

# 배치플랜트에 의해 제조된 SHCC의 역학적 성능 평가에 관한 연구

## The evaluation of Mechanical properties of Strain Hardening Cement-based composites manufactured at batcher plant

임창혁\*      김영선\*\*      김영덕\*\*\*      정재홍\*\*\*\*      이승훈\*\*\*\*\*      김규용\*\*\*\*\*

Lim, Chang-Hyuck   Kim, Young-Sun   Kim, Young-Duck   Jeong, Jae-Hong   Lee, Seung-Hoon   Kim, Gyu-Yong

### Abstract

This study is to examine a change of quality and a material performance of fiber reinforced cement composite for mass production. It is necessary to make Strain-hardening cementitious composite(SHCC) by batcher plant for ready-mixed concrete and use the performance of SHCC which made based on laboratory level.

This study makes a comparative performance of press and mechanics that is the property of Strain-hardening by direct tension. In case of making by batcher plant.

This experiment has demonstrated that even if it takes long after being mixed small and compared with the one which made based on laboratory, it has a tendency to be dissatisfied with fiber's dispersion and lower its performance of Strain-hardening.

The reason why the material performance of SHCC for mass production went down is through SHCC that mixed sometimes matrix's viscosity and fiber's dispersion.

키워드 : SHCC, 변형 경화 시멘트 복합 재료, 제조 방법, 성능평가, 배치 플랜트

Keywords : SHCC, Strain Hardening Cement-based composites, Manufacturing methods, Performance Evaluation, Batcher plant

## 1. 서론

다량의 섬유가 혼입된 고인성 시멘트복합재료는 높은 휨 및 인장강도와 변형경화특성, 그리고 파괴시의 복수 미세균열과 같은 특징을 바탕으로 뽑칠용 보수재료, 내진재료, 프리캐스트 재료 등으로 적용하기 위한 연구가 이루어지고 있으며 일부 적용도 이루어지고 있다. 압출성형과 같이 특별한 제조기기를 이용하여 시공성의 문제를 해결할 수 있고 품질관리가 용이한 공장 제조방법을 통해 프리캐스트제품의 형태로도 실용화되고 있는 실정이다. 이에 반해 타설을 통한 적용은, 통상의 콘크리트믹서 또는 모르타르 믹서를 사용하여 비빔 SHCC를 거푸집 내에 타설하는 방법으로, 콘크리트 구조물의 시공방법으로써 가장 일반적이지만 다량의 섬유가 혼입되어 비빔 및 품질관리가 어렵다는 단점이 있어 시공현장에서의 적용에는 어려움이 있는 실정이다.<sup>1)</sup>

또한 경제성의 문제로 일부 특별한 경우에만 적용될 뿐, 평

상시 지속적인 제조 및 출고를 기대하기 힘든 상황에서 SHCC의 제조를 위한 별도의 설비를 구비하여 제조한다는 것은 현실적으로도 생각하기 어렵다. 따라서 향후 SHCC의 용도를 확대하기 위해서는 일반 콘크리트용 믹서를 통한 제조 및 타설에 의한 시공이 가능 하도록 하는 것이 필수적이라 할수 있다.<sup>2)</sup>

이에 본 연구에서는 향후 SHCC의 용도 확대를 위한 연구의 일환으로써, 기존 콘크리트의 제조설비를 이용한 SHCC의 제조 및 타설을 통한 굳지않은 성상 및 경화특성을 평가하고, 이를 실내실험 결과와 비교, 검토함으로써 향후 SHCC의 현장 적용을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획 및 배합

본 연구에서는 총 2종의 SHCC를 대상으로 배치플랜트 제조 및 타설시공에 의한 실험을 실시하였으며, 배치플랜트에서 제조된 표준 시험체와, 동일한 배합으로 실험실에서 제작된 표준 시험체의 굳지 않은 성상 및 경화 특성을 비교, 검토하고자 하였다.

\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

\*\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

\*\*\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 공학박사

\*\*\*\* 삼성물산(주) 건축부문, 건축사업본부

\*\*\*\*\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 교수·공학박사

표 1. 실험계획 및 배합

구 분	비법 방법	W/B	S/B <sup>3)</sup>	매트릭스 배합 (중량비)				섬유종류 및 길이	섬유혼입률 (vol.%)	평가항목
				W	C	FA	S			
PE-15mm-1.5	BP <sup>1)</sup> Lab <sup>2)</sup>	0.45	0.8	0.45	0.9	0.1	0.8	P E 15mm	1.5	공기량(%), 슬럼프(mm) 압축강도 (MPa) 인장강도 (MPa) 휨강도 (MPa)
PE-12mm-2.0			0.5	0.45	0.9	0.1	0.5	P E 12mm	2.0	

<sup>1)</sup> BP : batcher plant, <sup>2)</sup> Lab : laboratory, <sup>3)</sup> B : Binder

굳지 않은 성상으로는 공기량, 슬럼프 플로우 및 테이블 플로우를 측정하였으며, 경화특성으로는 압축, 휨인장강도를 평가하고자 하였다. 본 연구의 실험계획 및 배합을 표 1에 나타내었다. W/B는 0.45로 설정하였으며, 접성을 확보하기 위해 Binder의 10%를 플라이애시로 대체하였다. PE섬유는 길이 12mm, 15mm의 2종을 사용하였으며, 길이에 따른 유동성을 고려하여 혼입 및 S/B를 설정하였다. 한편 사용재료의 물리적 성질을 표 2에 나타내었다.

표 2. 사용재료의 물리적 성질

사용 재료	물리적 성질
시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 밀도 3.15g/cm <sup>3</sup> , 분말도 : 3,330cm <sup>2</sup> /g
플라이애시	밀도 2.14g/cm <sup>3</sup> , 분말도 : 3,400cm <sup>2</sup> /g
혼화제	감수제 (폴리카르본산계), AE제 증점제 (HPMC)
잔골재	7호 규사(입도 : 0.1~0.3mm) 밀도 : 2.64g/cm <sup>3</sup> , 흡수율 : 0.38%)
PE섬유	직경 : 12 $\mu$ m, 인장강도 : 2,700Mpa, 폴리에틸렌 밀도 : 0.95g/cm <sup>3</sup> , 길이 : 1,215mm

2.2 실험방법

실내 실험에서는 용량 100l 의 2-Shaft식 믹서를 사용하여 SHCC를 제조하였다. 재료의 투입 및 비빔시간은 그림 1과 같이 재료를 투입하여 건비빔을 실시한 다음 물, 감수제, 및 AE제를 동시에 투입하여 모르타르비빔을 실시하였다. 이후 섬유를 일괄 투입하고 섬유의 분산을 육안으로 확인하며 비빔 후 토출하여 시험체를 제작하였다. 또한 플랜트 실험에서는 용량 3.5m<sup>3</sup>의 2-Shaft식 믹서를 사용하였으며, 재료 투입 및 비빔 시간은 그림 2에 나타난 바와 같이, 분말형 재료 투입 후 건비빔을 실시한 뒤, 물을 투입하고 비빔을 진행하며 감수제 및 AE제를 투입하였다. 이때 플랜트 믹서의 상부를 통해 재료의 덩어리가 보이지 않을 때까지 비빔을 실시하였으며, 이 후 섬유를 투입하고 섬유의 분산을 확인 한 후 애지데이터 트럭에 토출, 운반하여 시험체를 제작하였다.

제작된 시험체는 재령 3일에 탈형하고, 20 $^{\circ}$ C 수중에서 28일간 양생한 후 경화성상을 평가하였다. 이때 휨강도는 KS F 2408「콘크리트의 휨강도 시험방법」에 준하여 측정하였고, 인장강도는 사진 1과 같이 박판아령형 시험체를 제작한 후 양단

이 회전단으로 구성된 일축 직접인장시험치를 통해 평가하였으며, 0.15mm/min.속도의 변위제어방식으로 재하를 실시하였다.

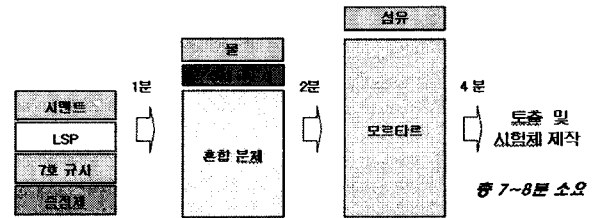


그림 1. 실내 실험시의 재료투입 및 비빔방법

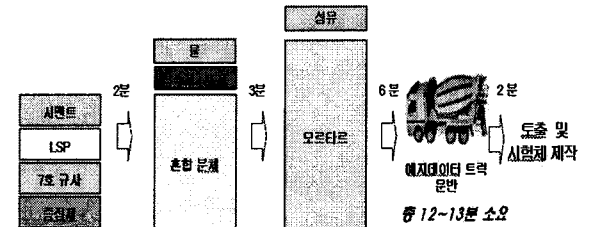
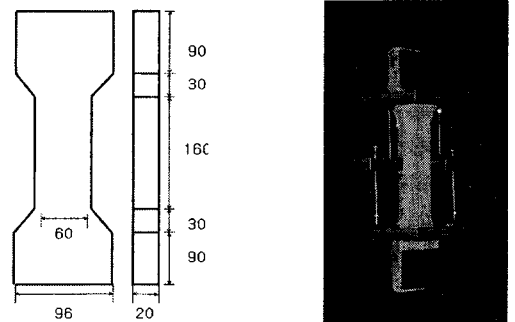


그림 2. 배치플랜트 실험시의 재료투입 및 비빔방법



a) 시험체 형상 b) 직접 인장 시험기

사진 1. 일축 직접인장 시험의 개요

표 3. 비빔방법에 따른 혼화제 투입량

시험체 종류	비법 방법	SP (B wt.%)	AE (B wt.%)	HPMC (W wt.%)
PE-15mm-1.5	실내	2.5	0.11	1.0
	배치	3.0	0.20	1.2
PE-12mm-2.0	실내	2.0	0.09	0.9
	배치	2.0	0.20	0.9

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 성상

표 3은 비빔방법에 따른 혼화제 투입량을 나타낸 것이며,

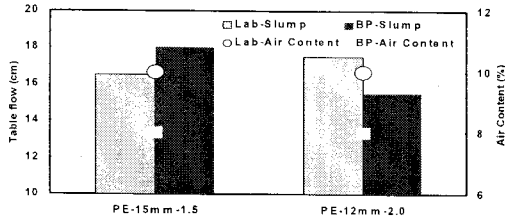


그림 3. 제조방법에 따른 SHCC의 굳지 않은 성상

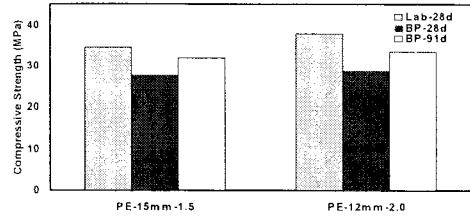
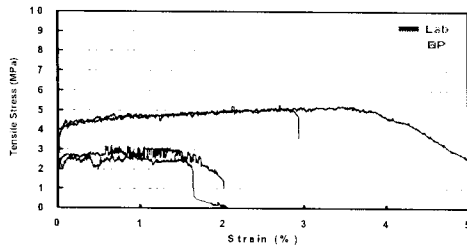
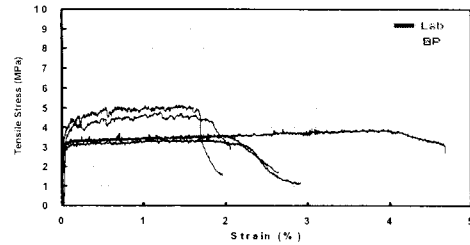


그림 4. 제조방법에 따른 SHCC의 압축강도

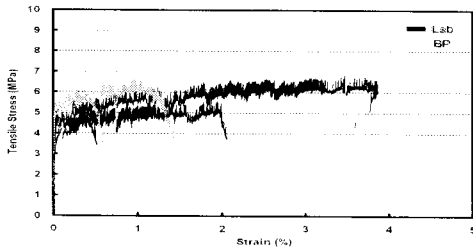


(a) PE-15mm-1.5

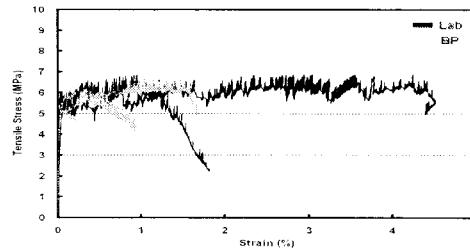


(b) PE-12mm-2.0

그림 5. 제조방법에 따른 인장응력-변형곡선 (28일)



(a) PE-15mm-1.5



(b) PE-12mm-2.0

그림 6. 제조방법에 따른 인장응력-변형곡선 (91일)

그림 3에 제조방법에 따른 PE-SHCC의 테이블 플로우 및 공기량 평가결과를 종합하여 나타내었다. 평가결과 배치플랜트에서 생산된 SHCC의 경우 실험실 비빔에 비해 AE제를 2배 이상 투입하였으나 오히려 공기량이 다소 감소하고 시공성도 저하하는 것으로 나타났으며, 이는 현장에서 사용한 FA의 품질에 영향을 받았을 것으로 사료된다. 특히 섬유 길이가 긴 PE-15mm-1.5의 경우, 플랜트 예비 비빔시 섬유의 분산이 제대로 이루어지지 않았기 때문에, 본 비빔시에는 증점제와 감수제를 추가로 투입하여 플로우는 다소 향상시켰으나, 육안으로 관찰한 성상은 점성이 작고 섬유의 분산은 여전히 불량한 것으로 나타났다.

### 3.2 압축 거동

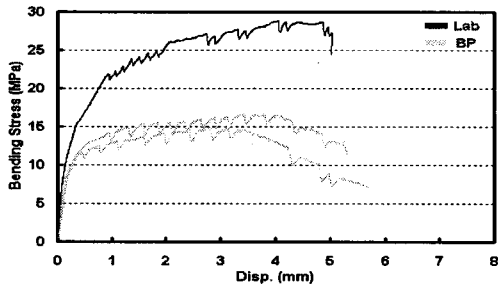
그림 4는 제조방법에 따른 28일에서 압축강도 평가결과를 나타낸 것으로 평가한 결과, 실험실에서 제조된 시험체에 비해 배치플랜트에 의해 제조된 시험체의 강도가 낮은 것으로 나타났다. 또한 배치플랜트 제작 시험체의 경우 재령이 28일에서 91일로 증가할수록 강도가 증가하는 것으로 나타났으나 실험실에서 제작한 재령 28일 시험체에 비해 여전히 강도는 낮은 것으로 나타났다. 배치플랜트에서 제조한 재령 28일 시

험체의 경우 혼화제 사용량 증가 및 초기 양생온도가 다소 낮아 강도 발현이 늦은 가능성도 있지만, 장기 양생 후에도 여전히 압축강도가 낮게 나타난 것은 섬유 분산 불량 등에 의한 내부의 재료적 불균질 때문인 것으로 판단된다.

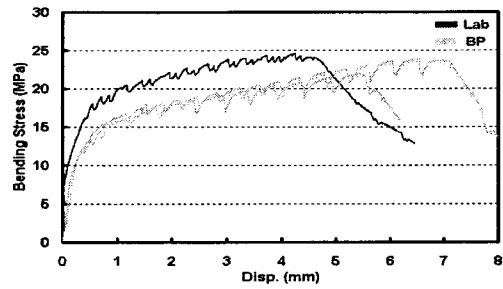
### 3.3 인장 거동

그림 5 및 6은 제조방법에 따른 재령 28일, 91일에서의 SHCC의 인장응력-변형을 평가한 것으로, 전반적으로 실내에서 제작한 시험체의 인장강도 및 변형율이 우수한 것으로 나타났다. 특히 PE-15mm-1.5의 경우 실내 제작 시험체는 PE-12mm-2.0에 비해 강도 및 변형율이 매우 우수한 것으로 나타났으나, 배치플랜트 제조시에는 성능이 급격하게 저하하여 PE-12mm-2.0보다 더 낮은 것으로 평가되었다. 이는 실내실험의 경우 섬유의 길이가 긴 경우에도 충분히 균질한 제조가 가능하였으나, 배치플랜트 비빔의 경우 시공성 및 균질성이 저하하여 경화특성까지 저하시키는 것으로 사료된다.

한편 재령 91일 평가결과 전반적으로 인장강도는 증가하였으나 변형성능은 유사하거나 다소 저하하는 것으로 나타났다. 이는 매트릭스의 강도 증가에 따른 터프니스 증가에 의해 멀티플랙의 발생이 어려워졌기 때문으로 판단된다.

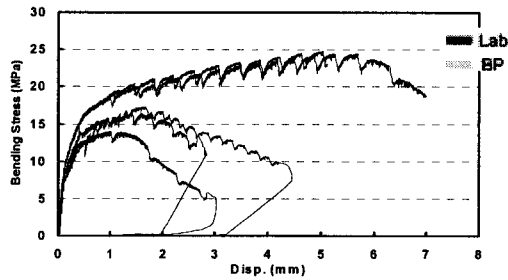


(a) PE-15mm-1.5

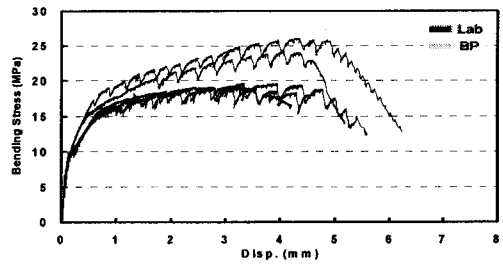


(b) PE-12mm-2.0

그림 7. 제조방법에 따른 휨응력-처짐곡선 (28일)



(a) PE-15mm-1.5



(b) PE-12mm-2.0

그림 8. 제조방법에 따른 휨응력-처짐곡선 (91일)

### 3.4 휨 거동

그림 7, 8은 제조방법에 따른 재령 28일 및 91일의 휨응력-처짐곡선을 나타낸 것으로 전반적으로 휨강도 및 처짐성능은 실내 제조 SHCC가 우수하게 나타났다. 특히 PE-15mm-1.5의 경우 인장성능 평가결과와 유사하게 배치플랜트 제조시 성능저하가 뚜렷하게 나타났다. 한편 재령 91일 시험체의 평가결과 휨강도가 유사하거나 오히려 저하하는 것으로 나타났으며, 특히 처짐성능이 크게 감소한 PE-15mm-1.5의 경우 강도 역시 크게 감소하였다. 이는 SHCC의 휨강도가 멀티플크랙의 발생과 처짐이 증가에 따라 증가하는데, 재령 91일의 경우 전체적인 처짐성능이 유사하거나 오히려 감소하여 휨강도 역시 감소한 것으로 판단된다.

## 4. 결론

- (1) 배치플랜트를 통한 SHCC의 제조시에는 굵은 골재가 없어 비빔효율이 떨어지는 특성을 고려하여 건비빔 및 비빔시간을 길게 하고, 증점제 등 혼화제 사용량을 조절해야하며, 일반 콘크리트에 비해 FA 등 혼화재료가 다량 사용되므로 재료의 품질에 따른 영향도 큰 것으로 나타났다.
- (2) 제조방법에 따른 섬유유 분산 및 균질성 차이가 SHCC의 성능에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 특히

섬유의 길이가 길수록 비빔 효율이 낮은 현장 배치플랜트 제조시 성능저하가 뚜렷하게 발생하였다. 따라서 향후 현장 적용을 위해서는 제조방법 차이에 따른 비빔 효율 저하를 고려하여 재료 및 배합을 선정해야 할 것으로 사료된다.

- (3) 재령이 증가할수록 휨 및 인장특성은 오히려 감소할 수 있으므로, 현장적용시 필요한 소정의 목표성능을 만족하는지를 평가하기 위해서는 장기재령에서의 평가가 필수적인 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 삼성물산(주) 건설부문의 지원에 의해 수행되었습니다. 논문에 참여한 연구자의 일부는 2단계 BK21의 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다

### 참고 문헌

1. 河合 正則, 森山 守, 林 承燦, 内田 裕市, 一軸引張試驗と曲げ試験から得られるHPFRCCの応力-ひずみ関係, 콘크리트工学年次論文集, Vol.29, No.1, 2007, pp.345~350
2. 稲熊 唯史, 山下 賢司, 水田 武利, 六郷恵哲, HPFRCC의 텐ション스티芬닝特性的의評價, 콘크리트工学年次論文集, Vol.28, No.1, 2006, pp.329~334