

염화물 확산 평가를 위한 전기적 실험법의 비교 연구

Comparison Study on Electric Acceleration Test Method for Estimation of Chloride Diffusion Coefficient

최윤석* 최성하* 김명유* 양은익** 이성태***
Choi, Yoon Suk Choi, Sung Ha Kim, Myung Yu Yang, Eun Ik Yi, Seong Tae

ABSTRACT

A general electric acceleration testing method for estimation of chloride diffusion coefficient is RCPT and CTH. Also, this testing methods have merit that reduce the testing time. In this paper, an experimental study is executed to investigate the effect of testing method on coefficient of chloride diffusion and it is compared with RCPT and CTH.

According to this experiment results, W/C ratio and testing method influence chloride diffusion coefficient of concrete. As W/C ratio is increased, diffusion coefficient in concrete is also increased. Diffusion coefficient obtained by each testing method show the different values. However, there is no remarkable difference between the two testing method.

1. 서론

염소이온에 노출되어 건설되는 철근콘크리트 구조물의 경우, 염소이온이 침투확산되어 콘크리트 중의 철근을 부식시키므로 내구적인 콘크리트 구조물을 건설하기 위해서는 콘크리트 중의 염소이온과 같은 유해이온의 확산계수 평가가 중요하다. 콘크리트 중의 염화물 침투 및 확산특성은 구조물이 위치한 환경에 따라 확산(diffusion), 침투(permeation) 및 흡수(absorption) 등과 같은 메커니즘이 복합적으로 작용하며 장기간의 시험기간이 소요되기 때문에 결과의 해석에 많은 어려움이 있다. 따라서 이러한 염소이온의 이동 메커니즘을 단시간에 정량적으로 평가하기 위한 많은 연구가 진행되고 있는 실정이나, 표준화된 시험법은 아직 마련되어 있지 않다. 특히 단 시간내에 콘크리트의 염화물 정량을 측정하는 시험법에 있어서 보편화된 시험법의 수정 및 보완도 필요로 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 단시간내에 콘크리트 염화물 특성을 파악하기 위해서 주로 사용되는 염화물 침투 실험인 전기적침투 실험법 중 RCPT시험법과 CTH시험법으로 염화물 침투 시험법에 따른 염화물 확산계수를 비교 평가 하였다. 이에 따른 결과로 타당한 단기 염화물 침투 시험법을 제시하는데 그 목적을 두었다.

*정회원, 강릉대학교 토목공학과 대학원생

**정회원, 강릉대학교 토목공학과 교수

***정회원, 충청대학 건설환경 시스템과 교수

2. 실험 개요

2.1 사용재료 및 배합

본 연구에 사용된 재료로서 시멘트는 S사의 1종 포틀랜드 시멘트, J사의 AE제와 감수제, 잔골재는 강릉시 연곡하천 자연사, 굵은 골재는 강릉 안인진리의 쇄석(Gmax=25mm)이 사용되었다. 실험에 사용한 배합을 정리하면 Table 1과 같으며, W/C 비와 양생 재령, 염화물 침투 시험방법을 변수로 두었으며 또한, 혼화제 사용과 침투깊이 측정을 위한 AgNO₃ 용액의 농도를 0.05N과 0.1N으로 달리하여 측정하였다.

Table 1 Mix proportion of concrete

W/C(%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				AE(%)	SP(%)
		W	C	S	G		
40%	43	170	425	716	1022	0.01	0.3
50%	45	172.5	345	776	1021	0.005	0
60%	46	172.5	288	815	1030	0.01	0.3

Table 2 Physical properties of aggregate

Type	Item	Specific gravity	Absorption	F.M.
Sand		2.59	1.01	2.65
Gravel		2.78	0.62	6.80

2.2 실험 방법

본 실험에서는 동일한 콘크리트 시험체(∅ 10×5cm)를 사용하였으며, 30V의 전압을 8시간 동안 걸어 전기 영동현상을 발생시켜 음극에서 양극으로 이동한 염화물이온(Cl⁻)의 침투 깊이를 AgNO₃용액을 사용하여 측정하였다. RCPT의 확산셀의 음극에는 3% NaCl용액, 양극에는 0.3M NaOH용액을 사용하였다.

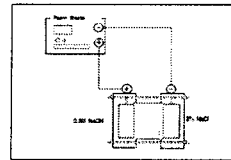


Fig. 1 RCPT

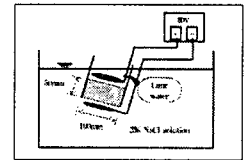


Fig. 2 CTH

3. 확산계수 평가

3.1 CTH에 의한 확산계수

단기 시험법인 CTH시험법은 Tang & Nilsson의 영동 실험장치(CTH)와 같은 원리를 가지고 실험하여 비정상상태의 염화물 확산계수를 평가하였으며, 실험세부 사항은 Table 4와 같다.

Table 4 CTH test detail

Item	Volt(V)	Time(hour)	F(J/Vmole)	R(J/Kmole)	T(°F)
Content	30	8	96485	8.3143	289±1

CTH에 의한 확산계수 평가는 Nernst-Einstein식에 의해 결정하였고 사용된 식은 식(1)과 같다.

$$D = \frac{RT}{zFE} \times \frac{x_f}{t} \text{ ----- 식(1)}$$

여기서 $x_f = x_d - 1.061x_d^{0.589}$ (mm) 이다.

3.2 RCPT에 의한 확산계수

RCPT시험법은 AASHTO T277실험 장치와 같은 원리로 실험되었으며 Browne, Crank 및 Laylor가

제시한 식으로 결정하였고 사용된 식은 식(2)와 같다.

$$D = \frac{RTL}{zFU} \times \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \text{ ----- 식(2)}$$

여기서, $\alpha = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \times \text{erf}^{-1}\left(1 - \frac{2C_d}{C_0}\right)$ 이다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 물/시멘트비가 확산계수에 미치는 영향

W/C 비의 변화를 둔 RCPT와 CTH의 확산계수 결과는 Fig. 3과 같다. RCPT와 CTH 두 실험법의 경우 동일하게 W/C 비가 커질수록 확산계수는 급격히 증가하였으며, 확산계수 변화가 W/C비 50%와 60%사이에서 크게 변화함을 알 수 있는데 이는 W/C비가 커질수록 내부조직이 느슨해지기 때문이다. 특히, W/C비 50% 이상이 되면 염화물 침투 저항성이 급격히 감소되는 것을 알 수 있다.

4.2 실험법간의 확산계수 차이

두 실험법간의 확산 계수 결과는 Fig. 3에 나타내었으며, RCPT시험법과 CTH시험법과의 큰 차이는 없었다. 그러나 약간의 차이를 보이는 것은 RCPT 시험법에서 확산셀의 온도상승이 CTH보다 높기 때문에 염화물 이온의 활성화 에너지가 높아져 침투가 활발히 진행되기 때문인 것으로 판단된다.

4.3 혼화재 혼입에 따른 실험법별 확산계수

혼화재 혼입에 따른 결과는 Fig. 4에 나타나 있으며, 고로슬래그 미분말과 실리카 흙을 대체함으로써 확산계수가 감소하였지만 플라이 애쉬를 대체한 경우는 OPC와 비슷한 수준의 확산계수 결과를 보였다. 이는 적절한 혼화재의 대체는 조직을 조밀하게 하므로 염화물의 확산속도를 감소시킬 수 있는 것으로 사료된다. 단, 플라이 애쉬의 경우는 큰 영향을 보이지 않았으며, 추가 검토가 필요하다.

4.4 양생 재령에 따른 확산계수

Fig. 5와 같이 RCPT와 CTH 두 경우 재령 7일 보다 재령 28일에서의 확산계수는 감소했으며, 이는 양생 재령이 길어지면 수화도가 높아지게 되고, 콘크리트 내부조직의 수밀성이 증가하기 때문이다.

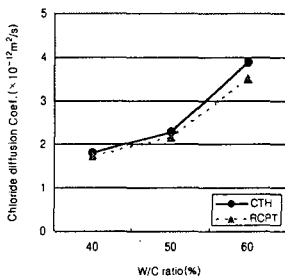


Fig. 3 Coefficient of chloride diffusion with W/C ratio

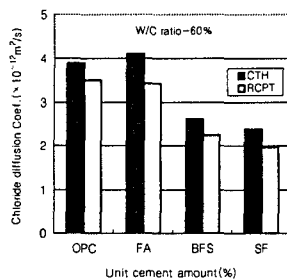


Fig. 4 Coefficient of chloride diffusion with blending of admixture

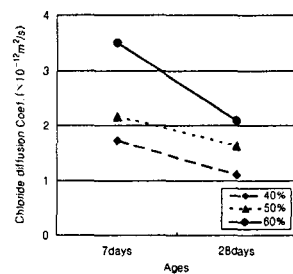


Fig. 5 Coefficient of chloride diffusion with curing ages

5. 결론

RCPT시험법과 CTH시험법으로 염화물 침투 시험법에 따른 염화물 확산계수를 비교 평가하기 위하여 수행된 본 실험의 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 두 실험법에서 모두 콘크리트의 W/C비는 염화물 확산계수에 영향을 미치며, W/C비가 커질수록 확산계수가 커지는 경향을 보인다. 특히, W/C비 50% 이상에서 확산계수가 크게 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 시험법에 따른 확산계수 평가에 있어서 시험법들은 W/C비의 영향을 잘 반영하며 확산계수는 서로 다르게 측정되었으나 그 차이는 크지 않았다.
- 3) 혼화재 혼입에 있어서 두 시험법은 비슷한 경향을 보였으며, 적절한 SF와 BFS의 혼입했을 경우에는 확산계수는 감소하였다.
- 4) 단기 시험법의 정확한 분석을 위해서는 장기 시험법과의 비교 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고 문헌

1. Otsuki, N., Nagataki, S., and Nakashita, K., "Evaluation of AgNO₃ Solution Spray Method for Measurement of Chloride Penetration into Hardened Cementitious Matrix Materials", ACI Materials Journal, Vol. 89, No. 6, pp. 589-592, 1992
2. Tang, L. and Nilsson, L.-O., "Chloride Diffusivity in High Strength Concrete", Nordic Concrete Research, Vol. 11, pp. 162-170, 1992
3. 오병환 외, "콘크리트 구조물의 염화물 확산거동 및 침투해석", 한국콘크리트학회, 연구소위원회보고서, 2001.
4. 양은익 외, "콘크리트 물성 및 시험법에 따른 콘크리트 염화물 확산", 한국콘크리트학회, Vol. 16, No. 2, pp. 261~268, 2004.