

# 건조수축 저감형 유동화제를 사용한 콘크리트의 물리적 특성에 관한 연구

## A Study on the Physical Properties of Concrete Using Drying Shrinkage-Reducing Superplasticizer

신재경\* 오치현\*\* 최진만\*\*\* 이성연\*\*\*\* 한민철\*\*\*\*\* 한천구\*\*\*\*\*  
Shin, Jae-Kyung Oh, Chi-Hyun Choi, Jin-Man Lee, Seong-Yeun Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

### Abstract

This paper intended to evaluate the applicability of drying shrinkage reducing superplasticizer (DSRA) by investigating physical properties of concrete using DSRA. The application of flowing concrete method exhibited a less loss of slump and air content with time than those of conventional concrete and had small bleeding. Flowing concrete had larger compressive strength than base and conventional concrete by as much as 3~5%. It also had less drying shrinkage by as much as 20% compared with conventional concrete. This is due to the coupled effect of reduced water content and aqueous type expansive admixture. On the other hand, neutralization depth of flowing concrete showed greater than conventional concrete.

키워드 : 건조수축 저감형 유동화제, 물리적 특성, 내구성  
Keywords : Drying Shrinkage-Reducing Superplasticizer, Physical Properties, Durability

## 1. 서론

최근의 콘크리트 구조물은 고층화, 대형화, 장스판화 등 대규모 구조체의 설계로 균열발생이 용이함에도 불구하고 양호한 천연골재 자원의 고갈에 따른 저품질 골재사용, 기능공 부족에 따른 힘든 작업 기피로 레미콘 가수 등 불량 시공으로 균열발생 가능성이 증대됨에 따라 콘크리트의 품질이 크게 위협받고 있다.

그 중에서도 콘크리트의 건조수축 균열문제는 특히 사회적 이슈로 되고 있는데, 이에 대한 대처 방안으로는 콘크리트의 품질저하를 방지할 뿐 아니라 원가절감까지도 가능할 수 있는 유동화 콘크리트 공법을 들 수 있다. 즉, 유동화 콘크리트 공법은 작은 슬럼프의 양호한 콘크리트 품질을 유지하면서, 시공성만을 향상시키는 방법이다.

그러나, 기존의 유동화 콘크리트 공법을 실무에 적용할 경우는 양호한 시공성과 작업 능률 향상에 의한 품질향상 및 공기 단축 등의 장점이 있는 반면, 유동화제의 투입시기에 따라 책임소재가 불분명하고, 베이스 콘크리트의 제조 문제나

유동화제 투입 후 교반시 발생하는 소음 및 진동과 관련한 민원이 제기되는 문제점도 있다.

따라서, 레미콘의 단위수량 증가 및 저품질 골재에 의한 균열 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 시공성능을 향상시키고 유동화 과정 중 품질의 변동을 방지하며, 경화 후 균열 등 콘크리트의 품질을 향상시킬 수 있는 유동화제의 개발 및 개선된 유동화 공법의 도입이 필요한 상황이다.

그러므로, 본 연구에서는 폴리칼본산계 유동화제에 액상팽창제 및 소포제를 적정량 첨가하는 방법으로 개발 중인 건조수축 저감형 유동화제를 이용하여, 레미콘사에서 유동화 시키는 공법에 대하여 콘크리트의 물리적 특성 및 내구특성을 실험적으로 평가하되, 건조수축 저감형 유동화제의 활용성을 검토하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 실험요인으로 W/B 45% 1수준에 있어, 혼화제 요인은 플라이애쉬 15% 및 고로슬래그 미분말 30%인 두 수준에 대하여 목표 슬럼프 100±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%인 베이스 콘크리트의 배합을 결정한 다음, 건조수축 저감형 유동화제를 이용하여 목표 슬럼프를 180mm로 변화시키고, 이와 비교하기 위하여 동

\* 정회원, 청주대 대학원 석사과정  
\*\* 정회원, 청주대 대학원 박사과정  
\*\*\* 정회원, (주)삼표 기술연구소 선임연구원  
\*\*\*\* 정회원, (주)삼표 기술연구소 소장, 공학박사  
\*\*\*\*\* 정회원, 청주대 산업과학연구소 전임연구원, 공학박사  
\*\*\*\*\* 정회원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

일 W/B 및 슬럼프의 컨벤셔널 콘크리트를 배합설계하여 총 6배치를 실험계획 하였다.

굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
실험요인	W/B (%)	1	45
	목표슬럼프 (mm)	3	- 베이스 : 100 - 유동화 : 100→180 - 컨벤셔널 : 180
	목표공기량 (%)	1	4.5±1.5
	혼화제 (%)	2	- FA 15 - BS 30
	유동화제*	1	건조수축 저감형 유동화제
실험사항	굳지않은 콘크리트	4	- 슬럼프(경시변화 0, 30, 60분) - 공기량(경시변화 0, 30, 60분) - 응결시간 - 블리딩량
	경화콘크리트	4	- 압축강도 (3, 7, 28일) - 길이변화율(표준, 수중양생) (1, 3, 7, 14... 91일) - 동결융해 (120사이클) - 축진중성화 (1, 4주)

\* 폴리칼본산계 유동화제(0.3%)+액상팽창제(0.15%)+소포제(0.0005%)

표 2. 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	구분	W (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	SP/C (%)	AE제 (%)	DSR* (%)	질량배합 (kg/m <sup>3</sup> )				
							C	FA	BS	S	G
45	베이스	170	47	0.7	0.011	0	321	57	0	772	912
				0.5	0.004	0	264	0	113	780	922
	유동화	170	47	0.7	0.011	0.455	321	57	0	772	912
				0.5	0.004	0.455	264	0	113	780	922
	컨벤셔널	180	47	0.7	0.011	0	340	60	0	751	888
				0.5	0.004	0	280	0	120	760	898

\* DSR : 건조수축 저감형 유동화제

## 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트 (밀도: 3.15 g/cm<sup>3</sup>, 분말도: 3,265 cm<sup>2</sup>/g), 잔골재는 충북 옥산산 강모래(밀도: 2.50 g/cm<sup>3</sup>, 조립률: 2.65), 굵은골재는 충북 옥산산 25 mm 부순 굵은골재(밀도: 2.62 g/cm<sup>3</sup>, 조립률: 7.04)를 사용하였다. 혼화제로써 고성능감수제, AE제, 유동화제, 소포제는 국내 DK사의 제품, 액상팽창제는 국내 DW사의 제품을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 혼화제로서 플라이애쉬는 충남 당진산(밀도: 2.18 g/cm<sup>3</sup>, 분말도: 2,850 cm<sup>2</sup>/g), 고로슬래그 미분말은 충남 당진산(밀도: 3.03 g/cm<sup>3</sup>, 분말도: 4.649 cm<sup>2</sup>/g)을 사용하였다.

표 3. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )
고성능감수제	나프탈렌계	액상	암갈색	1.21
AE제	고급 알콜계	액상	미황색	1.01
유동화제	폴리칼본산계	액상	담갈색	1.04
액상팽창제	-	액상	유백색	1.10
소포제	실리콘계	액상	유백색	1.01

## 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421의 규정에 따라 실시하였다. 블리딩은 KS F 2414에 의거 블리딩수를 측정 한 후 블리딩량으로 평가하였고, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법에 의거 측정하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는  $\phi 100 \times 200$  mm 공시체를 KS F 2403 규정에 따라 제작하고, 계획된 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 측정하였고, 건조수축 길이변화율은 KS F 2424에 의거 다이얼 게이지법으로 측정하였으며, 동결 융해실험은 KS F 2456의 B법(기중동결 수중융해)에 의거 75×75×400 mm 각주형 공시체로, 300사이클까지 또는 상대 동탄성계수비가 초기값의 60%로 저하할 때까지 실시하는 것으로 하였으며, 매 30사이클마다 상대동탄성계수를 측정하였고, 상대동탄성계수비를 분석하였다.

단, 본 연구에서는 현재 동결융해실험이 진행 중이므로 120사이클까지의 결과만 보고하는 것으로 한다.

축진중성화시험은 온도 20℃, 습도 50%, CO<sub>2</sub>농도 5%인 축진중성화 시험장치안에 100×100×400 mm의 각주형 공시체를 사용하여 재령 1, 4주에 축진중성화 깊이를 측정하였다. 이때, 중성화 깊이의 측정은 페놀프탈레인 1% 알코올 용액을 분무하여 무색부분을 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1-4는 굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 응결시간 및 블리딩량을 나타낸 것이다.

먼저, 슬럼프 및 공기량은 모두 목표치를 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 경과시간에 따라서는 컨벤셔널 콘크리트와 비교하여 건조수축 저감형 유동화제의 사용에 따른 슬럼프 및 공기량의 로스는 적은 것으로 나타났다.

응결시간은 플라이애쉬보다 고로슬래그 미분말을 치환한 경우 초결 및 종결시간이 1~3시간 정도 지연되었는데, 이는 플라이애쉬보다 고로슬래그 미분말의 치환량이 많기 때문인 것으로 사료된다. 건조수축 저감형 유동화제를 혼입한 경우는 혼입하지 않은 경우에 비해 응결시간이 다소 지연되었으나, 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

블리딩은 컨벤셔널 콘크리트가 베이스 및 유동화 콘크리트

에 비해 크게 나타났는데, 이는 컨벤셔널 콘크리트의 단위수량이 많은 차이에 기인된 것으로 사료된다. 건조수축 저감형 유동화제를 혼입한 경우는 베이스 및 컨벤셔널 콘크리트 W/B 45% 블리딩 발생량이 적게 나타나 건조수축 저감형 유동화제의 혼입으로 블리딩 저감효과를 기대할 수 있음을 알 수 있었다.

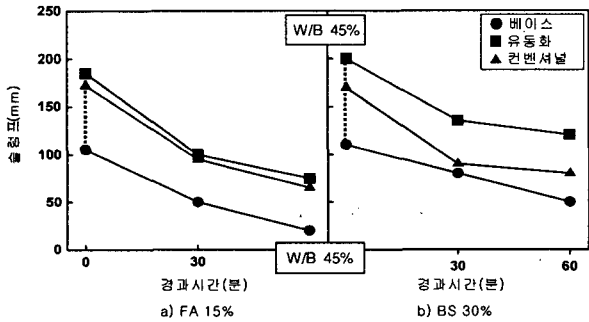


그림 1. 혼화제 종류별 경과시간에 따른 슬럼프

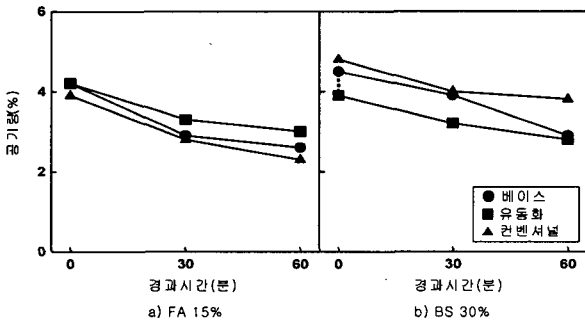


그림 2. 혼화제 종류별 경과시간에 따른 공기량

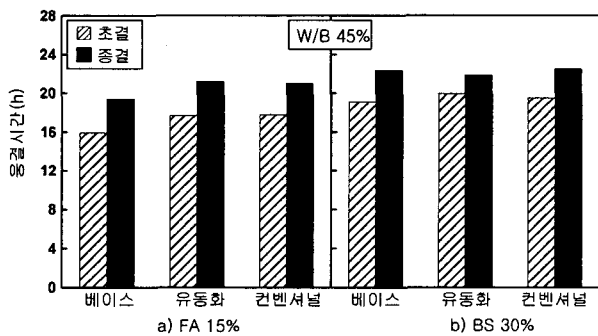


그림 3. 혼화제 종류별 경과시간에 따른 응결시간

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

#### 1) 압축강도 특성

그림 5는 혼화제 종류별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 건조수축 저감형 유동화제를 혼입한 경우 여타의 경우보다 재령 28일에서 약 3~5%정도 높은 강도를 발휘하는 것을 알 수 있었다. 이는 건조수축 저감형 유동화제의 구성물 중 액상팽창제가 치밀한 수화생성물의 형성에 기인하기 때문으로 사료된다.

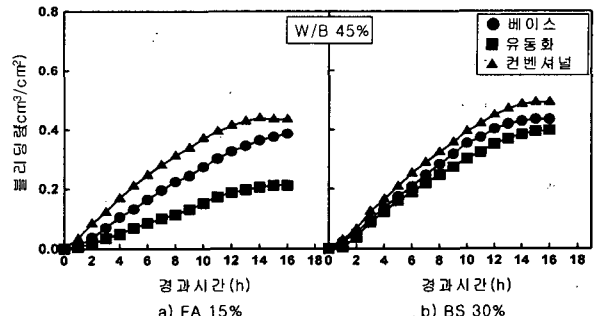


그림 4. 혼화제 종류별 경과시간에 따른 블리딩량

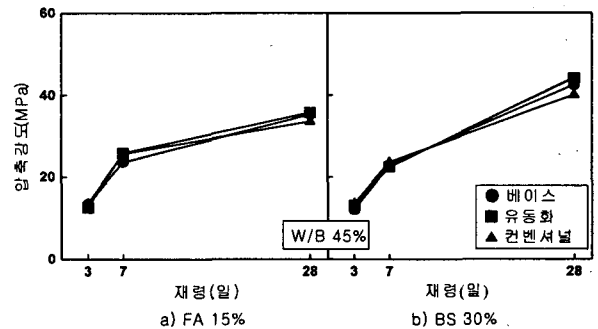


그림 5. 혼화제 종류별 재령경과에 따른 압축강도

#### 2) 건조수축 특성

그림 6은 혼화제 종류별 재령경과에 따른 표준양생 조건에서의 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다.

먼저, 수중양생 7일 동안에는 팽창하다가 7일 이후 기중양생을 실시한 경우 수축하는 것으로 나타났는데, 혼화제 종류에 따라서는 고로슬래그 미분말을 치환한 경우 플라이애쉬를 치환한 경우보다 건조수축이 크게 나타났다.

건조수축 저감형 유동화제의 혼입에 따른 건조수축 길이변화율은 재령 91일에서 콘벤셔널 콘크리트보다  $120 \times 10^{-6}$ 으로 약 20%, 베이스 콘크리트보다  $55 \times 10^{-6}$ 으로 약 12%정도 저감시켰는데, 이는 컨벤셔널 콘크리트에 비해 작은 단위수량과 액상팽창제의 팽창에 따른 복합적인 효과에 기인한 것으로 사료된다.

그림 7은 혼화제 종류별 재령경과에 따른 수중양생 조건에서의 길이변화율을 나타낸 것이다.

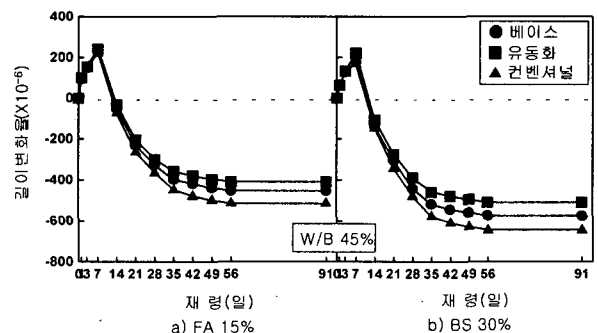


그림 6. 혼화제 종류별 재령경과에 따른 길이변화율(표준양생)

수중양생 조건에서는 전반적으로 모든 시험체가 재령 21일 까지 팽창하다가 이후 재령에서는 거의 팽창하지 않은 것으로 나타나, 건조수축 저감형 유동화제를 수중 구조체에 사용하여도 지나친 팽창에 따른 악영향은 없는 것으로 사료된다.

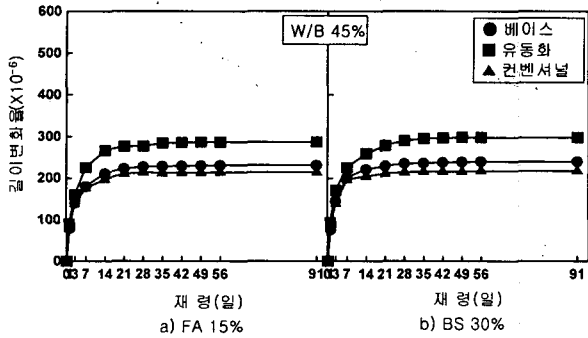


그림 7. 혼화재 종류별 재령경과에 따른 길이변화율(수중양생)

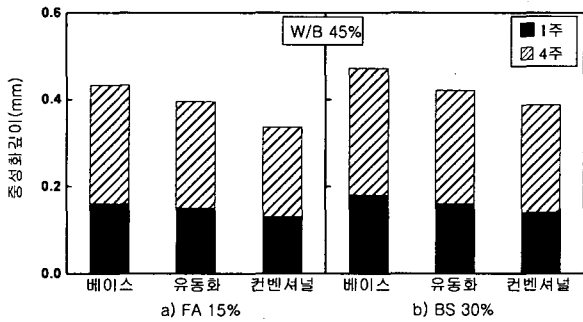


그림 8. 혼화재 종류별 재령경과에 따른 중성화깊이

### 3) 내구 특성

그림 8은 혼화재 종류별 재령경과에 따른 축진 중성화 깊이를 막대그래프로 나타낸 것이다.

전반적으로 중성화깊이는 컨벤셔널 콘크리트에 비하여 베이스 및 유동화 콘크리트가 크게 나타났고, 플라이애쉬를 15% 치환한 경우보다 고로슬래그 미분말을 30% 치환한 경우가 크게 나타났다. 이는 시멘트량의 감소에 따른 결과로 분석된다. 또한 같은 조건의 베이스 콘크리트에 비해 건조수축 저감형 유동화제를 혼입한 경우 작게 나타나 내구성이 향상됨을 알 수 있었다.

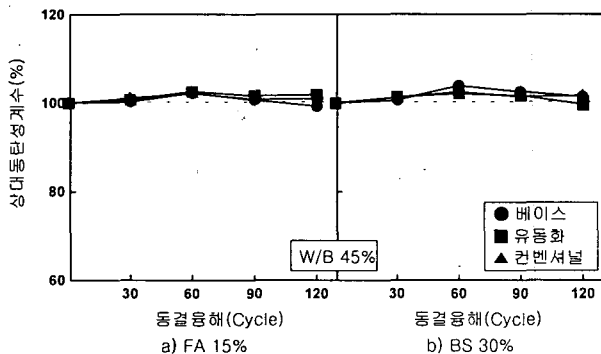


그림 9. 혼화재 종류별 동결융해 사이클에 따른 상대동탄성계수

그림 9, 10은 혼화재 종류별 동결융해 사이클 변화에 따른 상대동탄성계수 및 질량감소율을 나타낸 것이다.

건조수축 저감형 유동화제를 혼입한 경우는 여타의 경우와 비교하여 120사이클까지의 상대동탄성계수 및 스케일동태의 척도인 질량감소율은 큰 차이가 없는 것으로 나타났고, 혼화재 치환률로도 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다.

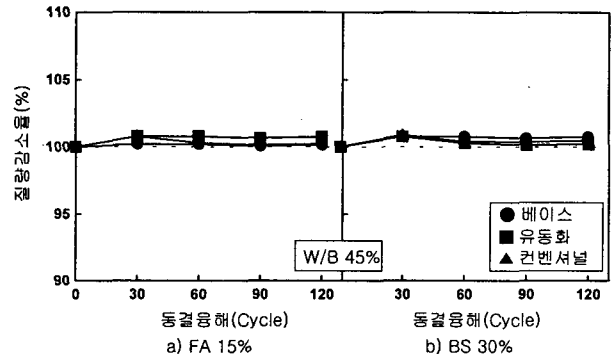


그림 10. 혼화재 종류별 동결융해 사이클에 따른 질량감소율

## 4. 결 론

본 연구는 건조수축 저감형 유동화제를 사용한 콘크리트의 기초적 성질 및 내구특성을 베이스 콘크리트 및 컨벤셔널 콘크리트와 비교분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 슬럼프 및 공기량은 건조수축 저감형 유동화제를 사용한 유동화 공법의 경우, 컨벤셔널 콘크리트에 비해 경과시간에 따른 감소폭이 완만하게 나타났고, 블리딩량은 크게 저감되었다.
- 2) 압축강도는 건조수축 저감형 유동화제를 혼입한 경우 베이스 및 컨벤셔널 콘크리트에 비해 재령 28일에서 약 3~5%정도 높은 강도를 발휘하였다.
- 3) 건조수축 길이변화율 특성으로, 표준양생조건에서 건조수축 저감형 유동화제를 혼입한 경우 컨벤셔널 콘크리트에 비하여 약 20%정도 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 단위수량 저감과 액상팽창제의 복합작용에 기인된 것으로 사료된다. 수중양생조건에서는 유동화, 베이스, 컨벤셔널의 순으로 모든 시험체가 지속적인 팽창을 보였으나, 단 재령 21일 이후에서는 더 이상 팽창이 증가되지 않았다.
- 4) 중성화 깊이는 컨벤셔널 콘크리트에 비하여 베이스 및 유동화 콘크리트가 크게 나타났는데 이는 시멘트량 증가에 기인한 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 한천구 ; 최신 유동화 콘크리트의 개요 및 전망, 콘크리트학회지, Vol.13, NO.3, 2001.5 pp.26-31