

# 수축저감제를 사용한 콘크리트의 물성변화 및 건조수축 저감 특성

## Physical Properties and Drying Shrinkage of Concrete Using Shrinkage Reducing Admixtures

한 천 구\*

송 승 현\*\*

Han, Cheon-Goo

Song, Seung-Heon

### Abstract

This paper reports the contribution of Shrinkage reducing admixture(SRA) to the physical properties and drying shrinkage of concrete. Dosage of SRA is varied with. For the properties of fresh concrete, an increase in SRA dosage results in a decrease in fluidity and air content, while setting time is accelerated. For the properties of hardened concrete, the incorporation of mineral admixture leads to a decrease in compressive strength at early age, whereas after 28 days, the incorporation of fly ash(FA) and blast furnace slag(BS) has greater compressive strength than conventional concrete without admixture. The use of SRA results in a decrease in compressive strength. The incorporation of SRA with every 1% increase causes the decrease of compressive strength by as much as 3~6%. For drying shrinkage properties, the incorporation of FA and BS reduces drying shrinkage slightly. The use of SRA also decreases drying shrinkage. Every 1% of increase in SRA dosage can reduce drying shrinkage by as much as 10~15%

키 워 드 : 수축저감제, 응결시간, 압축강도, 건조수축

Keywords : Shrinkage reducing admixture, Setting time, Compressive strength, Drying shrinkage

## 1. 서 론

최근의 건축공사에서는 환경부하 저감 문제와 관련하여 건축물의 장수명화에 대한 관심이 높아지고 있다.

이러한 건축물의 장수명화<sup>1)</sup>는 콘크리트의 고내구성적인 고려가 기본인데, 특히 이중에서도 건조수축균열을 저감함으로써 내구성을 향상시키는 것이 중요한 사안중 하나이다. 따라서 현행 건축공사 표준시방서에서는 1994년 이후 콘크리트의 내구성 향상을 위해 단위수량에 대한 상한치를 강화하여 규정<sup>2)</sup>하고 있다.

그러나, 현재 레미콘 산업은 골재자원의 고갈 및 환경 보전문제 등에 의해 양호한 품질의 골재 구입이 곤란하여 부순 골재의 사용 증가로 인해 콘크리트의 단위수량이 증가하는 요인으로 작용하고, 특히 큰 슬럼프로 시공되어지는 건축구조물 콘크리트에서는 레미콘 가수등 불량시공에 따른 단위수량의 증가까지 가세하여 많은 건조수축균열이 발생함에 따라 심각한 사회 문제로까지 대두되고 있다.<sup>3)</sup>

따라서, 콘크리트의 내구성 향상을 위한 건조수축 균열 저감 방안으로 가장 확실한 방법은 단위수량을 줄이는 것이지

만 현실적으로 단위수량만으로 콘크리트의 건조수축을 저감<sup>4)</sup> 시키는데에는 무리가 있다. 이에 수축저감에 효과적인 혼화재 중 에트린 자이트의 팽창성을 이용하거나, 콘크리트 중의 잔류하는 모세관수의 표면장력을 저하시키는 수축저감제를 사용하는 방법<sup>5)6)7)</sup>도 제기되고 있다. 그러나, 대부분의 연구 및 실용화는 팽창제를 이용하는 방법으로, 특히 고성능 콘크리트의 범위에서 자기수축등의 저감으로 검토될 뿐 수축저감제의 보통 콘크리트에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 실무 레미콘의 건조수축균열 저감을 목적으로, 혼화재 및 수축저감제의 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 물성변화 및 건조수축 저감 특성을 분석함으로써, 향후 콘크리트의 고내구성화 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

즉, 실험요인으로 W/B는 45% 1수준에 대하여 단위수량을 160kg/m<sup>3</sup>으로 고정한 후, 혼화재를 치환하지 않은 무치환과

\* 정희원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

\*\* 정희원, 청주대 건축공학부 박사과정

실무의 보편적으로 사용하는 플라이애시 10%(이하 FA 10), 고로슬래그 미분말 20%(이하 BS 20)를 치환한 3수준에 대하여 수축저감제를 0, 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0%의 5수준으로 총 15 배치를 실험계획 하였다.

표 1. 실험계획

요인		수준	실험사항
배합 요인	W/B (%)	1	45
	목표 슬럼프 (mm)	1	150±25
	목표 공기량 (%)	1	4.5±1.5
	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	1	160
	수축 저감제	혼화제 배합 및 치환율 (%)	3
치환율 (%)		5	· 0(플레인) · 0.5, 1.0, 1.5, 2.0
실험 사항	굳지않은 콘크리트	5	· 슬럼프 · 슬럼프플로우 · 공기량 · 단위용적질량 · 응결특성 · 압축강도
	경화 콘크리트	2	(1, 3, 7, 28, 91일) · 길이변화율 (1~180일)

이때, 수축저감제를 혼입하지 않은 플레인에 대하여 목표 슬럼프 150±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 한 후, 이후의 모든 배합에 동일하게 적용하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적질량 및 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에 따라 압축강도 및 건조수축 길이변화율을 측정하였다.

표 2. 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	단위 수량 (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	SP/C (%)	혼화제 (%)	수축저감제 (%)	절대용적배합 (ℓ/m <sup>3</sup> )					중량배합 (kg/m <sup>3</sup> )									
						시멘트	FA	BS	잔골재	굵은골재	수축저감제	시멘트	FA	BS	잔골재	굵은골재	SP제	수축저감제		
45	160	45	0.28	무치환	0.0	113.0					0.0	357						0.00		
					0.5	112.4				0.6	354								0.61	
					1.0	111.9	0	0	307	375	1.1	352	0	0	792	983	1.00	1.11		
					1.5	111.3					1.7	350							1.72	
					2.0	110.7					2.3	348							2.32	
				FA 10	0.0	102.0				0.0	320									0.00
					0.5	101.4				0.6	318									0.61
					1.0	100.9	16	0	305	372	1.1	316	36	0	786	976	1.00	1.11		
					1.5	99.3					1.7	315							1.72	
					2.0	99.7					2.3	313							2.32	
				BS 20	0.0	90.0				0.0	284									0.00
					0.5	89.4				0.6	283									0.61
					1.0	88.9	0	25	306	374	1.1	281	0	71	790	980	1.00	1.11		
					1.5	88.3					1.7	279							1.72	
					2.0	87.7					2.3	277							2.32	

## 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로써, 시멘트는 국내산 A사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 골재로써 잔골재는 인천 중구 향동산 세척사, 굵은골재는 경기도 광주산 25mm 쇄석골재를 사용하였는데, 시멘트 및 골재의 물리적 성질은 표 3 및 4와 같고, 시멘트 및 골재의 입도곡선은 그림 1 및 2와 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,265	0.150	210	300	22.0	28.9	38.9

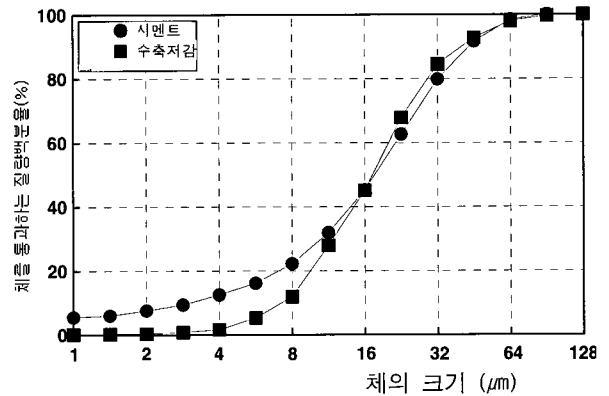
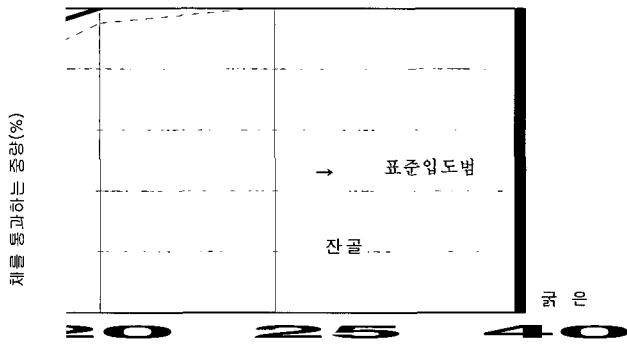


그림 1. 시멘트 및 수축저감제의 입도분포 곡선



체의 크기 (mm)  
그림 2. 골재의 입도 곡선

표 4. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	조립률	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m <sup>3</sup> )	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.58	2.89	1.12	1,614	1.15
굵은골재	2.62	6.75	0.69	1,563	0.10

표 5. 플라이애시의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	강열감량 (%)	압축강도비 (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	습분 (%)	단위수량비 (%)
2.22	2,850	4.2	92	67.5	0.2	100

표 6. 고로슬래그 미분말의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	화학성분			
		MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	강열감량 (%)	염화물이온 (%)
2.91	4,463	5.90	2.78	0.05	0.001

표 7. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	색상	성상	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )
고성능감수제	폴리칼본산계 (표준형)	암갈색	액체	1.185
AE제	빈졸계	미황색	액체	1.185

표 8. 수축저감제의 물리적 성질

주성분	용해성	색상	성상	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )
글루콜계	가용성 분말	백색	분말	1.01

표 9. 수축저감제의 화학성분

LOI	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>	K <sub>2</sub> O	Sum	Free CaO
68.82	29.42	0.17	0.10	1.39	0.06	-	0.03	99.99	0.08

또한, 혼화재료로서 플라이애시는 정제된 보령 화력산을 사용하였고, 고로슬래그 미분말은 포항제철에서 생산되는 것을 사용하였다. 고성능감수제는 국내산 J사의 폴리칼본산계, AE제는 빈졸계를 사용하였는데, 각 혼화재료의 물리적 성질은 표 5~7과 같다. 한편, 수축저감제는 독일산 글리콜계를 사용하였는데, 그 물리적 성질 및 화학성분은 표 8 및 9와 같고, 입도분포는 그림 1과 같다.

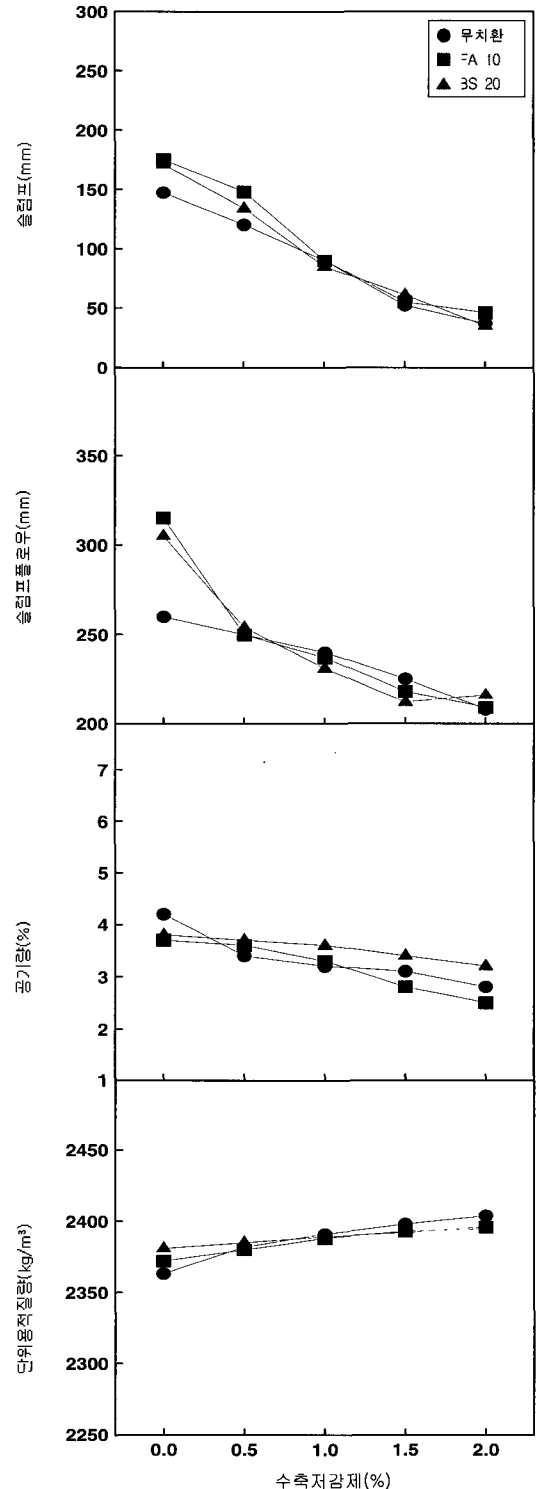


그림 3. 혼화제 치환별 수축저감제 혼입률 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량

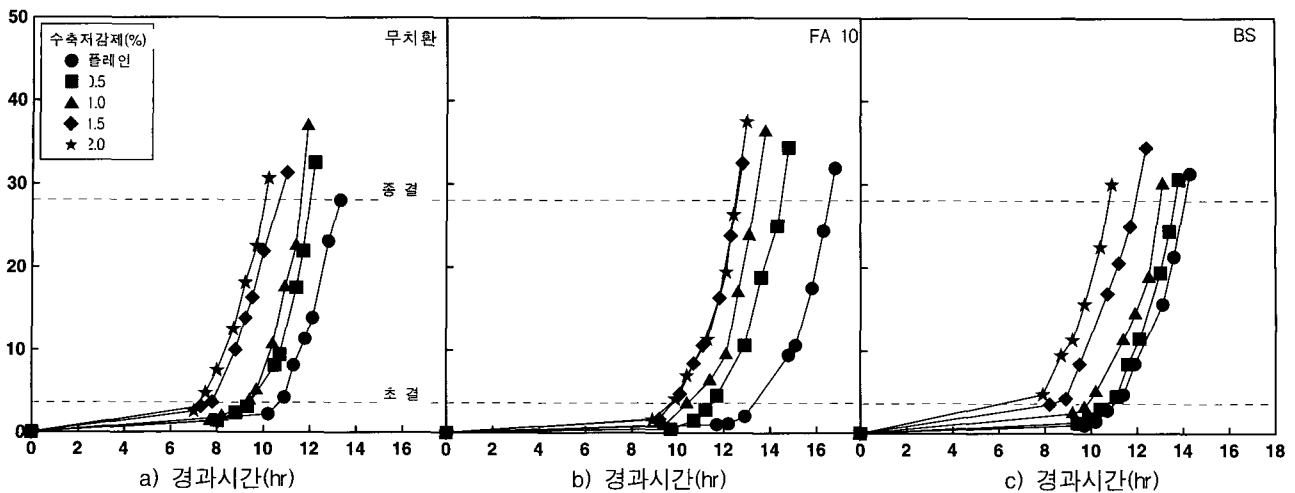


그림 4. 혼화제 치환 및 수축저감제 혼입률별 경과시간에 따른 관입저항

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402의 규정에 의거 실시하였고, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였다. 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였고, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입침 저항 시험법에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  원주형 공시체를 KS F 2403에 따라 제작·양생한 후 KS F 2405 규정에 의거 계획된 재령에서 100Ton U.T.M을 사용하여 측정하였다. 길이변화율은 KS F 2424의 다이얼 게이지 방법으로 계획된 재령에서 측정한 후 다음 식에 의거 구하였다.

$$L = -\frac{X_1 - X_2}{L_0} \times 10000$$

여기서,  $L$  : 길이변화율

$X_1$  : 기준으로 한 시점의 측정치

$X_2$  : 계획재령 시점에서의 측정치

$L_0$  : 기준길이

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 3은 혼화제 치환별 수축저감제 혼입률 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적 질량을 나타낸 것이다

먼저 플레인의 경우, 배합설계에 의하였으므로 목표 슬럼프  $150 \pm 25\text{mm}$ , 목표 공기량 3~6%의 범위를 만족하였다. 수축저감제 혼입

률 변화에 따른 특성으로 수축저감제 혼입률이 증가함에 따라 유동성 및 공기량이 모두 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 수축저감제가 휘발성이 낮고, 시멘트 입자에 흡착되지 않는 유기계 혼화제로<sup>8)</sup>, 콘크리트의 점성이 작아짐에 기인한 것으로 판단된다. 한편, 혼화제 치환별로는 FA의 경우가 미연탄소분의 공기포 흡착작용에 기인하여 BS에 비해 공기량 저하가 다소 크게 나타났다. 한편, 단위용적질량은 수축저감제의 혼입률 증가에 따라 공기량과 반대의 경향을 보였다.

그림 4는 혼화제 치환 및 수축저감제 혼입률별 응결시간에 따른 관입저항값을 나타낸 것이고, 그림 5는 혼화제 치환별 수축저감제 혼입률 변화에 따른 초결과 종결을 나타낸 것이다.

먼저, 수축저감제 혼입률 증가에 따른 응결시간은 플레인과 비교하여 혼입률이 증가할수록 점진적으로 빨라지는 것으로 나타났는데, 이는 수축저감제의 혼입률 증가에 따른 유동성 저하 및 공기량 감소와 수축저감제의 화학조성 중 알칼리성분에 의해 수화반응이 촉진<sup>9)</sup>되어 응결시간이 빠르게 나타난 것으로 사료된다. 혼화제 치환에 따른 응결시간은 무치환이 가장 빠르게 나타났고, 다음으로 BS 20, FA 10의 순으로 나타났다.

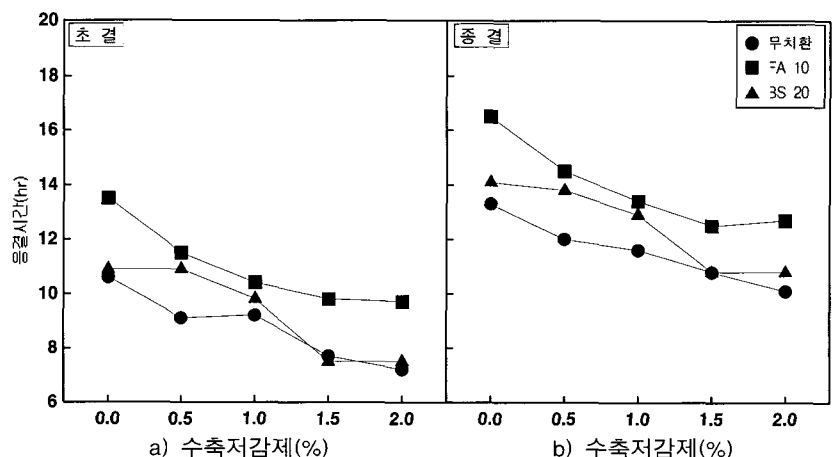


그림 5. 혼화제 치환별 수축저감제 혼입률 변화에 따른 초결과 종결

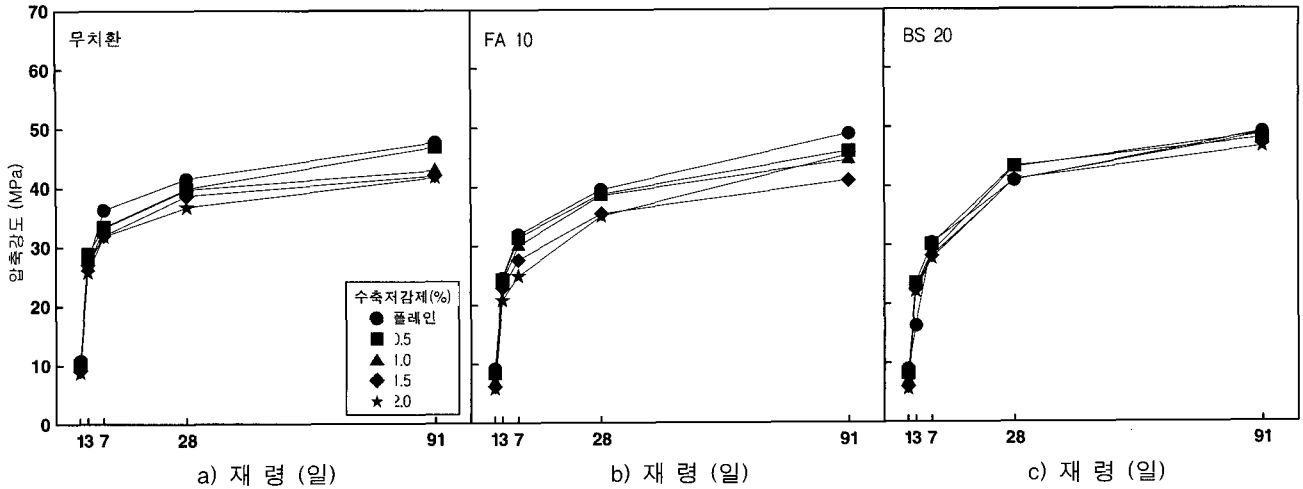


그림 6. 혼화재 치환 및 수축저감제 혼입률별 재령경과에 따른 압축강도

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

#### 1) 압축강도

그림 6은 혼화재 치환 및 수축저감제 혼입률별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, 그림 7은 혼화재 치환 및 재령별 수축저감제 혼입률 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이며, 그림 8은 재령 91일에서 플레인을 100으로 보고, 혼화재 치환별 수축저감제 혼입률 변화에 따른 압축강도비를 나타낸 것이다.

전반적으로 혼화재 치환에 따른 압축강도는 무치환이 혼화재를 치환한 경우보다 초기재령에서 크게 나타났으나, 장기재령인 91일에서는 작게 발휘되었는데, 이는 FA의 포졸란 반응과 BS의 잠재수경성 반응에 의해 장기재령에서 강도가 증진된 것으로 사료된다.

또한, 수축저감제 혼입률 변화에 따라서는 수축저감제 혼입률이 증가할수록 강도가 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 수축저감제의 모세관 장력 완화 작용으로 인해 강도가 저하<sup>9)10)</sup>된 것으로 사료된다. 이때, 강도의 저하율은 수축저감제 혼입률 1%에 대하여 BS가 1% 전후, 플레인 및 FA가 10% 전후로 감소하는 것을 알 수 있었다.

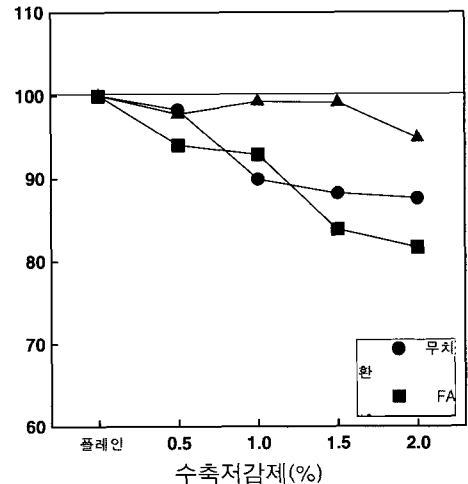


그림 8. 혼화재 치환별 수축저감제 혼입률 변화에 따른 압축강도비(재령 91일)

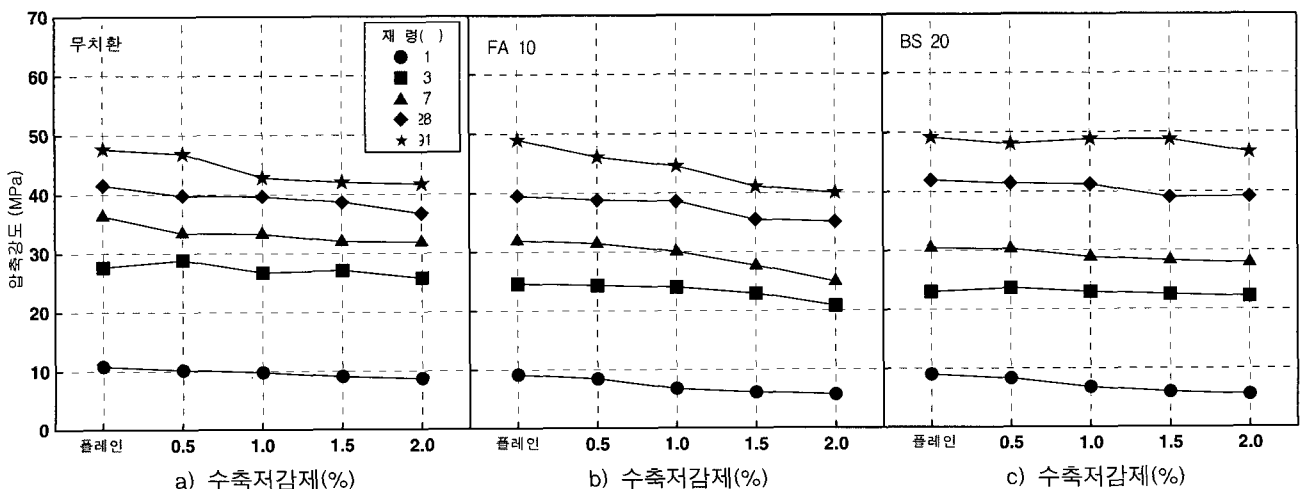


그림 7. 혼화재 치환 및 재령별 수축저감제 혼입률 변화에 따른 압축강도

## 2) 건조수축 특성

그림 9는 혼화재 치환 및 수축저감제 혼입률 변화별 재령 경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이고, 그림 10은 수축저감제 혼입률과 6개월 길이변화율과의 관계를 산점도로 비교하여 나타낸 것이다.

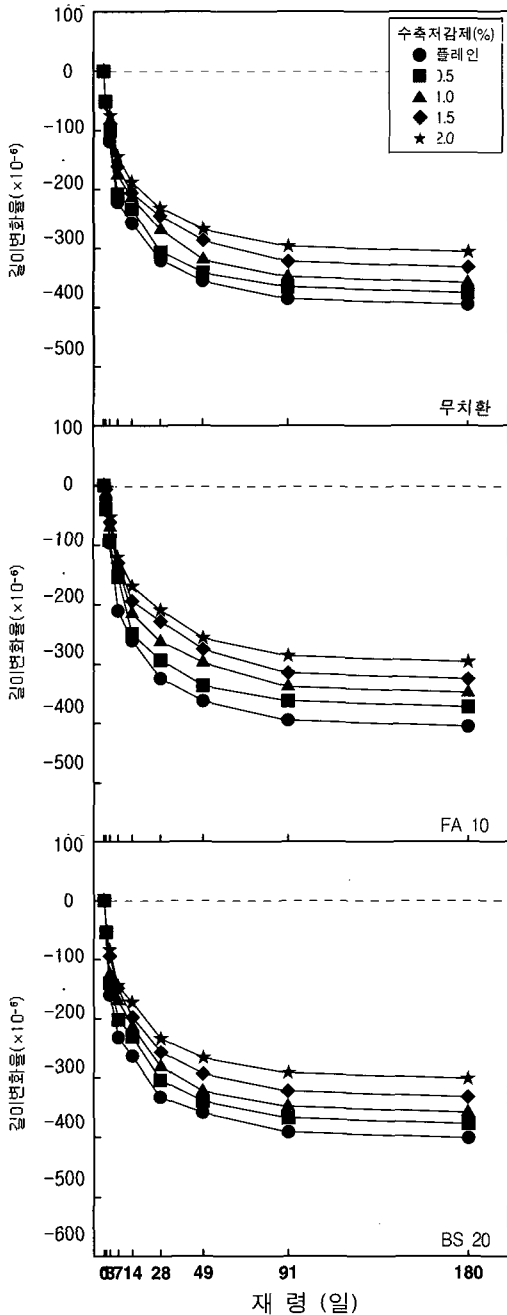


그림 9. 혼화재 치환 및 수축저감제 혼입률별 재령경과에 따른 길이변화율

먼저, 건조수축 길이변화율은 수축저감제의 혼입률이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 수축저감제가 물에 용해하여 표면장력을 감소시키고, 또한 경화 후 건조시에도 모세관 장력의 감소<sup>9)10)</sup>에 의해 건조수축이 감소됨에 기인한 것으로 사료된다.

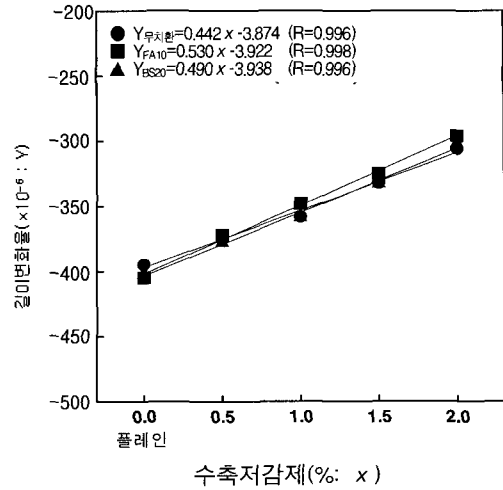


그림 10. 수축저감제 혼입률과 길이변화율과의 관계 (재령 180일)

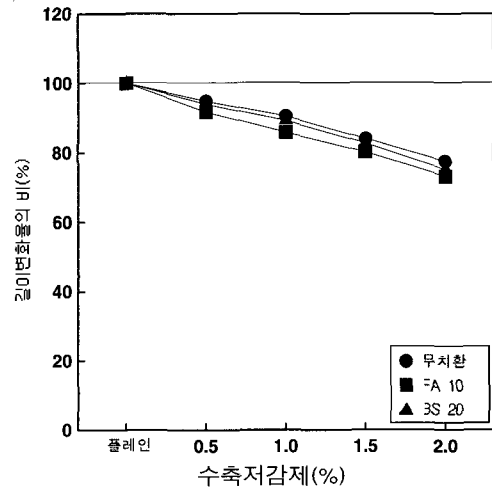


그림 11. 혼화재 치환별 수축저감제 혼입률 변화에 따른 길이변화율

이때, 수축저감제 혼입률 증가에 따른 길이변화율은 그림 10의 회귀식에 의해 비례적으로 감소하는 것을 알 수 있었는데, 상관계수도 0.99이상으로 매우 양호하였다.

그림 11은 플레인 배합에 대한 수축저감제 혼입률 변화에 따른 재령 180일의 건조수축 길이변화율의 비를 나타낸 것이다.

혼화재 치환에 따른 건조수축 길이변화율은 무치환과 비교하여 BS 및 FA가 치환된 경우 다소 감소하였고, 수축저감제 혼입률 1% 증가에 따라서는 10~15%의 수축저감효과가 있는 것으로 밝혀졌다.

따라서, 수축저감제는 굳지않은 콘크리트의 유동성 및 공기량과 압축강도의 보상을 위한 배합적 대책을 마련한 상태로 일정량 혼입하게 되면 콘크리트의 건조수축 저감에 어느 정도 효과가 있는 것으로 판단되나, 단, 경제성 면으로는 수축저감제의 저렴화에 대한 노력이 관건으로 분석된다.

## 4. 결 론

본 연구는 혼화재 및 수축저감제 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 기초물성 변화 및 건조수축 저감 특성을 분석한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 혼화재 치환별 수축저감제 혼입률 증가에 따른 유동성 및 공기량은 모두 저하하였다. 응결시간은 혼화재별로 무치환, BS 20, FA10의 순으로 빠르게 나타났고, 수축저감제 혼입률 증가에 따라서도 빠르게 나타났다.
- 2) 경화 콘크리트의 특성으로 혼화재 치환에 따른 압축강도는 조기재령에서 FA 및 BS가 플레인 콘크리트에 비해 작게 발휘되었으나, 장기재령에서는 크게 발휘되었다. 수축저감제 치환에 따라서는 혼입률이 증가할수록 플레인 콘크리트 보다 감소하여 수축저감제 1% 첨가에 따라 3~6% 정도 감소하는 경향이 있었다.
- 3) 건조수축 특성으로 혼화재 치환에 따라서는 무치환과 비교하여 FA 및 BS로 치환한 경우가 다소 감소율이 크게 나타났고, 수축저감제 혼입률 증가에 따라서는 표면장력 및 모세관 장력의 감소에 의해 건조수축이 감소하였다. 이때, 건조수축 감소율은 수축저감제 1%씩 혼입률을 증가에 따라 10~15% 정도 저감효과가 있는 것으로 밝혀졌다.

## 참 고 문 헌

1. 콘크리트공학편執委員會 ; 特輯 콘크리트構造物의長壽命化, 日本콘크리트의工學協會, Vol. 40 No. 5, 2002. 5
2. 대한건축학회 ; 건축공사표준시방서, 1999
3. 한천구, 황인성, 김광서, 김영득 ; 단위수량이 굳지않은 콘크리트의 특성 및 내구성에 미치는 영향, 대한건축학회 구조계 논문집, 제19권 4호, pp.129~136, 2003. 4
4. 한천구, 김성욱, 고경택, 배정렬 ; 팽창재 및 수축저감제 이용한 고성능 콘크리트의 수축특성, 콘크리트학회 논문집, 제15권 6호, pp. 785~793, 2003. 12
5. 한천구, 한민철 ; 콘크리트의 배합요인이 건조수축에 미치는 영향, 대한건축학회 구조계 논문집, 제19권 2호, pp. 67~74. 2003. 2
6. D.P. Bentz, M.R. Geiker, K.K. Hansen ; Shrinkage- reducing admixtures and early-age desiccation in cement pastes and mortars, Cement and Concrete Research 31, pp. 1075~1085, 2001
7. 岡田 哲 ; よくわかるコンクリート建物のひびわれ, pp 116~119
8. 池尾陽作, 井上和政 ; セメント,骨材,收縮低減劑の組み合わせによるコンクリートの開發, 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp. 107~108, 2003
9. 長龍重義, 富田六郎 ; 膨脹材と收縮低減劑, 콘크리트工學, Vol. 24 No. 2, 1986. 2
10. 富田六郎 ; 收縮低減劑, 콘크리트工學, Vol. 26 No. 3, 1988. 3
11. 佐久田昌治ほか ; “콘크리트乾燥收縮低減劑の實用化に関する研究”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1984. 4
12. 関田徹志, 百瀬晴基, 櫻本文敏, 鈴木康範, 小田部曲裕一 ; ひび割れ低減コンクリートの開發, 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp. 109~110, 2003