

콘크리트 내부 상대습도를 고려한 탄산화 깊이 산정 수치해석 모델 구축

Development of Analytic Model for Estimation of the Carbonation Depth Considering the R.H. in the Concrete

박 동 천* **조 규 환** **안 재 철** **강 병 희****
 Park, Dong-Cheon Cho, Gyu-Hwan Ahn, Jae-Cheol Kang, Byeung-Hee

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the depth of carbonation considering the relative humidity in concrete using the FEM model. The difference of relative humidity in concrete has not been considered in calculating the carbonation depth in analytic model. That reason can make the over estimation in expectation of RC structure durability. The temperature and R.H. expectation model and the carbonation depth expectation model are development in past author's studies. The two models are coupled in this study. The fact that there is the difference between actual environment and acceleration test is revealed from FEM numerical analysis.

Keywords : Concrete, Carbonation, Relative Humidity, FEM model

1. 서 론

철근 콘크리트 구조물은 염해, 중성화, 화학적 침식, 동결융해 등의 열화원인에 의하여 수명은 급격히 줄어들게 된다. 해안지역에서는 염해, 화학적 침식의 영향이 심하며, 내륙의 경우, 탄산화(중성화)의 영향이 탁월하다고 할 수 있겠다. 본 해석적 연구는 콘크리트 내부 상대습도 분포를 고려한 탄산화 해석모델을 구축하여 이들을 고려하지 않았을 경우와 비교함으로써 실제 현장의 탄산화깊이 산정과 탄산화 촉진시험에서의 결과를 검토해 보았다.

2. 해석개요

2.1 콘크리트 온습도 해석

콘크리트의 열확산 및 수분확산은 재료의 구성 및 온도, 상대 습도의 함수로 표현되며 열·수분 전달 지배방정식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

콘크리트내부의 시간경과에 따른 온도변화의 열전달 방정식은 식1과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho C_T \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (1)$$

상대습도 변화는 수분전달 방정식(식2)으로 주어진다.

$$\rho C_h \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_h \frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad (2)$$

대류 열전달은 Newton의 냉각법칙에 따라 계산하였으며, 콘크리트 표면의 복사열전달, 증발잠열량, 수분의 대류전달을 고려하여 계산하였다. 콘크리트의 물성 및 경계조건을 표1에 나타내었다.

2.2 이산화탄소 확산 반응 모델

이산화탄소 확산 반응모델을 그림1에 나타내었다. 이산화탄소 확산계수는 Papadakis et al.의 제안식(식(9))에 근거하여 해석하였으며, 상대습도가 변수로 되어있다.

3. 해석결과

그림2는 W/C=60% 콘크리트가 대기에 노출되어 있을 때 내부 상대습도 고려 유무에 따른 탄산화 깊이 비교를 나타낸 것으로 기

* 한국해양대학교 해양공간건축학부 부교수 공학박사, 교신저자(dcpark@hhu.ac.kr)

** 한국해양대학교 해양공간건축학부 박사과정

*** 동아대학교 건축공학과 연구원 공학박사

**** 동아대학교 건축공학과 교수 공학박사

본 논문은 2010년 국토해양부 기술연구개발의 지역기술혁신사업(과제번호:10지역기술혁신B01)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

표1 콘크리트의 물성 및 경계조건¹⁾

항 목	저 자	제 안 식
열전도율	김국한	$k_T = k_{ref} [0.28 + 1.03 AG] \times [0.8 (1.29 - 4.56 \times 10^{-6} (W/C)^3) + 0.2h] \times [1.05 - 0.0025T] \times [0.84 + 0.004(S/A)]$ 여기서, k_T 는 콘크리트의 열전도율(kcal/m·hr·°C), k_{ref} 는 골재함유비0.70, W/C 0.4, AG 0.4 온도20°C 및 완전습윤상태인 콘크리트의 기준열전도율이다. 본 연구에서는 2.12를 사용하였다. AG 는 골재 함유비(골재부피/콘크리트부피), W/C 는 물/시멘트비(%), h 는 상대습도(%), T 는 온도(°C), S/A 는 잔골재율(%)
대류 열전달 계수	Molineaux	$h_c = 3.1 + 2.1v$ 여기서, v 는 풍속[m/sec]
천공 온도	Bliss	$T_{sky} = T_{air} \left[0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right]^{0.25}$ 여기서, T_{dp} 는 이슬점 온도[K]
비 열	Maruyama	$C_c = W_{c,uc} C_{uc} + W_{c,hyd} C_{hyd} + W_{c,w} C_w + W_{c,ag} C_{ag}$ 여기서, C_c 는 콘크리트의 비열, $W_{c,i}$ 는 콘크리트 단위질량에 있어서 물질 i 의 질량비율, C_i 는 물질 i 의 비열, (uc 는 미수화 시멘트, hyd 는 수화 생성물, w 는 수분, ag 은 골재)
밀 도		2300(kg/m ³)
수분확산 계수	Mihashi, Kang	$k_h(T, h) = k_1 \cdot f_1(h) \cdot f_2(T) \cdot f_3(\phi) (\leq 95^\circ\text{C})$ $f_1(h) = \alpha + \frac{(1-\alpha)}{1 + \left(\frac{1-h}{1-h_m}\right)^n}$, $f_2(T) = \left(\frac{T+273}{293}\right)^N \exp\left[\frac{U}{R}\left(\frac{1}{293} - \frac{1}{T+273}\right)\right]$, $f_3(\phi) = \left(\frac{\phi}{\phi_{28}}\right)^m$ 여기서 k_h 는 기준온도($T=20^\circ\text{C}$)와 포화상태($h=1.0$)에서의 확산계수이고, $f_1(h)$ 은 상대습도가 확산계수에 미치는 영향을, $f_2(T)$ 은 상대습도 100%에서 온도가 확산계수에 미치는 영향을, $f_3(\phi)$ 은 공극률의 함수로서 재령의 영향을 나타낸다. U 는 활성화 에너지, R 는 기체 상수, α, h, h_m, n, N, m 은 콘크리트의 배합과 양생조건에 따라 변화하는 재료정수이다. ϕ_{28} 는 등가재령이 28일에서의 공극률을 나타내고, ϕ 는 임의재령 t 에서의 공극률
수분전달 표면계수	Kang	$f = 2.59 \times 10^{-5} (W/C - 0.2)^{0.48} \left(\frac{28}{t_0}\right)^{0.16}$ 여기서, t_0 은 노출개시 재령

존 연구의 이산화탄소 확산계수 및 반응계수를 적용한 경우 탄산화 깊이가 상당히 감소한 것을 알 수 있었다. 즉 50년간 폭로로 3.4cm의 탄산화 깊이는 상대습도를 고려할 경우 2.4cm가 되었다. 실제환경에 대한 정확한 해석을 실시하기 위해서는 기존의 이산화탄소 확산계수 및 반응계수로서는 정확히 산정할 수 없으며 촉진 실험 및 폭로실험 결과와 비교를 통하여 수정이 필요할 것으로 사료된다.

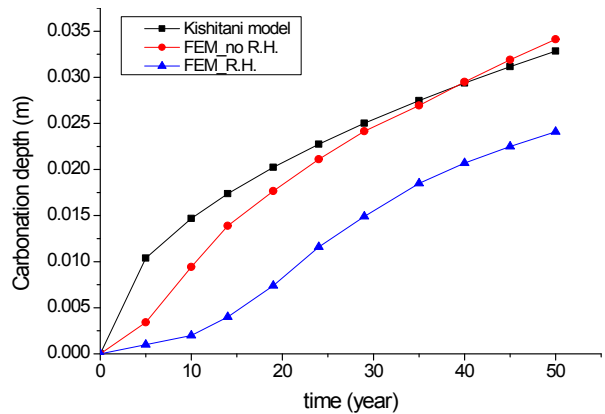


그림2. 상대습도 고려유무에 따른 탄산화 깊이 비교

참 고 문 헌

1. 박동천 외 4명, 환경변화에 따른 콘크리트 내부의 열·수분 경년변화 예측에 관한 해석적 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제 27 권, 2007.10
2. 박동천 외 1명, 실내 이산화탄소 농도 변화에 따른 탄산화 깊이 예측, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 2011

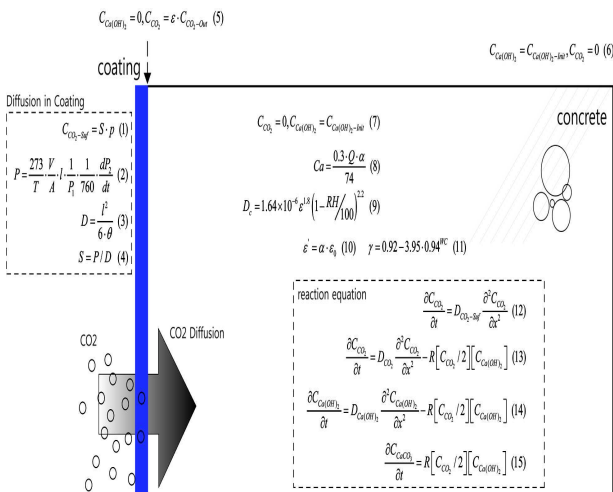


그림1. 이산화탄소 확산 반응 모델²⁾