

특수 가공된 셀룰로오스섬유보강 콘크리트의 역학적 특성

Mechanical Properties of Specialty Cellulose Fiber Reinforced Concrete

원 종 필 · 박 찬 기* (건국대)

Won, Jong Pil · Park, Chan Gi

Abstract

This study has been performed to obtain the mechanical properties of specialty cellulose fiber reinforced concrete. Flexural test is proceeded by third-point loading method and the size of the test specimens is $15 \times 15 \times 55$ mm. The effects of differing volume fraction(0.08%, 0.1%, 0.15%) were studied. The results of tests of the specialty cellulose fiber reinforced concrete were compared with plain and polypropylene fiber reinforced concrete. Results indicated that specialty cellulose fiber reinforcement showed an ability to increase the flexural strength.

I. 서론

콘크리트는 압축에는 강하나 인장에 약한 취성적 성질을 가지고 있어 이와 같은 콘크리트의 취성적 성질을 개선 및 보강하는 방법이 다양하게 연구되고 있다. 콘크리트의 취성적 성질을 개선 및 보강하는 방법 중에 하나로는 섬유를 콘크리트의 보강재로 사용하는 방법이 있는데 섬유를 콘크리트의 보강재로 사용하는 방법은 섬유가 콘크리트의 단점 중의 하나인 균열의 발생 및 성장을 제어하며 콘크리트의 인장강도를 증가시킨다고 알려져 있어 그 사용이 증가되고 있는 실정이다.^(1,2,3) 콘크리트 보강재로 현재 국내·외에서 널리 사용되고 있는 섬유에는 강섬유, 폴리프로필렌섬유 등이 있는데 이와 같은 섬유들은 친수성이 없어 분산성의 문제와 타설 초기 콘크리트와의 부착강도의 감소로 많은 양의 미세균열을 발생시키는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서 사용한 콘크리트 보강재로서의 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유는 비교적 높은 탄성계수와 시멘트풀과의 높은 부착강도를 가지고 있다. 섬유의 유효직경 또한 시멘트 입자 크기에 비해 작아 콘크리트 내에서 발생하는 미세균열을 억제하고 안정화하여 콘크리트의 역학적 성질을 증대시킨다. 본 연구에서는 콘크리트의 보강재로서 특수 가공 처리한 셀룰로오스섬유를 사용하였을 때 콘크리트의 압축 및 휨강도 특성 등을 실험을 통하여 분석, 평가하였다.

II. 재료 및 시험방법

1. 사용재료

가. 시멘트 및 골재

시멘트는 보통 포틀랜드시멘트(Type I)를 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수 25mm의 부순골재, 잔골재는 비중 2.62의 강사를 사용하였다.

나. 특수 가공 처리한 셀룰로오스섬유

콘크리트 보강섬유로 사용할 수 있게 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유는 비교적 높은 탄성계수와 시멘트 풀과의 높은 부착강도를 가지며, 표면이 수산기로서 콘크리트 내에서 부착과 분산을 촉진시킨다. 또한 시멘트 입자 크기와 비교하여 작은 유효직경(0.015mm)을 가지고 있어 시멘트 복합체를 밀실하게 만들어 주며, 높은 표면적(0.13/cm)과 강성을 가지고 있다. 단위면적당 차지하는 섬유수(50/cm²)가 많아 시멘트 복합체내에서 미소균열을 억제하고 안정화하며 섬유의 가교작용(bridging작용)을 통하여 시멘트 복합체의 파괴에너지를 높이는 동시에 인장강도, 휨강도, 인성 및 충격에 저항할 수 있는 힘을 높여주는 등 시멘트 복합체의 역학적 성질을 증대시키는데 매우 효과적인 작용을 한다. 본 연구에서 사용된 특수 가공 처리된 셀룰로오스 섬유의 특성은 Table 1과 같다.

Table 1 Properties of specialty cellulose fiber

Property	Specialty Cellulose Fiber
Elastic Modulus (kgf/cm ²)	61 × 10 ⁹
Bond Strength (kgf/cm ²)	15.3
Effective Diameter (mm)	0.015
Fiber Length(mm)	3
Length-to-Diameter Ratio	200
Tensile Strength (kgf/cm ²)	5100
No. of Fibers per Gram	1,100,000
Fiber Count (1/cm ²)	50
Specific Surface (1/cm)	0.13

2. 실험방법

가. 배합설계

본 연구에서는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유 첨가에 따른 콘크리트의 특성을 평가하기 위하여 Table 2와 같은 배합설계를 실시하였다. 배합은 먼저 시멘트와 잔골재, 굵은골재를 혼합하여 30초간 건 비빔을 실시한 후, 배합수를 첨가하고 1분 30초간 믹싱을 실시하였다. 마지막으로 섬유를 첨가한 후 3분간 믹싱을 실시하였다.

Table 2 Mix proportions

	Water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	w/c (%)	s/a (%)	Coarse Agg. (kg/m ³)	Fine agg. (kg/m ³)	Fiber Content (vol. %)
Plain	176.6	321.1	55	40.9	1047.4	712.3	-
Polypropylene fiber	176.6	321.1	55	40.9	1047.4	712.3	0.1
Specialty cellulose fiber	176.6	321.1	55	40.9	1047.4	712.3	0.08
	176.6	321.1	55	40.9	1047.4	712.3	0.1
	176.6	321.1	55	40.9	1047.4	712.3	0.15

나. 굳지 않은 콘크리트 성질

특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 첨가에 따른 작업성에 대한 영향을 알아보기 위해서 KSF 2402에 의한 슬럼프실험과 ASTM C995에 따른 Inverted slump cone 실험을 실시하였고, 공기량의 변화를 알아보기 위해서 KSF 2401에 의한 실험을 실시하였다.

다. 강도특성

특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 첨가에 따른 강도 특성을 알아보기 위하여 KSF 2405에 의한 압축강도 실험과 KSF 2408(단순보의 3등분점 하중법)에 의한 휨실험을 실시하였다.

III. 실험결과 및 분석

1. 굳지 않은 콘크리트의 성질

Fig. 1에서 볼 수 있는 것과 같이 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 첨가량이 증가할수록 슬럼프 값은 감소하는 경향을 보여주었다. 섬유보강 콘크리트의 작업성에 대한 기존의 연구결과를 살펴보면 콘크리트에 섬유가 첨가되면 섬유의 첨가량과 섬유의 길이가 증가할수록 작업성은 감소하는 경향을 보인다.^(1,2,3) 본 연구에서 사용된 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유도 이러한 경향을 보여주었으며 이와 같은 결과는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유와 시멘트 매트릭스와의 부착력 및 점착력의 증가로 인한 섬유 뭉침(fiber ball)현상에 의한 것이라 판단된다. 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유는 폴리프로필렌섬유와 비교해 섬유길이 및 유효직경이 상대적으로 작아 슬럼프 값의 감소는 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트 보다 크지 않았다. 현장에서 콘크리트의 다짐은 진동에 의한 다짐을 실시함으로 본 연구에서는 현장의 이런 조건을 고려하여 진동에 의한 다짐을 실시하는 Inverted slump cone 실험을 실시하였다. 실험결과는 Fig. 2에서 보듯이 보통 콘크리트와 비교하여 특수 가공된 셀룰로오스섬유가 큰 차이는 보여주지 않아 현장조건을 고려한 작업성에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 3에서 볼 수 있는 것과 같이 공기량은 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 첨가량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 섬유의 첨가량이 증가할수록 섬유와 시멘트 매트릭스 사이의 부착표면에 공극의 증가에 의한 것이라 판단되지만, 폴리프로필렌섬유와 비교한 공기량의 증가는 상대적으로 크지 않았다.

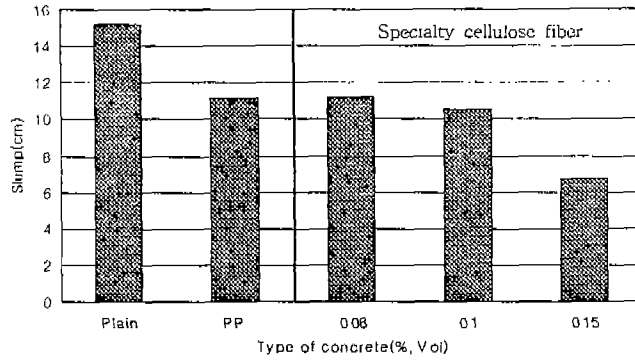


Fig.1 Slump test results

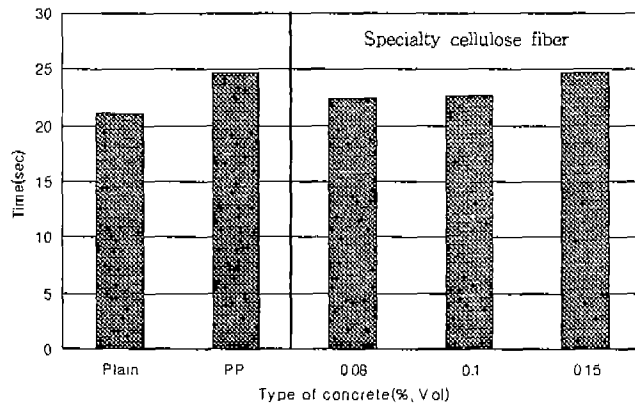


Fig.2 Inverted slump cone test results

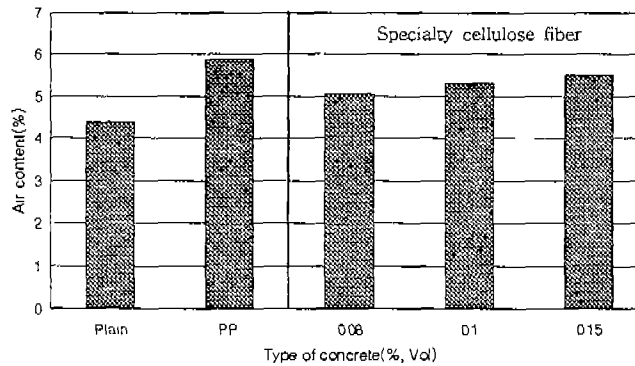


Fig.3 Air content tests

2. 강도특성

특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유보강 콘크리트의 압축강도는 보통 콘크리트와 비교하여 거의 차이가 없었다. 많은 국·내외 연구자 등의 연구에 의하면 섬유보강 콘크리트의 압축강도는 초기 재령에서는 보통 콘크리트 보다 감소하나 28일 재령에서는 보통 콘크리트와 거의 동일하거나 약간 크게 나타났는데,^(1,2) 본 연구에서도 이와 같은 경향을 보여주었으며 실험결과는 Fig.4에 나타내었다.

섬유보강 콘크리트의 주요 목적 중에 하나는 콘크리트의 취성적 성질을 개선하기 위한 인장강도의 증진이다. 따라서 섬유가 첨가되면 콘크리트의 인장강도는 증가하는데 본 연구에서 사용된 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유보강 콘크리트 역시 휨강도의 증가가 나타났다. 실험결과는 Fig.5에 나타내었다.

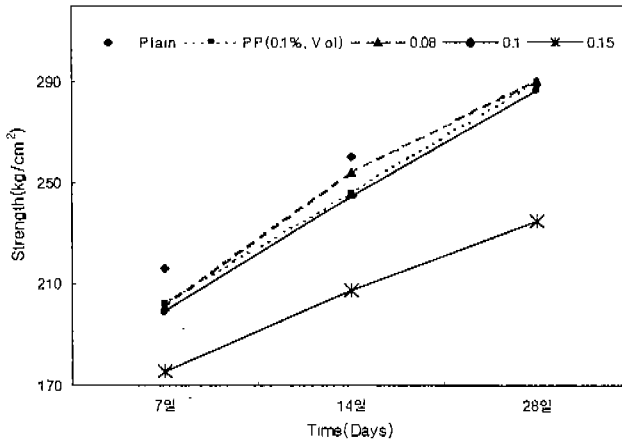


Fig.4 Compressive strength test results

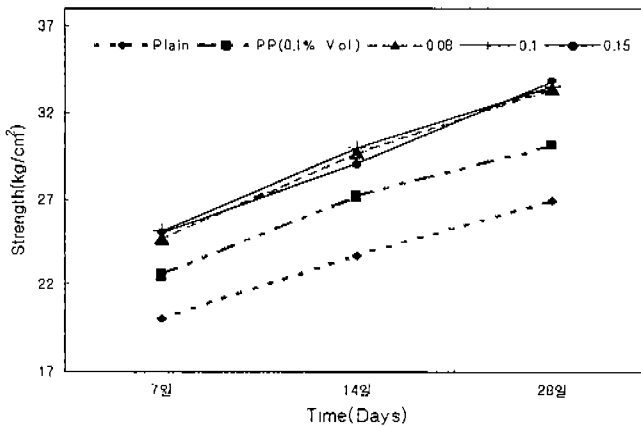


Fig.5 Flexural strength test results

IV. 결론

본 연구는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유보강 콘크리트의 압축강도, 휨강도 특성을 평가하기 위하여 섬유 혼입율을 변화시키면서 실험을 실시하였으며 실험결과를 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트(0.1%, Vol)와 보통 콘크리트의 실험결과와 비교 분석하였다. 실험을 통한 결과는 다음과 같다.

1. 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 첨가량이 증가할수록 슬럼프 값은 감소하는 경향을 보여주었다. 이와 같은 결과는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유와 시멘트 매트릭스와의 부착력 및 점착력의 증가로 인한 섬유 뭉침(fiber ball)현상에 의한 것이라 판단된다. 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유는 폴리프로필렌섬유와 비교해 섬유길이 및 유효직경이 상대적으로 작아 슬럼프 값의 감소는 폴리프로필렌섬유보다 상대적으로 크지 않았다.
2. Inverted slump cone 실험결과 보통 콘크리트와 비교하여 특수 가공된 셀룰로오스섬유가 큰 차이가 없어 현장조건을 고려한 작업성에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.
3. 공기량 실험결과 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 첨가량이 증가할수록 공기량은 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 섬유의 첨가량이 증가할수록 섬유와 시멘트 매트릭스 사이의 부착표면에 공극의 증가에 의한 것이라 판단되지만 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유가 시멘트 매트릭스와 우수한 부착능력이 있기 때문에 폴리프로필렌섬유와 비교한 공기량의 증가는 상대적으로 크지 않았다.
4. 특수 가공된 셀룰로오스섬유보강 콘크리트의 압축강도는 보통 콘크리트와 비교하여 거의 차이가 없었다. 휨실험 결과는 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유의 첨가량이 증가할수록 휨강도가 증가하는 경향을 보여주었다. 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트와 비교해서 특수 가공 처리된 셀룰로오스섬유보강 콘크리트의 휨강도가 더 우수하게 나타났다. 이와 같은 결과는 콘크리트의 단위 면적당 차지하는 섬유수가 상대적으로 많기 때문인 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. 원 종필외, "특수 가공된 셀룰로오스섬유보강 콘크리트의 초기 특성", 한국콘크리트학회 봄 학술 발표회 논문집, 1999.5., pp.349-354.
2. Todorka Paskova and Christian Meyer, "Law-cycle fatigue of plain and fiber-reinforced concrete", ACI Materials Journal/July-August, 1997, pp.273-285
3. Ziad Bayasi and Jack Zeng, "Properties of polypropylene fiber reinforced concrete", ACI Materials Journal November-December, 1993, pp.605-610