

방사화된 폐콘크리트의 고화재 활용을 위한 재생시멘트 분말의 물성 평가

Evaluation of Physical Properties of Recycled Cement Powder for Recycling Radioactive Waste Concrete

최유진¹ · 김지현² · 정철우^{3*}

Choi, Yu-Jin¹ · Kim, Ji-Hyun² · Chung, Chul-Woo^{3*}

Abstract : Recently, as the radioactive waste disposal facility becomes scarce, the importance of efficient disposal of waste from nuclear power plants is increasing. This study was conducted to utilize radioactive waste concrete powder as solidifying agent for radioactive waste treatment. Paste with an age of more than one year was used with a disk mill to have a particle size of 150 μ m or less, and treated at temperatures of 500°C, 600°C and 700°C for 2 hours. In order to simulate the radioactive cement powder, aqueous solutions of Di-water, CsCl 1M, SrCl₂ 1M and CoCl₂ 1M were used as blending water at W/C 0.7 and to improve fluidity, polycarboxylate type superplasticizer was used at 0.4 wt.% based on the weight of recycled cement paste powder. Characterisation was carried out using vicat method, strength and density.

키워드 : 방사성 폐기물, 재생시멘트페이스트, 고화재

Keywords : radioactive waste, recycled cement paste, solidifying agent

1. 서론

국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)에서 발표한 자료에 따르면, 전 세계에서 영구적으로 사용 정지된 원자력 발전소는 총 206기이며 운영되고 있는 원자력 발전소는 총 422기이다. 국내의 경우 영구정지된 원자력 발전소는 고리1호기와 월성1호기가 있으며, 이외 2050년까지 설계수명이 완료되는 원자력 발전소는 19기로 이들이 해체되며 발생하는 폐기물의 양은 수천만 톤에 달할 것으로 예상된다.

원자력 발전소 해체 시 발생하는 전체 폐기물에서 콘크리트 폐기물량은 70%로 큰 비중을 차지하고 있으며, 국내의 한정적인 토지를 고려하면 폐기물의 효율적인 처리를 위한 지속적인 연구가 필요하다. 이에 대하여 중·저준위 콘크리트 페이스트(이하 재생시멘트)의 처리 대안으로 방사성 폐기물의 처리를 위한 고화재로의 활용 가능성을 확인하고자 한다.

2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에서는 재생시멘트를 모사하고자 재령 1년 이상의 시멘트 페이스트 시편을 사용하여, 폐시멘트 페이스트를 모사하였다. 해당 시편은 국내 S사에서 제조한 제1종 보통포틀랜드시멘트를 물시멘트비 0.45로 배합한 것으로 실험에서는 disk mill과 체가름을 통해 입도가 150 μ m 이하인 미분말을 각 500°C, 600°C, 700°C에서 2시간을 소성하여 재생시멘트로 사용하였다.

배합수로는 Di-water 및 CoCl₂ 1M, CsCl 1M, SrCl₂ 1M 수용액을 사용하였으며, 표 1과 같이 물시멘트비는 0.7로 하였다. ¹³⁷Cs과 ⁹⁰Sr은 신체에서 필요로 하는 영양소와 유사한 성질로 체내에 쉽게 축적되며 반감기가 긴 원소로 주요 관심 대상 핵종이다. 이보다는 짧은 반감기를 갖지만, 인체와 환경에 치명적인 ⁶⁰Co를 포함하여 실험 대상 원소로 선정하였다.

탈수된 재생시멘트의 특성에 의한 배합 중 급결을 방지하기 위해 D사의 폴리카르본산계 감수제를 시멘트 중량대비 0.4 wt.% 사용하였다. 제작된 시험체는 비카침장치를 사용하여 응결경화시험을 진행하였고 28일간의 습공양생 후 밀도, 공극률 및 압축강도를 측정하였다.

1) 부경대학교 건축·소방공학부, 학·석사연계과정
2) 부경대학교 융복합인프라기술연구소, 전임연구교수
3) 부경대학교 건축공학과, 교수, 교신저자(cwchung@pknu.ac.kr)

표 1. 시험체 배합표

No.	재생 시멘트 제작 조건	시험체	배합수	w/c	PC
1	Plain (일반 OPC)	Plain-Di	Di-water	0.7	PCE 3000U (D사) 0.4 wt.%
2		Plain-Co	CoCl ₂ 1M solution		
3		Plain-Cs	CsCl 1M solution		
4		Plain-Sr	SrCl ₂ 1M solution		
5	500°C, 2hr 소성	500-Di	Di-water		
6		500-Co	CoCl ₂ 1M solution		
7		500-Cs	CsCl 1M solution		
8		500-Sr	SrCl ₂ 1M solution		
9	600°C, 2hr 소성	600-Di	Di-water		
10		600-Co	CoCl ₂ 1M solution		
11		600-Cs	CsCl 1M solution		
12		600-Sr	SrCl ₂ 1M solution		
13	700°C, 2hr 소성	700-Di	Di-water		
14		700-Co	CoCl ₂ 1M solution		
15		700-Cs	CsCl 1M solution		
16		700-Sr	SrCl ₂ 1M solution		

3. 실험결과 및 결론

응결경화시험 결과, CoCl₂ 1M 수용액을 배합수로 사용한 모든 시험체는 4시간 이내에 종결되었다. Di-water를 배합수로 사용했을 경우, Plain이 종결까지 20시간 소요된 반면, 500-Di는 5시간, 600-Di는 8시간, 700-Di는 16시간이 소요되어 열처리를 고온에서 할수록 Plain과 응결경화 시간이 유사하였다. SrCl₂ 1M 수용액을 배합수로 사용한 경우, P-Sr은 종결까지 4시간이 걸렸지만 500-Sr, 600-Sr, 700-Sr은 8시간이 걸려 상대적으로 경화가 지연되었음을 확인하였다. CsCl 1M 수용액을 배합수로 사용하였을 때, P-Cs의 경우 종결까지 10시간이 걸렸으며 500-Cs, 600-Cs는 종결까지 4시간 30분을 소요한 반면 700-Cs는 종결까지 4시간이 걸려 표준에서 보여준 거동과 다른 형태를 보였다.

밀도 측정결과 Plain-Di (2.2g/cm³), Plain-Co (2.4g/cm³), Plain-Cs (2.3g/cm³), Plain-Sr (2.4g/cm³), 500-Di (2.1g/cm³), 500-Co (2.4g/cm³), 500-Cs (2.4g/cm³), 500-Sr (2.4g/cm³), 600-Di (2.1g/cm³), 600-Co (2.3g/cm³), 600-Cs (2.3g/cm³), 600-Sr (2.4g/cm³), 700-Di (2.1g/cm³), 700-Co (2.4g/cm³), 700-Cs (2.3g/cm³), 700-Sr (2.4g/cm³)로, CoCl₂ 1M 수용액과 SrCl₂ 1M 수용액을 배합수로 사용하였을 때 밀도가 다소 상승되는 것으로 나타났다.

공극률은 Plain-Di (28.1%), Plain-Co (29.8%), Plain-Cs (27.1%), Plain-Sr (31.4%), 500-Di (50.4%), 500-Co (46.7%), 500-Cs (47.6%), 500-Sr (47.2%), 600-Di (45.9%), 600-Co (43.9%), 600-Cs (42.5%), 600-Sr (44.7%), 700-Di (45.7%), 700-Co (43.2%), 700-Cs (41.0%), 700-Sr (44.0%)로 측정되었으며 고온에서 소성한 재생시멘트를 사용하여 시험체를 제작하였을 때 공극률이 낮은 것으로 확인되었다.

28일 압축강도 측정결과 Plain-Di (34.4MPa), Plain-Co (27.2MPa), Plain-Cs (40.9MPa), Plain-Sr (37.8MPa), 500-Di (9.7MPa), 500-Co (19.3MPa), 500-Cs (22.0MPa), 500-Sr (16.5MPa), 600-Di (12.8MPa), 600-Co (23.9MPa), 600-Cs (26.1MPa), 600-Sr (20.6MPa), 700-Di (19.3MPa), 700-Co (19.2MPa), 700-Cs (20.6MPa), 700-Sr (19.7MPa)로, 소성온도 600°C와 700°C인 재생시멘트의 경우 강도 회복이 비슷한 수준임을 확인하였다.

참고문헌

1. 박차원, 강병희. 혼화재료를 혼입한 재생시멘트 모르타의 수화특성에 관한 연구. 한국건축시공학회 논문집. 2004. 제4권 4호. pp. 79-86.
2. Wang et al. Recycled cement. Construction and Building Materials. 2018. Vol.190. pp. 1124-1132.
3. IAEA. PRIS. STATUS REPORTS. Permanent Shutdown.