℓ 크기의 실증장치이다. 반응기에 파라핀 고화체를 투입하기 위해서 드럼에 히팅자켓을 체결하고 반응기 상부에 거치한 후 가열을 시작하였다. 드럼 하부의 온도를 85℃로 설정하여 서서히 온도를 올려주면서 설정한 온도에 도달하면 드럼 측면부위의 온도를 85℃에서 10분 동안 가열한다. 이 과정에서 파라핀 고화체가 드럼으로부터 완전히 분리되어 반응기 내부에 투입되었다.

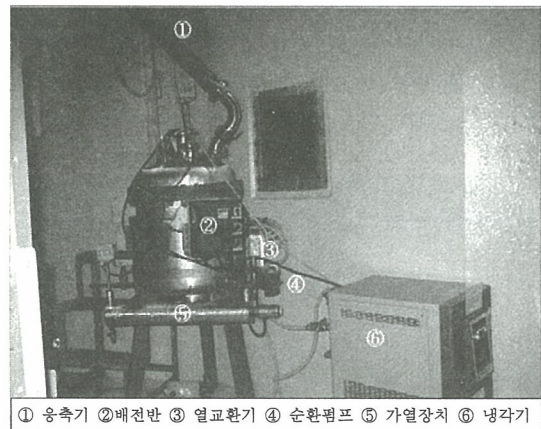


Fig. 1. Treatment systems for the paraffin drum.

2.2 파라핀 고화체 용해

30ℓ 용량의 파라핀 고화체가 투입된 반응기 상부의 뚜껑을 닫고 분리용매인 SK-SOL-001과 SK-SOL-002를 각각 3ℓ 씩 주입한다. 파라핀 고화체의 용해를 위해서 전기 가열식 증탕 용기에 95% 글리세린 열매체를 주입하고 반응기의 온도를 102℃로 유지하면서 1시간 동안 교반하였다. 이때 반응기 내부의 물이 증발하지 않도록 응축기를 가동하여야 한다. 초기용해과정에서는 고화체의 강도로 인해서 교반기를 사용하기가 어렵기 때문에 단지 용매와의 반응에 의해서만 용해가 일어나도록 하였으며, 용해가 일정 정도 진행된 후에 교반기를 사용하여 교반하였다.

2.3 파라핀 분리

파라핀과 농축폐액이 혼합된 용액으로부터 파라핀을 분리하기 위해서 용해된 파라핀 고화체 혼합용액을 102℃에서 1시간 동안 서서히 교반한 후 층 분리를 위해서 동일한 온도에서 교반 없이 1시간 동안을 유지하였다. 시간이 지나면서 혼합용액은 밀도차이에 의해서 파라핀 층과 물 층으로 분리가 일어났으며 분리된 파라핀 층의 응고를 위해서 온도를 50℃ 이하로 낮추고 일정 시간을 유지해 주었다. 그림2는 반응기 상부에서 바라본 분리 전(좌측)과 분리 후(우측)의 상태이다. 층 분리전의 경우 폐액과 함께 섞여 있기 때문에 갈색을 띠고 있지만 분리 후에는 파라핀 층이 반응기 상부에 위치하기 때문에 순수한 파라핀의 색깔을 보여 준다. 파라핀 층이 응고된 후 폐액을 반응기 하부의 배수구를 통해서 임시저장 용기에 받고, 폐액 배수가 완료되면 반응기의 온도를 90℃로 올려서 파라핀을 용해시켜서 하부 배수구를 이용하여 깨끗한 용기에 배수하였다. 분리된 폐액은 분리에 사용된 물의 양을 증발시키기 위해서 반응기에 다시 투입되었고, 파라핀은 세정되었다.

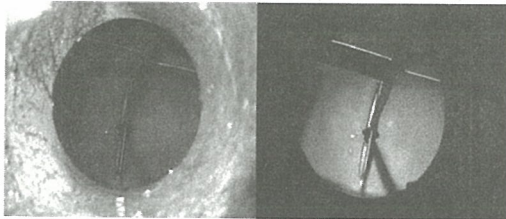


Fig. 2. Separation of the paraffin (before & after).

2.4 파라핀 세정

분리된 파라핀은 자체처분을 위해서 다양한 형태의 화학세정 실험을 수행하였으며 벤토나이트 혼합 시약인 SK-CLE-001의 세정효과가 가장 우수하였다. 파라핀 세정방법은 분리된 파라핀 1kg을 세정장치에 투입하고 증탕용기를 사용하여 내부 온도를 90℃로 가열하였다. 용해된 파라핀에 SK-CLE-001 100ml을 주입하고 온도를 유지하면서 충분히 교반한 후 파라핀 층을 분리하였으며 분리된 파라핀과 세정액은 고리1발전소의 핵종분석기를 시용하여 분석하였다. 표1은 실증실험을 위해서 만들어진 30ℓ 크기의 파라핀 고화드럼으로부터 분리된 파라핀의 세정 전, 후의 핵종 분석값이다. 세정 후 모든 핵종에서 자체처분 기준치 이하로 나타남을 확인 할 수 있었다.

Table 1. Radioactivity of separated paraffin.

구분	세정 전 (Bq/g)	세정 후 (Bq/g)
드럼 #1	3,600	0.043
드럼 #2	4,300	0.046
드럼 #3	1,600	0.022
드럼 #4	2,300	0.026

2.5 고화

분리된 방사성 폐액은 부피증가율을 15% 이내로 유지하면서 방사성폐기물처분장의 인도기준을 만족할 수 있도록 새로운 고화방법을 통하여 고화 되어져야 한다. 이를 위하여 헝가리의 G.I.C.사와 미국의 FTI사의 고화제를 선택하여 고화를 수행하였다. 고화는 고리1발전소 실험을 통해서 제작하였으며 처분적합성 시험을 위해서 지름이 5cm, 높이가 10cm인 시험용 고화체를 각각 30개씩 제작하였으며 30ℓ 드럼 고화체를 각각 1개씩 제작하였다. 처분적합성 시험용 고화체들은 현재 한국원자력연구원에서 시험이 진행 중이다.

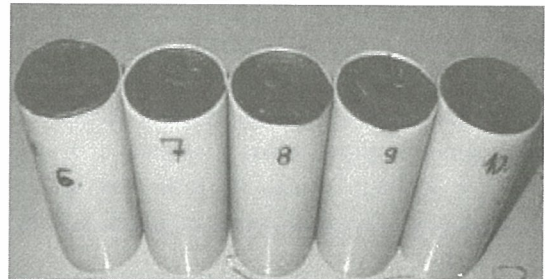


Fig. 3. Solidification cylinders for testing.

3. 결론

원전에 저장된 파라핀 고화 드럼을 처리하기 위해서 파라핀과 농축폐액 건조분말의 분리장치를 개발하였다. 고리1발전소 실증 실험을 통해서 파라핀 고화체를 드럼으로부터 분리하였으며, 파라핀과 물의 밀도차를 이용하여 파라핀 층과 농축폐액 혼합용액 층을 분리하였다. 분리된 파라핀은 벤토나이트 혼합시약을 사용하여 자체처분이 가능한 수준으로 제염이 가능하였으며, 분리된 방사성폐액은 방사성폐기물처분장의 인수기준을 만족하기 위해서 새로 개발한 고화기술을 적용하여 고화되어졌다.