

# 강섬유보강 초고강도 시멘트 모르타의 수축저감에 관한 연구

## A Study on the Shrinkage Reducing Properties of Steel Fiber Reinforced Ultra High Strength Cement Mortar

○한 동 업\*  
Han, Dong-Yeop

허 영 선\*\*  
Heo, Young-Sun

裴 長 春\*\*  
Pei, Chang-Chun

한 천 구\*\*\*  
Han, Cheon-Goo

### Abstract

Ultra high strength concrete, nowadays, has been widely applied to construction of high-rise building. To improve ductility and mechanical properties, steel fiber is employed in UHSC. This study investigates practical application of expansive additives(EA) and shrinkage reducing agent(SRA), in order to secure volumetric stability and improved mechanical properties, such as autogenous shrinkage and dry shrinkage of steel-fiber-reinforced-ultra-high-strength-cement-mortar(FHSM). According to the test, individual addition of steel fiber does not affect shrinkage reduction, as expected. However FHSM, with combined addition of 5% of EA and 1% of SRA decreased 60% of autogenous shrinkage. It is considered that proper combination of EA and SRA can secure the shrinkage resistance of FHSM.

키 워 드 : 초고강도 모르타, 팽창제, 수축저감제, 건조수축, 자기수축

Keywords : Ultra High Strength Mortar, Expansive Additives, Shrinkage Reducing Agent, Dry Shrinkage, Autogenous Shrinkage

## 1. 서 론

현대사회에 있어서 도시집중화에 따른 인구 과밀화는 건설 분야에 있어서 건축구조물의 고층화, 대형화의 경향이 나타나고 있다. 건축물이 고층화할수록 그 재료는 더욱 강해지고, 또한 가벼워지기를 요구받고 있는데, 이에 현재 국내에서는 80MPa의 초고강도 콘크리트가 상용화되어지는 단계에 이르고 있다. 그러나 이미 선진국에서는 80MPa를 뛰어넘는 초고강도 콘크리트에 대한 연구 및 실용화가 진행되어지고 있으며, 특히, 180MPa이상인 강섬유보강 초고강도 콘크리트도 토목구조물에서는 실용화되고 있다.

그러나 콘크리트가 고강도화 할수록 W/B가 작아짐에 따라 직경이 아주 작은 모세관에 있던 물은 체적수축의 결과로 생긴 아주 미세한 공극으로 빠져나가며, 이러한 현상은 수화반응이 시작될 때 빠르게 발생하여 작은 직경의 모세관 공극내에 높은 인장응력이 생기게 되고 이는 결국 자기수축의 발생을 촉진시킨다. 따라서 고강도 콘크리트에서는 표면의 건조화가 느리게 진행되어 건조수축 변형량은 일반 콘크리트에서 보다 적어진다. 보통강도 콘크리트의 수축은 건조수축이 지배적인 반면에 고강도 콘크리트의 경우에는 자기수축이 큰 부분을 차지하고 있는데, 강섬유보강 초고강도 콘크리트에서도 이러한 현상은 유사하게 나타날 것으로 판단된다.

그러므로, 본 연구에서는 이와같은 강섬유보강 초고강도 모

르타에 대한 수축특성을 평가하고 수축저감제와 팽창제를 각각 사용하여 이에 따른 초고강도 모르타의 수축저감경향을 평가하여 차후 고인성 스마트구조 등의 활용에 기여하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

즉, W/B는 21%의 1수준에 대하여 시멘트에 대한 질량비로 실리카흙을 25% 첨가한 Plain과 Plain에 강섬유를 2%혼입한 것을 기준배합 모르타르로 하고, 이 기준배합 모르타르에 팽창제 5%, 수축저감제 1%를 각각 혼입하는 4수준으로 실험을 계획하였다. 이 때 모든 조건에 대하여 목표 플로우치  $20 \pm 5$ mm, 목표 공기량은  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 배합설계 하였다.

실험사항으로는 굳지 않은 모르타에서 플로우, 단위용적질량과 공기량, 그리고 응결시간을 측정하였고, 경화모르타에서는 압축강도, 휨강도, 인장강도와 길이변화율을 계획된 재령에서 측정하도록 실험계획 하였다.

### 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서, 시멘트는 국내산 A사의 보통 포틀랜드시멘트, 골재는 호주산 석영사, 강섬유는 국내산을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 각각 표 2-4와 같다.

혼화제로서 실리카 폼은 노르웨이산, 충전제는 국내산, 팽창제는 일본산 CSA계를 사용하였으며, 충전제는 입자크기가 10

\* 서울대학교 건축공학과 석사과정, 정회원

\*\* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원

\*\*\* 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

표 1. 실험 계획

구분	실험 수준		배합 사항			실험 사항	
			W/B(%)	목표플로우(mm)	목표공기량(%)	굳지 않은 모르터	경화 모르터
Plain	플레인(시멘트복합체)		21	200 ± 50	45 ± 1.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 플로우</li> <li>• 단위용적질량</li> <li>• 공기량</li> <li>• 응결시간</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 압축강도(28일)</li> <li>• 휨강도(28일)</li> <li>• 인장강도(28일)</li> <li>• 건조수축길이변화 (KS F 2424에 의거)</li> <li>• 자기수축길이변화 (JCI제안 방법에 의거)</li> </ul>
F2	기준배합(강섬유 2%)						
F2-E5	저수축 배합	EA 5%					
F2-S1		SRA 1%					

µm인 것을 사용하였다. 또한, 혼화제로서 수축저감제는 독일산 글루콜게, 고성능감수제는 국내산 폴리카본산계를 사용하였는데, 각 혼화재료의 물리적성질은 각각 표 5~9와 같다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	lg.loss (%)	응결시간(시)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,244	0.64	3.08	4.42	21.6	30.6	40.6

표 3. 골재의 물리적 성질

경도	함수율(%)	밀도(g/cm <sup>3</sup> )
7.0	4.0	2.65

표 4. 강섬유의 물리적 성질

밀도(g/cm <sup>3</sup> )	길이(mm)	직경(mm)	인장강도(MPa)
7.8	13.0	0.2	2500

표 5. 실리카 품의 물리적 성질

비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	lg.loss (%)	화학적 구성(%)				
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
200,000	2.20	1.50	96.00	0.25	0.12	0.38	0.1

표 6. 충전재의 물리적 성질

입자크기 (µm)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	lg.loss (%)	화학적 구성(%)				
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
10	2.61	0.01	0.15	0.004	0.03	0.01	99.3

표 7. 팽창재의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	화학적 성분 (%)					
		SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	F-CaO
2.98	3,117	3.80	28.66	13.55	51.35	0.56	16.02

표 8. 수축저감제의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	고형분 (%)	일반 사항 (%)		
		형태	색상	용해성
3.18	31	분말	백색	가용성 분말

표 9. 고성능감수제의 물리적 성질

성분	색상	형태	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	고형성분
폴리카본산계	암갈색	액상	1.01	30%

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 모르터 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 그림 1의 순서에 따라 실시하였다.

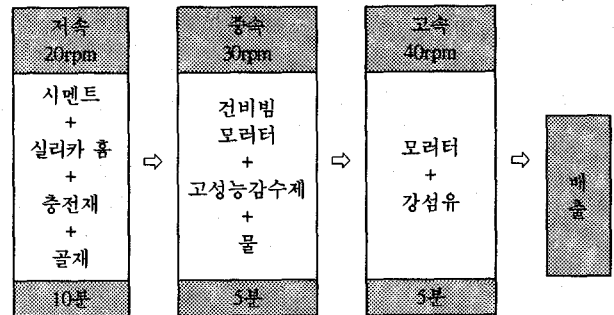


그림 1. 모르터의 혼합

굳지 않은 모르터의 실험으로 플로우 시험은 KS L 5105, 단위용적질량은 KS F 2409, 공기량은 KS L 3136, 그리고 응결시간은 KS F 2436의 프루터 관입저항 시험방법에 의거 실시하였다.

경화모르터의 실험으로는 압축강도는 KS L 5105의 시멘트 모르터 압축강도 측정 규정에 의거 50mm의 입방 공시체를 제작한 다음 UTM을 이용해 측정하였고, 인장강도는 KS L 5104 규정에 의거 공시체를 제작 및 인장강도 시험하였고, 휨강도는 KS L 5105 규정에 의거 40mm×40mm×160mm 공시체를 제작하여 계획된 재령에서 ASTM C 348의 규정에 의거 휨강도를 측정하였다. 길이변화율에 있어서 건조수축길이변화율은 KS F 2424 규정에 의거 실시하였고, 자기수축변화율은 일본콘크리트 공학협회에서 제안한 방법으로 측정하였다.

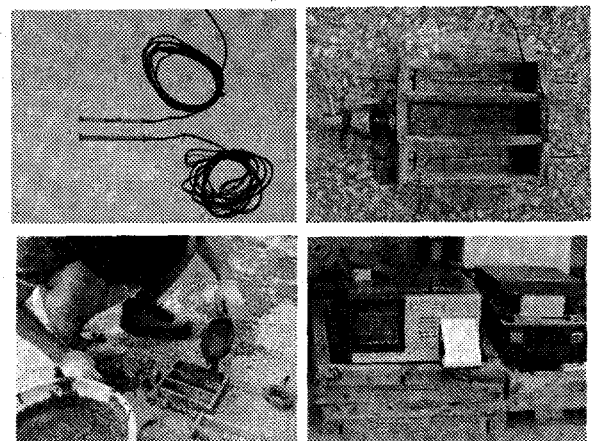


그림 2. 자기수축 실험

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지않은 모르타의 특성

표 10은 플레인 및 각 배치별 굳지 않은 모르타의 특성을 나타낸 것이다. 먼저, 유동성으로는 각 배치는 목표플로우치를 만족하는 것으로 나타났고, 수축저감제를 첨가한 F2-S1의 경우는 수축저감제의 점성저하작용에 기인하여, 유동성이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

표 10. 굳지않은 모르타의 특성

구분	플로우치(mm)		공기량 (%)	단 위 용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	응결시간(h)	
	타격전	타격후			초결	종결
Plain	16.5	18.6	4.1	2400	13.2	15.6
F2	18.5	20.3	3.9	2484	13.3	15.8
F2-E5	16.5	19	3.7	2491	12.8	15.6
F2-S1	24.5	25	2.8	2496	16.2	18.6

공기량의 경우 Plain, F2 및 F2-E5의 경우는 목표공기량을 만족하는 것으로 나타났고, 수축저감제를 첨가한 F2-S1의 경우는 공기량이 약간 저하하는 경향이였다.

응결특성으로는 Plain, F2, F2-E5가 유사한 시기에 각각 초결과 종결이 나타났으나, 수축저감제 1%를 첨가한 F2-S1만은 Plain에 비해 약 3시간정도 지연되는 것으로 나타났다.

그림 3, 4, 5는 각 특성을 그래프로 나타내고 있다.

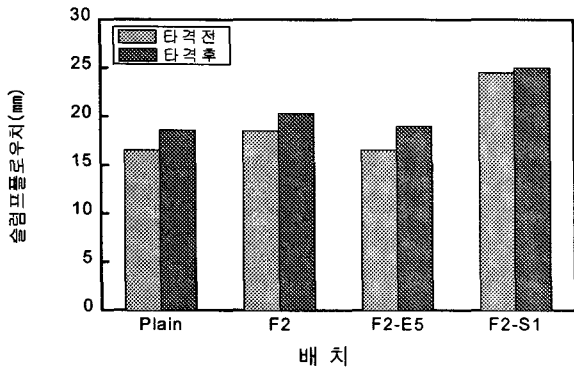


그림 3. 각 배치별 플로우치

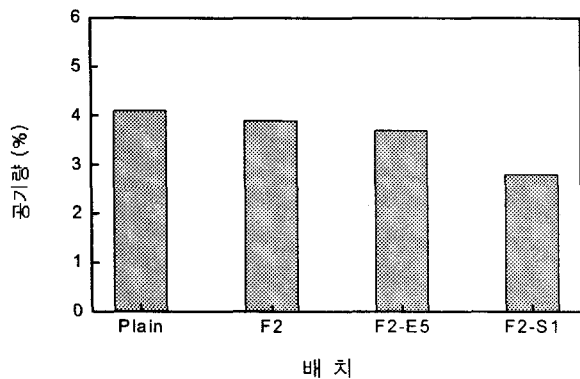


그림 4. 각 배치별 공기량

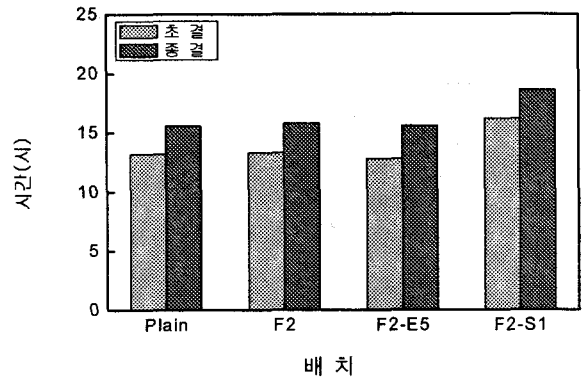


그림 5. 각 배치별 응결시간

#### 3.2 경화모르타의 특성

##### 1) 강도특성

그림 6은 혼화재별 28일 압축강도, 휨강도, 그리고 인장강도를 나타낸 것이다. 모든 배치에서 압축강도가 가장 높게 발현되었고, 휨강도와 인장강도의 순으로 나타났다. 배치별로는 팽창제 5%첨가한 F2-E5가 CSA의 에트링자이트 생성에 따른 조직치밀화로 가장 큰 강도가 발현되었다.

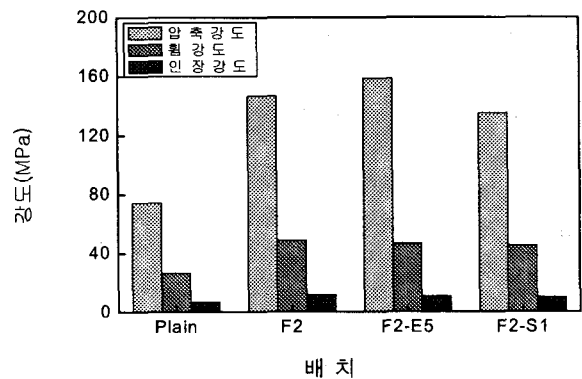


그림 6. 각 배치별 28일 압축강도, 휨강도, 인장강도

##### 2) 자기수축

그림 7은 스트레인 게이지로 측정된 각 실험변수별 재령경과에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 자기수축경과는 팽창제 5%첨가 및 수축저감제 1%첨가한 F2-E5와 F2-S1은 Plain에 비해 47%와 38%의 값으로 약 60%전후의 매우 큰 수축저감 성능을 발휘하는 것으로 나타났다. 하지만 강섬유2%를 함유한 F2는 Plain과 유사한 수축량을 보이고 있어 인장강도증진에는 효과가 있을지라도 전체적인 수축저감량 감소에는 거의 영향이 없는 것을 알 수 있었다.

##### 3) 건조수축

그림 8은 각 실험변수별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 최초 수중양생을 실시 한 후 재령 7일을 기준으로 기건양생을 실시한 결과만을 나타낸 것으로 팽창제의 팽창경향 및 수축저감제의 효과 등에 따라 미소하게 수축이 감소되기는 하나, 재령 7일 이후에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

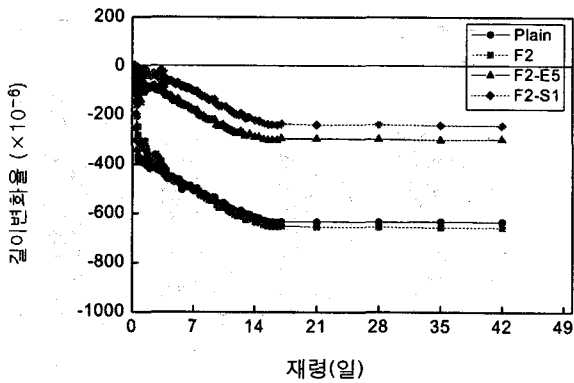


그림 7. 각 배치별 재령경과에 따른 자기수축변화율

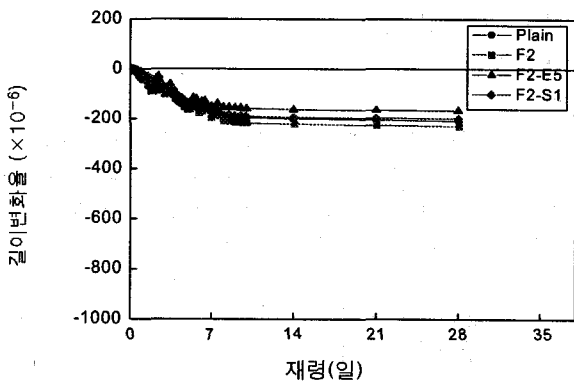


그림 8. 각 배치별 재령경과에 따른 건조수축변화율

#### 4. 결 론

본 연구는 강섬유보강 초고강도 모르터의 수축저감을 목적으로 팽창제 5%와 수축저감제 1%를 각각 첨가하고 이에 따른 굳지않은 모르터의 기초적인 특성과 경화 모르터에서의 압축강도, 인장강도, 휨강도 및 자기수축과 건조수축특성을 검토한 것으로서, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지 않은 모르터의 특성으로 Plain과 강섬유 2%만을 첨가한 F2, 강섬유 2%와 팽창제를 5% 첨가한 F2-E5는 유사한 특성으로 보였으나, 강섬유 2%와 수축저감제 1%를 첨가한 F2-S1은 우수한 유동성과 낮은 공기량을 나타내었고, 또한 응결시간에 있어서도 Plain과 비교하여 약 3시간 정도 낮은 응결 특성을 나타내었다.
- 2) 경화된 모르터의 강도특성으로 28일에서 Plain은 약 70MPa의 압축강도를 나타내는 반면 강섬유가 2%첨가된 다른 시험체들은 130MPa를 넘는 초고강도 특성을 나타내었다. 또한 이들 시험체들은 휨강도와 인장강도에 있어서도 Plain과 비교하여 높은 강도발현 특성을 나타내었다.

- 3) 자기수축특성으로는 팽창제 5%를 첨가한 경우 및 수축저감제 1%를 첨가한 경우에는 Plain과 강섬유 2%만을 첨가한 경우에 비해서 수축에 의한 길이변화가 약 60% 전후만큼 크게 감소되어 수축저감특성이 매우 우수함을 알수 있었다.
- 4) 건조수축특성으로는 팽창제를 5% 첨가한 경우 및 수축저감제를 1% 첨가한 경우에서 미소하게나마 수축이 감소되기는 하나, 재령 7일 이후의 결과로서 큰 차이는 아닌 것으로 분석된다.

#### 참 고 문 헌

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. 渡部正, 三島徹也, 傀頭誠, 自己充型高强度高耐久コンクリートを 이용한構造物の研究開發動向, 日本コンクリート工學, 2001. 2
3. 富天六郎, 後藤孝治, 酒井公武, 茂庭孝司, 收縮低減劑を用いたコンクリートの乾燥收縮およびひびれに関する實驗研究, 第5回工學年次講演會講演論文集, 1983.
3. Yang Yang, Ryoichi Sato, Kenji Kawai. Cement and Concrete Research. 「Autogenous shrinkage of high-strength concrete containing silica fume under drying at early ages」. 2004