



급속 촉진 탄산화 시험을 통한 플라이애쉬 콘크리트의 탄산화 특성 연구

최 성^{1)*} · 이광명¹⁾ · 정상화²⁾ · 김주형²⁾

¹⁾성균관대학교 건설환경시스템공학과 ²⁾한국건설자재시험연구원 건설기반기술센터

A Study on the Carbonation Characteristics of Fly Ash Concrete by Accelerated Carbonation Test

Sung Choi,^{1)*} Kwang-Myong Lee,¹⁾ Sang-Hwa Jung,²⁾ and Joo-Hyung Kim²⁾

¹⁾Dept. of Civil and Environmental Engineering System, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

²⁾Construction Material Research Center, Korea Institute of Construction Materials, Seoul 137-707, Korea

ABSTRACT The increase of industrial carbonic dioxide emissions has accelerated the carbonation of reinforced concrete structures, which drops off their durability. Although advanced countries have already taken safety control measures against the carbonation of RC structures, it is still difficult now to accurately predict the actual carbonation depth. Additionally, it requires much time and efforts. Recently, it is possible to get the data more rapidly through accelerated carbonation test with the CO₂ concentration of 100%. In this paper, the carbonation test results obtained by two test methods such as the normal carbonation test method and the accelerated carbonation test method, were compared to investigate the carbonation characteristics of fly ash concrete. The accelerated carbonation test on concrete specimens with the pre-curing age of 180 days was also carried out to examine the carbonation characteristics of fly ash concrete at long-term age. Consequently, fly ash concrete at early age was vulnerable to carbonation and however, its carbonation resistance at long-term ages was improved compared with OPC concrete.

Keywords : carbonation, fly ash, carbonation test, CO₂ concentration, carbonation velocity coefficient

1. 서 론

교도협약 이후 규제를 통하여 이산화탄소의 배출량을 통제하고 있음에도 불구하고 CO₂가스의 배출량은 계속적으로 증가하고 있는 실정이다. 이러한 대기 중의 CO₂가스의 증가는 철근콘크리트구조물의 탄산화를 가속화시키고 있으며, 이미 여러 연구 결과를 통하여 이와 같은 사실이 입증되고 있다.¹⁾ 이로 인해 해외 선진 각국에서는 철근콘크리트구조물의 설계, 시공 단계에서 염해나 탄산화 등 내구성에 관한 문제를 고려하고 있으며, 기존 철근콘크리트구조물 역시 안전진단 및 유지관리의 대책 마련을 통하여 현 구조물의 성능저하를 평가하고 있다.²⁾

콘크리트의 탄산화는 대기 중 미량의 CO₂가스와 콘크리트 중의 수화생성물이 반응하여 탄산칼슘을 생성하는 현상으로 콘크리트 내부의 알칼리도 저하에 따른 철근의 부동태피막 파괴 및 부식을 초래하게 된다. 한편 콘크리트의 탄산화는 콘크리트 전체 수명에 걸쳐 지속적으로 작용하며, 반응속도가 매우 느리기 때문에 실 구조물의

탄산화 과정을 분석하기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하다. 현재 콘크리트의 탄산화 측정은 CO₂농도 5%의 환경에서 실시하는 촉진탄산화 시험(KS F 2584)방법을 주로 사용하고 있다. 그러나 이러한 기존의 탄산화 시험 방법 역시 2개월간의 전 양생기간, 3개월간의 탄산화 측정기간이 소요되어, 총 5개월 이상의 장기간의 측정기간이 필요하다.³⁾ 이에 반해 최근 국내에서 개발된 급속 촉진 탄산화 시험 장치에 의한 탄산화 실험은 대기 중 CO₂농도가 100%인 환경에서 탄산화를 실시하므로 기존의 촉진 탄산화 시험 방법에 비하여 짧은 시간에 유용한 실험 결과를 얻을 수 있다.^{4,5)}

콘크리트의 성능향상 및 자원의 재활용 등을 이유로 플라이애쉬의 사용량이 증가하고 있다. 플라이애쉬는 수화생성물인 수산화칼슘과 반응하여 불용성 C-S-H 겔을 형성하고 콘크리트의 장기강도를 개선시킨다.⁶⁾ 이러한 수산화칼슘의 소모는 콘크리트의 알칼리도를 낮추기 때문에 콘크리트의 탄산화를 가속화시킨다.

기존의 연구 결과에도 플라이애쉬를 혼입한 경우 콘크리트 탄산화에 다소 취약하다 보고된 바 있다.⁷⁾ 반면에 플라이애쉬의 포졸란 반응으로 인해 장기적으로는 콘크리트의 밀실도를 증가시켜 탄산화가 발생하기 어려운 환경을 조성하는 측면도 있다.⁸⁾ 따라서 플라이애쉬를 혼입

*Corresponding author E-mail : doujea@naver.com

Received January 28, 2009, Revised April 29, 2009

Accepted May 6, 2009

©2009 by Korea Concrete Institute

한 경우의 탄산화 특성은 이러한 두 가지 측면에서 그 영향을 세심히 고찰할 필요가 있다.

기존 탄산화 시험의 전 양생조건은 수중양생 28일, 증기양생 28일이며, 전 양생기간 이후 탄산화를 실시하므로 플라이애쉬 콘크리트와 같이 장기적으로 콘크리트의 성능이 개선되는 경우 그 영향을 탄산화 결과에 정확하게 반영하지 못한다. 본 연구에서는 두 종류의 탄산화 시험 방법(기존 촉진 탄산화와 급속 촉진 탄산화)에 따라 플라이애쉬 콘크리트의 탄산화 깊이를 측정하고, 그 탄산화 속도계수를 구하여 플라이애쉬가 탄산화에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 6개월의 사전 양생 후 급속 촉진 탄산화 시험에 의해 탄산화 깊이를 측정하여 플라이애쉬 콘크리트의 탄산화 특성을 알아보았다.

2. 실험 연구

2.1 사용재료 및 배합비

Table 1에는 배합에 사용된 시멘트와 플라이애쉬의 화학 성분을 나타내었다. 본 연구에 사용된 시멘트는 S사 제품의 1종 보통포틀랜드시멘트이다. 잔골재는 강사와 해사를 5:5의 비율로 혼합한 골재를 사용하였으며 잔골재의 밀도는 2.63, 조립률은 2.64이다. 굵은골재는 밀도가 2.59, 조립률이 6.86이며, 최대치수가 25 mm인 쇠석을 사용하였다. 혼화제는 일반 콘크리트용으로 사용되고 있는 폴리카본산계의 고성능 감수제를 사용하였다.

콘크리트 탄산화 시험을 위하여 Table 2과 같이 물-결합재비(W/B)를 43%와 50%, 55%의 세 수준으로 하고 플라이애쉬(FA) 혼입률을 0%, 10%, 20%로 변화시켜 총 9 종류의 콘크리트 배합을 정하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 탄산화 모델

탄산화 반응은 매우 느린 속도로 진행되지만 콘크리트의 수명 전체에 걸쳐 지속적으로 일어난다. 이는 이산화탄소의 확산속도에 비하여 탄산화 전면(carbonation front)의 변화속도가 매우 느리기 때문이며, 다음의 중심부 수축 모델(shrinking core model)로 설명이 가능하다.^{9,10)}

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

여기서, x_c 는 시간 t 에서의 탄산화 깊이, C_1 은 콘크리트 노출면과 접하는 대기의 CO_2 농도, C_2 는 콘크리트 내부

Table 2 Mix proportions of concrete

W/B (%)	S/a (%)	No.	Unit weight (kg/m ³)					
			W	C	FA	S	G	SP (%)
43	45	43-OPC	166	386	0	727	949	1.12
		43-FA10	166	347	39	756	941	0.81
		43-FA20	166	309	77	749	934	0.74
50	45	50-OPC	172	344	0	776	967	1.03
		50-FA10	172	310	34	770	960	0.80
		50-FA20	172	275	69	765	953	0.67
55	45	55-OPC	176	320	0	774	965	0.63
		55-FA10	176	288	32	769	959	0.45
		55-FA20	176	256	64	764	952	0.42



Fig. 1 Carbonation test chamber



Fig. 2 Accelerated carbonation test chamber

의 CO_2 농도, a 는 콘크리트 내부의 알칼리 물질의 양, D_c 는 주어진 콘크리트의 구성재료와 함수상태에 따른 CO_2 확산계수이다.

실용적으로는 식 (1)을 단순화한 식 (2)를 탄산화 깊이

Table 1 Chemical composition of cement and fly ash

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Ignition loss
Cement	21.44	3.23	0.24	4.44	62.33	3.29	1.31	0.12	2.00	1.56
Fly ash	56.82	5.12	1.06	22.75	3.46	0.92	1.08	0.75	0.46	3.87

를 예측하는 식으로 가장 많이 사용하고 있다.^{11,12)}

$$x_c = A\sqrt{t} \quad (2)$$

여기서, A는 탄산화 속도계수라 하며 콘크리트 외적인 환경조건과 콘크리트 자체 품질과 같은 내적 조건 등에 의해 정해지는 계수이다.¹³⁾

2.2.2 콘크리트의 탄산화 깊이 측정

콘크리트의 탄산화에 영향을 미치는 외부 영향인자는 온도, 습도 및 탄산가스 농도 등이 있다. 본 논문에서는 이러한 영향인자 중 이산화탄소의 농도가 5%, 100%일 때의 탄산화 깊이를 측정하였다.

Table 3에는 촉진 탄산화 시험 및 급속 촉진 탄산화 시험을 위한 전 양생조건과 환경조건을 표기하였다. 급속 촉진 탄산화 시험은 진공 밀폐용기 안에 콘크리트 시편을 넣고 대기 중 CO₂가스의 농도를 100%로 하여 콘크리트의 탄산화 정도를 측정할 수 있도록 고안되었다. CO₂ 농도를 제외한 나머지 콘크리트의 전 양생조건 및 환경조건은 일반 촉진 탄산화 방법과 동일하다.

촉진 탄산화시험과 급속 촉진 탄산화시험에 의하여 탄산화를 실시한 후 콘크리트 탄산화 깊이 측정 방법(KS F 2596)에 의하여 탄산화 깊이를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 콘크리트 압축강도

Table 4에 배합별 콘크리트의 압축강도가 정리되어 있다. 재령 7일의 경우 동일한 W/B에서 OPC가 플라이애

Table 4 Compressive strength of concrete (MPa)

W/B	FA	7 days	28 days
43	0	30.1	41.0
	10	26.5	40.7
	20	31.0	44.7
50	0	28.4	34.0
	10	23.8	31.7
	20	23.6	36.6
55	0	23.3	31.1
	10	22.2	30.4
	20	20.5	29.8

Table 3 Carbonation test conditions

	Pre-curing condition						Environmental condition			Measurement age (weeks)
	Water-curing		Dry-curing (standard)		Dry-curing (long-term age)		Temp. (°C)	RH (%)	CO ₂ (%)	
	Age (day)	Condition (°C)	Age (day)	Condition (°C)	Age (day)	Condition (°C)				
Carbonation test	28	20 ± 5	28	Temp:20±5 (RH:60±5%)	152	Temp:20±5 (RH:60±5%)	20±5	60±5	5	2, 4, 8, 12
Accelerated carbonation test									100	

쉬 콘크리트에 비하여 다소 높게 나타났다. 하지만 28일 콘크리트의 압축강도는 W/B에 따라 다소 차이를 나타냈다.

W/B 43%에서는 플라이애쉬 콘크리트의 강도가 OPC에 비하여 다소 높게 나타났지만, W/B 55%에서는 여전히 OPC가 가장 높은 강도를 나타내었다. 이는 W/B가 낮은 경우 상대적으로 수화생성물이 많기 때문에 플라이애쉬의 포졸란 반응이 원활하게 이루어져 콘크리트의 압축강도가 상대적으로 크게 나타난 것으로 판단된다.

3.2 콘크리트의 탄산화 깊이

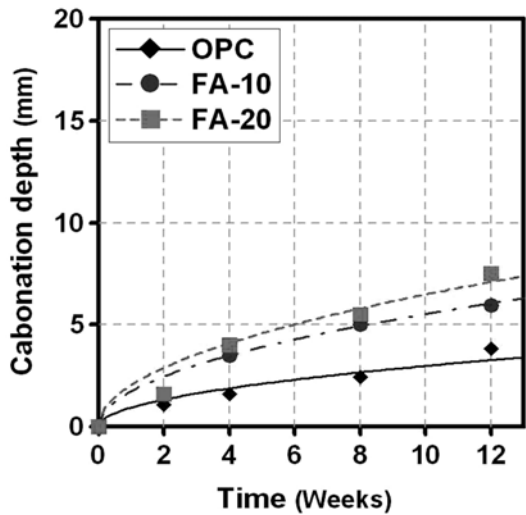
콘크리트의 탄산화에 영향을 미치는 인자는 크게 재료적 요인과 환경적 요인으로 구분할 수 있다. 재료적 요인은 다시 콘크리트의 공극률 및 최대 공극경과 같은 물리적 인자와 세공용액 및 콘크리트 내부의 수산화칼슘의 총량과 같은 화학적 인자로 나눌 수 있다. 물-시멘트비, 혼화제의 혼입은 재료적인 측면에서 탄산화 저항성을 변화시킬 수 있는 주요한 원인이 된다.

플라이애쉬 콘크리트의 탄산화 깊이를 알아보기 위하여 일반 촉진 탄산화 시험과 급속 촉진 탄산화 시험을 실시하였다. 실험 조건은 Table 3과 같이 양생기간은 수중양생 28일 후 기건양생을 28일 동안 실시하였으며, 2주, 4주, 8주, 12주에 탄산화 깊이를 측정하였다.

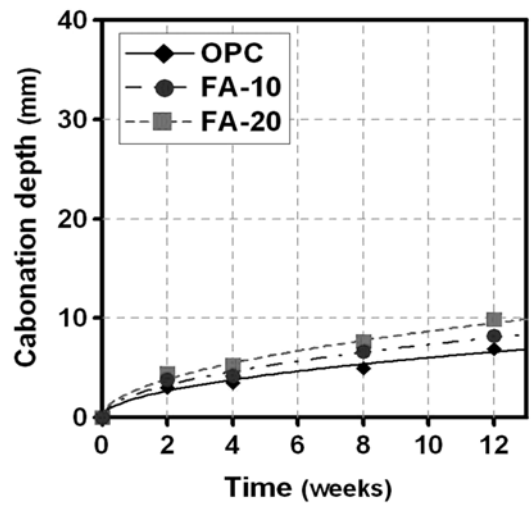
Fig. 3은 플라이애쉬 혼입률이 탄산화에 미치는 영향을 분석하기 위해 W/B별로 촉진 탄산화 시험을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 그림을 보면 W/B가 높을수록 혹은 플라이애쉬의 혼입률이 높을수록 콘크리트 탄산화 깊이는 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 Fig. 4의 CO₂가스 농도 100%인 급속 촉진 탄산화 결과에서도 동일하게 나타나고 있다.

일반적으로 물-시멘트비가 높을수록 건조수축이 크게 발생하게 되어 콘크리트의 공극률과 세공용액의 양이 많아지게 된다. 이러한 공극률의 증가는 CO₂가스의 유입을 용이하게 하여 콘크리트의 탄산화를 촉진시키는 결과를 가져오게 된다.¹⁴⁾ 따라서 W/B가 클수록 콘크리트는 공극률 및 세공용액이 증가하여 탄산화에 취약하게 된다.

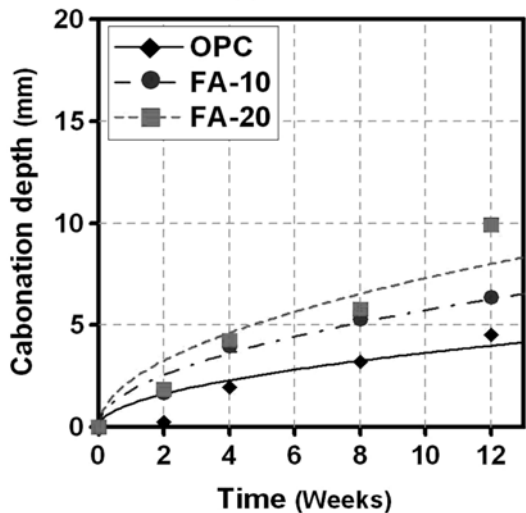
또한 탄산화는 CO₂가스가 콘크리트 내부로 유입되어 주변 알칼리 물질과 반응하고 알칼리 물질이 소진되면 CO₂가 내부로 전이되어 탄산화가 진행된다. 하지만 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 경우 수산화칼슘량이 현저하게 적어지기 때문에 탄산화 반응이 신속하게 진행되



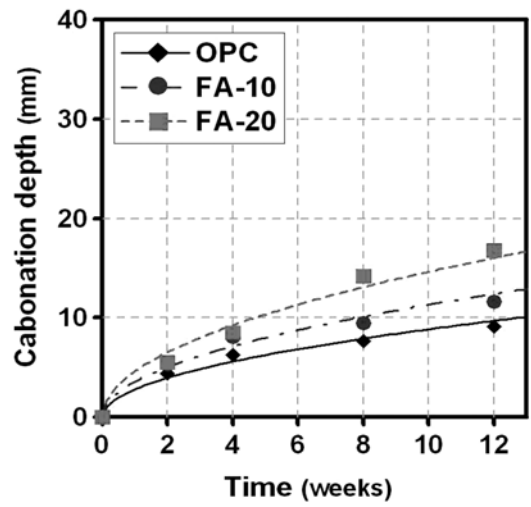
(a) W/B = 43%



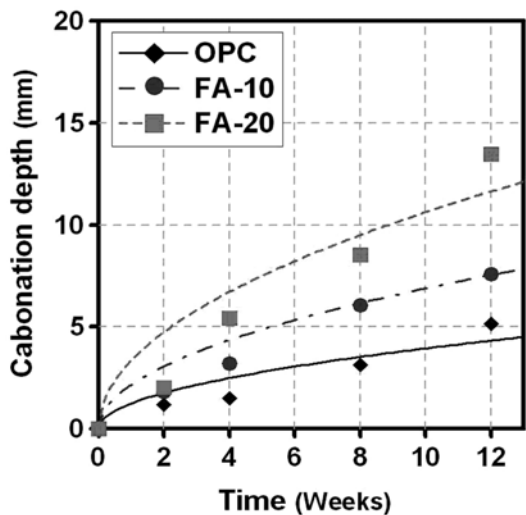
(a) W/B = 43%



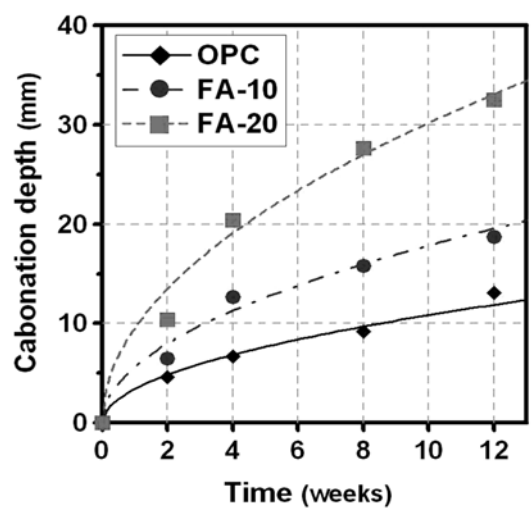
(b) W/B = 50%



(b) W/B = 50%



(c) W/B = 55%



(c) W/B = 55%

Fig. 3 Carbonation depth by carbonation test (pre-curing: 56 days)

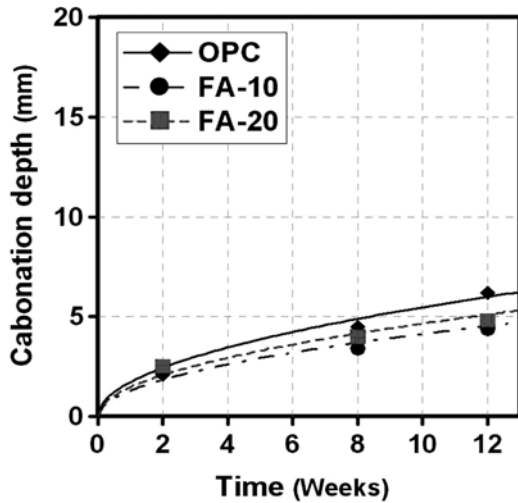
Fig. 4 Carbonation depth by accelerated carbonation test (pre-curing: 56 days)

어 탄산화 전면의 이동이 OPC에 비하여 더 빠르게 진행된다.¹⁵⁾

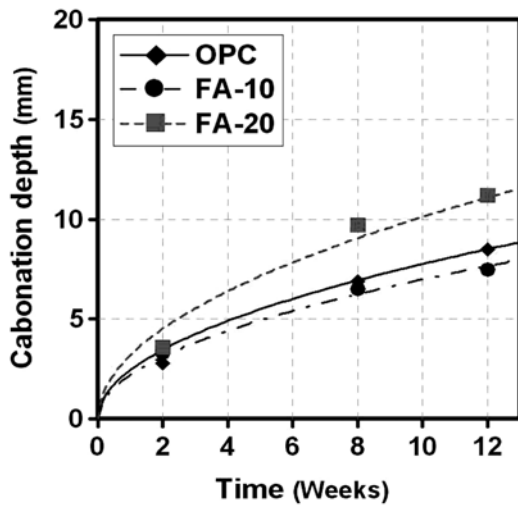
CO₂농도에 따라 5%와 100%의 환경에서 실시한 탄산화시험 결과를 비교해 보면 CO₂농도 100%인 경우 탄산화

화 깊이는 CO₂농도 5%에 비하여 상당히 증가하였으며, 증가량은 W/B와 플라이애쉬 혼입률에 따라 다르게 나타났다.

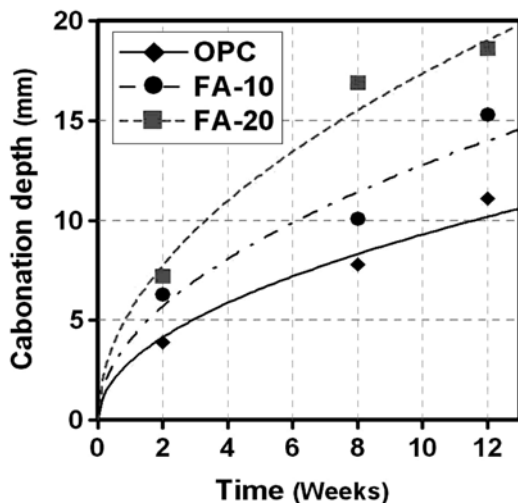
W/B가 43%인 OPC 배합의 경우 CO₂농도 100% 환경



(a) W/B = 43%



(b) W/B = 50%



(c) W/B = 55%

Fig. 5 Carbonation depth by accelerated carbonation test (pre-curing: 180 days)

에서 실시한 탄산화 깊이는 CO₂농도 5% 환경에서 실시한 탄산화 깊이에 비하여 1.8배가 증가하였으며, FA-10와 FA-20은 각각 1.4배와 1.3배가 증가하였다. 하지만 W/B가 55%의 경우에는 CO₂농도 100%에서 탄산화 깊이가

OPC가 2.5배, FA-10과 FA-20은 각각 2.47배, 2.4배 증가하여 유사한 증가율을 나타내었다.

3.3 장기재령 콘크리트의 탄산화 깊이

장기재령의 콘크리트 탄산화 깊이를 알아보기 위하여 6개월(수중: 28일, 건조: 152일) 동안 양생한 콘크리트의 탄산화깊이를 2주, 8주, 12주에 측정하였다. Fig. 5는 장기재령 시편을 급속 촉진 탄산화 시험방법에 의하여 측정한 탄산화 깊이를 나타낸 것이다.

Figs. 4와 5를 비교해 보면 모든 배합에서 장기재령(180일)의 탄산화 깊이는 일반재령(56일)에 비하여 감소하였다. 탄산화 깊이의 감소량은 W/B에 관계없이 OPC가 가장 적었고, FA-10과 FA-20은 물-결합재비(W/B)가 커질수록 감소량도 크게 나타났다. W/B가 55%이고 FA-20인 경우 탄산화 깊이의 감소량이 13 mm 이상으로 모든 배합 중에서 가장 크게 감소하였다.

Fig. 5(a)를 보면 물-결합재비가 43%인 경우 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트는 OPC보다 탄산화 깊이가 작게 나타났다. 이는 W/B가 작은 경우 단위 시멘트량이 크기 때문에 수화생성물이 많고, 이에 따라 포졸란 반응이 활발하게 이루어지게 되어 콘크리트의 밀실도가 높아져서 장기적으로 OPC에 비하여 탄산화에 대한 저항성이 향상된 것으로 판단된다.

반면 W/B가 55%인 경우 플라이애쉬 콘크리트의 장기재령(180일) 탄산화깊이가 일반재령(56일)에 비하여 상당히 감소하였지만 OPC보다는 여전히 크게 나타나고 있다. 따라서 본 실험을 통하여 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트가 탄산화에 대한 저항성이 개선됨을 알 수 있었으나 장기재령 콘크리트에 대한 추가적인 실험을 실시하여 탄산화가 개선되는 시기에 대한 면밀한 검토가 필요할 것이라 예상된다.

3.4 탄산화 속도 계수

식 (2)의 탄산화 속도계수 A는 탄산화가 철근의 위치까지 진행하는데 필요한 시간을 예측하기 위해 사용되는 계수로서 구조물이 위치한 환경의 CO₂농도, 콘크리트 배합, 구조물의 형상, 콘크리트의 세공구조 및 함수상태 등에 의하여 영향을 받게 된다.

Table 5에 주어진 탄산화 속도계수는 탄산화 측정기간이 12주에서의 콘크리트 탄산화 깊이를 식 (2)에 적용한 후 역산하여 구하였고, 이를 측정방법과 전 양생조건에 따라 비교하였다.

이론적으로 CO₂농도가 5%일 때를 기준으로 CO₂농도 100%의 탄산화 속도는 약 4.5배 증가하여야 한다. 하지만 Table 5의 탄산화 속도계수를 비교해 보면 OPC를 기준으로 W/B가 43%, 50%, 55%일 때 1.8배, 2.0배, 2.5배로 이론치에 비하여 매우 낮은 증가율을 나타내었다.

탄산화가 진행되면 CO₂가스와 반응하여 탄산칼슘과 물

Table 5 Results of carbonation velocity coefficient

	Type	Curing (weeks)	Carbonation depth (mm)	A ($mm/\sqrt{\text{weeks}}$)
Carbonation test pre-curing condition (56 days)	43-OPC	12	3.9	1.11
	43-FA10		6.0	1.72
	43-FA20		7.5	2.17
	50-OPC		4.4	1.31
	50-FA10		6.4	1.84
	50-FA20		9.9	2.87
	55-OPC		5.2	1.49
	55-FA10		7.6	2.19
Acceleration carbonation test pre-curing condition (56 days)	43-OPC	12	6.9	1.99
	43-FA10		8.2	2.37
	43-FA20		9.9	2.85
	50-OPC		9.1	2.63
	50-FA10		11.6	3.35
	50-FA20		16.8	4.85
	55-OPC		13.1	3.78
	55-FA10		18.7	5.41
Acceleration carbonation test pre-curing condition (180 days)	43-OPC	12	6.2	1.79
	43-FA10		4.4	1.27
	43-FA20		4.8	1.39
	50-OPC		8.5	2.45
	50-FA10		7.5	2.17
	50-FA20		11.2	3.23
	55-OPC		11.1	3.20
	55-FA10		15.3	4.42
	55-FA20	18.6	5.37	

이 용출된다. 이렇게 용출된 탄산칼슘의 부피는 수산화칼슘의 부피에 비하여 약 11.7% 커진다.¹⁶⁾ 단위시멘트량이 증가하면 수산화칼슘의 생성량이 증가하여, 탄산화 이후 탄산칼슘의 양도 증가하게 된다. 따라서 단위시멘트량이 많은 경우 탄산화가 진행됨에 따라 탄산화된 부위는 더욱 조밀한 공극구조를 형성하며 이러한 조밀한 공극구조는 CO₂가스의 침투를 방해하여 고농도 CO₂가스의 영향을 저해하는 것으로 판단된다.¹⁷⁾

플라이애쉬의 혼입률에 따라서도 탄산화 속도계수의 증가율은 다르게 나타났다. W/B 43%인 경우 OPC는 촉진 탄산화에 비하여 급속 촉진 탄산화의 탄산화 속도가 약 1.8배 증가한 반면에 FA-10은 1.4배, FA-20은 1.3배 증가하여 OPC에 비하여 낮은 증가율을 나타내었다. 이러한 결과는 W/B 50%와 55%에서도 유사한 경향을 보이고 있다.

또한 CO₂가스의 확산은 콘크리트 내부로 연결되는 열린 공극 사이로 직접 침투하거나, 세공용액에 용해된 CO₂가스의 농도차에 의하여 내부로 확산되는데 콘크리트 조직이 치밀해질수록 CO₂가스가 직접 침투하기 어려워 세

공용액의 농도차에 의한 확산에 의존해야 한다.¹⁸⁾ 이러한 경우 CO₂확산은 느리게 진행되고, 탄산화가 진행될수록 탄산화 전면과 콘크리트 내부의 농도차가 작아져 탄산화의 진행도 늦어지게 된다.

한편 전 양생기간이 56일과 180일인 12주 급속 촉진 탄산화 시험 결과를 비교해 보면, OPC의 경우 기존 양생조건에 비하여 장기재령의 탄산화 속도계수가 물-결합 재비에 관계없이 평균적으로 약 11% 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만 플라이애쉬를 혼입한 경우 FA-10은 약 33%, FA-20은 약 42%가 감소하였다.

이는 앞서 말한 바와 같이 플라이애쉬를 혼입한 경우 화학적으로 증성화를 촉진시키는 역할을 하지만, 장기적으로는 콘크리트의 밀실도를 증가시켜 탄산화에 대한 물리적 저항성이 확보되는 것으로 판단된다.

콘크리트의 탄산화 시험 결과를 실험방법 및 양생조건에 따라 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

4. 결 론

- 1) 플라이애쉬 콘크리트를 탄산화 시험한 결과 양생기간이 56일인 경우 탄산화에 다소 취약한 것으로 나타났다. 하지만 장기 재령에서는 탄산화에 대한 저항성이 OPC에 비하여 향상되었다. 그러므로 재령이 경과함에 따라 플라이애쉬 콘크리트는 OPC 콘크리트보다 탄산화 진행속도가 점차 늦어지게 되어 결국 내구수명이 증가할 것으로 예측된다.
- 2) 급속 촉진 탄산화 시험 방법은 기존의 촉진 탄산화 시험 방법에 비하여 동일한 탄산화 깊이를 구하기 위한 탄산화 기간이 단축되어 단시간에 실제 구조물의 탄산화 진행 정도를 예측하는데 필요한 데이터를 효율적으로 제공할 수 있을 것이다.
- 3) 플라이애쉬 등과 같이 포졸란 재료를 사용하는 경우 기존의 전 양생조건(56일)으로는 정확한 탄산화 깊이 및 탄산화 속도계수 측정이 어려워 실 구조물의 탄산화 예측시 오차를 발생할 수 있다. 따라서 플라이애쉬를 콘크리트에 혼입한 경우 실험 전 충분한 양생기간을 확보하여야 하며, 사용된 혼화재료에 따른 적절한 탄산화 추정식에 대한 연구가 필요할 것이라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 지원사업인 콘크리트코리아연구단의 ‘고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술’ 과제에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 권성준, 박상순, 남상혁, “국내 탄산화 실태자료를 이용

- 한 탄산화 예측식의 제안,” 한국구조물진단학회지, 11권, 5호, 2007, pp. 81~88.
2. CEB, “Durable Concrete Structures,” CEB Design Guide, Thomas Telford, UK, 1992, pp. 3~7, 27.
 3. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서 내구성편, 한국콘크리트학회, 2004, pp. 60.
 4. 최영준, 이광명, 김주형, 정상화, 이명규, “콘크리트 급속 촉진 탄산화 장비의 적용성 연구,” 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 18권, 2호, 2006, pp. 601~604.
 5. 유성원, 방기성, 정상화, 장승필, “급속탄산화시험기에 의한 플라이 애쉬 콘크리트의 탄산화 특성 연구,” 대한토목학회논문집, 27권, 4A호, 2007, pp. 601~607.
 6. 오병환, 고재균, “플라이애쉬 콘크리트의 강도 및 역학적 특성에 관한 연구,” 콘크리트학회논문집, 3권, 2호, 1991, pp. 87~95.
 7. 조명석, 송영철, 류금성, 고경택, 김성욱, “플라이애쉬 혼합 시멘트 모르타르의 내구성에 관한 연구,” 대한토목학회 학술발표회논문집, 2001, pp. 1~4.
 8. Nasser, K. W. and Lai. P. S. H., “Effect of Fly Ash on the Microstructure and Durability of Concrete,” American Society of Civil Engineers, Serviceability and Durability of Construction Materials, pp. 688~697.
 9. 이명규, 정상화, 김도현, 장봉석, “콘크리트 이산화탄소 확산계수에 대한 실험연구,” 대한토목학회논문집, 23권, 3A호, 2003, pp. 413~420.
 10. Walton, J. C., Plansky, L. E., and Smith, R. W., “Models for Estimation of Service Life of Concrete Barriers in Low-Level Radioactive Waste Disposal,” US Department of Energy, 1990, pp. 22~23.
 11. 한국콘크리트학회, 염해 및 탄산화에 대한 철근콘크리트 구조물의 내구성 설계/시공/유지관리 지침(안), 한국콘크리트학회, 2001, pp. 29~31.
 12. 김규용, 김영선, 조봉석, 김무한, “탄산화를 고려한 콘크리트구조물의 내구성능 설계,” 콘크리트학회지, 18권, 4호, 2006, pp. 24~30.
 13. 서치호, 이한승, “콘크리트 탄산화 메커니즘 및 제반 영향 인자,” 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 연구위원회 발표집, 2002, pp. 3~12.
 14. Papadakis. V. G., Vayenas, C. G., and Fardis, M. N., “Physical and Chemical Characteristics Affecting the Durability of Concrete,” *J. of ACI Material*, ACI, 1991, pp. 186~196.
 15. Khunthoukew, J. and Tangtermsirikul, S., “Model for Simulating Caronation of Fly Ash Concrete,” *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, September/October, 2005, pp. 570~578
 16. 권성준, 송하원, 박상순, “수화물 및 공극률 관측 실험을 통한 시멘트모르타르의 탄산화 특성 변화에 대한 연구,” 콘크리트학회 논문집, 19권, 5호, 2007, pp. 613~621.
 17. Ishida, T. and Maekawa, K., “Modeling of pH Profile in Pore Water Based on Mass Transport and Chemical Equilibrium Theory,” *Concrete Library of JSCE*, No. 37, 2001, pp. 151~166.
 18. Houst. Y. F. and Wittmann. F. H., “Influence of Porosity and Water Content on the Diffusivity of CO₂ and O₂ through Hydrated Cement Paste,” *Cement and Concrete Research*, Vol. 24, No. 6, 1994, pp. 1165~1176.

요 약 최근 각종 산업화에 따른 탄산가스 배출량의 증가는 철근콘크리트구조물의 탄산화를 촉진시켜 구조물의 내구성을 저하시키고 있다. 이미 선진 각국에서는 탄산가스 증가량을 고려하여 철근콘크리트구조물의 탄산화에 관한 안전 관리 대책을 마련하고 있지만 현재까지도 실 구조물의 탄산화를 정확하게 예측하기 어렵고 탄산화 측정하기 위해서는 많은 시간과 노력이 소요된다. 최근에 개발된 급속 촉진 탄산화 시험은 대기 중 CO₂농도를 100%로 하여 보다 신속하게 탄산화 시험 결과를 제공할 수 있다. 본 논문에서는 플라이애쉬 콘크리트의 탄산화 특성을 알아보기 위하여 기존에 주로 사용된 촉진 탄산화 시험과 급속 촉진 탄산화 시험에 의한 탄산화 결과를 비교, 분석하였다. 또한 장기재령에서 플라이애쉬 콘크리트의 탄산화 특성을 알아보기 위하여 급속 촉진 탄산화 시험을 이용하여 재령 180일의 콘크리트 시편의 탄산화 실험을 수행하였다. 그 결과 플라이애쉬 콘크리트는 초기재령에서 탄산화에 다소 취약하였지만, 장기재령에서는 OPC에 비하여 탄산화 저항성이 향상됨을 알 수 있었다.

핵심용어 : 탄산화, 플라이애쉬, 탄산화 시험, CO₂농도, 탄산화 속도 계수