

# 수축저감제 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 수축저감에 관한 연구

## A Study of the Shrinkage Reduction in High Performance Concrete according to the Adding Ratio of Anti-Shrinkage Agent

한 천 구\* 金 虎 林\*\* 文 學 龍\*\*\* 강 수 태\*\*\* 고 경 택\*\*\*\* 김 도 겸\*\*\*\*  
Han, Cheon Goo Jin, Hu Lin Wen, Xue Long Kang, Soo Tae Koh, Kyoung Taek Kim, Do Gyum

### ABSTRACT

This study discusses the use of anti-shrinkage agent as the method to reduce autogenous and drying shrinkage. According to results, as for the fundamental properties of high performance concrete, fluidity and strength decrease with an increase of the adding ratio of anti-shrinkage agent, but air content increases. Compared with plain concrete, autogenous and drying shrinkage are reduced by 12~52% and 4~22% respectively upto the adding ratio of anti-shrinkage agent of 2.0%. When expansive additive is added by 5.0%, they are also reduced by 38~95% and 15~50% respectively. Therefore, as expansive additive of 5.0% and anti-shrinkage agent of 1.0% are added to high performance concrete of around W/B 30%, it is considered that fluidity and strength are hardly influenced, and in addition, crack by shrinkage can be prevented effectively.

### 1. 서 론

고성능 콘크리트란 고유동, 고강도 및 고내구성을 동시에 만족시키는 콘크리트로 정의할 수 있다. 이러한 고성능 콘크리트는 현대개념에 부응하는 양호한 품질을 발휘하는 반면에 수화열, 건조수축 및 자기수축 등에 의한 균열발생이 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 균열은 염소이온, CO<sub>2</sub>가스 및 물과 같은 열화인자의 침투가 용이하여 결과적으로 콘크리트 구조물의 내구성능 저하를 유발하게 된다.

그런데, 이러한 콘크리트의 자기 및 건조수축 균열저감에 관한 방법은 재료적 측면에서 수축저감제, 팽창재, 저발열 시멘트 및 기타 혼화재료의 사용을 들 수 있는데, 특히, 최근에는 수축저감제의 효과가 크게 기대되고 있는 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 고성능 콘크리트의 수축특성에 미치는 수축저감제의 영향에 대하여 분석 하므로서, 궁극적으로는 균열없이 고품질인 고성능 콘크리트를 개발하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1. 실험계획

- \* 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수
- \*\* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정
- \*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원
- \*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 배합사항은 플라이 애쉬(FA) 20%와 실리카 폼(SF) 10%를 동시에 치환한 W/B 30%의 팽창재(EA)를 사용하지 않은 플레인과 여기에 팽창재를 5.0% 치환한 2수준의 고성능 콘크리트에 대하여, 수축저감제(SR)를 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%의 5수준으로 변화시켜 총 10배치를 실험계획 하였다. 이때, 각 배치는 목표 슬럼프플로우 60±10cm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 SP제 및 AE제량을 배합설계 하였다. 굳지 않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

표 1 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B* (%)	1	30
	슬럼프플로우 (cm)	1	60±10
	공기량 (%)	1	4.5±1.5
	팽창재 혼입률 (%)	2	0, 5.0
	수축저감제 혼입률 (%)	5	0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0
실험사항	굳지않은 콘크리트	6	슬럼프, 슬럼프플로우 공기량, 단위용적중량 U형 충전, 굽은골재 셋기
	경화 콘크리트	3	압축강도(7, 28, 91일) 건조수축(1, 3, 7...91일) 자기수축(0.5, 1, 2, 3, 7...일)

\* W/B에서 B는 [C : FA : SF = 7 : 2 : 1]로 함

## 2.2. 사용재료

본 연구의 사용재료로서, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(비중: 3.14, 분말도: 3,162cm<sup>2</sup>/g)를 사용하였고, 골재로서 잔골재는 충남 연기군 강모래(비중: 2.53, 조립률: 2.57), 굽은골재는 충북 옥산산 25mm 부순 굽은골재(비중: 2.63, 조립률: 6.87)를 사용하였다. 혼화제로서, 플라이 애쉬(비중: 2.22, 분말도: 3,850cm<sup>2</sup>/g)는 국내산, 실리카 폼(비중: 2.2, 분말도: 240,000cm<sup>2</sup>/g)은 체코산을 사용하였으며, 팽창재(비중: 2.9, 분말도: 3,117cm<sup>2</sup>/g)는 일본산 CSA계, 수축저감제(비중: 3.16, 분말상)는 독일산 클리콜계를 사용하였다. 고성능감수제는 나프탈렌계(비중: 1.185)로 국내산을 사용하였다.

## 2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬 믹서를 사용하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421 및 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였다. U형 충전시험 및 굽은골재 셋기시험은 기존연구에서 알려진 실험방법에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405, 건조수축 시험은 KS F 2424에 의거 실시하였고, 자기수축 시험은 일본 콘크리트공학협회의 시험방법에 따랐다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1. 굳지않은 콘크리트의 특성

표 2 배합사항

W/B (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	s/a (%)	SP제 (%)	AE제 (%)	혼화제 혼입률 (%)		용적배합 (ℓ/m <sup>3</sup> )						
					EA*	SR*	C	S	G	FA*	SF*	EA	SR
30	175	45	1.90	0.040	0	0	130	257	314	53	27	0	0
						0.5	129	257	314	53	27	0	0.9
						1.0	128	257	314	53	27	0	1.8
						1.5	127	257	314	53	27	0	2.8
						2.0	126	257	314	53	27	0	3.7
			1.90	0.023	5.0	0	120	257	314	53	27	10.1	0
						0.5	119	257	314	53	27	10.1	0.9
						1.0	119	257	314	53	27	10.1	1.8
						1.5	118	257	314	53	27	10.1	2.8
						2.0	117	257	314	53	27	10.1	3.7

\* SR : 수축저감제 EA : 팽창재 FA : 플라이 애쉬 SF : 실리카 폼

표 3은 팽창재 혼입률 0 및 5.0%에 있어, 수축저감제 혼입률 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다. 수축저감제 혼입률 증가에 따른 유동성은 감소하여 SP제 사용량이 증가하였고, 공기량은 증가하여 AE제 사용량이 감소되었다. U형 충전높이는 모두 양호한 충전성을 나타내었고, 재료분리 저항률은 85% 이상으로 비교적 양호하였다.

표 3 굳지않은 콘크리트의 특성

배치	항목	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	충전 높이 (cm)	재료분리 저항률 (%)
SR	0	26.8	65.8	4.8	2337	33	88
	0.5	26.1	59.7	4.9	2323	30	90
	1.0	26.0	59.2	5.0	2307	30	86
	1.5	26.3	59.6	5.2	2295	29	93
	2.0	25.6	53.9	4.1	2330	26	89
EA	5.0-0	27.0	67.3	4.0	2368	32	89
	5.0-0.5	26.5	60.3	5.4	2289	30	88
SR	5.0-1.0	26.6	60.2	4.5	2313	30	89
	5.0-1.5	26.3	54.6	4.0	2322	29	91
	5.0-2.0	25.8	55.2	3.8	2329	28	85

### 3.2. 압축강도 특성

그림 1은 팽창재 혼입률 0 및 5.0%에 있어, 수축저감제 혼입률 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, 수축저감제 혼입률 증가에 따른 압축강도는 저하하는 경향으로 나타났는데, 이는 수축저감제에 의한 모세관장력의 감소에 기인한 것으로 분석된다. 또한, 팽창재를 5.0% 혼입한 경우는 팽창재 무혼입과 비교하여 에트링가이트 생성에 의한 조직 치밀화로 압축강도가 3~6MPa 정도 크게 나타났다.

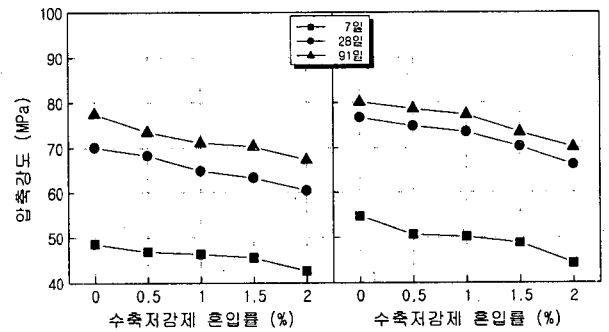


그림 1 수축저감제 혼입률 변화에 따른 압축강도

### 3.3. 건조수축 특성

그림 2는 팽창재 혼입률 0 및 5.0%에 있어, 수축저감제 혼입률 변화에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 전반적으로 건조수축 길이변화율은 초기 수중양생기간 팽창하였으며, 재령 7일 이후 기중양생에서 초기재령일 수록 급격히 저하하였고, 재령이 경과함에 따라 보다 완만한 경향을 나타내었다. 재령 91일에서, 플레인의 건조수축은  $6.02 \times 10^{-4}$  정도로 나타났는데, 수축저감제 혼입률 증가에 따라 감소하여 플레인에 비해 4~22% 정도 저감되었다. 또한, 팽창재를 5.0% 혼입한 경우는 수축저감제 혼입률 변화에 따라 15~50% 정도로 크게 저감하는 것으로 나타났다.

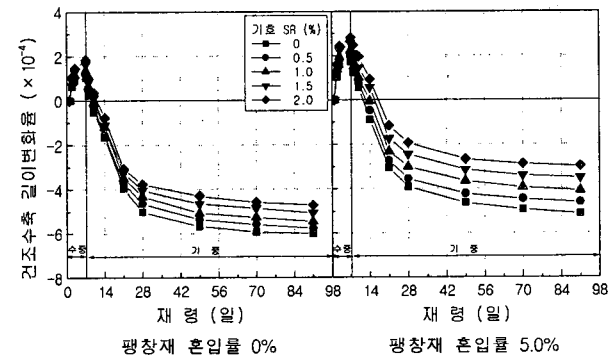


그림 2 수축저감제 혼입률 변화에 따른 건조수축 길이변화율

### 3.4. 자기수축 특성

그림 3은 그림 2와 유사하게 팽창재 혼입률 0 및 5.0%에서, 수축저감제 혼입률 변화에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 수축저감제 혼입률 증가에 따른 자기수축은 플레인과 비교하여 12~52% 정도 저감하였는데, 이는 수축저감제가 물에 용해하여 그 표면장력을 저하시킬 뿐만 아니라 모세관 공극중에 발생하는 모세관 장력을 완화시킴에 기인한 것으로 분석된다. 팽창재를 5.0% 혼입한 경우는 두 혼화재료의 상승작용에 의해 38~95% 정도 크게 저감하는 것으로 나타났다.

또한, 본 실험에서는 자기수축을 건조수축과 구분하기 위하여 자기수축 시험에서 시험체의 수분증발에 의한 질량감소율도 동시에 측정하였는데, 재령 49일까지 자기수축 시험체의 질량감소율은 0.042~0.048%의 범위로서 일본 콘크리트공학협회의 자기수축 측정방법에서 제안한 범위인 0.05% 이하의

규정치를 모두 만족하는 값을 나타내었다. 단, 49일 이후는 그 규정값을 초과하는 것도 존재 하였으므로 본 분석에서는 49일 이후의 자기 수축 결과분석은 생략하였다.

그림 4는 팽창재 혼입률 0 및 5.0%에 있어, 수축저감제 혼입률 변화에 따른 재령 49일에서의 자기 및 건조수축을 비교하여 나타낸 것이다. 플레인의 경우 자기수축이 차지하는 비율은 52% 전후였으며, 수축저감제 혼입률 증가에 따른 자기수축 비율은 33~49% 정도로 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 팽창재를 5.0% 혼입한 경우에는 수축저감제 혼입률 증가에 따라 자기수축 비율이 6~40% 정도로 크게 감소하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 고성능 콘크리트의 기초적 물성 및 자기·건조수축 등 수축특성에 미치는 수축저감제의 영향에 대하여 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 콘크리트의 경우 수축저감제 혼입률 증가에 따른 유동성은 감소하므로써 SP제 사용량이 증가하였고, 공기량은 증가하여 AE제 사용량이 감소하였다.

2) 압축강도는 수축저감제 혼입률 증가에 따라 모세관장력의 감소에 기인하여 감소하였는데, 팽창재를 5.0% 혼입시에는 팽창재 무혼입과 비교하여 3~6MPa 정도 크게 나타났다.

3) 건조수축은 수축저감제 혼입률 증가에 따라 감소하는 경향으로 플레인에 비해 4~22% 정도 저감되었고, 팽창재를 5.0% 혼입시는 수축저감제 혼입률 변화에 따라 15~50% 정도로 크게 저감되었다.

4) 자기수축은 플레인의 경우, 재령 49일에서 건조수축의 52% 전후로 크게 나타났다. 수축저감제를 사용함으로써 자기수축은 저하하였는데, 팽창재를 사용하지 않은 경우는 플레인에 비해 12~52%, 팽창재를 5.0% 혼입한 경우는 두 혼화재료의 상승작용에 의해 38~95% 정도까지 크게 저감하는 것으로 나타났다. 종합적으로 W/B 30% 정도인 고성능 콘크리트에 팽창재 5.0% 및 수축저감제 1.0%를 병용하게 되면 유동성 및 강도에 큰 영향을 미치지 않는 동시에 수축에 의한 균열방지에도 큰 효과가 있는 것으로 평가된다.

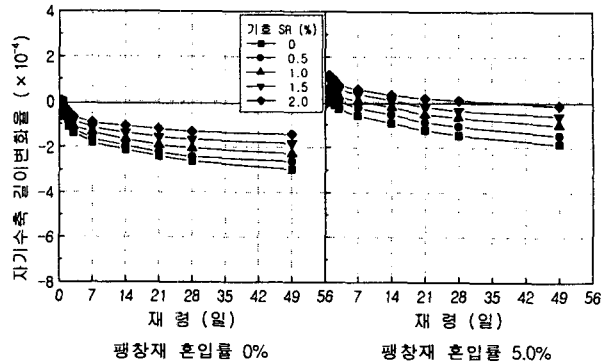


그림 3 수축저감제 혼입률 변화에 따른 자기수축 길이변화율

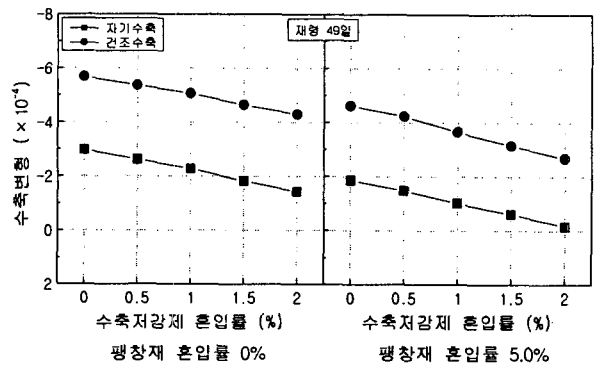


그림 4 수축저감제 혼입률 변화에 따른 자기 및 건조수축 비교

#### 참고문헌

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. 홍상희, 전병채, 송명신, 한천규, 반호용, "CSA계 팽창재를 이용한 고성능 콘크리트의 건조수축 및 자기수축 저감에 관한 연구," 한국건축학회 학술발표논문집, 제 18권 2호, pp. 493~498, 1998.
3. 今本啓一, 大谷 博：高強度・超高強度コンクリートの收縮性状に關する研究, 콘크리트工學年次論文報告集 Vol. 17, No. 1, pp.1061~1066, 1995.