

환경조건에 따른 콘크리트의 중성화 특성

The Effect of Environmental Conditions on Carbonation of Concrete

하재담* 김태홍** 유재삼*** 이종열**** 정영수***** 배수호*****
Ha, Jae Dam Kim, Tae Hong Ryu, Jae Sang Lee, Jong Ryul Chung, Young Soo Bae, Su Ho

ABSTRACT

Regardless of the carbonation of concrete is one of the importants causes of corrosion of reinforcing steel in concrete with the chloride attack and the frost damage, the investigacion about the carbonation of concrete is limited and each investigator experiments under different condition.

In this paper, the effect of temperature, relative humidity, concentration of CO₂, type of specimen, etc., were investigated according to the accelerated carbonation test.

The principal conclusions from this research were as follows:

- 1) The carbonation of concrete is higher in orden of, under environmental condition(temperature-relative humidity, concentration of CO₂) of 40-40-10>40-50-10>40-60-5>20-60-5.
- 2) Under same environmental condition, the carbonation of concrete in $\Phi 10 \times 20$ cm cylinder specimen is 2~8% higher then 10×10×40cm specimen.

1. 서론

콘크리트의 중성화로 인한 철근부식은 염해, 동해 등과 함께 철근콘크리트의 내구성을 저하하는 중요한 요인 중의 하나이다. 콘크리트의 중성화를 유발시키는 이산화탄소는 실내의 경우 0.1%, 실외의 경우 0.035% 정도이나 도시의 산업화로 인하여 이산화탄소 농도가 계속 증가하며 이로 인하여 콘크리트의 중성화로 인한 철근콘크리트 구조물의 성능저하도는 증가하는 추세이나 이에 대한 국내에서의 연구는 미약하다.

콘크리트의 중성화에 영향을 미치는 인자로 재료적인 측면에서는 시멘트종류, 혼화재종류, 단위결합재량, 물-시멘트비 등이 있으며 외부 환경인자는 온도, 상대습도 및 CO₂ 농도 등이 있다. 하지만 콘크리트의 중성화에 대한 촉진실험은 국내에서는 물론 국외에서도 규격화 되어있지 않아 연구자 간에 다른 조건에서 시험이 진행되고 있으며 실험 결과에 대한 정량적인 분석이 어려운 실정이다.

본 연구에서는 여러 시험조건 및 방법에서 공시체 종류를 달리하여 콘크리트의 중성화에 대하여 촉진실험을 수행하여 결과를 비교하고자 하였다.

* 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원, 공학박사

** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원

*** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사

**** 정희원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 소장

***** 정희원, 중앙대학교 토목공학과 교수, 공학박사

***** 정희원, 안동대학교 토목환경공학과 조교수, 공학박사

2. 실험개요 및 방법

2.1 사용재료

본 연구에서 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 화학혼화제로는 리그닌계 AE감수제를 시멘트 중량에 0.15% 첨가하였다. 시멘트의 화학성분 및 물리성능을 다음 표에 나타내었다.

표 1 시멘트의 화학성분과 광물조성

시멘트	화학성분(%)						광물조성(%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	R ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1종	21.0	5.9	3.2	62.5	2.1	0.8	49	23	10	9

표 2 시멘트의 물리성능과 수화열

시멘트	항목	비중	Blaine (cm ² /g)	용결(h:m)		압축강도(kgf/cm ²)				수화열(cal/g)		
				초결	종결	3일	7일	28일	91일	7일	28일	91일
				1종	3.15	3,200	4:30	6:50	195	290	376	465

또한 본 실험에 사용된 골재는 비중이 2.60인 강모래이고 굵은 골재는 비중이 2.67인 쇠석을 사용하였으며 물리적 성질을 표 3에, 입도분포를 그림 1에 나타내었다.

표 3 골재의 물리적 성질

종류	항목	비중	흡수율 (%)	단위중량 (kgf/cm ²)	조립율	씻기 손실량 (%)
간 골재		2.60	1.25	1,560	2.65	1.30
굵은 골재		2.67	1.18	1,550	6.75	-

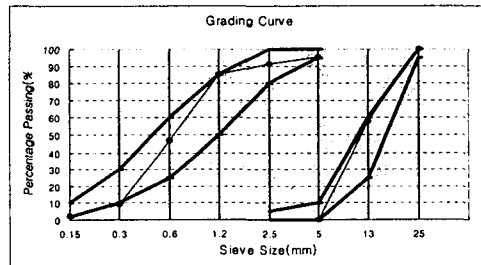


그림 1 골재의 입도분포

2.2 검토 배합

축진중성화 실험을 수행한 배합 영역은 다음 표 4에서 보는 바와 같이 국내에서 많이 사용되는 레미콘 규격인 25-210-12, 25-240-12 및 25-270-12를 기준으로 물-시멘트비를 53.3, 48.6 및 44.5%로 하여 시멘트종류는 1종 보통 포틀랜드 시멘트로 제한하였으며 혼화제는 사용하지 않고 공기량의 범위는 4.5±0.5%로 하였다.

표 4 축진증성화 시험을 위한 배합표

Mix	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)					Slump (cm)	Air (%)	Concrete Temp. (°C)
			W	C	S	G	AD ¹⁾			
25-210-12	53.3	44.1	184	345	764	995	0.518	14.1	4.7	17.5
25-240-12	48.6	43.0	185	381	731	996	0.571	14.4	4.4	18.5
25-270-12	44.5	42.0	188	422	697	988	0.634	14.2	4.0	18.0

1) AD : 리그닌계 AE감수제

2.3 공시체 제작

10×10×40cm 각주 공시체 및 Φ10×20cm 원주 공시체를 사용하였으며 공시체의 개수는 동일조건의 시험에 대하여 2개 이상으로 하였다.

공시체의 제작은 KS F 2403(시험실에서 콘크리트의 압축 및 휨강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법)에 따르며 콘크리트의 다짐은 다짐봉을 사용하였다.

다짐이 끝난 공시체는 콘크리트가 경화될 때까지 수평인 장소에 놓아두며, 그 표면부를 판유리, 강판, 또는 습포로 덮어 공시체의 수분증발을 방지하며 몰드의 탈형은 콘크리트가 경화되었을 때 실시하며, 탈형시기는 콘크리트 투입 시점으로 하여 24시간 이상 48시간 이내로 하였다.

2.4 실험방법

(1) 축진증성화 실험 조건

온도, 상대습도 및 CO₂ 농도를 변화하여 그들의 영향을 분석하기 위하여 항온항습기에 탄산가스 농도를 조절할 수 있는 시험기를 사용하였고 또한 장기폭로시험을 병행하여 차후 잔존수명예측을 할 수 있는 기본 자료로 사용하도록 한다.

전양생조건 및 축진증성화 실험의 환경조건 등은 기존의 연구를 참조하여 다음 표 5와 같이 수행하며 시험기간은 8주까지 수행하였다.

표 5 축진증성화 실험 조건

공시체 종류 (cm)	전양생조건				환경조건			측정재령 (주)
	양생		건조		온도 (°C)	상대습도 (%)	CO ₂ 농도 (%)	
	기간(일)	조건	기간(일)	조건				
10×10×40 Φ10×20	(2)+26	20±3°C 수중	28	20±3°C 60±5%	20	60	5	1,2,3,4,8
					40	60	5	
					40	50	10	
					40	40	10	

(2) 증성화깊이의 측정

증성화깊이 측정은 소정의 재령에서 공시체를 할렬하여 측정하며 시약은 1%의 페놀프탈레인 용액을 사용하였다. 측정방법은 1측면에 대하여 골재의 위치를 피하여 6등분해서 5개소를 측정하며, 2개의 공시체의 양측면 총 4면에 20개소의 증성화깊이를 측정하여 평균 값을 구하였다.

측정 후 공시체의 단면은 차기재령에서의 시험을 위해 에폭시수지 등으로 도포하며 측정재령은 시험 개시 후를 기준으로 해서 본 연구에서는 초기 증성화 특성을 파악하기 위하여 8주까지 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 물-시멘트비에 따른 중성화 특성

각주 공시체(10×10×40cm)의 실험결과, 그림 2에서 보는바와 같이, 모든 환경조건에서 물-시멘트비가 낮을수록 중성화 깊이가 적어 물-시멘트비가 낮을수록 콘크리트 조직이 치밀하여 중성화에 대한 저항성이 높아짐을 알 수 있다.

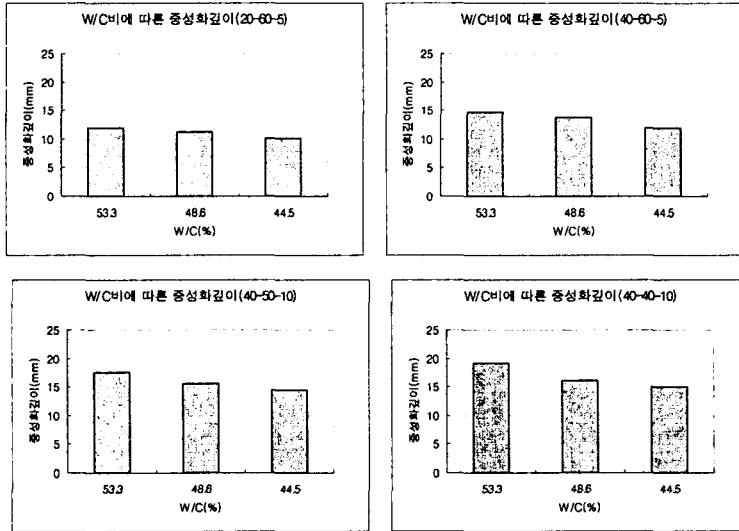


그림 2 물-시멘트비에 따른 중성화 깊이

3.2 환경조건에 따른 중성화 특성

전양생조건이 동일한 경우 환경조건에 따라 콘크리트의 중성화 속도가 달라지며 온도 및 탄산가스 농도는 높을수록 중성화가 빨리 진행되는 반면에 상대습도는 40~50% 정도에서 최고점이 된다. 그림 3에서 보는바와 같이, 모든 물-시멘트비에서 중성화는, 환경조건(온도-상대습도-CO₂ 농도)이 40-40-10>40-50-10>40-60-5>20-60-5 순서대로 촉진되는 것으로 나타났다. 이 것은 수치상으로는 정확하지 않으나 중성화깊이에 대한 경향은 기존 연구결과와 비슷한 것이다.

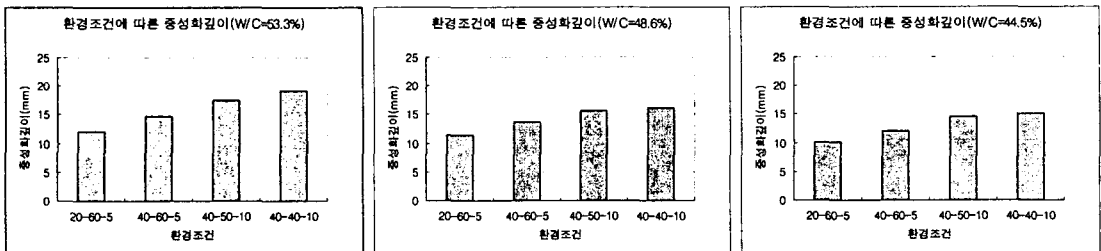


그림 3 환경조건에 따른 중성화 깊이

3.3 공시체종류에 따른 중성화 특성

중성화는 공시체의 단면에 따라 진행속도가 다르며 공시체 단면이 클수록 중성화는 적다. 즉 원주 공시체($\Phi 10 \times 20\text{cm}$)와 각주 공시체($10 \times 10 \times 40\text{cm}$)의 단면은 각각 78.5cm^2 와 100cm^2 로 각주 공시체의 단면이 커서 동일조건에서 중성화속도는 늦으며, 그림 4에서 보는바와 같이, 중성화 깊이가 동일이하 수준임을 알 수 있다.

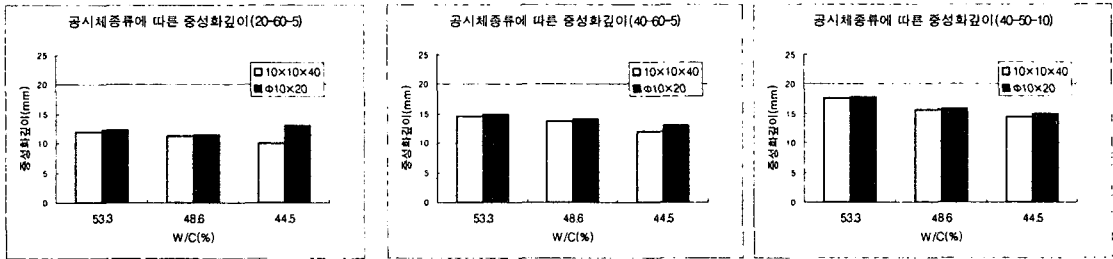


그림 4 공시체종류에 따른 중성화 깊이

압축강도 특성 및 기타 실험결과를 다음 표에 나타내었다.

표 6 축진중성화 실험 결과

환경조건			배합	압축강도($\Phi 10 \times 20$) (kgf/cm^2)			공시체종류 (cm)	중성화 깊이(mm)				
온도 ($^{\circ}\text{C}$)	상대습도 (%)	CO_2 농도 (%)		7일	28일	56일		1주	2주	3주	4주	8주
20	60	5	25-210-12	204	265	293	10x10x40	3.5	5.2	7.3	8.9	12.0
							$\Phi 10 \times 20$	3.3	5.0	7.4	8.6	12.4
			25-240-12	239	302	344	10x10x40	3.4	4.7	6.7	8.1	11.3
							$\Phi 10 \times 20$	3.5	4.9	6.8	8.4	11.5
			25-270-12	267	337	375	10x10x40	2.9	4.1	6.1	7.5	10.1
							$\Phi 10 \times 20$	2.5	4.7	7.9	9.8	13.0
40	60	5	25-210-12	204	265	293	10x10x40	4.1	6.3	8.7	10.6	14.7
							$\Phi 10 \times 20$	4.0	6.0	9.0	10.5	15.0
			25-240-12	239	302	344	10x10x40	4.0	5.8	8.2	9.6	13.7
							$\Phi 10 \times 20$	4.0	6.0	8.5	10.0	14.0
			25-270-12	267	337	375	10x10x40	3.5	5.0	7.5	9.2	12.0
							$\Phi 10 \times 20$	3.0	5.7	7.9	9.8	13.0
40	50	10	25-210-12	204	265	293	10x10x40	2.5	4.1	7.2	10.2	17.6
							$\Phi 10 \times 20$	4.0	5.0	7.9	11.5	17.7
			25-240-12	239	302	344	10x10x40	2.4	3.8	6.7	9.6	15.6
							$\Phi 10 \times 20$	3.0	4.0	7.5	10.9	15.9
			25-270-12	267	337	375	10x10x40	2.3	3.3	6.4	9.1	14.5
							$\Phi 10 \times 20$	2.7	4.0	6.9	10.5	14.9
40	40	10	25-210-12	204	265	293	10x10x40	4.5	5.7	9.5	12.4	19.2
							$\Phi 10 \times 20$	5.0	6.0	11.0	14.4	19.8
			25-240-12	239	302	344	10x10x40	4.1	5.4	8.0	10.9	16.1
							$\Phi 10 \times 20$	4.8	6.0	10.0	12.3	17.3
			25-270-12	267	337	375	10x10x40	3.5	5.2	7.8	10.2	15.0
							$\Phi 10 \times 20$	4.5	5.0	9.0	11.6	15.9

4. 결 론

본 연구에서는 레미콘 배합 25-210-12, 25-240-12 및 25-270-12를 기준으로 물-시멘트비를 53.3, 48.6 및 44.5%로 하여 각주 및 원주공시체를 제작하고 28일 수중양생 후 28일 기건양생 후 온도, 상대습도 및 CO₂농도를 변화하여 촉진중성화 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 모든 환경조건에서, 물-시멘트비가 낮을수록 콘크리트 조직이 치밀하여 중성화에 대한 저항성이 높아짐을 알 수 있다.
- 2) 모든 물-시멘트비에서, 공시체의 종류에 관계없이, 환경조건(온도-상대습도-CO₂농도)이 40-40-10>40-50-10>40-60-5>20-60-5 순서대로 콘크리트의 중성화가 촉진되는 것으로 나타났다.
- 3) 모든 환경조건 및 물-시멘트비에서, $\Phi 10 \times 20$ cm의 원주 공시체는 10×10×40cm의 각주 공시체 비하여 중성화깊이가 2~8% 정도 큰 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, “콘크리트 염해 및 중성화로 인한 내구성 저하 방지대책 연구,” 2001. 10.
2. 이한승, 하재담(2001), “국내 콘크리트 구조물의 내구성 설계 특집 - 콘크리트 탄산화에 대한 RC구조물의 내구성 설계 및 보수공법,” 한국콘크리트학회지 2001. 11.
3. Stark, J. and Wicht, B.(1998), “Dauerhaftigkeit von Beton,” Schriften der Hochschule fur Architektur und Bauwesen Weimar Universitat Nr.100.
4. 岸谷孝一 他(1986), “콘크리트 구조물의 내구성 시리즈-중성화.”
5. 日本建築學會, “高耐久性鐵筋콘크리트 造設計施工指針(案)·同解説,” 1991.