

# 고성능감수제 종류 및 첨가량 변화에 따른 고성능 콘크리트의 수축특성에 관한 연구

## A Study of the Properties of Shrinkage in High Performance Concrete according to the Kinds and Contents of Superplasticizer

文 學 龍<sup>\*</sup> 이 용 성<sup>\*\*</sup> 이 종 석<sup>\*\*\*</sup> 김 성 욱<sup>\*\*\*\*</sup> 이 장 화<sup>\*\*\*\*\*</sup> 한 천 구<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Wen, Xue Long Lee, Yong Sung Lee, Jong Suk Kim, Sung Wook Lee, Jang Hwa Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

This study discusses the fundamental properties of high performance concrete and autogenous · drying shrinkage with the kinds and the adding amount of superplasticizer. According to results, drying shrinkage hardly shows differences by the kinds of superplasticizer, and is reduced with an increase of the adding ratio. Autogenous shrinkage is reduced in order of HP>HN>HM, but does not make a big difference. As the adding amount of superplasticizer increases, autogenous shrinkage is reduced due to a decrease of cement content which influences on autogenous shrinkage seriously.

### 1. 서 론

고유동, 고강도 및 고내구성을 갖는 고성능 콘크리트는 단위결합재량이 많고, 고성능감수제의 다량 사용에 따라 수화작용이 활성화 되기 때문에 자기수축, 건조수축 등 각종 수축균열이 문제시 되고 있다.

그런데, 일반적인 콘크리트의 경우 건조수축 등 수축균열은 단위수량과 밀접한 관계를 갖는 것으로 알려지고 있는데, 고성능 콘크리트의 경우에도 이와같은 경향이 동일하게 적용될 수 있는지는 의문시 되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 감수성능에 차이가 있는 고성능감수제(이하 SP제)의 종류 및 단위수량을 변동시킬 수 있는 SP제 첨가량의 변화에 따른 고성능 콘크리트의 기초적 물성 및 자기·건조수축 등 수축특성에 대하여 분석함으로써, 궁극적으로는 고성능 콘크리트의 균열저감에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

- \* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정
- \*\* 정회원, 청주대학교 대학원 박사과정
- \*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원
- \*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원
- \*\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 부장
- \*\*\*\*\* 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

## 2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 플라이 애쉬(FA) 20%, 실리카 폼(SF) 10%, 팽창재 5%, 수축저감제(SR) 1%를 치환한 물결합재비(W/B) 30% 인 플레인에 대하여 이에 대한 활용성 실험으로 SP제 종류를 나프탈렌계(HN), 멜라민계(HM), 폴리칼본산계(HP)의 3수준으로 변화시켜 실험하고, SP제 첨가량은 HN를 사용하여 2.00, 2.30, 2.40, 2.50%의 4수준으로 변화시켜 실험하는 것으로 계획하였다. 이때, 모든 배합은 목표 슬럼프플로우 60±10cm 및 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 하였다. 굳지 않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험 사항은 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	
SP제 종류		3	나프탈렌계(HN) 멜라민계(HM) 폴리칼본산계(HP)	
SP제 첨가량 (%)		4	2.00, 2.30, 2.40, 2.50	
실험사항	굳지않은 콘크리트	6	슬럼프, 슬럼프플로우 공기량, 단위용적중량 U형 충전, 굽은골재 씻기	
	경화 콘크리트	3	압축강도 (7, 28, 91일) 건조수축 (1, 3, 7...91일) 자기수축 (0.5, 1, 2, 3, 7...일)	

## 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

\* W/B에서 B는 [C:FA:SF=7:2:1], EA:SR=5:1.

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: 2,400,000cm<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), 멜라민계(비중: 1.200) 및 폴리칼본산계(비중: 1.040)로 모두 국내산을 사용하였다.

표 2 배합사항

W/B (%)	s/a (%)	SP제 종류 및 첨가량 (%)			단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	AE (%)	용적배합 (ℓ/m <sup>3</sup> )						
		HN	HM	HP			C	S	G	FA	SF	EA	SR
30	45	2.00	-	-	175	0.018	119	257	317	53	27	10.1	1.8
		-	3.00	-		0.006							
		-	-	0.55		0.007							
		2.00	-	-	175	0.018	119	257	314	53	27	10.1	1.8
		2.30	-	-	165	0.020	112	267	326	50	25	9.5	1.7
		2.40	-	-	155	0.023	105	277	338	48	24	8.9	1.6
		2.50	-	-	145	0.025	98	286	350	44	22	8.3	1.5

## 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 하였고, 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421 및 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였으며, U형 충전시험 및 굽은골재 씻기시험은 기존연구에서 알려진 실험방법에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405, 건조수축 시험은 KS F 2424에 의거 실시하였고, 자기수축 시험은 일본 콘크리트공학협회의 시험방법에 의거 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1. 굳지 않은 콘크리트의 특성

표 3은 SP제 종류 및 첨가량 변화에 따른 균지않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다. 전반적인 배합설계 결과는 목표 유동성 및 공기량을 만족하는 것으로 나타났는데, SP제 종류별로는 HM>HN>HP의 순으로 사용량이 증가하여 SP제별로 유동성능이 3~5배 정도 차이가 남을 알 수 있었다. 또한, HN의 경우 플레인에 비해 첨가율이 증가할수록 슬럼프는 증가하여 단위수량이 감소하였다. 공기량의 경우는 HM 및 HP보다 HN에서 작아 AE제 소요량이 2배 이상 많았고, HN의 첨가량 증가에 따라 공기량은 감소하여 AE제 사용량이 증가하였다. U형 충전높이는 모두 양호한 충전성을 나타내었고, 재료분리 저항률도 86% 이상으로 비교적 양호하였다.

### 3.2. 압축강도 특성

그림 1은 SP제 종류 및 첨가량 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로, SP제 종류 및 첨가량 변화에 따라 유사한 경향으로 나타났으나, 단, 재령 7일의 SP제 첨가량 변화에 따른 압축강도는 감소하는 경향이었는데, 이는 SP제 첨가량이 증가할수록 응결이 지연되어 강도발현이 작은 것으로 분석된다.

### 3.3. 건조수축 특성

그림 2는 SP제 종류 및 첨가량 변화에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 전반적으로 건조수축 길이변화율은 초기 수중양생기간 팽창하였으며, 재령 7일 이후 기중양생에서는 초기재령일수록 급격히 저하하였고, 재령이 경과함에 따라 보다 완만한 경향을 나타냈다. 또한, SP제 종류에 따른 건조수축은 큰 차이가 없었으며, 첨가량 증가에 따라서는 감소하는 경향이었는데, 이는 목표 슬럼프플로우를 만족하기 위하여 단위수량을 감소시킨 것에 기인한 것으로 분석된다.

### 3.4. 자기수축 특성

그림 3은 SP제 종류 및 첨가량 변화에 따

표 3 균지않은 콘크리트의 특성

구분		항목	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	충전 높이 (cm)	재료분리 저항율 (%)
SP제 종류	HN		26.6	60.2	4.5	2313	33	89
	HM		25.8	55.9	5.7	2300	27	90
	HP		27.1	65.3	4.5	2319	29	86
SP제 첨가량 (%)	2.00		26.6	60.2	4.5	2313	33	89
	2.30		26.4	59.9	4.4	2318	28	88
	2.40		25.3	57.1	5.3	2324	29	94
	2.50		26.0	59.5	4.5	2374	31	94

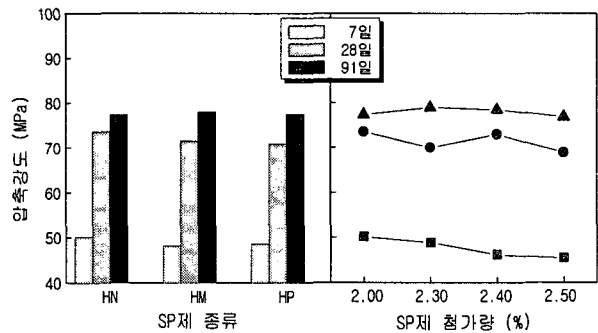


그림 1 SP제 종류 및 첨가량 변화에 따른 압축강도

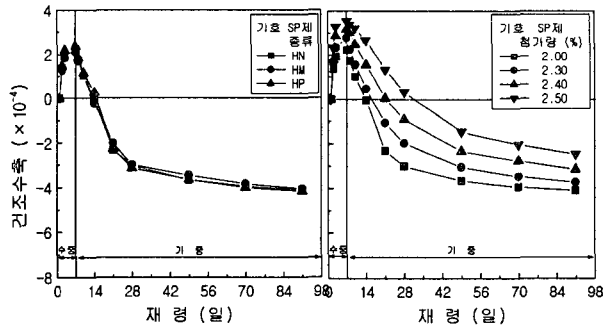


그림 2 SP제 종류 및 첨가량 변화에 따른 건조수축

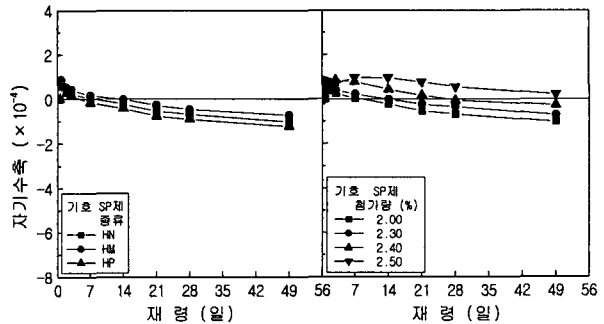


그림 3 SP제 종류 및 첨가량 변화에 따른 자기수축

른 재령 49일까지의 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다. SP제 종류별 재령경과에 따른 자기수축은 HP>HN>HM의 순으로 나타났지만, 큰 차이는 아닌 것으로 분석된다. SP제 첨가량 변화에 따라서는 건조수축과 마찬가지로 첨가량이 증가할수록 자기수축이 작게 나타났는데, 이는 단위수량 감소에 따른 자기수축을 일으키는 단위시멘트량의 감소원인으로 분석된다.

또한, 본 실험에서는 자기수축을 건조수축과 구분하기 위하여 자기수축 시험에서 시험체의 수분증발에 의한 질량감소율도 동시에 측정하였는데, 재령 49일까지 자기수축 시험체의 질량감소율은 0.036~0.046%의 범위로서 일본 콘크리트공학협회의 자기수축 측정방법에서 제안한 범위인 0.05% 이하의 규정치를 모두 만족하는 값을 나타내었다. 단, 49일 이후는 그 규정값을 초과하는 것도 존재하였으므로 본 분석에서는 49일 이후의 자기수축 결과분석은 생략하였다.

그림 4는 재령 49일에서의 SP제 종류 및 첨가량 변화에 따른 자기수축 및 건조수축을 비교하여 나타낸 것이다. SP제 종류에 따른 자기수축의 비율은 유사한 것으로 나타났지만, SP제 첨가량 증가에 따라서는 자기 및 건조수축이 감소하였는데 특히 건조수축이 크게 감소하는 것으로 나타났다.

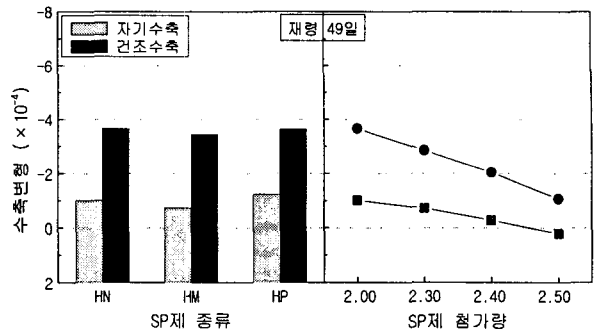


그림 4 SP제 종류 및 첨가량 변화에 따른 자기 및 건조수축 비교

#### 4. 결 론

본 연구는 SP제 종류 및 첨가량 변화에 따른 고성능 콘크리트의 기초적 물성 및 자기·건조수축 등 수축특성에 대하여 것으로서, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 동일 유동성을 발휘하기 위한 SP제량은 HM>HN>HP의 순으로 많게 나타났고, HN의 경우 SP제 첨가량이 증가함에 따라 유동성이 크게 증가하므로 단위수량은 크게 줄일 수 있었다. 공기량은 HN에서, 특히 사용량이 증가할수록 작아 AE제 사용량을 증가시켜야만 하였다.

2) SP제 종류에 따른 압축강도는 큰 차이가 없었고, SP제 첨가량 변화에 따라서는 SP제 첨가량이 증가할수록 7일과 같은 초기재령에서는 저하하였으나, 28일 재령 이후에는 유사하게 나타났다.

3) 건조수축은 SP제 종류에 따라서는 큰 차이가 없었으며, 첨가량 증가에 따라서는 크게 감소하는 경향이었는데, 이는 단위수량 감소에 기인한 것으로 분석된다.

4) 자기수축은 SP제 종류에 따라 HP>HN>HM의 순으로 나타났지만, 큰 차이는 아닌 것으로 분석된다. SP제 첨가량 증가에 따라서는 건조수축과 마찬가지로 자기수축은 작게 나타났는데, 이는 단위수량 감소가 자기수축을 지배하는 단위시멘트량 축소에 기인한 것으로 분석된다.

#### 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. 山田雅章他, “高性能AE減水劑を用いたコンクリートの乾燥收縮とクリープに関する研究”, 日本建築學會大會學術講演梗概集(東北), pp.989-990, 1991.9.
3. 田澤榮一, 宮澤伸吾, 佐藤剛 “自己收縮に及ぼすセメントの化學組成の影響”, セメント・コンクリート論文集, No.47, pp. 528-533, 1933.
4. 田中敏嗣, 杉山彰徳, 小川鑑, 富田六郎, “混和材料を組合せて使用したコンクリートの諸特性”, 콘크리트工學年次論文報告集 Vol. 17, No. 1, pp.157~162, 1995.