

포틀랜드계 시멘트 콘크리트의 촉진 염화물 확산 특성

Accelerated Chloride Diffusion Properties of Portland Cement Concrete

김진철^{*} 이찬영^{**} 이용은^{***}
Kim, Jin-Cheol Lee, Chan-Young Lee, Yong-Eun

ABSTRACT

Accelerated chloride diffusion tests were carried out to estimate the chloride diffusion coefficient of concrete using ordinary portland cement, low heat belite-rich portland cement, and sulphate resistant portland cement. Concrete using low heat belite-rich portland cement showed a high diffusion coefficient due to delayed hydration of low heat belite rich portland cement, while the diffusion coefficients of concretes using sulphate resistant portland cement and ordinary portland cement were low.

1. 서론

콘크리트는 세공용액이 높은 알칼리도를 유지하므로써 철근의 부식을 방지하지만 염해환경에서는 콘크리트 중에 염화물이 침투하여 부동태 피막을 파괴하고 철근부식이 발생되며, 내구성을 저하시키고 종국에는 구조물의 수명단축을 유발한다.

콘크리트중의 염화물 침투 거동은 구조물의 환경에 따라 확산, 침투 및 흡수 등과 같은 메커니즘에 의해 이루어지며 이를 평가하기 위해 여러 가지 시험방법이 사용되어 왔다. 특히, 단기간의 염화물 침투 거동을 비교하기 위해 주로 전기를 이용한 촉진 시험방법이 많이 사용되었다.

또한 Fick의 확산법칙을 이용한 순수확산시험에서처럼 촉진염화물 침투 시험도 해석모델에 의한 정량적인 평가에 의해 확산계수를 구하고, 이로부터 염화물 침투예측 및 내구연한 산정에 대한 기초자료를 확보할 수 있다.

본 연구에서는 본 연구진에 의해 제안된 해석모델에 따라 보통, 저열 및 내황산염 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트에 대해 촉진 염화물 확산실험을 하였고 그 결과를 분석, 정리하였다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료

KS L 5201에 규정된 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC), 저열 포틀랜드 시멘트(이하 LH-BEL) 및 내황산염 포틀랜드 시멘트(이하 SRPC)를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 19mm, 비중 2.61인 부순돌을 사용하고, 잔골재는 비중 2.61, 조립율 2.89인 세척사를 사용하였으며, 혼화제는 리그닌계 AE 감수제를 사용하였다.

* 정회원, 도로연구소 재료연구실, 연구원

** 도로연구소 환경연구실, 연구원

*** 도로연구소 환경연구실, 실장, 이학박사

2.2 실험방법

2.2.1 콘크리트 배합

시멘트 종류에 따른 콘크리트의 축진 염화물 확산특성을 고찰하기 위하여 물-시멘트비를 40, 45 및 50%의 3단계로 변화시켜 슬럼프 $15 \pm 1.5\text{cm}$, 공기량 $4.5 \pm 1.5\%$ 로 제조하였다.

2.2.2 축진 염화물 확산시험장치

$\varnothing 10 \times 20\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 제작하여 재령 28일 까지 수중양생시켜 두께 3cm로 절단하여 별도 제작된 PVC 파이프에 에폭시로 고정하였으며 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 포화용액을 상부셀에 넣고 탄소전극을 이용하여 정전압 공급장치로부터 10V의 전압을 인가하였다. 확산셀 외부의 염화물 농도는 5M을 사용하였으며, 수중 펌프를 사용하여 실험중 계속 교반하였다.

상부셀에서 경과시간에 따른 염화물 농도변화는 초기에는 12시간 간격, stationary 상태에 도달한 이후에는 실험종료일 까지 24시간 간격으로 선택성 이온 전극을 사용하여 측정하였다.

2.3 축진염화물 확산 계산모델

축진시험방법에 의한 염화물 확산계수의 계산은 전기이동항을 고려한 축진 염화물 확산계산모델인 (1)을 사용하여 계산하였다.

$$D_{migration} = \frac{RT}{zFC_0} \frac{l}{\Delta E} \frac{V}{A} \frac{dC}{dt} \quad (1)$$

여기서 $D_{migration}$: 전위차에 의한 축진 염화물 확산계수(m^2/sec)

z : 이온의 원자가(valence of ion), F : Faraday 상수($96,485\text{J}/\text{V} \cdot \text{mol}$)

C_0 : 초기 염화물 농도(mol/l), R : 기체 상수($8.314\text{J}/\text{mol} \cdot \text{K}$)

T : 절대온도(K), ΔE : 전위차(volts), l : 시편두께(m)

A : 시편 단면적(m^2), V : 확산셀 용적(m^3)

dC/dt : 경과시간에 따른 확산셀에서의 염화물 농도 변화($\text{mol}/\text{l} \cdot \text{sec}$)

3. 결과 및 고찰

3.1 시멘트 종류별 강도특성

그림 1은 물-시멘트비를 3단계로 변화시킨 콘크리트의 재령 28일 압축강도를 시멘트 종류별로 정리한 것이다. SRPC를 사용한 콘크리트가 OPC를 사용한 압축강도보다 약간 큰 값을 나타내었으며, LH-BEL을 사용한 콘크리트의 압축강도는 OPC를 사용한 경우와 비교하여 약 85%의 강도수준을 나타내었다. 이는 LH-BEL 제조시에 시멘트의 초기 수화열 억제를 위하여 장기 강도 발현성이 좋은 C_2S 함량을 높여 초기 강도의 발현이 낮았기 때문으로 생각되며, 장기재령에서는 OPC를 사용한 콘크리트의 압축강도와 유사한 결과를 나타낼 것으로 생각된다.

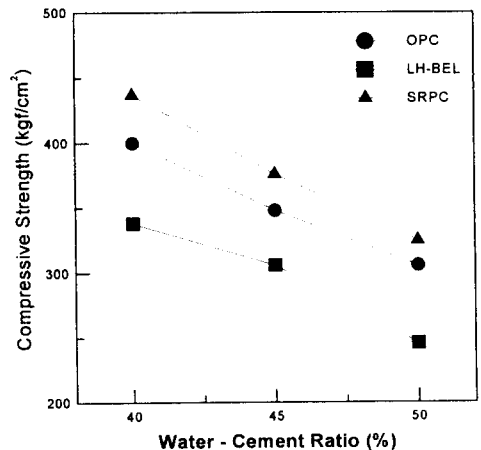


그림 1. 시멘트 종류별 재령 28일 압축강도

3.2 시멘트 종류별 촉진 염화물 확산특성

3.2.1 OPC를 사용한 콘크리트

그림 2는 OPC를 사용한 물-시멘트비 40, 45 및 50%의 콘크리트에 대한 촉진 염화물 확산시험결과를 경과시간에 따라 정리한 것이다. 물-시멘트비가 감소함에 따라 경과시간에 따른 염화물 농도 변화율도 약간 감소하는 경향을 나타내었으며, 염화물의 확산계수는 물-시멘트비 40, 45 및 50%에 대하여 각각 $4.76, 6.44$ 및 $7.04 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{sec}$ 으로 나타났다.

결과적으로 물-시멘트비 감소는 콘크리트의 조직구조를 치밀하게 하기 때문에 압축강도 향상뿐만 아니라 염화물의 침투저항성도 향상시키는 것을 알 수 있다.

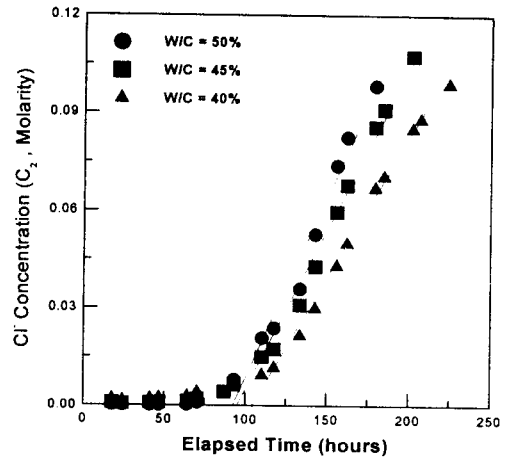


그림 2. OPC의 염화물 농도변화

3.2.2 LH-BEL 사용 콘크리트

수화열이 적고 장기강도 발현성이 좋은 C_2S 함량을 높여 수화열 저감, 유동성 향상을 도모한 LH-BEL을 사용한 콘크리트의 촉진 염화물 확산특성을 나타낸 것이 그림 3이다. 물-시멘트비 40, 45 및 50%에 대한 콘크리트의 염화물 확산계수는 각각 $8.79, 9.25$ 및 $15.2 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{sec}$ 로 나타났으며, OPC를 사용한 콘크리트의 촉진 염화물 확산시험결과와 비교하여 염화물의 침투속도는 매우 빠른 것을 알 수 있다. 이것은 수화특성이 비교적 낮은 다량의 C_2S 가 함유되므로써 시멘트의 수화반응이 지연되어 콘크리트의 조직구조가 치밀하지 못하며, 이로 인하여 재령 28일 압축강도가 OPC를 사용한 콘크리트의 약 85% 정도로 나타났기 때문으로 생각된다.

그러나 장기재령에서는 C_2S 의 계속적인 수화에 의해 콘크리트의 염화물 침투 저항성이 향상될 것으로 생각된다.

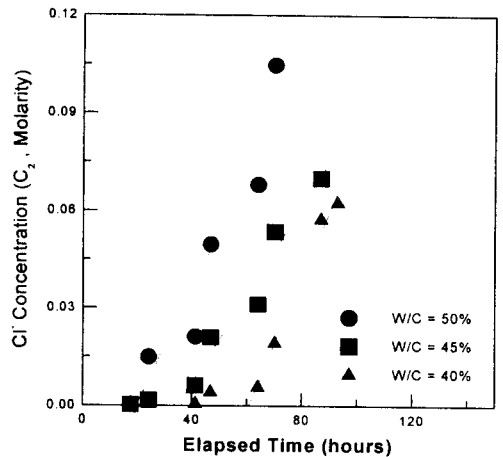


그림 3. LH-BEL의 염화물 농도변화

3.2.3 SRPC사용 콘크리트

SRPC는 황화물과 반응하여 생성되는 팽창성 에트리נג가이트에 의해 콘크리트의 내구성을 저하시키는 C_3A 의 함량을 5% 이하로 제한한 시멘트로서 1996년 콘크리트 표준시방서 개정 이전에는 해양콘크리트에 적합한 시멘트로 분류되어 있었다.

그러나 해양콘크리트의 내구성 저하는 주로 염화물 침투에 의한 철근부식이 주 원인으로 알려지면서 현재 콘크리트 표준시방서 해양콘크리트편에서는 제외되므로써 SRPC의 염화물 침투 저항성에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

그림 4는 물-시멘트비를 40, 45 및 50%로 변화시킨 SRPC를 사용한 콘크리트의 경과시간에 따른 촉진 염화물 확산특성을 나타낸 것이다. OPC를 사용한 콘크리트와 거의 유사한 촉진 염화물 확산특성

을 나타내었으며, 염화물 확산계수는 물-시멘트비 40, 45 및 50%에 대하여 각각 $4.92, 5.95$ 및 $6.41 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{sec}$ 으로 나타났다.

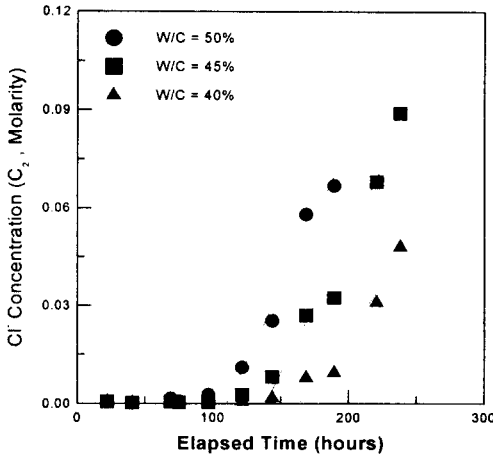


그림 4. SRPC의 염화물 농도변화

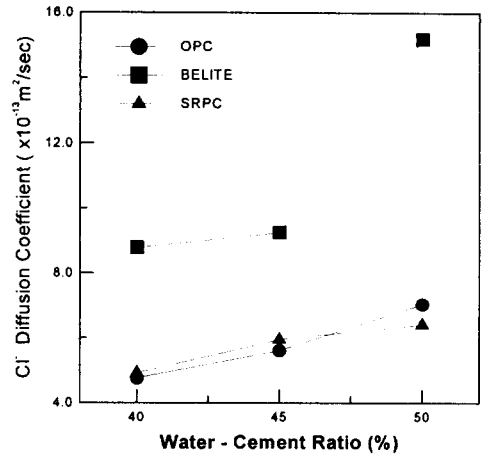


그림 5. 시멘트 종류별 염화물 확산계수

3.3 촉진염화물 확산계수

3종류의 시멘트를 사용하고 물-시멘트비 40, 45 및 50%인 콘크리트의 염화물 확산계수를 해석모델로부터 계산한 결과를 정리한 것이 그림 5이다.

경과시간에 따른 염화물의 농도변화 측정결과로부터 예상하였던 바와 같이 초기 강도발현이 비교적 느린 LH-BEL을 사용한 콘크리트의 염화물 확산계수가 가장 큰 값을 나타내었고 OPC 및 SRPC를 사용한 콘크리트는 거의 유사한 경향을 나타내었다.

4. 결론

이상의 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 시멘트 종류에 따른 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 물-시멘트비에 관계없이 SRPC, OPC 및 LH-BEL을 사용한 콘크리트 순으로 나타났으며, 특히 LH-BEL의 경우 OPC와 비교하여 약 85% 정도이었지만 장기재령에서는 OPC와 유사하거나 높은 강도를 나타낼 것으로 생각된다.
- (2) 시멘트 종류별 콘크리트의 촉진 염화물 확산특성은 LH-BEL을 사용한 콘크리트의 염화물 확산계수가 가장 높았으며, OPC 및 SRPC를 사용한 콘크리트는 유사한 경향을 나타내었다. 또한 물-시멘트비가 감소함에 따라 콘크리트의 조직구조가 치밀해지므로써 확산계수도 약간 감소함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Dhir, R.K. et al, "Rapid Estimation of Chloride Diffusion Coefficient in Concrete", Magazine of Concrete Research, Vol. 42, No. 152, 1990. 9, pp. 177~185
2. 이용은, 김진철, 이찬영, "콘크리트의 촉진염소이온 확산시험법에 관한 연구", 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol. 11, No. 1, 1999. 5, pp. 427~432