

공학직방벽 원전콘크리트의 열화인자에 의한 미세구조 변화

김도겸, 이장화, 김기범, 이호재

한국건설기술연구원, 경기도 고양시 일산서구 시민대로 1190

dgkim@kict.re.kr

1. 서론

콘크리트는 원자력 발전 구조물, 입자가속기 등 방사선 차폐가 필요한 구조물에 사용되는 경제성과 편리성을 겸비한 우수한 재료이다. 그러나 방사선 차폐용 원전콘크리트의 기본 물성에 대한 연구결과가 부족하여 외국의 품질규정, 차폐성능 및 시공관리에 필요한 시설 기준 및 참고문헌에만 의존하고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 국내 방폐구조물에 사용된 실제 재료와 배합조건으로 시편을 제작하여 공학적 방벽의 재령에 따른 물리적 특성의 변화를 관찰하였다. 압축강도, 탄성계수, 투기계수, 투수계수를 측정하여 원전콘크리트의 물리적 특성을 성능을 평가한다.

2. 원전 구조물의 배합과 열화조건

본 연구에서는 방사선 차폐용 원전구조물에 사용되는 배합을 이용하여 동결융해 시편과 황산염 시편을 각각 제작하였으며 그에 따른 배합은 표 1과 같이 나타내었다. 이때 사용 재료는 실제 원전구조물에서 사용되는 재료를 사용하였다. 열화조건은 KS F 2456에 규정되어 있는 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법 중 급속 동결 후 수중 융해 시험을 이용하여 1회 6시간 동결융해를 반복하여 30 사이클 마다 동탄성계수와 중량변화 측정을 실시하였고, 50 사이클 이후, 150 사이클 이후 수은 압입법을 이용하여 공극량의 변화를 측정하였으며, 황산염의 경우 5% Na₂SO₄ 용액에 침지시킨 시편에 대하여 침지기간이 28, 56, 91, 180일에 대한 중량 변화 및 길이변화를 측정 하였다.

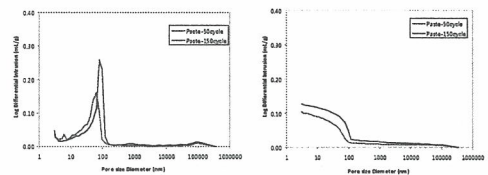
Table 1. Mixture of concrete

No.	Mix proportion						
	Water	Cement	Fly ash	Coarse	Fine	WRA	AEA
Mix 1	0.45	0.8	0.2	2.31	1.84	0.04	0.0004

3. 결과

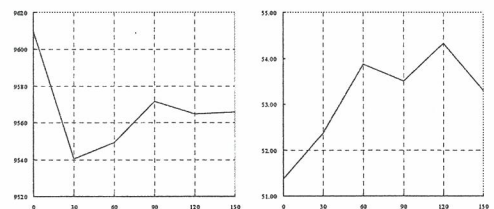
3.1 동결융해 결과 분석

동결 융해 실험 결과를 그림 1, 그림 2와 같이 나타내었다. 동결 융해 실험 결과 그림 1에서 공극분포를 보면 50사이클이 지났을때, 총 공극량이 증가하는 것을 알 수 있다. 그와 더불어 그림 2에서는 상대 동탄성 계수와 질량 변화를 나타내었는데, 150 사이클까지의 실험을 진행한 결과 큰 차이를 보이지는 않지만 미세하게나마 동탄성 계수와 질량이 감소하는 것을 알 수 있다. 본 실험에서 동결융해에 의해 원전구조물이 동결융해에 의해 열화가 진행되지만, 그 영향은 매우 작다고 할 수 있다.



(a) Pore distribution after 50, 150cycle (b) Pore volume after 50, 150cycle

Fig. 1. Changes of pore structure by Freeze-thaw cycle



(a) Mass loss (b) Variation of dynamic elasticity modulus

Fig. 2. Variations of mass and dynamic elasticity modulus by freeze-thaw cycle

3.2 황산염침식 결과 분석

5% Na₂SO₄ 용액에 침지 시킨 후 그림 3과 같

이 길이 변화, 중량 변화를 측정하였다. 길이 및 중량 변화 실험에서 가시적으로 나타날 정도로 크진 않지만 미세한 변화가 확인되고 있다. 이는 초기 황산염침식의 열화과정 중 발생하는 에트린가이트에 의해 팽창이 일어나게 되고 그에 따라 시편 내부가 밀실하게 되며 전체적인 길이 및 중량이 증가되는 것으로 판단된다. 91일 이후의 결과에서는 질량은 증가하지만 길이는 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 지속적인 열화로 인해 열화생성물이 발생되며 그로 인한 질량은 증가하지만, 부피팽창은 정지하며 감소가 이뤄지는 대표적인 황산염침식의 예를 보여주는 결과가 나타난다. 식 (1)과 같이 시멘트의 대표적인 수화생성물 중 $Ca(OH)_2$ 의 경우 황산염 등과 같은 열화인자와의 반응에 빠르게 반응하는 취약한 면을 보이는데 일반적으로 황산염이온과 반응하게 되면 에트린가이트 및 쏘머사이트를 생성하게 되며, 이는 시간이 경과할 수록 팽창에 의한 균열이 발생하는 원인이 된다 [1].

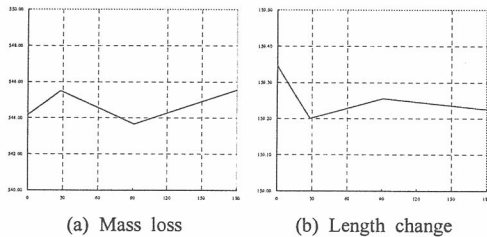
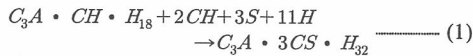


Fig. 3. Variations of mass and length by sulfate attack

4. 결론

본 연구에서는 원전구조물에서의 열화요인 중 동결융해와 황산염 침식에 대한 미세구조 변화 분석을 실시하였다. 동결융해의 경우 150사이클까지의 질량 및 동탄성계수의 변화와 50사이클에서의 공극변화를 측정하였으며, 황산염 침식은 길이 및 중량변화를 측정하였다.

동결융해에서 공극은 초기보다 50사이클, 150사이클 진행하였을때 점차적으로 공극이 증가하였음을 확인하였다. 그리고 질량 및 동탄성계수는 변화폭이 매우 작은 것을 확인 할 수 있었다.

황산염의 경우 시편의 길이 및 질량이 증가하

였는데 이는 초기 열화생성물인 에트린가이트에 의한 열화의 증거로 볼 수 있으며, 이로 인한 팽창 및 열화진전이 일어났음을 예측할 수 있다.

5. 감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

6. 참고문헌

- [1] Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., 'Concrete Microstructure, properties and materials', Mc Graw Hill, 2006.