

## 양생 조건이 알칼리 활성 슬래그 기반 섬유보강 복합재료의 압축강도와 인장거동에 미치는 영향

# Effects of Curing Conditions on Compressive Strength and Tensile Behavior of Alkali-Active Slag-Based Fiber Reinforced Composites

박세연<sup>1</sup> · 최정일<sup>2</sup> · 이방연<sup>3\*</sup>Se-Eon Park<sup>1</sup> · Jeong-Il Choi<sup>2</sup> · Bang Yeon Lee<sup>3\*</sup>

(Received July 29, 2021 / Revised September 4, 2021 / Accepted September 8, 2021)

The purpose of this study was to experimentally investigate the effects of curing methods on the compressive strength and tensile behavior of alkali-activated slag-based fiber-reinforced composite with a water-to-binder ratio of 15%. Three kinds of mixtures according to the curing conditions were prepared and compressive strength and tension tests were performed. Test results showed that the compressive strength and the first cracking strength of composites decreased when high temperature curing and air curing were adopted, while tensile strain capacity of composites increased. It was also observed that crack spacing and crack width of composites decreased by applying high temperature and air curing.

**키워드** : 무시멘트 복합재료, 섬유, 인장거동, 고온 양생**Keywords** : Cementless composite, Fiber, Tensile behavior, High temperature curing

## 1. 서론

대부분의 사회기반시설물은 콘크리트와 철로 이루어져 있으며, 이는 두 재료의 양이 다른 재료에 비하여 풍부하고 물리/화학적 장점을 갖고 있기 때문이다. 특히 콘크리트는 가격이 저렴하고 충분한 강도를 가지면서 내구성이 높은 장점이 있는 재료이다. 그러나 낮은 인장강도, 취성적 거동, 이산화탄소 배출 등은 콘크리트의 단점이다(Malhotra 2001; Mindess et al. 2003). 이러한 콘크리트의 재료적 단점을 극복하기 위해 섬유보강 콘크리트가 개발되었고(ACI Committee 544, 1R 1996), 현재까지도 지속적으로 고성능 섬유보강 콘크리트가 개발되고 있다.

특히 ECC(Engineered Cementitious Composites)는 시멘트계 결합재를 사용한 모르타르에 높은 형상비와 강도를 갖는 합성섬유를 전체 부피 대비 2% 이내로 혼입하여 100 $\mu$ m 이하의 미세 다중

균열 발생을 유도하여 변형경화현상과 3% 이상의 높은 연성을 나타내는 재료이다(Maalej and Li 1994). 2012년 이후 ECC의 친환경성을 높이기 위해 시멘트를 사용하지 않고 산업 부산물과 알칼리 활성화제를 결합재로 사용한 무시멘트 고연성 복합재료를 개발하기 위한 연구가 많이 수행되었다.

Lee et al.(2012)는 고로슬래그와 알칼리 활성화제를 결합재로 사용하고 폴리비닐알코올 섬유를 사용하여 4% 이상의 인장변형 성능을 나타내는 무시멘트 고연성 복합재료를 개발하였으며, Choi et al.(2016)은 강도와 형상비가 크며 소수성 특성을 갖는 폴리에틸렌 섬유를 보강섬유로 사용하여 7% 이상의 변형성능이 나타나는 복합재료를 개발하였다. Lee et al.(2017)은 소포제가 알칼리 활성 슬래그 기반 무시멘트 복합재료의 압축강도 및 인장 거동에 미치는 영향을 조사하였고, 결합재 무게대비 0.1% 정도 소량의 소포제를 혼입하여 10%에서 25% 정도의 압축 및 인장성

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

<sup>1</sup>전남대학교 건축토목공학과 박사과정 (Department of Architecture and Civil Engineering, Chonnam National University, Gwangju, 61186, Korea)<sup>2</sup>전남대학교 바이오하우징연구소 박사후 연구원 (Biohousing Research Center, Chonnam National University, Gwangju, 61186, Korea)<sup>3</sup>전남대학교 건축학부 교수 (School of Architecture, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea)

Table 1. Properties of slag

Material	Chemical composition(%)								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	etc.
GGBFS*	30.6	13.8	0.5	40.4	8.0	4.0	0.9	0.5	1.3

\* GGBFS: Ground Granulated Blast Furnace Slag

능을 향상할 수 있음을 확인하였다. Kwon et al.(2018)은 합성섬유의 종류 즉, 폴리프로필렌 섬유, 폴리에틸렌 섬유, 폴리파라페닐렌 벤조비스옥사졸 섬유가 무시멘트 복합재료의 압축강도와 인장거동에 미치는 영향을 조사하였다. 실험결과 폴리에틸렌 섬유를 사용한 경우 복합재료에서 가장 높은 인장변형률과 미세 다중 균열이 발생하였으며, 강도가 높은 폴리파라페닐렌 벤조비스옥사졸 섬유를 사용한 경우 복합재료의 인장변형률은 낮지만 인장강도는 큰 것으로 나타났다. Choi et al.(2021)는 폴리에틸렌 섬유 종류 및 수중 양생과 기중 양생에 따른 무시멘트 복합재료의 압축강도와 인장거동에 미치는 영향을 조사하였으며, 섬유의 형상비가 클수록 인장강도가 향상되고 균열폭도 감소하는 것으로 나타났다. 또한 섬유인발 실험과 섬유가교거동 해석을 통하여 복합재료 성능 차이가 발생하는 이유를 이론적으로 입증하였다. Park et al.(2021)은 고성능 감수제의 종류에 따라 알칼리 활성 슬래그 기반 무시멘트 복합재료의 인장강도, 인장변형률, 인성이 최대 28.1%, 39.1%, 66.2% 차이가 나는 것을 확인하였다. 또한 고성능 감수제는 균열폭에 영향이 없는 반면 균열 개수에 큰 영향이 있는 것으로 나타났다.

알칼리 활성 슬래그 결합재와 더불어 플라이 애시를 주 결합재로 사용한 고성능 무시멘트 복합재료도 2014년 이후에 활발히 연구되고 있다(Ohno and Li 2014; Nematollahi et al. 2016; Shaikh and Haque 2018; Ohno and Li 2018). 플라이 애시를 결합재로 사용하는 경우 일반적으로 고온 양생을 실시하며, 이는 고온 양생이 알칼리 활성화제와 플라이 애시의 화학 반응을 촉진하여 결정 구조가 비정질에서 결정질로 바뀌며 강도가 발현되는 특징이 있기 때문이다(Gunasekara et al. 2019). 플라이 애시와 알칼리 활성화제를 결합재로 사용하고 폴리비닐알코올 섬유를 보강섬유로 사용한 무시멘트 복합재료에서 고온 양생 조건이 복합재료의 압축강도, 인장강도, 인장변형률에 미치는 영향을 조사한 Ohno and Li(2014)의 연구에서도 양생온도가 높고 양생시간이 길수록 강도와 인장변형률이 증가하는 것으로 나타났다. 이 연구에서는 알칼리 활성 슬래그 기반 복합재료에 수중 양생을 적용한 경우와 비교하여 고온 양생과 기중 양생이 압축강도 및 인장거동에 미치는 영향을 실험적으로 조사하고자 한다.

## 2. 실험 재료 및 방법

### 2.1 실험 재료

#### 2.1.1 결합재

이 연구에서는 고로슬래그와 수산화칼슘을 결합재로 사용하였다. 고로슬래그는 KS F 2563에 규정된 비표면적과 밀도가 각각 4,320cm<sup>2</sup>/g과 2.92cm<sup>3</sup>/g인 고로슬래그 미분말 3종을 사용하였다. XRF(X-ray fluorescence) 분석을 통한 고로슬래그의 화학적 성분은 Table 1과 같다. 고로슬래그의 잠재수경성을 활성화하기 위한 알칼리 활성화제로 분말형의 수산화칼슘을 사용하였다.

#### 2.1.2 섬유

보강 섬유로는 폴리에틸렌 섬유를 사용하였으며, 섬유의 물성은 Table 2와 같다. 일반적으로 폴리비닐알코올 섬유를 사용하는 고성능 복합재료의 경우 섬유를 전체 부피 대비 약 2%를 사용하고 있는데(Li and Li 2013; Kim et al. 2003), 이 연구에서는 고강도 폴리에틸렌 섬유를 사용하였기 때문에 섬유의 양을 1.75%로 적게 사용하였다.

Table 2. Properties of fiber

Length (mm)	Diameter (μm)	Aspect ratio	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
18	12	1,500	2,700	88	0.97

#### 2.1.3 혼화제

균질한 섬유 분산과 적절한 유동성 확보를 위하여 폴리 카르본산계 고성능 감수제를 사용하였으며, 실험체 제작과정에서 의도하지 않은 기포로 인하여 압축강도와 인장거동에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 소포제를 사용하였다.

### 2.2 배합 및 양생 방법

이 연구에서 조사한 배합은 Table 3과 같다. 사용한 재료 및 배합 비율은 3가지 모두 동일하며, 양생 방법에 차이가 있다. 실험

Table 3. Mixture

	Binder		Water	SP* (%)	AF* (%)	Fiber (Vol. %)	High temperature curing time(hours)
	GGBFS	Ca(OH) <sub>2</sub>					
PE15-W	0.90	0.10	0.15	2.67	0.10	1.75	-
PE15-6H	0.90	0.10	0.15	2.67	0.10	1.75	6
PE15-36H	0.90	0.10	0.15	2.67	0.10	1.75	36

\* SP: Superplasticizer, \* AF: Anti-foamer

체를 제작하기 위하여 분말형 재료인 결합재(고로슬래그와 알칼리 활성화제)를 혼합기에서 건비율 한 후 배합수, 고성능 감수제, 소포제를 넣고 약 3분간 혼합하였다. 이후 섬유를 서서히 투입한 후 섬유가 균질하게 분산될 때까지 5분간 혼합하였다. 섬유 분산이 균질한 것을 확인한 후 압축강도 측정을 위해 50mm 입방형 공시체를 배합별로 3개씩 제작하였다. 인장실험을 위해 일본 토목학회에서 제안한 방법에 따라 Fig. 1(a)와 같은 형상의 실험체를 배합별로 5개씩 제작하였다(JSCE 2008). 실험체를 제작한 후 양생 온도 (23±3)°C, 상대습도(60±5)%에서 48시간 동안 기중 양생을 실시한 후 탈형하였다. 이후 PE15-W 배합의 경우, (23±3)°C의 양생 수조에서 재령 28일까지 수중 양생을 실시하였고, PE15-6H와 PE15-36H 배합의 경우 각각 6시간, 36시간 동안 고온 양생(70°C)을 진행하였다. 고온 양생 종료 후에는 (23±3)°C, 상대습도 (60±5)%에서 재령 28일까지 기중 양생을 실시하였다.

### 2.3 실험 방법

각 배합별 실험체들의 압축강도는 KS L 5105에 따라 측정하였다. 일축인장 실험은 일본토목학회에서 제안한 방법에 따라 실시하였으며, 2톤 용량의 전기식 인장실험기를 이용하였다. 하중은 0.1mm/min 속도로 변위제어 방식으로 가하였다. 하중은 실험기에 부착된 로드셀을 통하여 측정하였으며, 실험체의 변형량은 실험체 가운데 단면적이 일정한 구간에서 발생한 변형량을 측정할 수 있

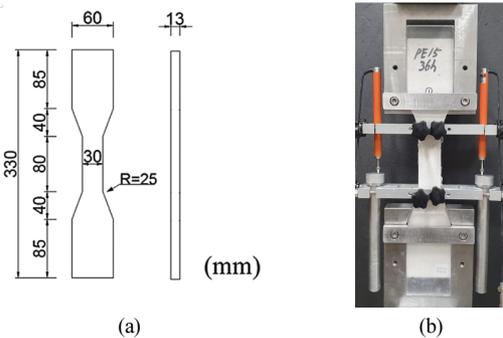


Fig. 1. (a) Dimension of specimen and (b) test setup

도록 Fig. 1(b)와 같이 지그를 이용하여 변위측정기를 실험체 양쪽에 설치하였다. 측정된 하중과 변형량을 바탕으로 재료적 특성인 응력과 변형률 값을 계산하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 압축강도

양생 조건에 따른 배합별 압축강도는 Fig. 2와 같다. 압축강도는 PE15-W 배합이 53.9MPa로 가장 높게 측정되었으며, PE15-6H 배합과 PE15-36H 배합은 PE15-W 배합대비 각각 8.4%와 11.9% 낮은 압축강도를 나타내었다. 알칼리 활성 슬래그 기반 복합재료의 경우 고온 양생을 적용하고 기중 양생을 실시하면 고온 양생 시간이 늘어날수록 압축강도 값이 감소하는 것을 알 수 있으며, 표준편차는 양생 조건에 따라 뚜렷한 경향을 나타내지는 않았다.

### 3.2 인장거동

양생 조건에 따른 배합별 인장응력과 변형률 그래프는 Fig. 3과 같다. 모든 배합과 실험체에서 뚜렷한 변형경화거동이 나타났으며, 다중 균열이 발생하였음을 알 수 있다. 이는 변위 제어 방식으로 하중이 가해지는 경우 실험체에 균열이 발생하게 되면 힘의

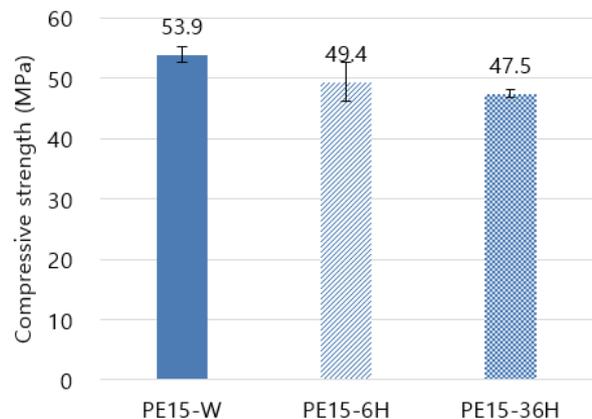


Fig. 2. Compressive strength

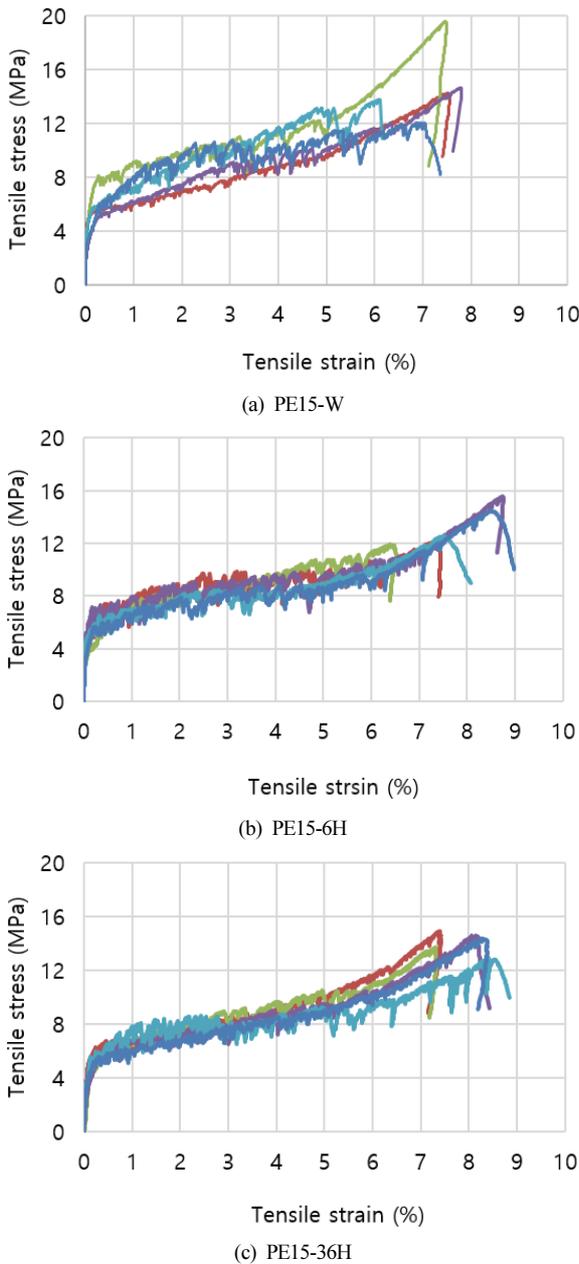


Fig. 3. Tensile stress-strain curves

평형과 변위 적합조건에 따라 순간적인 응력이완이 생기기 때문이다. 따라서 순간적 응력이완을 보이는 시점에 균열이 발생한 것이며, 응력이완의 횡수를 통해 발생한 균열의 개수를 대략 유추할 수 있다. 또한 응력이완의 크기가 크다는 것은 균열이 발생한 후 힘의 평형이 만족하기 위하여 변형이 크게 발생하였다는 것을 의미하고 이는 일반적으로 균열폭이 크게 된다는 것을 의미한다. 전체적으로 고온 양생을 적용하고 기중 양생을 실시하면 인장강도는 감소하고 인장변형능은 증가하는 것으로 나타났다.

섬유보강 복합재료의 인장특성은 첫 번째 균열강도, 인장강도, 인장변형능, 그리고 인성으로 정량적으로 나타낼 수 있으며, Fig. 4에 배합별로 나타나 있다. 매트릭스의 성질에 의해 결정되는 첫 번째 균열강도는 압축강도와 유사한 경향이 나타났다. 수중 양생한 PE15-W 배합이 4.56MPa으로 가장 크게 나타났으며, 일정 시간 동안 고온 양생을 거친 이후 기중 양생을 실시한 PE15-6H 배합과 PE15-36H 배합은 각각 12.0%와 22.4% 감소한 첫 번째 균열강도를 나타내어 압축강도보다 더 큰 영향이 있는 것으로 나타났다. 표준편차는 3개 배합 모두 유사하게 나타났다.

PE15-W 배합의 인장강도는 14.8MPa로 3개 배합 중에서 가장 크게 났다. 일정 시간 동안 고온 양생을 거친 이후 기중 양생을 실시한 PE15-6H 배합과 PE15-36H 배합은 각각 11.5%와 5.08% 감소한 인장강도를 나타내어 배합별 차이는 12% 이내로 압축강도와 유사하게 나타났으나 배합별 차이는 다른 경향을 나타내었다. 이는 인장강도는 매트릭스 특성이 아닌 섬유의 특성과 섬유와 매트릭스 사이의 계면 특성에 의해 결정되고 섬유 분산성과 방향성에 영향을 받기 때문이다. 압축강도 대비 인장강도의 비는 PE15-W 배합이 27.5% PE15-6H 배합이 26.6%, PE15-36H 배합이 29.7%로 나타나 최대 3.1%P 차이 있는 것으로 나타났으며, 일반적인 콘크리트나 일반적인 섬유보강 콘크리트의 비율인 약 10%와 비교하여 매우 큰 것을 알 수 있다.

첫 번째 균열강도 대비 인장강도의 비는 다중 균열과 변형경화 현상이 나타나기 위한 이론적 조건 중의 하나인 강도 지표 (strength performance index)이며, 이론적으로 이 값이 1보다 커야 다중 균열 발생과 변형경화현상이 발생할 수 있으며, 이 값이 클수록 인장변형 능력이 크게 나타날 확률이 높다(Kanda and Li 2006). Fig. 5에서 볼 수 있듯이 3개 배합 모두 이 값이 3보다 크게 나타났으며, 압축강도와 첫 번째 균열강도와 반대의 경향이 나타났다. 이를 통해 PE15-36H 배합의 인장변형능이 가장 클 것으로 예측할 수 있다. Fig. 4(c)의 그래프에서 볼 수 있듯이 실제로 PE15-36H 배합의 인장변형능이 가장 크게 나타났으며, 이는 PE15-W 배합과 PE15-6H 배합보다 각각 10.7%와 3.7% 큰 값이다. 이를 통해 고온 양생 및 기중 양생이 강도저하를 유발하지만 상대적으로 섬유가교거동에 미치는 영향이 적다는 것을 알 수 있다. 인성은 재료가 파괴될 때까지 에너지 흡수 능력을 나타내며, 인장응력과 변형을 곡선의 아래 면적으로 계산할 수 있다. 이 연구에서는 인성을 계산할 때 변형경화거동이 나타난 부분까지만 고려하였으며, Fig. 4(d)에 각 배합별로 나타나 있다. PE15-36H 배합은 인장강도가 낮았음에도 불구하고 인성이 가장 크게 나타났으나 다른 인장성능에 비하여 차이는 크지 않았다. 이는 인성은 인장강

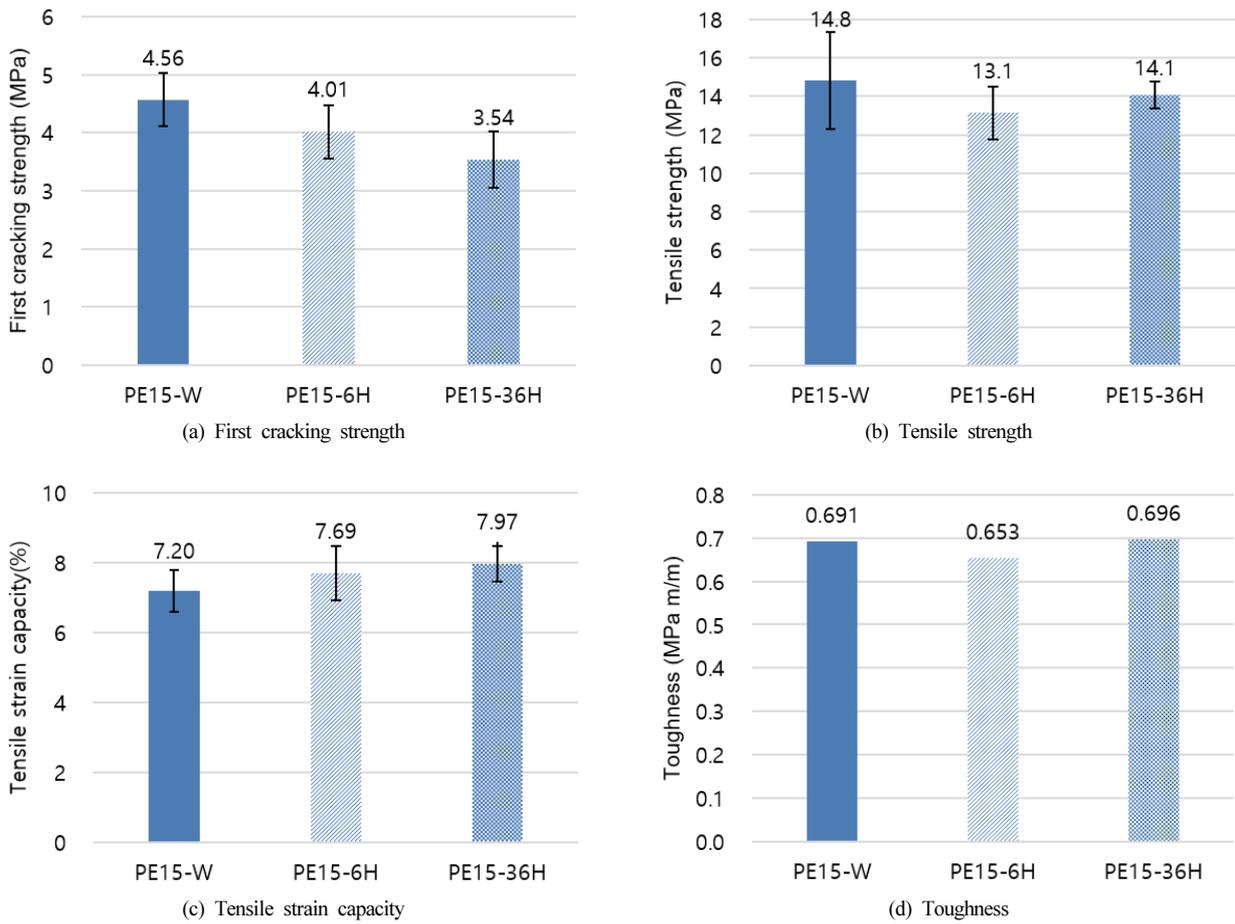


Fig. 4. Tensile behavior

도와 인장변형성능의 영향을 동시에 받기 때문이다.

균열패턴을 정량적으로 나타낼 수 있는 배합별 균열 개수, 균열 간격, 균열폭은 Fig. 6에 나타나 있으며, 각 배합별 대표적인 균열 패턴 사진은 Fig. 7과 같다. 균열 개수는 변형량을 측정된 실험체

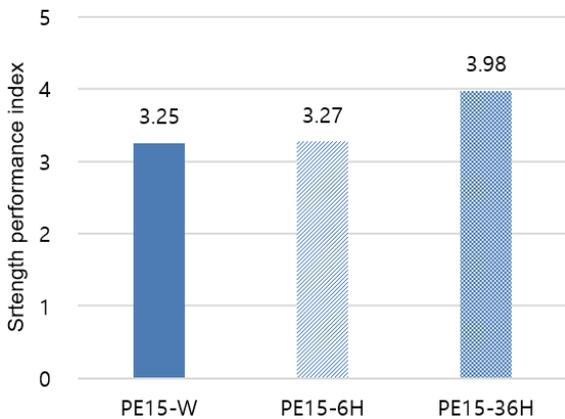


Fig. 5. Strength performance index

중장부 80mm 길이 내에 발생한 균열의 개수를 의미하며, 실험 종료 후 실험체 양쪽 면에서 각각 균열 개수를 현미경을 통해 수작업으로 세고 난 후 평균값으로 구하였다. PE15-W 배합의 균열 개수는 81.7개로 3개 배합 중에서 가장 작은 것으로 나타났고, 일정 시간 동안 고온 양생을 거친 이후 기중양생을 실시한 PE15-6H 배합과 PE15-36H 배합은 각각 26.4%와 39.3% 큰 것으로 나타나 압축강도 및 다른 인장성능과 비교하여 양생 방법에 따른 차이가 크게 나타났다.

균열 간격은 균열 개수 계산에서 기준이 되었던 80mm를 균열 개수로 나누어 계산하였다. 따라서 균열 간격은 균열 개수와 반비례 관계를 나타내게 되며 PE15-W 배합이 가장 크게 나타났다. 균열 간격이 작을수록 균열이 촘촘하게 발생하였다는 것을 의미하며 실험체의 변형량이 같다면 간격이 작을수록 더 많은 균열이 발생하였다는 것을 의미한다. 또한 균열 간격이 작다는 의미는 균열강도 대비 섬유와 매트릭스 사이의 계면마찰력이 더 크다는 것을 의미한다. 이를 통해 알칼리 활성 슬래그 기반 복합재료에 고온

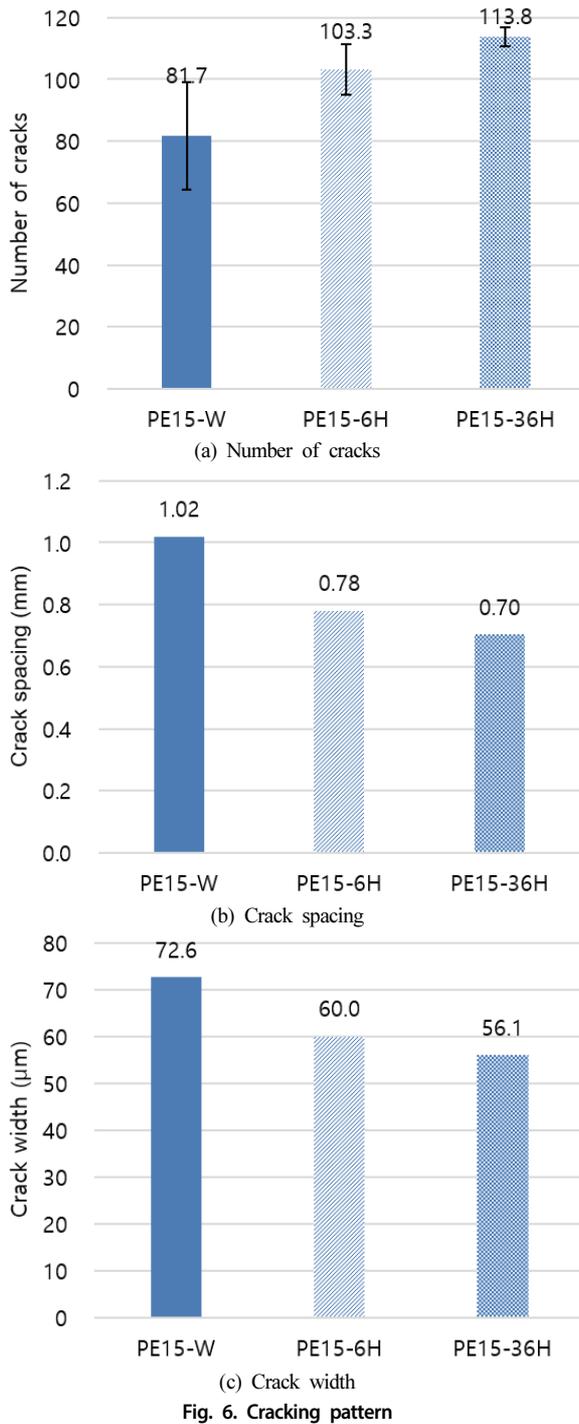


Fig. 6. Cracking pattern

양생을 적용하고 기중 양생을 실시하면 매트릭스의 강도는 감소하지만, 상대 계면마찰력은 증가하는 것을 알 수 있다.

균열폭은 각 실험체의 변형량을 균열 개수로 나누어 계산하였으며, Fig. 6(c)에 나타나 있다. 고온 양생을 가하고 기중 양생을 함에 따라 균열폭이 감소하는 것을 알 수 있으며, 이는 균열 간격의

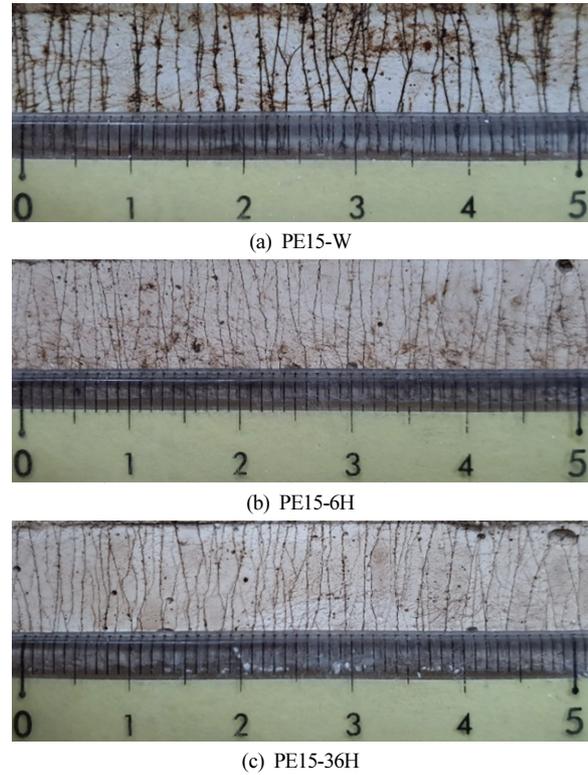


Fig. 7. Representative photos of cracking pattern

결과와 같이 양생 방법이 계면마찰력에 영향을 끼쳤기 때문이다. 전체적으로 알칼리 활성 슬래그 기반 복합재료에 고온 양생을 가하고 기중 양생을 하게 되면 매트릭스의 강도는 감소하지만, 인장 변형성능은 향상되고 균열패턴에도 좋은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

이 연구에서는 양생 방법에 따른 물-결합재비 15%인 알칼리 활성 슬래그 기반 복합재료의 압축 및 인장거동에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였다. 이를 위하여 기준 배합인 수중 양생 실험체와 초기 재령에 6시간과 36시간 고온 양생 이후 기중양생을 실시한 실험체를 제작하였고, 압축강도를 측정하고 인장실험을 수행하였다. 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 물-결합재비 15% 알칼리 활성 슬래그 기반 복합재료에 수중 양생을 적용하여 압축강도 53.9MPa, 인장강도 14.8MPa, 인장변형성능 7.20% 성능이 나타났다. 고온 양생을 한 후 기중 양생을 실시한 복합재료에서는 매트릭스의 성질인 압축강도와 첫 번째 균열강도가 감소하는 것으로 나타났다.

- (2) 알칼리 활성 슬래그 기반 복합재료에 고온 양생을 적용한 후 기중 양생을 실시하면 수중 양생을 실시한 경우와 비교하여 인장변형성능은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 다중 균열 및 변형경화현상이 나타나기 위한 이론적 조건 중의 하나인 강도지표도 인장변형성능과 동일한 경향이 나타났다.
- (3) 알칼리 활성 슬래그 기반 복합재료에 고온 양생을 적용한 후 기중 양생을 실시하면 균열 개수는 증가하고 균열 간격과 균열폭은 감소하는 것으로 나타나 내구성 측면에서 균열 패턴이 우수해지는 것으로 나타났다. 이를 통해 고온 양생과 기중 양생이 강도대비 계면마찰력을 증가시킨다는 것을 알 수 있다.

## Conflicts of interest

None.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21CTAP-C163851-01).

## References

- ACI Committee 544 (1996). Report on Fiber Reinforced Concrete, 544. 1R-96, American Concrete Institute.
- Choi, J.I., Lee, B.Y., Ranade, R., Li, V.C., Lee, Y. (2016). Ultra-high-ductile behavior of a polyethylene fiber-reinforced alkali-activated slag-based composite, *Journal of the Cement and Concrete Composites*, **70**, 153-158.
- Choi, J.I., Nguyễn, H.H., Cha, S.L., Li, M., Lee, B.Y. (2021). Composite properties of calcium-based alkali-activated slag composites reinforced by different types of polyethylene fibers and micromechanical analysis, *Construction and Building Materials*, **273**, 121760, 1-10.
- Gunasekara, C., Dirgantara, R., Law, D.W., Setunge, S. (2019). Effect of curing conditions on microstructure and pore-structure of brown coal fly ash geopolymers, *Applied Sciences*, **9(15)**, 3138.
- JSCE (2008). Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple Fine Cracks (HPFRCC), *Concrete Engineering Series*.
- Kanda, T., Li, V.C. (2006). Practical design criteria for saturated pseudo strain hardening behavior in ECC, *Journal of Advanced Concrete Technology*, **4(1)**, 59-72.
- Kim, Y.Y., Kong, H.J., Li, V.C. (2003). Design of engineered cementitious composite(ECC) suitable for wet-mix shotcreting, *ACI Materials Journal*, **100(6)**, 511-518.
- Kwon, S.J., Choi, J.I., Nguyen, H.H., Lee, B.Y. (2018). Tensile strain-hardening behaviors and crack patterns of slag-based fiber-reinforced composites, *Computers and Concrete*, **21(3)**, 231-237.
- 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.
- Li, M., Li, V.C. (2013). Rheology, fiber dispersion, and robust properties of engineered cementitious composites, *Journal of the Materials and Structure*, **46(3)**, 405-420.
- Maalej, M., Li, V.C. (1994). Flexural/tensile-strength ratio in engineered cementitious composites, *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, **6(4)**, 513-528.
- Malhotra, V.M. (2001). Introduction: sustainable development and concrete technology, *Concrete International*, **24(7)**, 22.
- Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D. (2003). *Concrete*, Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ, 317.
- Nematollahi, B., Sanjayan, J., Shaikh, F.U.A. (2016). Matrix design of strain hardening fiber reinforced engineered geopolymer composite, *Composites Part B Engineering*, **89**, 253-265.
- Nematollahi, B., Qiu, J., Yang, E.H., Sanjayan, J. (2017). Microscale investigation of fiber-matrix interface properties of strain-hardening geopolymer composite, *Ceramic International*, **43(17)**, 15616-15625.
- Ohno, M., Li, V.C. (2014). A feasibility study of strain hardening fiber reinforced fly ash-based geopolymer composites, *Construction and Building Materials*, **57**, 163-168.
- Ohno, M., Li, V.C. (2018). An integrated design method of Engineered Geopolymer Composite, *Cement and Concrete Composites*, **88**, 73-85.
- Park, S.E., Choi, J.I., Kim, Y.Y., Lee, B.Y. (2021). Tensile behavior and cracking patterns of fiber-reinforced cementless composites according to types of superplasticizers, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **9(2)**, 200-207 [in Korean].

Shaikh, F., Haque, S. (2018). Behaviour of carbon and basalt fibres reinforced fly ash geopolymer at elevated temperatures, International Journal of Concrete Structures and Materials, **12(1)**, 1–12.

**양생 조건이 알칼리 활성 슬래그 기반 섬유보강 복합재료의 압축강도와 인장거동에 미치는 영향**

이 연구의 목적은 양생조건이 물-결합재비가 15%인 알칼리 활성 슬래그 기반 복합재료의 압축 및 인장거동에 미치는 영향을 실험적으로 조사하는 것이다. 이를 위하여 양생 조건을 다르게 하여 실험체를 제작한 후 압축강도와 인장실험을 수행하였다. 실험 결과 고온 양생과 기중 양생을 적용함에 따라 매트릭스의 압축강도와 균열강도는 감소한 반면 인장변형성능은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 고온 양생과 기중 양생을 통해 복합재료의 균열 간격과 균열폭이 감소하는 것으로 나타났다.