

# CO<sub>2</sub>확산계수를 이용한 일반 대기환경에서의 중성화진행예측

## Prediction of Carbonation Progress Using Diffusion Coefficient of CO<sub>2</sub> in the Atmosphere

강 석 표<sup>1)\*</sup>

Kang, Suk Pyo

### Abstract

The rate of carbonation is usually low in the natural environment due to the low CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere. Therefore, investigation of carbonation is usually conducted under accelerated testing conditions so as to speed up the process. This study is to predict carbonation progress by mathematical model, based on the diffusions of CO<sub>2</sub> and its reaction with Ca(OH)<sub>2</sub> in carbonation progressing region, in the atmosphere. To predict of carbonation progress in the atmosphere, we adopted a diffusion coefficient of CO<sub>2</sub> that agreed well the experimental value obtained by the accelerated carbonation test. Consequently the model can predict the rate of carbonation of concrete exposed in the atmosphere regardless of finishing materials.

**Keywords** : Prediction of carbonation progress, Mathematical model, Diffusion of CO<sub>2</sub>, Calcium hydroxide, Atmosphere

### 1. 서론

철근콘크리트구조물에 내장되어 있는 철근은 콘크리트의 알칼리 농도에 의해서 보호되지만 대기중의 이산화탄소가 콘크리트내부로 확산되어감에 따라 알칼리성을 소실하여 철근의 부동태 피막이 파괴되어 철근의 부식을 유발한다.

이러한 콘크리트의 중성화는 철근의 발청에 의한 피복 콘크리트의 균열·박락 및 철근의 내력한계 도달 등과 같은 내구성능저하를 초래하게 된다(岸谷孝一ほか, 1988).

최근 들어 각종 콘크리트구조물의 내구성 부족과 열화 현상으로 인한 내용년수의 저하와 구조물의 안정성 및 거주성의 약화에 대해 사회적 관심이 고조되어 있는 실정에서 콘크리트의 중성화진행속도의 합리적 예측법의 확립은 철근의 부식진행과 관련해서 건축물의 수명예측기술과 유지·보수방법의 확립기초에 있어 매우 중요한 일이라 할 수 있다.

콘크리트의 중성화는 일반 대기 환경하에서 콘크리트의 중성화와 철근의 부식진행에 기초하여 철근콘크리트구조물의 물리적수명을 논의하는 것이 일반적이며, 철근콘크리트구조물의 물리적 수명을 추정함으로써 보수여부 판정 및 보수공법 선정에 관한 정보를 얻은 후 회복 목표수준을

설정하여 보수범위를 결정하고 구체적인 보수재료 및 보수구법을 설계하여 보수공법에 관한 시방을 결정하게 된다.

콘크리트의 노후화 및 내력을 중심으로 콘크리트 구조물의 물리적수명을 생각한 경우에는 콘크리트의 중성화에 의한 수명(중성화 수명설), 균열발생에 의한 수명(부식균열 수명설), 구조내력저하에 의한 수명(내력한계 수명설)이 있으며, 중성화 수명설은 너무 안전측이고, 내력한계 수명설은 너무 위험측에 속하므로 부식균열 수명설이 가장 합리적인 것으로 평가되고 있다. 부식균열에 의한 수명을 예측하기 위해서는 피복두께에 도달하게 되는 콘크리트 중성화진행 예측 및 철근부식량과 균열발생과의 관계에 의해서 결정되지만 아직까지 명확하게 규명되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 Fick의 제 1법칙에 따른 CO<sub>2</sub>확산에 의하여 중성화가 진행하고 중성화가 진행함에 따라서 CO<sub>2</sub>는 Ca(OH)<sub>2</sub>와 반응하여 감소하게 된다는 것을 고려한 기본확산방정식을 바탕으로 축진 중성화시험을 통한 실험데이터와 가장 유사하게 표현할 수 있는 CO<sub>2</sub>확산계수를 채택하여 일반대기환경에서의 중성화진행을 예측함으로써 철근콘크리트구조물의 내구성설계 및 장수명화를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

1) 정회원, 우석대학교 건축·인테리어디자인학과 전임강사

\* Corresponding author : ksp0404@empal.com 063-290-1139

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2010년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 2. 중성화진행 모델화

본 논문에서 적용한 중성화진행 모델은 기존 연구자들이 제시한 모델 중 콘크리트중의 CO<sub>2</sub> 확산 및 중성화진행영역에서의 CaCO<sub>3</sub>와 Ca(OH)<sub>2</sub>의 공존을 고려한 CO<sub>2</sub>와 Ca(OH)<sub>2</sub>와의 반응을 고려한 모델을 활용하였다(梶田佳寛ほか, 1991; 黄光律ほか, 2001).

### 2.1 기본확산방정식

콘크리트내부의 미소구간 [ $\chi, \chi+d\chi$ ]를 고려하여  $\Delta t$ 시간에 이 미소구간  $X=\chi$ 의 면으로부터 확산에 의해 들어오는 CO<sub>2</sub>의 양은 CO<sub>2</sub>의 농도구배에 비례하므로 CO<sub>2</sub>의 농도를  $C=C(\chi,t)$ 로 나타내고  $\Delta t$ 시간당의 CO<sub>2</sub>농도 변화를  $\Delta C$ , 콘크리트에서의 CO<sub>2</sub>의 확산계수를  $D$ 라 할 때 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

또한 [ $\chi, \chi+d\chi$ ]의 면으로부터 확산해 나가는 CO<sub>2</sub>의 양은 식 (2),  $\Delta t$ 시간에 이 미소구간에서 Ca(OH)<sub>2</sub>와 반응해서 소비되는 CO<sub>2</sub>의 양은 Ca(OH)<sub>2</sub>의 농도를  $Ca=Ca(x,t)$ 로 하고 반응속도정수를  $k$ 라 할 때 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta C dx = -D \frac{\partial C}{\partial x} \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$\Delta C dx = -D \left\{ \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial C}{\partial x} \right) dx \right\} \cdot dt \quad (2)$$

$$\Delta C dx = -k \cdot C \cdot Ca \cdot dx \cdot \Delta t \quad (3)$$

따라서  $\Delta t$  시간에 이 미소구간에 대한 CO<sub>2</sub>의 변화량은 식 (1),(2),(3)로부터 기본확산방정식으로서 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - k \cdot C \cdot Ca \quad (4)$$

식 (4)의  $Ca$ 는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 농도를 표현하며 CO<sub>2</sub>와의 반응에 의해 감소하게 된다.  $Ca$ 값의 감소는 콘크리트의 pH의 감소 및 콘크리트의 중성화를 의미한다. 또한  $Ca$ 는 미소구간에서 소비된 CO<sub>2</sub>량에 의해 표현이 가능하며 Ca(OH)<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>의 화학반응을 1차반응으로 가정하고 있기 때문에  $\Delta t$ 당의 Ca(OH)<sub>2</sub>의 농도변화  $\Delta Ca$ 는 식 (5), (6)과 같이 표현된다.

$$\Delta Ca = -k \cdot C \cdot Ca \cdot \Delta t \quad (5)$$

$$\frac{1}{Ca} \cdot \frac{dCa}{dt} = -k \cdot C \quad (6)$$

여기에서  $t=0$ 일때  $Ca = Ca_{t=0}$ 이므로 식(8)의 해로

서 식 (7)을 얻을 수 있다.

$$Ca = Ca_{t=0} \cdot \exp \left\{ -k \int_0^t C(\tau) d\tau \right\} \quad (7)$$

식 (7)은 임의의 시간  $t$ 에 대한 Ca(OH)<sub>2</sub>의 농도를 표현하고 있으며  $Ca$ 가 어느 수치까지 저하한 시간에 그 부분에서의 콘크리트가 중성화되었다고 판단할 수 있다.

식 (4)에 식 (7)을 대입하면 CO<sub>2</sub>가 Fick의 제 1법칙에 따른 중성화 진행속도의 기본방정식 식 (8)을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - k \cdot C \left[ Ca_{t=0} \cdot \exp \left\{ -k \int_0^t C(\tau) d\tau \right\} \right] \quad (8)$$

여기서,  $D$  : 확산계수 (cm<sup>2</sup>/day)

$\Delta t$  : 시간 mesh interval (day)

$C$  : 표면의 CO<sub>2</sub>농도 (mol/cm<sup>3</sup>)

$\Delta x$  : 공간 mesh interval (cm)

$k$  : CO<sub>2</sub>와 Ca(OH)<sub>2</sub>의 반응속도 (day<sup>-1</sup>)

$Ca_{t=0}$  :  $t=0$ 일때의 콘크리트내의 Ca(OH)<sub>2</sub>의 초기물농도 (mol/cm<sup>3</sup>)

### 2.2 경계조건

콘크리트는 반무한 고체로서 표면으로부터 물질이 한 방향으로 침투·확산해 가는 경우 확산방정식의 경계조건은 일반적으로 다음과 같다.

[초기조건]

$$x=0, 0 \leq x < \infty : C(x_i, t_0) = 0 \quad (9)$$

[경계조건]

$$t > 0, x=0, : C(x_0, t_j) = C_0 \quad (10)$$

여기서,  $C_0$  : 콘크리트 표면부의 CO<sub>2</sub>농도 (mol/cm<sup>3</sup>)

### 2.3 차분방정식에 의한 방정식의 유사해

식 (8)의 좌변 및 우변의 제1항과 제2항 지수부분은 각각의 차분방정식에 의한 유사해를 구하면 다음의 식 (11)~식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{C_i^{j+1} - C_i^j}{\Delta t} \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{C_{i+1}^j - 2C_i^j + C_{i-1}^j}{\Delta x^2} \quad (12)$$

$$\left\{ \exp\left[-k \int_0^{-t} C(\tau) d\tau\right] = \exp\left[-k \sum_{i=0}^j C_i^j \Delta t\right] \right\} \quad (13)$$

이러한 식들을 식 (8)에 대입하여  $C(x_i, t_{j+1})$ 를 구하기 위한 초기조건  $C(x_i, t_1)=0$  및 경계조건  $C(x_1, t_j)=C_0$ 를 이용하여 순차적으로  $C(x_i, t_{j+1})$ 를 구하게 되면  $CO_2$ 농도의 유사해가 식 (14)와 같이 얻어진다.

$$C_i^{j+1} = \left\{ 1 - 2d - \left( \Delta t \cdot k \cdot Ca_{t=0} \cdot e^{-k \sum_{i=1}^j C_i^j \Delta t} \right) C_i^j \right\} + d(C_{i+1}^j + C_{i-1}^j) \quad (14)$$

$$Ca = Ca_{t=0} \cdot e^{-k \int_0^t C(\tau) d\tau} = Ca_{t=0} \cdot e^{-k \sum_{i=1}^j C_i^j \Delta t} \quad (15)$$

$Ca(OH)_2$ 의 분포는 식 (15)에  $Ca_{t=0}$ 를 대입하여 구할 수 있고, 중성화깊이는  $Ca(OH)_2$ 의 농도가 최초의 농도에 대해서 일정량 감소하거나 일정비율 감소한 점을 구하여 산출할 수 있다.

#### 2.4 $CO_2$ 농도와 $Ca(OH)_2$ 의 농도

시멘트는 그 종류에 따라 화학조성이 조금은 다르지만, 일반적으로  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$ 로 구성되어 있다. 시멘트 수화반응에 있어서는  $C_3S$  및  $C_2S$ 가 주가 되며, 식 (16) 및 식 (17)과 같이 CSH 화합물을 생성함과 동시에  $Ca(OH)_2$ 가 생성된다.



보통 포틀랜드 시멘트에서는 수화율이 100 %인 경우, 시멘트 질량의 약 30 %의  $Ca(OH)_2$ 가 생성된다. 따라서, 콘크리트 1 m<sup>3</sup>중의  $Ca(OH)_2$ 의 몰농도는 단위시멘트량(Q)과 시멘트 수화율에 따라 식 (18)과 같은 식으로 표현 가능하다.

$$Ca = 0.3Q \frac{\alpha}{74} \quad (18)$$

여기서,  $Ca$  :  $Ca(OH)_2$ 의 몰농도(mol/cm<sup>3</sup>)  
 $Q$  : 단위시멘트량(kg/m<sup>3</sup>)  
 $\alpha$  : 시멘트의 수화율

#### 2.5 콘크리트표면부의 $CO_2$ 농도

콘크리트 표면부 공극중의  $CO_2$ 의 농도는 대기중의  $CO_2$  농도와 동일하다고 가정하면 콘크리트 표면부  $CO_2$ 의 농

도는 대기중 단위체적당의  $CO_2$ 농도에 콘크리트 체적공극율을 곱한값이 된다. 콘크리트 포화상태에 대한 흡수율은 질량비로 약 10%이기 때문에 콘크리트의 체적공극율은 약 20%로 사료된다. 따라서 콘크리트 표면부의  $CO_2$ 농도는 대기중  $CO_2$  농도의 20%로 계산한다(梶田佳寛ほか, 1991).

#### 2.6 콘크리트의 중성화와 $Ca(OH)_2$ 의 농도

콘크리트의 중성화는 일반적으로 페놀프탈레인 1% 알코올 용액에 의해 적자색으로 변한지점까지의 깊이로 결정되지만, 이러한 적자색의 착색경계선과 콘크리트의  $Ca(OH)_2$  농도 또는 pH값과의 관계는 종종 조건에 따라 변동하게 되므로 항상 일정하다고 말할 수는 없다.

따라서 중성화 영역과 미중성화 영역의 경계를 판단하는데 있어서, 본 연구에서는 콘크리트 중  $Ca(OH)_2$  농도가 최초농도의 90%범위까지 감소한 지점을 중성화깊이로 계산하였다.

### 3. 축진 중성화 실험

#### 3.1 콘크리트배합 및 시험체 제작

본 실험에서의 콘크리트 배합은 Table 1에 나타내었으며 사용재료의 물리적 성질은 Table 2 및 Table 3과 같다.

축진 중성화깊이 측정용 공시체는 10×10×40cm의 각주형 공시체를 사용하였으며 측정면을 선정 후 나머지 면을 에폭시코팅하여 중성화 진행을 한쪽 방향으로 유도하

Table 1 Mix design of concrete

W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )			
		Water	Cement	Sand	Gravel
60	49.0	193	323	873	912

Table 2 Physical properties of used materials

Cement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kinds : Ordinary portland cement</li> <li>• Density : 3.15g/cm<sup>3</sup></li> </ul>
Sand	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kinds : River sand</li> <li>• Density : 2.60g/cm<sup>3</sup></li> </ul>
Gravel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kinds : Crushed stone</li> <li>• Density : 2.62g/cm<sup>3</sup></li> </ul>

Table 3 Physical properties of paints

Kinds	Specific gravity	Viscosity	pH	Volatile liquid	Type
Paint I	1.38	88	8.8~9.5	41%	Acryl-emulsion
Paint II	1.40	87	8.8~9.5	46%	

Table 4 Depth of accelerated carbonation

W/C (%)	Type of finishing material	Depth of accelerated carbonation (mm)							
		1week	2weeks	3weeks	4weeks	5weeks	6weeks	7weeks	8weeks
60	None	12.0	15.5	16.2	18.9	20.4	21.8	23.9	24.7
	Paint I	8.0	9.6	11.5	12.3	14.2	14.2	17.7	17.2
	Paint II	9.7	12.6	13.0	14.9	15.1	17.9	18.7	20.4

Table 5 Input data for prediction model on progress of carbonation

W/C (%)	Type of finishing material	Concentration of CO <sub>2</sub> (×10 <sup>-6</sup> mol/cm <sup>3</sup> )	Concentration of Ca(OH) <sub>2</sub> (×10 <sup>-6</sup> mol/cm <sup>3</sup> )	Constant of reaction velocity k (/day)	Diffusion coefficient of CO <sub>2</sub> D (cm <sup>2</sup> /day)
60	None	0.3	1.0	500,000	0.210
	Paint I				0.120
	Paint II				0.158

였다. 마감용 재료는 무도포와 국내 아파트의 외벽마감에 주로 사용되는 페인트 1급과 페인트 2급으로 하였다(김무한외, 1999).

### 3.2 측정항목 및 측정방법

중성화촉진조건은 온도 20℃, 습도 50%, CO<sub>2</sub> 농도 5%이며 중성화촉진 재령은 1, 2, 4, 8 주로 설정하였다. 재령에 따른 중성화 깊이의 측정은 페놀프탈레인 1% 알코올용액을 분무하여 표면으로부터 적색으로 변화하지 않는 부분을 중성화깊이로 하여 측정하였다.

### 3.3 측정결과

물시멘트 60%에서의 마감재 무처리, 페인트 1급, 페인트 2급에 따른 재령 8주까지의 촉진 중성화 깊이를 Table 4에 나타내었다.

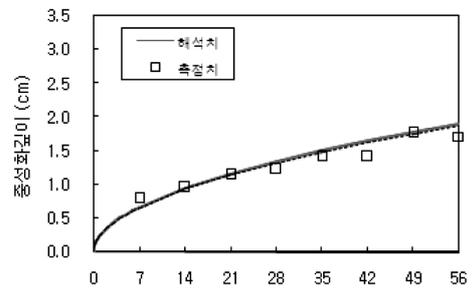
## 4. 중성화속도 예측

### 4.1 CO<sub>2</sub>확산계수

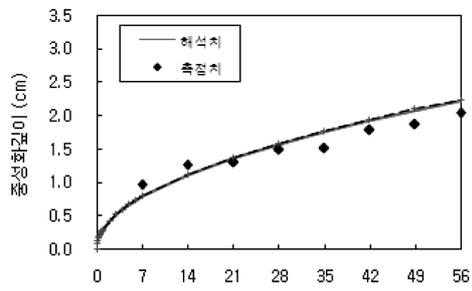
Ca(OH)<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>의 반응속도 정수는 기존의 연구(梶田佳寛ほか, 1991; 魚本健人ほか, 2001)를 바탕으로 W/C 60%에서 500,000/day로 설정하였으며, CO<sub>2</sub> 농도 및 Ca(OH)<sub>2</sub> 농도는 각각 0.3×10<sup>-6</sup>mol/cm<sup>3</sup>, 1.0×10<sup>-6</sup>mol/cm<sup>3</sup>로 설정하였다.

또한 CO<sub>2</sub> 확산계수는 중성화촉진실험의 결과와 가장 근접하는 값을 적용하였으며, 그 결과 콘크리트의 중성화 촉진실험 결과로부터 구해진 중성화속도와 가장 잘 일치하는 CO<sub>2</sub> 확산계수는 무도포, 페인트 1급, 페인트 2급의 경우 각각 0.210cm<sup>2</sup>/day, 0.120cm<sup>2</sup>/day, 0.158cm<sup>2</sup>/day로 나타났다.

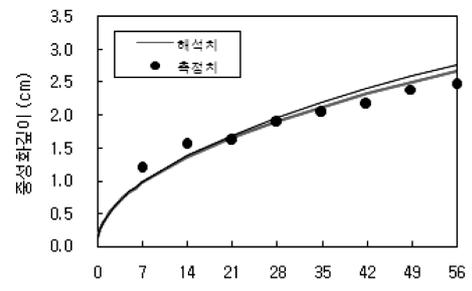
본 연구에서 적용한 촉진 중성화 진행예측을 위한 입력 조건을 Table 5에 나타내었다.



(a) 페인트 1급



(b) 페인트 2급



(c) 무도포

Fig. 1 Comparison between calculated value and experimented value

### 4.2 촉진환경에서의 중성화진행 예측

Fig. 1은 중성화촉진실험의 결과로부터 계산된 중성화

속도와 중성화 진행의 확산방정식으로 계산된 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

1, 2, 4, 8 주 재령의 중성화촉진실험을 통해 중성화 진행속도는 무도포, 페인트 2 급, 페인트 1 급의 순으로 빠르게 나타났으며 중성화 진행을 예측한 결과 중성화촉진 실험의 실측치와 해석치가 매우 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 Fig. 1의 중성화 진행의 확산방정식으로 계산된 결과를 기본으로 하여 페인트 종류에 따른  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 농도변화를 나타낸 것으로 수치해석에서 적용한 재령은 우측으로부터 9~1년(1년 단위), 8~1주(1주 단위), 6~1일(1일 단위)로 총 23 수준으로 하였다.

재령 1년까지의  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 농도변화는 콘크리트표면으로부터 깊이에 따라서 상대적으로 급격한 변화를 나타내고 있으나 재령 1년 이후에  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 재령에 따른 농도변화폭은 감소하는 것으로 나타났다.

이는 기존의 연구(J. Kropp, 1995)를 통해 일반적으로

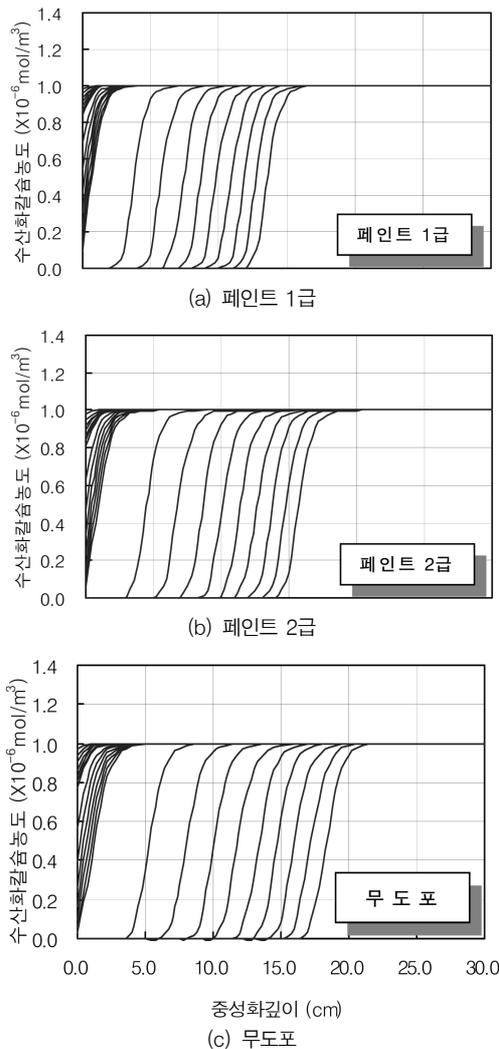


Fig. 2 Concentration of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  in the accelerated condition

잘 알려져 있는 콘크리트중의  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 과 대기중의  $\text{CO}_2$ 가 반응하여  $\text{CaCO}_3$ 를 생성함으로써 모세공극량이 줄어들고 조직이 치밀화되어 재령에 따른  $\text{CO}_2$ 의 침투속도가 감소하는 현상으로 사료된다.

또한 동일 재령에서의 깊이에 따른  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 농도는 페인트 1급, 페인트 2급, 무도포의 순으로 높게 나타났다.

### 4.3 일반 대기환경에서의 중성화진행 예측

$\text{CO}_2$  농도는 중성화촉진실험의 환경조건 농도 5%와는 달리 기존의 문헌(梶田佳寛ほか, 1991)에서 제시하고 있는 일반 대기중의  $\text{CO}_2$  농도 0.03%로 가정하여 콘크리트 표면부  $\text{CO}_2$  몰농도를  $0.235 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^3$ 로 적용하였다.

Fig. 3은 중성화촉진환경의  $\text{CO}_2$ 확산계수를 적용하여 일반 대기환경에서의 콘크리트 중  $\text{CO}_2$ 확산에 의한 재령 100년까지의  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 농도변화를 나타낸 것이다.

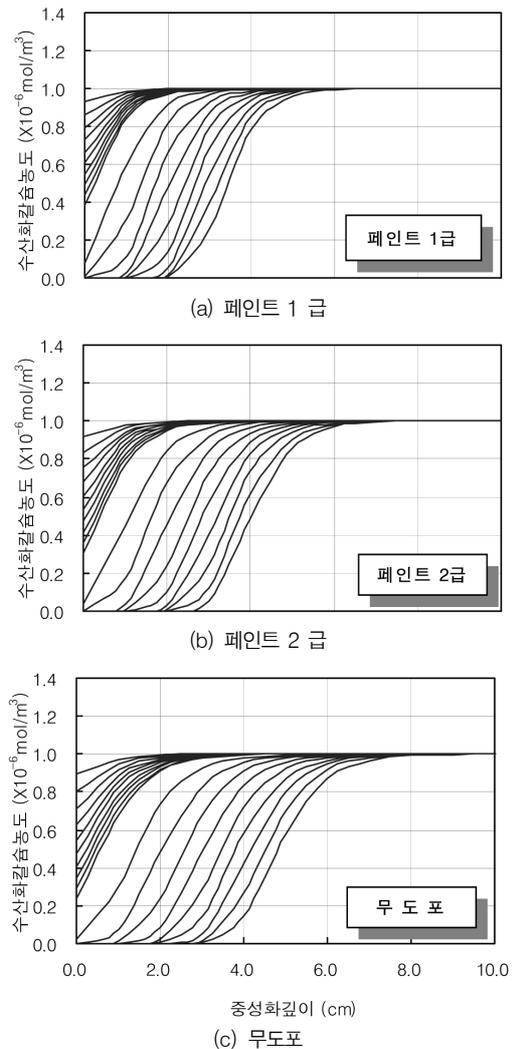


Fig. 3 Concentration of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  in the atmosphere

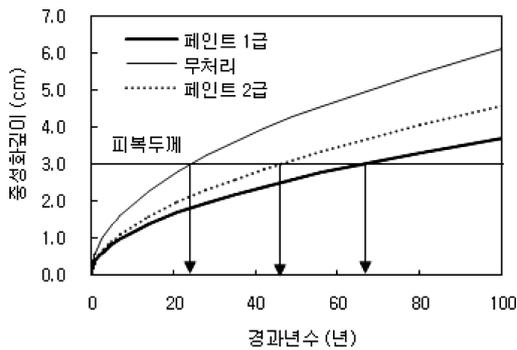


Fig. 4 Prediction of carbonation progress in the atmosphere

Fig. 4는 W/C 60%에서  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와  $\text{CO}_2$ 의 반응속도 정수 500,000/day으로 설정하고 중성화촉진환경에서의  $\text{CO}_2$ 의 확산계수 무도포 0.210, 페인트 1급 0.120, 페인트 2급 0.158 $\text{cm}^2/\text{day}$ 을 각각 적용하여 일반 대기환경에서의 중성화진행을 예측한 결과를 나타낸 것이다.

중성화 진행속도는 페인트 1급, 페인트 2급, 무도포의 순으로 느리게 나타났으며 페인트를 도포함에 따라 중성화속도를 억제할 수 있는 것으로 나타났다.

또한 철근콘크리트의 피복두께를 3cm로 가정하였을 경우 기존의 확산방정식을 통해 산출한  $\text{CO}_2$ 확산계수를 적용하여 중성화가 내부철근의 표면에 도달하는 시점은 무도포 약 25년, 페인트 2급 약 48년, 페인트 1급 약 70년으로 나타났다. 일반적인 철근콘크리트구조물의 내용년수를 65년으로 가정하였을 경우(日本建築學會, 2004) 본 연구 범위내에서는 W/C 60%에서 중성화가 피복두께 3cm인 철근표면에 도달하는 시점을 65년 이상으로 유지하기 위해서는 페인트 1급을 도포해야 할 것으로 사료된다.

## 5. 결론

기존의 연구(梶田佳寛ほか, 1991; 黄光律ほか, 2001)를 바탕으로 한  $\text{CO}_2$ 확산에 의한 중성화 진행의 확산방정식을 통해 해석치와 중성화촉진실험 결과의 실측치를 비교하여 적용하고 이를 기본으로 일반 대기환경에서의 중성화진행속도를 예측해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 중성화 진행방향을 한쪽 방향으로 유도한 중성화촉진실험 결과와 중성화진행 확산방정식을 통해 산출한 중성화속도가 가장 근접하게 되는  $\text{CO}_2$ 확산계수는 무도포 0.210 $\text{cm}^2/\text{day}$ , 페인트 1급 0.120 $\text{cm}^2/\text{day}$ , 페인트 2급 0.158 $\text{cm}^2/\text{day}$ 로 나타났다.

2) 철근콘크리트구조물의 내구성확보를 위한 방안으로서 페인트의 도포는 중성화속도를 저감시킬 수 있는 것으로 나타났으며 철근콘크리트의 피복두께를 3cm로 가정하였을 경우 중성화가 내부철근의 표면에 도달하는 시점은 무도포가 약 25년, 페인트 2급 약 48년, 페인트 1급 약 70년으로 나타났다.

3) 일반적인 철근콘크리트구조물의 내용년수를 65년으로 가정하였을 경우 본 연구에서는 W/C 60%에서 중성화가 피복두께 3cm인 철근표면에 도달하는 시점을 65년 이상으로 유지하기 위해서는 페인트 1급을 도포해야 할 것으로 사료된다.

4) 확산방정식을 적용한 일반 대기환경에서의 중성화 진행 예측을 통해 철근콘크리트구조물의 내구성설계를 위한 보다 정량적인 수명예측수법으로서 그 활용이 가능할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 2009학년도 우석대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행된 연구의 결과로 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 김무한 외, 중성화에 영향을 미치는 물시멘트비와 마감재 종류에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 가을학술발표회 논문집, 1999, pp.667-670
2. 岸谷孝一ほか, 콘크리트 구조물의 내구성 시리즈 중성화, 技報堂
3. 梶田佳寛ほか, 콘크리트의 중성화 진행 예측 모델, 콘크리트 공학 논문집, 1991. 1, pp.125-134
4. 黄光律ほか, 플라이아쉬를 혼입한 콘크리트의 중성화 진행의 예측, 日本建築學會構造系 논문집, 第541号, 2001, 3, pp. 9-15
5. 日本建築學會, 鐵筋콘크리트 造建築物의 내구성 설계·시공 지침(案)·同解説, 2004, pp.92-108
6. 松本洋一ほか, 炭酸칼슘의 재용해를 고려한 炭酸反應에 관한 모델 해석, 콘크리트 공학 연차 논문 보고서, Vol. 20, No. 2, 1998, pp.961-966
7. 千葉一雄ほか, 몰탈 콘크리트의 투기성과 투기성이 중성화에 미치는 영향, 技年報41, 昭和62年, pp.347-350
8. Kropp, J., Performance Criteria for Concrete Durability, E&FN Spon, London, 1995, pp.103-111

(접수일자 : 2009년 9월 16일)  
(심사완료일자 : 2009년 11월 20일)

---

## 요 지

일반적으로 일반대기중의 CO<sub>2</sub> 농도는 낮기 때문에 자연상태에서는 중성화정도는 매우 느리게 된다. 따라서 콘크리트의 중성화 정도를 평가하기 위해서는 일반적으로 진행속도를 빠르게 하기 위하여 촉진 시험조건하에서 진행하게 된다. 따라서 본 논문은 CO<sub>2</sub>의 확산 및 Ca(OH)<sub>2</sub>와의 반응을 바탕으로 한 수학적 모델을 통하여 일반대기환경하에서의 콘크리트 중성화 진행을 예측하고자 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 촉진 중성화시험을 통하여 얻어진 실험치와 가장 유사한 CO<sub>2</sub> 확산계수를 채택하여 일반대기환경에서의 중성화진행을 예측하고자 하였다. 그 결과 CO<sub>2</sub> 확산계수를 이용한 수학적 모델을 통하여 마감재 종류에 관계없이 일반대기환경에서의 콘크리트 중성화진행속도를 예측할 수 있었다.

**핵심 용어** : 중성화진행 예측, 수학모델, CO<sub>2</sub> 확산계수, 수산화칼슘, 일반 대기환경

---