

합성섬유 종류가 무시멘트 복합재료의 재료 거동에 미치는 영향

Effects of Type of Synthetic Fiber on Material Properties of Cementless Composite

최정일¹ · 박세연² · 차상률³ · 이방연^{4*}

Jeong-Il Choi¹ · Se-Eon Park² · Sang Lyul Cha³ · Bang Yeon Lee^{4*}

(Received August 23, 2019 / Revised September 18, 2019 / Accepted September 18, 2019)

The purpose of this study is to investigate effects of types of synthetic fibers on mechanical properties of alkali-activated slag composite. Materials and mixture proportion for matrix are determined, and the compressive strength, tensile performance, and cracking patterns of three composites reinforced by polypropylene, polyvinyl-alcohol, and polyethylene fibers. From the test results, it was observed that polyvinyl-alcohol fiber-reinforced composite and polyethylene fiber-reinforced composite had similar tensile performance. On the other hand, polypropylene fiber-reinforced composite showed low tensile performance. And it was exhibited that other factors except tensile strength and aspect ratio of fiber influence significantly tensile behavior of composite.

키워드 : 복합재료, 압축강도, 합성섬유, 인장거동

Keywords : Composite, Compressive strength, Synthetic fiber, Tensile behavior

1. 서론

콘크리트는 경제적이며 강도가 크고 내구성이 우수한 건설재료이다. 또한 배합비율을 조절함으로써 원하는 목표 성능을 상대적으로 용이하게 만족할 수 있는 장점을 갖고 있기 때문에 철과 함께 구조물의 구조재료로 가장 흔하게 사용되는 건설재료이다(Jeong et al. 2018; Kang et al. 2018). 그러나 낮은 인장강도와 취성적인 거동은 콘크리트가 갖는 태생적인 단점이며, 시멘트를 생산하면서 많은 양의 이산화탄소가 배출되는 점 또한 단점이다. 기존 연구에 따르면 시멘트 1톤을 생산하기 위하여 약 1톤의 이산화탄소가 배출되는 것으로 보고되고 있다(Malhotra 2002). 또한 인공적으로 만들어지는 이산화탄소 총량의 5%가 시멘트 산업에서 만들어지고 있는 것으로 알려져 있다(Damtoft et al. 2008).

섬유보강 알칼리활성 슬래그 또는 지오폴리머 복합재료는 인장

하중 하에서 3% 이상의 높은 연성과 산업부산물 사용을 통한 재료의 친환경성을 갖고 있기 때문에 보통 콘크리트의 단점을 극복할 수 있는 새로운 건설재료로 인식되어 최근 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 알칼리활성 슬래그 기반 결합재는 플라이애쉬 기반 지오폴리머와 달리 고온양생을 하지 않아도 충분한 강도발현이 가능한 장점이 있다.

Lee et al.(2012)은 3가지 조합의 황산화제와 고로슬래그를 결합재로 사용하고, PVA 섬유로 보강하여 압축강도 30.6MPa를 나타내면서, 인장변형능이 4.7%까지 나타날 수 있다는 것을 실험적으로 증명하였다. Choi et al.(2015) 등은 물-결합재비가 40%인 알칼리활성 슬래그 기반 결합재와 부피비로 1.3%인 PVA 섬유를 사용하여 점성이 0.86Pa s, 항복강도 18Pa, 압축강도 18.3MPa, 인장강도 2.26MPa, 인장변형능 2.38%인 성능을 갖는 복합재료를 개발하였다. Choi et al.(2016a)은 동일한 물-결합재비를 갖는

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

¹전남대학교 바이오하우징연구소 박사후연구원 (School of Architecture, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea)

²전남대학교 건축학부 연구원 (School of Architecture, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea)

³한국과학기술원 건설및환경공학과 박사후연구원 (Department of Civil and Environmental Engineering, KAIST, 291 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34141, Korea)

⁴전남대학교 건축학부 교수 (School of Architecture, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea)

시멘트 기반 복합재료와 알칼리활성 슬래그 기반 복합재료의 성능을 비교하였다. 실험결과 알칼리활성 슬래그 기반 복합재료는 시멘트 기반 복합재료에 비하여 강도는 낮지만 인장변형능이 높고 우수한 균열 패턴(즉, 작은 균열간격과 균열폭)을 보이는 것으로 확인되었다. 또한 Choi et al.(2016b)은 알칼리활성 슬래그 기반 결합재와 폴리에틸렌 섬유를 사용하여 인장강도가 13.1MPa이며, 인장변형능 7.5%인 초고연성 알칼리활성 복합재료 제조가 가능함을 실험적으로 입증하였다. Lee et al.(2017)은 폴리에틸렌 섬유 보강 알칼리활성 슬래그 복합재료의 압축강도와 인장성능에 미치는 소포제의 영향에 대하여 조사하였고, 소량의 소포제 혼입을 통하여 복합재료의 압축강도와 인장성능을 향상시킬 수 있다고 보고하였다. 이와 같이 섬유보강 알칼리활성 슬래그 복합재료에 미치는 결합재 및 혼화제의 영향 등에 대한 연구는 수행되었지만 동일 조건에서 섬유의 종류에 따른 영향은 미흡한 실정이다.

이에 이 연구에서는 시멘트 기반 복합재료에서 인장거동 향상을 위하여 주로 사용하고 있는 3가지 종류의 합성섬유가 알칼리활성 슬래그 복합재료의 역학성능에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험 재료 및 배합

고로 슬래그 미분말(Ground granulated blast furnace slag: GGBFS)가 주결합재(source material)로 사용되었으며, GGBFS의 Blaine fineness 와 specific gravity는 각각 4,320cm²/g와 2,920이다. GGBFS의 화학성분은 Table 1과 같다. GGBFS와 silica fume의 화학성분은 X-ray fluorescence(XRF) 방법을 이용하여 측정하였다. 결합재(binder)를 활성화 시키기 위하여 수산화칼슘(calcium hydroxide)과 황산나트륨(Sodium sulfate)이 사용되었으며, 급결현상을 막기 위하여 분말 형태로 된 활성화제를 사용하였다. 고성능 감수제(Superplasticizer)와 증점제(Viscosity modifying agent)는 섬유의 균질한 분산을 유도하기 위하여 페이스트의 점성 조절을 위하여 사용하였다.

Table 1. Properties of slag

Material	Chemical composition(%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	K ₂ O	etc.
GGBFS*	31.5	13.0	0.5	44.6	4.9	3.4	0.8	0.5	0.9

*GGBFS: Ground Granulated Blast Furnace Slag

보강섬유로는 고연성 복합재료에 사용되는 3종류의 합성섬유를 사용하였으며, 폴리프로필렌(PP), 폴리비닐알코올(PVA), 폴리에틸렌(PE) 섬유이다. 폴리프로필렌 섬유와 폴리에틸렌 섬유는 소수성이며, 폴리비닐알코올 섬유는 친수성을 갖고 있다. 폴리비닐알코올 섬유의 경우 과도한 화학적 부착으로 인한 인장성능 저하를 막기 위하여 표면이 오일처리된 것을 사용하였다. 각 섬유의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Properties of fiber

Fiber	Length (mm)	Diameter (μm)	Aspect ratio	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Density (g/cm ³)
PP	10	12	833	850	6	0.91
PVA	12	40	300	1,560	41	1.3
PE	12	16	750	3,030	112	0.97

이 연구에서 사용한 매트릭스는 모두 동일하며, 매트릭스를 이루는 각 재료의 배합비율은 Table 3과 같다. 활성화제로 사용된 수산화칼슘과 황산나트륨의 양은 전체 결합재량의 7.5%와 3.0%로 하였다. 물-결합재비는 35%이며, 고성능 감수제와 증점제의 양은 섬유의 균질한 분산을 위하여 최적화하였다. 섬유량은 부피비로 1.75%로 정하였다.

Table 3. Mixture proportion

Binder		Water	SP*(%)	VMA*(%)	Fiber(Vol. %)
GGBFS	Activator				
0.895	0.105	0.35	0.1	0.01	1.75

*SP: Superplasticizer, VMA: Viscosity modifying agent

2.2 실험체 제작 및 양생 방법

실험체를 제작하기 위하여 분말형 재료인 슬래그와 활성화제를 혼합기에 넣고 3분간 건비빔을 하였다. 이후 물과 함께 고성능 감수제와 증점제를 혼입하였다. 페이스트가 균질한 상태이면서 섬유가 균질하게 분산될 수 있는 유동상태임을 확인한 후 섬유를 순차적으로 혼입하였다. 섬유를 투입하고 약 5분간 혼합한 후 섬유가 균질하게 분산된 것을 확인한 후 혼합을 마무리하였다.

혼합이 완료된 후 압축강도 측정을 위하여 배합별로 50mm 입방형 공시체를 3개씩 제작하였다. 일축인장실험을 수행하기 위하여 JSCE recommendation에 따라 dumbbell shape의 실험

체를 배합별로 5개씩 제작하였다. 인장시험체의 측정구간은 80mm이며, 측정구간 내의 단면적은 30mmx13mm로 일정하다. 시험체를 제작한 후 수분 증발을 방지하기 위하여 플라스틱 쉬트를 덮고 상온에서 2일간 양생하였다. 이후 시험체를 탈형한 후 재령 28일까지 23°C±3°C의 양생수조에서 수중양생을 실시하였다.

2.3 실험 방법

압축강도는 KS L 5105에 따라 50mm 입방형 공시체를 이용하여 측정하였다. 인장시험은 일본토목학회에서 제안한 방법에 따라 실시하였다(JSCE 2008). 일축인장 시험을 위하여 최대용량 2톤의 전기식 인장시험기를 이용하였다. 인장하중은 변위제어 방식으로 0.1mm/min의 속도로 가하였으며, 이는 변형률 속도 2.08×10^{-5} 1/s로서 준정적 하중에 해당한다(Bischoff and Perry 1991; Hentz et al. 2004).

하중은 인장시험기에 부착된 로드셀(Load cell)을 이용하여 측정하였으며, 측정구간내에 발생한 변형은 시험체 상하부에 부착된 지그에 변위계를 설치하여 측정하였다. 균열발생에 따라 생길 수 있는 편심에 의한 변형량을 보상하기 위하여 변위계는 시험체 양쪽에 하나씩 설치하였으며, 측정된 값을 평균하여 변형률으로 사용하였다. 인장응력은 하중을 단면적으로 나누어 계산하였으며, 변형률은 변형량을 측정구간(80mm)로 나누어 계산하였다.

균열패턴을 조사하기 위하여 인장시험이 종료된 시험체에서 측정구간(80mm) 내에 발생한 균열 개수를 확대경을 이용하여 측정하였다. 균열 간격은 측정구간을 균열 개수로 나누어 계산하였다. 균열이 발생하지 않은 구간의 변형은 균열부분에 비하여 매우 작은 것으로 가정하였으며, 이러한 가정하에 균열폭은 시험체가 인장강도가 도달하였을 때 측정구간 내에 발생한 총 변형량을 균열 개수로 나누어 계산하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 압축 강도

섬유 종류에 따른 압축강도 실험결과는 Fig. 1과 같다. 친수성을 갖기 때문에 섬유와 매트릭스 사이에 화학적 부착이 존재하는 폴리비닐알코올 섬유를 혼입한 PVA 배합이 가장 큰 압축강도를 나타내었으며, 인장강도가 가장 낮은 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 PP 배합이 가장 낮은 압축강도를 나타내었다. 매트릭스를 이루는

재료 및 배합이 동일하더라도 혼입하는 섬유 종류에 따라 최대 10% 압축강도에 차이가 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 기존 연구에서도 시멘트 기반 페이스트에 섬유를 혼입하여 압축강도가 3.4% 증가한 것으로 나타나 섬유 혼입이 압축강도에 미치는 영향이 있음을 알 수 있다(Kwon et al. 2016). 재료의 불확실성의 정도를 나타내는 변동계수는 PP 배합이 4.3%로 가장 크게 나타났으며, PE 배합이 0.6%로 가장 낮게 나타났다.

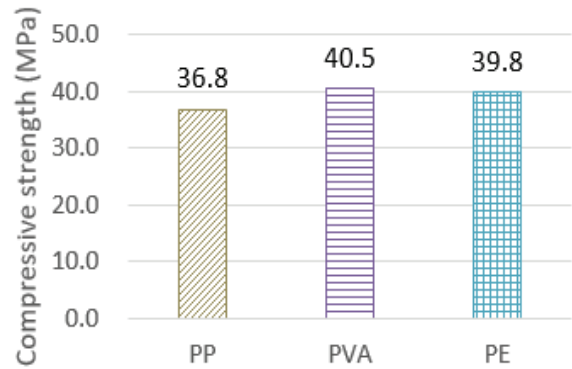
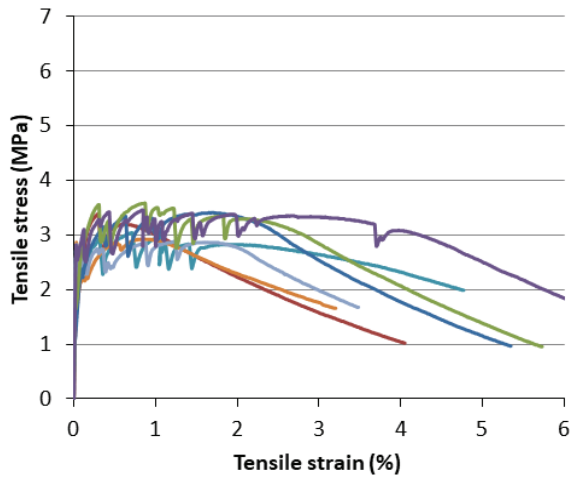


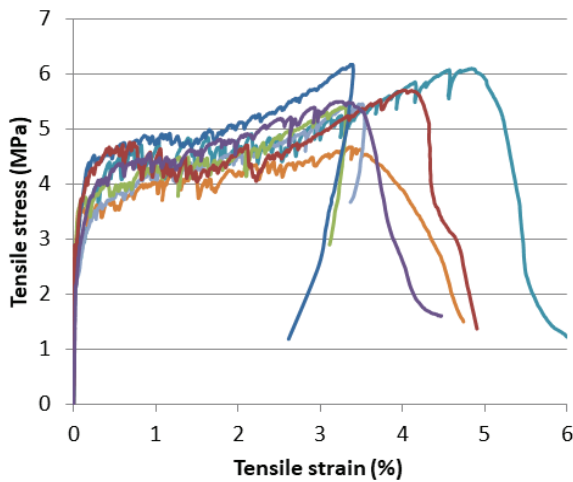
Fig. 1. Compressive strength

3.2 일축 인장

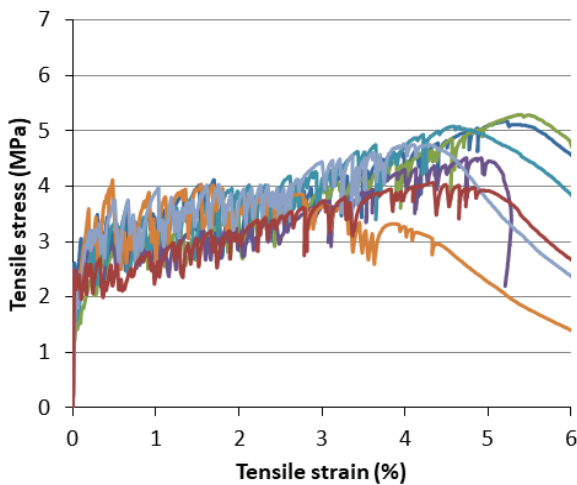
각 배합별 인장응력과 인장변형률 그래프는 Fig. 2와 같다. 3가지 섬유를 혼입한 각 배합에서 모두 정도의 차이는 있으나 고연성 복합재료의 특징인 변형이 증가하면서 응력이 증가하는 변형경화 현상이 나타났다. 특히 PVA 배합과 PE 배합에서 변형경화현상이 뚜렷하게 나타났다. 모든 배합과 시험체에서 변형경화현상이 나타나는 과정 중에 갑작스런 응력저하가 나타나는데 이는 하중 가력 방법에 기인한다. 이 연구에서와 같이 시험체에 변위제어 방식으로 하중을 가하게 되면 시험체에 균열이 발생할 때마다 변형의 적합조건에 의해 균열이 발생하지 않은 부분의 변형이 감소하게 되어 재료의 힘과 변형의 관계로부터 응력이 감소하기 때문이다. 따라서 응력감소가 발생한 개수는 균열이 발생한 개수와 일치한다. 이를 통해 PP 배합에 비하여 PVA 배합과 PE 배합의 시험체들에 더 많은 균열이 발생하였음을 유추할 수 있다. PP 배합과 PE 배합에 비하여 PVA 배합 시험체에서 응력저하가 작게 발생하였는데 이는 PVA 섬유가 친수성을 갖기 때문에 섬유와 매트릭스의 계면에서 화학적 부착이 있기 때문이다. 즉, 화학적 부착력이 존재하게 되면 섬유가 교 응력과 균열개구 변위 관계에서 화학적 부착력만큼 균열개구변위가 0일 때 섬유가 교 응력이 존재하기 때문이다.



(a) PP



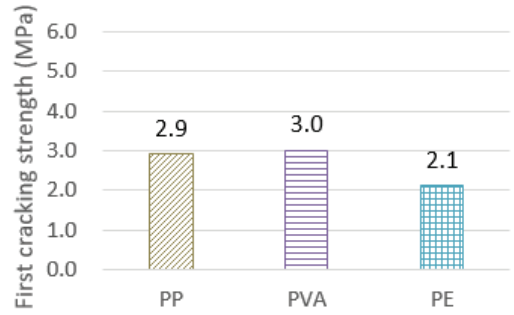
(b) PVA



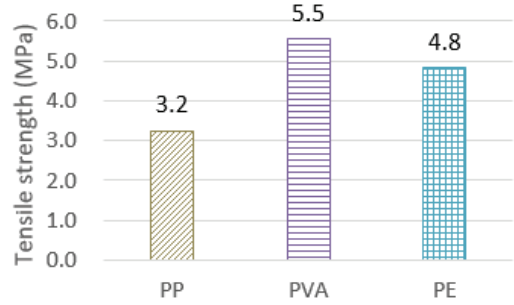
(c) PE

Fig. 2. Tensile stress-strain curves

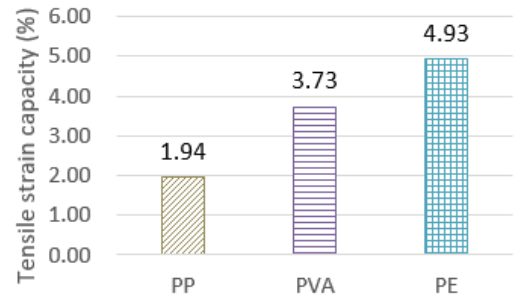
Fig. 3은 재료의 인장거동을 정량적으로 나타낼 수 있는 첫 번째 균열강도(First cracking strength), 인장강도(Tensile strength), 인장변형성능(Tensile strain capacity), 인성(Toughness)을 배합



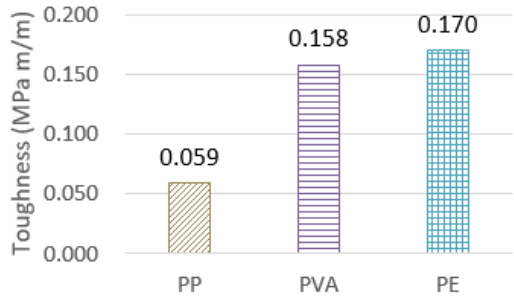
(a) First cracking strength



(b) Tensile strength



(c) Tensile strain capacity



(d) Toughness

Fig. 3. Tensile behavior

별로 나타낸 것이다. 첫 번째 균열강도는 인장응력과 변형을 곡선에서 강성이 처음으로 급격하게 변하기 시작하는 응력으로 정의하였다. 인장강도는 최대 응력으로 정의하였으며, 인장변형성능은 인장강도에 해당하는 변형률로 정의하였다. 인성은 인장변형성능까지의 인장응력과 인장변형을 곡선의 면적으로 정의하였으며, 이는 재료가 파괴될 때까지 흡수할 수 있는 에너지를 의미한다(Li et al, 2001; Choi et al, 2018).

화학적 부착이 존재하는 PVA 배합의 첫 번째 균열강도가 가장 크게 나타났으며, PE 배합이 가장 작은 것으로 나타났다. 변동계수는 13.4%에서 16.3%로 압축강도의 변동계수(최대 4.3%)에 비하여 매우 크게 나타났는데 이는 실험방법에 의한 것으로 판단된다. 직접인장실험은 실험체의 가장 약한 부분에서 균열이 시작되기 때문에 재료의 변동성이 크게 측정되는 반면 압축강도 실험은 상대적으로 실험체의 많은 면적이 파괴와 관련되기 때문이다. 또한 실험 준비 과정에서 직접인장실험의 경우 초기 하중의 편심 등에 의한 영향을 압축강도 실험에 비하여 크게 받기 때문이다.

인장강도는 PVA 배합이 가장 크게 나타났으며, 섬유인장강도가 가장 낮은 PP 배합이 가장 낮게 나타났다. 이론적으로 다른 조건이 동일한 경우 섬유의 인장강도가 증가하고, 형상비가 증가할수록 최대 섬유가교응력이 증가한다. 폴리에틸렌 섬유의 인장강도는 폴리비닐알코올 섬유에 비하여 91% 높고, 형상비는 2.5배 높음에도 불구하고, PVA 배합의 인장강도가 PE 배합에 비하여 높은 이유는 섬유와 매트릭스사이의 계면 특성 차이 때문인 것으로 판단된다. 섬유와 매트릭스 사이의 화학적 부착이 너무 큰 경우 섬유가 뽑히지 못하고 파단되는 경우가 많이 발생할 수 있기 때문에 인장성능이 낮을 수 있다. 그러나 이 연구에서 사용한 폴리비닐알코올 섬유와 같이 적절한 표면처리를 하는 경우 다른 섬유를 사용한 것보다 높은 인장강도를 확보할 수 있음을 확인하였다. 유사한 소수성 성질을 갖는 폴리프로필렌 섬유를 사용한 PP 배합의 인장강도가 PE 배합에 비하여 낮은 이유는 섬유의 인장강도가 가장 큰 이유로 판단된다. 인장강도의 변동계수는 8.0%에서 8.5%로 첫 번째 균열강도의 변동계수의 약 절반으로 나타났으나 압축강도의 변동계수에 비해서는 2배 이상으로 나타났다.

Fig. 3(c)는 각 배합별 인장변형성능을 나타낸다. PE 배합의 인장변형성능은 PP 배합에 비하여 2.5배, PVA 배합에 비하여 1.3배 높은 것으로 나타났다. 인장변형성능은 다중균열과 변형경화현상이 나타나기 위한 강도 조건과 에너지 조건을 이용하여 이론적으로 설명할 수 있으며, 강도 조건은 강도 지표가 1보다 큰 경우 만족

된다. 강도 지표는 첫 번째 균열강도 대비 인장강도의 비와 같다. 그리고 강도 지표가 클수록 인장변형성능이 크게 나타날 확률이 크다. PP, PVA, PE 배합의 강도 지표는 각각 1.1, 1.8, 2.3으로 인장변형성능과 동일한 순서로 크게 나타났다.

인성도 PE 배합이 가장 크고, PP 배합이 가장 작게 나타났다. 인성은 인장강도와 인장변형성능의 영향을 동시에 받기 때문에 PVA 배합과 PE 배합의 차이는 줄어드는 것으로 나타났다. 종합적으로 동일한 매트릭스이더라도 섬유의 종류에 따라 인장거동에 큰 차이가 발생하는 것을 확인하였으며, 섬유의 강도나 형상비 이외의 요인들도 인장거동에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

Fig. 4는 균열패턴을 정량적으로 나타낼 수 있는 균열개수, 균열간격, 균열폭을 배합별로 나타낸 것이다. 2.3절에 기술된바와 같이 균열개수는 측정구간인 80mm내에 발생한 평균 균열의 개수를 의미한다. 균열개수는 인장변형성능과 인성과 같이 PE 배합에서 가장 많은 것으로 관찰되었으며, PP 배합이 가장 작은 것으로 관찰되었다. 균열간격은 측정구간을 균열개수로 나누어 계산하였기 때문에 균열개수와 반대되는 경향이 나타났다. 균열이 발생한 부분에서는 외력을 모두 섬유가교에 의해 저항하게 되고, 균열로부터 거리가 멀어질수록 섬유에서 매트릭스로 전달되는 응력이 증가하여 매트릭스에 유발되는 응력이 증가하게 된다. 새로운 균열은 섬유에서 매트릭스로 전달되는 응력이 매트릭스의 균열강도보다 크면 발생하게 되는데 계면 마찰력이 증가할수록 기존에 발생한 균열로부터 새로운 균열이 발생하는 거리는 짧아지게 된다. 이러한 사실로부터 PE 배합과 PVA 배합은 섬유에서 매트릭스로 전달하는 응력이 유사함을 알 수 있다. PP 배합의 경우 발생한 균열의 개수가 다른 두 배합에 비하여 매우 작는데 이는 낮은 섬유 인장강도로 인하여 최대 섬유가교응력이 매트릭스의 균열강도보다 충분히 크지 못하기 때문인 것으로 판단된다. PP 배합의 균열폭은 PVA 배합과 PE 배합의 균열폭에 비하여 크게 나타나 인장강도가 낮은 폴리프로필렌 섬유를 사용하는 경우 역학적성능 뿐만 아니라 내구성 측면에서 균열패턴도 좋지 않은 것으로 나타났다.

이 연구에서는 한 가지 종류의 매트릭스에 대해서만 조사하였지만, 종합적으로 매트릭스를 구성하는 재료 및 배합이 동일하더라도 역학적성능 및 균열패턴에 큰 차이가 발생하는 것으로 나타났으며, 섬유의 물리/화학적 특성에 차이가 크더라도 유사한 역학적성능과 균열패턴을 갖는 복합재료 제조가 가능한 것으로 나타났다. 따라서 목표 재료 성능을 얻기 위해서는 매트릭스에 적합한 섬유를 선정하는 것이 필요한 것으로 나타났다.

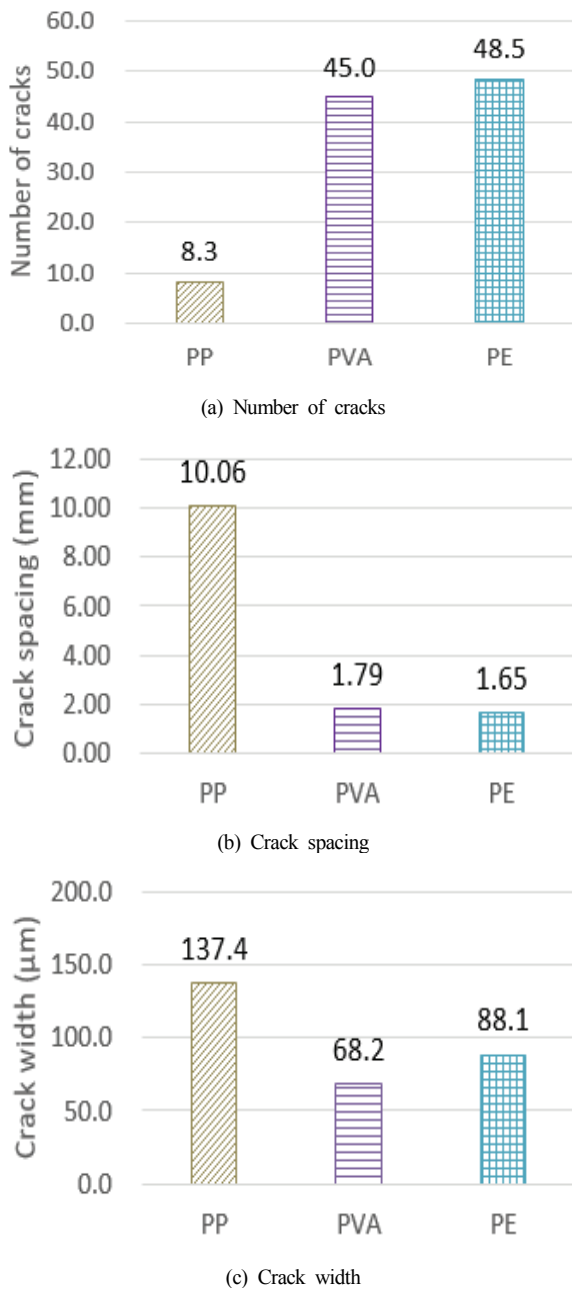


Fig. 4. Cracking pattern

4. 결론

이 연구에서는 합성섬유의 종류에 따라 알칼리활성 슬래그 복합재료의 역학적 성능이 어떠한 영향을 받는지 실험적으로 조사하였다. 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 물리/화학적 성질이 다른 3가지 섬유 사용으로 최대 10%의 압축강도 차이가 발생하였으며, 상대적으로 폴리비닐알코올과 폴리에틸렌 섬유를 사용한 경우 압축강도가 크게 나타났다.
- (2) 폴리비닐알코올 섬유와 폴리에틸렌 섬유는 섬유의 형상비, 인장강도, 표면특성이 다름에도 불구하고 복합재료의 인장성능 뿐만 아니라 균열패턴도 유사하게 나타났다. 친수성을 나타내는 폴리비닐알코올 섬유로 보강된 복합재료는 폴리에틸렌 섬유로 보강된 복합재료에 비하여 인장강도는 높고 인장변형성능은 낮지만 인성은 유사한 것으로 나타났다. 또한 폴리비닐알코올 섬유로 보강된 복합재료는 작은 균열폭을 나타내어 내구성 측면에서 우수한 것으로 나타났다.
- (3) 낮은 인장강도와 소수성 성질을 갖는 폴리프로필렌 섬유로 보강한 복합재료는 다른 섬유로 보강한 복합재료에 비하여 성능이 낮은 것으로 나타났으며, 이를 통하여 우수한 인장성능을 갖기 위해서는 섬유의 인장강도가 충분히 높아야 하는 것으로 확인되었다.

Conflict of interest

None.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(19CTAP-C151882-01)과 건설기술연구사업의 연구비지원(19SCIP-B103706-05)에 의해 수행되었습니다.

References

Bischoff, P.H., Perry, S. (1991). Compressive behaviour of concrete at high strain rates, *Materials and Structures*, **24**(6), 425-450.

Choi, J.I., Park, S.E., Lee, B.Y., Kim, Y.Y. (2018). Tensile properties of polyethylene fiber-reinforced highly ductile composite with compressive strength of 100MPa class, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **30**(5), 497-503 [in Korean].

Choi, J.I., Song, K.I., Song, J.K., Lee, B.Y. (2016a). Composite properties of high-strength polyethylene fiber-reinforced cement and cementless composites, *Composite Structures*, **138**,

- 116–121.
- Choi, J.I., Lee, B.Y., Ranade, R., Li, V.C., Lee, Y. (2016b). Ultra-high-ductile behavior of a polyethylene fiber-reinforced alkali-activated slag-based composite, *Cement and Concrete Composites*, **70**, 153–158.
- Choi, S.J., Choi, J.I., Song, J.K., Lee, B.Y. (2015). Rheological and mechanical properties of fiber-reinforced alkali-activated composite, *Construction and Building Materials*, **96**, 112–118.
- Damtoft, J., Lukasik, J., Herfort, D., Sorrentino, D., Gartner, E. (2008). Sustainable development and climate change initiatives, *Cement and Concrete Research*, **38(2)**, 115–127.
- Hentz, S., Donz, F.V., Daudeville, L. (2004). Discrete element modelling of concrete submitted to dynamic loading at high strain rates, *Computers & structures*, **82(29–30)**, 2509–2524.
- Jeong, G.Y., Jang, S.J., Kim, Y.C., Yun, H.D. (2018). Effects of steel fiber strength and aspect ratio on mechanical properties of high-strength concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **30(2)**, 197–205 [in Korean].
- JSCE. (2008). Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple Fine Cracks (HPFRCC), Japan: Japan Society of Civil Engineers.
- Kang, C., Huh, J., Kwak, K., Lee, B.Y. (2018). Assessment of self-healing performance of fly ash concrete incorporating PE fiber and PVA fiber using flexural test, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **30(2)**, 157–166 [in Korean].
- Kwon, S.J., Kang, S.T., Choi, J.I., Lee, B.Y. (2016). Compressive and tensile behavior of polyethylene fiber reinforced composite according to silica sand and fly ash, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **4(1)**, 25–30 [in Korean].
- Lee, B.Y., Cho, C.G., Lim, H.J., Song, J.K., Yang, K.H., Li, V.C. (2012). Strain hardening fiber reinforced alkali-activated mortar – a feasibility study, *Construction and Building Materials*, **37**, 15–20.
- Lee, Y., Choi, J.I., Kim, H.K., Lee, B.Y. (2017). Effects of a defoamer on the compressive strength and tensile behavior of alkali-activated slag-based cementless composite reinforced by polyethylene fiber, *Composite Structures*, **172**, 166–172.
- Malhotra, V. (2002). Introduction: sustainable development and concrete technology, *Concrete International*, **24(7)**, 22.

합성섬유 종류가 무시멘트 복합재료의 재료 거동에 미치는 영향

이 연구의 목적은 보강섬유로 합성섬유의 종류가 알칼리활성 슬래그 복합재료의 역학성능에 미치는 영향을 조사하는 것이다. 이를 위하여 매트릭스 재료 및 배합을 결정하였고, 폴리프로필렌, 폴리비닐알코올, 폴리에틸렌 섬유로 보강된 복합재료의 압축강도, 인장성능 및 균열패턴을 평가하였다. 실험결과 폴리비닐알코올 섬유와 폴리에틸렌 섬유로 보강한 복합재료는 유사한 인장성능을 나타낸 반면 폴리프로필렌 섬유로 보강한 복합재료는 낮은 인장성능을 나타내었다. 또한 동일한 매트릭스이더라도 섬유의 종류에 따라 인장거동에 큰 차이가 발생하는 것을 확인하였으며, 섬유의 강도나 형상비 이외의 요인들도 인장거동에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.