원전콘크리트의 열화요인에 따른 미세구조의 변화에 대한 연구

A Study for the Changes of The Micro Structure by Deterioration Factors in Concrete for Nuclear Power Plant

김 도 겸* • 이 장 화** • 이 호 재***
Kim, Do-Gyeum • Lee, Jang-Hwa • Lee, Ho-Jae

요 약

본 논문은 콘크리트 구조물 중 원전구조물에서 열화요인에 따른 미세구조적 변화에 대해서 평가하였다. 이는 원전구조물의 경우 열화현상이 발생하게 되면 일반 구조물에 비해 심각한 영향을 초래하기 때문에 기존의 열화 평가 방법에 의존하기 보다는 미세구조적 관점에서 콘크리트의 열화를 재평가해야 한다. 그에 일환으로 열화 요인 중 동결 융해와 황산염에 대한 미세구조 평가를 실시하였다. 동결융해의 경우, 미세구조적 관점에서의 미세공극의 양이 증가하는 것을 확인하였으나 그 증가 폭이 크지 않음을 알 수 있었으며, 물리적 실험에서도 그 변화가 매우 작음을 확인할 수 있다. 그리고 황산염에서는 초지 침지 구간에서는 플라이 애쉬를 사용한 원전 콘크리트 배합이 콘크리트에 더 유리하게 작용함을 알 수 있다.

keywords : 원전 구조물, 동결융해, 황산염, 열화, 미세구조

1. 서론

콘크리트 구조물에서의 여러 열화요인(염해, 동결융해, 황산염 침식, 탄산화)에 의하여 구조물의 성능이 저하된다. 특히 원전구조물의 경우 열화현상이 발생하게 되면 구조물로서의 내구성, 안전성이 저하되고, 구조건전성 및 누설저항성에 중대한 영향을 미쳐 일반 콘크리트 구조물보다 더 심각한 영향을 초래하는 경우도 발생 할 수 있다. 이러한 문제점은 현재 국내 가동 중 원전에서도 일부 문제점이 발견되고 있으나, 열화요인 및 열화현상에 대한 종합적인 자료와 기술이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 열화 요인에 의한 콘크리트의 미세구조 분석을 통하여, 원전 구조물의 체계적이고 과학적인 관리를 할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 원전 구조물의 배합과 열화조건

본 연구에서는 원전 구조물에 사용되는 배합을 이용하여 동결융해 시편과 황산염 시편을 각각 제작하였으며, 그에 따른 배합은 표 1과 같이 나타내었다. 이때 사용 재료는 실제 원전구조물에서 사용되는 재료를 사

* 정회원 • 한국건설기술연구원 책임연구원 dgkim@kict.re.kr
** 정회원 • 한국건설기술연구원 책임연구원 jhlee@kict.re.kr
*** 한국건설기술연구원 연구원 h.lee@kict.re.kr

용하였다. 열화 조건은 KS F 2456에 규정되어 있는 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법 중 기중 급속 동결 후 수중 융해 시험을 이용하여 1일 6-8회 동결 융해를 반복하여 30 사이클 마다 동탄성계수와 중량 변화를 실시하였고, 50 사이클이 끝난 후 수은 압입법을 이용하여 공극량의 변화를 측정하였으며, 황산염의 경우 5% Na_2SO_4 용액에 침지시킨 시편에 대하여 침지 기간이 28, 56일에 대한 중량 변화 및 길이 변화를 측정 하고, X-선 회절 분석기를 이용 하여 수화 생성물에 대해 측정하였다.

표 1 원조구조물의 배합

No.	Mix proportion						
	Water	Cement	Fly ash	Agg(3/4")	Sand	WRA	AEA
Mix1	0.4	0.8	0.2	2.31	1.84	0.004	0.0004

3. 결과 분석

3.1 동결융해 결과 분석

동결 융해 실험 결과를 그림 1과 그림 2와 같이 나타내었다. 동결 융해 실험 결과 그림 1에서 공극분포를 보면, 50 사이클이 지났을 때, 총 공극량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 동결 융해 반복 과정에 의해 시편 내에 존재하는 공극의 크기가 증가하고 있음을 알 수 있다. 그와 더불어 그림 2에서는 상대 동탄성 계수와 질량 변화를 나타내었는데, 150 사이클까지의 실험을 진행한 결과 큰 차이는 보이지는 않지만 미세하게나마 동탄성 계수와 질량이 감소하는 것을 알 수 있다. 본 실험에서 동결 융해에 의해 원전 구조물이 동결융해에 의해 열화가 진행되지만, 그 영향은 매우 작다고 할 수 있다.

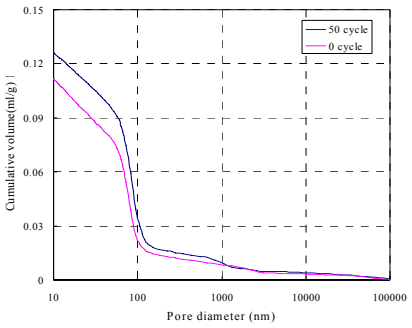

그림 1 공극분포

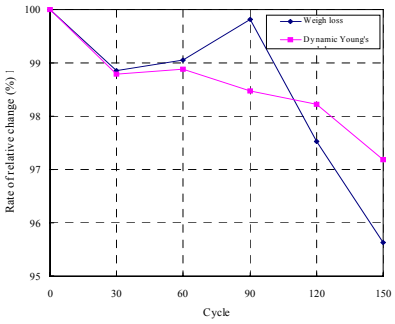

그림 2 질량 변화 및 동탄성계수 상대적 크기 변화

3.2 황산염 결과 분석

5% Na_2SO_4 용액에 침지 시킨 후 그림 3과 그림 4와 같이 길이 변화, 중량 변화 및 XRD 분석에 의한 수화 생성물을 확인하였다. 그림 3에서 보면 길이 및 중량 변화에서 대략 0.3% 정도 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 초기 수화 생성물 중 에트린가이트에 의해 팽창이 일어나게 되고 그에 따라 시편 내부가 밀실하게 되어 발생하게 되는 것으로 판단된다. 그리고 그림 4에서 나타나 XRD의 결과에서도 전 측정 구간에서 수화 생성물 중 $Ca(OH)_2$와 에트린가이트가 생성되는 것을 확인 할 수 있다. 식 (1)과 같이 $Ca(OH)_2$의 경우 황산염 이온에 취약한 하여 에트린가이트를 생성하게 되는데 이는 시간이 경과할수록 평창에 의한 균열이 발생

하게 되는 원인이 된다(Mehta et al., 2004). 본 연구에서는 침지기간이 아직 짧기 때문에 $Ca(OH)_2$와 황산염 이온의 반응에 의한 문제는 발생하지 않은 것으로 판단된다.

$$C_3A \cdot CH \cdot H_{18} + 2CH + 3S + 11H \rightarrow C_3A \cdot 3CS \cdot H_{32} \quad (1)$$

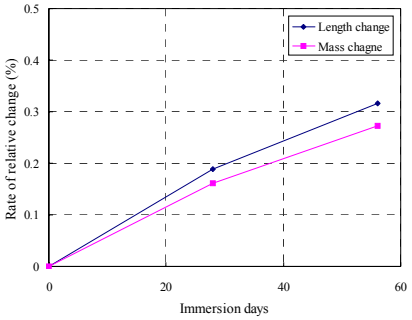

그림 3 황산염에 의한 길이 변화 및 질량변화

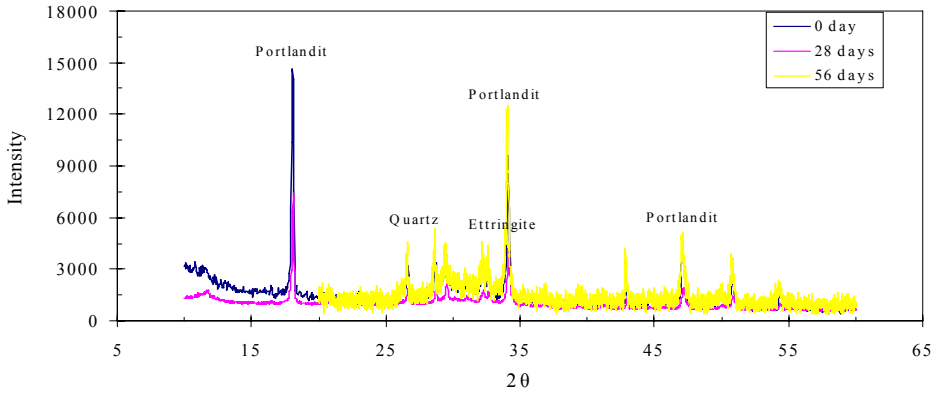

그림 4 황산염에 의한 XRD 분석 결과

4. 결론

본 연구에서는 원전 구조물에서의 열화 요인 중 동결융해와 황산염 침식에 대한 미세구조 변화 분석을 실시하였다. 동결융해의 경우 150사이클까지의 질량 및 동탄성계수의 변화와 50사이클에서의 공극변화를 측정하였으며, 황산염 침식은 길이 변화 및 중량 변화와 수화생성물을 측정하였다.

- 동결 융해에서 공극은 초기보다 50사이클 진행하였을 때, 공극이 증가하였음을 확인하였다. 그리고 질량 및 동탄성계수는 감소하였으나 그 감소폭이 매우 작은 것으로 확인 할 수 있었다.
- 황산염의 경우 침지 56일까지 결과에서 시편의 길이 및 질량이 증가하였는데, 이는 초기 수화생성물인 에트린가이트에 의한 수화 생성물의 증거로 볼 수 있으며, 이는 XRD 측정에서도 확인 할 수 있다.

감사의 글

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

참고문헌

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