

원전콘크리트 열화저항능력의 미세구조적 연구

이호재, 이장화, 이종석, 김도겸

한국건설기술연구원, 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311

h.lee@kict.re.kr

1. 서론

본 연구는 콘크리트 구조물 중 원전콘크리트의 열화요인에 따른 미세구조적 변화에 대해 평가하였다. 원전콘크리트, 방사성폐기물처분시설의 콘크리트 방벽의 경우 다른 콘크리트 구조물과 비교해 그 열화에 의한 손상으로 인한 영향이 더욱 심각하다. 따라서 기존의 열화손상에 대한 평가방법 뿐 아니라 일반 육안검사로 판별이 불가능한 미세구조적 관점에서의 열화에 대한 관심이 고조되는 현재의 연구영역을 반영하여 공극 및 열화생성물에 대한 분석을 통해 원전콘크리트의 열화저항능력에 대한 미세구조적 평가를 진행하였다.

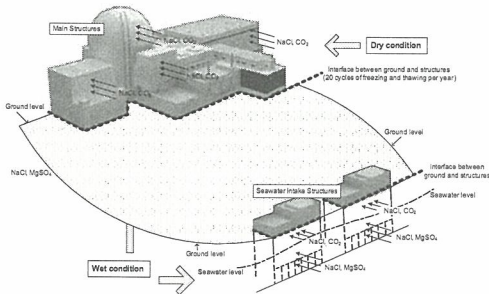


Fig. 1. The factor of deterioration to NPP concrete structures.

2. 실험 및 분석

2.1 시편제작

Design Spec	σ _{max} (MPa)	σ ₂₈ (MPa)	σ ₅₆ (MPa)	σ ₉₁ (MPa)	Material (g/m ³)						
					Water	Cement	Por. Blt.	Agg. 4.75	Agg. 4.75-75	Agg. 75-150	Agg. 150-300
Mix 1	65.00	34.1	43	48.4	162.75	325.50	81.38	933.57	755.83	1.43	0.18
Mix 2	43.00	24.1	30	38.7	162.75	290.64	64.86	933.57	822.01	1.90	0.15
Mix 3	45.00	24.1	35	42.9	166.85	295.81	78.35	972.55	770.61	1.85	0.28

Fig. 2. Target strength and Mix proportion.

페이스트와 모르타르의 압축강도용 시편의 제작은 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 실험방법 (KS L 5105)에 따라 50×50×50mm 크기의 입방형시편을

제작하였다. 배합 시, 각 재료의 혼합성을 높이기 위하여 모르타르용 믹서를 사용하여 배합을 실시하였으며, 각 재령 (28, 56, 180, 365일)에 대하여 24개의 시편을 배합에 따라 총 96개의 시편을 제작하였다. 콘크리트 압축강도용 시편의 제작은 콘크리트의 강도실험용 공시체 제작방법 (KS F 2403)에 따라 Ø100×200mm크기의 원주형 시편으로 제작하였다. 콘크리트 시편 제작에 사용된 믹서는 총 사용량 50liter의 강제식 믹서를 사용하였다. 배합을 일괄투입 방법을 채택하였으며, 각 재료를 투입한 후 배합수를 투입하는 순간부터 3분간 비빔을 실시한 후, 3층 붓다짐을 실시하여 제작하였다. 각 재령일에 대하여 12개의 시편을 배합조건에 따라 48개의 시편을 제작하였다.

2.2 공극구조 분석

열화인자의 주요 이동경로이며 열화로 인한 변화가 가장 빠르게 나타나는 범위는 공극구조이므로 공극구조에 대한 분석을 실시하여 열화로 인한 영향도 분석 및 배합에 따른 열화저항성에 대한 검토를 진행하였다.

분석장비는 수은압입법(Mercury Intrusion Porosimetry; MIP)을 이용하여 공극크기 및 공극량, 공극구조 분석을 실시하였다.

분석조건은 Filing pressure를 0.53psia, Contact Angle을 130°로 설정하여 총공극량을 기준으로 증감율을 산출하였다.

2.3 공극량 변화

열화에 의한 공극량을 배합에 따라 분석을 실시하여 다음의 표와 그래프에 상대비교하였다.

Table 1. Porosity variation with exposure duration.

	Mix 1	Mix 2	Mix 3
동결융해	+20.2	+22.5	+14.2
황산염	-18.4	-18.5	-21.4
탄산화	-31.9	-31.4	-34.6

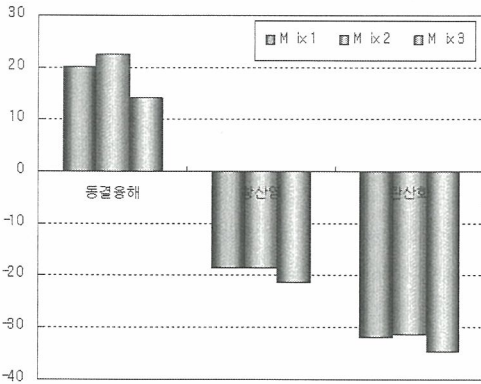


Fig. 3. Porosity variation with exposure duration.

동결융해의 경우 50cycle 실시한 시편과 300cycle을 실시한 시편의 공극량을 50cycle의 공극량을 기준으로 분석한 결과 각 배합에서 14~23%의 공극량 증가가 이루어진 것을 알 수 있었다. 동결융해의 경우 콘크리트 공극에 포함되어 있던 수분의 동결작용으로 인해 팽창했던 공극 구조가 융해의 과정을 거쳐 해동되며 팽창했던 공극이 수축하지 못하고 파괴가 이루어지는 과정이 반복하며, 공극량이 점차적으로 증가하였음을 예상할 수 있다.

탄산화의 경우 시멘트 수화생성물인 portlandite가 탄산화로 인한 열화생성물인 calcite로 변화되며 공극구조 내부에서 결정질의 부피팽창으로 인해 공극구조에 치밀화가 이루어졌음을 예측할 수 있다. 또한 황산염침식의 경우 탄산화의 메커니즘과 유사하게 portlandite가 ettringite, thaumasite로 결정상의 변화가 이루어지며 공극구조가 치밀화 되었음을 예상할 수 있다.

2.4 열화생성물 분석

적외선분광분석법(Fourier Transform Spectroscopy; FT-IR)을 통해 열화로 인한 콘크리트 내부 성분의 변화를 분석하여 공극구조 변화에 대한 근거를 과학적으로 뒷받침하기 위해 분석을 시도하였다. 분석조건은 Scan frequency: 32 회/sec, Resolution: 4cm⁻¹ 로 설정하여 분석을 진행하였으며, 시료는 분말을 내어 No.50번체를 통과하는 분말을 사용하였다. 시료의 전처리 과정은 분말을 KBr법을 이용한 펠렛제작방법으로 실시하였다.

2.5 열화생성물 분석결과

FT-IR을 통한 열화생성물 분석결과 중 특히 탄산화 분석결과에의 경우 OH/CO₃의 비를 이용하여 시편 표면부로부터 내부로 깊이별 측정을 실시한 결과 수산화이온/탄산이온의 적외선 흡광비가 표면에서 가까울수록 높아지는 것을 확인하였으며, 결과적으로 0~7mm에서의 탄산화정도가 그 이후 깊이에서의 탄산화에 비해 높은 것을 확인하였다.

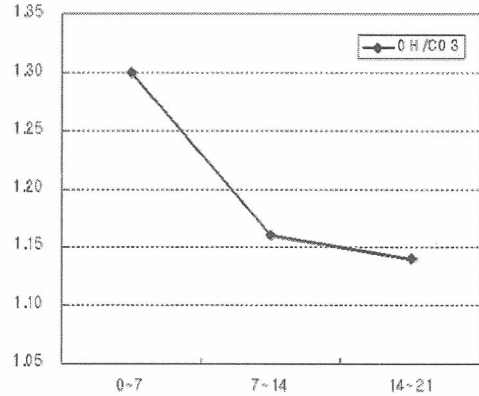


Fig. 4. Carbonation degree with depth using FT-IR method.

3. 결론

원전콘크리트에 적용된 배합의 경우 보통포틀랜드콘크리트와 비교하여 공극구조가 치밀하여 동일강도의 콘크리트 배합과 비교하여 상대적으로 열화발생 위험성이 적은 것으로 예측되며 특히 본 연구에서는 기존연구와 차별화하여 시도하였던 미세구조분석기법에 의한 결과 그 영향이 반정량적으로 표현할 수 있음을 확인하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2011T100200161).