

촉진중성화 조건에 따른 콘크리트의 중성화 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Carbonation Properties of Concrete According to Accelerating Carbonation Conditions

문형재* 이의배* 송민섭* 주지현** 조봉석** 김무한***
Moon, Hyung-Jae Lee, Eui-Bae Song, Min-Sub Joo, Ji-Hyun Cho, Bong-Suk Kim, Moo-Han

Abstract

Recently, in the case of domestic, for all that the deterioration environment about the carbonation of reinforced concrete structures is accelerated, systematic diagnosis and researches are not completed. And the selection techniques of repair material and method used under the situation that the indicator and the performance evaluation method are not established are dependant on existing experience.

Therefore, the purpose of this study is intend to present fundamental data for the reasonable selection of repair material and method, durability design and longevity on the deteriorated reinforced concrete structures, through computing the carbonation depth and velocity coefficient by accelerating carbonation test under various accelerating conditions and investigating the application of carbonation evaluation method.

The results of this study are as follow:

The resistances to carbonation are increased when the W/C ratio is lower and the treatment of surface coating is executed. And the carbonation depth and velocity coefficient according to accelerating carbonation test conditions are increased when the conditions of temperature, relative humidity and CO₂ density are higher individually.

키 워 드 : 중성화속도계수, 촉진중성화 시험, 표면피복, 물시멘트비

Keywords : Carbonation Velocity Coefficient, Accelerating Carbonation Test, Surface Coating, W/C Ratio

1. 서론

반영구적인 재료로 알려져 있는 철근콘크리트구조물은 최근 대기 중 CO₂농도 증가 및 대기 오염가스로서의 유황산화물과 질소산화물에 의한 산성비 영향 등 외적요인과 더불어 표준시방서 규정에 관한 인식부족 및 잘못된 관행으로 인한 부실시공에 따른 콘크리트 자체의 품질악화 및 피복콘크리트 부족 등 내적요인에 의하여 내구성 저하가 이루어지고 있으며 특히 이와 같은 요인에 따라 중성화에 의한 성능저하가 예상보다 빠르게 진행되어 주요일간지등에 보도되는 등 국가·사회적인 문제로 심각하게 대두되고 있다.¹⁾

이에 따라 구미 및 일본 등 선진외국에서는 중성화에 의해 성능저하된 철근콘크리트구조물의 내구성 회복을 위한 연구가 활발히 진행되어, 재료·설계·시공·유지관리에 관한 시방 및 품질기준을 규정하고 있으며, 적절한 보수재료·공법 선정 시스템 및 성능평가방법 등이 확립되었다.

그러나 국내의 경우 중성화에 의한 철근콘크리트구조물의

성능저하가 문제로 대두되고 있음에도 불구하고, 중성화에 대한 체계적인 진단 및 연구가 이루어지지 않고 있으며, 보수재료·공법 선정 시스템 및 성능평가방법이 확립되어 있지 않은 상황에서 내구성 회복을 위한 보수시공은 기존의 경험에 의존하는 기초적인 수준에 머무르고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 다양한 촉진조건 하에서 중성화 시험에 의한 콘크리트의 중성화 깊이 및 중성화속도계수 산출 결과를 실험·실증적으로 검토함으로써 향후 적절한 보수재료·공법 선정과 철근콘크리트구조물의 내구성 설계 및 장수명화를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

촉진 중성화 조건에 따른 콘크리트의 중성화 특성을 실험·실증적으로 검토하기 위한 본 연구의 실험계획은 표 1에 나타난 바와 같이 시리즈 I에서는 물시멘트비를 45, 55, 60%의 3수준, 표면피복처리 종류를 무처리, 유기계 A, 유기계 B, 모르타의 4수준으로 각각 설정하여 물시멘트비 및 표면피복

* 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정, 정회원

** 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정, 정회원

*** 충남대학교 건축공학과, 교수·공박, 정회원

처리의 종류에 따른 중성화 깊이 및 속도계수에 대하여 실험·실증적으로 검토 및 분석하고자 하였다.^{2),3)}

또한 시리즈 II에서는 몰시멘트비를 45%로 설정하고 중성화 촉진 조건으로서 온도를 20, 40℃의 2수준, 상대습도를 40, 60%의 2수준 및 CO₂ 농도를 5, 10%의 2수준으로 변화시켜 각각의 중성화 촉진조건이 콘크리트의 중성화 특성에 미치는 영향을 실험·실증적으로 검토 및 분석하고자 하였다.

표 1. 실험 계획

시리즈	W/C (%)	표면피복 종류	중성화 촉진조건			측정 항목	측정 재령 (주)	
			온도 (℃)	습도 (%)	CO ₂ 농도 (%)			
I	45	무처리	20	50	5	· 중성화 깊이 (cm)	1	
	55	유기계 A						2
	60	유기계 B						
II	45	무처리	20	60	5	· 중성화 속도계수 (cm/√t)	8	
			40	60	5			
			40	60	10			
			40	40	10			

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타난 바와 같이 시멘트는 비중 3.15의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 혼화제는 폴리카르본산계 고성능AE 감수제를 사용하였다. 또한 굵은골재는 비중 2.56의 퇴촌산 부순자갈을 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.54의 금강산 강모래를 사용하였다. 표면피복제로서는 표 3에 나타난 바와 같이 국내에서 주로 사용되고 있는 KS M 5310에 준한 유기계 표면피복제 A, B 2종류를 선정하였다.

표 2. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 (비중 3.15, 분말도 3,200cm ² /g)
혼화제	폴리카르본산계 고성능감수제
굵은골재	부순자갈 (최대치수 20mm, 비중 2.56, 퇴촌산)
잔골재	강모래 (비중 : 2.54, 금강산)

표 3. 유기계 표면피복제의 물리적 성질

종류	비중	점도 (cP)	pH	휘발분 (%)	성분	규준
유기계 A	1.38	88	8.8-9.5	41	아크릴 에멀전 타입	KS M 5310
유기계 B	1.40	87	8.8-9.5	46		

표 4. 콘크리트의 배합

시리즈	W/C (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m ³)	단위중량 (kg/m ³)		
				시멘트	잔골재	굵은골재
I	45	46	185	411	775	914
	55	48		351	832	907
	60	43		308	778	1,048
II	45	46		411	775	914

2.3 콘크리트 배합 및 비빔방법

표 4는 본 실험에 사용한 콘크리트의 배합을 나타낸 것으로 시리즈 I에서는 단위수량을 185kg/m³, 몰시멘트비를 45, 55, 60%의 3수준으로 설정하였고, 시리즈 II에서는 단위수량을 185kg/m³, 몰시멘트비를 45% 수준으로 설정하였다.

콘크리트의 비빔은 100ℓ 강제식 팬타입 믹서를 사용하였고, 시멘트, 물, 골재를 일괄 투입하여 비빔을 실시하였으며 총 비빔시간은 2분 30초가 소요되었다.

2.4 시험체 제작 및 측정

중성화 깊이 측정용 시험체는 7.5×10×40cm의 각형 시험체를 제작하고 28일 수중양생을 실시한 후 7일간 기건양생을 실시하였으며 양생 후 타설면에 직각인 면을 측정면으로 선정된 후 측정면에 표면피복제를 도포하고 표면피복처리면 이외의 면은 에폭시를 코팅하여 중성화 촉진 시험시 탄산가스의 침투를 억제하였다.

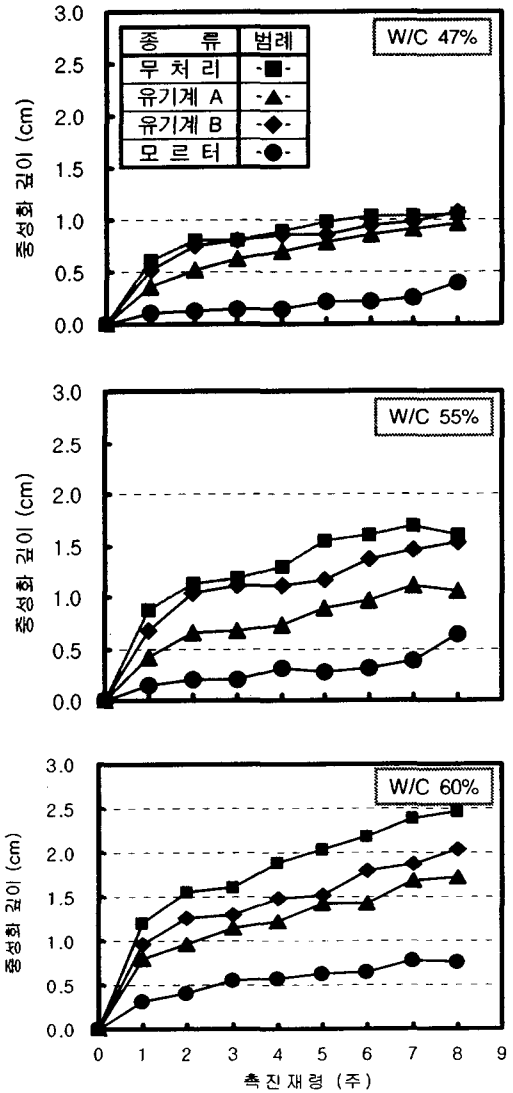


그림 1. 몰시멘트비별 표면피복종류에 따른 중성화 깊이

한편 각각의 시험체에 도포한 표면피복재는 유기계 표면피복재의 경우 주택건설시방서에 준하여 도포하였고, 모르타 마감의 경우 두께 9mm로 도포하였다.

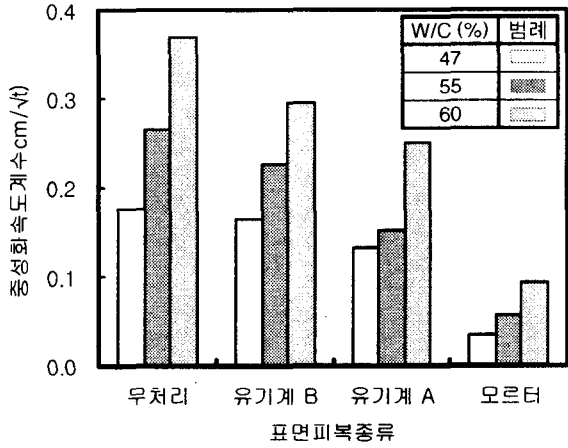


그림 2. 물시멘트비별 표면피복종류에 따른 중성화 속도계수

또한 축진중성화 시험은 시리즈 I의 경우 온도 20℃, 상대습도 50%, CO₂ 농도 5%의 조건으로 실시하였으며, 시리즈 II의 경우 온도, 상대습도 및 CO₂ 농도를 변화시켜 축진을 실시하였다.

중성화 깊이의 측정은 각 재령별로 만능재료시험기를 이용하여 시험체를 소정의 두께로 활렬한 후 페놀프탈레인 1% 알코올용액을 분무하여 표면으로부터 적색으로 변화하지 않는 부분의 깊이를 5개소 측정하여 평균 중성화깊이로 하였으며 측정된 중성화 깊이를 바탕으로 식 (1)과 같은 기존의 제안 식인 기시타니식을 이용하여 중성화 속도계수를 산출하였다.⁴⁾

$$C = A\sqrt{t} \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

여기서, C : 중성화 깊이 (cm)
A : 중성화 속도계수 (cm/√year)
t : 기간 (year)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 물시멘트비 및 표면피복종류에 따른 중성화 특성 검토

그림 1은 물시멘트비별 표면피복종류에 따른 중성화 깊이의 변화를 나타낸 것으로 재령이 경과할수록 물시멘트비에 관계없이 중성화 깊이는 증가하고 있으며 동일 재령에서의 중성화 깊이의 경우 물시멘트비가 낮을수록 중성화 깊이는 작게 나타났다..

또한 표면피복처리의 종류에 따른 중성화 깊이의 경우 재령이 경과할수록 표면피복처리에 관계없이 중성화 깊이는 증가하고 있는 것으로 나타났고, 동일 재령에 있어서 표면피복처리별 중성화 깊이는 무처리 > 유기계 B > 유기계 A > 모르타의 순서로 중성화가 빠르게 진행되는 것으로 나타났다.

이와 같이 무처리 시험체에 비하여 표면피복처리를 실시함으로써 중성화에 대한 저항성을 향상시킬 수 있으며 특히 물시멘트비가 높을수록 표면피복재에 의한 중성화 억제 효과는 증가되는 것으로 나타났다.

그림 2는 중성화 속도계수의 변화를 나타낸 것으로 중성화 깊이와 유사하게 물시멘트비에 따른 중성화 속도계수는 물시멘트비가 높을수록 중성화 속도계수가 크게 나타났으며, 표면피복종류의 경우 무처리 > 유기계 B > 유기계 A > 모르타의 순서로 중성화 속도계수가 크게 나타나는 경향을 보이고 있다.

3.2 축진중성화 시험조건에 따른 중성화 특성 검토

그림 3-(a)는 축진중성화 시험조건으로서 상대습도를 60%, CO₂ 농도를 5%로 동일하게 설정하고 온도를 20, 40℃로 변화시켜 축진중성화 시험을 실시한 결과를 나타낸 것으로서, 온도 20℃의 경우에 비하여 온도 40℃의 경우가 중성화 깊이가 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

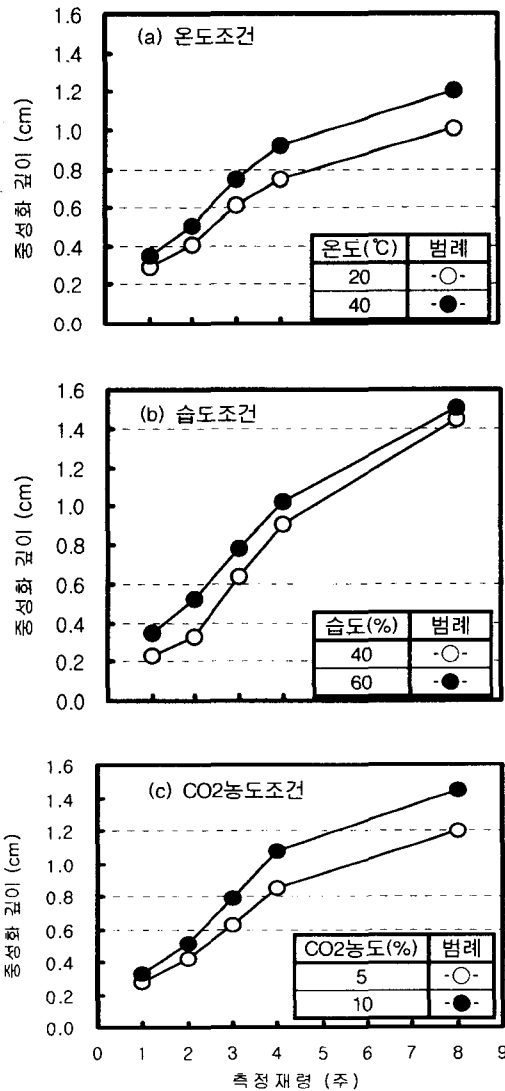


그림 3. 축진중성화 시험조건에 따른 중성화깊이

그림 3-(b)는 온도를 40℃, CO₂농도를 5%로 동일하게 설정하고, 상대습도를 40, 60%로 변화시켜 촉진중성화 시험을 실시한 결과를 나타낸 것으로서, 상대습도 40%의 경우에 비하여 상대습도 60%의 경우가 중성화 깊이가 감소하는 것으로 나타났다.

또한 그림 3-(c)는 온도를 40℃, 상대습도를 60%로 동일하게 설정하고, CO₂농도를 5, 10%로 변화시켜 촉진중성화 시험을 실시한 결과를 나타낸 것으로서, CO₂농도 5%의 경우에 비하여 CO₂농도 10%의 경우가 중성화 깊이가 증가하는 것으로 나타났다.

그림 4는 촉진중성화 시험조건에 따른 콘크리트의 중성화 속도계수를 나타낸 것으로서 온도조건의 경우 20℃의 경우에 비하여 온도 40℃의 경우가 중성화 속도계수가 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났고, 상대습도조건의 경우 상대습도 40%에 비하여 상대습도 60%의 경우가

중성화 속도계수가 증가하는 것으로 나타났으며, CO₂농도 조건의 경우 CO₂농도 5%에 비하여 CO₂농도 10%의 경우가 중성화 속도계수가 증가하는 것으로 나타났다.

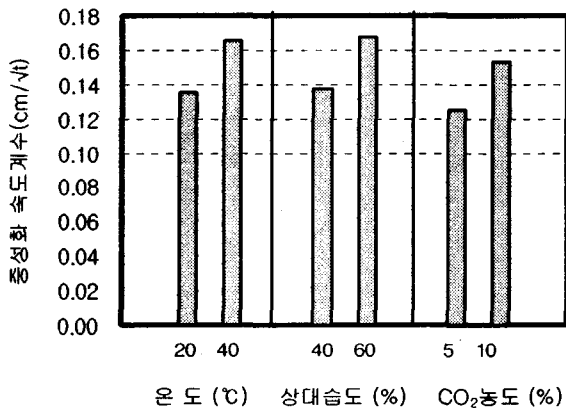


그림 4. 촉진 중성화 시험조건에 따른 중성화 속도계수

4. 결 론

촉진 중성화 조건에 따른 콘크리트의 중성화 특성에 관한 연구를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 물시멘트비에 따른 촉진중성화 시험 결과 콘크리트의 중성화 깊이는 재령이 경과할수록 증가하였으며 중성화 깊이 및 중성화 속도계수는 물시멘트비가 낮을수록 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 표면피복처리 종류에 따른 촉진중성화 시험에 의한 콘크리트의 중성화 깊이 및 중성화 속도계수는 표면피복처리를 실시할수록 작게 나타났으며, 물시멘트비가 높을수록 표면피복재에 의한 중성화에 대한 저항성은 크게 향상되는 것으로 나타났다.

- 3) 촉진중성화 시험조건에 따른 중성화 깊이 및 속도계수는 온도조건의 경우 20℃의 경우에 비하여 온도 40℃의 경우가, 상대습도조건의 경우, 상대습도 40%의 경우에 비하여 상대습도 60%의 경우가, CO₂농도조건의 경우, CO₂농도 5%의 경우에 비하여 CO₂농도 10%의 경우가 중성화 속도계수가 증가하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 2001년도 건설기술연구개발사업(E00-01)「염해 및 중성화의 피해를 입은 콘크리트구조물의 내구성 회복을 위한 보수공법 시스템 개발 및 실용화 방안」에 관한 일련의 연구 결과로, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김무한 외, 국내 철근콘크리트조 아파트의 노후도 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제16권 6호, 2000. 6, pp.89-94
2. 김무한 외, 중성화에 영향을 미치는 물시멘트비와 마감재 종류에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 가을학술발표회 논문집, 1999, pp.667-670
3. 김무한 외, 페인트 종류에 따른 CO₂확산계수를 적용한 일반대기환경에서의 중성화 진행예측, 대한건축학회 봄 학술발표대회 논문집 제22권 1호, 2002. 4, pp.345-348
4. 岸谷孝一ほか, コンクリート構造物の耐久性シリーズ中性化, 技報堂