

고성능 원단의 셀비지를 활용한 시멘트 복합재료의 특성

Properties of Cement Composite Using Selvedge of High Performance Fabric

최정일¹ · 박세연² · 김윤용³ · 김영민⁴ · 이방연^{5*}

Jeong-Il Choi¹ · Se-Eon Park² · Yun Yong Kim³ · YoungMin Kim⁴ · Bang Yeon Lee^{5*}

(Received April 6, 2022 / Revised April 26, 2022 / Accepted April 27, 2022)

The purpose of this study is to investigate experimentally the compressive strength and tensile behavior of cement composites reinforced by selvedge short fiber from high performance fabric. Four types of mixtures according to the types of selvedge short fibers were prepared and compressive strength and tension tests were performed. Test results showed that the compressive strength values of composites investigated in this study ranged from 64 MPa to 66 MPa and all composites showed strain-hardening behavior. The tensile strain capacity values of composites ranged from 2.6 % to 2.8 % and multiple cracking behavior was observed in all composites.

키워드 : 고연성, 복합재료, 섬유

Keywords : High ductility, Composite, Fiber

1. 서론

현대 구조물을 이루는 주요 재료는 철, 유리, 콘크리트이며, 이 중 콘크리트는 콘크리트를 제외한 모든 산업용 건설재료의 양보다 약 2배 높은 수준이다(Van Damme 2018). 이는 다양한 건설재료 중에서 콘크리트가 경제적이며 상대적으로 자원이 풍부하고 내구성과 내화성이 우수한 장점을 갖고 있기 때문이다. 그러나 콘크리트는 태생적으로 취성적 거동을 하고 특히 인장강도가 압축강도의 10 % 수준으로 작고 변형성능 또한 0.01 %로 매우 작아 지진과 같은 큰 에너지를 동반하는 하중에 대하여 취약한 단점이 있다(Li 2019). 이러한 문제를 해결하고자 세계적으로 연성을 부여할 수 있는 섬유보강 기술을 적용하였다. 대표적으로 인장하중 하에서 일반 콘크리트의 수백배에 달하는 인장변형성능을 나타내는 고연성 섬유보강 시멘트계 복합재료(ECC: Engineered Cementitious

Composites)가 있다(Maalej and Li 1994; Li et al. 2001). 지진 재해가 빈번하게 발생하는 일본, 미국 등에서는 고연성 섬유보강 복합재료를 구조물의 내진성능을 향상시키기 위해 건축물, 교량 등의 실 구조물에 적용하였다(Fukuyama and Suwada 2003; Kunieda and Rokugo 2006; Rokugo et al. 2009; Kanda et al. 2011; Li 2019).

ECC는 초기에 고탄성 폴리에틸렌(HMPE: high-modulus polyethylene) 섬유 또는 초고분자량 폴리에틸렌(UHMWPE: ultra-high-molecular-weight polyethylene) 섬유로 알려진 폴리에틸렌 계열의 섬유가 적용되었고, 높은 인장변형성능(6 % 이상)을 나타내었다(Maalej and Li 1994). 그러나 높은 가격으로 인하여 표면에 오일 코팅 처리된 polyvinyl alcohol(PVA) 섬유가 사용되었다(Li et al. 2001). 이 후 PVA 섬유보다 더 저렴한 polypropylene(PP) 섬유가 최근 사용되고 있으나 강도와 연성면에서 낮은 성능을 나

* Corresponding author E-mail: bylee@jnu.ac.kr

¹전남대학교 바이오하우징연구소 박사후 연구원 (Biohousing Research Center, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea)

²전남대학교 건축토목공학과 박사과정 (Department of Architecture and Civil Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea)

³충남대학교 토목공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea)

⁴리뉴앤뉴 대표 (Renew & New Co. Ltd, 37, 31, Gwahaksandan 1-ro 60beon-gil, Gangseo-gu, Busan 46742, Korea)

⁵전남대학교 건축학부 교수 (School of Architecture, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea)

Copyright © 2022 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

타내고 있다(Felekoglu et al. 2014). 최근 고강도와 고연성을 동시에 확보하기 위해 PE 섬유를 사용한 연구도 다시 활발히 진행되고 있다. 또한 건설재료 분야에서 이산화탄소 배출을 줄이기 위해 알칼리활성 슬래그 기반 결합재나 플라이 애시 등 지오폴리머를 이용한 무시멘트 페이스트나 모르타르에 PVA 섬유와 PE 섬유를 적용하여 매우 큰 연성이 나타나는 복합재료에 대한 연구가 진행되고 있다. ECC는 일반 콘크리트 대비 매우 큰 연성을 나타내고 균열 폭 제어를 통해 높은 내구성을 나타내어 생애주기비용이 낮은 것으로 평가되고 있지만, 섬유의 가격으로 인하여 초기 제작 비용이 일반 콘크리트 대비 5배~10배에 해당되는 문제가 있다.

환경과 가격 문제를 해결하기 위하여 재생 합성 섬유를 고연성 복합재료에 적용한 연구가 수행되었다. Choi et al.(2012)은 PVA 섬유 1.6 vol%와 재생 polyethylene terephthalate(PET) 섬유 0.4 vol%를 혼합 사용하여 인장강도 2,50 MPa와 인장변형성은 2.63 %인 고연성 복합재료를 제조하였다. 그러나 PET 섬유로 대체하면 PVA 섬유를 2.0 vol% 사용한 배합에 비하여 인장강도와 인장변형 성능이 각각 26.0 %와 28.8 % 감소하였다. Yu et al.(2018)은 석유 화학공장에서 생산된 PET를 재활용한 virgin recycled PET 섬유와 재생 PET 섬유의 소수성 표면을 개질한 treated recycled PET 섬유를 단독으로 사용하거나 PVA 섬유와 혼합사용하여 역학성능을 검토하였다. PVA 섬유를 2.0 % 사용한 기준 배합의 인장강도와 인장변형성은 각각 4.63 MPa와 5.17 %가 나타났다. PVA 섬유와 재생 PET 섬유를 혼합사용한 경우, 인장강도는 3.13 MPa에서 4.44 MPa 범위였고, 인장변형성은 0.93 %에서 3.70 %였으며, 재생 PET 섬유의 혼입량이 증가할수록 성능이 감소하는 것으로 나타났다. virgin recycled PET 섬유를 100 % 사용하는 경우, 인장강도와 인장변형성은 각각 2.56 MPa와 0.24 %로 나타났으며, treated recycled PET 섬유를 100 % 사용한 경우 인장강도와 인장변형성은 각각 2.63 MPa와 0.55 %로 나타나 성능 저하가 큰 것으로 나타났다. Zhong and Zhang(2021)은 PVA 섬유를 recycled tyre polymer 섬유로 12.5 %에서 최대 50 %까지 대체하여 혼합사용하였다. 대체율이 증가할수록 인장강도와 인장변형성은 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 기존 연구에서는 재생 합성 섬유를 부분적으로 혼합하여 사용하거나, 100 % 사용한 경우 일반 합성 섬유를 사용한 경우에 비하여 성능 감소가 큰 것으로 나타났다.

UHMWPE 섬유는 낮은 비중, 고강도, 높은 충격흡수율 등의 고성능 고부가가치 제품에 주로 많이 사용되고 있다. 방탄복 등의 특수 용도인 경우 특수 코팅(finish) 처리를 하는 경우도 있다. 이를 위해 원단을 제작해야 하며, 원단을 제작하는 가장 기본적인

방법은 경사(warp)와 위사(wett)로 나누어 서로 엮이게 만들어 면상 형태의 천을 짜는 것이다. 이때 천의 양쪽 가장 자리 부분에서 서로 엮여있는 경사와 위사가 서로 풀리지 않게 만들어 주고 완성된 원단이 롤형태로 감아질 때 최대한 많이 감아질 수 있게 엮이지 않고 남아 있는 부분을 잘라낸다(Fig. 1). 이 때, 원단의 양 끝단에서 잘려져 나가는 부분을 셀비지라고 하며, 일반적으로 폐기처분되고 있다. 셀비지의 폭은 일반적으로 30 mm~60 mm 정도이다.

UHMWPE 섬유 기반 셀비지의 경우 UHMWPE 섬유의 역학성능이 우수함에도 불구하고 이를 건설재료로 활용하기 위한 연구는 지금까지 제한적이다. 따라서 이 연구에서는 폴리에틸렌 섬유 기반 원단의 셀비지 단섬유로 보강한 섬유보강 복합재료의 압축강도와 인장거동을 실험적으로 조사하고자 한다.

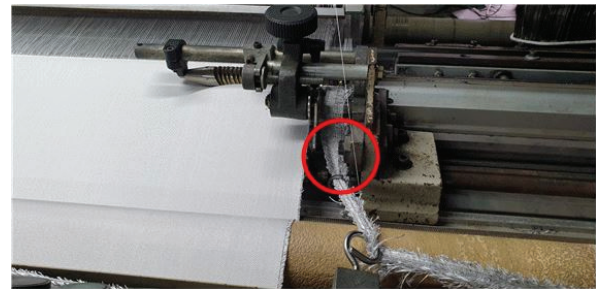


Fig. 1. UHMWPE based selvedge

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험 재료 및 배합

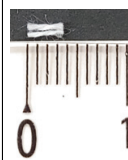
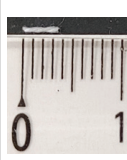
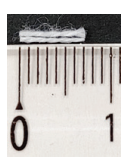
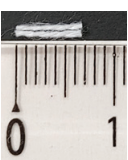
Table 1은 이 연구에 사용한 재료와 배합 비율이다. 1종 보통포틀랜드시멘트를 결합재로 사용하였고, 수돗물을 사용하였다. 균질한 섬유 분산과 적절한 유동성 확보를 위하여 폴리카르복산계 고성능 감수제(polycarboxylate-based superplasticizer)와 증점제(Viscosity Modifying Admixture: methylcellulose($C_6H_7O_2(OH)_x(OCH_3)_y$))를 사용하였으며, 실험체 제작과정에서 의도하지 않은 기포로 인하여 압축강도와 인장거동에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 소포제(antifoamer)를 사용하였다. 매트릭스에 해당하는 시멘트 페이스트를 제조하기 위하여 섬유 종류에 관계없이 모두 동일한 물-시멘트비와 배합비율을 사용하였다. 섬유량은 상대적 비교를 위하여 부피비로 1.75 %로 동일하게 사용하였다. Table 2는 이 연구에서 사용한 셀비지 단섬유를 나타낸다. 총 4종류의 단섬유가 사용되었으며, 기본이 되는 셀비지 구성은 금속 선(metal yarn)이 심사로 사용되고 200데니어의 PE 섬유가 심사를 감싸며,

Table 1. Mixture proportions

Mixture	Cement	Water	SP*	VMA**	AF***	Fiber	
						vol.%	Type
M-N3	1	0.38	0.001	0.0017	0.001	1.75	N3
M-O3							O3
M-N6							N6
M-O6							O6

*SP: superplasticizer, **VMA: viscosity modifying agent, ***AF: antifoamer

Table 2. Types of fibers

Fibers	N3	O3	N6	O6
Length	3.77 (± 0.95)	3.65 (± 0.80)	7.03 (± 0.71)	6.32 (± 1.33)
Photo				

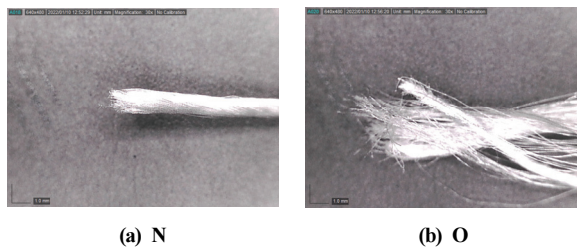


Fig. 2. Shape of fiber end

추가로 금속 선과 400데니어의 PE 섬유가 2차로 감싸져 있다. N3과 N6은 셀비지를 평균 3 mm와 6 mm 길이로 절단한 것이다. O3과 O6은 뭉쳐져 있는 셀비지를 타면기(목화솜을 부풀려서 푸는 기계)를 이용하여 뭉쳐 있는 셀비지 섬유 다발을 풀어준 것이다. Fig. 2는 섬유 다발을 풀지 않은 N 시리즈 섬유와 타면기를 이용하여 풀어준 O 시리즈 섬유의 섬유 다발 끝단을 디지털 현미경을 이용하여 촬영한 것이다. PE 섬유의 물리적 성질은 직경 18 μm, 인장강도 3,000 MPa, 비중 0.97, 탄성계수 120 GPa이다. 금속 선의 강종은 SUS 316L이고, 인장강도는 약 700 MPa~800 MPa이며 신율은 28 %이다. 셀비지 섬유를 구성하고 있는 PE 섬유와 금속 선의 비율은 무게비로 PE 섬유가 약 80 %, 금속 선이 약 20 %이다.

2.2 실험체 제작 및 양생 방법

재료의 혼합은 호박 혼합기를 사용하였으며, 먼저 시멘트와 섬

유를 넣고 약 3분간 건비빔하여 섬유의 분산 정도를 확인하였다. 이후 배합수와 고성능 감수제, 증점제, 소포제를 넣고 높은 속도의 혼합기에서 약 5분간 혼합하였다. 각 배합에서 매트릭스 내에 섬유가 균질하게 분포된 것을 확인한 후, 마지막으로 낮은 속도의 혼합기에서 1분간 혼합하여 안정화하였다.

혼합이 완료된 후 압축강도 측정을 위하여 배합별로 3개의 50 mm 입방형 몰드를 사용하여 압축강도 측정용 시험체를 제작하였다. 인장거동 실험을 위하여 일본토목학회에서 제안한 실험체 형상에 따라 아령 형상의 인장 실험체를 배합별로 4개씩 제작하였다. 인장 실험체의 형상은 Fig. 3(a)와 같다. 몰드에 혼합물을 넣은 후 수분의 증발을 방지하기 위하여 플라스틱 필름을 표면에 씌운 후 양생 온도 23 °C ± 3 °C, 상대습도 60 % ± 5 %에서 2일 동안 기중 양생을 한 후 실험체를 탈형하였다. 탈형 후 바로 23 °C ± 2 °C의 수조에서 재령 28일까지 수중 양생을 하였다.

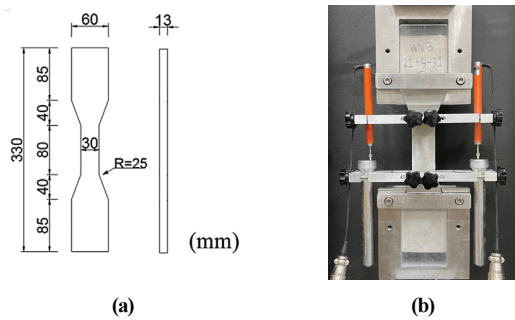


Fig. 3. (a) Dimension of specimen for tension test, (b) test setup

2.3. 실험 방법

압축강도 측정은 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 따라 실시하였으며, 인장거동은 일본토목학회에서 제안한 방법에 따라 측정하였다. 하중은 최대 2톤의 하중을 가할 수 있는 인장 실험기를 사용하여 변위 제어 방식으로 가하였으며, 속도는 분당 0.1 mm이다. 하중은 실험기에 부착된 로드셀을 통하여 측정하였으며, 변위는 Fig. 3(b)에 나타난 바와 같이 면적이 동일한 변위 측정 구간(80 mm)의 위아래 양쪽에 지그를 설치하였고, 실험체 양쪽에 변위측정기를 설치하여 측정하였다. 인장응력은 가해진 하중을 실험체의 단면적으로 나누어 계산하였으며, 인장변형률은 변위 측정 구간에 발생한 변형량을 80 mm로 나누어 계산하였다. 각 실험체의 인장실험이 끝난 후 균열패턴을 조사하기 위하여 변형량 측정 구간인 80 mm 이내에 발생한 균열의 개수를 현미경을 이용하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 압축강도

Fig. 4는 셀비지 섬유 종류에 따른 각 배합의 압축강도를 나타낸다. 전체적으로 섬유의 길이보다는 섬유를 풀어준 효과가 더 크게 나타났다. 즉, 섬유를 풀어 준 M-O3와 M-O6 배합이 M-N3와 M-N6 배합보다 약간 압축강도가 크게 나타났다. 다만 압축강도가 63 MPa에서 66 MPa이고, 표준편차가 2.8 MPa에서 5.3 MPa임을 감안하면 배합별 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 변동계수는 4.4 %에서 8.3 % 범위로 나타났다.

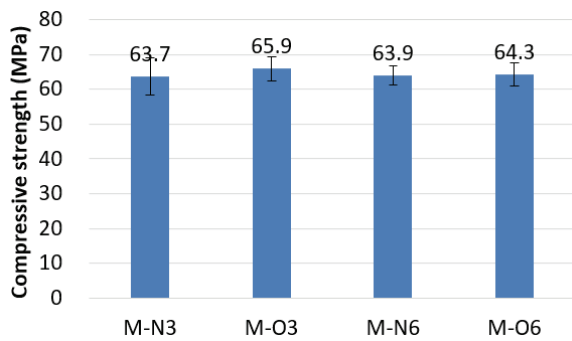
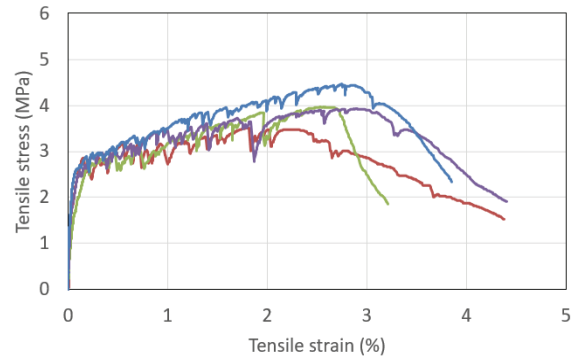


Fig. 4. Compressive strength

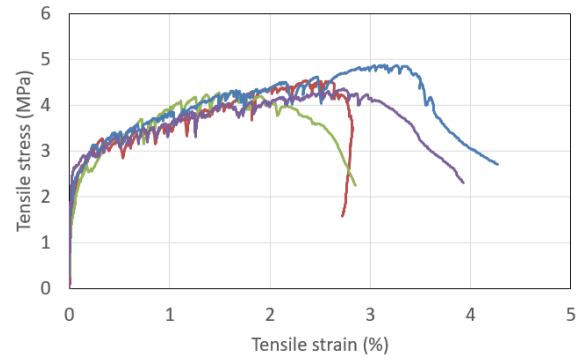
3.2 일축인장

Fig. 5는 각 배합별 인장응력과 인장변형률 그래프를 나타낸다. 모든 배합에서 전형적인 변형경화 현상이 나타났으며, 다중 균열이 발생하였다는 것을 나타내는 응력 하락이 나타났다. 응력하락이 나타나는 이유는 변위제어 방식으로 하중을 가할 경우 새로운 균열이 발생하게 되면 균열폭에 의한 급격한 변형 증가로 인하여 적합조건과 힘의 평형조건에 의해 응력 저하가 발생하기 때문이다. 전체적으로 모든 실험체의 인장변형능이 고연성 복합재료의 특징으로 알려진 2 % 이상을 나타내었으며, 셀비지 단섬유의 길이와 타면기 적용 유무에 따라 인장거동에 차이가 있는 것을 알 수 있다.

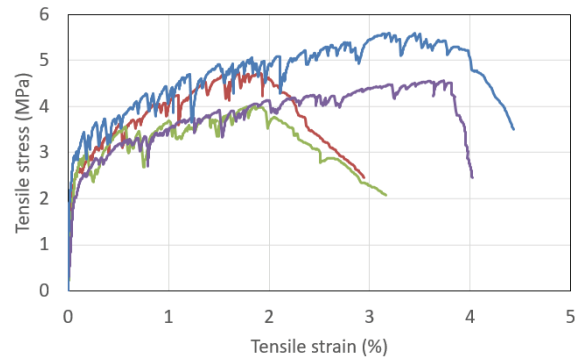
Fig. 6은 인장성능을 정량적으로 나타낼 수 있는 첫 번째 균열강도, 인장강도, 인장변형능, 그리고 인성을 나타낸다. 첫 번째 균열강도는 실험 중 첫 번째 균열이 발생했을때의 인장응력을 의미하며, 인장강도는 최대 인장응력을 의미한다. 인장변형능은 인장강도일 때 인장변형률이며, 인성은 인장강도와 인장변형능까지의 인장응력과 인장변형 곡선의 면적을 의미한다. 인성은 재료가 파괴될 때까지 에너지 흡수 능력을 나타낸다.



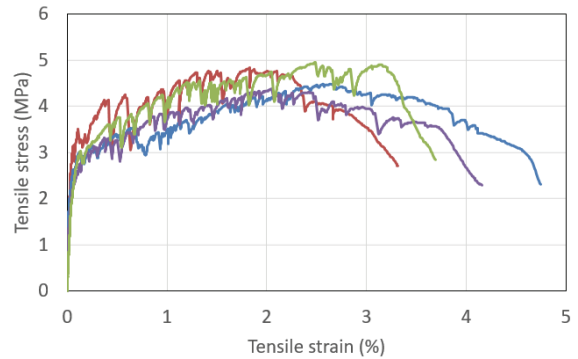
(a) M-N3



(b) M-O3



(c) M-N6



(d) M-O6

Fig. 5. Tensile stress-strain curves

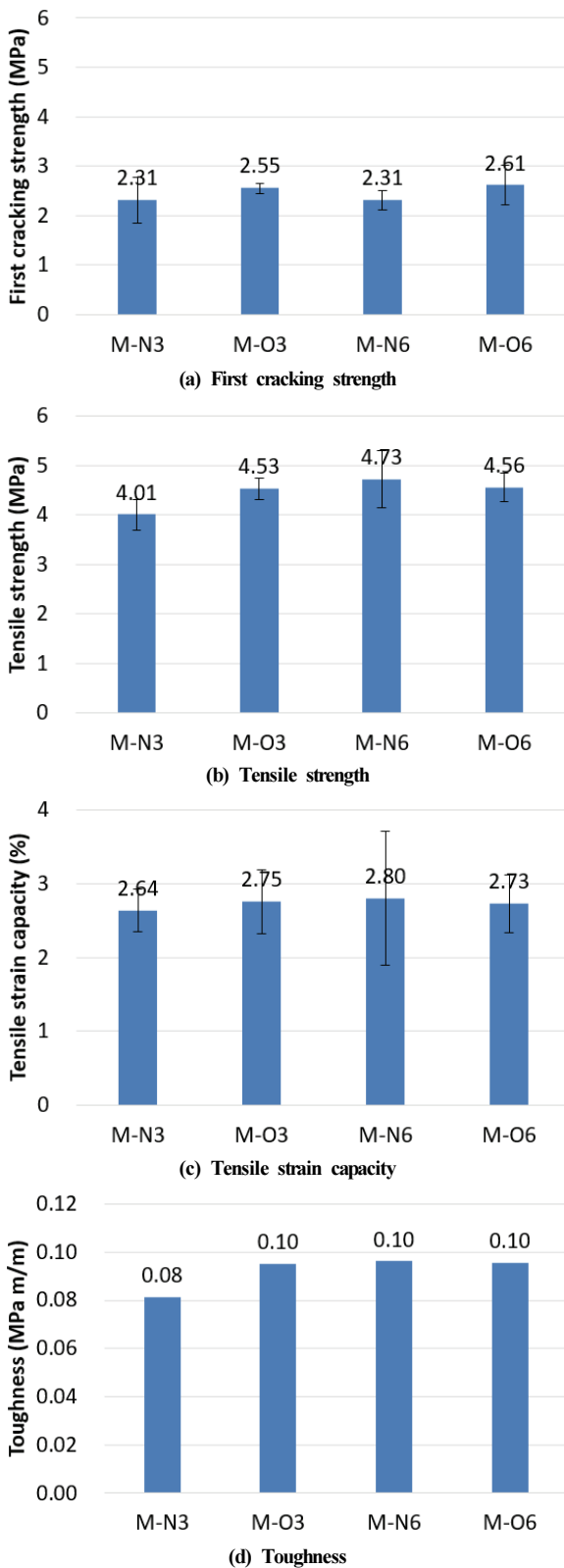


Fig. 6. Tensile behavior

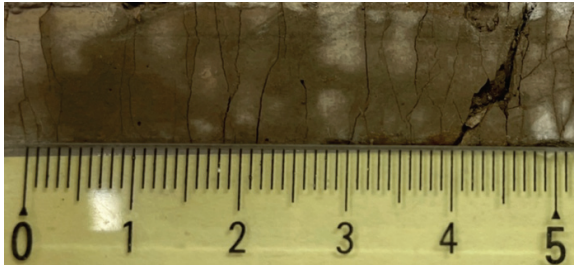
일반적으로 섬유보강 콘크리트나 시멘트계 복합재료에서 균열 강도는 압축강도에 비례해서 나타나는데, 이 연구에서도 첫 번째 균열강도가 압축강도와 유사하게 타면기를 적용한 경우 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 변동계수는 4.2%에서 20%로 압축강도에 비하여 크게 나타났으며, 이는 직접인장 실험 결과가 시멘트계 재료의 불확실성에 더 크게 영향을 받기 때문이다.

인장강도의 경우, 압축강도나 첫 번째 균열강도와 다른 경향을 나타내었다. 이는 인장강도의 경우 매트릭스 보다 섬유의 특성에 더 크게 영향을 받기 때문이다. 이론적으로 인장강도는 섬유의 길이가 증가하고 섬유의 분산성이 향상될수록 증가한다. 특히 섬유의 길이에 매우 강한 양의 상관관계를 갖으며, 경우에 따라 비례해서 나타나는 경우도 있다. 이 연구에서 조사한 배합의 경우 셀비지 단섬유 길이가 3 mm인 경우 타면기를 적용하면 인장강도가 13% 증가하고, 섬유 길이가 6 mm로 증가하면 18% 증가하는 것으로 나타났다. 다만 섬유 길이가 6 mm인 경우 타면기를 적용하여도 인장강도의 향상은 없는 것으로 나타났다. 이에 대한 이유는 섬유 분산성 확인 등을 통해 정량적으로 분석할 수 있을 것으로 판단된다. 변동계수는 5.0%에서 12.1%로 첫 번째 균열강도에 비하여 작게 나타났지만 압축강도보다는 크게 나타났다. 특히 섬유 길이가 긴 6 mm에서 가장 크게 나타났는데 이는 섬유 길이가 긴 경우 섬유 분산이 상대적으로 좋지 않을 가능성이 있으며, 타면기를 적용하지 않았기 때문에 혼합과정에서 섬유의 풀린 정도의 차이가 상대적으로 클 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 다중 균열이 발생하기 위한 기본 조건 중의 하나인 첫 번째 균열강도 대비 인장강도의 비는 M-N3, M-O3, M-N6, M-O6 배합 순서대로 각각 1.74, 1.77, 2.05, 1.74로 나타났다. 이 값이 클수록 인장변형성능도 크게 나타날 확률이 높다.

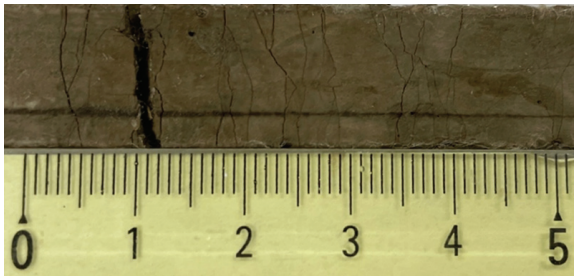
인장변형성능은 인장강도와 유사한 경향을 나타내었다. 이는 인장변형성능도 인장강도와 같이 상대적으로 섬유의 특성에 영향을 더 크게 받기 때문이다. M-N6 배합이 가장 큰 인장변형성능을 나타내었으며, 변동성도 32.2%로 가장 크게 나타났다. 셀비지 단섬유를 적용한 4가지 모든 배합의 인장변형성능이 2.6% 이상으로 나타났으며, 이는 고연성 복합재료로 분류될 수 있는 수준이다. 각 배합별 인장변형성능은 첫 번째 균열강도 대비 인장강도의 비와 양의 상관관계가 나타났다.

인성은 인장강도와 인장변형성능이 가장 낮게 측정된 M-N3 배합을 제외하고 나머지 배합이 거의 유사하게 나타났다. 인장강도와 인장변형성능이 가장 크게 나타난 M-N6 배합의 인성이 다른 두 배합과 유사하게 계산된 이유는 M-N6 배합의 첫 번째 균열강도가 낮았기 때문이다.

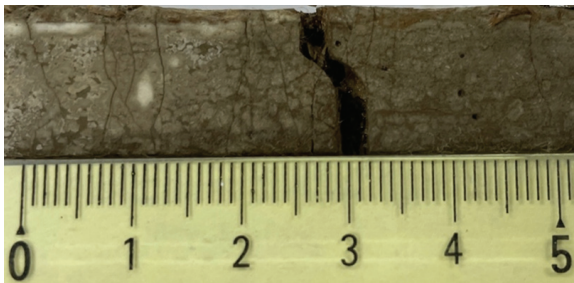
Fig. 7은 각 배합별 대표 균열패턴을 나타낸다. 모든 배합에서 다중 균열이 발생한 것을 확인할 수 있으며, 균열들이 특정 구간에 집중해서 나타나지 않고 실험체의 전체 길이에 고르게 나타난 것을 관찰할 수 있다. Fig. 8은 균열패턴을 정량적으로 나타내는 균열개수, 균열간격, 균열폭을 나타낸다. 일반적으로 인장변형능이 크게 나타난 복합재료에 균열개수가 큰 경향이 있는데 셀비지 단섬유를 적용한 배합에서는 일관성 있는 결과가 나타나지 않았으



(a) M-N3



(b) M-O3

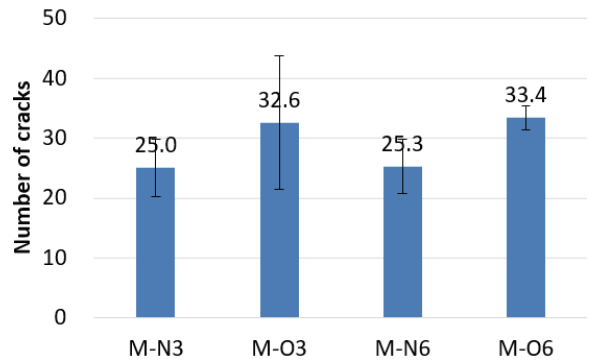


(c) M-N6

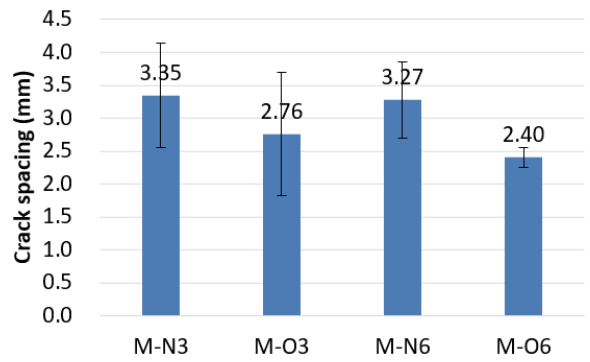


(d) M-O6

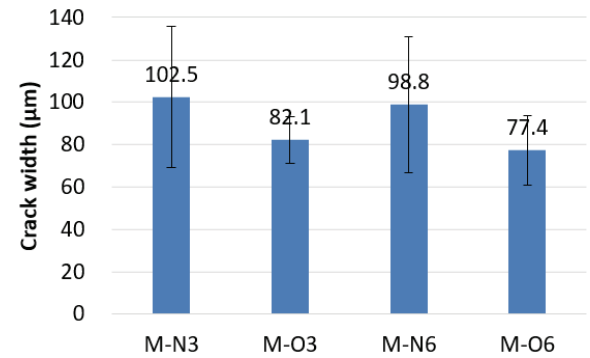
Fig. 7. Photos of representative cracking patterns



(a) Number of cracks



(b) Crack spacing



(c) Crack width

Fig. 8. Cracking pattern

며, 오히려 압축강도와 첫 번째 균열강도와 유사하게 섬유 길이보다 타면기 적용에 따른 영향이 더 크게 나타났다. 균열간격은 80 mm를 균열개수로 나누어 계산하였기 때문에 균열개수와 반대로 나타났으며, 균열폭은 균열간격과 유사한 경향을 나타내었다.

4. 결론

이 연구에서는 폴리에틸렌 섬유 기반 원단의 셀비지 단섬유를 적용하여 제조한 시멘트계 복합재료의 압축강도와 인장성능을 실

험적으로 조사하였다. 섬유길이와 타면기 적용 유무에 따라 4가지 셀비지 단섬유를 적용하여 실험체를 제작하였고, 압축 및 인장실험을 수행하였다. 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. PE 섬유 기반 원단의 셀비지를 단섬유로 가공한 섬유를 이용하여 다중균열과 변형경화 현상 및 2.6 % 이상의 고연성이 나타나는 시멘트계 복합재료를 제조할 수 있는 것으로 나타났다.
2. 압축강도와 첫 번째 균열강도는 섬유의 길이보다 타면기 적용여부가 더 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 인장강도와 인장변형성은 섬유의 길이가 더 크게 영향을 미친 것으로 나타났다. 다만 섬유 길이가 6 mm인 경우 타면기의 효과가 크게 나타나지 않았으며 약간의 성능저하가 발생하였다.
3. 4가지 모든 배합에서 다중 균열 패턴이 발생하였으나 일반적인 고연성 복합재료에 비해서는 균열의 개수가 작게 나타났다. 균열패턴은 섬유의 길이보다 타면기 적용 여부가 더 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 연구는 중소기업기술진흥원의 창업성장기술개발사업(과제번호 S2959179)과 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호 22SCIP-C159060-03)의 지원으로 수행되었음.

References

Choi, W.C., Yun, H.D., Kang, J.W., Kim, S.W. (2012). Development of recycled strain-hardening cement-based composite(SHCC) for sustainable infrastructures, *Composites Part B: Engineering*, **43(2)**, 627-635.

Felekoglu, B., Tosun-Felekoglu, K., Ranade, R., Zhang, Q., Li, V.C. (2014). Influence of matrix flowability, fiber mixing procedure, and curing conditions on the mechanical performance of HTPP-ECC, *Composites Part B: Engineering*, **60**, 359-370.

Fukuyama, H., Suwada, H. (2003). Experimental response of HPFRCC dampers for structural control, *Journal of Advanced Concrete Technology*, **1(3)**, 317-326.

Kanda, T., Nagai, S., Maruta, M., Yamamoto, Y. (2011). New high-rise R/C structure using ECC coupling beams, In 2nd International RILEM Conference on Strain Hardening Cementitious Composites (SHCC2-Rio), 289-296.

Li, V.C. (2019). *Engineered Cementitious Composites(ECC): Bendable Concrete for Sustainable and Resilient infrastructure*, Springer.

Li, V.C., Wang, S., Wu, C. (2001). Tensile strain-hardening behavior of polyvinyl alcohol engineered cementitious composite (PVA-ECC). *Materials Journal*, **98(6)**, 483-492.

Maalej, M., Li, V.C. (1994). Flexural/tensile-strength ratio in engineered cementitious composites, *Journal of Materials in Civil Engineering*, **6(4)**, 513-528.

Kunieda, M., Rokugo, K. (2006). Recent progress on HPFRCC in Japan required performance and applications, *Journal of Advanced Concrete Technology*, **4(1)**, 19-33.

Rokugo, K., Kanda, T., Yokota, H., Sakata, N. (2009). Applications and recommendations of high performance fiber reinforced cement composites with multiple fine cracking(HPFRCC) in Japan, *Materials and Structures*, **42(9)**, 1197-1208.

Van Damme, H. (2018). Concrete material science: past, present, and future innovations, *Cement and Concrete Research*, **112**, 5-24.

Yu, J., Yao, J., Lin, X., Li, H., Lam, J.Y., Leung, C.K.Y., Sham, I.M.L., Shih, K. (2018). Tensile performance of sustainable Strain-Hardening Cementitious Composites with hybrid PVA and recycled PET fibers, *Cement and Concrete Research*, **107**, 110-123.

Zhong, H., Zhang, M. (2021). Effect of recycled tyre polymer fibre on engineering properties of sustainable strain hardening geopolymer composites, *Cement and Concrete Composites*, **122**, 104167.

고성능 원단의 셀비지를 활용한 시멘트 복합재료의 특성

이 연구의 목적은 고성능 원단의 셀비지 단섬유를 적용한 섬유보강 시멘트계 복합재료의 압축강도와 인장거동 특성을 실험적으로 조사하는 것이다. 이를 위하여 셀비지 단섬유 종류에 따라 4종류의 배합을 준비하였고, 압축강도 및 인장 실험을 수행하였다. 실험결과 압축강도는 64 MPa에서 66 MPa 범위로 고강도를 나타내었으며, 모든 배합에서 변형경화 현상이 나타났다. 인장변형성은 2.6 %에서 2.8 %로 고연성이 나타났으며, 다중균열이 관찰되었다.