

셀룰로우스섬유보강 콘크리트의 소성수축 균열에 관한 실험적 연구

Experimental Study for Plastic Shrinkage Cracking of Cellulose Fiber Reinforced Concrete

원 종 필* 박 찬 기** 안 태 송***
Won, Jong-Pil Park, Chan-Gi Ahn, Tae-Song

ABSTRACT

Plastic shrinkage cracking is a major concern for concrete, especially for flat structures as highway pavement, slabs for parking garages, and walls. One of the methods to reduce the adverse effects of plastic shrinkage cracking is to reinforced concrete with short randomly distributed fibers.

The contribution of cellulose fiber to the plastic shrinkage crack reduction potential of cement composites and its evaluation are presented in this paper. The effects of differing amounts of fibers(0.9kg/m³, 1.3kg/m³, 1.5kg/m³) were studied. The results of tests of the cellulose fiber reinforced concrete were compared with plain concrete and polypropylene fiber reinforced concrete. Results indicated that cellulose fiber reinforcement showed an ability to reduce the total area and maximum crack width significantly(as compared to plain concrete and polypropylene fiber concrete).

1. 서론

콘크리트가 타설된 후 콘크리트가 양생이 시작되기 전에 갑자기 낮은 습도의 대기나 바람에 노출됨으로써 발생하는 균열을 소성수축균열이라 한다. 소성수축균열의 발생과정을 살펴보면 우선 노출된 표면에서 수분증발이 타설된 콘크리트의 블리딩 속도 보다 빠르게 일어날 경우 표면이 수축하게 되고 이것은 표면아래에 있는 콘크리트의 구속으로 인하여 표면에 인장응력을 유발하게 된다.

결국 이 인장응력이 콘크리트 표면의 균열을 발생시켜 표면을 파괴시킨다. 소성수축 균열은 벽, 슬래브, 도로 같은 구조물에 많이 발생하며, 소성수축 균열로 인한 구조물의 성능저하를 유발한다. 수축 균열로 인한 영향을 줄이는 방법중의 하나가 콘크리트의 보강재로서 섬유를 사용하는 것인데, 섬유의 첨가는 섬유가 균열의 발생 및 진행을 억제하고 균열의 넓이를 상당히 줄일 수 있기 때문이다. 기존의 콘크리트 보강재로서 가장 널리 사용되고있는 섬유는 폴리프로필렌섬유이다. 콘크리트 보강재로서 폴리프로필렌섬유는 상당한 수축균열의 감소효과가 있는 것으로 알려져 왔지만, 많은 미소균열을 발생

* 정희원, 건국대학교 농공학과 교수

** 건국대학교 농공학과 석사과정

*** 정희원, 한국도로공사 도로연구소 재료연구실 실장

시켜 또다른 문제점을 발생 시킬수 있는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 폴리프로필렌섬유의 이런 단점을 해결하기 위하여 시멘트매트릭스와 부착능력이 우수한 셀룰로우스섬유를 사용, 소성수축으로 인한 콘크리트의 균열 억제효과에 대하여 연구하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 사용재료

(1) 폴리프로필렌/셀룰로우스섬유

폴리프로필렌 섬유는 다른 섬유재료에 비해 낮은 비중을 가지고 있으며, 인장강도 및 휨강도가 우수한 장점을 가지고 있어 현재 콘크리트의 보강용으로 가장 널리 사용되고 있는 섬유중 하나이다.

본 연구에서 사용된 폴리프로필렌섬유는 망사형을 사용하였다.

나무로부터 가공해서 만든 셀룰로우스섬유는 높은 강성을 가지고 있으며 또한 콘크리트의 파괴에너지를 높이는 동시에 인장강도, 휨강도, 인성 및 충격에 저항할 수 있는 힘을 높여주는데 효과적이다. 사용된 섬유의 특성을 Table 1 에 나타내었다.

Table 1. Some Key Properties of Cellulose Fibers Versus Polypropylene Fibers

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

(2) 시멘트 및 골재

본 연구에서는 보통 포틀랜드 시멘트(Type I)가 사용되었고, 잔골재는 강사가 사용되었다. 골재의 물리적 특성은 Table 2 에 나타내었다.

Table 2. Physical properties of fine aggregate

Specific Gravity			Absorption(%)	F.M
Bulk	Bulk(SSD)	Apparent		
2.59	2.60	2.63	0.67%	2.99

2.2 실험시편 제작

콘크리트의 소성수축균열을 감소시키기 위해 각종 섬유가 널리 사용되고 있지만, 섬유의 소성수축 균열감소의 잠재성을 평가할수 있는 규정된 시험방법이 없다. 본 연구에서는 1980년대 중반 Kraai에 위해서 수행된 실험방법에 준하여 수행하였다.^{1,2}

본 실험방법은 얇은 판 형태의 시편을 제작하고 건조시킴으로 해서 발생하는 표면의 균열을 관찰할수 있게 90×90×1.9 cm의 얇은 판 모양의 시편을 제작하고 바닥은 콘크리트의 수축이 자유롭도록 비닐

막을 설치하였다. 또한 구속효과가 나타나 인장응력을 집중시키도록 90×60cm 둘레에 10cm 간격으로 구속섬유를 설치하였다.^{1,2}

2.3 실험 변수

본 연구에서는 셀룰로우스섬유 첨가량에 따른 소성수축균열제어 특성을 관찰하기 위해서 섬유첨가량을 0.9kg/m³, 1.3kg/m³, 1.5kg/m³으로 변화 시켰으며, 관찰된 결과를 plain 콘크리트 와 0.9kg/m³의 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트와 비교하였다. 본 연구에서 사용된 배합설계를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Mix Proportion (1 m³)

	Cement(kg)	Water(kg)	Fine Agg. (kg)	섬유(kg)
Plain Concrete	388	182	629	-
Polypropylene Fiber	388	182	629	0.9
Cellulose Fiber	388	182	629	0.9
	388	182	629	1.3
	388	182	629	1.5

2.4 실험방법

콘크리트의 배합은 먼저 시멘트와 잔골재, 굵은골재를 혼합하여 30초간 건비빔을 실시한후, 배합수를 첨가하고 1분 30초간 비빔을 실시한다. 마지막으로 섬유를 첨가한후 2-3분간 비빔을 실시하였다. 콘크리트를 타설한 시편은 28℃의 온도와 45±5%의 상대습도에 노출시키고 콘크리트 표면에는 3.4m/s~4.0m/s의 바람을 작용시켰다. 균열 발생의 관찰은 콘크리트의 소성수축 균열발생의 중요한 요인중에 하나인 타설 초기 수분의 증발량을 환경적 요인으로 고려하여 콘크리트 타설시간부터 12시간 동안 관찰하였다.

3. 실험결과 및 분석

소성수축균열은 콘크리트를 타설한 후 30분에서 120분 사이에 형성되었으며 균열의 발생은 콘크리트가 타설된후 6시간후에 최종적으로 안정화되었다. 균열의 최종적인 관찰은 타설 12시간후에 균열의 형상과 균열폭, 균열의 길이등을 측정함으로써 실시하였다. 균열면적은 균열의 길이에 균열의 폭을 곱하여 구하였는데 균열의 길이 대신에 면적을 균열의 특징으로 나타낸 것은 폭이 넓은 균열과 미소 균열이 동시에 존재하기 때문이다.

소성수축균열 발생의 환경적 요인으로 Plain 콘크리트, 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트 와 셀룰로우스섬유보강 콘크리트의 초기수분 증발율을 관찰하였다. 수분의 증발율은 자유수면에서 7.3g/hr, Plain 콘크리트에서는 8.16g/hr, 폴리프로필렌섬유 보강콘크리트에서는 6.4g/hr이며 셀룰로우스섬유보강 콘크리트에서는 섬유 첨가량 0.9kg/m³, 1.3kg/m³, 1.5kg/m³에서 각각 5g/hr, 3.14g/hr, 3.12g/hr이었다. 수분의 증발율은 자유수면보다 Plain 콘크리트에서는 증가하였지만 폴리프로필렌섬유 및 셀룰로우스섬유에서는 자유수면의 증발율보다 감소하였다.

섬유의 첨가량에 대한 영향을 살펴보면 Plain 콘크리트에서 발생한 균열 면적을 100%로 하여 섬유첨가량 0.9kg/m³의 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트 와 섬유 첨가량 0.9kg/m³, 1.3kg/m³, 1.5kg/m³의 셀룰로우스섬유보강 콘크리트의 결과를 상대 비교하였다. 실험을 통한 결과는 셀룰로우스섬유의 첨가량이 증가할수록 첫 번째 균열의 발생 시간의 지연과 균열발생 면적을 감소 시켰다. Plain 콘크리트와

비교하여 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트에서는 균열의 발생면적이 21.9%로 감소하였으며, 셀룰로우스섬유보강 콘크리트는 섬유 첨가량이 0.9kg/m³, 1.3kg/m³, 1.5kg/m³로 증가할수록 균열발생면적은 각각 22.14%, 9.32%, 8.55%로 감소하였다.

첫 번째 균열발생 시간은 Plain 콘크리트의 균열 발생시간과 비교하여 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트는 10분, 셀룰로우스섬유보강 콘크리트는 섬유의 첨가량 0.9kg/m³, 1.3kg/m³, 1.5kg/m³으로 증가함에 따라 각각 75분, 80분, 120분으로 지연되었다.

셀룰로우스섬유와 폴리프로필렌섬유의 균열제어 효과를 비교하면 동일한 섬유 첨가량 0.9kg/m³에서의 균열발생 면적은 거의 비슷하지만 첫 번째 균열 지연 시간은 셀룰로우스섬유가 더 우수한 효과를 보여주었다. 또한 섬유 첨가량이 0.9kg/m³인 폴리프로필렌섬유와 섬유 첨가량이 1.5kg/m³인 셀룰로우스섬유를 비교해보면, 균열발생면적은 셀룰로우스섬유가 폴리프로필렌섬유의 0.38배, 첫 번째 균열 지연시간은 12배였다. 이와같은 결과는 셀룰로우스섬유의 초기 미소균열 발생 억제 및 조절능력이 폴리프로필렌섬유 보다 우수하다는 것을 보여주는 것이다. 셀룰로우스섬유보강 콘크리트는 섬유의 첨가량이 증가할수록 균열제어의 효과가 우수함을 보여주었다. 특히 섬유의 첨가량이 1.3kg/m³에서 균열면적이 급격히 감소함을 보여주었다. 실험결과는 Table 4와 Figure 1에 나타내었다.

Table 4. Plastic shrinkage cracking test results

	Plain	Polypropylene Fiber (0.9kg/m ³)	Cellulose Fiber (0.9kg/m ³)	Cellulose Fiber (1.3kg/m ³)	Cellulose Fiber (1.5kg/m ³)
Total Crack Area	294.4mm ²	64.47mm ²	65.17mm ²	27.45mm ²	24.86mm ²
%	100%	21.9%	22.14%	9.32%	8.44%

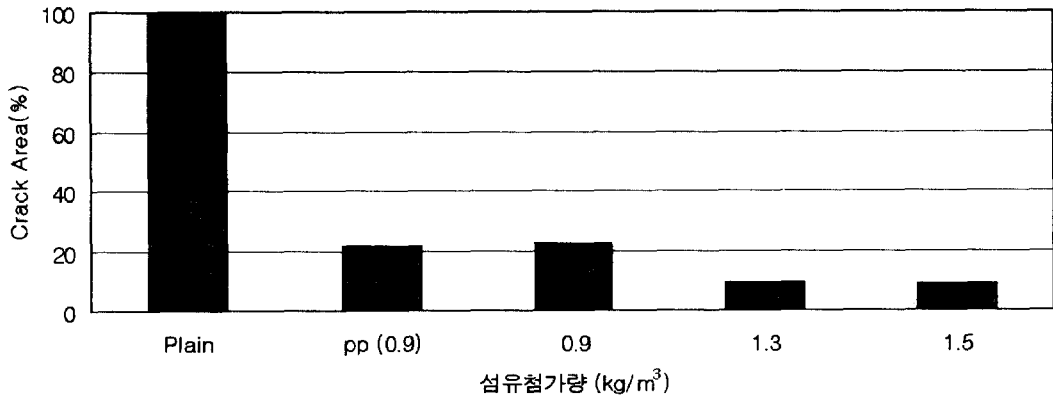


Figure 1. Plastic shrinkage cracking test results

4. 요약 및 결론

본 실험은 셀룰로우스섬유보강 콘크리트의 소성수축균열 제어특성을 알아보기 위한 것으로서 Plain 콘크리트 및 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트와 비교실험을 실시하였다. 실험방법은 Kraii에 의해서 제안된 방법을 기본으로하여 콘크리트 시편을 온도 28℃, 상대습도 45±5%의 환경조건에

노출시키고 콘크리트 표면에 3.4~4.0m/s의 바람을 작용시켰으며 콘크리트 타설후 12시간동안의 균열발생 상황을 관찰하였다. 위의 실험결과를 요약하면 다음과 같은 결론을 내릴수 있다.

- (1) 셀룰로우스섬유는 Plain 콘크리트와 비교하여 섬유 첨가량이 증가할수록 균열면적이 감소함을 보여주었다. 이는 셀룰로우스섬유가 시멘트매트릭스와 뛰어난 부착효과를 가지고 있으며 초기에 수분의 급격한 증발을 막아 초기 균열 발생을 억제하고 조절하기 때문이다.
- (2) 셀룰로우스섬유보강 콘크리트와 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트의 균열제어 및 조절능력을 상대 비교하면 동일한 섬유 첨가량(0.9kg/m^3)에서 균열발생 면적은 거의 비슷하지만 첫 번째 균열 지연시간은 셀룰로우스섬유가 더 우수한 효과를 보여주고 있다. 또한 섬유 첨가량이 0.9kg/m^3 인 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트와 섬유 첨가량이 1.5kg/m^3 인 셀룰로우스섬유보강 콘크리트에서 균열발생면적은 셀룰로우스섬유가 폴리프로필렌섬유의 0.38배, 첫 번째 균열 지연시간은 12배로서 셀룰로우스섬유가 우수한 결과를 보여주었다. 이런 결과는 셀룰로우스섬유가 폴리프로필렌섬유 보다 시멘트매트릭스내의 단위 면적당 차지하는 섬유의 수가 많으며, 또한 시멘트 매트릭스와 부착능력이 폴리프로필렌섬유보다 뛰어나기 때문이다.
- (3) 셀룰로우스섬유 첨가량에 따른 결과는 셀룰로우스섬유의 첨가량이 증가할수록 균열면적은 계속해서 감소하는 것으로 나타났다. 균열면적의 감소량을 살펴보면 섬유의 첨가량이 0.9kg/m^3 에서 1.3kg/m^3 로 증가할 경우 균열의 면적은 22.14%에서 9.32%로 감소하며, 섬유의 첨가량이 1.5kg/m^3 로 증가할 경우 균열발생면적은 8.44%로 감소함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Influence of Mix Proportions and Construction Operation Plastic Shrinkage Cracking Thin Slabs, Christos A.shaeles and Kenneth C.Hover, ACI, Materials Journal, pp. 495-504 November-December (1988)
2. Plastic Shrinkage Cracking of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete, Parviz Sououshian, Faiz Mirza, and Abdulrahman Alhozaimy, ACI Material Journal, pp. 553-560 V.92, No.5, September-October (1995)
3. Contribution of Fibers to Crack Reduction of Cement Composites During the Initial and Final Setting Period, P.Balaguru, ACI Material Journal, pp. 280-288, May-June (1994)
4. Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete, Ziad Bayasi and Jack Zeng. ACI Materials Journal, pp. 605-610 November-December (1993)
5. Influence of Fiber Reinforcement on Plastic Shrinkage Cracking, Dahl, P.A, Proceeding of International Conference on Recent Development on Fiber Reinforced Cement and Concrete, pp.435-441, Sept (1989)