

실제규모 폴리머고화체 성능평가

박정수, 이병식, 조동준*

한국전력기술(주), 경기도 용인시 기흥구 용구대로 2354

*한국수력원자력(주), 서울시 강남구 영동대로 520

jspark@kepco-enc.com

1. 서론

원전에서 발생하는 고체방사성폐기물은 폐수지, 농축폐액 슬러지와 같은 습식폐기물과 건식폐기물로 분류된다. 특히, 습식폐기물은 운반 및 처분하기 전에 고화하거나 고건전성용기에 포장하여야 한다. 반면에 건식폐기물은 일반적으로 등급 "A"로 안정화 처리를 요구하지 않는다. 습식폐기물 고화처리 방법으로 현재 다양한 고화체와 기술들이 이용되고 있으며, 폴리머를 이용하여 폐기물을 고정화하는 기술이 개발되어 적용되고 있다. 습식폐기물을 처리하기 위하여 폴리머고화설비가 신고리 1,2호기에 최초로 도입된 이후 후속 원전에도 적용되고 있다.

폴리머고화체는 미국 NRC의 고화체에 대한 기술지침 및 국내 방사성폐기물처분장의 인수기준을 만족하여야 한다. 국내 신고리 1,2호기 폴리머고화설비 공급사와 신고리 3,4호기 공급사는 농축폐액 및 폐수지고화체가 성능기준을 만족함을 보여주기 위하여 제3기관을 통해 실험실규모 및 실제규모의 폴리머고화체 성능시험을 수행하였다.

본 논문에서는 폴리머고화설비의 인허가 시험성을 입증하기 위하여 실제규모의 폴리머고화체 성능시험을 추가적으로 수행한 국내 공급사들에 대해 폴리머고화체의 안정성 요건을 만족하는지를 평가하였으며, 그 결과를 제시한다.

2. 본론

2.1 고화체 성능시험 허용기준 및 시험 결과

2.1.1 고화체 성능시험 허용기준

폐기물 고화체의 구조적 안정성을 입증하기 위한 시험은 Table 1과 같이 미국 NRC의 고화체에 대한 Technical Position에 제시된 시험 방법 및 허용기준을 적용하였다.

신고리 1,2호기 및 신고리 3,4호기 폴리머고화설비 공급사는 제3기관을 통해 농축폐액 과립 및 이온교

Table 1. Acceptance Criteria for Test of Waste Form.

시험 종류	시험 규격 (절차)	허용 기준
단순 압축강도	NRC TP (Rev.1) ASTM C39	500 psi 이상
열순환	NRC TP (Rev.1) ASTM B553	육안검사, 열순환 후 압축강도 기준 만족
방사선 조사 (수지 : 10 ⁸ rads) (기타 : 10 ⁹ rads)	NRC TP (Rev.1)	육안검사, 방사선 조사 후 압축강도 기준 만족
미생물	NRC TP (Rev.1) ASTM G21 & G22	육안검사, 미생물 시험 후 압축강도 기준 만족
침출 (90일 침수)	NRC TP (Rev.1) ANS 16.1	침출지수 6 이상
침수 (90일 침수)	NRC TP (Rev.1) ANS 16.1	육안검사, 침수 전 압축강도 75% 이상
유리수	NRC TP (Rev.1) ANS 55.1	고화체 제척의 0.5% 미만
Full Scale (28일 양생)	NRC TP (Rev.1)	압축강도/침수 시험 기준 만족

2.1.2 폴리머고화체 성능시험 결과

Table 2. Test Results of Radwaste Waste Form.

항목	허용기준	SKN 1,2 공급사 (과립/수지)	SKN 3,4 공급사 (과립/수지)	
단순 압축강도	> 500 psi	7,707 psi/ 4,456 psi	7,512 psi/ 3,248 psi	
방사선 조사 (수지: 10 ⁸ rads) (기타: 10 ⁹ rads)	> 500 psi	3,400 psi/ 2,917 psi	3,118 psi/ 4,336 psi	
침출시험 (90일 침수)	침출지수 > 6	Co : 13.8/∞ Cs : 10.2/∞ Sr : ∞/∞	Co : 12.8/15.6 Cs : 11.8/9.8 Sr : 14.4/15.9	
침수시험 (90일 침수)	> 500 psi	6,290 psi/ 4,340 psi	6,135 psi/ 2,818 psi	
열순환시험	> 500 psi	7,014 psi/ 4,346 psi	7,295 psi/ 3,213 psi	
생분해성시험 (G21 : G22)	> 500 psi	5,700 : 5,850 psi/ 3,382 : 3,550 psi	7,290 : 6,628 psi/ 3,084 : 4,022 psi	
실 제 규 모	압축강도	> 500 psi	3,335 psi/ 2,421 psi	3,830 psi/ 3,321 psi
	침수시험	> 500 psi	3,583 psi/ 2,002 psi	3,846 psi/ 3,210 psi
	유리수	0.5% 미만	없음/없음	없음/없음

환수지 고화체 시편으로 실험실 및 실제 규모의 폴리머고화체 성능시험을 수행하였으며, 시험결과 고화체의 미경화 부분, 갈라짐, 박편 및 변형이 없었으며, Table 2에서 보듯이 성능시험 기준을 만족하였다.

2.2 실제규모 농축폐액고화체 성능시험

2.2.1 농축폐액고화체 제작 현황

신고리 1,2호기 및 신고리 3,4호기 폴리머고화설비 공급사는 규제기관의 요청에 따라 인허가 시현성을 입증하기 위해 실제규모의 농축폐액 폴리머고화체 성능시험을 추가적으로 수행하였다. 실제 신고리 1,2호기 역삼투압설비 운영시 발생하는 농축폐액의 성분을 분석하고, 이를 근거로 모사폐액(B:30w%, Ca:19w% 외 7개 원소 포함)을 제조하여 각각 신월성 1,2호기* 및 신고리 3,4호기의 농축폐액처리설비를 이용하여 건조된 파립물을 생산한 후 200리터 드럼에 넣고 신월성 1,2호기* 및 신고리 3,4호기의 폴리머고화설비로 폴리머고화체를 제작하였다>(*관리구역 설정으로 성능시험이 불가능함에 따라 신고리 1,2호기와 동일한 설비이므로 대체 사용됨.)

2.2.2 농축폐액고화체 성능시험 결과

신고리 1,2호기 농축폐액폴리머고화설비 공급사는 28일 경과 후 농축폐액고화체 1드럼에 대해 4곳을 천공, 원기둥 형태(직경 5 cm, 높이 10 cm)의 시편을 만들어 이중 7개와 12개를 선정하여 압축강도 및 침수시험에 사용하였다. 농축폐액고화체의 외관 육안검사 결과 고화상태가 양호하고 균일했으며, 유리수가 측정되지 않았다.

신고리 3,4호기 농축폐액폴리머고화설비 공급사는 28일 경과 후 농축폐액고화체 2드럼에 대해 각각 8곳을 천공하여 총 80개의 시편을 만들어 이중 20개와 10개를 선정하여 압축강도 및 침수시험에 사용하였다. 농축폐액고화체의 외관 육안검사 결과 고화상태가 양호하고 균일했으며, 유리수가 측정되지 않았다.

신고리 1,2호기 및 신고리 3,4호기 농축폐액폴리머고화설비 공급사가 수행한 실제규모 성능시험 결과(평균 값)는 Table 3과 같다.

Table 3. Test Results of R/O Con. Waste Form

종류	유리수	압축강도시험 (각 10개 시편)	침수시험(90일) (각 3개 시편)	
1차	양이온 수지	없음	2,448 psi	2,464 psi
	음이온 수지	없음	2,011 psi	1,657 psi
	혼상이온 수지	없음	2,284 psi	2,002 psi
2차	음이온 수지	극미량	1,433 psi	N/A
	혼상이온 수지	없음	2,054 psi	N/A
3차	혼상이온 수지	없음	2,421 psi	N/A

2.3 실제규모 폐수지고화체 성능시험

2.3.1 폐수지고화체 제작 현황

신고리 1,2호기 폐수지폴리머고화설비는 신고리 3,4호기와 공용으로 사용되며, 신고리 1,2호기 공급사는 규제기관의 요청에 따라 실제규모의 폐수지 폴리머고화체 성능시험을 수행하기 위하여 3차에 걸쳐 1,400리터 드럼 6개의 폐수지고화체를 제작하였다.

2.3.2 폐수지고화체 성능시험 결과

폐수지고화체에 대한 1차(각 드럼당 압축강도 시험용 시편 10개, 침수시험용 시편 3개), 2차(각 드럼당 압축강도 시험용 시편 10개) 및 3차(압축강도 시험용 시편 10개) 성능시험 결과(평균값)는 Table 4와 같으며, 변형, 균열 및 파쇄현상 없이 외관 상태는 양호하였다.

Table 4. Test Results of Spent Resin. Waste Form

항목	허용기준	SKN 1,2 공급사 (파립)	SKN 3,4 공급사 (파립)
단순 압축강도	> 500 psi	3,335 psi	3,700 psi
침수시험	> 500 psi	3,341 psi	시험중

3. 결론

폴리머고화설비의 인허가 시현성을 입증하기 위한 실제규모 폴리머고화체 성능시험을 통해 국내 공급사가 폴리머고화체의 안정성 요건을 만족하는지를 평가하였으며, 모두 폴리머고화체의 안정성 요건을 만족하였음을 확인하였다.

4. 참고문헌

- [1] NRC Technical Position on Waste Form, Rev.1, 1991.
- [2] 서울대학교/한국원자력엔지니어링(주) "폴리머고화체 성능입증 보고서", 2010.
- [3] 군산대학교/㈜아해 "폴리머 고화체 성능입증 보고서", 2010.