

콘크리트 급속 촉진 탄산화 장비의 적용성 연구

Applicability Study of the Rapid Carbonation Test Equipment for Concrete

최 영 준* 이 광 명** 김 주 형* 정 상 화*** 이 명 규****
Choi, Young Jun Lee, Kwang Myong Kim, Joo Hyung Jung, Sang Hwa Lee, Myung Kyu

ABSTRACT

Reinforcement corrosion is the most important durability problem of reinforced concrete structures. One of the important factors affecting the steel corrosion is carbonation. However, existing carbonation test takes several months to obtain the results. Therefore, in this study, new rapid carbonation test equipment for concrete was developed and its applicability was investigated. The testing period can be reduced by increasing CO_2 concentration up to 100% in the equipment. It is found from the test results that the carbonation depth of concrete specimens tested for 2 weeks was 3~5 times greater than that of specimens tested by existing test method. In conclusion, it would be possible to get the reliable test results enough to evaluate the durability of concrete structures in a short-period.

1. 서론

콘크리트 탄산화 현상은 염해와 더불어 철근의 부식을 일으키는 중요한 요인으로 알려져 있다. 이러한 탄산화 현상을 예측하기 위하여 Fick의 확산법칙에 기초한 다양한 수학적 모델이 제안되었으며, 또한 모델을 검증하기 위한 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있다. 특히 콘크리트 배합에 따른 탄산화 깊이와 이산화탄소 침투 깊이의 측정은 매우 중요한 연구과제이다. 그러나 기존의 연구 성과들을 보면 탄산화 깊이 실험 연구의 경우 콘크리트 촉진 탄산화 시험(KS F 2584)¹⁾에 의한 방법은 탄산화 깊이를 측정하는데 있어 수개월 이상이 소요되어 다량의 데이터 확보가 실질적으로 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 탄산화를 급속 촉진할 수 있는 시험 장비를 개발하여 탄산화 시험방법에 대한 검토 및 장비의 적용성을 검증하였다. 급속 촉진 탄산화 장비를 이용하면 CO_2 농도를 100%로 높여 기존의 시험방법에 비해 동일한 시험기간 동안 탄산화 깊이를 3~5배 정도 증가시킴으로써 탄산화 시험기간을 1/3 이상 단축시킬 수 있다.

2. 급속 촉진 탄산화 장비의 적용

* 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정
** 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수
*** 정회원, 한국건설자재시험연구원 책임연구원
**** 정회원, 전주대학교 토목환경공학과 교수

2.1 이론적 배경

콘크리트의 탄산화 과정은 외부의 이산화탄소가 내부로 침투하여 시멘트 페이스트 중의 수산화칼슘과 반응하여 콘크리트의 pH를 저하시키는 현상으로 철근위치까지 진행되는 경우 부동태피막의 파괴에 따라 철근부식이 발생하게 된다. 본 연구에서는 Tuutti가 제안한 Fick의 확산법칙을 이용한 중심부 수축모델(Shrinking Core Model)을 적용하였다.^{2),3)} 탄산화 깊이 x_c (m)를 구하는 식은 다음과 같다.

$$x_c = \sqrt{\frac{2D_c}{a}(C_1 - C_2)t} \quad (1)$$

여기서, t 는 콘크리트의 재령(s), D_c 는 CO_2 확산계수(m^2/s), $(C_1 - C_2)$ 는 공기와 탄산화 전면의 CO_2 농도차이(kg/m^3), a 는 알칼리 물질의 양(kg/m^3)을 나타낸다.

2.2 급속 촉진 탄산화 장비의 특징 및 구성

본 연구에서 적용한 탄산화 장비는 표 1에서 보는 바와 같이 기존의 촉진 탄산화 시험방법과 비교하여 전양생조건과 온도 및 상대습도는 동일하나 CO_2 농도가 5% 보다 매우 큰 100%에서 탄산화를 촉진시킬 수 있도록 고안되었다. 그림 1을 보면 진공용기 내에 CO_2 를 주입하여 대기압 상태에 도달하게 한 후 온도 및 습도 조절장치를 이용하여 환경에 의한 경계조건의 조절이 가능하다. 실제 급속 촉진 탄산화 장비는 그림 2와 같다.

표 1. 기존 촉진 탄산화 시험과 급속 촉진 탄산화 시험 조건의 비교

	전 양생조건				환경 조건		
	양 생		건 조		온도(℃)	상대습도 (%)	CO_2 농도 (%)
	기간(일)	조건	기간(일)	조건			
촉진 탄산화 시험	(1)+27	20±2℃ 수중	28	20±2℃ 60±5%	20±2	60±5	5±0.2
급속 촉진 탄산화 시험	(1)+27	20±2℃ 수중	28	20±2℃ 60±5%	20±2	60±5	100

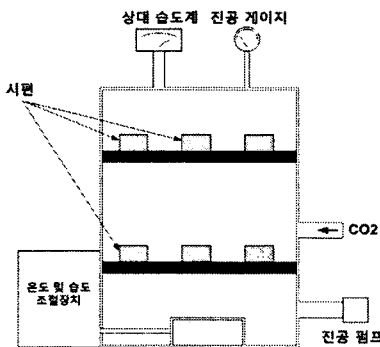


그림 1. 급속 촉진 탄산화 장비 구성도

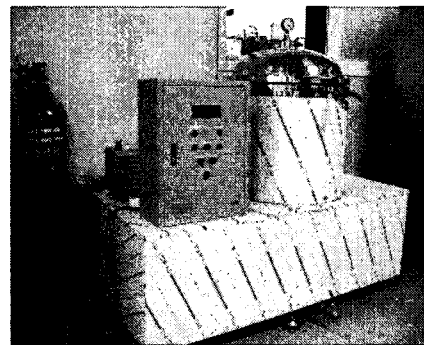


그림 2. 급속 촉진 탄산화 장비

3. 적용성 시험 연구

3.1 시험 방법

본 연구에서는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여 물-시멘트비 50%인 콘크리트(C1~C5) 및 모르타르(M1~M3) 시편을 제작하여 아래의 시험순서에 따라 급속 탄산화 촉진 시험을 수행하였다.

- (1) $\Phi 10 \times 20$ cm 크기의 시편을 제작한다.
- (2) 28일 수중양생 후 항온항습기에 저장하여 시편의 온도 및 습도를 측정한다.
- (3) 목표 상대 습도 50%에 도달한 시편을 50 mm 크기로 절단하여 연마한 후 CO_2 의 일 방향 침투를 위해 3면을 에폭시로 코팅한다.
- (4) 진공 펌프를 이용하여 장비의 용기 내부를 진공 상태로 만든 후 흡기 밸브를 이용하여 CO_2 를 대기압 상태까지 주입한다.
- (5) 2주간 탄산화 실시 후 시편을 할렬하여 1% 페놀프탈레인 용액을 분무한 후, 버니어캘리퍼스를 이용하여 탄산화 깊이를 측정한다.

3.2 급속 촉진 탄산화 시험 결과

그림 3과 4에서 보는 바와 같이 질량의 변화가 일정한 값에 도달한 시점에서 온도 $20 \pm 2^\circ C$, 습도 $60 \pm 5\%$ 의 조건으로 양생한 후 시편의 내부 습도가 수화반응의 영향을 거의 받지 않는다고 판단하여 이 시점을 기준으로 탄산화 시험을 시작하였다.

시편 당 4개소씩 측정하여 탄산화 깊이 평균값을 측정한 결과인 표 2를 보면 2주 동안 촉진 탄산화된 탄산화 깊이는 콘크리트(C3~C5)는 약 13~17 mm, 모르타르(M1~M3)는 20~24 mm를 나타내었다. 하재담 등⁴⁾의 촉진 탄산화 시험결과를 보면 물-시멘트비 48.6%인 콘크리트의 경우에 2주 후 약 4.8 mm의 탄산화 깊이를 나타내고 있다. 이로부터 급속 탄산화 시험이 기존의 시험 보다 동일한 시험 기간 동안 탄산화 깊이가 3~5배 큰 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에 도입된 급속 촉진 탄산화 장비를 적용한 경우, 장기간 소요되는 시험기간을 대폭 단축시킬 수 있을 것으로 사료된다.

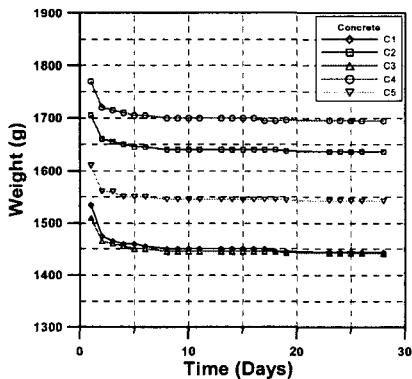


그림 3. 콘크리트의 질량변화

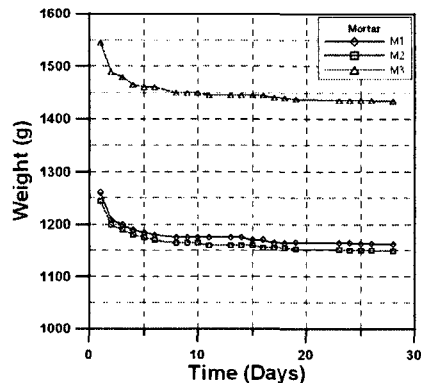


그림 4. 모르타르의 질량변화

표 2. 시편에 따른 탄산화 깊이

시편	C1	C2	C3	C4	C5	M1	M2	M3
Depth(mm)	대기	대기	13.54	16.64	17.16	20.23	24.25	21.78

그림 5와 6은 급속 촉진 탄산화 시험 장비를 이용하여 탄산화된 콘크리트와 모르타르를 시편을 보여주고 있다. 그림에서 변색되지 않은 부분이 탄산화된 부위를 나타낸다.

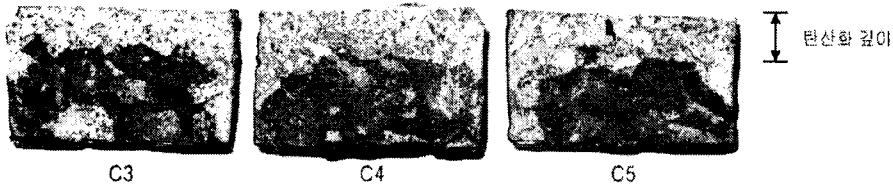


그림 5. 급속 촉진 탄산화 장비로 시험한 콘크리트 시편

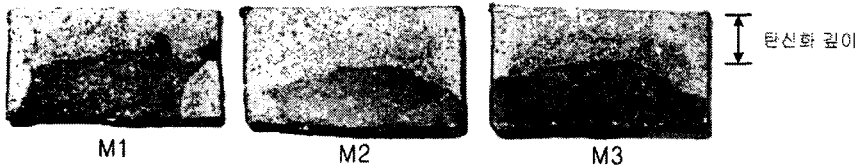


그림 6. 급속 촉진 탄산화 장비로 시험한 모르타르 시편

4. 결론

- (1) 기존 촉진 탄산화 시험과 비교하여 시험기간이 1/3~1/5 정도로 단축되었으며, CO_2 농도의 제공 근에 비례하여 콘크리트의 탄산화가 촉진됨을 알 수 있었다. 또한 2주간 탄산화 시험을 수행한 결과 모르타르의 탄산화 깊이가 콘크리트에 비하여 40% 정도 큰 값을 나타냈다.
- (2) 급속한 CO_2 혼입에 의해 pH의 변이구간이 크게 나타났으며, 이는 추후 성분분석을 통해 정밀한 검토가 요구된다. 아울러 탄산화 시험을 시작하기 전에 시편 내부의 습도 조절을 위한 양생이 필수적이므로 이에 대한 주의가 필요하다.
- (3) 급속 촉진 탄산화 장비를 이용하면 단기간에 콘크리트의 탄산화 저항성 및 복합열화 저항성에 대한 검증이 용이하여 신뢰성 있는 내구성 예측이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2006년 건설교통부의 지원사업인 콘크리트 코리아 연구단의 열화인자별 고저항성 콘크리트의 개발 및 실용화 개발과제에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

1. 한국표준협회, 콘크리트의 촉진 탄산화 시험방법(KS F 2584), 2005.
2. Tuutti, K, "Performance of concrete in marine environment", SP-65, ACI, 1980, pp. 223~236.
3. 이명규, 정상화, 김도현, 장봉석, "콘크리트의 이산화탄소 확산계수에 대한 실험연구", 대한토목학회 논문집, Vol. 23, No. 3A, 2003, pp. 413~420.
4. 하재담, 김태홍, 유재상, 이종열, 정영수, 배수호, "환경조건에 따른 콘크리트의 중성화 특성", 한국 콘크리트 봄 학술발표회 논문집, 제14권, 1호(통권 제26집), 2002, pp. 175~180.