

# CSA계 팽창재 및 무기질 혼화재를 이용한 고성능 콘크리트의 건조수축 및 자기수축 저감에 관한 실험 연구

## An Experimental Study on the Reduction of Drying and Autogenous Shrinkage of High Performance Concrete Using CSA Expansive Additives and Inorganic Admixtures

홍 상 희\*    전 병 채\*\*    송 명 신\*\*\*    한 천 구\*\*\*\*    반 호 용\*\*\*\*  
Hong, Sang Hee    Jun, Byung Chea    Song, Myong Shin    Han, Cheon Goo    Bahn, Ho yong

### ABSTRACT

Recently, high performance concrete developed has a good quality at fresh and hardened state, but high binder contents results in spending much money on manufacturing and many cracks by drying and autogenous shrinkage. Therefore, in this paper, not only prevention of cracks caused by drying and autogenous shrinkage, but improvement of quality and accomplishment of economy by applying F.A(fly ash), S.F(silica fume) and CSA(calcium sulfa aluminate) expansive additives as an inorganic admixtures in W/B 35% are discussed. According to the experimental results, when 5% of CSA expansive additives and 15:5 (F.A:S.F)are replaced at unit cement content, high performance concrete with both good compensation of drying and autogenous shrinkage at hardened state is accomplished.

### 1. 서 론

고성능 콘크리트란, 고유동, 고강도 및 고내구성을 동시에 만족시키는 콘크리트로 정의 할 수 있다. 특히, 최근에 개발된 고성능 콘크리트는 양호한 품질을 발휘하는 이면에 많은 단위시멘트량에 따른 비경제성과 수화열에 의한 온도응력, 건조수축 및 고성능 감수제 사용에 따른 결합재의 수화활성이 향상되기 때문에 발생하는 자기수축등 각종 균열이 문제시 되고 있다.

따라서, 현대개념에 부응하기 위한 양호한 품질의 고성능 콘크리트는 시멘트만으로 제조하는 것은 많은 어려움이 따르게 되므로, 콘크리트 배합설계상 수화열의 감소, 경제성 성취 및 품질향상등을 목적으로 플라이애쉬 및 실리카 흙을 시멘트량에 일부 치환하였을 경우 또한 건조수축 및 자기수축등의 문제점을 개선하기 위하여 팽창재를 치환하는 것에 대하여 검토할 필요가 있다.

그러므로 본 연구에서는 물결합재비(이하 W/B) 35%인 고성능 콘크리트 범위에서 CSA (calcium sulfa aluminate)계 팽창재, 플라이애쉬 및 실리카 흙을 혼화재로 사용하여 유동성, 강도등 기초적 성질과

\* 정회원, 청주대 대학원 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, 청주대 대학원 건축공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, (주)중부산업 기술개발부 이사

\*\*\*\* 정회원, 청주대 건축공학과 교수, 공학박사

건조수축 및 자기수축 특성을 분석하므로써 궁극적으로는 저균열이고 고품질인 고성능 콘크리트의 개발을 시도하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합사항은 표 1과 같다. 즉, W/B 35%에 대하여 팽창재 혼입율은 0, 5%의 2개 수준으로 하고, 플라이애쉬(이하 F.A라 칭함), 실리카 흙(이하 S.F라 칭함) 및 F.A:S.F 치환율 변화에 따른 특성을 분석하기 위하여 실험계획 한다. 이때, 콘크리트의 배합은 CSA계 팽창재 및 무기질 혼화재를 혼입하지 않은 배합에서 목표 슬럼프 플로우 60±5cm, 목표 공기량 4.5±1.5%가 발휘되도록 단위수량, 잔골재율, SP제 첨가량 및 AE제량을 결정한 다음 이를 전 배합에 동일하게 적용하도록 한다.

### 2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트 (비중 3.15)를 사용하며, 골재로써 굵은골재는 최대치수 20mm인 부순돌 (비중 2.56, F.M 6.67)을, 잔골재는 강모래(비중 2.57, F.M 2.62)를 사용하는데, 사용한 골재의 입도는 표준 입도곡선 범위에 만족하는 것으로 한다.

혼화재료로서 팽창재는 CSA계로 국내에서 생산되는 제품을 사용하며, 유동성을 확보하기 위한 고성능 감수제는 폴리칼본산계를 사용한다. 또한 플라이애쉬는 분급

정제된 보령화력산을, 실리카

**표 1. 실험계획 및 배합사항**

W/B (%)	E.A/B (%)	F.A/B (%)	S.F/B (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	S/A (%)	SP/B (%)	AE/B (%)	용적배합(ℓ/m <sup>3</sup> )					
								C	S	G	EA	FA	S,F
35	0	0	0	175	48	1.75	0.0045	158	311	311	0	0	0
		143						307	307	0	23	0	
		127						304	304	0	45	0	
		150						309	309	12	0	0	
		135						305	305	12	23	0	
		119						302	302	12	45	0	
	5	0	0					158	311	311	0	0	0
		151						309	309	0	0	11	
		143						307	307	0	0	23	
		150						309	309	12	0	0	
		143						307	307	12	0	11	
		135						305	305	12	0	23	
	0	0	10					158	311	311	0	0	0
		127						304	304	0	22.5	22.5	
		127						304	304	0	33	12	
		127						304	304	0	45	0	
		150						309	309	12	0	0	
		119						302	302	12	22.5	22.5	
	5	0	10					119	302	302	12	33	12
		119						302	302	12	33	12	
		119						302	302	12	45	0	
		119						302	302	12	45	0	
		119						302	302	12	45	0	
		119						302	302	12	45	0	

\* E.A-Expansive additives, F.A-Fly ash, S.F-Silica fume

흙은 노르웨이산을 사용하며, 물은 상수도를 사용한다.

### 2.3 실험방법

콘크리트의 혼합은 강제식 팬 믹서를 이용하여 실시한다. 실험방법으로 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 제반실험은 KS 및 기존에 알려진 방법에 따라 실시하고, 길이변화 측정용 공시체는 7.5×7.5×40cm 몰드의 양끝에 길이 측정용 게이지를 설치하여 그림 1과 같이 구속 및 무구속 조건으로 제작하며, 자기수축 측정용 공시체는 10×10×40cm 몰드를 이용하여 그림 2와 같이 제작한다.

건조수축에 따른 길이변화 시험은 KS F 2562의 규정에 의거 7일 까지는 수중양생한 다음 그 이후는 기중양생(온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도  $60 \pm 5\%$ )으로 건조시킨 후 KS F 2424 규정에 의한 다이알게이지 방법으로 실시한다. 또한, 자기수축에 따른 길이변화 시험은 일본 콘크리트공학협회의 규정(그림 2 참조)에 따라 측정용 몰드 양 끝에 게이지 플러그를 설치한 후 계획된 재령에서 측정한다.

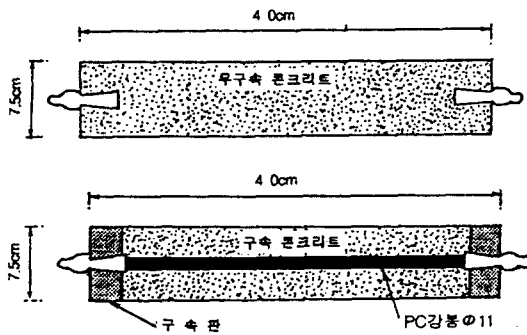


그림 1. 구속과 무구속 공시체

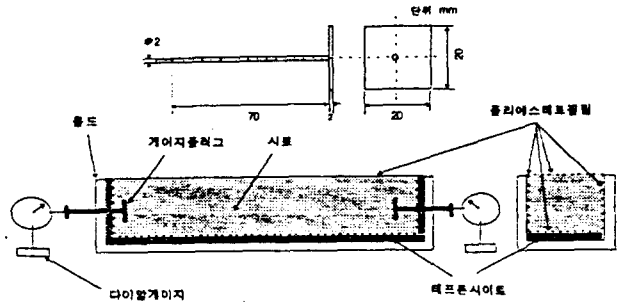


그림 2. 자기수축 측정 콘크리트 게이지 플러그 및 공시체

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 슬럼프플로우 및 강도특성

표 2는 슬럼프플로우 및 압축강도 특성을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 사용 혼화재별 슬럼프 플로우 및 압축강도 특성은 기존에 알려진 바와 같이 다양한 값의 변화를 재검토 할수 있었다.

#### 3.2 건조수축에 의한 길이변화율

그림 3은 7일까지 수중양생한 후 기중양생으로 건조시킨 길이변화율을 팽창재 혼입율과 F.A, S.F 및 F.A:S.F 치환비별 재령 경과에 따라 꺾은선 그래프로 나타낸 것이이고, 그림 4는 그림 3에서의 7일, 28일, 91일 및 180일 재령의 길이변화특성을 또다른 각도에서 비교한 그래프 이다.

먼저, 전반적인 경향으로는 팽창재를 혼입한 경우 F.A, S.F 및 F.A:S.F 치환비 모두 수중양생 3일까지 팽창재의 팽창성분인 에트링가이트(ettringite)의 양호한 생성으로 꾸준히 팽창을 보이는 반면, 7일 이후 기중양생에서는 급격히 수축하기 시작 하였는데, F.A

치환율인 경우 팽창재를 무혼합시 F.A 치환율이 증가할수록 수축이 커지는 것으로 나타났으나, 팽창재를 5% 혼입한 경우는 F.A 치환율이 증가할수록 다소 감소하는 것으로 나타났다. 또한 팽창재를 5% 혼입시 팽창재를 혼입하지 않은 경우보다 7일에서는 평균  $2.1 \times 10^{-4}$ , 28일 재령에서는  $2.6 \times 10^{-4}$ , 91 및 180일 재령에서는  $3.3 \times$

표 2. 슬럼프플로우 및 강도특성

W/B (%)	E.A/B (%)	F.A/B (%)	S.F/B (%)	슬럼프 플로우 (cm)	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )					
					7일	28일	91일	180일		
35	0	0	0	61.0	490	525	586	596		
		10		64.7	478	625	676	686		
		20		74.5	439	589	635	645		
	5	0	0	53.7	419	534	599	613		
		10		64.7	400	535	625	642		
		20		50.2	407	593	613	632		
	0	0	0	0	61.0	490	525	586	596	
				5	50.9	452	555	678	692	
				10	43.2	437	608	658	676	
		5	0	0	0	53.7	419	534	599	613
					5	44.4	433	618	660	675
					10	40.3	436	594	635	667
0	0	0	0	61.0	490	525	586	596		
			10	40.3	412	655	701	728		
			15	5	39.5	466	674	710	735	
5	0	0	0	74.5	439	589	635	645		
			0	53.7	419	534	599	613		
			10	10	38.5	400	610	689	729	
			15	5	44.8	410	629	698	739	
0	0	0	0	50.2	407	593	613	632		

\* E.A-Expansive additives, F.A-Fly ash, S.F-Silica fume

$10^{-4}$ 의 수축보상 성향으로 나타나 건조수축에 의한 균열방지에 효과가 큰 것으로 나타났다.

S.F 치환을 변화는 미소한 차이이지만 S.F 치환율이 증가할수록 수축이 커지는 것으로 나타났다, 또한 F.A:S.F 치환비 변화에서는 팽창 및 수축특성에는 서로 뒤바뀌는 경향으로 나타나 큰 변화가 없는 것으로 분석되고, 팽창재를 혼입하지 않은 경우보다 팽창재를 5% 혼입할 경우에는 평균  $2.3 \times 10^{-4}$ 의 수축보상효과를 발휘하는 것으로 나타났다.

그림 5는 플레인 콘크리트와 팽창재만 혼입을 5% 및 팽창재 5% 혼입한 경우의 F.A 치환율 10%, S.F 치환율 10%, F.A:S.F 10:10인 조건에서의 구속과 무구속한 공시체의 길이변화율을 산점도로 나타낸 그래프이다. 전반적으로 구속한 공시체인 경우가 무구속한 공시체 보다도 비교적 작은 팽창 및 수축특성을 보인 반면, 무구속한 공시체에서는 큰 경향으로 나타났다. 즉, 무구속한 공시체인 경우보다 구속한 공시체의 경우는 약 8.2% 정도 팽창과 수축은 작은 것으로 나타났다. 이는 수화반응 과정에서 내부응력이 구속봉에 의해 케미컬

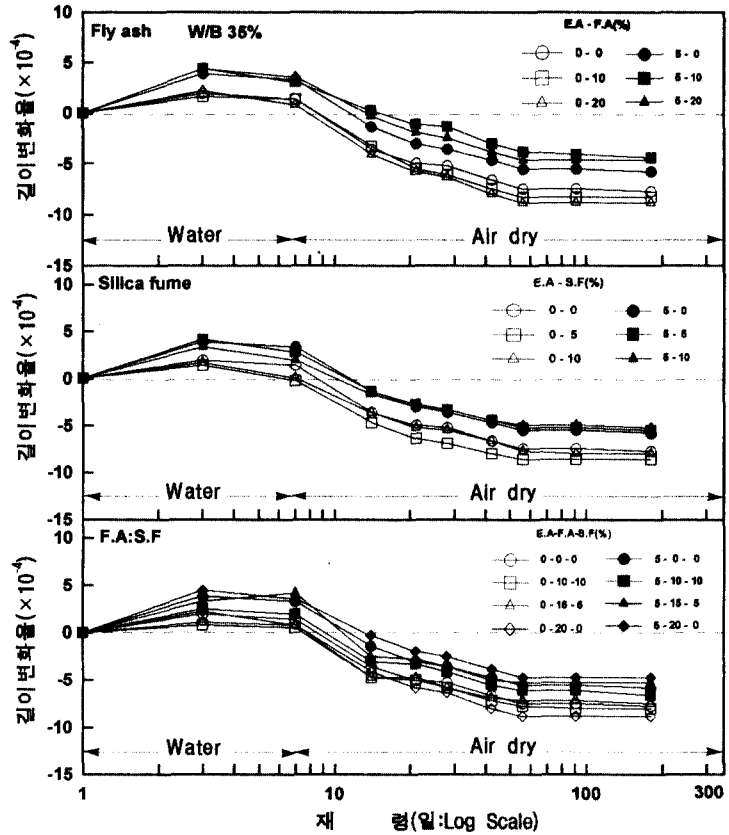


그림 3. 혼화재 치환율 변화에 따른 길이변화율

8.2% 정도 팽창과 수축은 작은 것으로 나타났다. 이는 수화반응 과정에서 내부응력이 구속봉에 의해 케미컬

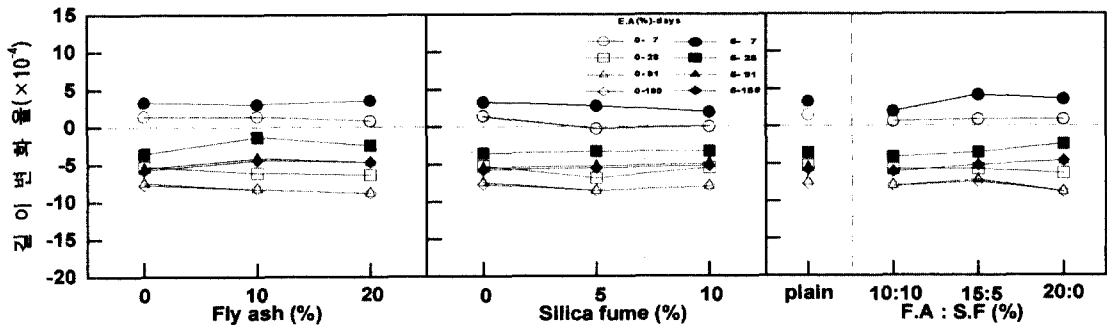


그림 4. 혼화재 치환율 변화에 따른 길이변화특성

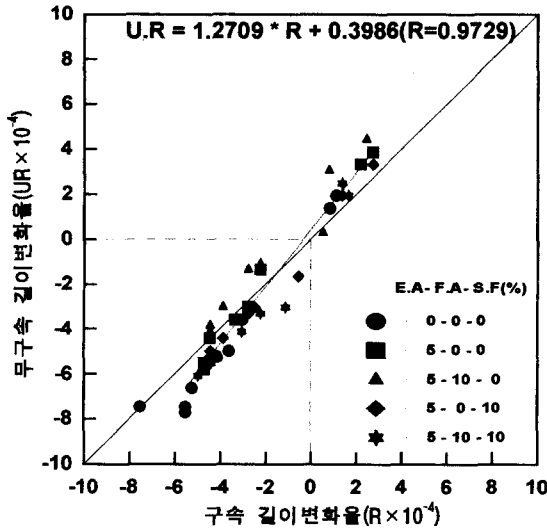


그림 5. 혼화제 치환율에 따른 구속과 무구속 프리스트레스로 도입되어 팽창 및 수축력이 안정하게 유도된 것에 따라 나타난 현상으로 사료된다.

### 3.2 자기수축 특성

그림 6은 팽창제 혼입을 및 혼화제 치환율별 재령 경과에 따른 자기수축량을 꺾은선 그래프로 나타낸 것이고, 그림 7은 그림 6에서의 3일, 7일 및 28일 재령의 자기수축특성을 또 다른 각도에서 비교한 그래프이다. 먼저, F.A 치환율의 경우 F.A를 치환율이 10%일 때 자기수축량은 가장 크게 나타났으나, 팽창제 5% 혼입시 28일 재령에서  $3 \times 10^{-4}$  정도의 자기수축 보상효과가 있는 것으로 나타났다. S.F를 치환한 경우는 F.A 치환율의 경우와 마찬가지로 S.F 치환율 10%일때 수축은 다소 크게 나타났으나 F.A를 치환한 경우보다는 3일 이후 자기수축량은 적은 것으로 나타났다. 즉, S.F를 치환한 경우는 F.A를 치환한 경우보다 작은 수축경향으로 나타났다는데, 이는 S.F의 화학성분중 F.A보다 CaO의 함유량이 적음에 기인한 것으로 분석된다. F.A:S.F 치환비 변화에는 상기의 혼화제 치환의 복합 경향으로 나타났는데, 팽창제 5% 혼입시 무기질 혼화제를 치환하지 않은 경우에서 가장 양호한 팽창특성으로 나타났고, 혼화제를 치환하였을 경우 팽창제 혼입율 5%, F.A:S.F 15:5인 배합조건에서 비교적 가격도 저렴하며, 자기수축도 적은 것으로 나타났다. 특히, F.A치환율 10%, S.F치환율 10% 및 F.A:S.F치환비 20:0에서 큰 수축을 나타내고 있는데 참고적으로 재령 28일 자기수축량은 F.A치환율 10%인 경우  $-8.79 \times 10^{-4}$ , S.F치환율 10%인 경우  $-6.67 \times 10^{-4}$ , F.A:S.F치환비 20:0인 경우는  $-7.58 \times 10^{-4}$ 로 나타나 보통 콘크리트의 건조수축량에 상응할 수 있는 정도로 매우 큰 값을 알수 있는

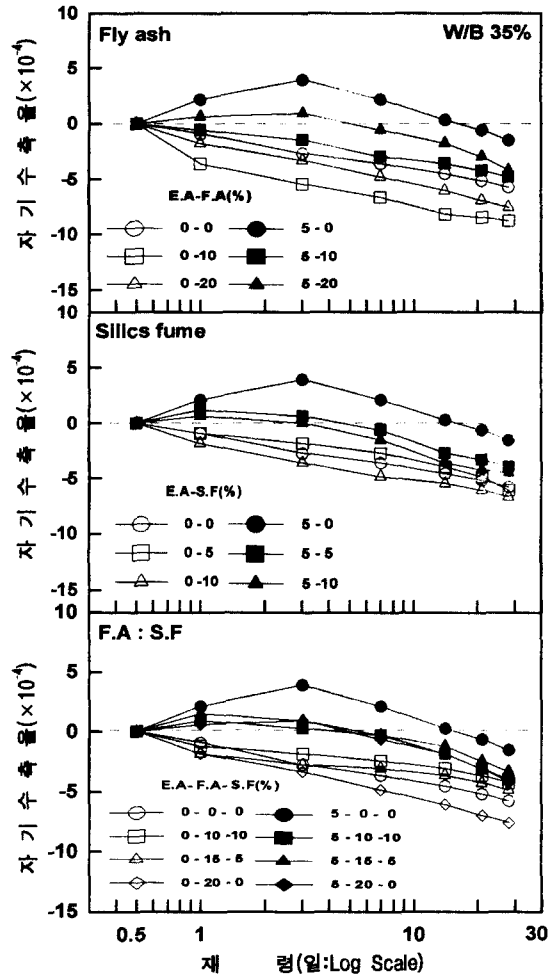


그림 6. 혼화제 치환율 변화에 따른 자기수축

데, 이는 표 2에서 알수있듯이 최적 혼화재 치환율 비율과 일치하였을 경우에 최상의 수화활성으로 인하여 강도증진도 크게 나타났으며 자기수축량 또한 큰 것으로 나타났다.

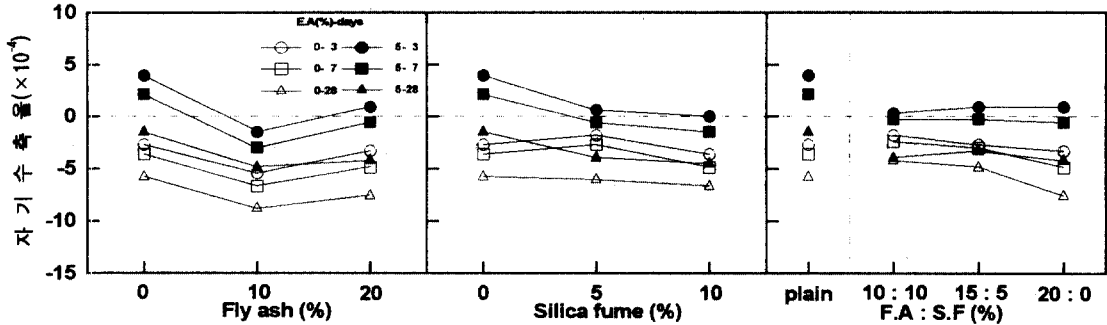


그림 7. 혼화재 치환율 변화에 따른 자기수축 특성

종합적으로 고성능 콘크리트에 있어 F.A 및 S.F을 치환하였을 경우 팽창재를 무혼입시 자기수축은 더욱 커 고유동 및 고강도 콘크리트 제조시 F.A 및 S.F을 사용하는 경우는 자기수축의 영향을 심도있게 고려해야 하며 특히, 분체계 고성능 콘크리트 제조시에는 팽창재의 사용이 필수적인 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

CSA계 팽창재 및 무기질 혼화재를 이용한 고성능 콘크리트의 특성분석과 건조수축에 의한 길이변화 및 자기수축 특성을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 건조수축에 의한 길이변화율은 F.A, S.F 및 F.A:S.F 치환율 변화에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났지만, 각 경우 팽창재를 5% 치환하게 되면 평균  $2.6 \times 10^{-4}$  정도 건조수축 저감 효과가 있는 것으로 밝혀졌다.
- 2) 28일 플레인 콘크리트의 자기수축은  $-5.76 \times 10^{-4}$  인데, 무기질 혼화재를 치환하였을 경우 평균  $-7.32 \times 10^{-4}$  정도로 자기수축은 크며 F.A 10%, S.F 10%, F.A 20% 치환율 순으로 자기수축은 크게 나타났다.
- 3) 자기수축은 F.A 및 S.F을 치환할 경우가 플레인에 비하여 비교적 자기수축은 크게 나타났으나, 팽창재를 5% 정도 혼입할 경우는 팽창재 무혼입 보다 자기수축을 평균  $3.6 \times 10^{-4}$  정도 크게 감소시킬수 있는 것으로 나타났다.

이상을 종합하여 볼 때 W/B 35%에서 CSA계 팽창재 혼입율 5%, F.A:S.F 치환율 15:5로 치환하여 고성능 콘크리트를 제조하면 유동성, 강도, 경제성, 건조수축 및 자기수축 보상효과등에서 우수하여 보다 고품질인 고성능 콘크리트의 제조가 가능할 수 있는 것으로 사료된다.

끝으로, 본 연구는 중소기업청 및 충청북도의 97년도 「산·학·연 공동개발 지역 컨소시엄」 계획에 따라 충북도내 중부실업(대표이사:박재호)과의 컨소시엄 연구로 이루어졌음에 위 기관에 감사한다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 日本コンクリート工學協會; 自己收縮研究委員會 報告書, 1996.
- (2) セメント・コンクリート研究會; Behavior of Water in Cement and Concrete, 1993.