

단독 및 복합열화 환경하에서 염화물을 함유한 콘크리트의 내구성 평가에 관한 연구

The Study on the Durability Estimation of Concrete Contained Chloride ion by Individual and Combined Deterioration

김영선* 문형재* 조봉석** 김재환** 김규용*** 김무한***

Kim, Young Sun Moon, Hyung Jae Cho, Bong Suk Kim, Jae Hwan Kim, Gyu Yong Kim, Moo Han

ABSTRACT

Recently, corrosion of reinforcement of reinforced concrete structures and carbonation is raised problem of durability because of exhaustion of river sand and rapid increase of sea sand and also, concrete structure of sea environment is attacked to combined deterioration according to penetration of chloride ion and carbonation, change of temperature, repetition of dryness and wetness.

Therefore, In this study, data base were presented to solve the problem about using sea sand to concrete structure situated in combined deterioration environment by exposing concrete specimen contained chloride ion under the individual and combined deterioration.

1. 서 론

최근 국내에서는 건설구조의 대부분을 차지하고 있는 콘크리트 구조물의 주요 열화요인인 염해 및 중성화 등에 의해 발생하는 성능저하현상에 대한 문제점이 크게 제기되고 있으며, 성능저하 된 콘크리트 구조물의 내구성 회복을 위한 내구성 향상 기술개발이 국가·사회적으로 급격히 증가되고 있다.

이에 따라, 국내에서는 염해 및 중성화에 대한 수많은 연구가 이루어지고 있지만, 아직까지 염해 또는 중성화 각각에 대하여 단독적으로 열화를 받은 콘크리트에 대해 주로 연구가 이루어지고 있다. 그러나 실제 구조물은 염해와 중성화가 동시에 작용하는 복합열화를 받고 있으며, 이러한 복합열화는 콘크리트중의 수화물이 염화물이온을 고정화하고 있는 경우, 이 결합은 중성화에 의해 파괴되어 가용성 염화물로 해리됨으로서 염화물이온의 침투가 촉진되는 메커니즘을 이루게 되며, 이 때문에 콘크리트중 강재주변의 전염화물이온이 임계염화물량을 도달하고 있지 않아도 이러한 과정에 의해 철근주변의 염화물이온량이 발칭한계를 초과할 위험 가능성이 있다.¹⁾

한편, 콘크리트중에 염화물의 침입경로로는 해사, 혼화재, 시멘트 및 비빔수에 의해 초기에 침입하는 염화물의 경우와, 해양환경 또는 동해방지제로부터 공급되는 염화물이 콘크리트중에 침투하는 경우가 있다. 이러한 염화물은 실제 구조물의 콘크리트중에 내재되어 있으므로 장기적으로 고려할 때 콘크리트 내구성 저하의 위험성을 잠재하고 있는 것이라 할 수 있다.³⁾

* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

** 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

*** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 교수·공박

표 1. 실험계획 및 배합

W/C (%)	목 표 슬럼프 (cm)	잔 골 재 율 (%)	단 위 수 량 (kg/m ³)	단위중량(kg/m ³)			열 화 환 경 ¹⁾	염화물(Cl ⁻) 함유량 (kg/m ³) ²⁾	측 정 항 목 ³⁾
				시멘트	잔골재	굵은골재			
60	18±1	48	186	310	830	931	• 복합염화 (A) • 단독염화 - 중성화 (C) - 염해 (S)	0 (무) 2.4 (유)	• 중성화깊이[mm] • 염화물이온침투깊이[mm] • 염화물량[%]

※ 1) (A): 복합염화시험체, (C): 중성화시험체, (S): 염수침시시험체
 2) (무): 염화물함유량 0 kg/m³, (유): 염화물함유량 2.4 kg/m³
 3) 측정재령: 20, 40, 80 (일)

따라서 본 연구에서는 염화물을 함유한 콘크리트를 단독 및 복합염화에 대한 촉진실험을 실시함으로써 단독 및 복합염화의 진행에 따른 콘크리트 내부로의 이산화탄소(CO₂) 및 염화물이온(Cl⁻)의 침투특성을 실험적으로 비교·검토함으로써 향후 해양환경하에 위치한 철근콘크리트구조물의 체계적인 유지보수관리기법 및 내구성능평가를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

표 2. 열화환경 요인 및 수준

요 인		수 준
단 독 염 화	• 중성화	• CO ₂ 5% 촉진 • 습 도 50% • 온 도 20℃
	• 염 해	• 3% NaCl용액 침지
복 합 염 합	• 중성화	• CO ₂ 5% 촉진
	• 염 해	• 3% NaCl용액 분무
	• 습 도	• 주기에 따라 30%~60%변화
	• 온 도	• 주기에 따라 20℃~60℃변화

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

단독 및 복합염화 환경하에서 염화물을 함유한 콘크리트의 내구성 평가를 위한 실험계획 및 배합은 표 1에서 나타낸 바와 같이 물시멘트비를 60%로 설정한 후, 열화환경은 단독(염해, 중성화) 및 복합염화로 설정하였으며, 염화물함유량은 0, 2.4kg/m³의 2수준으로하여 중성화깊이, 염화물이온 침투깊이 및 염화물량을 각각의 재령에서 측정하고자 하였다.

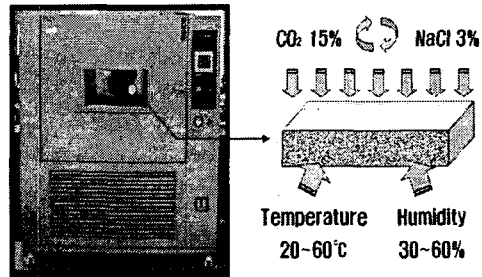


사진 1. 전위차 측정장치

2.2 사용재료 및 비빔방법

사용된 재료로서 시멘트는 비중 3.15의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.56의 인천산해사, 굵은골재는 비중 2.65의 퇴촌산 부순자갈을 사용하였고, 내재염화물로는 순도 99%의 NaCl 1급시약을 사용하였다.

콘크리트의 비빔은 100ℓ의 강제식 팬타임믹서를 이용하여 시멘트, 순환모래를 투입하여 30초간 건비빔한 후 물을 투입하여 60초간 비빔을 실시하고, 굵은골재를 투입하여 60초간 비빔을 실시하였으며 총 비빔시간은 2분 30초 소요되었다. 염화물을 함유한 콘크리트의 경우에는 NaCl 시약을 미리 물에 용해시켜 투입하는 방식으로 하였다.



사진 2. 전위차 측정장치

2.3 시험체 제작 및 시험방법

시험체 제작은 10×10×40cm의 시험체를 제작하여 약 24시간 후 몰드를 탈형하고, 28일간 수중양생을 실시하여 시험체를 제작하였다.

단독열화환경은 표 2에 나타난 바와 같은 조건을 설정한 후 중성화첵버 및 염수침지실험방법을 활용하여 실시하였으며, 복합열화환경은 사진 1에 나타난 바와 같은 복합열화첵버를 활용하여 실험환경을 조성하였다.

중성화깊이 측정은 각 재령에서 U.T.M을 활용하여 시험체를 할렬한 후 할렬면에 페놀프탈레인 1% 용액을 분무하여 변색되지 않는 부분을 중성화 깊이로서 측정하였으며, 염화물이온침투깊이는 할렬면에 0.1N AgNO₃를 분무하여 변색부분을 침투깊이로 측정하였다. 염화물량은 실시하였으며, 시료의 채취는 콘크리트연마날을 이용하여 콘크리트 표면으로부터 5mm깊이로 갈아 콘크리트 분말을 채취하고, 시험방법은 KS F 2713에 준하여 전처리를 실시한 후, 사진 1과 같은 전위차적정장치를 이용하여 염화물량을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이

그림 1은 시험체 종류별 재령에 따른 중성화 깊이를 나타낸 것으로서 재령에 관계없이 C(무) > C(유) > A(무) > A(유)의 순으로 중성화 깊이가 크게 나타났으며, 초기염화물을 함유한 시험체가 초기염화물을 함유하지 않은 시험체에 비해 중성화 깊이가 크게 나타났다.

그림 2는 시험체 종류별 재령에 따른 염화물이온 침투깊이를 나타낸 것으로서 S(무)시험체가 S(유)시험체에 비해 초기재령에서는 염화물이온 침투깊이가 다소 크게 나타나고 있으나, 전반적으로 초기염화물을 함유한 시험체가 초기염화물을 함유하지 않은 시험체에 비해 염화물이온 침투깊이가 크게 나타나고 있다. 또한, 재령이 증가함에 모든 시험체의 염화물이온 침투깊이는 증가하는 것으로 나타났다.

그림 3은 복합열화시험체에 있어서 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이의 상관관계를 나타낸 것으로서 중성화 깊이가 증가함에 따라 염화물이온 침투깊이는 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이의 상관계수는 0.9715로서 매우 높은 계수값을 나타내고 있어, 복합열화를 받은 구조물의 중성화 깊이와 염화물이온 침투깊이의 상관관계에 따른 예측을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 표 4는 재령 80일에서 중성화 및 염화물이온 침투깊이의 측정사진을 나타내고 있다.

3.2 염화물량

그림 4는 복합열화시험체 A(무) 및 A(유)의 표면에서부터 깊이 에 따른 염화물량을 나타낸 것으로

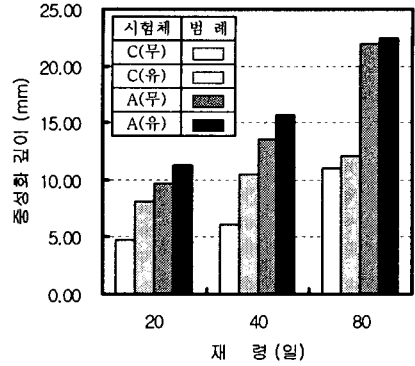


그림 1. 중성화 깊이

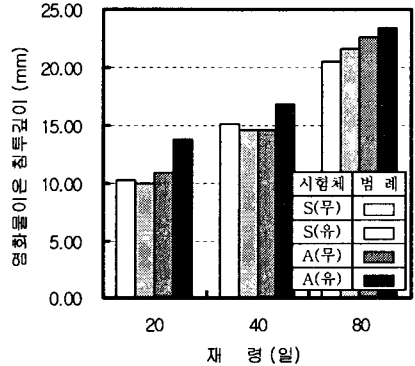


그림 2. 염화물이온 침투깊이

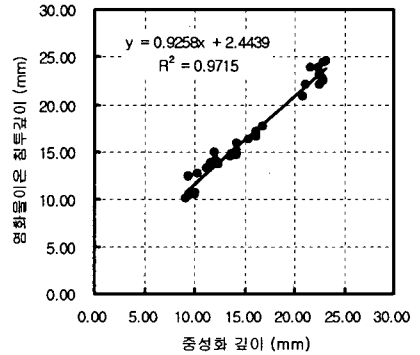




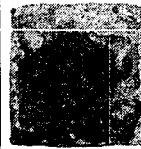


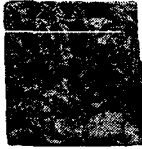
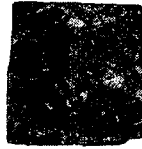

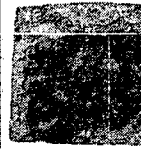
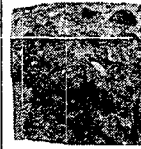


그림 3. 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이의 상관관계 (시험체 : A(무), A(유))

표 3. 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이 사진 (재령: 80일)

시행체종류 시행항목	S (무)		C (유)		A (무)		A (유)	
	중성화 깊이							
염화물이온 침투 깊이								

서, A(무), A(유)의 시험체의 경우 복합염화에 의한, 즉 중성화에 의한 염화물량의 특별한 경향은 나타나지 않고 있다. 표면염화물량에 있어서는 재령에 따라 A(무), A(유) 시험체 모두 증가하는 경향을 나타냈으며, A(유) 시험체가 A(무)에 비해서는 표면염화물량이 크게 나타났다. 이에 해양환경 구조물의 염해에 대한 장기안정성 평가시 초기내재염화물량에 따른 표면염화물의 변동을 고려해야 할 것으로 판단되며, 또한 표면염화물과 중성화에 따른 염화물량 확산의 변화를 고려해야 할 것으로 사료된다.

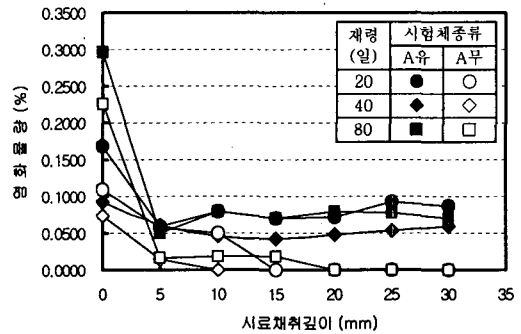


그림 4. 침투깊이에 따른 염화물량

4. 결론

단독 및 복합염화 환경하에서 염화물을 함유한 콘크리트의 내구성 평가에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초기염화물을 함유한 시험체가 초기염화물을 함유하지 않은 시험체에 비해 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이가 크게 나타났으며, 재령에 따라 증가하는 경향을 나타냈다.
- (2) 복합염화시험체중 초기에 염화물을 내재하고 있는 시험체는 고정 및 자유염화물을 내재하고 있어, 염화물이온침투 깊이가 중성화깊이에 비해 다소 크게 나타나고 염화물을 함유하지 않은 시험체 A(무) 보다 높은 중성화와 염화물이온 침투깊이를 나타냈다.
- (3) 초기염화물을 함유한 콘크리트가 초기염화물을 함유하지 않은 콘크리트에 비해 표면염화물량이 높게 나타났으며, 재령이 증가함에 따라 표면염화물량은 증가하는 것으로 나타나고 있어, 실제 해양구조물에 있어서 초기염화물 및 표면염화물 농축에 대한 연구가 좀 더 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 전력공항공동연구소의 전력산업 연구개발사업 「복합염화에 의해 성능저하된 원전구조물의 보수재료·공법 시스템 개발」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. “複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計畫研究委員會報告書”, 일본콘크리트공학협회, 2001
2. “海洋コンクリート構造物の防食Q&A”, 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協會, 2004
3. 片脇清土, “最新のコンクリート防食と補修技術”, 2000