

뼈 형상 단섬유 복합재료 Bone Shaped Fiber Composites



김진섭(Jin-Sub Kim) | 경상대학교 박사과정
 정우영(Woo-Young Jung)이사 | 강릉원주대 교수 | woojung@gwnu.ac.kr
 권민호(Min-Ho Kwon)이사 | 경상대학교 교수 | kwonm@gnu.ac.kr

1. 개발 필요성

토목기술자는 콘크리트의 강도와 인성을 높이기 위하여 강섬유, 유리섬유 등과 같은 재료를 사용한다. 그러나 이런 재료를 실제 적용하기 위해서는 고비용의 건설 기술이 필요하다. 따라서 표준 시공 공정과 유사하고 강섬유 보다는 저렴한 뼈-형상 단섬유 보강 콘크리트를 사용하면 재료의 성능 개선을 위해서 좋은 선택이 될 것이다.

미국 에너지부의 Los Alamos 국립 연구소는 콘크리트에 혼합되는 단섬유의 끝부분을 크게 만들면 콘크리트의 강도와 인성이 증가하는 것을 발견했다.

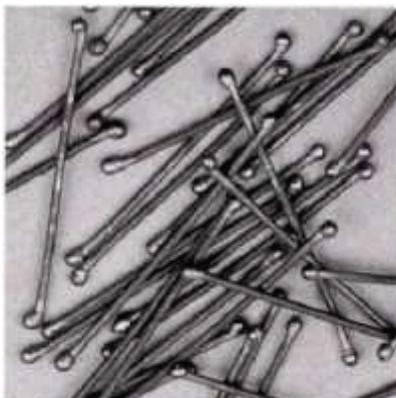


그림1. 뼈-형상 단섬유

2. 기술개요

Yuntian T. Zhu가 이끄는 Los Alamos 연구팀은 콘크리트에 1%의 뼈-형상 섬유를 추가하면 최대강도가 84% 증가하였고, 인성은 93배 증가하는 것을 발견했다.

이 발견은 섬유를 매트릭스와 견고하게 부착시키기 위하여 지금까지 주로 복합재료를 취성이 되도록 제작하는 문제를 해결할 수 있는 방법을 제공한다. 즉, 취성 복합재료를 사용하지 않고도 섬유와 섬유 주변의 매트릭스 사이의 하중을 효과적으로 전달 할 수 있는 방법을 제공하였다.

뼈-형상 섬유는 콘크리트가 하중을 견딜 수 있도록 돕는 역할을 한다. 특별한 형상을 갖는 이 섬유는 매트릭스 속에 단단하게 고정되는데, 이는 독특한 형상 때문이기도 하지만 매트릭스 길이 방향으로 약하게 부착되기 때문이기도 하다. 또한 연구자들은 섬유 형상과 섬유 끝단의 크기를 최적화하여, 단 섬유 복합재료의 성능을 제한하는 섬유 파단 응력이 섬유 끝단에서 발생하지 않도록 하였다.

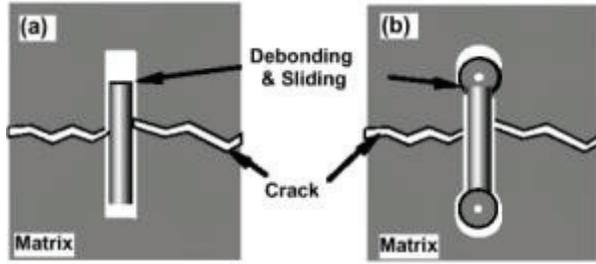


그림2. 직선 섬유와 뼈-형상 섬유의 비교

만약 섬유가 주변 매트릭스에 약하게 부착되어 있으면 직선형태의 섬유는 쉽게 뽑히게 된다. 반면 섬유가 주변 매트릭스와 강하게 부착되어 있으면, 매트릭스 균열에 의해서 발생하는 높은 응력에 의해서 섬유가 파단될 때까지의 응력을 받을 수 있다. 뼈-형상 섬유는 양 끝단이 매트릭스와 기계적으로 강하게 맞물려 있다. 또한 일부 약한 경계면을 갖고 있는데, 그 경계면이 극한 응력을 견딜 수는 없지만 복합재료로 하중을 전달할 수 있다.

뼈-형상 섬유는 섬유 사이 인성부분에 큰 소성 변형과 다중 균열 형성을 유발한다. 다중 균열은 복합재료의 인성을 개선하는 효과적인 방법중 하나이며, 분산 다중 균열은 뼈-형상 섬유를 소성적으로 변형하도록 소성영역을 분포시키는 역할을 한다.

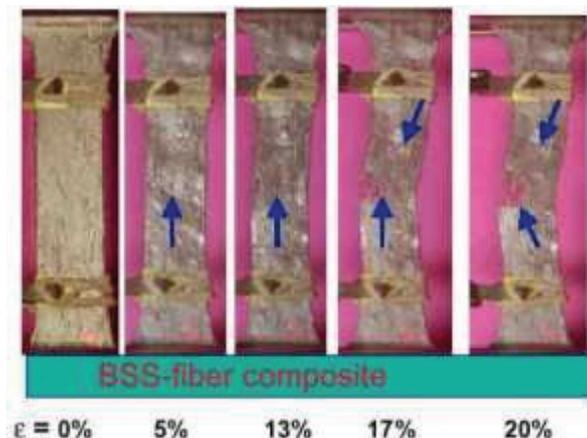


그림3. 뼈-형상 섬유 복합재료의 소성 분산효과 및 다중 균열

3. 장점

직선 섬유를 사용한 콘크리트와 비교해보면, 뼈-형상 섬유를 사용한 콘크리트는 인성과 강도에서 현저한 개선이 있음을 보여준다. 또한 뼈-형상 섬유 콘크리트는 균열 진전을 효과적으로 제한한다. 섬유는 균열사이에서 분포하여 균열 성장을 방해한다. 정밀조사에 따르면 콘크리트 매트릭스에 균열이 서로 내로 뻗어나가더라도 시료는 여전히 손상되지 않았다. 뼈-형상 섬유는 섬유 사이 인성부분에 큰 소성 변형과 다중 균열 형성을 유발한다.

4. 현상태

Silacon Valley 사는 저 비용으로 대량의 뼈-형상 섬유를 생산하는 장치와 방법을 발명했다. 또한 Silacon Valley사는 뼈-형상 섬유 기술을 확장한 다차원의 뼈-형상 스마트 골재를 기반으로 한 지능형 콘크리트를 개발했다. Silacon사는 MgneMix를 개발했는데, 이는 25Kg 포대 속에 실란, 시멘트 화학 첨가제, 농축 처리된 철 광석, 스마트 집게 및 섬유 및 플라이애쉬 골재로 구성되어 있다. Silacon사는 콘크리트의 응력, 균열, 변형, 온도, 화학성분과 직접적으로 관련된 자기변형에 따른 투과율 변화를 모니터링하는 GMR(거대 자기 저항) 센서를 뼈 모양에 적용하여 콘크리트에 “지능”을 추가하였다. Silacon MagneMix는 전도체이며 플라이애쉬 골재를 사용하기 때문에 아주 경량이다. 본래 MagneMix는 전자기 방사선을 아주 잘 흡수하기 때문에 핵 방사선 차폐에 사용하면 좋다. Silacon은 지능형 콘크리트 혼합과 스마트 골재에서 파생된 뼈-형상 섬유 분야에서 세계적인 기업이 되기를 바라고 있으며, 제1차 특허 작업은 USPTO에서 담당하고 있다. Silacon은 좀더 개선된 고성능 콘크리트를 개발에 대하여 Los Alamos 국립 연구소와 에너지부로부터의 지원을 모색하고 있다. 정부는

전 국토의 교량, 댐과 정부 구조물을 재건하는 새로운 기술을 제공하기 위해 에너지 부(DOE)에 재정을 지원하고 있다.

5. 문제점

현재 이 기술은 광범위한 실험실 테스트를 수행했지만, 이 기술을 적용한 풀 스케일 실험이나 실제 구조물에 대하여 적용하는 실제 규모의 프로젝트는 아직까지 보고되지 않고 있다. 따라서 이들 개발제품에 대한 현장적용에 대한 신뢰성 및 성능평가를 향후 추진할 필요가 있으며 이에 따른 응용제품의 개발 또한 지속적으로 연구, 개발되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Innovative Fiber Composites, Los Alamos National Laboratory, <http://www.lanl.gov/mst/fibers/fibers.html>
Silacon Valley Corporation Home Page, <http://www.silacon.com>