

폐식용유를 사용한 고강도 모르터의 자기수축 및 공학적 특성

Autogenous Shrinkage and Fundamental Properties of the High Strength Mortar Containing Waste Vegetable Oil

(2010년 1월 8일 원고접수, 2010년 3월 19일 심사완료/ Received January 8, Accepted March 19, 2010)

한민철¹⁾, 宋日范^{1)*}

¹⁾청주대학교 건축공학과

Min-Cheol Han¹⁾, Ri-Fan Song¹⁾

¹⁾Div. of Architectural Engineering Cheongju University, Cheongju, 360-764, Korea

Abstract

The objective of this paper is to explore the possibility of reuse of waste vegetable oil (WO) as an autogenous shrinkage reducer for high strength concrete and to compare the amount of autogenous shrinkage of the mortar using existing shrinkage reducing agent(SR) and expansive additives(EA). According to test results, as the dosages of WO increased, flow value exhibited to decrease, while the use of SR increased flow value. For the effect of WO on strength, although the use of SR and WO resulted in a slight decrease in compressive strength at early age, at 91 days they had similar strength level of the plain mixture. For autogenous shrinkage, as expected, the addition of WO, SR and EA resulted in a decrease of autogeneous shrinkage considerably especially, WO had superiority in autogenous shrinkage reducing effect compared with the case of SR and EA.

키워드 : 폐식용유, 고강도 모르터, 자기수축, 수축저감제, 팽창제

Keywords : Waste Oil, High Strength Mortar, Autogenous Shrinkage, Shrinkage Reducing Agent, Expansive additive

1. 서 론

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

그런데 이와 같은 고강도 콘크리트는 고강도화에 따른 부재단면 축소, 내구성 향상, 자중 경감 등 많은 이점이 있는 반면에 과도한 시멘트량에 의한 자기수축 현상이 문제로 대두되고 있다. 이러한 자기수축은 외부로부터의 수분 공급 없이 콘크리트 내부 모세관 공극들의 자기건조로 생기는 수축 현상으로써 물시멘트비가 낮고, 단위결합재량이 많은 고강도 콘크리트에서 주로 발생하게 되는데, 경우에 따라 자기수축 만으로도 콘크리트에 균열을 발생시킬

수도 있게 되고, 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.

이에 필자 등은 자기수축을 저감시키기 위한 일련의 접근 방법 중 기존의 팽창제와 수축저감제보다 가격이 저렴하면서 동등이상의 수축저감성능을 확보할 수 있는 재료를 개발하고자 연구를 진행한 바 있는데, 이중 폐식용유의 비누화 효과가 콘크리트의 세공을 충전하여 자기수축을 저감할 수 있음을 확인하였다.¹⁾

따라서 본 연구에서는 종전의 방법보다 경제적인 자기수축저감 방안을 강구하고자 생활 폐기물인 폐식용유에 의한 고강도 모르터의 자기수축 특성을 팽창제와 수축저감제를 사용한 경우와 비교·분석함으로써 그 사용가능성을 검토하고자 한다.

*Corresponding author

E-mail : songc_97@naver.com

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

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

먼저, 실험요인으로 W/B는 고강도 영역인 20% 1수준으로 하고, 결합재료는 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC) : 플라이애시(이하 FA) : 실리카퓌름(이하 SF)을 7 : 2 : 1로 혼합한 것을 Plain배합으로 설정하고, 수축저감성 혼화재료는 폐식용유(이하 WO), 수축저감제(이하 SR) 및 팽창제(이하 EA)를 각각 단위결합재에 대한 질량비로 2.5%, 5% 치환하는 것으로 실험계획하였다. 이 경우, WO 및 SR은 치환되는 양만큼을 단위수량에서 제외하는 것으로 실험계획 하였다. 이때 Plain배합에 대하여 목표 플로우 200±10mm에 만족하도록 배합설계한 후 여타의 배합에도 동일

Table 1 Experimental plan

Items		Variables
Mixture	W/B(%)	20
	Flow(mm)	200±10
	Binder composition	OPC : FA : SF = 7 : 2 : 1
	Shrinkage reducer	Type
Dosage(%)		0**, 2.5, 5
Test	Measurement	<ul style="list-style-type: none"> • Flow • Compressive strength (1, 7, 28, 91 days) • Flexural strength(1, 28 days) • Autogenous shrinkage (1, 2...28 days)

* WO and SR usage per unit included in the calculation

** Plain

Table 2 Mixture proportion of cement mortars

Shrinkage reducer		C : S	W/B(%)	W(kg/m ³)	SP(%)	Unit weight(kg/m ³)				
Kinds	Dosage (%)					C	S	FA	SF	Shrinkage reducers
Plain	0	1 : 1	20	209	1.8	732	1 045	209	104	0
	WO			2.5		181	732	1 045	209	104
5				152		732	1 045	209	104	52
EA	2.5			209		714	1 045	204	102	26
	5			209		696	1 045	199	99	52
SR	2.5			181		732	1 045	209	104	26
	5			152		732	1 045	209	104	52

한 배합조건을 적용하였다.

실험사항으로는 플로, 압축강도, 휨강도 및 자기수축 길이변화를 측정하도록 계획하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용한 각 재료의 물리·화학적 성질은 Table 3-8과 같다.

즉, OPC는 국내 A사산 제품을 사용하였고, 잔골재는 강모래와 부순모래를 1 : 1로 혼합하여 사용하였으며, 혼화제로 FA 및 SF는 국내에서 유통되는 일반적인 것을 사용하였다. 혼화제로 SP제는 국내산 폴리칼본산계를 사용하였고, AE제는 국내 E사의 제품을 사용하였다. WO는 국내 시장에서 일반적으로 배출되는 것, SR은 국내산 액상 글루콜계 수축저감제, EA는 국내산 CSA계 팽창제를 사용하였다.

Table 3 Physical properties of OPC

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Setting time(min.)		Compressive strength (MPa)			Soundness (%)
		Ini.	Fin.	3days	7days	28days	
3.15	3 265	210	300	22.0	28.9	38.9	0.15

Table 4 Physical properties of fine aggregates

Aggregates	Density (g/cm ³)	F.M	Absorption (%)	Passing amount of 0.08 mm sieve
River sand	2.50	2.86	2.63	2.87
Crushed sand	2.65	2.62	1.42	3.00

Table 5 Physical properties of FA

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	LOI (%)	Moisture contents (%)	SiO ₂ (%)	Activation index (%)	Flow ratio (%)
2.21	3 520	3.7	0.1	46.8	93	99

Table 6 Physical and chemical properties of SF

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Chemical composition(%)							
		LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O
2.21	160 000	1.38	96.65	1.87	0.03	0.38	0.19	0.32	0.56

Table 7 Physical properties of SP and AE agents

Agents	Density (g/cm ³)	Appearance	Color	Basis
SP agent	1.05	Liquid	Brown	Polycarboxylate
AE agent	1.04	Liquid	Brown	Negative ion

Table 8 Physical properties of shrinkage reducer

Kinds	WO	SR	EA
Density (g/cm ³)	0.92	1.01	2.87
Form	Liquid	Liquid	Powder

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로서 모르타르의 혼합은 KS L 5109에 의거하여 전동식 혼합 믹서로 실시하였다.

굳지 않은 모르타르 실험으로 플로우는 KS L 5111, 경화 모르타르 실험으로 압축강도는 KS L 5105, 자기수축 길이변화는 KS F 2586에 준하여 실시하였다.

그림 1은 본 연구에서의 자기수축 길이변화 실험 장치 개요도이다. 즉, 40×40×160mm의 강철 몰드에 게이지 플러그를 설치하고, 몰드 안에 테플론 시트와 폴리에스테르 필름을 넣고 공시체를 제작한 후 온도 20±2℃의 실내에서 1일 양생 후 탈형한 다음 동일한 온도로 28일간 양생하였다.

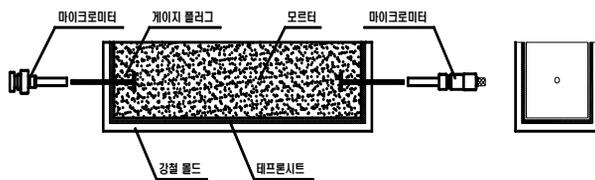


Fig. 1 Specimen setup for autogenous shrinkage

길이변화 측정은 초결 시점을 기준으로, 마이크로 미터를 사용하여 자기수축 길이변화를 측정하였다. (사진 1참조)



Photo 1. Specimen preparation

3. 실험결과 및 분석

3.1 유동성

Fig. 2는 수축저감용 혼화제 종류 및 치환율별 유동성을 나타낸 그래프이다.

먼저, Plain 배합의 플로우는 203mm로 목표 범위를 만족하는 것으로 나타났다. WO의 경우 치환율이 증가할수록 유동성이 Plain에 비해 감소하였는데, 치환율 1%에서는 약 11% 정도 감소한 180mm로 나타났고, 치환율 2%에서는 약 14% 정도 감소한 175mm로 나타났다. SR의 경우 Plain에 비해 크게 증가하였고, 치환율의 변화에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 WO의 경우 주성분이 유지류로서 물보다 점성이 크고, SR은 알콜계로 물보다 점성이 작음에 기인한 것으로 사료된다. 따라서 WO의 사용에 따른 유동성 저하에 대한 대책이 요구된다.

또한, EA의 경우 치환율 2.5%에서는 Plain에 비해 약 20% 감소한 165mm로 나타났고, 치환율 5%에서는 195mm로, 목표범위를 만족하는 것으로 나타났다.

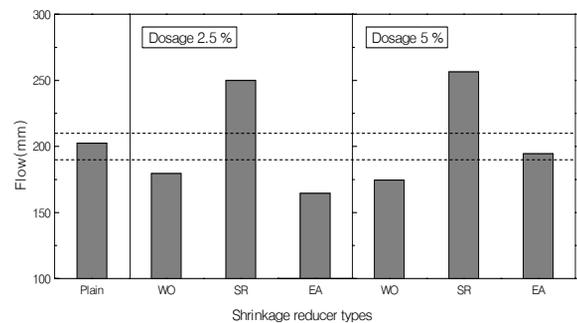


Fig. 2 Flow values depending on shrinkage reducer types

3.2 강도 특성

Fig. 3 및 Fig. 4는 혼화제 종류 및 치환율별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이고, Fig. 5 및 Fig. 6은 휨강도를 나타낸 그래프이다.

먼저, WO의 압축강도는 초기재령에서는 Plain에 비해 다소 감소하였으나, 재령 91일에서는 Plain과 유사한 강도값을 나타내었다. 치환율의 증가에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았으나, 재령 28일 까지는 치환율 5%의 경우 치환율 2.5%에 비해 약 8~10%정도 감소하였다. SR의 경우도 마찬가지로 재령 및 치환율 변화에 따라 초기재령에서는 Plain에 비해 다소 감소하였고, 재령이 증가할수록 Plain과 유사한 강도를 나타내었다. EA의 경우 압축강도는 전반 재령에서 Plain보다 큰 것으로 나타났고, 치환율 증가에 따라서는 증가하는 것으로 나타났다.

휨강도의 경우 압축강도와 유사한 경향을 나타내었는데, 전반적으로 WO 및 SR의 휨강도는 Plain에 비해 다소 감소한 반면, EA의 휨강도는 Plain과 유사하거나 높게 나타났다.

3.3 자기수축 특성

그림 Fig. 7 및 Fig. 8은 혼화제 종류 및 치환율별 재령 경과에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 그래프이다.

먼저, Plain의 재령 28일 까지의 자기수축 길이변화율은 -580×10^{-6} 로 나타났다. 한편, WO를 치환함에 따라 치환율 2.5%에서 재령 28일까지의 자기수축 길이변화율은 -463×10^{-6} 로 Plain에 비해 약 20%정도 감소되었고, 치환율 5%의 경우 재령 28일 까지의 자기수축 길이변화율은 -407×10^{-6} 로 Plain에 비해 약 30%정도 저감되는 것으로 나타났다.

한편, SR을 치환한 경우는 치환율 2.5%에서 -453×10^{-6} 로 Plain에 비해 약 22% 정도 저감하였고, 치환율 5%에서는 -384×10^{-6} 로 Plain에 비해 약 34%정도 저감하는 것으로 나타났다. 또한, EA의 경우 치환율 2.5%에서는 -517×10^{-6} 로 Plain보다 약 10% 정도 저감하였고, 치환율 5%에서는 -480×10^{-6} 로 Plain보다 약 17% 정도 저감하는 것으로 나타났다. 따라서, 혼화제 종류 및 치환율 변화에 따른 자기수축저감효과는 SR, WO, EA의 순으로 자기수축저감 효과가 양호하였는데, 특히 WO의 자기수축저감효과는 SR과 유사하게 나타났고, EA보다 양호한 결과를 나타내었으며, 초재령에서의 그 효과가 더욱 뚜렷하였다. 이는 WO의 경우 식물성 유지류로서 그 주성분인 지방산이 모르타르 경화체중 수화생성물인 수산화 칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)과 가수분해 반응을 진행하여 지방산 칼슘염을 생성하게 되

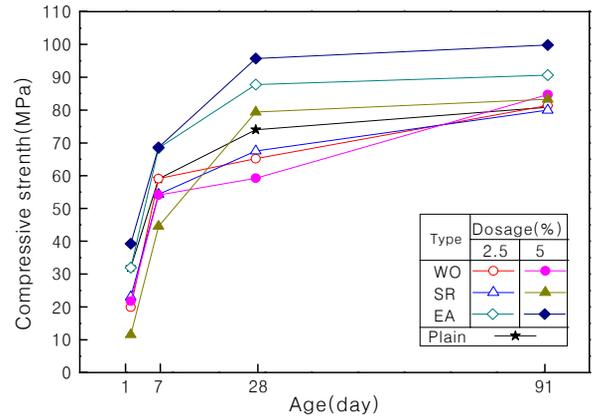


Fig. 3 Compressive strength depending on shrinkage reducing agent with age

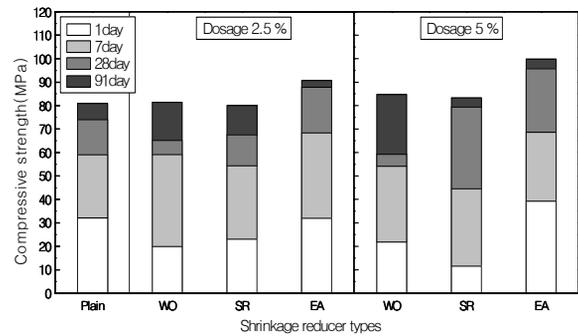


Fig. 4 Compressive strength depending on agent types

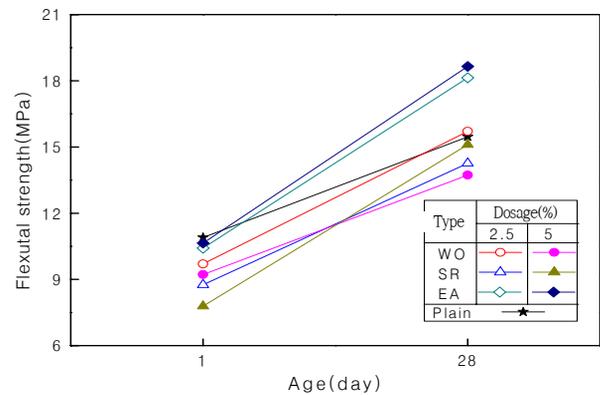


Fig. 5 Flexural strength depending on agent with age

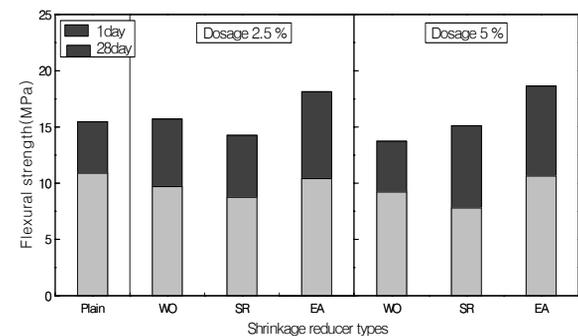


Fig. 6 Flexural strength depending on agent types

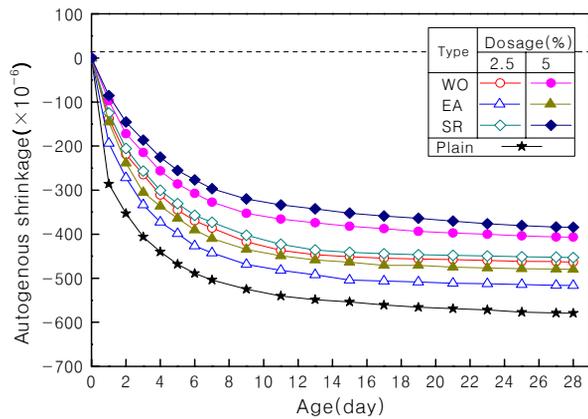


Fig. 7 Autogenous shrinkage development depending on agent types with age

는데, 이러한 생성물들이 모르터 경화체내의 모세관 공극을 충전시켜줌으로서 수축완화 작용에 기인한 것으로 사료된다.

Fig. 9는 혼화제 종류 별 재령 1일, 7일 및 28일에서의 압축강도와 자기수축길이 변화율을 비교한 그래프이고, Fig. 10은 혼화제 종류에 따른 치환율 별 자기수축 길이 변화율을 비교한 그래프이다.

전반적으로 자기수축 저감 효과가 작을수록 즉, 자기수축이 크게 발생할수록 압축강도 값이 다소 높은 비례적인 관계를 보이는 것을 알 수 있었는데, 이는 콘크리트의 강도가 증가함에 따라 자기건조에 영향을 미치는 시멘트 매트릭스 내 미세 공극의 형성이 증가하기 때문으로 사료된다. 또한, 각 혼화제 종류별 치환율 변화에 따라서는 치환율 2.5%에서의 자기수축이 크게 발생한 것을 알 수 있는데 즉, 치환율이 증가할수록 자기수축 저감효과가 더욱 양호한 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 고강도 모르터에 WO를 2.5~5%정도 치환할 경우 SR과 유사한 자기수축 저감효과를 나타내었고, EA보다는 양호한 효과를 나타내어, 보다 경제적으로 효율적으로 고강도 모르터의 자기수축을 저감할 수 있는 것으로 사료된다.

단, 현재 우리나라의 WO는 대부분 가정이나 음식점등에서 발생되어 재활용되기보다는 주로 폐기처분되거나 비누제조 등의 용도로 재활용되고 있음에 콘크리트용 자기수축저감제로 사용하기 위하여는 우선 WO의 안정적 수급이 요구되어지며, WO 사용에 따른 유동성 저하에 대한 추가적인 연구가 요구되어진다.

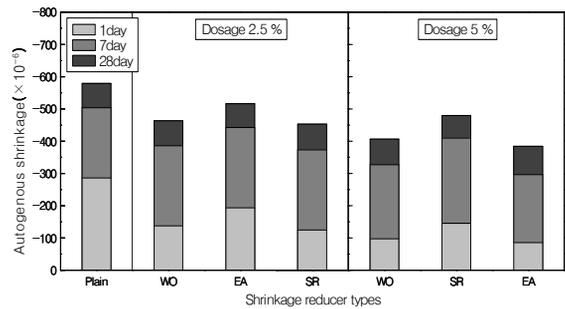


Fig. 8 Autogenous shrinkage depending on agent types

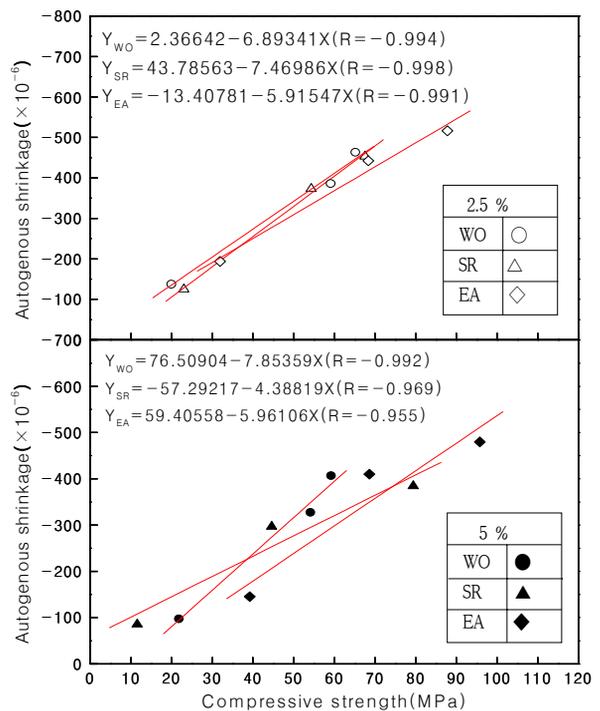


Fig. 9 Relationship between autogenous shrinkage and compressive strength

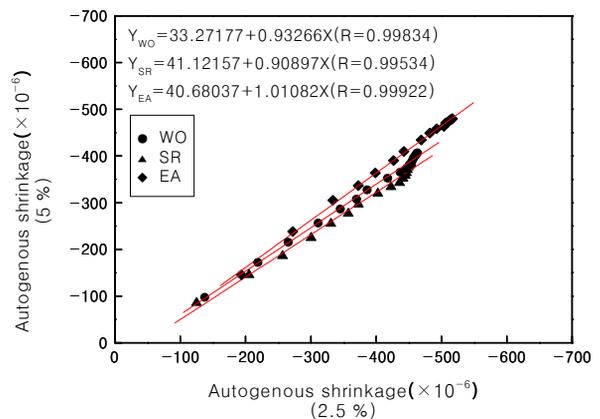


Fig. 10 Comparison of autogenous shrinkage according to dosages of agent with 2.5% and 5%

4. 결 론

참고문헌

본 연구에서는 경제적인 자기수축 저감제를 개발하기 위한 일련의 연구로서 WO, EA 및 SR를 사용한 경우 고강도 모르타에서의 공학적 특성 및 자기수축을 상호 비교·분석하였는데, 그 결과를 요약 하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 모르타의 유동성은 혼화제 치환율의 증가에 따라 WO는 물에 비해 점성이 큰 것으로 기인하여 감소하였고, SR은 WO와 반대의 성질로서, 유동성이 증가하였으며, EA는 치환율 2.5%에서는 다소 감소하였으나, 치환율 5%에서는 목표 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

2) 압축강도는 WO 및 SR의 경우 28일 재령까지 Plain에 비해 감소하는 경향을 나타내었으나, 재령 91일에서는 Plain과 유사한 강도값을 나타내었으며, 치환율 변화에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았다. EA의 경우 전반 재령에서 모두 Plain보다 높게 나타났으며, 치환율 증가에 따라서도 증가하는 것으로 나타났다. 휨강도는 압축강도와 유사한 경향으로 나타났는데, WO 및 SR의 초기재령에서의 휨강도는 Plain에 비해 다소 감소하였으며, 재령 28일에서는 Plain과 유사한 강도값을 나타내었다. 또한, EA는 압축강도와 마찬가지로 Plain보다 높은 강도값을 나타내었다.

3) 자기수축 특성은 각 혼화제간의 자기수축 저감효과를 비교하면 WO와 SR의 수축저감효과가 EA보다 비교적 양호한 것으로 나타났고, 치환율의 증가에 따라서도 증가하는 것으로 나타났다.

특히 WO의 경우 SR과 유사한 수축저감효과를 나타내었고, EA보다는 양호한 결과를 나타내므로써, 고강도 콘크리트의 영역에서 자기수축 저감 가능성을 입증할 수 있었다.

- 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·기술논문 발표회 논문집, V. 9 n. 1, pp. 69~72, 2009.
- 3) 한천구, 김성욱, 고경택, 배정렬, 팽창재 및 수축저감제를 이용한 고성능 콘크리트의 수축특성, 한국콘크리트학회논문집, Vol.15, No.6, pp. 785~793, 2003. 12.
- 4) 한천구, 반호용, 전병채, 홍상희, CSA계 팽창재 및 무기질 혼화제를 이용한 고성능 콘크리트의 특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회지, Vol.11, No.1, 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, 콘크리트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狀に關する研究, 콘크리트工學年次論文報告集 Vol. 17, No. 1, pp.1061~1066, 1995.
- 8) Hua, C., Acker, P.and Ehrlicher, A. ; Analyses and Models of the Autogeneous Shrinkage of Hardening Cement paste, Cement and Concrete Research, Vol. 25, No.7, pp.1457~1468, 1995.

폐식용유를 사용한 고강도 모르타의 자기수축 및 공학적 특성

본 연구에서는 폐식용유에 의한 고강도 모르타의 기초적 및 자기수축 특성을 팽창재, 수축저감제를 사용한 경우와 비교·분석하였는데, 그 결과는 다음과 같다. 유동성은 폐식용유의 경우 Plain에 비해 다소 적게 나타났고, 치환율의 증가에 따라서도 감소하였다. 반면, 수축저감제는 Plain보다 증가하는 것으로 나타났고, 팽창제는 치환율의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 압축강도의 경우 폐식용유 및 수축저감제에서는 상호 유사한 경향을 나타내었는데, 초기 재령에서는 플레인 배합에 비해 다소 작은 값을 나타내었지만, 재령 91일에서는 거의 유사한 강도를 나타내었으며, 팽창제는 전반 재령에서 모두 Plain보다 높은 강도를 나타내었다. 자기수축 특성을 볼때 수축저감제, 폐식용유, 팽창제 순으로 수축저감효과가 양호한 것으로 나타났는데, 특히 폐식용유의 자기수축 저감효과는 수축저감제와 큰 차이를 보이지 않았고, 팽창제에 비해 양호한 것을 알 수 있었다.