

콘크리트내 셀룰로오스 칩 화이버의분산특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Dispersion Characteristic of Cellulose Chip Fiber in Concrete

박종진* 이한승** 최진만*** 이성연**** 유조형*
Lee, Han Seung You Jo Hyeong Wang, Xiayong Lee, Sang hyun Lee, Sang Ho

ABSTRACT

Tensile as well as flexural strengths of concrete can be substantially increased by introducing closely spaced fibers that would obstruct the propagation of microcracks, therefore delaying the onset of tension cracks and increasing the tensile strength of the material. Fibers of various shapes and sizes produced from steel, plastic, glass and natural materials are being used. In this study, we used cellulose chip fiber to decrease the shrinkage crack in mortar and concrete. Specially, we have studied the dispersion characteristic of cellulose chip fiber. As a result, it was assumed that the slurry type of cellulose chip fiber is very effective to disperse the fiber in mortar and concrete.

1. 서론

기존 사용되어온 섬유로는 강섬유(Steel), 유리(Glass), 탄소(Carbon), 아라미드(Aramid), 나일론(Nylon), 폴리프로필렌(Polypropylene), 폴리비닐알콜(Poly Vinyl Alcohol) 등 주로 유기계 섬유가 사용되어 왔으나, 대부분 가연성 인 점, 내구성이 떨어지는 점, 매트릭스와의 부착력이 떨어지는 점, 고가인 점 등의 한계를 각각 가지고 있어 이를 개선하기 위한 연구개발이 필요한 실정이다. 국외에서는 이러한 단점들을 극복하기 위하여 천연섬유 계통의 셀룰로오스 섬유를 나노사이즈에 가까운 칩형태로 제조하여 단순히 모르타르 또는 콘크리트에 분산시켜 균열저항성을 높이는 기술이 적용되고 있으나, 국내에는 이에 관한 연구개발이 매우 부족한 실정이다. 특히 칩 형태로 압착된 셀룰로오스 섬유는 문헌상 बैचप्लैन्ट 4분 믹싱에서 분산된다고 되어 있으나, 실제 국내 일반 레미콘 बैच의 믹싱시간은 40초 정도이고, 고강도콘크리트도 약 2분 내외의 믹싱시간을 가지기 때문에 현장 실용화를 위해서는 셀룰로오스칩 화이버의 분산성을 향상시킬는 것이 매우 중요한 과제이다.

* 정회원, 한양대학교 대학원 건축환경공학과, 석사과정

** 정회원, 한양대학교 건축학부 친환경건축연구센터 연구조교수, 공학박사

*** 정회원, 삼표기술연구소 차장, 공학석사

**** 정회원, 삼표기술연구소 소장, 공학박사

이러한 배경 하에 본 연구에서는 셀룰로오스 칩 화이버를 콘크리트 내에 균질하게 분산시키기 위한 소재 변형 및 실제 믹싱시간을 2분 이내로 목표로 하여 실용화하는 기초적 실험연구를 수행하였다.

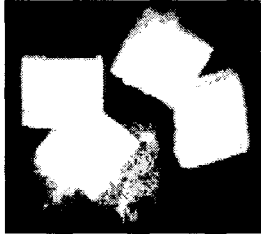
2. 셀룰로오스 칩 화이버의 특성에 관한 문헌 조사

콘크리트 보강섬유로 활용되고 있는 여러 가지 섬유 중에 목재의 섬유를 이용한 셀룰로스 화이버는 소나무(Slash Fine Tree)에서 채취한 섬유를 칩(chip) 형태로 압축하여 제조된 섬유보강재이다. 대표적인 물리적 특성 및 FRC(Fiber Reinforced Concrete)에서의 특성을 표 1 및 표2에 나타낸다.

표 1. 셀룰로오스 화이버의 물성

항 목	셀룰로오스 화이버
길이 (mm)	1.9~2.3
Denior (g/9,000m)	2.0~3.0
직경 (μm)	14~17
화이버수 (fibers/g)	1,590,000
밀도 (g/cm ³)	1.10
화이버 표면적 (cm ² /g)	25,000
인장강도 (N/mm ²)	600~900
탄성계수 (N/mm ²)	8,500

표 2. 콘크리트내 셀룰로오스 화이버 특성

항 목	셀룰로오스 화이버
화이버 수 (개/m ³)	1,431×10 ⁶
화이버 간격 (μm)	660
화이버 투입량 : 0.9kg/m ³ 일 때	

셀룰로오스 화이버는 목재에서 뽑아낸 목질섬유(cellulose fiber)로 친수성 소재이기 때문에 콘크리트(fresh concrete)에 투입되어 우수한 분산력을 갖고 있으며, 5×6mm의 작은 칩으로 되어있고, 이 칩은 약 33,000개의 독립적인 화이버 가닥으로 구성되어 있다. 화이버 칩이 콘크리트 믹싱과정에 투입되면, 골재 간에 부딪치는 물리적인 힘에 의해서 개개의 독립적인 화이버 가닥으로 분리되어 그림 3.1과 같이 콘크리트 내에 고르게 분산된다. 또한, ICC 코드에 따른 시험결과, 0.9kg/m³ 넣은 콘크리트는 화이버를 넣지 않은 콘크리트에 비해 균열 발생이 80% 감소되었고, 친수성/보수성 화이버로서 Fresh 콘크리트 속에서 수만개의 독립적 화이버로 분산되어 있어 수화반응 초기에는 Fresh 콘크리트의 잉여수를 흡수하여 함유하게 되므로 함유하고 있던 수분은 수화반응 후반기에 작용하여 장기적으로 콘크리트의 수화반응을 촉진 시키고 고강도콘크리트에서의 자기수축 억제하는 효과가 기대되고 있다.

한편, 셀룰로오스 화이버는 PP Fiber 등의 다른 화이버 소재에 비해 화이버 표면적이 월등하게 크기 때문에 콘크리트 속에서 시멘트 페이스트와의 접착력이 그림 1과 같이 우수하며, 시멘트와의 접착력이 우수하기 때문에 소성수축 균열, 건조수축 균열 등과 같은 균열을 저감시킬 수 있다. 그러나, 셀룰로오스 칩 화이버는 그림 2와 같이 칩형태로 믹서에 투입되어 약 4분 이상의 믹싱시간이 필요하고 화이버 전체가 분산되지 않으므로 분산성능이 떨어지는 것을 개선할 필요가 있다.



그림 1. 폴리프로필렌과 셀룰로오스 섬유 형상



그림 2. 믹서 투입경과와 화이버 분산 형태

3. 실험 개요

모르타르 배합에 사용되는 재료로는, 보통포틀랜드시멘트, 플라이애쉬, 셀룰로오스 칩 화이버, 부순 모래 및 세척사를 사용하였다. 본 실험에서는 플라이애쉬를 20% 치환한 기존 이성분계 시멘트 모르타르 혼합물에 셀룰로오스 칩 화이버를 0.5kg/m^3 , 1.0kg/m^3 , 2.0kg/m^3 를 사용된 모르타르의 물/결합재 비는 0.6이며 모르타르 배합은 표 3과 같다.

표 3. 셀룰로오스 칩 화이버 혼입 모르타르 배합

기호	W/B	단위질량 (kg/m ³)								
		W	OPC	FA	CellFiber	PP	부순모래	세척사		
CF0.0	0.6	293	390	98	0		439	1025		
CF0.5					0.5					
CF1.0					1.0					
CF2.0					2.0					
PPI.0									1.0	

실험에 앞서, 모르타르의 건비빔, 일괄투입비빔 및 믹싱시간을 평가인자로 하여 셀룰로오스 칩 화이버의 분산성을 평가하였다. 그 결과, 일반 몰탈 믹서에서는 믹싱방법 및 믹싱시간에 상관없이 화이버 칩의 분산을 얻지 못하였으며, 압축된 칩상태에서 마찰에 의해 화이버를 분산시키는 것은 상당한 믹싱시간이 필요한 것을 알 수 있었다. 이에 따라, 본 실험에서는 그림 3과 같이 셀룰로오스 칩 화이버를 슬러리 상태로 만들어 실시하였다.

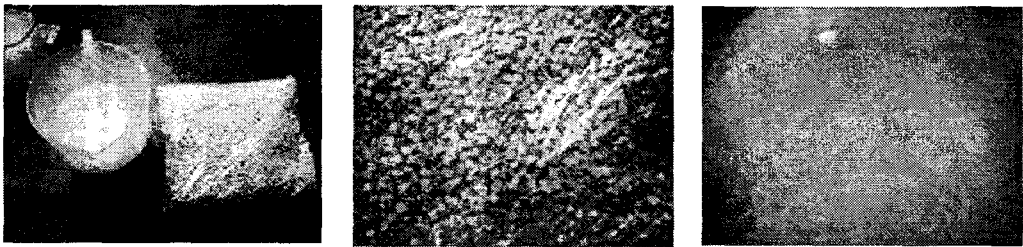


그림 3. 셀룰로오스 칩 화이버의 형상 (중간 : 칩형태, 오른쪽 : 슬러리 형태)

4. 실험 결과

셀룰로오스 칩 화이버를 혼입하지 않은 모르타르의 플로우는 25cm 이었으며, 칩형태의 것은 20cm 나타났다. 그러나, 슬러리형태로 혼입한 경우 그림 4에 나타난 바와 같이 플로우는 12cm로 거의 움직임이 일어나지 않았고 이는 셀룰로오스 분산성이 우수하여 모르타르의 항복점을 향상시켰기 때문으로 판단된다. 또한, 셀룰로스 칩 화이버를 혼입한 모르타르는 일반 모르타르에 비해 현격한 블리딩 감소를 나타내었으며, 모르타르의 표면처리 (finishing) 성능 에도 매우 우수한 성능을 나타내었다.

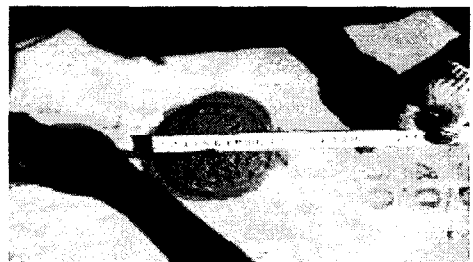


그림 4. 슬러리 화이버 혼입 모르타르 플로우

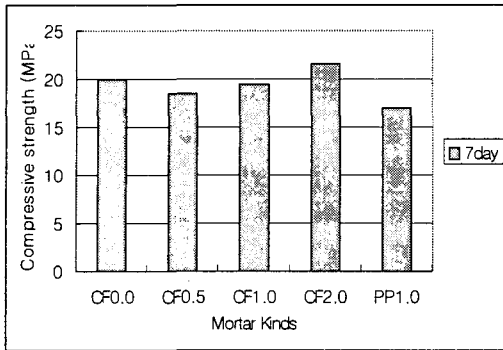


그림 5. 섬유 혼입물 별 모르타르 압축강도

그림 5는 각 모르타르의 7일 압축강도를 보여준다. 실험 결과 셀룰로오스 칩 화이버를 혼입한 경우 일반 모르타르에 비해 압축강도는 약간 감소함을 알 수 있다. 이 결과는 기존의 Wolfe et al.의 연구결과와 동일한 결과로서, 셀룰로오스 칩 화이버가 습식상태에서 건조상태로 변화됨으로서 화이버내의 공극구조의 변화가 그 원인이 될 수 있으며, 또한 화이버 자체가 시멘트의 수화반응을 저지하는데 그 이유가 있다고 판단된다.

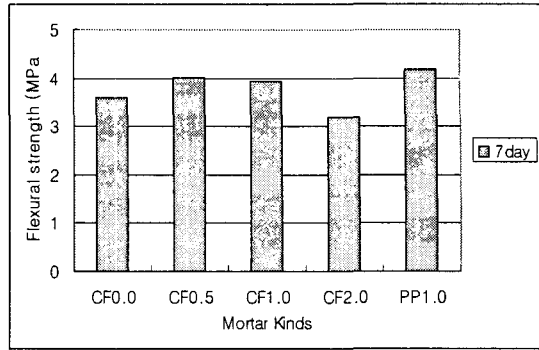


그림 6. 섬유 혼입물 별 모르타르 휨강도

한편, 그림 6은 각 모르타르의 7일 휨강도를 나타내었다. 셀룰로오스 칩 화이버를 혼입한 모르타르의 경우, 칩 화이버의 증가와 함께 휨강도는 약간 증가함을 알 수 있다. 이러한 섬유 혼입에 의한 휨강도의 증가는 그림 7에 나타난 미세 섬유에서 기인한 것으로 판단된다. 이상 살펴본 바와 같이 압축 및 휨강도 발현에 대한 메카니즘을 규명하기 위해서는 공시체내의 공극구조 및 수화반응의 현상을 동시에 파악함이 요구되어진다고 판단된다. 한편, 구속력을 갖는 시험체에 있어서는 섬유혼입물에 따른 뚜렷한 균열발생이 나타나고 있지 않아 금번 기초실험에서는 유의한 결과가 나오지 않았지만 금후 연구를 계속 진행할 예정이다.



그림 7. 셀룰로오스 화이버의 모르타르내 분산성상

5. 실험 개요

이상의 연구를 통해서, 셀룰로오스 칩 화이버를 모르타르 및 콘크리트 내에 균질하게 분산시키기 위해서는 칩형태로 사용하는 것 보다 슬러리 형태로 분산시켜 콘크리트내에 혼입하는 것이 셀룰로오스 화이버의 분산성능을 향상시키는데 매우 유효한 것을 알 수 있었으나, 제조시에 공정추가로 인한 소재 비용 향상을 고려하여, 비용상승이 없는 다양한 분산성능 향상 연구개발이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정옥장학재단 및 삼표기술연구소 지원으로 수행되기에 이에 감사의 말씀을 전합니다.

참고문헌

1. Soroushian, "Cellulose fibers reinforced concrete", Materials for the New Millennium, Proceedings of the Materials Engineering Conference, 4th, 1, 809-818, Washington D.C., (Nov.10-14, 1996).
2. R. W. Wolfe and A. Gjinolli, "Durability and strength of cement-bonded wood particle composites made from construction waste", *Forest Prod J.*, 49 (2) 24-31 (1999).