

# 원전 콘크리트 구조물의 중성화 진행 예측 기법에 관한 연구

## A Study on the Prediction Method of Carbonation Process for Concrete Structures of Nuclear Power Plant

고 경택\* 김도겸\* 김성욱\* 조명석\*\* 송영철\*\*\*

Koh, Kyoung-Taek Kim, Do-Gyeum Kim, Sung-Wook Cho, Myung-Sung Son, Young-Chul

### Abstract

The carbonation process is affected by both the concrete material properties such as W/C ratio, types of cement and aggregates, admixture characteristics and the environmental factors such as CO<sub>2</sub> concentration, temperature, humidity. Based on results of preliminary study on carbonation, this study is to develop a carbonation prediction model by taking account of CO<sub>2</sub> concentration, temperature, humidity and W/C ratio among major factor affecting the carbonation process. And to constitute a model formula which correspond to the mix design of the nuclear power plant, test coefficient that correspond to the design of the nuclear power plant is obtained based on the results of accelerated carbonation test. Also a field coefficient which is obtained based on results of the field examination is included to improve the conformity of the actual structures of nuclear power plant.

**keywords:** Carbonation, concrete structures of nuclear power plant, concrete material properties, environmental factors, test coefficient, field coefficient

### 1. 서 론

철근 콘크리트 내부의 철근은 콘크리트의 높은 알칼리 농도에 의해 보호되고 있지만, 대기중의 이산화탄소가 콘크리트 표면으로부터 확산되어 중성화가 진행

된다. 그리고 중성화가 철근이 있는 내부까지 도달하면 철근이 부식되어 콘크리트의 내구성능 저하가 시작된다.<sup>1),2)</sup>

대기중의 이산화탄소 농도는 환경조건에 따라 다르지만, 일반적으로 실외에서는 0.035% 선후이며, 실내

\* 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원

\*\* 한국연구재단 차세대연구실 선임연구원

\*\*\* 한국연구재단 차세대연구실 책임연구원

E-mail : ktgo@kict.re.kr 031-9100-537

• 본 논문에 대한 보러플 2002년 3월 31일까지 약회로 보내 주시면 2002년 7월호에 보러플과함 게재하겠습니다.

에서는 0.07%전후이다. 그러나 최근 석유, 식량 등 화학 원료의 사용량이 증대되면서 이산화탄소 농도는 계속 증가하는 경향이 있다. 즉, 이런 추세로 이산화탄소 농도가 계속 증가된다면 현재에 있어서는 증성화에 대해 별로 관계가 되지 않은 구조물이라도 향후에 문제가 발생할 수도 있다는 것을 의미한다. 따라서 콘크리트 증성화의 실행은 콘크리트 구조물의 내구성유지 파악하는 데에 있어서 특히 중요하다. 또한 콘크리트 구조물의 유지관리 측면에 있어서도 증성화와 실행을 미리 예측하여 시기 적절하게 대처하는 것이 매우 중요하다.

한편 콘크리트 구조물의 성능을 저하시키는 내구성능 저하의 요인으로서 콘크리트 그 자체에 내재하고 있는 내적 내구성능 저하 요인과 구조물의 처한 환경 등에 의해 결정되는 외적 내구성능 저하 요인으로 대별된다. 증성화 속도에 미치는 내적 내구성능 저하 요인인 침-시멘트비, 시멘트와 골재의 증가, 혼화재료의 증가 및 첨가량, 양생조건 등의 영향에 대해서는 기존 연구에 의해 어느 정도 규명되었으며, 이러한 요인을 포함한 증성화 속도식도 여러 연구자에 의해 제안되어 있다. 그러나 이산화탄소 농도, 온도, 습도와 같은 외적 내구성능 저하 요인을 고려한 증성화 실행 예측 모델식에 대해서는 체계적인 연구가 이루어지지 않고 있다. 그리고 증성화 속도는 사용하는 배합 및 시멘트의 종류에 따라 다르게 실행되므로 보다 정확한 증성화 실행을 예측하기 위해 사용하는 콘크리트와 배합 등을 고려할 필요가 있다. 또한 실험 데이터로 구성된 증성화 속도 예측식은 실제 구조물에서 발생할 수 있는 상황을 전부 고려할 수 없으므로 적합성이 저하될 수 있다.<sup>3),4),5)</sup>

따라서 본 연구의 증성화 예측 모델식에는 기존의 증성화에 관한 국내의 실험결과를 토대로 침-시멘트비, 이산화탄소 농도, 온도, 습도를 고려한 계수를 구하였으며, 원천 배합에 적합한 증성화 예측 모델식을 구성하기 위해 증성화 촉진 사항을 실시한 결과를 토대로 원천 배합에 맞는 시험계수를 구하였고, 또한 실제 원천 구조물의 적합성을 향상시키기 위해 현장 데이터를 토대로 현장계수를 구하였다.

## 2. 기본 모델식의 구성

### 2.1 기본 모델식의 구성 방법

증성화 속도는 콘크리트 표면으로부터의 증성화 깊이  $X$ 를 나타내는 것으로서 경과 시간의 제방근에 비례하며, 증성화 속도식은 일반적으로 다음과 같이 표현된다.<sup>6),7)</sup>

$$X = K\sqrt{t} \quad (1)$$

여기서,  $X$  : 증성화 깊이

$t$  : 경과시간

$K$  : 증성화 속도 계수

식 (1)은 통상  $\sqrt{t}$  법칙으로 불리지고 있으며 가장 일반적으로 사용되는 식이다. 그러나 식 (1)로는 증성화 속도에 미치는 각종 요인들의 영향이 증성화 속도 계수  $K$ 에 전부 포함되어 있으므로 이산화탄소 농도, 온도, 습도, 침-시멘트비, 시멘트 증가 등과 같은 각각의 영향에 대해 파악하기가 쉽지 않다.

본 연구에서 증성화 실행 속도식의 구성하는 초표도를 Fig. 1에 나타내었다. 본 연구에서는 증성화 실행 기본 모델식을 구성하는 데에 있어서 증성화 속도에 미치는 각종 요인에 대해 외적 내구성능 저하 요인으로서 이산화탄소 농도, 온도, 습도, 침-시멘트비, 시멘트와 골재의 증가, 양생 및 시공정도가 거의 동일하다고 보면, 결국 내적 내구성능 저하 요인에 관계되는 콘크리트 조직의 밀실성은 침-시멘트비의 영향을 가장 크게 받을 것이라고 판단되었기 때문이다.

### 2.2 모델의 정식화

#### 2.2.1 CO<sub>2</sub> 농도를 고려한 예측 모델

기존의 증성화 속도식은 이산화탄소 농도가 일정하

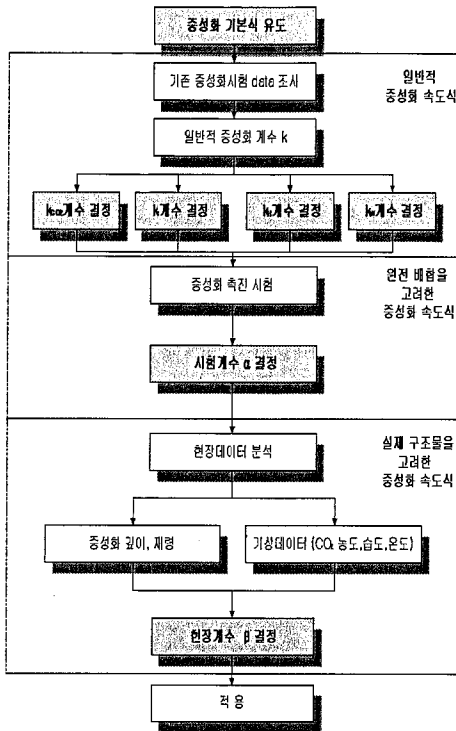


Fig. 1 중성화 진행 예측식 구별방법

다고 가정하였기 때문에 이산화탄소의 농도를 고려하는 항이 없는 것이 대부분이다. 그러나 실제 환경에서 화석 연료의 사용량이 증대하여 이산화탄소 농도는 계속 증가되는 추세에 있다. 따라서 콘크리트와 중성화 진행 속도를 정확히 예측하기 위해서는 이산화탄소 농도를 고려할 수 있는 중성화 속도식을 구할 필요가 있다.

高田 등은 이산화탄소 농도를 고려하기 위하여 임의의 농도의 이산화탄소가 정상상태에서 콘크리트 중에 확산되어 중성화가 발생한다고 가정하여 다음과 같은 식을 유도하였다.<sup>9)</sup>

$$\frac{dX}{dt} = K \cdot \frac{C}{X} \quad (2)$$

여기서, X : 중성화 깊이(mm)

t : 경과시간

K : 중성화 속도 계수 ( $K = k_0 + \alpha \cdot \beta$ )

k : 일반적 중성화 속도 계수

$\alpha$  : 시험계수

$\beta$  : 환경계수

C : 이산화탄소 농도(%)

高田 등은 식 (2)를 정수로서 직분하여 미분방정식을 풀고, 시간 0 일 때 ( $t=0$ ), 중성화 깊이 0 ( $X=0$ )으로 하여 이산화탄소 농도를 고려할 수 있는 중성화 속도식을 다음과 같이 표현하였다.

$$X = K \cdot \sqrt{C \cdot t} \quad (3)$$

앞에서도 언급했지만, 기존의 중성화 속도식에서는 대부분 대기중의 이산화탄소 농도를 일정하다고 가정하였기 때문에 이산화탄소 농도를 고려할 수 있는 항이 들어있지 않지만, 식 (3)은 이산화탄소 농도를 고려할 수 있는 항이 포함되어 있다. 또 식 (3)에서 C가 정수라고 하면 총액 식 (1)이 얻어진다.

본 연구에서 식 (2)에 있어서 K의 값은 이산화탄소 농도  $k_{CO_2}$ , 온도  $k_T$  및 습도  $k_H$  와 같은 환경조건에 기인하는 항과 또 음-시멘트비  $k_w$ 와 배합조건에 기인하는 항으로 표현된다고 가정한다.

$$K = k_{CO_2} \cdot k_T \cdot k_H \cdot k_w \quad (4)$$

高田 등은 시멘트비 50%, 60%, 70%의 3종류 콘크리트에 대해 일정하게 유지된 온도 20℃, 상대습도 55%와 이산화탄소 농도 0.07%, 1.0%, 10%의 조건에서 중성화 시험을 실시한 결과를 토대로 이산화탄소 농도 0.07%를 기준으로 하여  $k_{CO_2}$ 의 계수를 다음과 같이 구하였다.<sup>9)</sup>

$$k_{CO_2} = (0.747 - 0.226 \log C) \quad (5)$$

그러고 다음과 같이 이산화탄소 농도의 요인을 가미한 중성화 진행 속도식을 구하였다.

$$X = (0.747 - 0.226 \log C) K \sqrt{(C/0.07) - 1}$$

$$= (2.823 - 0.854 \log C) K \sqrt{C - 1} \quad (6)$$

여기서,  $X$  : 증싱화 길이 (mm)  
 $C$  : 이산화탄소 농도 (%)  
 $t$  : 경과시간 (s)  
 $K$  : 증싱화 속도 계수

상대외에서는 증싱화 촉진시험을 실시했을 경우, 이산화탄소 농도에 의한 증싱화 속도계수  $K_1$ 가 식 (6)에 표시한 증싱화 속도 계수  $K$  중에 포함되어 있으므로 증싱화 촉진시험과 자연환경 하의 증싱화 진행 속도를 정량적으로 연결시킬 수 없었지만, 식 (6)으로부터는 증싱화 촉진시험과 자연환경 하의 이산화탄소 농도를 알고 있으면 촉진계수를 추정할 수 있다.

증싱화 속도에 미치는 각종 요인을 고려한 예측 기본 모델식유 구성책가 위해 증싱화에 관한 기존 연구를 조사하여 정리하였다. 조사한 문헌의 범위는 Table 1에 나타난 것지워 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트, 골재는 강모래, 장자갈을 사용한 것만을 대상으로 하였다.

Fig. 2는 조사된 기존 연구의 촉진 증싱화 상황결과를 흙-시멘트비별로 나타낸 결과이다. 이 결과는 이산화탄소 농도, 온도, 습도가 다른 조건에서 증싱화시험을 실시한 결과이므로 동일한 흙-시멘트비에서도 증싱화 속도 계수가 큰 차이를 나타내고 있다.<sup>10)~13)</sup>

Fig. 2에 대해 이산화탄소 농도만을 고려하기 위해 식 (6)을 적용한 결과가 Fig. 3이다. 이산화탄소 농도만 고려하지 않은 Fig. 2에서는 증싱화 속도 계수가 폭넓게 분포하나, 이산화탄소 농도를 고려한 Fig. 3에서는 동일한 흙-시멘트비에서 증싱화 속도 계수의 분포 폭이 상당히 작아지는 결과를 나타내고 있다.

### 2.2.2 CO<sub>2</sub> 농도 예측식

최근 화석 연료의 사용량이 증대되면서 이산화탄소 농도가 계속 증가되는 추세에 있으므로 증싱화에 의한 콘크리트의 수명유 보다 정확히 예측하기 위해서는 이산화탄소 농도를 예측하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 Fukushima가 미국해양 자살국 하와이측정소

(부부위 19.5', 해발 3401m)에서 측정된 이산화탄소 농도의 데이터에 최소 차승법을 적용시켜 대기중의

Table 1 기존 연구의 증싱화 시험조건

환경 조건 인자	CO <sub>2</sub> 농도	0.007% ~ 20%
	온도	10°C ~ 40°C
습도	40% ~ 80%	
재료 명	시멘트	보통 포틀랜드 시멘트
	골재	강모래, 장자갈
시험 인자	흙-시멘트비	45% ~ 80%

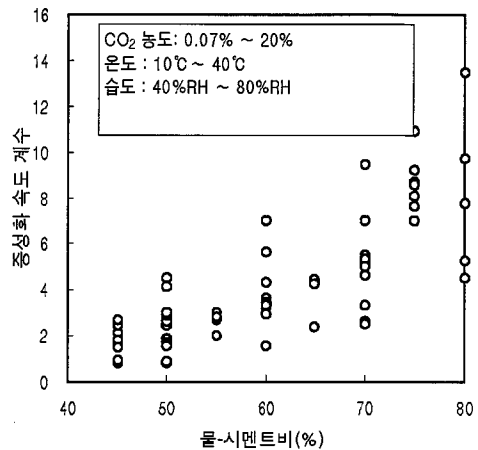


Fig. 2 기존 연구의 증싱화 촉진시험 결과

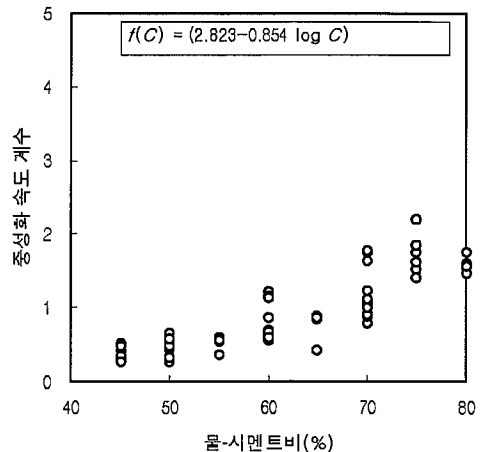


Fig. 3 CO<sub>2</sub> 농도를 고려한 결과

이산화탄소 농도의 경시변화량 예측량은 식 (7)을 사용하여 이산화탄소 농도를 예측하였다.<sup>20)</sup>

$$C(t) = 14.4123E \times P^{(0.00357t)} + 1.9946 \sin(-1.9867 + 0.563598t) + 300.7913$$

(단, 1958년 2월을 원점으로 한다) (7)

식 (7)을 이용하면, 미래뿐만 아니라 과거의 대기층의 이산화탄소 농도를 추정할 수가 있으며, Fig. 4에 이산화탄소 농도의 경시 변화량 예측한 결과를 나타내었다. 식 (7)으로 예측한 이산화탄소 농도와 식 (6)에 대입하면 이산화탄소의 농도를 고려한 증싱화 진행 깊이를 예측할 수가 있다.

본 연구에서는 이산화탄소 농도가 계속 증가하는 의견의 경우만을 고려하였으나 최근 나카마타 이산화탄소 농도를 식감시키기 위해 노력을 하고 있으므로 이산화탄소 농도가 감소하는 경우와 이는 정도 증가하다가 일정하게 되는 경우에 대해서도 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

### 2.2.3 온도의 영향을 고려한 예측 모델

증싱화 속도는 60°C이하의 범위에서 일반적으로 온도가 높을수록 빨리 진행된다. Fig. 5는 Fig. 3에 있어서 증싱화 속도에 미치는 영향량 중에서 온도의 영향을 검토하기 위해 온도별로 증싱화 속도 계수를 나타낸 결과이다. Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 어

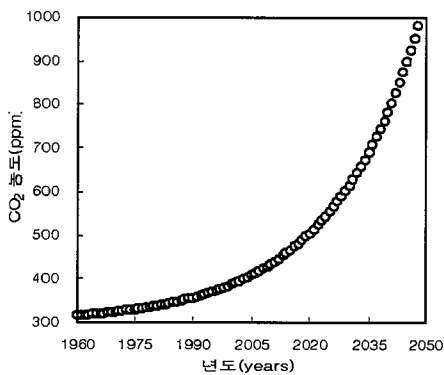


Fig. 4 대기층의 CO<sub>2</sub> 농도 경시변화

는 정도 편차는 있지만, 온도가 높을수록 증싱화 속도 계수가 커지는 경향을 하고 있다.

증싱화는 대기층의 이산화탄소와 콘크리트 층의 수화 생성물인 수산화칼슘과의 화학반응에 의해 진행된다. 따라서 화학반응의 속도에 미치는 온도의 영향은 온도가 높을수록 지수 함수적으로 반응이 진행되는 Arrhenius의 이론에 따른다고 가정할 수 있다. Fig. 5에 나타낸 데이터에 대해 30°C에 있어서 증싱화 속도 계수를 1로 하였을 경우의 Arrhenius의 이론을 적용한 결과와 Fig. 6에 나타내었다. 월축의 월태온도의 연수와 증싱화 속도 계수와의 직선관계가 얻어지므로 Arrhenius법칙에 따른다고 가정할 수 있으며 증싱화 속도에 미치는 온도의 영향은 식 (8)로 표시된다.<sup>20)</sup>

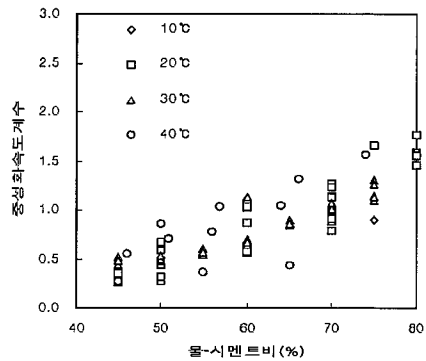


Fig. 5 온도별 증싱화 속도 계수

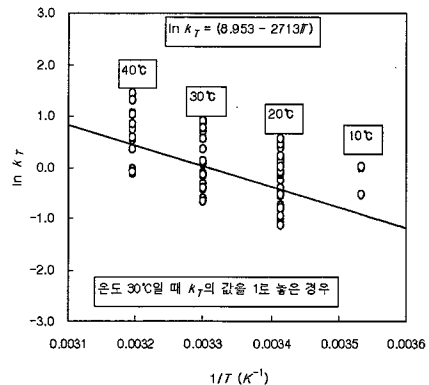


Fig. 6 Arrhenius 이론을 적용한 결과

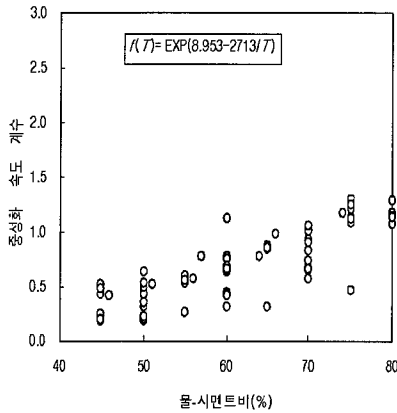


Fig. 7  $CO_2$  농도와 중성화 속도 계수와의 관계

$$\ln k_T = (8.953 - 2713/T)$$

$$k_T = e^{(8.953 - 2713/T)} \quad (8)$$

여기서, T : 절대온도(K)

이산화탄소 농도와 영향력을 고려한 Fig. 3에 대해 중성화 진행 속도에 미치는 온도의 영향을 고려하기 위해 식 (8)을 적용한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이산화탄소 농도의 영향력을 고려한 Fig. 3과 이산화탄소 농도와 습도의 영향을 고려한 Fig. 7을 비교해보면, Fig. 3보다 Fig. 7에 도시된 중성화 속도 계수의 범위가 더욱 좁혀지고 있음을 알 수 있다. 단, 여기서 중성화 속도 계수는 이산화탄소 농도(0.07%), 온도(30°C)가 일정한 환경 하에서 중성화 속도 계수를 예측한 값이고, 습도의 영향이 포함되어 있는 상태이다.

### 2.2.1 습도의 영향을 고려한 예측 모델

중성화 진행 속도에 미치는 습도의 영향은 상대습도가 0% 또는 100%일 때에는 중성화는 진행되지 않으며, 연구 결과에 따라 다르지만 일반적으로 상대습도 40~60%인 경우에 중성화 진행 속도가 최대가 되는 경향이 있다. 또, 그 보다 습도가 높으면 이산화탄소 농도가 콘크리트의 공극 중에 존재하는 수분에 의해 저지되어 중성화 진행속도는 낮아진다. 기존 연구의

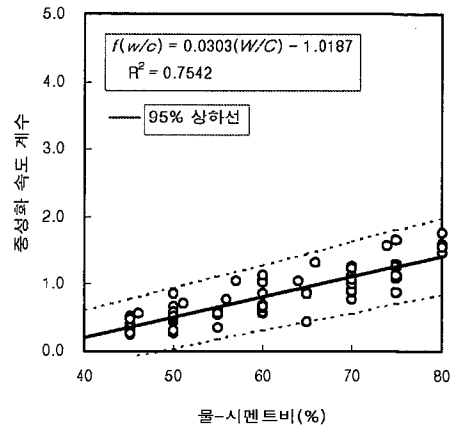


Fig. 8  $CO_2$  농도, 온도, 습도, W/C를 고려한 결과

중성화시험은 대부분 축적시험이기 때문 중성화 진행이 최대로 일어나는 40~60%인 상대습도와 조건 하에서 시험을 실시한 것이 대부분이다. 즉, 기존 연구의 시험결과만으로는 중성화 속도에 미치는 습도의 영향을 검토하는 것은 어렵다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 최대 상대습도 0%와 100%에서 중성화 속도 계수가 0이 되도록 하여 상대습도 60%에 대한 중성화 속도 계수와 비교 구한 식 (9)를 적용하여 중성화 속도에 미치는 습도의 영향을 검토하였다.<sup>20),21),22)</sup>

$$k_w = k(100 - H)(40 - H)/192000 \quad (9)$$

습도의 영향을 고려하기 위해 식 (9)를 Fig. 7의 결과에 적용한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 습도의 영향을 고려한 Fig. 8의 결과와 습도의 영향을 고려하지 않은 Fig. 7의 결과와 비교해 보면, 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 앞에서도 언급했지만 기존 연구의 축적시험이 대부분 40~60%인 상대습도의 조건 하에서 실시되었으므로 습도의 영향이 차이가 나타나지 않았기 때문으로 판단된다.

### 2.2.5 물-시멘트비의 영향을 고려한 예측 모델

물-시멘트비가 중성화 진행 속도에 미치는 영향을 검토하기 위해서 Fig. 8의 결과에 대해 1차식으로 회

귀분석 하였다. 이것은 증상화 진행 속도는 W-시멘트 비에 대해서 거의 직선적으로 변하기 때문이다. 이렇게 해서 알아낸 증상화 속도에 미치는 W-시멘트비의 영향은 식(10)으로 표현된다.

$$k_w = (0.0303 \frac{W}{C} - 1.0187) \quad (10)$$

그리고 Fig. 8에서 정선은 95% 상하 신뢰 수준이며 모든 데이터가 이 범위 안에 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 나타난 10%정도의 편차는 시멘트, 골재 등과 같은 사용재료와 증상화 양상 등의 차이에 의한 것이라 판단된다.

### 3. 촉진시험

#### 3.1 개요

앞에서 구성한 증상화 수명예측 기본 모델식은 기준의 증상화에 관한 연구 데이터가 토대로 구성되어 있으므로 원선비합의 적용성을 입증할 수가 없다. 그리고 식 (3)은 I-종 시멘트만을 대상으로 하였기 때문에 원선비합에 사용되는 V-종 시멘트에 대해서는 적용성이 저하될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 원선비합에 적합한 증상화 예측 모델식을 구성하기 위해 증상화 촉진시험 결과를 토대로 원선비합에 적합한 시험 지수를 산출하였다.

#### 3.2 시험방법

본 시험에 사용한 V-종 시멘트, 굵은골재, 산골재, 고성능감수제, AE제는 원선 구조물의 건설에 사용중인 재료로 하였으며, 시멘트의 영향을 분석하기 위하여 I-종 시멘트에 대하여도 동일비합의 시험체를 제작하였다. 콘크리트 배합은 원선 구조물에 사용되는 배합을 사용하였으며, Table 2에 나타내었다. 시험체는 10×10×20cm로 3개씩 제작하여 이산화탄소 가스측면 침투를 방지하기 위해 측면을 에폭시수지로 2-3회 도포 하였다.

Table 2 콘크리트 배합표

W/C (%)	S/a (%)	단위용량(kg/m <sup>3</sup> )				WRA (ml)	AEA (ml)
		W	C	S	G		
42	46	169	401	754	891	929	16
48	46	178	370	771	891	932	16
62	45	165	285	826	1041	813	31

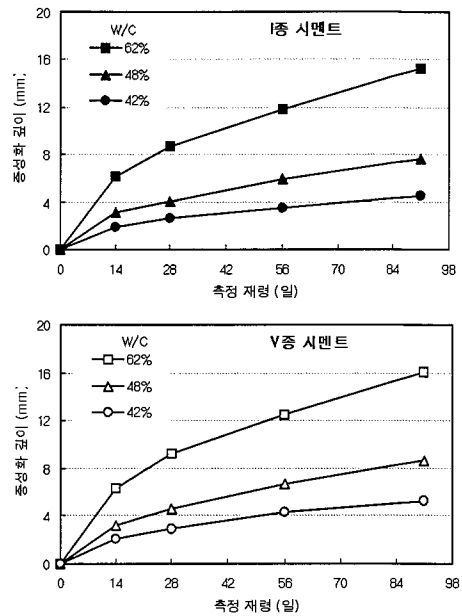


Fig. 9 촉진시험 결과

촉진시험은 이산화탄소 농도 10%, 온도 20℃, 습도 60% 조건을 유지하도록 하였다. 페놀프탈레인 용액에 의한 증상화 깊이를 측정하였으며, 측정방법은 측면을 연마한 후 페놀프탈레인 1% 용액을 붓부라이 변색깊이를 측정하였다. 측정 후에는 재시험을 위해 고부제 우레탄을 제 도포 하였다.

#### 3.3 시험결과

Fig. 9에 증상화 시험 결과를 나타내었다. 콘크리트의 W-시멘트비가 증상화에 미치는 영향은 매우 크게 나타났다. 즉 시멘트 증가에 관계없이 W-시멘트비가 많수록 증상화 진행 속도가 빨라지고 있다. 그리고 시

멘트 종류가 증상에 미치는 영향은 V종 시멘트가 I종 시멘트보다 증상화 속도가 빨리 진행되는 경향을 나타내고 있으나 그 차이는 크게 크지 않다.

#### 4. 수명저하 예측모델 적용

##### 4.1 시험계수 산출

Table 2와 콘크리트 배합으로 제조된 시험체에 대해 증상화 촉진시험을 실시하여 다음과 같이 시험계수를 산출하였다. 그리고 I종 시멘트에 대해 식 (11)을 적용하고 V종 시멘트에 대해 식 (12)를 적용했다.

$$\alpha = \frac{\alpha_I}{\alpha_k} \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_V}{\alpha_I} \quad (12)$$

여기서,

$\alpha$  : 시험계수

$\alpha_I$  : I종 시멘트 사용 콘크리트에 대한 촉진시험결과로 구한 증상화 속도 계수

$\alpha_k$  : 일반적 증상화 속도 계수 값을 고려하여 구성된 식에서 구한 증상화 속도 계수

$\alpha_V$  : V종 시멘트 사용 콘크리트에 대한 촉진시험결과로 구한 증상화 속도 계수

이렇게 산출된 시험계수와 시멘트 종류 계수를 식 (3)에 넣으면 국내 원천배합을 고려한 증상화 진행 모델식이 배합별로 구성된다. Table 3에 원천배합으로

Table 3 시험계수  $\alpha$

시멘트	배합		$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha$
	W/C	S				
I종	62		1.7241	1.5928	-	0.9208
	48		0.8945	0.7906	-	0.8839
	42		0.5390	0.4669		0.8662
V종	62				1.6830	1.0565
	48				0.9041	1.1436
	42				0.5610	1.2015

실시한 증상화 시험결과와 식 (11)과 식 (12)를 이용하여 산출한 시험계수  $\alpha$ 를 나타내었다. 그리고 이 계수와 식 (3)에 입력하면 각 콘크리트에 대한 증상화속도 예측식이 구성된다.

##### 4.2 현장계수 산출

앞에서 구성한 증상화 예측 모델식은 실험 데이터로 구성되어 있어 여러 상황이 복잡하게 작용하는 실제 구조물의 증상화 진행 속도를 정확히 예측하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 현장 환경 데이터를 토대로 식(13)의 현장계수를 산출하였다.

$$\beta = \frac{\beta_I}{\beta_f} \quad (13)$$

여기서,

$\beta$  : 현장계수

$\beta_k$  : 실험 데이터로 구성된 식에서 산출된 증상화 속도 계수

$\beta_f$  : 현장 데이터로 산출된 증상화 속도 계수

현장계수 산출에 필요한 요인 및 데이터를 Table 4에 나타내었다.

이상의 데이터를 식 (3)에 입력하여 제1년 23년에서의 증상화 깊이를 산출한 결과 19.6mm이었다. 이처럼 현장 환경 값과 계산 값이 약간 차이가 보이고 있으나 이것은 식 (3)이 현장조건을 전부 고려하지 못했기 때문이라고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 식 (13)으로부터 현장계수를 구하여 현장조건을 고려하였

Table 4 현장계수 산출에 필요한 데이터

요인	산출값 및 산출근거
제형	23년
현 증상화 깊이	22mm (현장 정밀 측정 값)
용 시멘트 비	48%
온도	일반 평균 기온(기상청 데이터)
습도	일반 평균 습도(기상청 데이터)
CO <sub>2</sub> 농도	식 (7)를 이용하여 측정



으며, 현장 정점한 실제 구조물의 중성화에 대한 현장 계수  $\beta$ 를 구한 결과 1.1202이었다. 이 현장계수를 식 (3)에 넣으면 현장 정점한 실제 구조물에 적합한 중성화 예측 모델식이 구성된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 기존의 중성화에 관한 국내-외 실험 결과와 토대로 규-사면트비, 이산화탄소 농도, 온도, 습도란 고려 한 계수를 구하여 중성화 예측 기본 모델식  $X = (2.823 - 0.854 \log C) \cdot \exp(8.053 - 2713/T) \times (H/100 - H)(140 - H)/102000 \times 10.0303W/C - 1.0187 \times \sigma \times \beta \times \sqrt{C \cdot t}$  을 구성하였다. 여기서,  $\sigma$ 는 시험계수로서 완전 콘크리트 비함에 적합한 중성화 예측 모델식을 구성하기 위해 중성화 촉진 시험을 실시한 결과를 토대로 구하였으며,  $\beta$ 는 현장계수로서 실제 원형 구조물의 적합성을 향상시키기 위해 현장 데이터를 토대로 구하였다.

## 참 고 문 헌

1. 喜多達夫, 「콘크리트構築物の耐久性シリーズ-中性化-」, 技報堂出版, 1989.
2. Parrott, L.J., "Assessing carbonation in concrete structures. In Durability of Building Materials and Components", Proceedings of FIB International Conference, 1990.
3. 原谷孝, 「繊維콘크리트의耐久性」, 鹿島建設技術研究所出版部, 1983.
4. 和泉登彦, 「콘크리트의中性化速度に関する研究」, 日本建築學會構造論文報告集 NO.394, 1988.
5. 依田彰彦, 横家隆, 「8種類セメントを用いたAE콘크리트の中性化速度について」, セメント・コンクリート論文集, No. 52, 1988.
6. Kropp, J. and Hilsdorf, H.K., "Performance criteria for concrete durability", RILEM Report 12, 1995.
7. Smolczyk, H., "Discussion of principal paper on carbonation of concrete by Humada", 5th Int. Conf. on Chemical of Cement, Vol. 3, Tokyo, 1968.
8. 高田良典, 黒本健人, 「低炭가스濃度がコンクリートの中性化速度に及ぼす影響」, 콘크리트工學年次報告集, Vol. 13, No.1, 1991.
9. 高田良典, 黒本健人, 「低炭가스濃度がコンクリートの中性化に及ぼす影響」, 콘크리트の炭酸化に関するシンポジウム論文集, 콘크리트工學協會, 1993.
10. Funk, G. and Reinhardt, H.W., "Realistic computation for the depth of carbonation by taking material parameters and weathering exposure into consideration", BETONWERK + FERTIGTEILTECHNIK, HEFT, 1997.
11. Hamada, M., "Neutralization (Carbonation) of concrete and corrosion of reinforcing steel. 5th Int. Symposium on the Chemistry of cement", Tokyo, 1968.
12. Kishitani, K., Shilre, T., "Carbonation of concrete in existing structures up to 55 years old and a proposal of reliability technique for cover thickness of reinforcement", Annex 2, 2nd CEB-RILEM Workshop, 1986.
13. 依田彰彦, 「低炭セメントコンクリートの中性化」, セメント・コンクリート, No. 129, 1982.
14. Vesikari, E., "Prediction of service life of concrete structures and reinforcement corrosion", Tech. Res. Centre Finland Rilem Report, 1985.
15. H. Ohga and S. Nagataki, "Prediction of carbonation depth of concrete with Fly Ash", ACI SP114-12, 1989.
16. 大野嘉彦, 山村定寛, 三宅雅之, 「ポリアセメントモルタルの低炭中性化における湿度及び相対湿度の影響」, 日本建築學會構造論文報告集, No. 469, 1995.
17. 依田彰彦, 大塚圭行, 長瀬重義, 「コンクリートの中性化の理論解明と進行推測」, 土木學會論文集, No. 114/V-12, 1990.
18. 大塚圭行, 長瀬重義, 「促進試験によるコンクリートの中性化深さの推測と評価」, 土木學會論文集, No. 490/V-8, 1986.
19. Yoda, A. Yukomuro, T., "Carbonation rate of air entrained concrete using eight types of cement", Cement Science and Concrete technology, No.52, 1989.
20. 日本土木學會, 「ファイアッシュを混合したコンクリートの中性化と腐蝕の變遷に関する長期研究」(最終報告), 콘크리트・ライブラリー, No.64, 1986.
21. Ho, D. and Lewis, R., "Carbonation of concrete and its prediction", Cement and Concrete Research, Vol.17, 1987.
22. Edr, R., Jones, M. and Munday, J., "A practical approach to studying carbonation of

- concrete”, Concrete, 1995.
23. 大塚佐吉, 藤野, 小野博吉, 「コンクリートの炭酸化反応試験結果と長期進行との関係」, セメント・コンクリート学会誌 No.41, 1990.
24. 關島博夫, 「繊維コンクリート製建築物の寿命(中性化と腐食の浸食進行を基礎として)」, 技報堂出版, 1990.
25. RILEM International Symposium on Carbonation of Concrete, Cement and Concrete Association, Wexham Springs, Slough, UK, 1976.
26. 日本建築学会, 「コンクリートの調査設計・調査管理・品質調査指針案・解説」, 1976.
27. 三浦博三, 若土真直, 金子幸生, 「コンクリートの中性化速度に及ぼす気象環境条件の影響に関する研究」, コンクリート工學論文集, Vol. 10, No.1, 1990.
28. 柳啓, 「コンクリートの中性化進行推測に関する実験」, 建材試験情報 8, 1990.

(접수일자 : 2001년 7월 5일)