

# 방사성 폐기물 고화재 활용을 위한 재생시멘트의 수화반응성 평가

## Evaluation of Hydration Reactivity of Recycled Cement for the Utilization of Radioactive Waste Solidifying Materials

최유진<sup>1</sup> · 김지현<sup>2</sup> · 정철우<sup>3\*</sup>

Choi, Yu-Jin<sup>1</sup> · Kim, Ji-Hyun<sup>2</sup> · Chung, Chul-Woo<sup>3\*</sup>

**Abstract** : Recently, starting with the permanent suspension of Gori 1 in Korea, the importance of the disposal of concrete structures in nuclear power plants has emerged, and environmental and safety are required to be proved accordingly. Safe radioactive waste disposal technology that immobilizes harmful radioactive elements, which are by-products of nuclear power, inside a solid matrix and recycling measures are needed to secure an efficient waste disposal space. This study was conducted to confirm whether recycled cement generated in the process of radioactive concrete treatment can be used as a solidifying material for radioactive waste treatment. In order to simulate the concrete exposed to radiation, aqueous solutions of Di-water, CsCl 1M, and CoCl<sub>2</sub> 1M were used as blending water at W/B 0.5. Tricalcium phosphate and Prussian blue were substituted with 5 wt.% based on the weight of recycled cement as a binder to improve solidification performance, and their hydration characteristic was analyzed.

**키워드** : 인산삼석회, 프러시안블루, 방사성 폐기물 고화재

**Keywords** : tricalcium phosphate, prussian blue, solidifying material for radioactive waste

### 1. 서론

2022년 8월 현재 전 세계적으로 운영되고 있는 원자력 발전소는 총 437기이며, 정지된 원자로는 총 207기로 보고되었다(OPIS [1]). 국내의 경우 2017년 고리1호기를 시작으로 2050년까지 설계수명이 완료되는 원자력 발전소는 21기로, 수명이 완료될 예정인 원자력 발전소가 늘어남에 따라 원전해체 관련 연구의 필요성이 확대되고 있다. 원자력 발전소 해체가 진행되면 다양한 폐기물들이 발생하게 되는데, 이때 발생하는 전체 폐기물 부피의 약 70% 이상을 콘크리트가 차지하고 있다. 국내의 경우 이와 같은 폐기물을 처리할 부지가 매우 한정적이며, 처리 비용 또한 고가이다. 따라서 이를 처리하기 위한 수단으로 중·저준위 콘크리트에서 방사화되지 않은 골재는 분리하여 제거하고, 잔류한 페이스트분을 재활성화(재생시멘트)하여 방사성 폐기물 고화재로의 활용가능성을 확인하고자 한다.

### 2. 사용재료 및 실험방법

표 1. Paste formulation table

No.	Specimen	Mixing water	W/B	Binder (wt.%)	
				Recycled cement	Added materials
1	Di/Co/Cs-Plain	Di-water CoCl <sub>2</sub> 1M solution CsCl 1M solution	0.5	100	-
2	Di/Co/Cs-Tri-5%			95	5 (Tricalcium Phosphate)
3	Di/Co/Cs-PB-5%			95	5 (Prussian Blue)
4	Di/Co/Cs-Tri,PB-5%			95	2.5 (Tricalcium Phosphate) 2.5 (Prussian Blue)

본 연구에서는 재생시멘트를 모사한 바인더를 활용하여 표 1과 같이 배합하여, 시험체를 제작하였다. 시험체 제작에 사용된 바인더는 총 3종류로 폐콘크리트에서 분리하여 600℃에서 소성시킨 재생시멘트와 인산삼석회(tricalcium phosphate, (Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>), 삼전순 약공업(주), Korea), 프러시안 블루(Prussian blue, Iron(III) Hexacyanoferrate(II), C<sub>18</sub>Fe<sub>7</sub>N<sub>18</sub>, Tokyo Chemical Industry, Japan)를 사용하였다. 배합수로 CoCl<sub>2</sub> 1M 과 CsCl 1M 수용액을 사용하였으며 제작된 시험체는 단열온도상승실험을 통해 최대수화온도를 측정하고 28일간 습공

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

양생을 한 후 밀도, 공극률 및 압축강도를 측정하였다.

### 3. 실험결과

단열온도 상승시험의 측정결과 Di-Plain은 최대 수화온도 52.9℃, 도달시간 161.8hr으로 측정되었다. 이와 비교하여 가장 높은 수화온도를 발현한 시험체는 Di-PB-5%로 최대 수화온도 86.5℃, 도달시간은 375.8hr이며 Di-Plain대비 214hr 후에 최대온도가 되는 것으로 확인되었다.

재령 28일 밀도 측정결과 Di-Plain은 2.37g/cm<sup>3</sup>로 측정되었으며 Cs-Tri-5%가 2.62g/cm<sup>3</sup>로 가장 높은 밀도 값을 보였다. 가장 낮은 밀도 값은 Di-Tri,PB-5%로, 2.35g/cm<sup>3</sup>이다. 배합수 종류에 따른 시험체의 밀도를 확인한 결과, CsCl 1M 수용액이 배합수로 사용된 시험체의 밀도가 높은 양상을 보였고 Di-water가 배합수로 사용된 시험체의 밀도는 모두 낮은 양상을 보였다.

재령 28일 공극률 측정결과 Di-Plain은 48.5%로 측정되었으며 Di-Tri-5%가 52.1%로 가장 높게 측정되었다. 가장 낮은 공극률 값은 Co-Plain으로 41.5%이다. 배합수 종류에 따른 시험의 공극률을 확인한 결과, Di-water가 배합수로 사용된 시험체의 공극률은 모두 높은 양상을 보였으며 CoCl<sub>2</sub> 1M 수용액이 배합수로 사용된 시험체의 공극률은 낮은 양상을 보였다.

재령 28일 압축강도 측정결과 Di-Plain은 9.52MPa로 측정되었으며 Co-Plain은 12.30MPa로 가장 높게 측정되었다. 가장 낮은 강도 값은 Cs-Tri-5%로 4.05MPa이다. 전반적으로 CsCl 1M 수용액이 배합수로 사용된 경우 4.05~7.36MPa 범위의 낮은 강도를 가졌으며, 혼화재로 프리시안 블루로 사용된 경우를 제외하고 CoCl<sub>2</sub> 1M 수용액이 배합수로 사용되었을 때 7.57~12.30MPa 범위의 높은 강도로 측정되었다(그림 1).

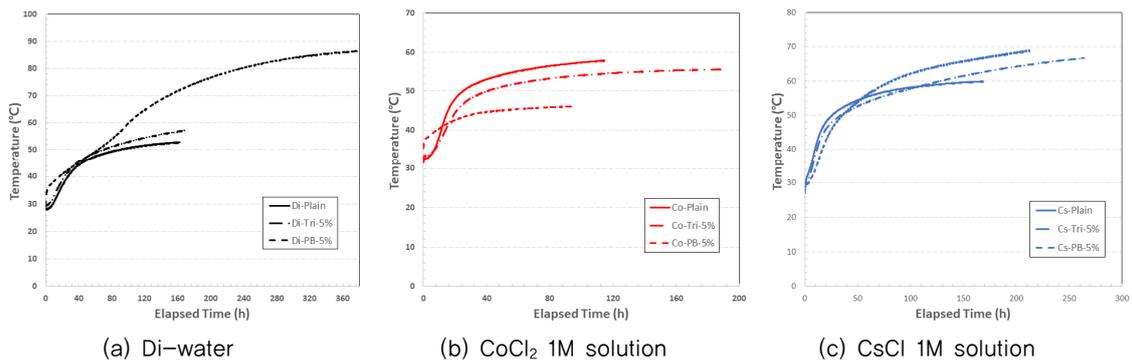


그림 1. 각 배합별 단열온도상승시험

### 4. 결론

- 1) 제작된 모든 시험체의 재령 28일 압축강도 측정결과, NRC(미국 원자력규제 위원회)의 고화재 인수기준인 500psi(3.45MPa) 이상을 만족하는 것으로 나타났다.
- 2) 단열온도상승시험 측정결과 배합수로 CsCl 1M 용액을 사용한 시험체의 경우, 다른 시험체와는 달리 50℃에 도달하는 시간이 40hr 이내로 짧게 측정되었으며, 지속적으로 온도가 증가하는 것으로 나타났다. Di-PB-5% 시험체의 경우 2차적인 수화열이 발생하는 것으로 나타나, 혼화재의 종류에 따른 수화반응에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

### 감사의 글

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

### 참고문헌

1. IAEA. International Atomic Energy Agency. PRIS. 2020.