

인산칼슘이 함유된 재생시멘트의 방사성 폐기물 고화재 활용성 검토

Analysis of Utilizing Recycled Cement Containing Calcium Phosphate as a Solidifying Material for Radioactive Waste Disposal

공 동 건*

Gong, Dong-Geon

김 지 현**

Kim, Ji-Hyun

정 철 우***

Chung, Chul-Woo

Abstract

For the stable management of radioactive waste, it is necessary to secure a solidification treatment technology capable of immobilizing hazardous radioactive elements in a solid matrix. In this study, the feasibility of using recycled cement recovered from waste concrete as a solidifying material for radioactive waste was analyzed.

키 워 드 : 인산칼슘, 재생시멘트, 방사성 폐기물 고화재

Keywords : calcium phosphate, recycled cement, solidifying material for radioactive waste

1. 서 론

현재 국내에서는 원자력 발전시설 관리 및 처분에 대한 위험성이 대두되고, 환경적으로 미치는 부정적 영향에 대한 관심이 증대되고 있다. 이에 따라, 고리1호기의 영구 정지를 시작으로 노후 원자력 발전시설의 운영을 중단하는 등 원자력 발전 산업이 점진적으로 감축되고 있다. 원자력 발전 시설의 가동이 중단됨에 따라 기존 시설물의 해체에 관한 문제가 어려운 현안으로 남아있는 실정이다. 또한 원전 해체 시 발생하는 콘크리트 폐기물은 전체 폐기물 중 약 70%의 높은 비율을 차지하며 국내의 경우 폐기물을 처리할 대지가 한정적이다. 이에 해체 시 발생하는 콘크리트 폐기물 미분말을 활성화시켜 폐기물 고화재로 활용하기 위해 인산칼슘이 함유된 재생시멘트의 방사성 폐기물 고화재로서 활용가능성을 확인하고자 한다.

2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에서는 표 1과 같이 시멘트 페이스트 배합의 바인더 (binder)로 재생시멘트와 인산칼슘을 사용하였으며, 배합수로 Di water 및 CsCl 3M 수용액을 사용하였다. 재생시멘트는 폐콘크리트에서 굵은 골재를 선별하고 잔류한 모르타르를 600℃에서 2시간 소성하고 22시간동안 milling 처리하여 회수된 150 μ m 이하의 미분말을 활용하였다. 인산칼슘은 tricalcium ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 삼전순약공업(주), Korea) 및 tetracalcium phosphate ($\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_2\text{O}$, Aladdin, USA) 2종류를 사용하였다.

표 1. 인산칼슘이 함유된 재생시멘트 배합표

번호	분류	배합수 종류	W/B	TriCalcium / Tetracalcium Phosphate 치환율(wt.%)	혼화제(wt.%) ²⁾
1	Plain-DI	DI Water ¹⁾	0.5	-	-
2	Plain	CsCl 3M Solution		-	4
3	Tri-5			5	5
4	Tri-10			10	5
5	Tetra-5			5	3.5
6	Tetra-10			10	3.5

1) Di water 18.2 M Ω ·cm

2) SP 450 (유동화제) 호스록 코리아(주), Binder 대비 wt.% 치환

* 부경대학교 건축소방공학부 석사과정

** 부경대학교 융복합인프라기술연구소 전임연구교수, 공학박사

*** 부경대학교 건축공학과 부교수, 교신저자(cwchung@pknu.ac.kr)

제작된 시험체(샘플)는 수분증발을 방지하기 위하여 $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 습윤한 양생수조에서 28일간 보관하였다. 이후 방사성폐기물 고화체의 인수조건 만족여부를 판단하기 위해 재령 28일 압축강도를 측정하였고, 온도 변화에 대한 저항성을 평가하기 위해 ASTM B553 (Standard test method for thermal cycling of electroplated plastics)의 시험절차에 따라 열순환 시험을 진행하였다. 또한 고화체의 핵종 침출지수와 수중침지 안정성을 평가하기 위해 EPA 1315 (Mass transfer rates of constituents in monolithic or compacted granular materials using a semi-dynamic tank leaching procedure) 시험법에 따라 침출 시험 및 침출 시험 후 압축강도를 측정하였다.

3. 실험 결과

재생시멘트의 고화재 활용성을 확인하기 위하여 재생시멘트로 제작한 시험체의 재령 28일, 열순환 시험 및 수중 침지 시험 91일 경과 후 측정된 압축강도는 표 2와 같으며 경과일수에 따른 침출 지수 값은 그림 1과 같다.

표 2. 시험방법에 따른 압축강도 평균값(MPa)

번호	분류	압축강도 (MPa)		
		재령 28일	열순환 시험 후	수중 침지 91일 후
1	Plain Di	8.19	6.86	-
2	Plain CsCl	16.50	26.33	24.95
3	Tri-5%	15.45	25.17	23.07
4	Tri-10%	13.66	23.35	19.63
5	Tetra-5%	14.80	24.57	25.07
6	Tetra-10%	11.49	21.10	20.60

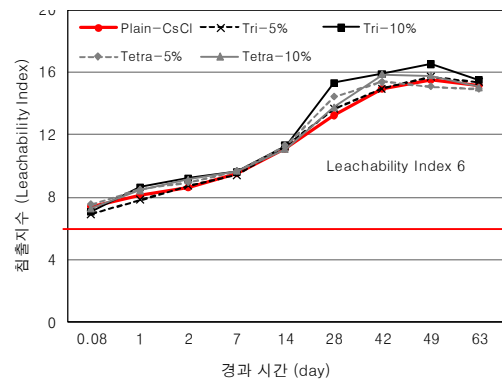


그림 1. 경과 시간에 따른 침출지수

4. 결론 및 고찰

- 1) 재생시멘트로 제작한 모든 시험체의 재령 28일, 열순환 시험 및 수중 침지 시험 91일 경과 후 측정된 압축강도가 국내 폐기물 고화체 인수기준인 3.44 MPa 이상을 만족하며, 각 경과일수에 따른 Cs 핵종에 대한 침출지수도 기준인 6 이상을 만족하는 것으로 나타났다.
- 2) 배합수로 CsCl 3M 용액을 사용한 경우 Di water를 사용하였을 때보다 재령 28일 압축강도 기준 40.3 % (Tetra-10%) ~ 101.5 % (Plain CsCl)까지 상승하였다. 그리고 열순환 시험 후 압축강도를 측정하였을 때 Di water를 사용한 배합의 경우 압축강도가 감소되었지만 CsCl 3M 용액을 사용한 경우 59.6 % (Plain CsCl) ~ 83.6 % (Tetra-10%)까지 상승하는 것으로 나타나, 이에 대한 추가적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 2020년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.20203210100150)

참 고 문 헌

1. 원자력안전위원회고시 제 2015-4호 (2015.3.6. 일부개정), 중·저준위 방사성폐기물 인도규정
2. Mattigod, S.V., Westsik, J.H., Chung, C.W., Lindberg, M.J., & Parker, K. E. Waste acceptance testing of secondary waste forms: cast Stone, Ceramicrete and DuraLith. No. PNNL-20632. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US), 2011