

콘크리트 구조물의 염해 내구성능 검토를 위한 현장 품질관리 시험법 검토

Evaluation of Testing Method for Quality Control of Chloride Diffusivity in Concrete under chloride attack environment

김홍삼* 정해문** 안태송** 김철호*** 전병섭****
Kim, Hong-sam Cheong, Hai-moon Ahn, Tae-song Kim, Cheol-ho Geon, Byung sub

ABSTRACT

Recently, it is increasingly reported that the deterioration of concrete structure under marine environments is due to diffusion and penetration of chloride ions. It is very important to estimate the diffusion coefficient of chloride ion in concrete. Estimation methods of chloride diffusivity by concentration difference is time-consuming. Therefore, chloride diffusivity of concrete is mainly conducted by electrically accelerated method, which is accelerating the movement of chloride ion by potential difference. However, there has not been any proper method for field quality control to closely determine the diffusion coefficient of chloride ion through accelerated tests using potential difference.

In this paper, the various test methods for determination of chloride diffusion coefficient in concrete were investigated through comparison accelerated tests. From the results of estimated diffusion coefficient of chloride ion, relationship between the ponding test and acceleration test was examined.

요 약

염해환경에 건설되는 콘크리트 구조물은 염소이온과 같은 유해이온이 외부로부터 콘크리트 중으로 침투, 확산하여 철근을 부식시킴으로써 구조물의 내구성을 크게 저하시키기 때문에 구조물의 내구성 평가 또는 설계시 중요한 고려사항이 된다. 현재 설계에서 사용되는 확산계수는 각 나라마다 제시된 근거가 다르므로, 직접 비교 검토하는 것이 곤란할 뿐만 아니라 동일 환경조건에서 동일 배합의 콘크리트에 대한 수명예측 결과가 크게 상이한 결과를 초래하게 된다.

본 연구는 염해환경하 콘크리트의 염해 내구성능 품질관리를 적용하기 위해서 현장에서 적용할 수 외국에서 규격화된 시험방법들을 비교 검토하고 이들 시험 방법 가운데 품질관리에 적합한 시험방법을 선정하여 재령별 확산특성과 침지 시험 결과를 비교하여 분석하였다. 슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 경우 침지시험(NT Build 443)과 축진시험(NT Build 492)의 상관성을 분석한다면, 이들 토대로 콘크리트 배합의 품질관리 기준 확산계수를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원
** 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원
*** 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원
**** 정회원, 한국도로공사 인천대교건설사업단 품질환경팀 차장
***** 정회원, 한국도로공사 인천대교건설사업단 품질환경팀 팀장

1. 서론

해환경에 건설되는 콘크리트 구조물은 염소이온과 같은 유해이온이 외부로부터 콘크리트 중으로 침투, 확산하여 철근을 부식시킴으로써 구조물의 내구성을 크게 저하시키기 때문에 구조물의 내구성 평가 또는 설계시 중요한 고려사항이 된다. 염해 환경하 콘크리트 구조물의 내구성 설계의 접근방법은 일본의 JSCE, 방법, ACI(Life 365) 방법 및 유럽의 Duracrete 접근 방법 등이 우리나라에 소개되었다.

한편, 내구성 설계에 주요 변수인 확산계수의 경우, JSCE에서 추천하고 있는 설계 확산계수는 일본의 해양환경에 장기간 노출된 실구조물의 조사결과를 토대로 조사된 상수 확산계수를 적용하고 있는 반면, ACI 365위원회와 Duracrete 모델에서는 확산계수의 시간의존성을 고려하고 있으며, 주로 보고된 문헌 결과를 토대로 작성되었다. 현재 설계에서 사용되는 확산계수는 각 나라마다 제시된 근거가 다르므로, 직접 비교 검토하는 것이 곤란할 뿐만 아니라 동일 환경조건에서 동일 배합의 콘크리트에 대한 수명예측 결과가 크게 상이한 결과를 초래하게 된다.

따라서, 본 연구는 염해환경하 콘크리트의 염해 내구성능 품질관리를 적용하기 위해서 현장에서 적용할 수 외국에서 규격화된 시험방법들을 비교 검토하고 이들 시험 방법 가운데 품질관리에 적합한 시험방법을 선정하여 재령별 확산특성과 침지 시험 결과를 비교하여 분석하였다.

2. 외국 규격에 의한 콘크리트의 확산특성 평가를 위한 촉진시험 결과 검토

시험대상 콘크리트는 5 종류로 A 배합의 경우는 보통포틀랜드 시멘트(OPC)만을 사용하고 나머지 배합은 광물질 혼화재로서 슬래그 미분말을 사용하였으며, C 배합만이 고로슬래그 미분말을 30% 치환하여 사용하고, 나머지 배합은 모두 50% 치환하여 사용하였다. 단위수량은 152~175kg/m³으로 다양하였으며, 공기량은 4.5~5.0%로 배합설계 되었다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 외국의 시험규격에 근거한 촉진 시험방법 중 4가지를 선정하여 동일 재령(28일 양생)의 콘크리트 배합을 대상으로 그 결과를 비교하였다.

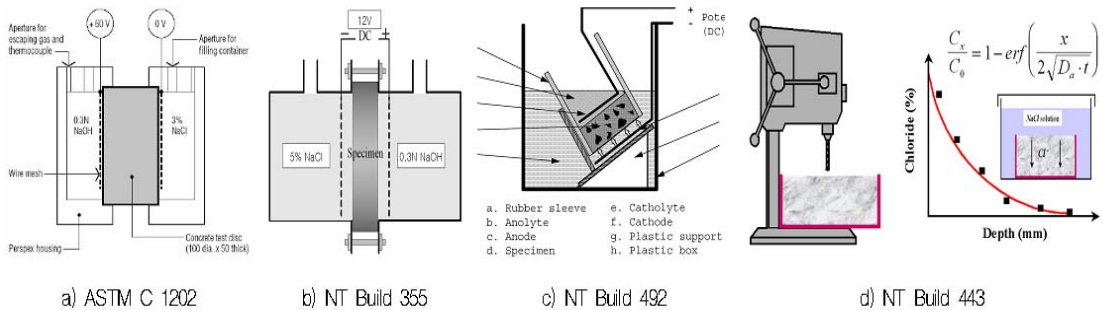


그림 1. 콘크리트의 염소이온 확산 평가를 위한 시험방법의 개요

그림 2는 각 배합별 콘크리트를 대상으로 각각의 시험방법을 이용하여 구한 확산계수의 결과를 정리한 것이다. 이 그림에서 ASTM C 1202 시험방법의 경우는 통과전하량에 근거한 정성적 평가이므로 비교대상에서 제외하고 정량적인 평가가 가능한 NT Build 355, 443 및 492는 정량적인 판단 근거를 제시할 수 있는 방법의 실험결과를 나타낸 것이다. 비교 실험결과에 따르면 NT Build 492 ≒ NT Build 443 ≫ NT Build 355 순서로 작은 값을 보였다. 또한, 평가된 확산계수 값의 범위는 콘크리트 시험편의 양생재령이 28일임을 감안하면, NT Build 355의 평가 결과는 상당히 작은 값으로 NT Build 443 및 492 시험결과에 비하여 대략 1/8~1/10 정도의 수준을 나타내었다.

3. 콘크리트의 확산계수 품질관리용 시험법의 선정 및 침지시험 결과와의 비교

표 1에서 정리한 시험방법 중 실제 환경조건에 가장 유사한 시험방법은 염수용액에 침지하여 겔보기 확산계수를 구할 수 있는 NT Build 443이며, 이 방법은 ACI의 내염 설계방법에 적용될 수 있는 값이다. 그러나 이 방법은 콘크리트를 재령 28일까지 양생 한 후 여러 단계의 재령에서의 확산계수 값이 평가 되어야 겔보기 확산계수 및 시간의존 계수를 구할 수 있다. 또한, 특정 재령의 확산계수를 구하기 위하여 소요되는 분석 과정도 약 2mm 단위로 분말 시료를 채취하여 침투 프로파일을 구하고 이들 결과로부터 확산계수를 회귀분석에 의거하여 수치적으로 구하는 등 소요시간이 길고 고도의 전문성이 요구 된다. ASTM C 1202 시험법의 경우는 미국, 캐나다 등에서 콘크리트의 염소이온 침투저항성을 평가할 때 주로 사용되는 방법으로 시험결과는 정성적인 판단 정보만을 주며, 온도의존성이 크고 방청제와 같은 혼화제가 사용될 경우 통과전하량이 큰 단점이 있다.

반면, 상대적으로 NT Build 492 시험은 전압 인가 후 24시간 정도면 침투깊이로부터 확산계수를 평가할 수 있고 측정 방법도 비교적 간단하므로 콘크리트의 확산계수에 의한 품질 관리 기준 시험으로 적합할 것으로 판단된다. 참고로 이 방법은 유럽의 Duracrete 모델에 직접 적용되는 확산계수 평가법으로 재령별 확산계수의 시간의존성을 평가하는데 유용한 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 상기의 검토 결과를 토대로 NT Build 492 시험법을 품질관리용 시험법으로 선정하고 이 방법에 의하여 재령별 축진 확산계수 및 침지시험을 실시하였다. 이 결과와 비교를 목적으로 ACI 제안식의 값을 정리하여 그림 3~7에 나타내었다.

이들 그림에서 알 수 있듯이 OPC 배합의 경우는 NT Build 492 시험결과가 가장 큰 경향을 나타내었으며, 침지시험은 이 보다 작은 경향을 나타내었고 Life 365 모델의 제안식 보다는 큰 경향을 나타내었다. 반면, 슬래그 미분말을 30~50%를 치환하여 사용한 경우에는 NT Build 492 와 NT Build 443 이 대체로 유사하였으며, ACI 365 시험법의 값도 유사한 범위를 나타내었다. 따라서, 침지시험(NT Build 443)과 NT Build 492 시험법의 상관성을 분석한다면, 이들 토대로 콘크리트 배합의 품질관리 기준 확산계수를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

표 1 염소이온 확산 평가를 위한 축진 시험 방법 및 측정 조건

관련 규격	규격 명칭	측정항목	시간	특징	비고
ASTM C 1202	Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration	확산 셀의 통과전하량	6 시간	• 전위차에 의한 축진침투 • 통과전하량에 의한 평가(비정상상태)	측정시간 짧음 온도의존성 높음
NT Build 492	Chloride Migration Coefficient from Non-steady-state Migration Experiments	염화물 침투깊이	24-48시간	• 전위차에 의한 축진침투 • 침투깊이에 의한 평가(비정상상태)	측정이 용이함
NT Build 355	Chloride Diffusion Coefficient from Migration Cell Experiments	확산 셀의 농도 증가율	1-2 개월	• 전위차에 의한 축진침투 • 농도 증가율에 의한 평가(정상상태)	고도의 전문성 요구
NT Build 443	Accelerated Chloride Penetration	염분침투 프로파일	최소 1개월	• 일정기간 염수 침지 • 염분침투 프로파일로부터 평가	고도의 전문성 요구

4. 참고문헌

1. ASTM C 1202 : Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration
2. NT Build 492 : Chloride Migration Coefficient from Non-steady-state Migration Experiments
3. NT Build 355 : Chloride Diffusion Coefficient from Migration Cell Experiments
4. NT Build 443 : Accelerated Chloride Penetration

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 05년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 05건설핵심기술D-11)의 연구비지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

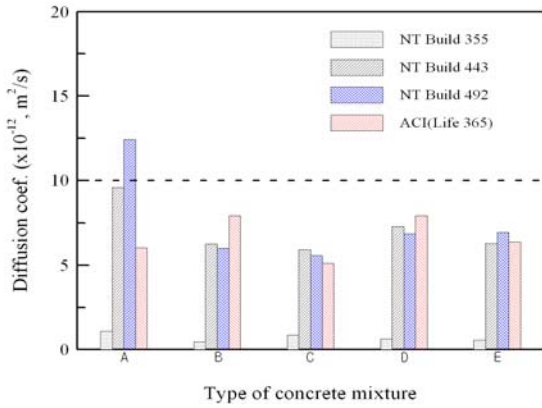


그림 2 시험방법별 평가결과 비교

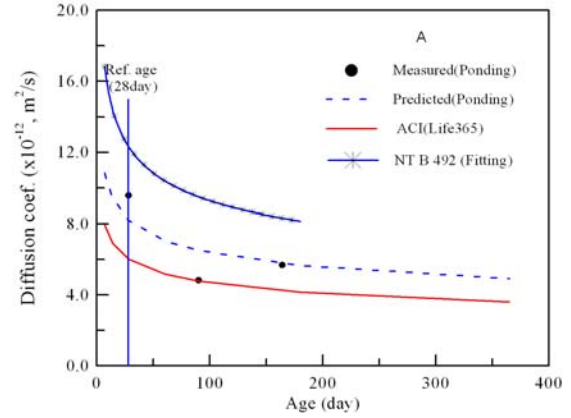


그림 3 재령별 확산계수 [A(OPC) 배합]

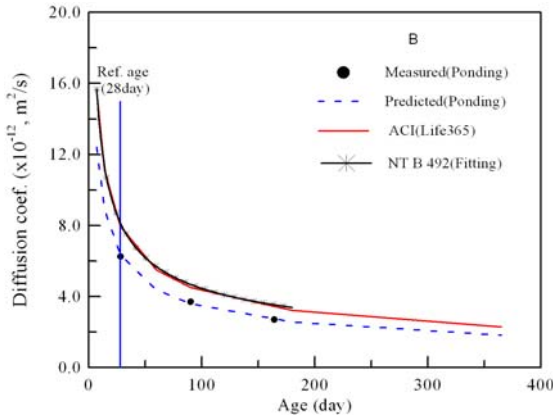


그림 4 재령별 확산계수 [B(SG50)]

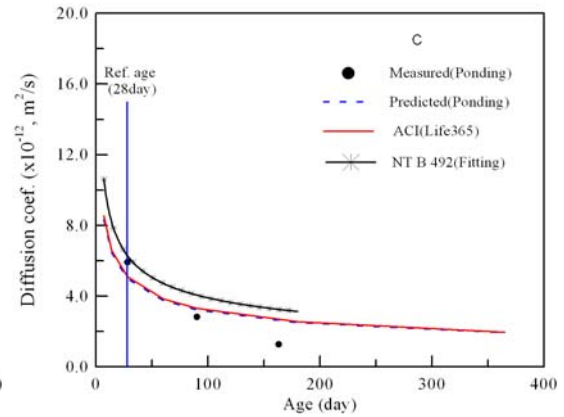


그림 5 재령별 확산계수 [C(SG30)]

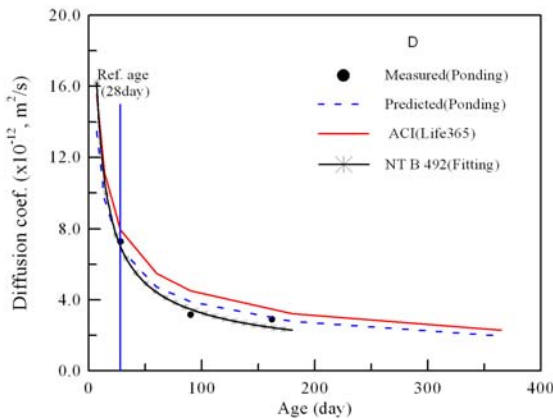


그림 6 재령별 확산계수 [D(SG50)]

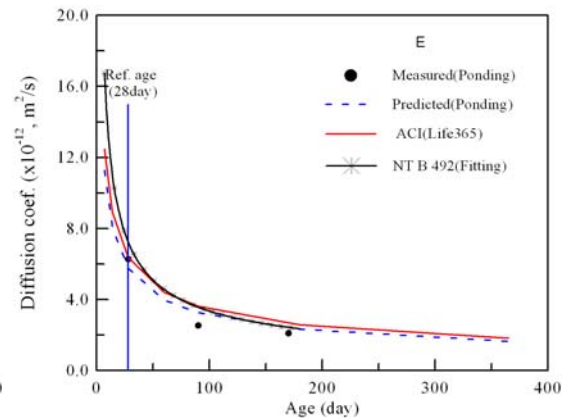


그림 7 재령별 확산계수 [E(SG50)]