

초고성능 콘크리트와 고연성 무시멘트 복합재료의 압축 및 인장성능

최정일¹, 박세연², 이방연^{3*}

Compressive Strength and Tensile Behavior of Ultra-High Performance Concrete and High-Ductile Cementless Composite

Jeong-Il Choi¹, Se Eon Park², Bang Yeon Lee^{3*}

Abstract: Ultra-high performance concrete and high ductile cementless composite are considered as promising construction materials because those exhibits higher performance in terms of high strength and high ductility. The purpose of this study is to investigate experimentally the compressive strength and tensile behavior of ultra-high performance concrete and high ductile cementless composite. A series of experiments including density, compressive strength, and uniaxial tension tests were performed. Test results showed that the compressive strength and tensile strength of alkali-activated slag based high ductile cementless composite were lower than those of ultra-high performance concrete. However, the tensile strain capacity and toughness of alkali-activated slag based high ductile cementless composite were higher than those of ultra-high performance concrete. And it was exhibited that a high ductility up to 7.89% can be attainable by incorporating polyethylene fiber into the alkali-activated slag based cementless paste.

Keywords: Cementless composite, Compressive strength, Ductility, Tensile behavior, UHPC

1. 서 론

최근 사회적 요구에 따라 구조물이 대형화되고 고성능화됨에 따라 보다 안전하고 효율적인 구조시스템의 개발이 요구되고 있다. 또한 동시에 전통적인 콘크리트보다 우수한 성능을 나타내는 고성능 건설재료에 대한 요구가 높아지고 있으며, 이를 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 초고성능 콘크리트(UHPC: ultra-high performance concrete)와 고연성 섬유보강 복합재료(high ductile fiber reinforced composite)는 대표적인 고성능 건설재료로 분류되고 있다.

초고성능 콘크리트는 150 MPa 이상의 높은 압축강도를 갖으면서, 인장하중 하에서 취성적인 거동을 막기 위해 적절한 양의 섬유를 혼입하고 인장강도가 5 MPa 이상을 나타내는 재료로 정의된다 (AFGC, 2002; Russel and Graybeal, 2013). 이러한 높은 역학성능은 0.25 이하의 낮은 물/결합재비를 갖지만 고체 혼합물들의 입도를 최적화하여 충전밀도를 높이고

고성능 감수제를 사용하여 높은 유동특성을 갖으면서 재료를 밀실하게 함으로써 나타난다. 초고성능 콘크리트에 사용되는 섬유는 주로 수백 마이크로미터의 직경을 갖는 고강도 강섬유이며, 일반적으로 부피비로 1.5%에서 2.0%가 섬유가 혼입된다 (Koh et al., 2013).

고연성 섬유보강 복합재료는 시멘트계 결합재 기반 페이스트 또는 모르타르에 부피비로 약 2%의 섬유를 혼입하여 일축 인장하에서 인장변형성능(또는 연성)이 3% 이상 나타나는 복합재료이다. 일본토목학회에서는 이러한 재료를 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료(HPFRC: high performance fiber reinforced cement composite)로 분류하고 있으며, 미시간대학교에서 개발한 ECC(Engineered Cementitious Composite)는 대표적인 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료이다 (Maalej and Li, 1994; Li et al., 2001; JSCE, 2008). 최근 재료적 친환경성을 높이기 위하여 시멘트를 전혀 사용하지 않고 알칼리 활성화제를 이용하여 활성화 시킨 슬래그나 지오폴리머를 사용하여 고연성 섬유보강 복합재료를 개발한 연구가 수행되었다 (Lee et al., 2012; Ohno and Li, 2014; Nematollahi et al., 2015; Choi et al., 2016).

이와 같이 초고성능 콘크리트와 고연성 섬유보강 복합재료는 수화반응을 하는 결합재 기반 페이스트 또는 모르타르에 비슷한 양의 섬유를 혼입한다는 재료적 측면에서 유사하지

¹정회원, 전남대학교 건축학부 박사과정

²학생회원, 전남대학교 건축학부 석사과정

³정회원, 전남대학교 건축학부 부교수, 교신저자

*Corresponding author: bylee@jnu.ac.kr

77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju, 61186, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 6월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Materials and mixture proportions

Mixture	Binder		Water	Filler	Silica sand	EA ^a	SRA ^b	HRWRA ^c	Defoamer	Fiber [vol.%]	
	Type	weight								Steel	PE
S-UHPC	Cement and zirconium	1	0.20	0.24	0.88	0.06	0.008	0.0184	0.0006	1.50	-
PE-AAS	Alkali-activated slag	1	0.32	-	-	-	-	0.004	0.001	-	1.75
AAS	Alkali-activated slag	1	0.32	-	-	-	-	0.002	0.001	-	-

^aExpansive agent^bShrinkage reduction admixture^cHigh range water reduction agent

만, 초고성능 콘크리트가 높은 강도를 나타내는 반면 연성이 낮은 특징을 갖고, 고연성 섬유보강 복합재료는 연성이 높지만 강도는 상대적으로 낮은 특징을 갖고 있다는 측면에서 차이점이 있다. 이에 이 연구에서는 두 가지 대표적인 고성능 건설재료인 초고성능 콘크리트와 고연성 섬유보강 복합재료의 성능을 실험적으로 비교하고자 한다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험 재료 및 배합

이 연구에서 사용한 초고성능 콘크리트는 한국에서 개발된 K-UHPC로 알려진 초고성능 콘크리트(S-UHPC 배합)로서 사용 재료 및 배합은 Table 1과 같다 (Koh et al. 2013). 결합재는 1종 보통포틀랜드시멘트와 지르코늄 실리카이며, 시멘트와 지르코늄 실리카의 비율은 중량비로 1대 0.2이다. 이 연구에서 사용한 지르코늄 실리카는 산화규소가 96% 이상이며 실리카폼과 화학성분은 유사하지만 분말도 80,000 cm²/g 정도이다. 지르코늄 실리카는 공극 충전 효과와 포졸란 반응을 통하여 재료의 밀도를 향상시켜 강도를 증진시키고, 입자 충전밀도를 증가시키면서 유동성을 향상시키기 위해 사용되었다. 충전재는 산화규소 성분이 99% 이상인 재료로서 밀도는 2.60 g/cm³이며, 크기는 시멘트와 지르코늄 실리카의 중간 정도인 평균 입경이 2.2 μm의 크기를 갖고 있다. 충전재는 시멘트와 지르코늄 실리카 사이를 채우는 역할을 통해 충전밀도를 증가시켜 유동성을 향상시키고, 경화 후에는 초고성능 콘크리트를 밀실하게 함으로써 강도 증진 및 내구성을 향상시키기 위해 사용되었다. 규사는 밀도 2.62 g/cm³이고 평균 입경이 0.5 mm인 것을 사용하였다. 혼화제로는 팽창제, 수축저감제, 고성능감수제, 소포제가 사용되었다.

이 연구에서 고연성 섬유보강 복합재료(PE-AAS 배합)를 제조하기 위해 사용한 결합재는 알칼리 활성 고로슬래그로서 고로슬래그는 3종 분말도(4,030 cm²/g)이며, 비중은 2.91이다. 활성화제로는 분말형의 수산화칼슘과 황산나트륨이 사용되었고, 고로슬래그, 수산화칼슘, 황산나트륨의 비율은 1 : 0.084

Table 2 Properties of fibers

Fiber	Diameter [μm]	Length [mm]	Tensile strength [MPa]	Density [g/cm ³]	Elastic modulus [GPa]
Steel	200	19.5	2,500	7.5	200
PE	12	18	2,700	0.97	88

: 0.034이다. 폴리에틸렌 섬유의 보강 효과를 확인하기 위해 비교 배합으로 사용한 AAS 배합은 PE-AAS와 섬유를 제외하고 동일한 배합을 사용하였다.

초고성능 콘크리트에는 강섬유가 사용되었고, 알칼리 활성 슬래그 기반 고연성 섬유보강 복합재료에는 폴리에틸렌(PE) 섬유가 사용되었다. 강섬유와 폴리에틸렌 섬유의 치수 및 성질은 Table 2와 같다.

2.2 혼합 방법 및 양생

초고성능 콘크리트를 제조하기 위해서 먼저, 분말형인 시멘트, 지르코늄 실리카, 충전재, 골재, 팽창제, 수축저감제를 투입한 후 분말들이 고루 섞일 수 있도록 약 90 rpm의 속도로 10분 동안 건비빔을 하였다. 다음으로 혼합기의 회전속도를 동일하게 유지한 상태에서 배합수, 고성능 감수제, 소포제를 투입한 후 재료들의 반응에 의해 유동이 시작될 때까지 3분에서 5분 동안 추가로 혼합하였다. 유동이 시작되면 혼합기의 회전속도를 270 rpm으로 증가하여 2분에서 3분 동안 혼합한 후, 섬유를 혼입하기 위하여 회전속도를 다시 90 rpm으로 줄이고 섬유를 신속하게 투입하였다. 이후 충분한 섬유 분산성이 확보될 수 있도록 회전속도를 다시 270 rpm으로 증가시켜 2분에서 5분 동안 혼합한 후 균일한 섬유 분산성이 확보되었다고 판단되면 마지막으로 기포를 제거하기 위해 회전속도를 90 rpm으로 줄여 1분간 혼합하였다 (KICT, 2014).

알칼리 활성 슬래그 기반 고연성 섬유보강 복합재료를 제조하기 위해서 분말형 재료인 결합재를 넣고 1분 동안 건비빔을 실시하고, 배합수를 혼입한 후 1분 동안 혼합하면서 고성능 감수제를 첨가하였다. 섬유가 혼입되지 않는 AAS 배합은 이후 실험체를 제조하였고, 섬유가 혼입되는 PE-AAS 배합은

매트릭스가 균일하게 혼합된 후 폴리에틸렌섬유를 1분에 걸쳐 조금씩 넣고 4분 동안 혼합하였다.

혼합이 완료된 후 밀도 및 압축강도와 일축 인장 실험을 위한 시편을 제작하여 (23±3)°C와 상대습도 (60±10)% 조건에서 양생하고, 타설 2일 후 탈형하여 재령 28일까지 양생온도 (23±3)°C의 양생 수조에서 수중양생을 실시하였다.

2.3 실험 방법

밀도는 혼합과정에서 의도하지 않은 과도한 기포가 생성되는가를 확인하기 위하여 각 배합별로 3개씩 제작한 50 mm 입방 실험체를 이용하여 공기 중 무게와 수중 무게를 측정하여 다음 식 (3)과 같이 계산하였다.

$$\rho = \frac{W_{air}}{W_{air} - W_{water}} \times \rho_w \quad (1)$$

여기서, ρ_w 는 물의 밀도이고, W_{air} 와 W_{water} 는 각각 입방 실험체의 공기 중과 수중에서의 무게를 나타낸다.

압축강도는 밀도를 측정한 시편체를 이용하여 KS L 5105에 규정된 방법에 따라 측정하였으며 각 배합당 시편체의 개수는 3개이다.

일축 인장 실험을 통해 섬유 보강 복합재료의 인장성능을 평가하였다. 일본토목학회에서 제안한 방법에 따라 Fig. 1(a)와 같은 형태의 실험체를 제작한 후, 28일 재령에서 인장성능을 평가하였다 (JSCE, 2008). 인장 실험 결과는 밀도나 압축강도에 비해 클 가능성이 있기 때문에 실험체를 각 배합별로 총 6개씩 제작하였다. 직접인장 실험은 최대용량 2톤의 인장강도 시험기에서 0.1 mm/min. 속도의 변위 제어 방식으로 수행하였다. 변위 측정 방법은 실험체의 좌우 측면에 20 mm 용량의 변위계를 부착하여 측정하였으며, 변형률 환산을 위한 측정길이는 80 mm이다. 측정구간 내의 단면은 S-UHPC 배합의

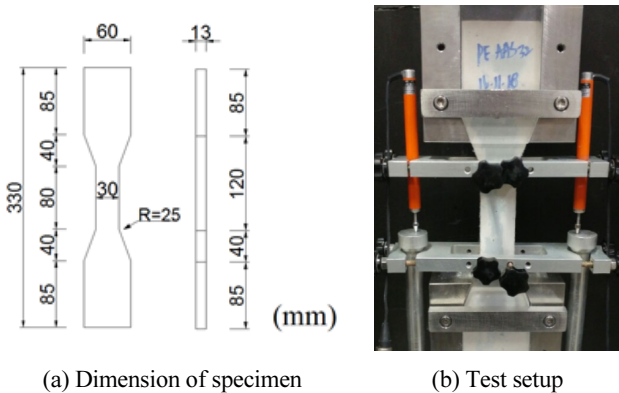


Fig. 1 Dimension of specimen and test setup

경우 30 mm × 30 mm이고, PE-AAS 배합과 AAS 배합은 30 mm × 13 mm로 일정하다. Fig. 1(b)는 직접인장 실험 모습을 나타낸다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 밀도

Fig. 2는 각 배합의 측정된 밀도를 나타낸다. 예상된 바와 같이 S-UHPC 배합의 밀도가 가장 크게 측정이 되었으며 밀도가 낮은 폴리에틸렌섬유를 혼합한 PE-AAS 배합의 밀도가 가장 낮게 측정되었다. 이론적 밀도는 각 재료의 밀도와 배합으로부터 계산하였는데 모든 배합의 측정된 밀도와 이론적 밀도의 차이는 0.6% 이하로 나타났다. 이러한 실험 결과로부터 이 연구에서 제조한 실험체들이 실험체를 제조하는 동안 의도하지 않은 기포들이 생성되지 않고 밀실하게 만들어진 것을 확인할 수 있다.

3.2 압축강도

Fig. 3은 각 배합별 압축강도 측정 결과를 나타낸다. S-UHPC

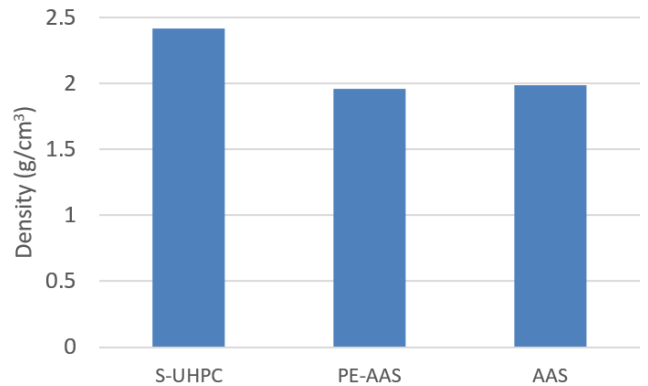


Fig. 2 Density

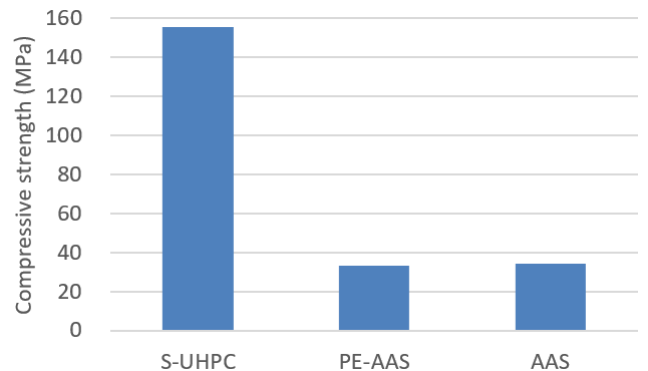


Fig. 3 Compressive strength

배합의 압축강도는 155 MPa로 나타나, 150 MPa 이상을 요구하는 UHPC의 성능을 만족하였다. 고온 양생을 하면 이보다 더 높은 압축강도가 나타날 것으로 예상된다. PE-AAS 배합은 32.9 MPa의 압축강도가 나타났으며, S-UHPC 배합에 비하여 21.2% 수준으로 나타나 두 배합의 압축강도에는 큰 차이가 있는 것을 알 수 있다. 섬유를 혼입하지 않은 AAS 배합의 경우 PE-AAS 배합과 비교하여 약 3% 정도 차이가 발생하여 폴리에틸렌섬유의 혼입에 의한 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

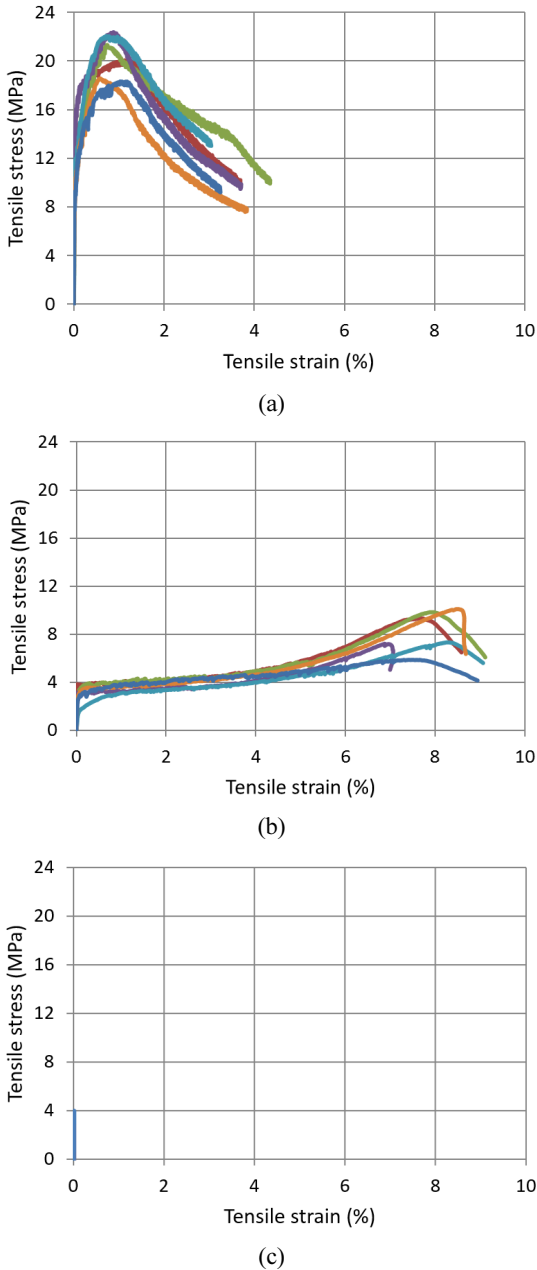


Fig. 4 Tensile stress and strain curves: (a) S-UHPC, (b) PE-AAS, and (c) AAS

3.3 인장거동

Fig. 4는 각 배합별 인장응력과 변형률 그래프를 나타낸다. 섬유가 들어간 S-UHPC 배합과 PE-AAS 배합의 경우 첫 번째 균열발생 이후 변형률 경화거동이 나타났다. S-UHPC 배합과 PE-AAS 배합 모두 변형률 경화거동이 나타났지만 전체적인 거동에는 큰 차이가 발생하였다. S-UHPC 배합은 PE-AAS 배합에 비하여 높은 균열강도와 높은 인장강도가 나타난 반면 인장변형성능은 낮게 나타났다. 섬유가 혼입되지 않은 AAS 배합의 경우 일반적인 콘크리트와 같이 첫 번째 균열발생 이후 급격한 응력저하가 발생하면서 파괴되었다.

Fig. 5는 각 배합별 첫 번째 균열강도, 인장강도, 그리고 인

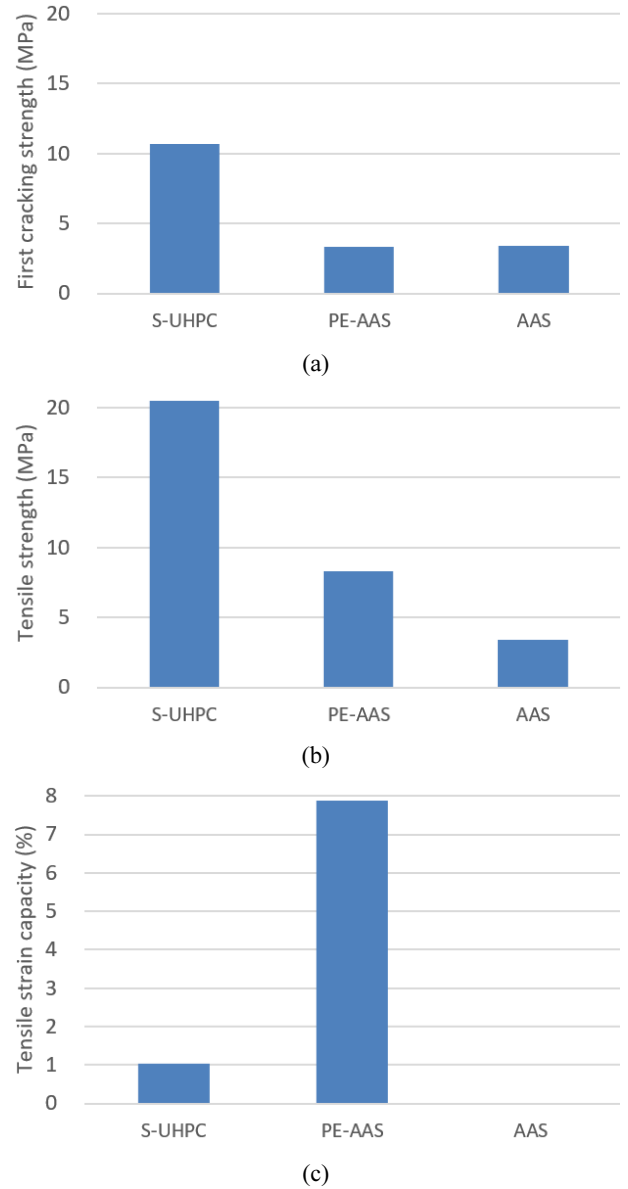


Fig. 5 Tensile behavior: (a) first cracking strength, (b) tensile strength, and (c) tensile strain capacity

장변형성능을 도표로 나타낸 것이다. S-UHPC 배합의 첫 번째 균열강도는 10.7 MPa로 나타났다. PE-AAS 배합의 첫 번째 균열강도는 3.4 MPa였으며, S-UHPC 배합의 31.4% 수준이다. 균열강도는 압축강도와 비례하기 때문에 이와 같은 차이가 발생하였다. 섬유가 혼입되지 않은 AAS 배합의 첫 번째 균열강도는 PE-AAS 배합의 첫 번째 균열강도와 1.9% 차이만 발생하여 균열강도는 섬유의 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

S-UHPC 배합의 인장강도는 20.4 MPa로 나타났다. PE-AAS 배합의 인장강도는 8.3 MPa로 나타났으며, 이는 S-UHPC 배합의 40.4% 수준으로 첫 번째 균열강도의 차이에 비하여 9.1% 감소된 것으로 나타났다. 섬유를 보강하는 경우 인장강도는 매트릭스의 성질이 아니라 균열면에서 매트릭스와 섬유 사이의 섬유가교거동에 의해 결정되며, 인장강도는 최대 섬유가교응력과 같다. 이러한 사실로부터 S-UHPC 배합과 PE-AAS 배합 모두 최대 섬유가교응력이 매트릭스 균열강도보다 큰 것을 간접적으로 알 수 있다. AAS 배합의 인장강도는 첫 번째 균열강도와 동일하였으며, PE-AAS 배합과 비교하면 58.6% 감소된 것이다. 즉, 폴리에틸렌섬유 혼입을 통하여 인장강도를 2.4배 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

S-UHPC 배합의 인장변형성능은 1.04%로 나타났으며, 이는 일반적인 초고성능 콘크리트의 인장변형성능과 유사한 값이다. PE-AAS 배합의 인장변형성능은 7.89%로 나타났으며, 이는 S-UHPC 배합에 비하여 7.62배 높은 값이다. 종합적으로 PE-AAS 배합이 S-UHPC 배합에 비하여 강도는 낮지만 낮은 강도에 비하여 훨씬 큰 인장변형성능이 나타났다. AAS 배합 (0.02%)과 비교하면 PE-AAS 배합은 394배 높은 인장변형성능을 나타내었다.

Fig. 6은 압축강도(f_{cu}) 대비 첫 번째 균열강도($f_{t,cr}$)의 비를 나타낸다. 일반적으로 무근 콘크리트의 인장강도가 압축강도의 10% 수준인데 반하여 S-UHPC 배합은 이보다 작게 나타났으며, PE-AAS 배합과 AAS 배합은 각각 10.2%와 10.1%로 나타났다.

Fig. 7은 각 배합별 압축강도 대비 인장강도(f_t)의 비를 나타낸다. S-UHPC 배합의 경우 압축강도 대비 인장강도의 비가 13.2%로 나타난 반면 PE-AAS 배합은 압축강도 대비 인장강도의 비가 25.1%로 나타났다. PE-AAS 배합이 S-UHPC 배합에 비하여 압축강도, 첫 번째 균열강도, 인장강도 모두 낮지만 압축강도 대비 인장강도는 12.0% 높게 나타났다. 이를 통해 S-UHPC 배합에 비하여 PE-AAS 배합이 섬유 혼입을 통하여 인장성능을 향상시키는데 상대적으로 효과적임을 알 수 있다. AAS 배합의 압축강도 대비 인장강도의 비는 압축강도 대비 균열강도의 비와 같은 10.1%였다. 이는 섬유보강 효과가 없었기 때문이다.

Fig. 8은 각 배합별 첫 번째 균열강도 대비 인장강도의 비를 나타낸다. S-UHPC 배합의 경우 첫 번째 균열강도 대비 인장강도의 비는 1.9로 나타났으며, PE-AAS 배합은 2.5로 나타났다. AAS 배합은 1로 나타났다. Kanda and Li (2006)는 다중 균열에 의한 변형을 경화거동이 나타나기 위한 지표로서 강도 지표와 에너지 지표를 제시하였다. 강도 지표는 매트릭스 균열강도 대비 최대 섬유가교응력의 비로 표현되며 이 값이 클수록 다중 균열에 의한 변형을 경화거동이 나타날 확률이 커

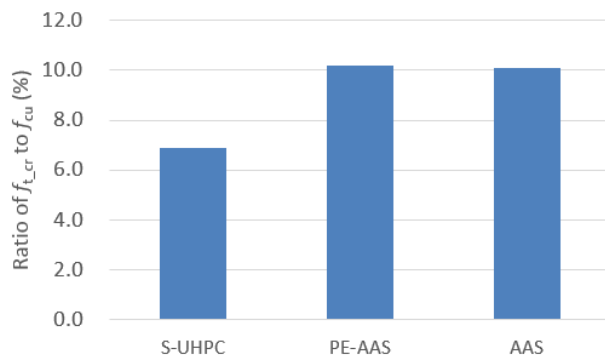


Fig. 6 Ratio of the first cracking strength to the compressive strength

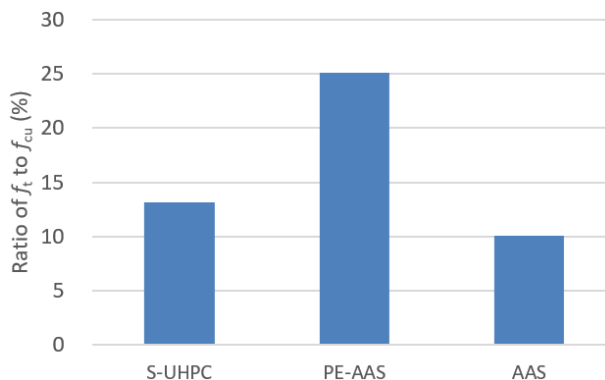


Fig. 7 Ratio of the tensile strength to the compressive strength

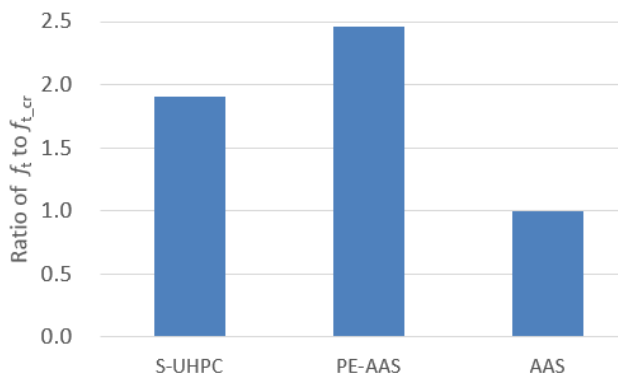


Fig. 8 Ratio of the tensile strength to the first cracking strength

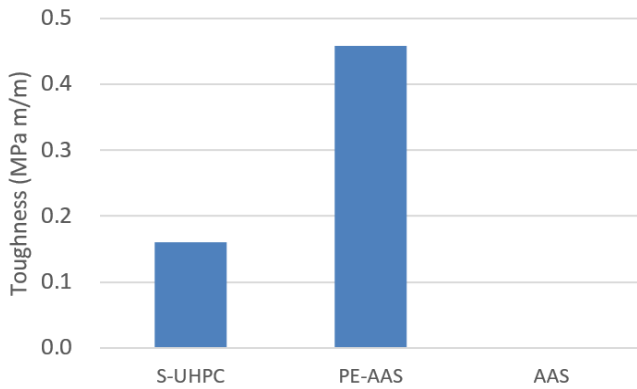


Fig. 9 Toughness

지게 되며, 최소 1보다 커야한다. 즉, Fig. 8은 강도 지표를 나타내며, 이 값은 인장변형률과 강한 상관관계를 갖고 있다. 이 연구에서도 강도 지표가 가장 큰 PE-AAS 배합이 가장 큰 인장변형률성을 나타내었다.

Fig. 9는 인장응력과 변형률의 면적을 나타내는 인성을 나타내며 재료가 파괴되면서 흡수할 수 있는 에너지를 의미한다. 인성을 계산할 때 기준 변형률은 최대 응력에 해당하는 변형률로 하였다. PE-AAS 배합이 S-UHPC 배합에 비하여 첫 번째 균열강도와 인장강도는 낮았지만, 인성은 2.8배 높은 것으로 나타났다. AAS 배합의 인성은 0.0007 MPa m/m로 PE-AAS 배합과 S-UHPC 배합에 비하여 매우 낮았다. 콘크리트 구조물을 설계할 때 콘크리트의 인성이 매우 낮기 때문에 인성을 설계에 반영하지 않지만, 이 연구에서 조사한 재료와 같이 강도는 일반적인 콘크리트와 유사하면서 인장변형률 및 인성이 큰 재료가 사용된다면 지진과 같이 큰 변형이 발생할 수 있는 하중이 작용할 때 구조물의 성능을 향상시키는데 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결론

이 연구의 목적은 초고성능 콘크리트와 고연성 섬유보강 복합재료의 성능을 비교하는 것이다. 이를 위하여 밀도, 압축강도, 인장거동, 에너지 흡수 능력을 실험적으로 측정하였다. 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 폴리에틸렌섬유 보강 알칼리활성 슬래그 기반 복합재료는 강섬유 보강 초고성능 콘크리트와 비교하여 낮은 압축강도 및 인장강도를 나타내지만, 폴리에틸렌섬유 보강 알칼리활성 슬래그 기반 복합재료는 강섬유 보강 초고성능 콘크리트와 비교하여 높은 인장변형률성과 인성을 나타내었다.

- 2) 알칼리 활성 슬래그 기반 무시멘트 페이스트에 폴리에틸렌섬유를 보강하여 7.89%에 이르는 높은 인장변형률성을 확보하는 것이 가능한 것으로 나타났으며, 이는 초고성능 콘크리트와 섬유를 보강하지 않은 무시멘트 페이스트에 비하여 각각 7.62배와 394배에 달하는 성능이다.
- 3) 압축강도와 인장실험결과 알칼리 활성 슬래그 기반 무시멘트 페이스트의 압축강도 및 균열강도에 미치는 폴리에틸렌섬유의 영향은 3.2% 이내로 나타나 영향이 크지 않은 것으로 나타났다.
- 4) 밀도 실험 결과 모든 배합에서 측정한 밀도와 이론적으로 계산한 밀도와 차이는 0.6% 이내로 나타나 이 연구에서 사용한 방식으로 제조할 경우 의도하지 않은 큰 기포 등이 생성되지 않고 제조할 수 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업 “나노전기방사기술을 융합한 등가감쇠 10%급 다기능 건축재료 및 구조시스템 개발 (과제번호: 15CTAP-C097490-01)” 의 연구비와 국토교통부 국토교통기술지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(16RDRP-B076564-03)에 의해 수행되었습니다.

References

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, *Cement and Concrete Composites*, 70, 153-158.

Association Française de Génie Civil (2002), Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes-Interim Recommendations, Paris, France.

Japan Society of Civil Engineers (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, 59-72.

Koh, K. T., Park, J. J. Ryu, G. S., and Kim, S. W. (2013), State-of-the-Art on Development of Ultra-High Performance Concrete, *The Magazine of the Korean Society of Civil Engineers*, 61(2), 51-60.

Korea Institute of Construction Technology (2014), Provisional Specifications for the Fabrication and Quality Control Guidelines of SUPER Concrete.

Lee, B. Y., Cho, C.-G., Lim, H.-J., Song, J.-K., Yang, K.-H., and Li, V. C. (2012), Strain hardening fiber reinforced alkali-activated mortar - A feasibility study. *Construction and Building Materials*, 37, 15-20.

Li, V. C., Wang, S. and Wu, C. (2001), Tensile Strain-Hardening Behavior of PVA-ECC, *ACI 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*, ASCE, 6(4), 513-528.

Nematollahi, B., Sanjayan, J., Shakh, F. U. A. (2015) Tensile strain hardening behavior of PVA fiber-reinforced engineered geopolymer composite, *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(10), 04015001.

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.

Russel, H. G. and Graybeal, B. A. (2013), Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community, Federal Highway Administration, McLean.

Received : 01/31/2017

Revised : 02/27/2017

Accepted : 03/20/2017

요 지 : 초고성능 콘크리트와 고연성 무시멘트 복합재료는 높은 압축강도 및 높은 연성 등 재료의 우수한 성능으로 인하여 유망한 건설재료로 분류되고 있다. 이 연구의 목적은 초고성능 콘크리트와 고연성 무시멘트 복합재료의 압축강도와 인장거동에 대하여 실험적으로 조사하여 성능을 비교하는 것이다. 이를 위하여 밀도, 압축강도, 일축인장실험 등 일련의 실험을 수행하였다. 실험결과 알칼리 활성화 슬래그 기반 고연성 무시멘트 복합재료의 압축강도와 인장강도는 초고성능 콘크리트의 압축강도와 인장강도에 비하여 낮게 나타났지만, 인장하중 하에서 알칼리 활성화 슬래그 기반 고연성 무시멘트 복합재료의 인장변형성능 및 인성은 초고성능 콘크리트의 인장변형성능 및 인성에 비하여 높은 것으로 나타났다. 또한 알칼리 활성화 슬래그 기반 무시멘트 페이스트에 폴리에틸렌섬유를 보강하여 7.89 %에 달하는 높은 인장변형성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 복합재료, 압축강도, 연성, 인장거동, 초고성능 콘크리트
