

XRD 분석기법을 이용한 원전콘크리트 미세구조의 상대적 정량화에 대한 연구

Study for Semi-Quantitative Analysis Method for Micro-Structure by Xrd in Concrete for Nuclear Power Plant

김도겸*·안기용**·김재환***

Kim, Do-Gyeum · Ann, Ki-Yong · Kim, Jae-Hwan

요약

기존의 연구는 열화에 의한 물리적 평가 및 열화에 영향을 미치는 수화생성물의 존재여부에 대한 연구는 활발하게 이루어지고 있으나, 그에 따른 수화생성물의 정량화에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 논문은 XRD 분석 기법을 이용하여 원전 콘크리트 구조물에 대해 열화요인 중 탄산화와 황산염에 대한 상대적 정량화에 대한 연구를 실시하였다. 두 열화인자는 콘크리트 내의 수산화칼슘과 반응하여 에트링가이트와 탄산칼슘을 생성하게 되는데, 본 연구에서 열화인자에 대한 노출기간이 증가할수록 열화에 영향을 미치는 수화 생성물이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 그에 따른 수산화칼슘의 양이 감소하는 것도 확인 할 수 있었다.

keywords : 탄산화, 황산염, 열화, XRD, 정량화

1. 서론

콘크리트 구조물의 경우 콘크리트의 열화에 의해 내구성 및 안전성의 문제가 발생하게 된다. 특히 원전구조물의 경우에는 방사능 누출 및 구조물의 구조적 성능에 영향을 미쳐 그 문제는 일반 콘크리트 구조물보다 더 심각한 영향을 초래 할 수 있다. 이러한 문제점은 현재 국내 가동 중 원전에서도 일부 문제점이 발견되고 있으나, 열화요인 및 열화현상에 대한 종합적인 자료와 기술이 부족한 실정이다. 특히, 열화 요인에 의해 발생하는 콘크리트 내부의 수화생성물에 대한 정성적인 연구는 활발하게 이루어지고 있으나, 그에 따른 정량적 분석은 미흡하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 열화 요인 중 황산염과 탄산화에 의한 발생하는 콘크리트 열화에 영향을 미치는 수화생성물에 대한 상대적 정량화를 통하여 원전 구조물에 대해 체계적이고 과학적인 관리를 할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 원전 구조물의 배합과 열화조건

* 정회원 · 한국건설기술연구원 책임연구원 dgkim@kict.re.kr

** 연세대학교 연구교수 k.ann@yonsei.ac.kr

*** 한국건설기술연구원 연구원 sumnom@kict.re.kr

본 연구에서는 원전 구조물에 사용되는 배합을 이용하여 탄산화와 황산염 페이스트 시편을 각각 제작하였으며, 그에 따른 배합은 표 1과 같이 나타내었다. 이때 사용 재료는 실제 원전구조물에서 사용되는 재료를 사용하였다. 황산염 침식 실험은 5% Na₂SO₄ 시편을 침지 시킨 후 28, 56일에 대한 XRD 분석을 실시하였고, 탄산화 시험의 경우 5% CO₂에 노출 시킨 후 28, 56일에 대하여 XRD 분석을 실시하였다.

표 1 원전구조물의 배합

No.	Mix proportion		
	Water	Cement	Fly ash
Mix1	0.4	0.8	0.2

3. 결과 분석

3.1 황산염 결과 분석

열화 요인 중 황산염에서는 여러 수화생성물 중에서 주로 에트링가이트에 의해 영향을 받는다. 에트링가이트의 경우 초기에는 강도 발현 및 공극구조 개선에 영향을 미치나 콘크리트가 완전히 경화된 후 생성되는 경우에는 미세균열 및 팽창의 원인이 된다(Mehta et al., 2004). 그림 1에서는 황산염 침식에 의한 수화 생성물 중 에트링가이트와 Ca(OH)₂에 대해 침지 기간에 따른 상대적 변화를 나타내었다. 에트링가이트의 경우 초기 보다 대략 8% 증가하였으며, 그에 반해서 Ca(OH)₂의 경우 대략 17% 정도 감소하였는데, 이는 황산염과 반응하여 Ca(OH)₂의 일부분이 에트링가이트로 변화하여 생성된 결과로 볼 수 있다.

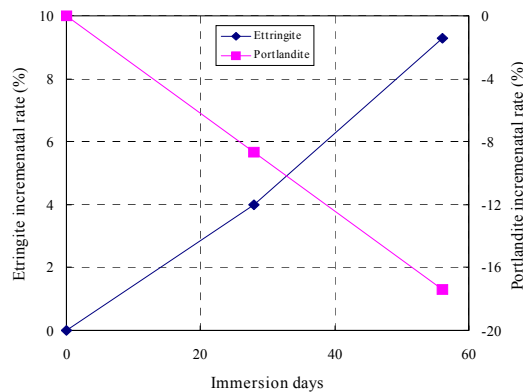


그림 1 황산염에 의한 주요 수화 생성물의 상대적 변화

3.2 탄산화 결과 분석

5% CO₂ 농도에 노출된 페이스트 시편에 대하여 XRD 분석을 실시하였다. 탄산화에 의해 CO₂와 Portlandite(Ca(OH)₂)와 반응하여 Calcite(CaCO₃)가 생성된다(Luca et al., 2004). 그림 2에서는 CO₂의 노출기간에 따른 두 주요 생성물의 상대적 정량 평가를 하였다. CaCO₃의 경우 대략 10% 정도의 증가 비율을 보이고 그에 따라 Portlandite(Ca(OH)₂)의 경우는 초기값 보다 대략 14% 정도 감소하는 경향을 보인다. 아래의

식과 같은 반응에 의한 결과로 예상되면 노출기간이 증가할수록 그 비율을 계속적으로 증가 할 것으로 예상된다.

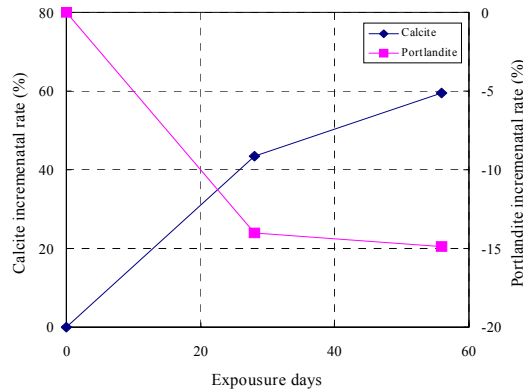
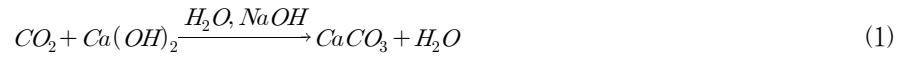


그림 2 탄산화에 의한 주요 수화 생성물의 상대적 변화

4. 결론

본 연구에서는 원전 구조물에서 열화 요인 중 황산염과 탄산화에 의한 각각의 주요 수화 생성물 중 열화에 영향을 미치는 열화 인자에 대하여 시간에 따른 상대적 정량변화를 XRD 분석을 통하여 실시하였다.

- 황산염이나 탄산화에서 열화 인자들과 반응하는 물질은 $Ca(OH)_2$ 로, 위의 결과에서 보듯이 각각의 $Ca(OH)_2$ 의 상대적 정량 평가에서 열화 기간이 증가할수록 값이 감소하는 것을 확인 할 수 있다.
- 황산염과 탄산화에 의해 콘크리트에 열화에 영향을 미치는 수화 생성물로 각각 에트링가이트와 탄산칼슘으로 열화 조건에 노출 기간이 증가할수록 초기값에 비해 상대적으로 증가하는 확인 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 원전기술 혁신사업으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., Polder, R.B. (2004) *Corrosion of Steel in Concrete - Prevention, Diagnosis, Repair*, WILEY-VCH, Germany

Mehta P.K., Monteiro, P.J.M. (2006) *Concrete microstructure, properties and materials*, Mc Graw Hill, New York