

# 특수 가공된 셀룰로오스섬유보강 콘크리트의 초기 특성

## Properties of Specialty Cellulose Fiber Reinforced Concrete at Early Ages

원 증 필\*      박 찬 기\*\*  
Won, Jong-Pil      Park, Chan-Gi

### Abstract

Specialty cellulose fibers processed for the reinforcement of concrete offer relatively high levels of elastic modulus and bond strength. The hydrophilic surfaces of specialty cellulose fibers facilitate their dispersion and bonding in concrete. Specialty cellulose fibers have small effective diameters which are comparable to the cement particle size, and thus promote close packing and development of dense bulk and interface microstructure in the matrix. The relatively high surface area and the close spacing of specialty cellulose fibers when combined with their desirable mechanical characteristics make them quite effective in the suppression and stabilization of microcracks in the concrete matrix. The properties of fresh mixed specialty cellulose fiber reinforced concrete and the contribution of specialty cellulose fiber to the restrained shrinkage crack reduction potential of cement composites at early age and their evaluation are presented in this paper. Results indicated that specialty cellulose fiber reinforcement showed an ability to reduce the total area significantly (as compared to plain concrete and polypropylene fiber reinforced concrete).

### 1. 서론

콘크리트의 구조성능저하와 파괴의 원인은 콘크리트에 발생하는 미세균열의 형성과 관계가 있다. 일반적으로 콘크리트는 경화 초기 수화열 과 수분의 이동이 발생하며 이와 같은 열과 수분의 이동이 구속되었을 때 인장응력이 발생하여 균열이 형성된다. 이러한 균열은 콘크리트의 투수성을 증가시키고 이로 인한 다양한 형태의 파괴를 촉진시켜 콘크리트 구조물 본래의 기능을 상실하게 한다.

따라서 균열의 억제 와 안정은 콘크리트의 내구성능 등 공용연수증대에 필수적이라 할 수 있다.

콘크리트 보강섬유로 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유는 비교적 높은 탄성계수와 시멘트 풀과의 높은 부착강도를 가지며, 시멘트 입자 크기에 비해 유효직경이 작아 콘크리트를 밀실하게 만들어준다. 또한 표면적이 높으면서도 단위면적당 차지하는 수가 많아 콘크리트 내에 발생하는 미세균열을 억제 하고 안정화하여 콘크리트의 역학적 성질을 증대시킨다. 본 연구에서는 콘크리트의 보강재로서 사용할

\* 건국대학교 농공학과 교수

\*\* 건국대학교 농공학과 대학원 석사과정

수 있게 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유보강 콘크리트의 굳지 않은 콘크리트의 특성과 균열 제어 능력 등을 실험을 통하여 분석하고 그 결과를 보통 콘크리트 및 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트와 비교하여 콘크리트 보강재료로서 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 적용성을 평가하려고 한다.

## 2. 재료 및 실험변수

### 2.1 폴리프로필렌섬유/특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유

폴리프로필렌 섬유는 낮은 비중을 가지고 있으나, 인장강도 및 휨강도가 우수한 장점을 가지고 있어 현재 콘크리트 보강섬유로 가장 널리 사용되고 있다. 본 연구에서 사용된 폴리프로필렌섬유는 국내 S사에서 생산된 제품으로 망사형을 사용하였다.

콘크리트 보강섬유로 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유는 비교적 높은 표면적과 강성이 높아 콘크리트의 미세균열을 억제하고 안정화하여 콘크리트의 역학적 성질을 증대시키는데 매우 효과적이다. 본 연구에서 사용된 폴리프로필렌섬유와 특수 가공된 셀룰로오스 섬유의 특성을 Table 1에 나타내었다.

### 2.2 시멘트 및 골재

본 연구에서는 보통 포틀랜드시멘트(Type I)가 사용되었고, 잔골재는 강사가 사용되었으며, 굵은 골재는 최대 치수 25mm의 부순골재가 사용되었다. 사용된 골재의 물리적 특성은 Table 2에 제시하였다.

### 2.3 배합설계

본 연구에서는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유 첨가량에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성, 균열 제어 특성 등을 측정하기 위해서 섬유 첨가량을  $0.9\text{kg/m}^3$ ,  $1.3\text{kg/m}^3$ ,  $1.5\text{kg/m}^3$ 으로 변화시켰으며, 관찰된 결과를 보통 콘크리트와  $0.9\text{kg/m}^3$ 의 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트와 비교하였다. 본 연구에서 사용된 배합설계는 Table 3과 같다.

Table 1 Properties of specialty cellulose fiber versus polypropylene fiber<sup>(1)</sup>

Property	Fiber Type	
	Speciality Cellulose	Polypropylene
Elastic Modulus, (kg/cm <sup>2</sup> )	$61 \times 10^4$	$4 \times 10^4$
Bond Strength(kg/cm <sup>2</sup> )	15.3	4.1
Effective Diameter(mm)	0.015	0.1
Length-to-Diameter Ratio	200	120
Tensile Strength(kg/cm <sup>2</sup> )	5100	6120
Density(g/cm <sup>3</sup> )	1.5	0.9
No. of Fibers per Gram	2,000,000	12,000
Fiber Count, 1/cm	90	0.6
Specific Surface, 1/cm	0.13	0.033

Table 2 Physical properties of fine and coarse aggregate

	Specific Gravity			Absorption(%)	F.M
	Bulk	Bulk(SSD)	Apparent		
Fine agg.	2.59	2.60	2.63	0.67%	2.99
Coarse agg.	2.8	2.62	2.83	0.35	-

Table 3 Mix proportions

	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	w/c (%)	s/a (%)	Coarse Agg. (kg/m <sup>3</sup> )	Sand (kg/m <sup>3</sup> )	Fiber Content (kg/m <sup>3</sup> )
Plain	190	390	49	46	970	822	-
Polypropylene Fiber	190	390	49	46	970	822	0.9
Cellulose Fiber	190	390	49	46	970	822	0.9
	190	390	49	46	970	822	1.3
	190	390	49	46	970	822	1.5

### 3. 실험방법

콘크리트의 배합은 먼저 시멘트와 잔골재, 굵은골재를 혼합하여 30초간 건 비빔을 실시한 후, 배합수를 첨가하고 1분 30초간 믹싱을 실시하였다. 마지막으로 섬유를 첨가한 후 3분간 믹싱을 실시하였다.

#### 3.1 워커빌리티 및 공기량

특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 첨가에 따른 작업성에 대한 영향을 알아보기 위해서 KSF 2402에 의한 슬럼프실험을 실시하였고, 공기량의 변화를 알아보기 위해서 KSF 2401에 의한 실험을 실시하였다.

#### 3.2 소성수축균열 제어 특성

콘크리트의 타설 초기 급격한 수분의 증발에 의해서 발생하는 소성수축균열에 대한 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 저항성을 평가하기 위해서 305mm×305mm×25mm의 실험 시편을 제작하였고, 시편의 중앙에는 콘크리트의 수축을 구속하기 위해서 강제링을 설치하였다. 본 연구에서 사용된 실험 시편을 Figure 1에 제시하였다.

실험은 28℃의 온도와 35%의 상대습도에서 콘크리트표면에 4~4.6m/s의 바람을 작용시키면서 24시간동안 실시하였다.

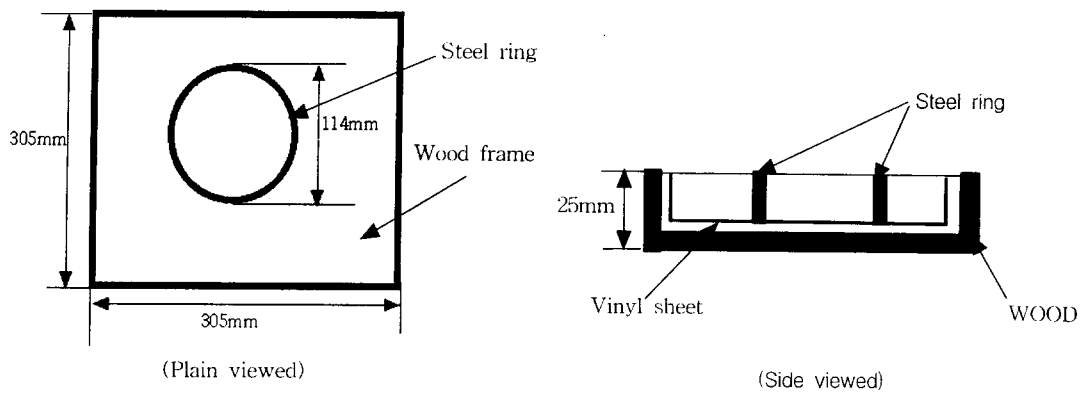


Figure 1 Restrained plastic shrinkage test set-up

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 워커빌리티 및 공기량

특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 첨가량이 증가할수록 슬럼프 값은 감소하는 경향을 보여주었다. 이와 같은 결과는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 bridging 작용에 의한 것이라 판단되며, 폴리프로필렌섬유와 비교한 슬럼프 값의 감소는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유가 그리 크지 않다는 것을 보여준다. 또한 공기량은 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 첨가량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 섬유의 첨가량이 증가할수록 섬유와 시멘트 매트릭스사이의 공극의 증가에 의한 것이라 판단되며, 폴리프로필렌섬유와 비교한 공기량의 증가는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유가 시멘트 매트릭스와 뛰어난 부착능력을 가지고 있어, 시멘트 매트릭스내의 공극의 생성이 폴리프로필렌섬유보다 작아 공기량의 증가는 상대적으로 크지 않다는 것을 보여준다. 워커빌리티 및 공기량실험 결과는 2번 반복해서 평균한 결과로 Table 4, Figure 2, Figure 3에 나타내었다.

Table 4 Slump and Air content results

	Plain	PP Fiber (0.9kg/m <sup>3</sup> )	Cellulose Fiber (0.9kg/m <sup>3</sup> )	Cellulose Fiber (1.3kg/m <sup>3</sup> )	Cellulose Fiber (1.5kg/m <sup>3</sup> )
Slump(cm)	14.6	8.95	12.6	11.4	10
Air content(%)	4.6	5.9	4.8	4.9	5.3

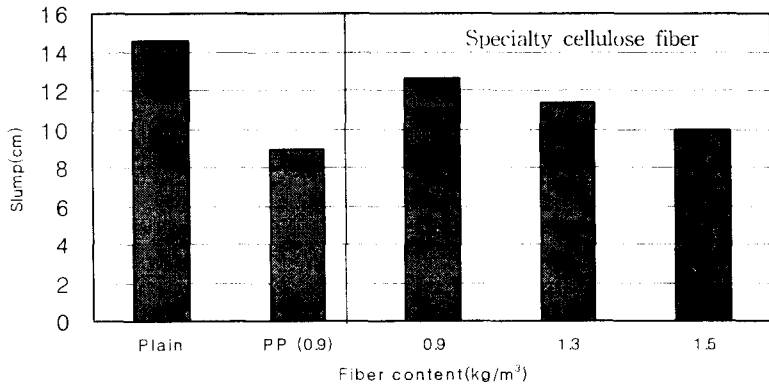


Figure 2 Slump test results

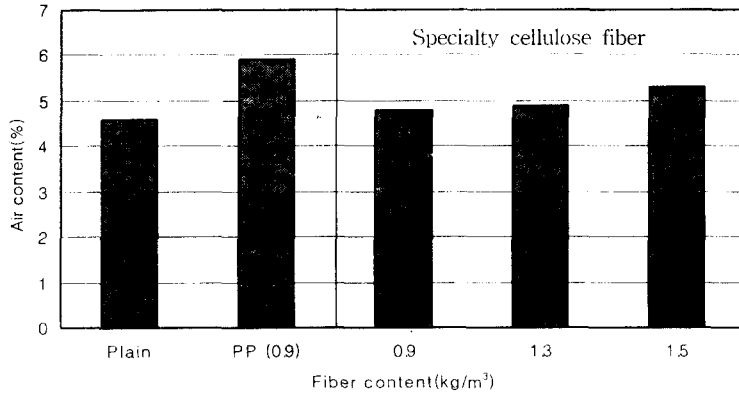


Figure 3 Air content test results

#### 4.2 피니셔빌리티 특성

섬유보강 콘크리트에서 큰 문제점 중에 하나는 콘크리트 표면에 노출되는 섬유로 인한 피니셔빌리티이다. 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유는 시멘트 입자에 비하여 상대적으로 작은 입자를 가지고 있어 콘크리트의 피니셔빌리티에 큰 영향을 미치지 않는다.

#### 4.3 균열제어특성

구속된 소성수축균열실험 결과는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유로 보강한 콘크리트에서 발생한 총 균열면적이 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트 및 보통 콘크리트와 비교하여 매우 감소하는 결과를 보여주었다. 이와 같은 결과는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유가 시멘트 매트릭스와의 부착능력이 뛰어나고, 단위면적당 차지하는 섬유의 수가 많으며, 섬유의 유효면적이 커 상대적으로 미세균열의 제어 효과가 크기 때문인 것으로 본다. 실험결과를 Table 5, Figure 5에 각각 나타내었다.

Table 5 Restrained plastic shrinkage test results

	Plain	PP Fiber(0.9kg/m <sup>3</sup> )	Cellulose Fiber(1.5kg/m <sup>3</sup> )
Total Crack Area(mm <sup>2</sup> )	31.6	10.8	2.25

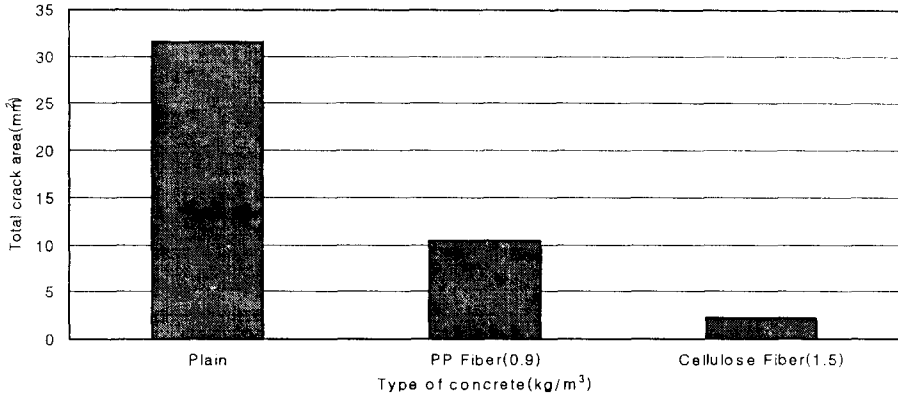


Figure 5 Restrained plastic shrinkage cracking test results

## 5. 결론

본 연구는 콘크리트보강재료로서 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유를 사용한 콘크리트의 균열 많은 콘크리트 특성 및 소성상태에서의 균열제어 특성을 평가하기 위한 것으로서 보통 콘크리트와 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트와의 상대 비교를 하였다. 실험을 통한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유보강 콘크리트의 슬럼프 시험결과는 섬유의 첨가량이 증가할수록 슬럼프 값은 감소하였다. 이와 같은 결과는 섬유의 bridging 효과에 의한 것이라 판단된다.  
또한 공기량시험 결과는 섬유의 첨가량이 증가할수록 증가하는 경향을 보여주었다. 이와 같은 결과는 섬유의 첨가량이 증가할수록 시멘트 매트릭스와의 완전한 부착을 이루지 못해 발생하는 공극의 증가에 의한 것으로 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유는 폴리프로필렌섬유와 비교하여 시멘트 매트릭스와의 부착능력이 뛰어나 공기량의 증가는 그리 크지 않았다.
- (2) 특수 가공된 셀룰로오스섬유의 첨가는 콘크리트의 피니셔빌리티에 큰 영향을 미치지 않았는데, 이와 같은 결과는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 유효지름이 0.015mm로 시멘트 입자와 비교하여 상대적으로 작기 때문이다.
- (3) 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유는 뛰어난 균열제어 특성을 보여주었는데 이와 같은 결과는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유가 시멘트 매트릭스와 뛰어난 부착능력을 가지고 있으며 섬유가 차지하는 유효면적이 커 미세균열의 발생과 성장의 제어에 효과적이기 때문이다.

### [참고문헌]

1. 원 종필외, 셀룰로오스섬유보강 콘크리트의 소성수축균열에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회, pp. 319-323 1998