

물시멘트비 및 도장재 종류에 따른 콘크리트의 염소이온 확산특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Chloride Diffusion Properties in Concrete according to the Water-Cement Ratio and Coating Materials

이 태 희 [*]	김 용 로 ^{**}	김 재 환 ^{**}
Lee, Tae Hee	Kim, Yong Ro	Kim, Jae Hwan
강 석 표 ^{**}	권 영 진 ^{**}	김 무 한 ^{***}
Kang, Suk Pyo	Kwon, Yong Jin	Kim, Moo Han

ABSTRACT

In this study we performed test to compare and analyze the chloride diffusion properties in concrete according to organic coating materials used at concrete structures widely and inorganic coating materials as eco-materials in recently.

The results of study were shown as follow ;

1) Chloride diffusion coefficient was low as low as and that of organic and inorganic painted was lower than non-painting

2) In case of inorganic coating material applied in this study, it should be possible to evaluate the chloride diffusion properties by CTH method. Because presumption value by CTH method is similar with real estimate value by digestion experiment.

1. 서론

최근 간척시설물이나 해양구조물의 건설이 활발해 지면서 해수환경에 직접 노출되는 건축구조물의 건설이 증가함에 따라 염해에 대한 문제가 더욱 심각하게 제기되고 있다.^{1),2)}

콘크리트 내부로 침투하는 염소이온은 철근부식을 유발시켜 콘크리트 구조물의 성능저하를 일으키기 때문에 염해의 가장 중요한 요인으로 인식되고 있어 최근 콘크리트의 염소이온 확산특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 염소이온의 확산 특성은 콘크리트 자체의 물리적인 특성뿐만 아니라 외부환경 조건의 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다.^{3),4)}

한편, 콘크리트 구조물의 마감재로서 도장재는 염해 및 중성화 등의 내구성 저하요인에 대한 억제 효과가 있는 것으로 기존 연구⁵⁾에서 보고되고 있어 콘크리트 구조물의 내구성능에 있어서 중요한 재료라고 말할 수 있다. 그러나 최근 환경공해 문제가 급속히 제기되고 있으며 환경문제의 가장 큰 원인인 휘발성 유기혼합물(VOC)은 일반적으로 도장재에 의한 배출량이 전체의 30%로 추정되고 있고 이

* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

** 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

*** 정회원, 흥륜 리플래시건설(주) 전무이사

**** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공박

양은 점차 증가되는 추세에 있다. 이에 선진외국에서는 기존의 도장재에 대한 강력한 규제를 하고 있으며 친환경적인 무기계 도장재의 개발 및 실용화에 대한 연구가 활발하게 진행 중에 있다.

따라서 본 연구에서는 건축구조물에 사용되는 마감재인 도장재 중 현재 일반적으로 적용되는 유기계와 최근 건축구조물에 연구개발 및 실용화가 진행중인 무기계 도장재를 도장한 콘크리트의 염소이온의 확산 특성을 비교·검토함으로써 도장재 종류에 따른 콘크리트의 염소이온 확산특성 및 무기계 도장재의 해안구조물 적용을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험요인 및 배합

본 연구의 실험요인 및 수준은 표 1에 나타난 바와 같이 물시멘트비를 50, 60%의 2수준, 도장재 종류를 무처리, 유기계 1종류 및 무기계 2종류의 3수준으로 설정하여 28일 표준수중양생 시킨 후 물시멘트비 및 도장재 종류에 따른 염소이온 확산특성을 검토하고자 하였다.

본 실험의 콘크리트 배합은 표 2와 같다.

2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 각 재료의 물리적 성질은 표 3에 나타난 바와 같이 시멘트는 비중 3.15인 1종 보통포틀랜드시멘트, 골재로서 잔골재는 비중 2.56, 조립율 3.05인 인천산 제염사, 굵은골재는 비중 2.65, 조립율 6.40인 퇴촌산 부순자갈을 사용하였다. 또한 본 연구에서 사용한 도장재의 물리적 성질은 유기계 도장재의 경우 KS M 5310에 준하는 수성1급, 무기계 도장재는 현재 국내에서 생산되는 아크릴 코폴리머 제유화형 분말수지 및 아크릴릭 실리콘계 2종류를 사용하였다.

2.3 시험체 제작 및 양생

염소이온 확산계수 측정용 시험체 및 염화나트륨 수용액 침지 실험용 시험체는 그림 1에서 보는 바와 같이 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 시험체를 제작하여 28일간 표준수중양생 한 후 일정부위를 선정하여 각각 두

표 1 실험요인 및 수준

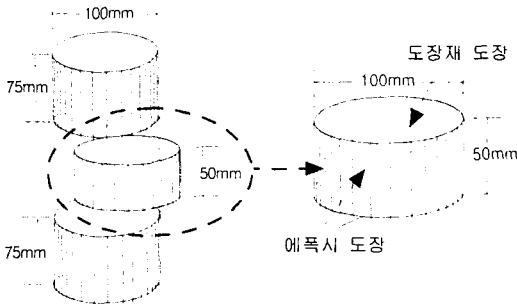
W/C (%)	도장재 종류	실험 항목	측정 항목
50	무처리 유기계 A	염소이온 확산계수 실험 (CTH법)	◦ 염소이온 확산계수 - 재령 56일
60	무기계 A 무기계 B	염화나트륨 수용액 침지 실험 - 침지 - 1일 침지 및 1일 건조 반복	◦ 전염화물량 - 재령 56일, 90일

표 2 콘크리트 배합

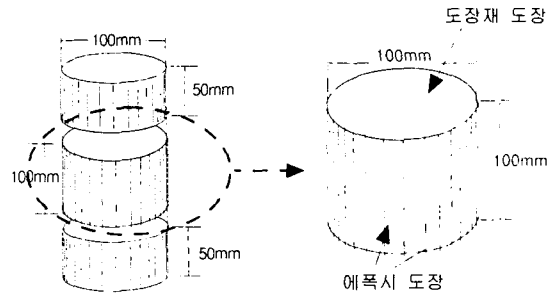
W/C (%)	목표 슬럼프 (cm)	S/a (%)	단위중량 (kg/m ³)				압축강도 (kgf/cm ²)
			물	시멘트	잔골재	굵은골재	
50	18±1	43	193	386	742	1019	314
60			193	322	765	1050	257

표 3 사용재료의 물리적 성질

시멘트		1종 보통포틀랜드시멘트 비중 : 3.15, 분말도 : 3,680cm ² /g
골재	잔골재	인천산 제염사 비중 : 2.56, 조립율 : 3.05
	굵은골재	퇴촌산 부순자갈 비중 : 2.65, 조립율 : 6.40
도장재	유기계 A	수성 페인트 1급, 아크릴 에멀전 타입 비중 : 1.38, pH : 8.8~9.5
	무기계 A	아크릴릭 코폴리머 제유화형 분말수지 pH : 12~13
	무기계 B	아크릴릭 실리콘 비중 : 1.55~1.65 pH : 12~13



(a) 염소이온 확산계수 측정용 시험체



(b) 염화나트륨 수용액 침지 실험용 시험체

그림 1 시험체 제작 방법

께 50mm 및 100mm로 절단하여 제작하였으며, 시험면에 대하여 도장처리를 실시하고 도장면 이외의 면은 에폭시 코팅을 실시하였다. 또한 시험체의 양생방법은 그림 2에 나타낸 바와 같다.

2.4 실험방법

본 연구에서는 염소이온 확산계수를 측정하기 위하여 그림 3과 같이 Tang & Nilsson⁽⁵⁾에 의해 제안된 촉진 CTH법을 이용한 것으로 ASTM C 1202의 이온투과시험법을 적용한 전기적인 촉진시험법을 사용하였다. 또한 염소이온 확산계수는 식 (1)에 의하여 산정하였다.

$$D = \frac{RTL}{zFU} \cdot \frac{x_d - a\sqrt{x_d}}{t} \quad (1)$$

여기서, $a = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \cdot \text{erf}^{-1}\left(1 - \frac{2c_d}{c_0}\right)$

D : 확산계수 (m^2/s)

F : 페러데이 상수 (96,481.04 J/Vmol)

R : 기체상수 (8.314 J/Kmol)

x_d : 염소이온의 침투 깊이(m)

erf : error function

c_0 : 음극쪽 셀의 염소이온 농도

z : 이온의 원자가 (염소이온의 경우 $z = 1$)

U : 양극과 음극 사이의 전압차(V)

L : 시편의 두께(m)

t : 실험 지속시간

c_d : 절산은에 의해 변색된 부분의 염소이온 농도

또한, 염화나트륨 수용액 침지 실험에서의 염소이온 확산계수는 Browne⁽⁷⁾, Crank 및 Laylor가 제시

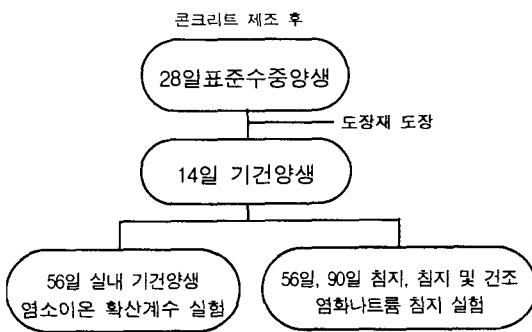


그림 2 시험체의 양생방법

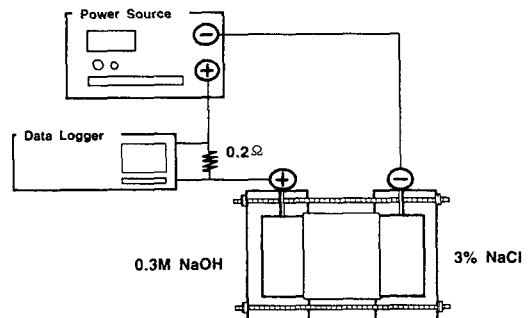


그림 3 염소이온 확산계수의 시험 장치도

한 식(2)와 같은 염소이온 확산 모델을 이용하여 산정하였다.

$$C_{(x,t)} = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_e t}} \right) \right] \quad (2)$$

초기조건 : $0, x > 0, t = 0$

경계조건 : $C_0, x = 0, t > 0$

한편, 염화물량의 측정 방법은 JCI SC5의 「경화콘크리트 중에 포함된 전염분의 간이분석방법」에 준하여 실시하였으며 시료의 채취는 로터리식 임팩트 드릴을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 염소이온 확산계수의 변화

그림 3은 물시멘트비 및 도장재 종류에 따른 염소이온 확산계수의 변화를 나타낸 것으로 물시멘트비 50%에 비해 물시멘트비 60%인 경우가 염소이온 확산계수가 크게 나타났고 무처리와 비교하여 유·무기계 도장재를 도장한 경우에서 염소이온 확산계수가 작게 나타나고 있으며 도장재 종류에 따른 유의한 만한 차이는 나타나지 않았다.

그림 4는 물시멘트비별 페인트 종류에 따른 CTH법에 의해 산정된 확산계수에 대한 염화나트륨 수용액 침지 실험에 의해 구한 확산계수의 비를 나타낸 것으로 침지실험에 의한 확산계수가 CTH법에 의한 확산계수보다 25%~70% 작은 것으로 나타났다.

3.2 물시멘트비 및 도장재의 종류에 따른 콘크리트 중의 염소이온 분포

그림 5는 도장재 종류 및 재령별 콘크리트 깊이에 따른 전염분량의 변화를 나타낸 것으로 콘크리트 표면으로부터 깊이가 증가함에 따라 전염분량은 감소되는 경향을 나타내고 있다. 또한 표면부의 경우 물시멘트비 50%가 60%에 비하여 전염분량이 높은 것으로 나타났으나 콘크리트 표면으로부터 깊이가 증가할수록 물시멘트비 60%의 전염분량이 높은 것으로 나타났다. 이는 콘크리트의 표면부의 경우 수분 및 이온의 이동에 있어서 물시멘트비가 낮은 경우에는 내부조직이 치밀하여 침입한 염소이온의 이동이 자유롭지 못하기 때문에 물시멘트비가 낮을수록 콘크리트 표면부의 전염분량이 높게 나타난 것으로 사료된다.

한편, 도장재를 도장한 경우 물시멘트 및 재령에 있어서 무처리의 경우보다 콘크리트 중의 전염분량은 낮게 나타났고 도장재의 종류에 따라서는 유의한 만한 경향은 보이지 않았으며, 침지 방법에 따른 전염분량의 경우에 있어서 침지 및 건조를 반복한 경우가 침지만 실시한 경우에 비하여 전반적으

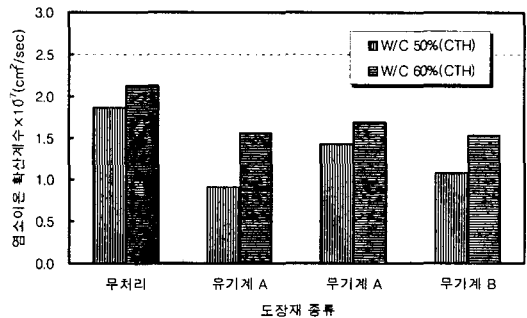


그림 3 물시멘트비별 마감재 종류에 따른 염소이온 확산계수의 변화

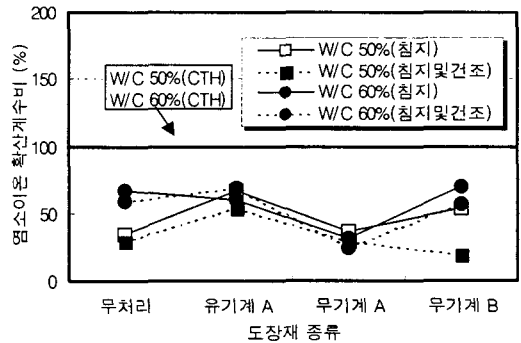
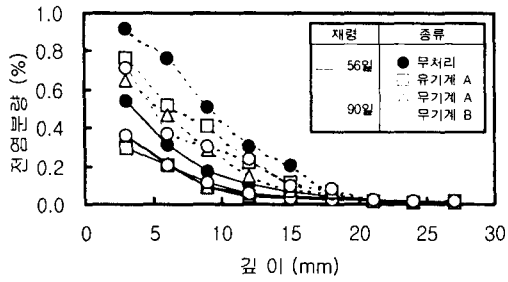
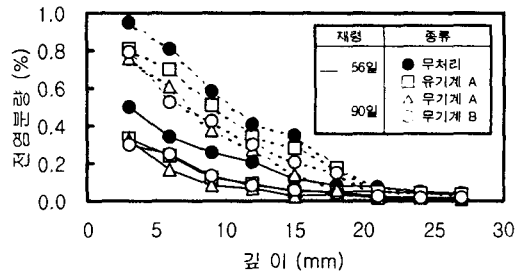


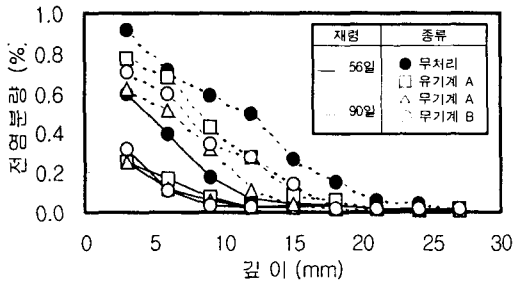
그림 4 물시멘트비별 페인트 종류에 따른 염소이온 확산계수비



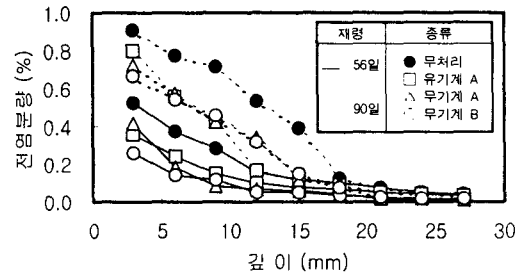
(a) W/C 50% (침지)



(b) W/C 60% (침지)



(c) W/C 50% (침지 및 건조 반복)



(d) W/C 60% (침지 및 건조 반복)

그림 5 마감재 종류별 콘크리트 깊이에 따른 전염분량의 변화

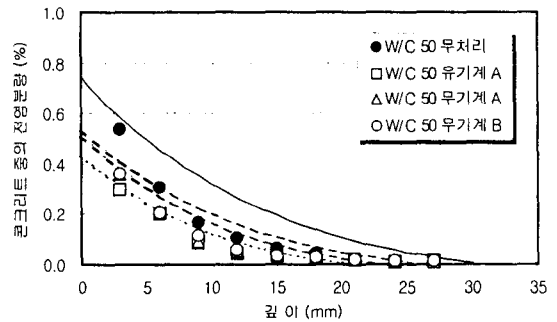
로 전염분량이 높게 나타났다.

3.3 염소이온 확산 모델에 의한 검토

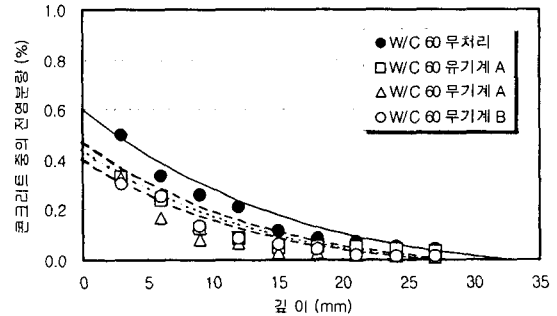
그림 6 (a), (b)는 침지 재령 56일에서 물시멘트비 50%와 60%에 대하여 CTH법에 의한 염소이온 확산계수 및 Browne⁷⁾, Crank 및 Laylor가 제시한 식(2)의 염소이온 확산 모델을 이용하여 추정된 값과 침지실험에 의한 실측값을 비교하여 나타낸 것으로 CTH법에 의한 값이 실측값에 비하여 높게 나타나고 있으며 물시멘트비 50%의 무처리 시험체를 제외하면 CTH법에 의한 추정값과 침지실험에 의한 실측값이 유사한 경향을 보이고 있어 본 연구에서 적용한 무기계 도장재의 경우 CTH법에 의한 염소이온 확산특성의 평가가 가능할 것으로 사료된다.

4. 결 론

물시멘트비 및 도장재 종류에 따른 콘크리트의 염소이온 확산특성에 관한 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.



(a) 침지, 재령 56일



(b) 침지, 재령 56일
그림 6 추정값과 실측값의 비교

1) 염소이온 확산 계수는 물시멘트비가 낮을수록 작게 나타났으며, 무처리와 비교하여 도장재를 처리한 경우 작게 나타났다. 또한 침지실험에 의한 확산계수가 CTH법에 의한 확산계수보다 전반적으로 작게 나타났다.

2) 콘크리트 표면으로부터의 깊이에 따른 전염분량은 표면부의 경우 물시멘트비가 낮을수록 크게 나타났으나 깊이가 증가함에 따라 물시멘트비가 낮을수록 작게 나타났다. 한편, 유·무기계 도장재 종류에 따른 유의할 만한 경향은 나타나지 않았다.

3) 물시멘트비 50%의 무처리 시험체를 제외하면 CTH법에 의한 추정값과 침지실험에 의한 실측값이 유사한 경향을 보이고 있어 본 연구에서 적용한 무기계 도장재의 경우 CTH법에 의한 염소이온 확산특성의 평가가 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 건설교통부 건설기술연구개발사업 「염해 및 중성화 피해를 입은 콘크리트구조물의 내구성 회복을 위한 보수공법 시스템 개발 및 실용화 방안」의 일련의 연구결과로 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김무한 외, 콘크리트의 밀실화에 의한 염해대책 및 방청효과에 관한 실험적연구(제1보, 아직군지 않은 콘크리트의 성상 및 경화콘크리트의 공학적 특성을 중심으로), 한국콘크리트학회 봄 학술발표대회 논문집, 제6권 1호, 1994, pp.142~147.
2. 川村滿紀 外、電氣的促進試驗法による高爐スラグ微分末コンクリートの鹽化物イオン擴散係數の算定、コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 19, No.1, 1997, pp.961~962.
3. 森永繁 ほか、コンクリートの中性化及び鐵筋の發錆に關する研究(その11,仕上げ材による内部鐵筋の防錆效果とその判定試驗方法), 日本建築學會學術講演梗概集(中國), 材料・施工, (1977. 10).
4. 오병환 외, 중성화가 콘크리트의 염소이온 확산특성에 미치는 영향에 관한 연구, 한국콘크리트학회 가을 학술발표대회논문집, 제 12권 2호, 2000. 11, pp.429~432.
5. 박승범 외, 해양구조물의 철근부식 예측기법 개발에 관한 연구, 콘크리트학회논문집 제11권 6호, 1999. 12, pp.89~100.
6. Tang, L. and Nilsson, L.-O., Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field, ACI Materials Journal, Jan.-Feb. 1992, pp.49~53.
7. R.D. Browne, Mechanism of Corrosion of Steel in Relation to Design, Inspection, and Repair of Offshore and Coastal Structure, ACI SP-65, U.S. Detroit, 1980.