

# 콩기름을 사용한 고강도 콘크리트의 자기수축 특성 분석에 관한 연구

## A Study on the Reduction of Autogenous Shrinkage of High-Strength Concrete using Bean Oil

송 일 범\*      홍 석 민\*      이 충 섭\*      임 춘 근\*\*      한 민 철\*\*\*      한 천 구\*\*\*\*  
Song, Ri-Fan    Hong, Seak-Min    Lee, Chung-Sub    Lim, Choon-Goun    Han, Min-Cheol    Han, Cheon-Goo

### Abstract

The purpose of this study is to reduce autogenous shrinkage of high-strength concrete. Previous studies were investigated to measure the effects of reductions to autogenous shrinkage when applying bean oil to concrete. The results of the study showed that as the mixture rate of BO increased, fluidity decreased and air quantity decreased slightly. In early age, compressed strength increased compared to Plain while decreased in long-term age. As an autogenous shrinkage characteristic, reduction effect increased according to increase in mixture rate. When mixture rate is 1%, approximately 30% decreased compared to Plain in BO. At 2%, BO decreased by about 32%. In addition, in the case of BO, autogenous shrinkage was shown to decrease compared to expansive additive and shrinkage-reducing agent.

키 워 드 : 고강도 콘크리트, 자기수축, 콩기름  
Keywords : High Strength Concrete, Autogenous Shrinkage, Bean Oil

## 1. 서 론

### 1.1 연구범위 및 방법

최근 도심지에는 토지의 효율적인 활용과 관련하여 건축물이 고층화 됨에 따라 고강도 콘크리트의 사용이 증대되고 있다.

그런데 이와 같은 고강도 콘크리트의 경우는 내구성 향상, 자중 경감 등 많은 이점이 있는 반면에 자기수축이 문제 시 되고 있다. 즉, 자기수축은 외부로부터의 수분 공급 없이 콘크리트내부 모세관 공극들의 자기건조로 생기는 수축 현상으로써 물시멘트비가 낮고, 단위결합재량이 많은 고강도 콘크리트에서 많이 발생한다. 즉, 고강도 콘크리트는 경우에 따라 자기수축 만으로도 콘크리트에 균열을 발생시킬 수도 있는데, 이와 같은 균열은 미관손상에 따른 신뢰도 하락 외에도 외부로부터 염소 이온, 탄산가스, 수분 등 유해 물질의 침투 경로를 제공하게 되어 콘크리트 구조물의 내구성을 저하시키고 수명을 단축시키는 원인이 된다.

본 연구팀에서는 기존 연구에서 물-시멘트비를 낮추어 콘크리트의 강도를 증진시키는 목적으로 물이 아닌 액체를 모르터에 치환하여 공학적 특성을 연구한바 있다.<sup>1)</sup> 그 결과 강도 증진에는 기대 효과에 미치지 못하였지만, 식용유를 치환할 경우 모르터의 자

기수축이 저감되는 연구 결과가 도출되어, 추가적으로 모르터 상태에서 식물성 유지류의 종류 및 치환율 변화에 따른 고강도 모르터에서의 자기수축 저감 효과에 대하여 검토하였다. 그 결과, 식물성 유지류의 종류 및 치환율에 따라 차이는 있었지만, 고강도 모르터에서의 자기수축 저감효과는 콩기름의 경우가 가장 우수한 것을 확인 할 수 있었다.<sup>2)</sup>

따라서 본 연구에서는 선행연구 결과에서 수축저감효과가 가장 우수한 콩기름을 고강도 콘크리트에 치환할 경우 자기수축 특성에 대하여 기존의 수축저감제 및 팽창제와 비교하여 그 효과를 분석하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

먼저 배합사항으로 W/C는 30 % 1수준으로, 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC)에 대한 질량비로 플라이애시(이하 FA) 및 실리카 폼(이하 SF)을 각각 20 %, 10 %씩 치환한 것을 Plain 배합으로 하고, 콩기름(이하 BO)을 단위결합재량에 대한 질량비로 각각 1 %, 2 %씩 치환하는 것으로 계획하였다. 또한, 수축저감 효과를 비교하기 위하여 기존의 수축저감제(이하 SR) 및 팽창제(이하 EA)를

\* 청주대학교 건축공학과 석사과정  
\*\* 삼성물산(주), 공학박사  
\*\*\* 청주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사  
\*\*\*\* 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

동일한 치환율로 치환하는 것으로 실험계획 하였다. 이때 Plain 배합에 대하여 목표 플로우 600 ± 100 mm를 만족 하도록 배합설계 한 다음 여타의 배합에도 동일하게 적용하였다. 실험사항으로 굳지않은 콘크리트는 슬럼프 플로우, 공기량 경화콘크리트는 압축강도, 자기수축 길이변화를 측정하는 것으로 계획하였다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/C(%)	1	30
	목표 플로우(mm)	1	600 ± 100
	목표 공기량(%)	1	3.0 ± 1.0
	광물질 혼화제	1	OPC:FA:SF=7:2:1
	수축저감용 혼화제	종류	3
치환율* (%)		2	0**, 1, 2
실험사항	굳지않은 콘크리트	2	· 슬럼프 플로우 · 공기량
	경화 콘크리트	2	· 압축강도(1, 3, 7, 28일) · 자기수축 길이변화

\* 단위결합재에 대한 질량비로 투입된 양 만큼 단위수량에서 빼줌  
\*\* Plain

## 2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 재료의 물리·화학적 성질은 표 2~8과 같다.

먼저, 시멘트는 국내 A사산 OPC를 사용하였고, 골재는 국내 B사의 골재를 사용하였으며, 혼화제로 FA는 국내산, SF는 노르웨이산을 사용하였다. 혼화제로 SP제는 국내 E사의 고성능 감수제(폴리칼본산계)를 사용하였고, AE제는 국내 E사의 제품을 사용하였다. 공기름은 국내에서 일반적으로 판매되는 식용유로 사용하였다. SR은 국내산 글루콜계, EA는 국내산 CSA계를 사용하였다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3 265	0.15	210	300	22.0	28.9	38.9

표 3. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	조립율	흡수율 (%)	단위용적질량(kg/m³)	0.08 mm체 통과량(%)	
잔골재	강모래	2.50	2.86	2.63	1 518	2.87
	부순모래	2.65	2.62	1.42	1 684	3.00
굵은 골재	2.62	6.48	0.58	1 564	0.40	

표 4. FA의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	강열감량 (%)	SiO2 (%)	습분 (%)
2.20	3 850	2.50	51.3	0.10

표 5. SF의 물리·화학적 성질

분말도 (cm²/g)	밀도 (g/cm³)	강열감량 (%)	화학적 구성(%)				
			SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO
200 000	2.20	1.50	96.0	0.25	0.12	0.38	0.10

표 6. SP제 및 AE제의 물리적 성질

성분	형태	색상	밀도 (g/cm³)	고형분(%)
폴리칼본산계	액상	암갈색	1.01	30.0

표 7. 공기름의 물리적 성질

분류	밀도(g/cm³)	함수율(%)
BO	0.922	0.21

표 8. SR 및 EA의 물리적 성질

구분	형태	밀도 (g/cm³)	점도 (cps)	분말도 (cm²/g)
SR	액상	1.08	275	-
EA	분체상	2.93	-	3 204

## 2.3 실험방법

본 연구의 실험 방법으로 콘크리트의 혼합은 트윈소프트 믹서를 사용하여 콘크리트를 제조하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프 플로우는 KS L 2594, 공기량은 KS F 2421에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405, 자기수축 길이변화는 KS F 2586에 의거 실시하였다.

그림 1은 본 연구에서의 자기수축 길이변화 실험 장치 개요도이다. 즉, 100 × 100 × 400 mm의 강철 몰드에 매립형 스트레인 게이지를 매설하고, 몰드 안에 테플론 시트와 폴리에스테르 필름을 깔고 공시체를 제작한 후 온도 20 ± 2 °C의 실내에서 1일 양생 후 탈형한 다음 은박지로 추가 밀봉한 후 동일한 온도로 28일간 양생하였다.

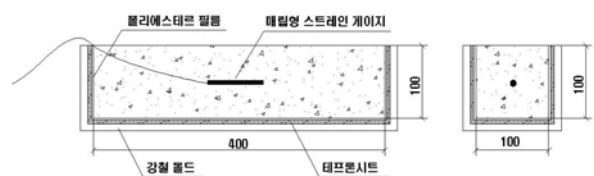


그림 1. 자기수축 길이변화 측정 개요도

### 3. 실험결과 및 분석

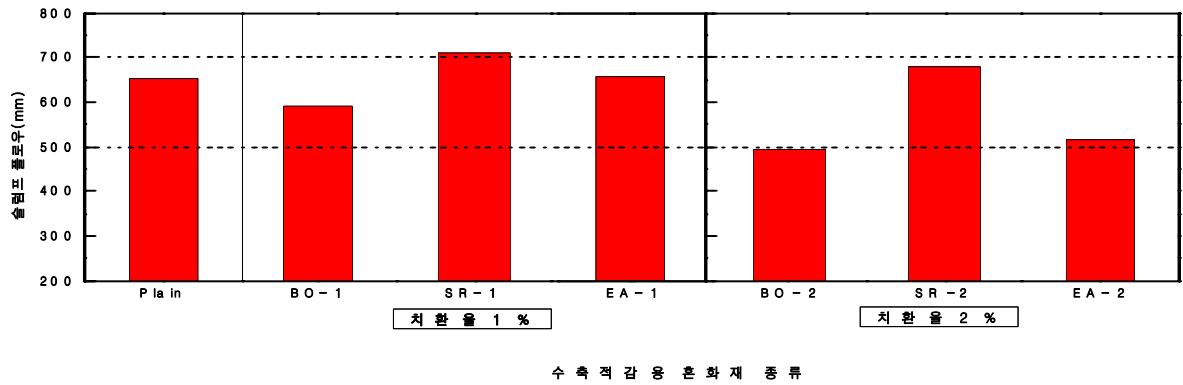


그림 2. 수축저감용 혼화제 종류 별 슬립프 플로우

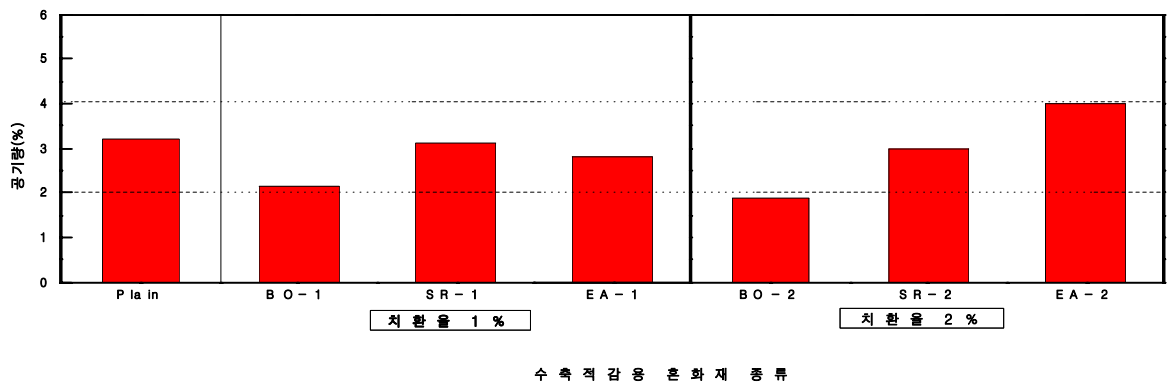


그림 3. 수축저감용 혼화제 종류 별 공기량

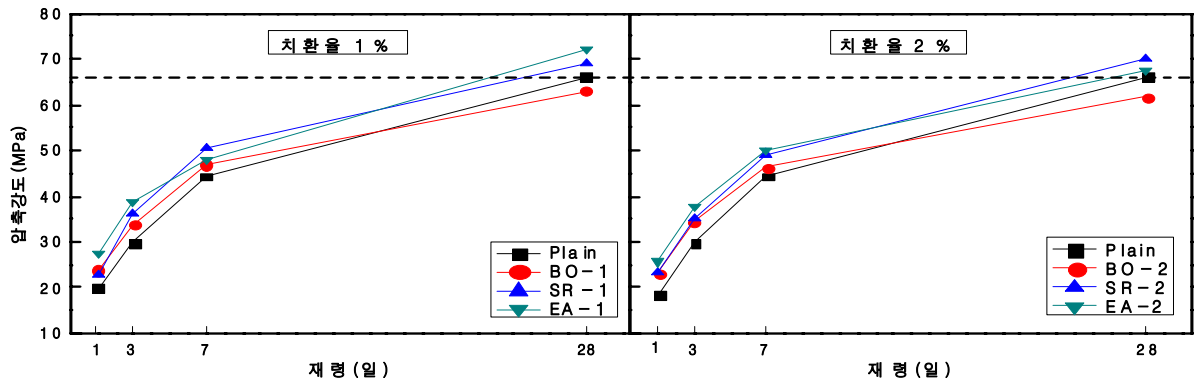


그림 4. 수축저감용 혼화제 종류 별 재령경과에 따른 압축강도

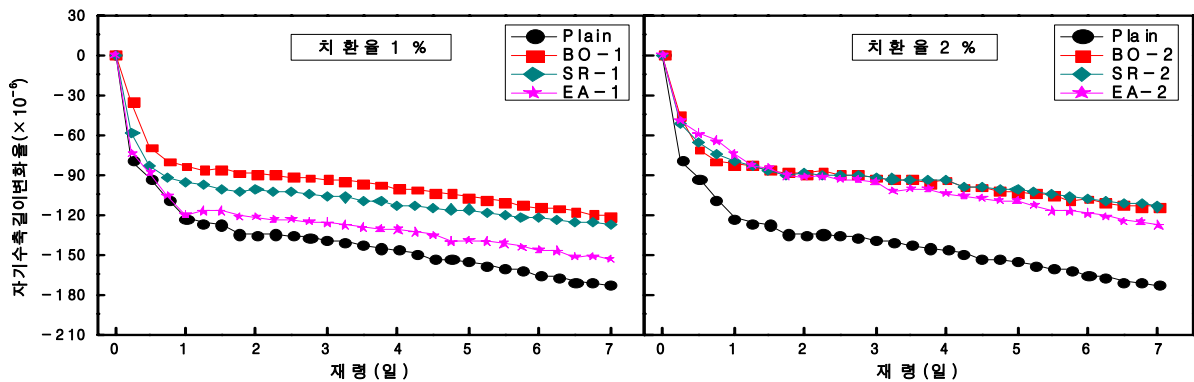
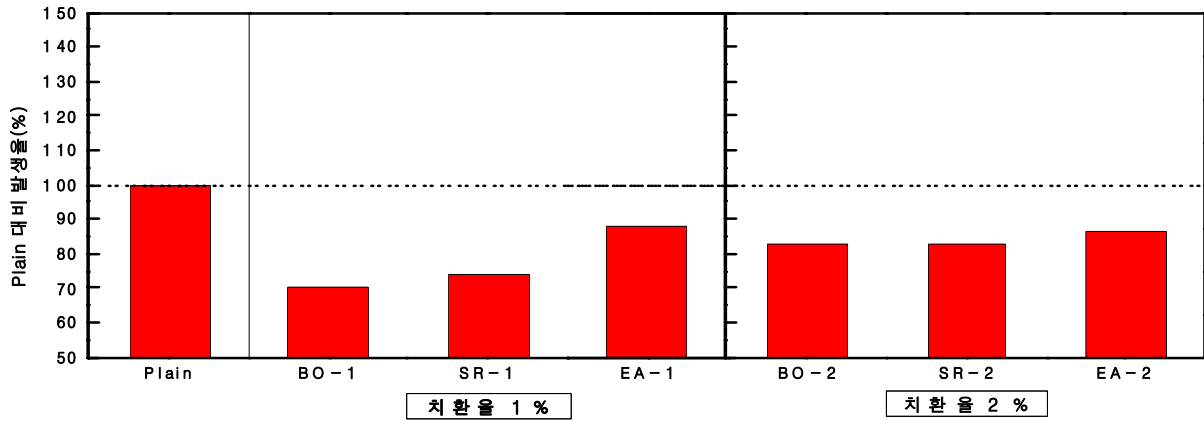


그림 5. 수축저감용 혼화제 종류 별 재령경과에 따른 자기수축 길이변화율



수축저감용 혼화제 종류  
 그림 6. 수축저감용 혼화제 종류별 재령경과에 따른 자기수축 길이변화율

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 2는 수축저감용 혼화재료의 종류 및 치환율 변화에 따른 슬럼프 플로어를 나타낸 그래프이다.

먼저, 치환율 1%의 경우 BO의 유동성은 Plain에 비해 약 8% 정도 감소하였고, SR은 Plain에 약 8%정도 증가하였으며, EA는 Plain과 유사하게 나타났다. 치환율 2%의 경우 BO의 유동성은 Plain에 비해 약 20%정도 감소하였고, SR은 유사하게 나타났고, EA는 20%정도 감소하였다.

전반적으로 유동성은 BO의 치환율 증가에 따라 감소하였다. 이는 BO 및 RO의 점성이 물보다 다소 큼에 기인한 것으로 사료된다.

그림 3은 수축저감용 혼화제의 종류 및 치환율 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다.

먼저, BO를 치환할 경우 공기량은 Plain에 비해 감소하였고, 치환율의 증가에 따라서도 더욱더 감소하였다. 또한, 수축저감제와 팽창제의 경우는 모두 목표 공기량 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 4는 수축저감용 혼화제의 종류 별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

먼저, 치환율 1%의 경우 초기재령 1일에서 Plain의 압축강도는 약 20 MPa 로 나타났고, BO는 24 MPa정도로 Plain에 비해 다소 증가하였다. 재령 28일에서 Plain의 압축강도는 66 MPa로 나타났고, BO는 64 MPa로 Plain과 유사하게 나타났다. 치환율 2%의 경우 BO의 1일 압축강도는 약 23 MPa로 나타났고, 28일은 약 62 MPa로, Plain에 비해 감소하는 것으로 나타났다.

또한, EA는 에트린자이트 생성으로, 전반 재령에서 Plain에 비해 증가하는 것으로 나타났고, SR의 경우도 Plain보다 다소 증가하는 것으로 나타났다.

### 3.3 자기수축 특성

그림 5는 수축저감용 혼화제의 종류 별 재령 7일까지의 자기수축 길이변화율을 나타낸 그래프이다.

먼저, 재령 1일에서 Plain의 길이변화율은  $-122 \times 10^{-6}$ 로 나타났다. 치환율 1%에서 BO는  $-83 \times 10^{-6}$ 로 Plain에 비해 약 30% 정도 저감하였고, SR은  $-95 \times 10^{-6}$ 로 약 20%, EA는  $-120 \times 10^{-6}$ 로 약 2%정도 저감하는 것으로 나타났다.

그림 6은 재령 7에서의 Plain대비 자기수축 발생율을 나타낸 그래프이다.

재령 7일에서 Plain의 길이변화율의 발생율을 100%로 보았을 때, 치환율 1%에서 BO는 약 70%, SR은 74%, EA는 88%로, EA, SR, BO의 순으로 BO저감효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 치환율 2%의 경우 1%에서와 마찬가지로 BO의 발생율이 가장 적게 나타났다. 이는 BO를 구성하는 유지류의 지방산과 시멘트 수화 생성물 중 수산화 칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )이 가수분해 반응을 일으켜 글리세롤과 지방산염을 생성하는데, 이때 생성된 지방산염의 팽창 및 충전 작용에 기인하여 콘크리트의 수축을 보완하는 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 공기량의 치환율에 따른 콘크리트의 기초적 특성 및 자기수축 특성을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 유동성 및 공기량은 치환율의 증에 따라 Plain에 비해 감소하였다.
- 2) 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도의 경우는 BO의 경우 치환율 변화에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았다.
- 3) 자기수축 특성으로 BO는 치환율이 증가할수록 콘크리트의

자기수축이 저감하는 것으로 나타났는데, 수축저감제 및 팽창재 보다 그 성능이 우수함을 알 수 있었다.

금후의 과제로서, 공기름에 의한 자기수축 저감 머커니즘을 보다 과학적으로 분석할 수 있는 방법을 통해, 보다 효과적인 고강도 콘크리트의 자기수축 저감방법을 강구 할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. 김태완, 물이 아닌 액체의 종류 변화에 따른 콘크리트의 공학적 특성 석사학위논문, 청주대학교 대학원 건축공학과 건축재료·시공 전공, 2009.
2. 송일범, 백대현, 최영화, 백병훈, 한민철, 한천구, 식물성 유지류에 의한 고강도 모르타의 자기수축 저감에 관한 기초적 연구, 한국건축시공학회 학술·기술논문발표회 논문집, 제9권 제1호, pp.69~72.
3. 한천구, 김성욱, 고경택, 배정렬, 팽창재 및 수축저감제를 이용한 고성능 콘크리트의 수축특성, 한국콘크리트학회논문집, 제15권 제6호, pp.785~793, 2003,12
4. 한천구, 반호용, 전병채, 홍상희, CSA계 팽창재 및 무기질 혼화재를 이용한 고성능 콘크리트의 특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회지, 제11권, 제1호, pp. 141~148, 1999
5. 日本コンクリート工學協會, 自己收縮研究委員會報告書, 日本, 1996.
6. 都築正則, 一瀬賢一, 神代泰道, 川口徹, 超高強度コンクリートの自己收縮に及ぼす結合材の影響, コンクリート工學年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1299~1304, 1999,
7. 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関する研究, コンクリート工學年次論文報告集 第17권 제1호, pp.1061~1066, 1995.