

# 각종 혼합재를 첨가한 콘크리트의 중성화에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Carbonation of concrete using various Admixture Additives

최 광 윤\*      배 수 환\*      정 재 동\*\*      이 도 현\*\*\*      윤 재 환\*\*\*\*  
Choi, Kwang Yun    Bae, Soo Hawn    Jaung, Jae Dong    Lee, Do Heun    Yoon, Jai Hwan

### ABSTRACT

The purpose of this study is to suggest the fundamental data of durability which effects on the Carbonation of concrete by adding various admixture additives.

Thus, We have experimented the accelerated test on the concrete blending which was admixed by blast furnace slag, fly-ash, silica fume ,durability amelioration and it was cured 7weeks after twenty eight days water curing. The result of this experiment is that Carbonation speed increased extremely when water cement ratio went up, and by growing of replace cement ratio of admixture additives.

The specimen which was added fly-ash, blast furnace slag, silica fume has the faster Carbonation speed than the specimen which was not added admixture additives. All of these specimen , fly-ash has the fastest progress speed.

### 1. 서론

최근의 지구온난화 현상에서 보여지듯이 지표상의 탄산가스 농도는 연차적으로 증가하고 있는 추세이다. 이는 염해, 동해 등과 함께 콘크리트의 내구성을 저하시키는 중요한 원인중의 하나인 중성화의 진행속도를 촉진시킴으로서 건축구조물의 구조물 내구년수를 단축시키는 결과를 초래하고 있다.

콘크리트의 중성화 진행속도는 물시멘트비, 사용시멘트 및 혼화재의 종류 그리고 표면마감제의 유무에 따라 현저한 차이를 나타낸다. 특히 각종 혼화재는 산업부산물의 재사용 및 콘크리트의 품질개선을 위해 많이 사용되고 있으나 각종 혼합재를 사용한 콘크리트에 대한 중성화 실험자료는 아직 그 실적의 축적이 미비하다.

본 논문에서는 각종 혼합재(실리카흙, 플라이 애쉬, 슬래그, 내구성개선제)를 혼입한 콘크리트의 촉진중성화 실험을 한 후, 혼합재의 치환첨가에 따른 콘크리트의 중성화 정도를 비교·검토하여 혼합재가 미치는 영향을 규명하기 위한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

\* 정회원, 대구대학교 건설환경공학부 석사과정

\*\* 정회원, 대구대학교 건설환경공학부 부교수

\*\*\* 정회원, 대한주택공사 주택도시연구원 수석연구원

\*\*\*\* 정회원, 수원대학교 건축공학과 교수

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험개요

각종 혼합재를 사용한 콘크리트의 축진증성화 실험은 10×10×40cm 크기로 공시체를 제작하여 28일간 수증양생 하여 2주간의 건조기간을 거친 후 증성화 시험기에 콘크리트 공시체를 넣고 탄산가스농도 10%, 습도60%, 온도30℃의 조건에서 실시하였다.

소정의 축진 재령에 도달한 공시체는 압축강도 시험기를 이용하여 일정한 크기로 파단한 후 1%의 페놀프탈레인 알콜 용액을 분무하여 그 변색유무의 판별로서 증성화 깊이를 측정하였다.

### 2.2 실험계획

본 연구는 혼합재를 사용하지 않은 플레인 콘크리트 W/C 30%, 40%, 50%, 60%의 4수준과, W/C 50%, 60%에서 플라이애쉬(FA)10%, 20%, 고로슬래그(BF) 20% 40%, 실리카흄(SF) 10% 치환 한 것과 내구성 개선제(DA) 10% 첨가하여 목표슬럼프 15cm, 공기량 4.5 ±1.5%를 만족하도록 배합설계 하였으며 배합사항은 표 1과 같다.

표 1 각종 혼합재를 사용한 콘크리트의 배합표

배합기호	W/C (%)	S/a (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	A. E. (C×%)	S. P. (C×%)	D. A. (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )						
								FA	BF	SF	W	C	S	G
WC30	30	46	17.5	-	0.16	1.0	-	-	-	-	165	550	710.54	877.31
WC40	40	46	16.5	4.3	0.04	0.61	-	-	-	-	170	425	750.58	926.75
WC50	50	46	16.0	4.5	0.05	0.55	-	-	-	-	175	350	772.30	953.57
WC60	60	46	17.5	5.7	0.04	0.0	-	-	-	-	180	300	784.85	969.07
WC50FA10	50	46	16.0	3.5	0.04	0.52	-	-	-	-	175	315	766.76	946.73
WC50FA20	50	46	16.0	2.0	0.07	0.51	-	35	-	-	175	280	761.22	939.89
WC60FA10	60	46	16.0	4.5	0.09	0.33	-	70	-	-	180	270	780.10	963.21
WC60FA20	60	46	15.5	3.0	0.12	0.45	-	30	-	-	180	240	775.36	957.34
WC50BF20	50	46	15.0	2.5	0.04	0.48	-	60	-	-	175	280	770.09	950.84
WC50BF40	50	46	15.0	5.0	0.07	0.57	-	-	70	-	175	210	767.88	948.11
WC60BF20	60	46	15.5	4.8	0.06	0.37	-	-	140	-	180	240	782.96	966.73
WC60BF40	60	46	14.5	5.5	0.09	0.44	-	-	60	-	180	180	781.06	964.39
WC50DA10	50	46	-	-	0.0	0.89	10	-	120	-	175	350	812.70	1003.5
WC60DA10	60	46	-	-	0.0	0.33	10	-	-	-	180	300	825.30	1018.9
WC50SF10	50	46	-	-	0.08	1.06	-	-	-	35	175	315	766.76	946.73
WC60SF10	60	46	-	-	0.21	1.14	-	-	-	30	180	270	779.68	962.68

### 2.3 사용재료

#### 2.3.1 시멘트

본 실험에서는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)의 규격에 적합한 국내 D사의 보통포틀랜드 시멘트(1종)를 사용하였으며, 그 물리·화학적 성질은 표 2, 3에 나타내었다.

표 2 시멘트의 물리적 성질

시험항목	용결시험		압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			Blaine(cm <sup>3</sup> /g)	안정도(%)
	초결(분)	종결(시:분)	3일	7일	28일		
보통 포틀랜드 시멘트	209	5 : 40	210	283	376	3,450	0.24

표 3 시멘트의 화학적 성질

시료명	시험항목	감열감량(%)	비 중	화 학 성 분(%)					
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
보통 포틀랜드 시멘트		2.08	3.15	20.64	5.38	3.14	61.96	3.98	2.15

2.3.2 골재

본 실험에서 사용한 잔골재는 경기도 여주 남한강산 천연 강모래를 사용하였으며 굵은 골재는 경기도 안성산 부순골재를 사용하였다. 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 성질은 표4와 같다.

표 4 골재의 물리적 성질

구 분	골재의 최대 크기(mm)	비중	조립율(%)	흡수율(%)	실적율(%)	단위용적중량(kg/ℓ)
잔 골 재	5	2.51	2.79	3.5	64.94	1.63
굵은골재	25	2.64	6.81	0.6	54.01	1.42

2.3.3 혼화제

본 실험에서는 충남 당진화력발전소에서 생산되어 정제된 플라이 애쉬, KS F 2563("콘크리트용 고로슬래그 미분말")의 규격의 1종에 해당하는 국내 K社에서 시판중인 고로슬래그, 노르웨이산 Elken社의 실리카흙을 사용하였으며 그 물리·화학적 성질은 다음의 표5, 6, 7과 같다.

표 5 플라이 애쉬의 물리·화학적 성질

비 중	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	단위수량비 (%)	28일압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	이산화규소 (%)	습분 (%)	감열감량 (%)
2.20	3650	95	96	51.0	0.1	3.7

표 6 실리카흙의 물리·화학적 성질

성분	감열감량	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	carbon	비중
구성비율(%)	2.0	91.1	0.8	1.3	0.584

2.3.4 혼화제

콘크리트용 화학혼화제는 콘크리트의 공기량 조절을 위하여 국내 K社 AE제를 사용하고, 또한 콘크리트의 단위수량 감소 및 슬럼프 조절을 위하여 同社의 AE 성분을 배제한 고성능 감수제를 사용하였다. 또한 콘크리트의 내구성 향상을 위하여 일본 Sanflo Paric社의 내구성 개선제를 사용하였다. 각 제품의 특성 및 성능은 표8에 나타내었다.

표 7 고로슬래그의 물리·화학적 성질

비중	비표면적 (m <sup>2</sup> /g)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			MgO (%)	SO <sub>2</sub> (%)	감열감량 (%)	염화물이온 (%)
		7일	28일	91일				
2.9	4376	79	121	125	5.0	1.86	0.63	0.001

표 8 콘크리트용 화학혼화제의 특성

종 류	유형	색 상	주 성 분	고형분(%)	PH	점도(cP)	비 중
AE제	액상	연노랑	소듐라우릴 에테르설페이트	28±2	9.5	100	1.045
고성능감수제	액상	암갈색	폴리카복실 에테르	16±2	8.3	100	1.040
내구성개선제	액상	무색	글리콜에테르유도체 및 아미노알콜유도체	-	-	-	-

## 2.4 실험방법

### 2.4.1 시험체의 제작 및 양생방법

#### (1) 시험체의 제작

시험체는 콘크리트 강도시험용 공시체 제작방법에 준하였고, 콘크리트 빔몰드인 10×10×40cm의 몰드를 사용하였다.

#### (2) 양생방법

시험체는 타설 1일 후 탈형하여 재령 28일까지 표준수 증양생을 실시하였다. 그 후, 중성화 시험용 시험체는 중성화 실험 개시 1일전에 타설면과 타설밀면, 그리고 10×10cm의 양 단면을 페티(폴리에스테르수지)2회, 유성페인트 2회를 각각 칠하여 양 측면으로부터 중성화 시켰다.

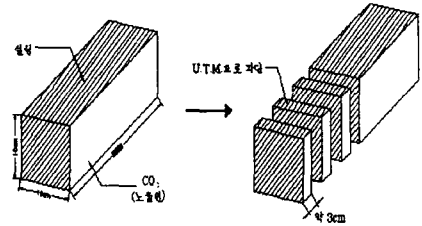


그림 1 시험체의 제작과정

### 2.4.2 중성화 시험 방법

중성화 시험은 탄산가스 농도를 10%로 조절된 항온항습조를 이용하여 온도30℃, 습도60% 조건하에서 촉진시험을 하였다.

시험체의 수는 각 조건별로 1개씩이며 한 개의 시험체에서 좌우 2부분에서 폭로하여 4개의 데이터를 얻을 수 있다. 중성화 깊이의 측정순서로서는 실험 개시일로부터 7, 14, 21, 28, 35, 42 및 49일 재령에 압축시험기를 사용하여 시험체를 파단하였다. 시험체 파단방법은 U.T.M을 사용하여 파단하였다.

시험체 파단 후 1% 페놀프탈레인용액을 분무하여 변색유무를 관찰하였다. 측정 및 판별은 화상분석기를 통하여 분석한 후 결과를 산출하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 물시멘트비에 따른 중성화 깊이의 변화

물시멘트비에 따른 중성화 깊이는 아래의 그림2에서 보는 바와 같이 시간의 경과와 함께 내부로 진행되었으며 물시멘트비의 증가와 함께 중성화 속도는 증가하였다. 다만, 물시멘트비가 30%인 공시체는 재령 49일이 되어서도 중성화 깊이에는 아무런 영향을 받지 못했다.

물시멘트비 60%에서의 중성화 속도 계수는 물시멘트비 40%의 일때 보다 약 3.4배나 빠르게 나타났다.

이와 같이 물시멘트비가 커짐에 따라 중성화 속도가 빨라지는 것은 콘크리트 내부 공극이 증가되고 이로 인하여 중성화 탄산가스 침투경로인 모세관 공극이 증대됨으로써 중성화 깊이 또한 증가하는 것으로 사료된다.

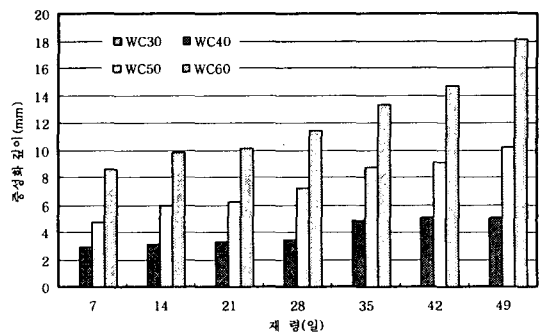


그림 2 물시멘트비가 중성화에 미치는 영향

### 3.2 각종 혼합제 첨가에 따른 콘크리트의 중성화 깊이 비교

플라이애쉬 첨가량에 따른 중성화 깊이는 그림3과 같이 나타났다. 물시멘트비 50%에서는 플라이애쉬 무첨가에 비해 첨가량 10%일 경우 최종 중성화 깊이가 약간 증가하는 경향을 나타내며 플라이애

취 첨가량이 20%일 경우에는 플라이애쉬 무첨가에 비해 1.8mm 중성화 깊이가 증가하였다.

물시멘트비 60%에서의 플라이애쉬 첨가량이 0, 10, 20%의 공시체에서는 최종 중성화깊이가 18.1, 21.1, 27.2로 나타나 각각 3.0, 9.1mm 정도 중성화 깊이가 증가한 것으로 나타나 전반적으로 플라이애쉬를 많이 사용한 공시체가 중성화 속도가 빨라지는 것을 알 수 있었다.

고로슬래그 첨가량에 따른 중성화 깊이가 변화는 그림4와 같이 나타났으며 슬래그 분말의 첨가량 증가에 따라 중성화 깊이가 증가하는 것으로 나타났다. 물시멘트비 50%에서 고로슬래그 첨가량이 0, 20, 40%일 경우의 최종 중성화 깊이는 각각 10.2, 12.7, 14.3mm이며, 물시멘트비 60%에서 고로슬래그 분말 가량이 0, 20, 40%의 경우, 최종 중성화깊이는 각각 18.1, 17.9, 23.1mm로 나타났다.

실리카흙 첨가량에 따른 중성화 깊이는 그림5과 같이 나타났으며 실리카흙 첨가량에 따라 중성화 깊이가 증대하는 경향을 나타내고 있다. 물시멘트비가 50%에서 실리카흙 첨가량이 10%인 공시체는 첨가하지 않는 공시체보다 촉진재령 49일에서 약 4.2mm 정도 중성화 깊이가 증가하였다. 그리고 물시멘트 60%에서도 약 4.4mm 정도 중성화 깊이가 증가하였다.

이는 잠재수경성을 가진 혼화재를 시멘트에 치환 사용할 경우 중성화 과정에서 소모하게 되는 수산화칼슘(Ca(OH<sub>2</sub>))외에도 혼화재의 포졸란 반응시 수산화칼슘의 칼슘이온과 혼화재에서 용출되는 실리카나 산화알루미늄이 반응하여 칼슘실리케이트수화물(C-S-H)이나 칼슘알루미네이트수화물(C-A-H)을 생성하게 됨으로써 수산화칼슘을 다량 소모하게 되어 알카리도가 크게 감소하기 때문인 것으로 사료된다.

내구성 개선제 첨가량에 따른 중성화 깊이는 그림6와 같이 나타났으며 중성화는 시간의 경과와 함께 내부로 진행하고 그 속도는 시간과 함께 변화하지만 물시멘트비 50, 60% 공시체의 플레인보다 내구성 개선제를 첨가한 공시체는 현저한 중성화 지연효과가 나타나는 것이 명확하다.

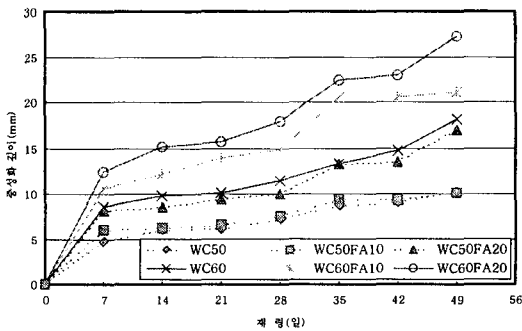


그림 3 플라이애쉬가 중성화에 미치는 영향

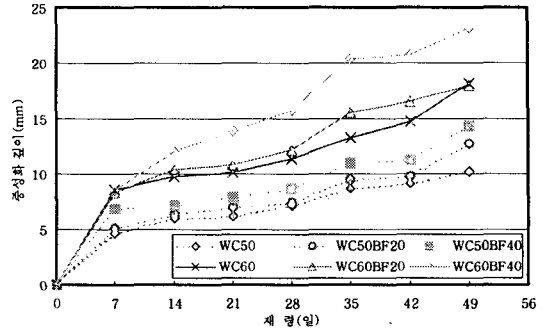


그림 4 고로슬래그가 중성화에 미치는 영향

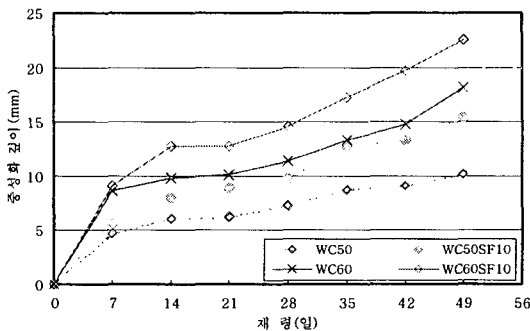


그림 5 실리카흙이 중성화에 미치는 영향

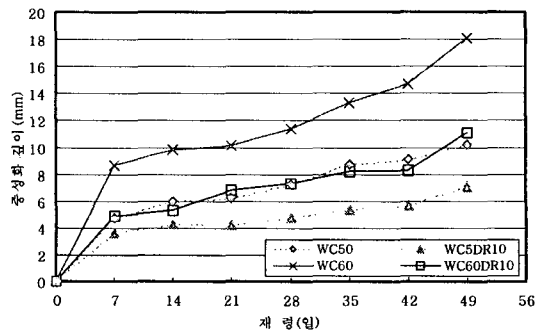


그림 6 내구성 개선제가 중성화에 미치는 영향

### 3.3 각종 혼합재 첨가량에 따른 중성화 깊이

각종 혼합재를 첨가한 공시체의 중성화 깊이는 그림7, 8에서 보는 바와 같이 내구성 개선제를 제외한 플라이애쉬, 고로슬래그, 실리카흙을 첨가한 공시체에서는 플레인 공시체보다 중성화 속도가 더 증가했고, 그 중에서도 플라이애쉬가 가장 진행 속도가 빠르다는 것을 알 수 있었다.

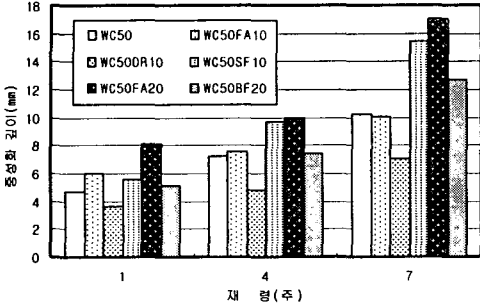


그림 7 각종혼화제를 첨가한 공시체의 중성화 깊이 (W/C50%)

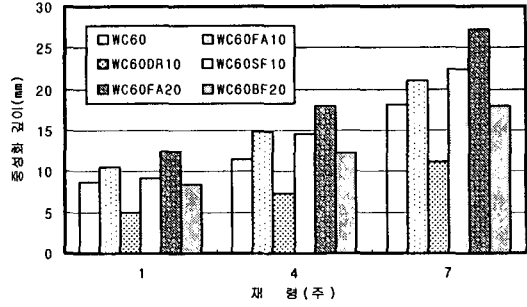


그림 8 각종혼화제를 첨가한 공시체의 중성화 깊이 (W/C60%)

### 4. 결론

각종 혼합재를 첨가한 공시체의 중성화 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 물시멘트비 30%의 콘크리트 공시체에서는 전혀 중성화가 진행되지 않았다. 그러나 그 이상의 물시멘트비에 있어서는 물시멘트비가 커질수록 중성화 속도도 현저하게 증가하여 물시멘트비 60%의 중성화 속도는 물시멘트비 40%인 경우 보다 약 3.4배 이상 빨라지는 결과를 나타냈다.
- 2) 플라이애쉬를 사용한 공시체에서 물시멘트비 50%, 첨가량 0, 10, 20%일때 최종 중성화 깊이는 각각 10.2, 10.1, 17.0mm이며, 물시멘트비가 60%, 첨가량 0, 10, 20%일때 최종 중성화 깊이가 18.1, 21.1, 27.7mm로 나타났다. 플라이애쉬 첨가량의 증가에 따라 중성화 깊이가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 플라이애쉬를 시멘트에 치환 첨가하는 경우 단위시멘트량이 줄어들고, 포졸란 반응으로 알칼리가 소모하게 되기 때문인 것으로 사료된다.
- 3) 슬래그 분말의 첨가량 증가에 따라 중성화 깊이가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 물시멘트비 50%에서 고로슬래그 첨가량이 0, 20, 40%일 경우에는 최종 중성화 깊이는 각각 10.2, 12.7, 14.3 mm이며, 물시멘트비 60%에서 고로슬래그 첨가량이 0, 20, 40%의 경우, 최종 중성화 깊이는 각각 18.1, 17.9, 23.1mm로 나타났다.
- 4) 실리카흙 첨가량의 증가에 따라 중성화 깊이가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 물시멘트비 50%에서 실리카흙 첨가량이 0, 10%일 경우에는 최종 중성화 깊이는 각각 10.2, 15.4mm이며, 물시멘트비 60%에서 실리카흙 첨가량이 0, 10%의 경우, 최종 중성화 깊이는 각각 18.1, 22.5mm로 나타났다.
- 5) 내구성 개선제 첨가량에 따른 중성화는 시간의 경과와 함께 내부로 진행하고 그 속도는 재령의 증가와 함께 둔화되지만, 물시멘트비 50, 60% 공시체의 플레인보다 내구성 개선제를 첨가한 공시체는 현저한 중성화 지연효과가 나타나는 것이 명확하다. 물시멘트비 50%에서 내구성 개선제 첨가량이 0, 10%일 경우에는 최종 중성화 깊이는 각각 10.2, 7.1mm이며, 물시멘트비 60%에서 내구성 개선제 첨가량이 0, 10%의 경우, 최종 중성화 깊이는 각각 18.1, 11.1mm로 나타났다.

### 참 고 문 헌

1. 정재동, 콘크리트재료공학, 보성각 출판부, 1998.
2. 김형걸, 콘크리트 혼화제가 콘크리트 성질에 미치는 영향, 대한건축학회지, 1972.
3. 김수현, 플라이애쉬를 혼입한 시멘트 모르타의 양생조건에 따른 중성화 특성에 관한 실험적 연구, 2000.
4. 岸谷孝一, 鐵筋コンクリートの 耐久性, 鹿島出版會, 1981.
5. 鄭 載東, 콘크리트의 中性化에 關する 研究의 現狀과 課題, 세멘트·콘크리트, No.496, 1988.